

## PENINGKATAN KEKERASAN FCD – 50 DENGAN PROSES AUSTEMPER, CRYOGENIC AND TEMPER DUCTILE IRON (ACTDI)

Suriasnyah Sabarudin<sup>1</sup>, Agus Suyatno<sup>2</sup>, Dadang Hermawan<sup>3</sup>)

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, Universitas Widyagama, Malang  
Email: [suriansyahsabarudin@gmail.com](mailto:suriansyahsabarudin@gmail.com)

<sup>2</sup>Fakultas Teknik, Universitas Widyagama, Malang  
Email: [agus\\_suyatno30@yahoo.com](mailto:agus_suyatno30@yahoo.com)

<sup>3</sup>Fakultas Teknik, Universitas Widyagama, Malang  
Email: [dadang@widyagama.ac.id](mailto:dadang@widyagama.ac.id)

### Abstrak

Perkembangan industri untuk komponen-komponen mesin semakin meningkat, baik komponen-komponen mesin untuk kendaraan bermotor maupun komponen mesin produksi. Kebutuhan terhadap material baja sampai saat ini masih didominasi oleh baja tulangan, maka dengan ductile cast iron yang telah ditingkatkan kualitasnya, dapat dipakai sebagai mitra baja untuk memenuhi kebutuhan besi baja tulangan. Metode ACTDI merupakan perpaduan antara proses Heat Treatment, pada proses Austemper dan pendinginan dengan nitrogen cair pada temperature dibawah nol derajat celcius. Pengujian ductile cast iron (FCD-50) yang telah dilakukan pengujian terjadi perubahan karakteristik sifat mekaniknya. Sifat mekanik yang diuji adalah kekerasan dan strukturmikro dengan proses ACTDI yang dimodifikasi kembali variable-variable bebasnya baik yang berkaitan dengan holding time pada proses austemper maupun pada proses pendinginan cryogenic dan temper. FCD-50 modifikasi setelah diaustemper benda uji dimasukkan ke dalam tabung cairan nitrogen dengan waktu 48 jam, 96 jam dan 144 jam. Hasil dari proses perendaman dan pengujian didapatkan Pengujian kekerasan FCD-50 dengan perendaman selama 96 jam didapatkan nilai rata-rata sebesar 28.18 HRC lebih baik tanpa perlakuan (As-Cast), Peningkatan kekerasan pada spesimen FCD-50 karena jumlah martensit lebih banyak daripada yang terjadi pada proses tanpa perlakuan (As-Cast).

**Kata kunci:** FCD-50, ACTDI, Kekerasan, Mikrostruktur

### Abstract

*Industrial development for engine components is increasing, both engine components for motorized vehicles and production engine components. The need for steel material is still dominated by reinforcing steel, so with ductile cast iron that has been upgraded, it can be used as a steel partner to meet the needs of steel reinforcing steel. The ACTDI method is a combination of the Heat Treatments process, in the Austemper process and cooling with liquid nitrogen at temperatures below zero degrees Celsius. Testing of ductile cast iron (FCD-50) which has been tested has changed the characteristics of its mechanical properties. The mechanical properties tested were hardness and microstructure with the ACTDI process which modified again the free variables both related to the holding time in the austemper process and the cryogenic cooling process. FCD-50 modification after the test specimen was put into a nitrogen liquid tube with 48 hours, 96 hours and 144 hours. The results of the immersion process and testing obtained FCD-50 hardness testing for 96 hours of immersion obtained an average value of 28.18 HRC better without treatment (As-Cast), increased hardness in FCD-50 specimens because the amount of martensite was more than what happened pada without treatment (As-Cast).*

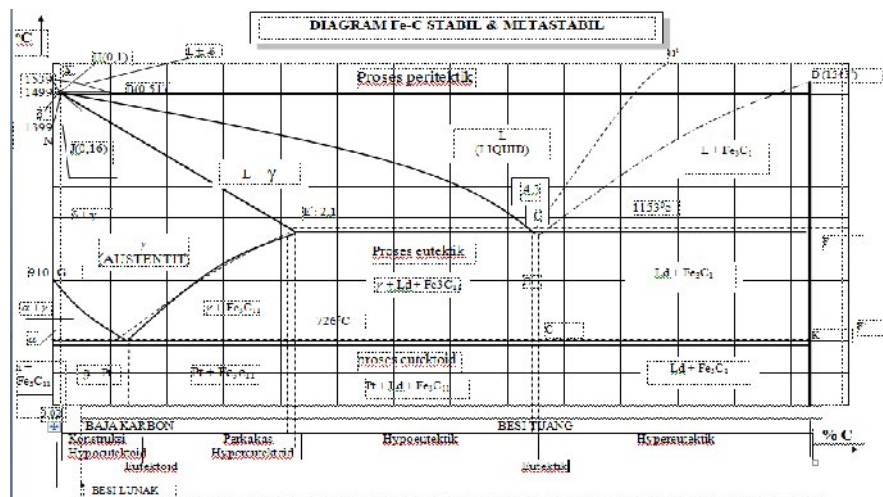
**Keywords:** FCD-50, ACTDI, Hardness, Microstructure

