



Dampak Austempering pada FCD-50 terhadap Meningkatnya Kekuatan Tarik dan Perubahan Struktur Mikro

Murjiansah¹, Arief Rizki Fadhilah²✉, Suriansyah³

^{1,2,3} 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 : 7 Juli 2024
Selesai Revisi : 26 September 2024
Diterbitkan Online : 15 November 2024

Abstract

To determine the increase in properties produced through the austempering process on FCD-50 in this study with variations in holding time which were then carried out tensile tests and metallographic tests to determine the increase in tensile strength and changes in microstructure in FCD 50 cast iron. By comparing changes in tensile strength and microstructure before and after the austempering process at a temperature of 900°C, then the holding process was carried out for 25-35-45 minutes and rotation was carried out using Water media. Experimentally, this study showed that the average maximum tensile strength of the specimen after treatment increased by 45,355 kgf / mm², an increase of 20% from the specimen without treatment.

Keywords: FCD-50; Austempering; Tensile Strength; Metallography.

Abstrak

Untuk mengetahui peningkatan sifat yang dihasilkan melalui proses austemper pada FCD-50 dalam penelitian ini dengan variasi holding time yang kemudian dilakukan uji tarik dan uji metalografi untuk mengetahui peningkatan kekuatan tarik dan perubahan struktur mikro pada besi cor FCD 50. Dengan membandingkan perubahan kekuatan tarik dan struktur mikro sebelum dan sesudah proses austempering pada temperatur 900°C, kemudian dilakukan proses penahanan/ holding selama 25-35-45 menit dan dilakukan pendinginan menggunakan media Air. Secara eksperimental penelitian ini menunjukkan kekuatan tarik maksimum rata – rata spesimen setelah perlakuan mengalami peningkatan sebesar 45.355 kgf/mm² meningkat 20% dari spesimen tanpa perlakuan.

Kata kunci: FCD-50; Austempering; Kekuatan Tarik; Metalografi.

1. Pendahuluan

Besi merupakan salah satu material penting yang banyak dibutuhkan dalam dunia industri. Salah satunya adalah besi cor dimana terdapat beberapa jenis besi cor terklasifikasi dengan sifat-sifatnya. FCDI (*ferrous Cast Ductile Iron*) atau besi cor nodular yang memiliki nilai kekerasan tinggi [1]. Pada FCD-50 yang merupakan jenis besi cor memiliki kekurangan dari segi kekuatan tarik (*tensile strength*) masih cenderung rendah di kisaran 50 kg/mm² dengan interpretasi 1 mm² dapat menahan kekuatan tarik sebesar 50 kg [2].

Besi tuang nodular (*ductile cast iron*) juga merupakan salah satu jenis besi cor mampu tempa yang kuat dan ulet. Pada umumnya besi tuang nodular mengandung lebih dari 3% karbon, 1,8 - 3% silikon, manga s/d 10%, sulfur antara 0,005 – 0,035% [3]. Untuk itu dilakukan penelitian

secara eksperimental untuk mengetahui peningkatan kekuatan tarik dan perubahan struktur mikro yang dihasilkan dari FCD-50 melalui proses austemper atau proses laju panas yang dikembangkan dari diagram transformasi isothermal untuk memperoleh struktur yang sepenuhnya bainit [4].

Temperatur austenitisasi untuk proses ini berada pada kisaran yang sama dengan temperatur austenitisasi pada proses annealing, yaitu pada suhu di mana struktur mikro baja berubah menjadi fasa austenit secara menyeluruh. Namun, perbedaan yang mendasar terletak pada metode pendinginannya. Jika pada proses annealing pendinginan dilakukan secara lambat untuk memperoleh struktur yang lunak dan homogen, maka dalam proses ini pendinginan dilakukan secara cepat melalui metode quenching hingga mencapai temperatur tertentu yang optimal untuk pembentukan bainit. Setelah dilakukan quenching, material tidak langsung didinginkan hingga suhu ruang, melainkan dibiarkan pada temperatur menengah yang konstan untuk waktu tertentu agar proses transformasi dari austenit menjadi bainit dapat berlangsung secara sempurna.