## PENDAHULUAN

Perkembangan industri untuk komponen-komponen mesin semakin meningkat, baik komponen-komponen mesin untuk kendaraan bermotor maupun komponen mesin produksi (mesin bubut, frais, planer, dan lain-lain). Dibidang bangunan gedung dimana lahan-lahan pertanian dan perkebunan bertransformasi menjadi perumahan dan bangunan-bangunan bertingkat yang sangat banyak membutuhkan baja tulangan. Kebutuhan terhadap baja tulangan untuk pembangunan gedung dan perumahan sampai saat ini masih didominasi oleh baja tulangan, maka dengan ductile cast iron yang telah ditingkatkan kualitasnya, dapat dipakai sebagai mitra baja untuk memenuhi kebutuhan besi baja tulangan. Dari daftar kekuatan tarik Nodular cast iron ada yang menyamai kekuatan tarik baja karbon sedang, **50-60 kg/mm<sup>2</sup>**. Jadi ada harapan Ductile Cast Iron dapat menggantikan sebagian fungsi baja dalam dunia industri, bangunan gedung, perumahan, jembatan, dan pelabuhan-pelabuhan. Pemakaian ductile cast iron yang terus meningkat, disebabkan keunggulannya pada sifat mekanik. Sifat mekanik itu seperti kekerasan, dan kekuatan tarik. *Austemper, Cryogenic And Temper Ductile Iron (ACTDI)* adalah salah satu metode untuk meningkatkan sifat mekanik Ductile Cast Iron (FCD-50), Metode ACTDI ini sangat kuat mengikuti jejak pada proses T-T-T- Diagram (Time, Temperature, Transformation) dan C-C-T Diagram (Continuous, Cooling, Transformation). Metode ACTDI merupakan perpaduan antara proses Heat Treatment, pada proses Austemper dan pendinginan dengan nitrogen cair pada temperature dibawah nol derajat celcius. Pengujian ductile cast iron 50 yang telah terjadi perubahan karakteristik sifat mekaniknya. Sifat mekanik yang diuji kembali adalah kekerasan dan strukturmikro dengan proses ACTDI yang dimodifikasi kembali variable-variable bebasnya baik yang berkaitan dengan holding time pada proses austemper maupun pada proses pendinginan cryogenic dan temper

Salah satu type produk *Nodular Cast Iron* adalah *Ductile Cast Iron 50* (FCD-50) jenis inilah yang menjadi objek penelitian untuk ditingkatkan kualitas mekaniknya dengan metode ACTDI (Austemper, Cryogenic And Temper Ductile Iron). Klasifikasi FCD dimulai dari FCD 37, 40, 45, 50, 60, 70, dan 80. (ASTM). Angka dibelakang FCD menunjukkan besarnya kuat tarik dari *Nodular Cast Iron*. FCD-50 artinya besi tuang nodular ini memiliki kuat tarik 50 Kg/mm<sup>2</sup>. Adapun interpretasi dari 50 Kg/mm<sup>2</sup> adalah setiap luas-luasan 1mm<sup>2</sup> pada besi cor nodular mampu menahan beban tarik maksimal 50 Kg.

Sifat mekanik untuk logam adalah sifat yang harus diperhatikan serius bagi para pengguna logam. Karena sifat mekanik tidak hanya tergantung pada komposisi kimia suatu paduan tetapi tergantung pada struktur mikronya. Suatu paduan dengan komposisi kimia yang sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda dan sifat mekanikpun akan berbeda. Ini tergantung pada proses pengerjaan yang dialami, terutama proses laku-panas yang diterima selama pengerjaan. Proses laku-panas (*Heat Treatment*) adalah kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam/paduan dalam keadaan padat, sebagai suatu upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Proses laku-panas (*Heat Treatment*) sangat menentukan sifat dari suatu produk logam/paduan. Tetapi suatu proses laku panas tidak dapat berdiri sendiri. Ia harus dipandang sebagai bagian dari suatu rangkaian proses produksi. Suatu proses laku panas yang sama, mungkin akan menghasilkan sifat yang berbeda bila proses pengerjaan sebelum/sesudahnya berbeda. Proses laku-panas (*Heat Treatment*) pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dengan pemanasan sampai dengan temperature tertentu lalu diikuti dengan penahanan selama beberapa saat, baru kemudian dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu.

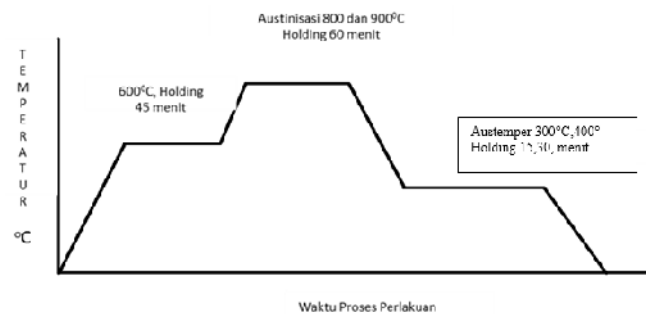


Gambar 1. Diagram Keseimbangan Logam Ferrous (Fe-Fe<sub>3</sub>C) (ASM, 1996)

*Austempering* adalah proses laku panas yang dikembangkan langsung dari diagram transformasi isothermal (I-T diagram) untuk memperoleh struktur yang sepenuhnya bainit. Temperatur austenitising untuk proses ini sama dengan temperature austenitising pada proses annealing/hardening, hanya saja disini pendinginannya dilakukan dengan quenching sampai temperature di atas Ms dan dibiarkan disana sampai transformasi menjadi bainit selesai. Sebagai media

pendingin biasanya digunakan garam cair (salt bath), dengan temperature 200 – 425 °C) dengan demikian struktur akhir seluruhnya bainit, sama sekali tidak terjadi martensit. Hasil austempering mempunyai kekuatan/kekerasan tinggi ( $R_c$  45 – 55) dengan keuletan/ketangguhan yang tinggi.

Gambar 2. memperlihatkan proses austempering yang digambarkan secara skematis, juga diperlihatkan bedanya dengan proses quench dan temper yang biasa. juga dapat dilihat bahwa austempering tidak lagi memerlukan tempering sesudah quenching. Struktur akhir dari proses austempering adalah bainit, sedang dari proses quench dan temper diperoleh martensit temper.



**Gambar 2. Diagram Pemanasan dan pendinginan VS Waktu pada Proses Austemper Ductile Iron (ADI)**

### Proses ADI

- Pada proses ADI, spesimen di Heat Treatment mulai dari temperatur kamar sampai temperatur 600 °C (preheating), sebagai pemanasan awal, kemudian di holding dengan tujuan untuk memperoleh homogenitas panas pada seluruh spesimen.
- Kemudian dilanjutkan ke proses austenisasi dengan panas antara 800-900 °C dan dilakukan holding pada temperatur tersebut selanjutnya didinginkan.

Pendinginan dengan memakai dapur listrik ke 2 dengan temperatur 300-400 °C. ini adalah proses austemper, pada proses austemper ini dilakukan holding, setelah itu didinginkan pada suhu kamar.

Kriogenik (*cryogenic*) merupakan salah satu teknologi pembekuan yang dapat meningkatkan sifat mekanik logam. Metode pembekuan (pendinginan) pada teknologi ini menggunakan nitrogen cair dengan temperature dibawah nol derajat Celsius. Proses untuk memperoleh nitrogen cair ini adalah : gas yang dimampatkan menjadi cairan (*liquid*) misalnya nitrogen (N<sub>2</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Nitrogen

cair sebagaimana telah diketahui sejak lama, dipergunakan sebagai pembekuan bahan-bahan organik untuk keperluan penyimpanan dan ekstraksi bahan-bahan penelitian bidang biologi terapan. Karbon dioksida cair pun telah sejak lama dipergunakan untuk pengisi tabung pemadam kebakaran.