Transformasi isothermal ini memegang peranan penting dalam proses pembentukan struktur bainit yang diinginkan, karena memungkinkan fasa austenit yang telah terbentuk pada temperatur austenitisasi untuk mengalami perubahan mikrostruktur secara terkendali pada temperatur menengah. Dalam kondisi ini, proses transformasi berlangsung secara perlahan dan stabil, sehingga menghasilkan morfologi bainit yang halus dan terdistribusi merata. Struktur bainit yang terbentuk melalui mekanisme ini memiliki sifat mekanik yang sangat unggul, terutama dalam hal kombinasi antara kekuatan tarik yang tinggi dan ketangguhan yang baik. Hal ini disebabkan oleh adanya keseimbangan antara kekerasan dan keuletan dalam struktur bainit, yang menjadikannya sangat cocok untuk aplikasi yang menuntut ketahanan terhadap beban dinamis maupun benturan.

Berbeda dengan struktur martensit yang terbentuk dari pendinginan cepat secara langsung, struktur bainit tidak mengalami tegangan internal sebesar yang dialami oleh martensit, sehingga risiko terjadinya retak akibat tegangan sisa lebih rendah. Martensit memang memiliki kekerasan yang sangat tinggi, namun sifatnya yang rapuh dan kurang ulet membuatnya kurang ideal untuk aplikasi struktural yang membutuhkan deformasi plastis. Oleh karena itu, transformasi isothermal menuju bainit melalui proses isothermal holding bukan hanya sekadar tahapan termal, melainkan strategi penting dalam pengendalian sifat mikrostruktur yang pada akhirnya menentukan kualitas dan performa material secara keseluruhan.

Hasil austemper mempunyai kekuatan atau kekerasan yang tinggi dengan keuletan atau ketangguhan yang tinggi [5]. Syarat benda yang akan dilakukan austemper harus mempunyai hardenability yang memadai dan pendinginan langsung (*direct quenching*) [6]. Kebutuhan peningkatan performa material FCD-50 yang secara luas digunakan dalam industri otomotif, konstruksi, dan manufaktur. Kekurangan pada sifat mekanik seperti kekuatan tarik dapat menjadi kendala dalam aplikasi beban berat atau tekanan tinggi. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengevaluasi dan mengembangkan metode perlakuan panas yang mampu meningkatkan karakteristik mekanik material ini dimana variasi pengaruh waktu penahanan (*holding time*) dalam proses austempering digunakan sebagai dasar penelitian untuk mengetahui perubahan sifat yang dihasilkan khususnya dalam meningkatnya kekuatan tarik dari FCD-50 yang dibuktikan melalui pengamatan struktur mikro pada FCD-50. Melalui studi eksperimen pada proses heat treatment FCD-50 dapat diketahui peningkatan sifat pada kekuatan tarik sebelum dan sesudah perlakuan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental, di mana material uji yang digunakan adalah FCD-50. Spesimen dari material FCD-50 terlebih dahulu dipotong dan disiapkan sesuai standar pengujian tarik. Prosedur dimulai dengan pemanasan spesimen dalam dapur furnace hingga mencapai temperatur austenitisasi sebesar 900 °C, kemudian dilakukan proses penahanan (holding) pada temperatur tersebut dengan variasi waktu 25, 35, dan 45 menit. Setelah tahap penahanan selesai, spesimen langsung didinginkan secara cepat (direct quenching) menggunakan media air pada suhu ruang untuk menghentikan proses transformasi fasa. Setelah proses perlakuan panas selesai, spesimen diuji tarik menggunakan alat uji universal untuk memperoleh data kekuatan tarik maksimum dan modulus elastisitas. Selanjutnya, dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik setelah spesimen dipreparasi melalui proses pemolesan dan etching, guna melihat perubahan morfologi akibat perlakuan panas. Seluruh data yang diperoleh dianalisis untuk membandingkan pengaruh variasi waktu penahanan terhadap peningkatan kekuatan tarik serta perubahan struktur mikro pada material FCD-50, dengan perhitungan teoritis yang didukung oleh penggunaan rumus Young's Modulus.

$$E = \frac{P_{max}/A_0}{\Delta L/L_0} \quad (1)$$

Dimana :

E : Young's Modulus
L₀ : Panjang Awal
P_{max} : Beban Maksimal
L_f : Panjang Akhir
A₀ : Luas Penampang Awal
ΔL : Pertambahan Panjang

Prosedur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan tahap persiapan spesimen uji yang berasal dari material ductile cast iron FCD-50. Spesimen dibentuk sesuai dengan standar uji tarik dan uji metalografi, dengan dimensi dan bentuk yang seragam guna menjaga validitas hasil pengujian.