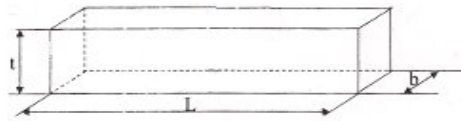
Nitrogen cair memiliki titik didih pada suhu  $-195,8$  derajat Celsius, sedangkan karbon dioksida cair  $-57$  derajat Celsius. Pada suhu yang lebih tinggi dari suhu tersebut, nitrogen dan karbon dioksida akan berbentuk gas volatil, sehingga umumnya nitrogen cair dan karbon dioksida cair berada pada suhu lebih rendah daripada titik didihnya. Dengan suhu yang sedemikian dingin, baik nitrogen cair maupun karbon dioksida cair mempunyai kemampuan membekukan bahan organik yang relatif lebih efektif daripada pendingin berbahan amonia ataupun freon.

### **METODE PENELITIAN**

Sampel uji FCD-50 diperoleh dari hasil pengecoran, dimana setelah melalui prosedur pemaduan dengan unsur yang dibutuhkan seperti Mn, Si, C dan lain-lain maka diperoleh FCD-50. FCD-50 artinya Ductile Cast Iron atau besi cor bergrafit bulat dengan kekuatan tarik  $50 \text{ kg/mm}^2$ . Besi cor ini umumnya dikenal dengan nama Ductile Cast Iron (besi tuang bergrafit bulat), bahan uji ini diperoleh dengan cara pencairan bahan baku dengan memakai dapur induksi.

Bahan yang digunakan sebagai spesimen uji dalam penelitian ini adalah FCD-50 dengan massa jenis  $7,15 \text{ g/cm}^3$  dan komposisi kimia adalah  $C = 3.1 - 3,4 \%$ ,  $Mn = 0.4 - 0.5 \%$ ,  $S \leq 0.1\%$ ,  $Si = 1.8 - 2.2 \%$ ,  $P \leq 0.1 \%$ , dan Sisanya Fe.

### **Sampel Uji Kekerasan**



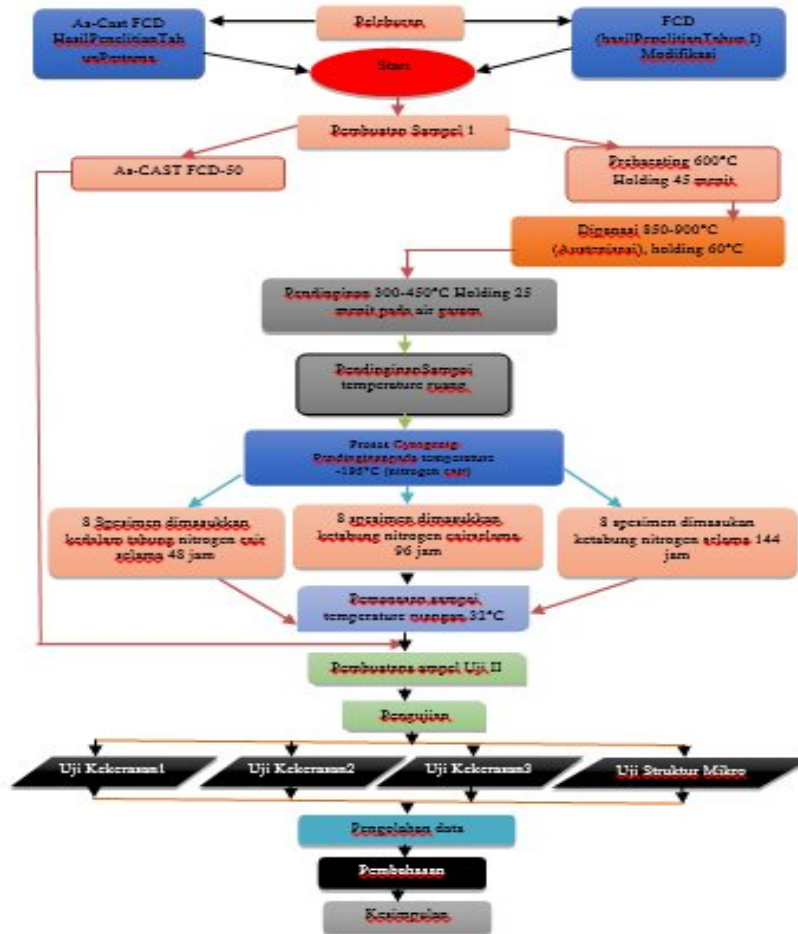
Gambar 3. Sampel Uji Kekerasan

### **Prosedur Pengujian**

FCD-50 modifikasi yang telah diketahui kekuatan tarik dan sifat mekanik lainnya yaitu kekerasan diproses kembali dengan perlakuan yang sedikit berbeda. Dimana setelah diaustemper benda uji dimasukkan ke dalam tabung cairan nitrogen dengan waktu 48 jam, 96 jam dan 144 jam. Kemudian dilakukan proses temper supaya terjadi pelunakan terhadap FCD-50 modifikasi. Selanjutnya spesimen dibentuk menjadi benda uji dan diadakan pengujian kekerasan dan uji struktur

mikro. Pengumpulan data, analisis pembahasan serta kesimpulan, apakah terjadi peningkatan pada kekerasan FCD-50.

### Diagram Alir Penelitian



## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Pengujian Kekerasan Pada FCD - 50

Tabel 1. Hasil Pengujian Kekerasan pada FCD – 50 (AS-CAST)

NO	SPESIMEN	KEKERASAN (HRC)				
		TITIK KE 1	TITIK KE 2	TITIK KE 3	TITIK KE 4	RATA-RATA
1	I	19	19.1	19.2	20.7	19.50
2	II	20.2	20.1	20.2	19.2	19.93
3	III	22.5	21.6	22	20.2	21.58
4	IV	18.7	22.6	29.5	20.7	22.88
<b>TOTAL RATA-RATA</b>						<b>20.97</b>

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan pada FCD – 50 (RENDAM 48 JAM)

NO	SPESIMEN	KEKERASAN (HRC)				
		TITIK KE 1	TITIK KE 2	TITIK KE 3	TITIK KE 4	RATA-RATA
1	I	28.4	28.9	29.1	28.6	28.75
2	II	22.1	21.9	23.3	22.8	22.53
3	III	25.1	26.2	26.6	28.5	26.60
4	IV	22	22.4	22.2	23.7	22.58
<b>TOTAL RATA-RATA</b>					<b>25.11</b>	

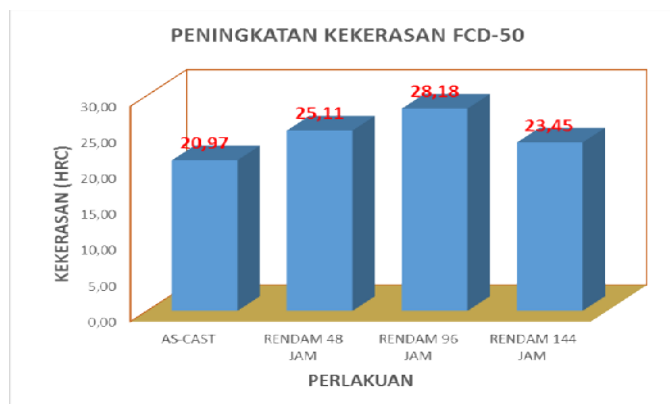
Tabel 3. Hasil Pengujian Kekerasan pada FCD – 50 (RENDAM 96 JAM)

NO	SPESIMEN	KEKERASAN (HRC)				
		TITIK KE 1	TITIK KE 2	TITIK KE 3	TITIK KE 4	RATA-RATA
1	I	28.6	28.9	27.9	29.2	28.65
2	II	28.1	28.8	25.8	29.4	28.03
3	III	28.6	27.1	27.1	26.6	27.35
4	IV	29.5	27.6	28.4	29.2	28.68
<b>TOTAL RATA-RATA</b>					<b>28.18</b>	

Tabel 4. Hasil Pengujian Kekerasan pada FCD – 50 (RENDAM 144 JAM)

NO	SPESIMEN	KEKERASAN (HRC)				
		TITIK KE 1	TITIK KE 2	TITIK KE 3	TITIK KE 4	RATA-RATA
1	I	21.7	23.7	23.9	23.7	23.25
2	II	23.4	21.9	21.4	22.1	22.20
3	III	23.6	22	24.1	24.7	23.60
4	IV	25.1	25.3	23.5	25.1	24.75
<b>TOTAL RATA-RATA</b>					<b>23.45</b>	