Setelah spesimen siap, dilakukan proses austenitisasi dengan memanaskan spesimen pada temperatur sekitar 900–920°C selama waktu tertentu (umumnya 60 menit) untuk membentuk fasa austenit secara merata di seluruh struktur mikro. Setelah waktu pemanasan tercapai, spesimen langsung dipindahkan ke media pendingin dalam bentuk quenching isothermal menggunakan garam cair atau minyak panas yang telah dijaga pada temperatur austempering, biasanya pada kisaran 300–400°C. Spesimen dibiarkan berada dalam media tersebut selama waktu tertentu (holding time), misalnya 30–120 menit, untuk memungkinkan terjadinya transformasi isothermal dari austenit menjadi bainit.

Setelah proses austempering selesai, spesimen dikeluarkan dan didinginkan di udara hingga mencapai suhu ruang. Selanjutnya, spesimen diuji menggunakan uji tarik untuk mengetahui nilai kekuatan tarik akhir material, serta dilakukan preparasi metalografi melalui proses pemotongan, mounting, pengamplasan, pemolesan, dan etsa kimia menggunakan larutan nital.

Struktur mikro diamati menggunakan mikroskop optik atau SEM untuk mengidentifikasi perubahan fasa dan morfologi yang terjadi akibat perlakuan panas.

Data hasil uji tarik dan observasi struktur mikro dibandingkan dengan spesimen FCD-50 tanpa perlakuan austempering guna mengetahui sejauh mana perlakuan ini memengaruhi peningkatan kekuatan mekanik dan transformasi struktur mikro, khususnya dalam pembentukan fasa bainit.

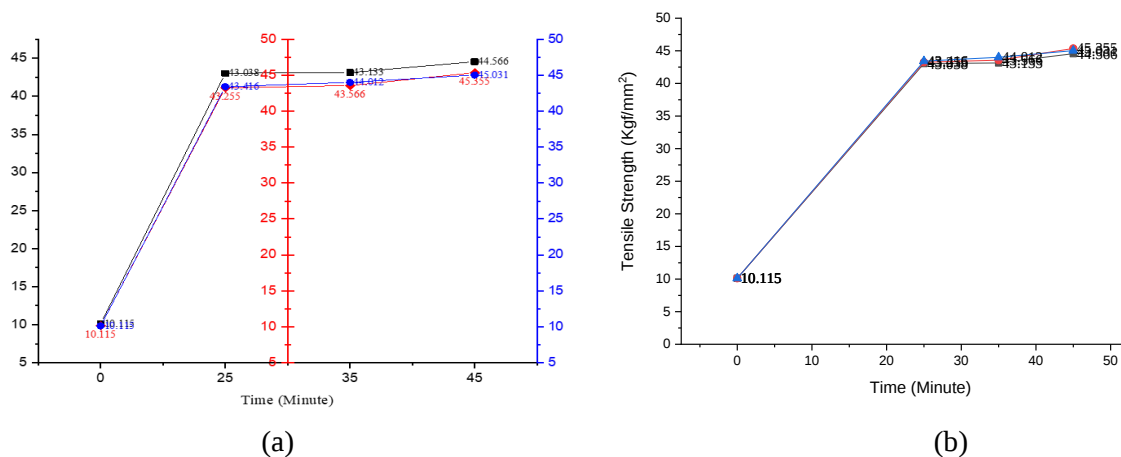
3. Hasil dan Pembahasan

Rangkaian hasil penelitian berdasarkan urutan/susunan logis untuk membentuk sebuah penjelasan. Isi bab hasil dan pembahasan menunjukkan fakta/data dan jangan diskusikan hasilnya. Dapat menggunakan Tabel dan Angka tetapi tidak menguraikan secara berulang terhadap data yang sama dalam gambar, tabel dan teks. Untuk lebih memperjelas uraian, dapat menggunakan sub judul. Hindari pengulangan penjelasan yang terlalu mendetail.

Tabel 1. Hasil Uji Tarik FCD-50 Dengan Variasi Waktu Penahanan (Holding Time)

<i>Holding Time (Minute)</i>	<i>Tensile Strength Kgf/mm²</i>			<i>AVERAGE</i>
0	10.115	10.115	10.115	10.115
25	43.038	43.255	43.416	43.23
35	43.133	43.566	44.012	43.57
45	45.3	45.122	45.684	45.355