## B. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Pada FCD – 50

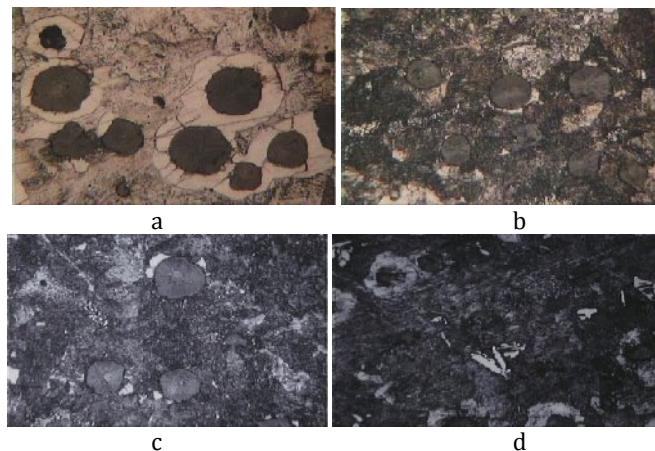


Gambar 4. Grafik Peningkatan Kekerasan FCD-50

Pada gambar 4. Diatas Grafik peningkatan kekerasan FCD-50 didapatkan suatu perubahan yang terjadi pada spesimen FCD-50 pada saat perlakuan yang diberikan, diantaranya melakukan perendaman material FCD-50 dengan Cyrogenic

selama 48 Jam, 96 Jam dan 144 Jam. Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak empat titik pada masing-masing spesimen. Untuk masing-masing perlakuan dilakukan pengujian sebanyak 4 spesimen. Dari hasil pengujian ini telah didapatkan data kekerasan seperti pada tabel hasil pengujian kekerasan FCD – 50 diatas. Pada pengujian kekerasan FCD – 50 tanpa perlakuan (As-Cast) didapatkan nilai rata-rata kekerasan sebesar 20.97 HRC. Untuk pengujian kekerasan FCD-50 dengan perendaman selama 48 jam didapatkan nilai rata-rata kekerasan sebesar 25.11 HRC, Pada pengujian kekerasan FCD-50 dengan perendaman selama 96 jam didapatkan nilai rata-rata sebesar 28.18 HRC, sedangkan untuk pengujian kekerasan FCD-50 dengan perendaman selama 144 jam didapatkan nilai rata-rata sebesar 23.45 HRC. Dari beberapa perlakuan yang diberikan pada spesimen FCD-50 telah terjadi peningkatan kekerasan dibandingkan dengan spesimen FCD-50 tanpa perlakuan. Untuk nilai kekerasan yang paling tinggi adalah dengan perendaman spesimen FCD-50 selama 96 jam, hal ini dikarenakan struktur pada material FCD-50 mengalami pemadatan yang lebih baik.

### C. Struktur Mikro FCD – 50 dalam Pengujian Kekerasan



Gambar 5. a) Struktur Mikro FCD – 50 (As-Cast), b) Struktur Mikro FCD – 50 (Rendam 48 Jam), c) Struktur Mikro FCD – 50 (Rendam 96 Jam), d) Struktur Mikro FCD – 50 (Rendam 144 Jam)

### D. Pembahasan

Dari beberapa perlakuan yang diberikan pada spesimen FCD-50 telah terjadi peningkatan kekerasan dibandingkan dengan spesimen FCD-50 tanpa perlakuan. Peningkatan kekerasan ini terjadi karena FCD-50 memperoleh perlakuan martemper dan temper ductile iron, dimana terjadi perubahan mikrostruktur. Pada FCD-50 mikrostruktur yang di kandung adalah *ferrite*, *perlite* dan *Grafite nodul*.



Dengan mikrostruktur yang dikandung *ductile cast iron* tersebut, memberikan hasil kepada sifat mekaniknya yaitu memiliki kekerasan 28 H<sub>RC</sub>. Setelah mendapat perlakuan mikrostruktur mengalami perubahan, menjadi *perlite*, *ferrite* dan *martensite*, sebagaimana terlihat pada gambar 6-8 diatas. Unsur *martensite* inilah yang memberikan nilai tambah terhadap FCD-50Modifikasi. Pada perlakuan martemper, cryogenic dan temper, diperoleh nilai kekerasan lebih tinggi dari proses tanpa perlakuan. Terjadinya peningkatan kekerasan ini karena jumlah martensit lebih banyak daripada yang terjadi pada proses tanpa perlakuan. Peningkatan kekerasan ini terjadi karena adanya proses pendinginan memakai nitrogen cair dengan temperatur -196<sup>o</sup> C. Adapun proses yang terjadi pada FCD 50 Modifikasi adalah kepadatannya meningkat karena jarak antara butir semakin rapat dan besaran butir semakin kecil.

### **KESIMPULAN**

Dari Hasil data Pengujian Kekerasan FCD-50 diatas dengan beberapa perlakuan yaitu dengan melakukan perendaman spesimen dengan cyrogenic selama 48 jam, 96 jam dan 144 jam didapatkan kesimpulan bahwa :

1. Pengujian kekerasan FCD-50 dengan perendaman selama 96 jam didapatkan nilai rata-rata sebesar 28.18 HRC lebih baik tanpa perlakuan (As-Cast),
2. Peningkatan kekerasan pada spesimen FCD-50 karena jumlah martensit lebih banyak daripada yang terjadi pada proses tanpa perlakuan (As-Cast).
3. Struktur mikro setelah dilakukan perendaman pada spesimen FCD-50 terjadi perubahan yang lebih baik *perlite*, *ferrite* dan *martensite* dari material As-cast

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

KEMENRISTEKDIKTI yang telah membiayai penelitian ini dengan skim Penelitian Strategis Nasional (PSN) Tahun Anggaran 2018. Universitas Widyagama Malang yang telah memberikan fasilitas dalam mendukung Penelitian Strategis Nasional (PSN) Tahun Anggaran 2018

### **REFERENSI**

- Avner, Sidney H., 1987. "Introduction of Physical Metallurgy", Mc Graw-hill book company, Tokyo.
- ASME., 1973. "Ductile Iron",, Struktire Alloys Hand Book, ASME

- Adjiantoro, B., 2008. Pengaruh Temperatur Austemper terhadap Perubahan Struktur Mikro dan Kekerasan Besi Cor Nodular Feritik. *Majalah Metalurgi Volume 23, No. 2.*
- Agus Suprpto et al, 2014 , Dampak Cryogenic Treatmen dan Temper terhadap Karakteristik Keausan Pahat Karbida pada Pembubutan AL T – 6061
- Andoko, 2014. Peningkatan Sifat Mekanik Nodular Cast Iron dengan Metode Dua Langkah Austempering Heat Treatment
- Barret, Craig R. ; Nix, William D. Tetelman, Alan S., 1973. "The Principles of Engineering Materials. Prectice-hall Inc. Englewood Cliffs, pp. 290.
- Bonak B., Radoluvi B., 1999. Effect of austempering temper rature on microstructure and mechanical properties of unalloyed ductile iron, Kovine, Zlitine, Tehnologije 33-6.
- Bocku S., Venckunas A., Zaldarys G., 2008. Relation between Section Thickness, Microstructure and Mechanical Properties of Ductile Iron Castings. *Materials science (medžiagotyra). Vol. 14, No. 2.*
- Djaprie, Sriati. M. Met, 1988. " Ilmu dan teknologi bahan terjemahan, Erlangga. Jakarta
- Djaprie, Sriati. M. Met, 1993. " PerlakuanPanas Besi Tuang", Universitas Indonesia
- H. Alaalam Mohamed., 2008. Fatigue Properties of an Alloyed Astempered Ductile Iron of initially Ferritic Matrix Structure Using Thermography as NDT, TINDT, 1-15.
- Higgins, Raymond A., 1984. Engineering Metallurgy. Edward Arnold UK, pp 218-257, 285-354.
- Ismail M., 2009. Pengaruh penambahan unsur silicon terhadap sifat mekanik pembuatan besi tuang nodular, M.P.I, Vol. 3, No. 3, 215-220.
- Minnebo Philip., 2005. Fracture Properties Of Ductile Cast Iron Used for Thick-Walled Components, Institute for Energy, Patten (the Netherlands)
- Nukman, Bustanul Arifin, Bambang Sugiarto., 2002. Pengaruh penmbahan unsur 0,25% mo pada besi tuang nodular yang diaustenisasi dan diaustemper memnjadi austemper ductile iron terhadap sifat mekanisnya, makara, teknologi, Vol. 6, NO. 1..
- Pedersen Karl Martin and Tiedje Niels S. 2008. Graphit nodule count and size distribution in thin walled ductile cast iron, Post-print of article in Materials Characterization, 1111-1121.
- R.A. Gonzaga, Landa P. Martinez, A. Perez, P Villnueva, (2009) , Mechanical properties dependency of the pearlite content of ductile irons. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 33, Issue 2.*