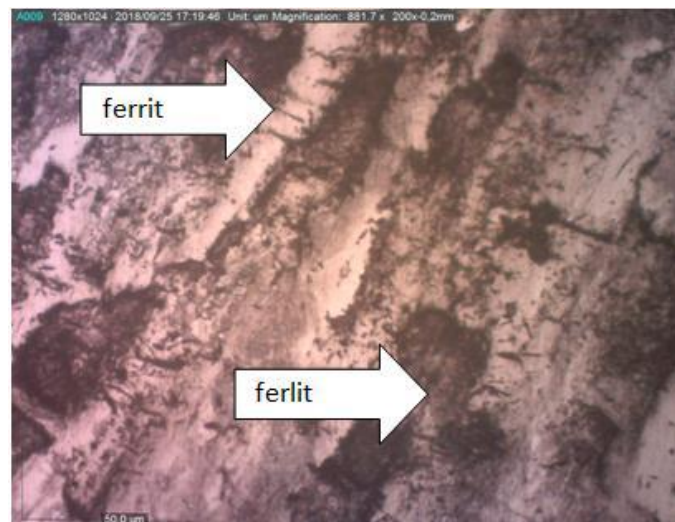
Tabel 1 menunjukkan hasil uji tarik FCD-50 dengan variasi waktu penahanan (holding time) pada proses austempering. Pada waktu penahanan 0 menit (tanpa perlakuan), nilai kekuatan tarik spesimen sangat rendah (10,115 kg/mm²). Setelah spesimen diberikan perlakuan panas austemper dengan variasi waktu holding, terjadi peningkatan signifikan pada nilai kekuatan tarik. Pada waktu holding 25 menit, nilai rata-rata kekuatan tarik mencapai 43,23 kg/mm², sedangkan pada 35 menit meningkat sedikit menjadi 43,57 kg/mm², dan mencapai nilai tertinggi pada waktu 45 menit sebesar 45,355 kg/mm². Ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu penahanan, semakin besar peningkatan kekuatan tarik material.



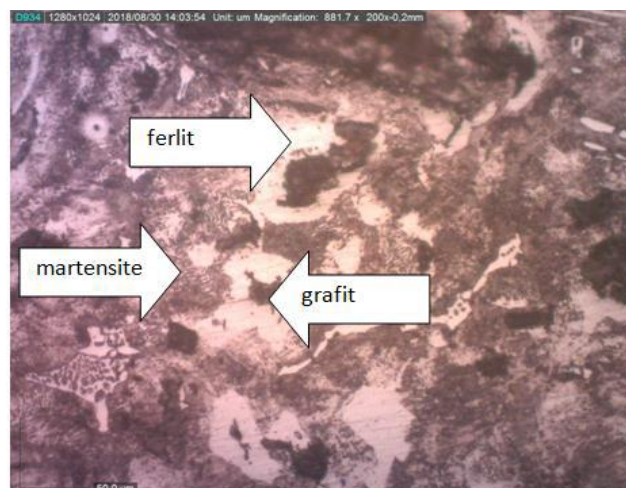
Gambar 1. Grafik Uji Tarik FCD-50 (A) sebelum perlakuan dan (B) setelah perlakuan

Grafik (a) menunjukkan data pengujian tarik sebelum dan sesudah perlakuan austemper. Terlihat jelas peningkatan kekuatan tarik yang signifikan dari kondisi awal (tanpa perlakuan, sekitar 10,115 kg/mm²) ke kondisi sesudah perlakuan austemper (di atas 40 kg/mm²). Grafik (b) memperjelas tren tersebut dengan menggambarkan hubungan antara waktu penahanan dan

nilai kekuatan tarik. Dari grafik ini, diperoleh kesimpulan bahwa waktu penahanan secara positif mempengaruhi peningkatan kekuatan tarik, dengan tren peningkatan yang mulai melandai setelah waktu holding 35 menit menuju 45 menit.



Gambar 2 Struktur Mikro FCD-50 Sebelum Proses *Austempering*



Gambar 3 Struktur FCD-50 Setelah Proses *Austempering*

Pada pengujian benda uji setelah proses austempering di ketahui perubahan bentuk struktur mikro pada besi cor FCD 50, dimana dapat di lihat pada gambar 3 yang menunjukkan adanya fasa martensit dan grafit dengan. Hal ini terjadi karna pengaruh dari proses pendinginan yang di percepat atau media Air [7]. Martensit terbentuk karna pendingnan cepat austensit dimana atom karbon terperangkap sehingga tidak punya waktu untuk berdifusi dari stuktur kristal [8]. Martensit adalah suatu fasa yang terjadi karena pendinginan yang sangat cepat sekali, dan terjadi pada suhu dibawa eutektoid tetapi masih di atas suhu kamar. Karena austenit FCC tidak stabil maka berubah menjadi struktur BCT secara serentak pada reaksi ini tidak terjadi difusi tapi terjadi pengerasan [9]. Semua atom bergerak serentak dan perubahan ini langsung dengan sangat cepat dimana semua atom yang tinggal tetap berada pada larutan padat karena terperangkap dalam kisi sehingga sukar menjadi slip, maka martensit menjadi kuat dan keras tetapi sifat getas dan rapuh menjadi tinggi [10]. Data hasil pengujian Image J di peroleh Ferrit 34% - 42% dan Martensit 58% - 66%.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas austempering memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap peningkatan kekuatan tarik material FCD-50. Sebelum dilakukan perlakuan austempering, material FCD-50 menunjukkan sifat mekanis dengan rata-rata kekuatan tarik sebesar 10,115 kgf/mm² dan kekuatan regangan yang relatif rendah, yaitu hanya sebesar 7%. Kondisi ini disebabkan oleh dominasi fasa ferit dan perlit dalam struktur mikro material, yang diketahui memiliki kontribusi terhadap sifat mekanik yang lebih lunak dan kurang kuat.

Setelah dilakukan perlakuan austempering, terjadi peningkatan yang sangat signifikan pada kekuatan tarik material. Rata-rata kekuatan tarik tertinggi tercatat sebesar 45,355 kgf/mm², khususnya pada spesimen yang mengalami waktu penahanan (holding time) optimal selama 45 menit. Peningkatan ini menunjukkan bahwa proses transformasi mikrostruktur selama austempering sangat efektif dalam memperbaiki performa mekanis material.

Perubahan yang terjadi pada struktur mikro juga sangat mencolok. Struktur ferit dan perlit yang mendominasi sebelum perlakuan bertransformasi menjadi struktur bainit setelah proses austempering. Pembentukan bainit ini berperan besar dalam meningkatkan kekuatan tarik dan memperbaiki sifat mekanis keseluruhan material, karena bainit memiliki kombinasi karakteristik kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik dibandingkan struktur awal.

Daftar Pustaka

- [1] G. X. Maia, R. Kartikasari, and A. Susiana, "PENGARUH WAKTU PERENDAMAN DEEP CRYOGENIC TREATMENT TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK PADUAN Fe-5Al-21Mn".
- [2] M. A. Fikri and T. Rahardjo, "Analisa Pengaruh Kecepatan Putar Dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Kekerasan Material Dan Keausan Material Besi Cor FCD 25 Pada Mesin Bubut CNC," *J. Mesin Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 3, no. 1, pp. 60–72, 2022.
- [3] A. R. Nasution, I. Tanjung, and A. M. Siregar, "Pengaruh Annealing Baja St 37 Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 5, no. 2, pp. 194–199, 2022.
- [4] S. Gunawan, H. H. Lubis, and R. D. Wanty, "Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi* <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>, vol. 2, no. 2, pp. 131–139, 2019.
- [5] H. P. Hasan, I. Susanto, B. Belyamin, D. M. Kamal, and S. Tjahyono, "Improved Thermal Shock Resistance of Side Die Material for Increased Production of Disc Car Whell Type PSD3K," *J. Mek. Terap.*, vol. 5, no. 1, pp. 49–58, 2024.
- [6] U. Budiarto and A. W. B. Santosa, "Pengaruh Variasi Suhu PWHT Normalizing Pada Instalasi I Bracket Pasca Pengelasan FCAW," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 12, no. 2, 2024.
- [7] J. Achmad, P. Helmy, and D. M. Dzulfikar, "PERLAKUAN PANAS DENGAN PEMANAS INDUKSI UNTUK PENGGERASAN PERMUKAAN PADA RODA GIGI DENGAN MEDIA QUENCHING OIL," 2021, *Universitas Wahid Hasyim*.
- [8] 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.

- [9] G. D. Haryadi, A. F. Utomo, and I. M. W. Ekaputra, “Pengaruh Variasi Temperatur Quenching Dan Media Pendingin Terhadap Tingkat Kekerasan Baja AISI 1045,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 2, pp. 255–264, 2021.
- [10] A. Setiawan and B. Y. Pamungkas, “Pengaruh Temperatur dan Holding Time dalam Proses Tempering Terhadap Sifat Mekanik Pipa Low Carbon Steel Low Alloy Grade X65Q,” *J. Metall. Eng. Process. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 53–62, 2022.