

Pengaruh Perlakuan Panas *Austempering* pada Besi Tuang Nodular FCD 600 Non Standar

Indra Sidharta^{1,a,*}, Putu Suwarta^{1,b}, Moh Sofyan^{1,c}, Wahyu Wijanarko^{1,d}, Sutikno^{1,e}

¹Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Mesin ITS, Surabaya, Indonesia

^aindra.sidharta@gmail.com, ^bproedish@gmail.com, ^csofyan.m52@gmail.com, ^dwijanarko@me.its.ac.id.,
email: ^esutikno@me.its.ac.id.

Abstrak

Suatu upaya dalam membuat komponen *crankshaft* lokal telah dilakukan dengan menggunakan material besi tuang nodular FCD 600 hasil produksi perusahaan UKM lokal. Material FCD 600 tersebut memiliki kadar karbon yang berlebihan sehingga diperlukan perlakuan panas tambahan untuk memperbaiki/ meningkatkan sifat mekanik FCD 600 tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh perlakuan panas *austempering* pada sifat mekanik dan struktur mikro besi tuang nodular FCD 600 yang memiliki kadar karbon berlebih. Proses *austempering* pada besi tuang nodular FCD 600 dimulai dengan memanaskan material hingga temperatur 900 C kemudian ditahan selama 1 jam. Selanjutnya material dipindahkan ke dapur salt bath untuk proses *austempering* pada temperatur 275 C, 325 C dan 400 C dengan *holding time* masing-masing selama 30 menit, 60 menit dan 120 menit. Material FCD 600 yang telah mengalami perlakuan panas *austempering* memiliki struktur matriks penyusun *bainiteic ferrite*. Nilai kekuatan tarik dan kekerasan mengalami kenaikan. Nilai kekuatan tarik tertinggi terjadi pada temperatur 325 C dan paling rendah terjadi pada temperatur 400 C. Sedangkan nilai kekerasan paling tinggi terjadi pada temperatur 275 C kemudian semakin turun dengan bertambahnya temperatur *austempering* dan *holding time*.

Kata kunci : *Austempering*, kadar karbon berlebih, FCD 600, *bainiteic ferrite*

Latar belakang

Pembuatan komponen *crank shaft* untuk proyek mesin SINJAI telah dilakukan melalui proses pengecoran. Material yang digunakan untuk komponen *crank shaft* adalah besi tuang nodular FCD 600 yang diproduksi oleh perusahaan UKM lokal. Salah satu permasalahan yang timbul adalah komposisi karbon dari FCD 600 tersebut lebih tinggi daripada standar, sehingga diperlukan suatu perlakuan panas sebagai usaha untuk meningkatkan sifat mekanik dari FCD 600 tersebut.

Austempering pada besi tuang nodular, atau lebih dikenal dengan kelas material *Austempered Ductile Iron* (ADI) memiliki keunggulan sifat mekanik seperti kekuatan, ketangguhan dan kekerasan. Keunggulan lain seperti ketahanan aus yang tinggi, massa jenis yang lebih rendah daripada baja karbon, biaya produksi yang lebih murah daripada baja dan aluminium, serta machinability yang baik membuat ADI menjadi material alternatif dalam program pengurangan berat pada beberapa industri seperti industri otomotif, transportasi, mesin pertanian dan alat berat. Selama proses *austempering*, ADI mengalami transformasi yaitu austenite (γ) akan terdekomposisi menjadi *bainiteic ferrite* yang terdiri dari ferrite (α) dan *austenite* kaya karbon

(γ_{hc}), perpaduan dua struktur mikro tersebut juga dinamakan *ausferrite* [1].

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh perlakuan panas *austempering* pada sifat mekanik dan struktur mikro besi tuang nodular FCD 600 yang memiliki kadar karbon lebih tinggi daripada standar.

Metode Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah material FCD 600 hasil pengecoran dalam bentuk standar Y-Block. Y-Block tersebut kemudian dimachining menjadi sepesimen uji kekerasan dan tarik. Komposisi kimia dari spesimen FCD 600 yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia spesimen FCD 600 yang digunakan dalam penelitian.

Unsur	% Berat
C	5.67
S	0.0054
Mn	0.512
P	0.015
Ni	0.07
Cr	0.24
Mo	0.02
Si	2.32

Selanjutnya spesimen dipanaskan pada temperatur 900 °C selama 1 jam, kemudian kemudian didinginkan dalam larutan *salt bath* yang terdiri dari KNO₃ dan NaNO₃ pada temperatur *austempering* 250 °C, 300 °C dan 400 °C, dan diberi waktu penahanan (*holding time*) selama 30 menit, 60 menit, dan 120 menit.

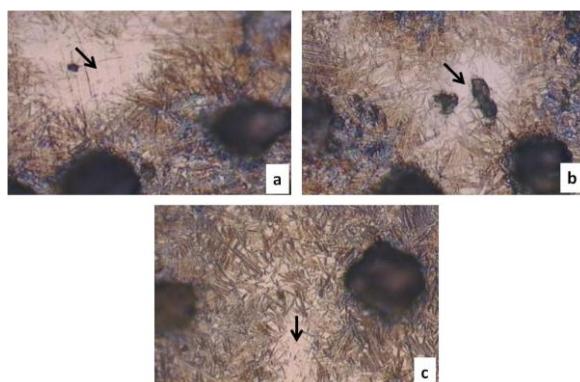
Pengamatan struktur mikro, pengujian *tensile* dan kekerasan dilakukan untuk mempelajari karakteristik material FCD 600 yang diberi perlakuan *austempering*.

Data dan Pembahasan

Struktur Mikro. Struktur mikro awal material FCD 600 ditampilkan pada Gambar 1, dimana terlihat bahwa pada material tersebut memiliki struktur mikro yang terdiri dari *ferrite* yang berada disekitar grafit nodular dan matriks *pearlite*, suatu struktur yang umum pada besi tuang nodular dalam kondisi *as-cast*.



Gambar 1. Struktur mikro as-cast FCD 600.

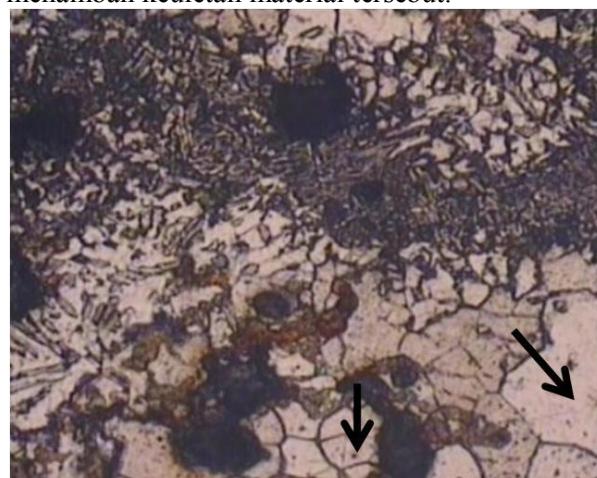


Gambar 2. Struktur mikro hasil *austempering* 275 °C (a) *holding time* 30 menit, (b) *holding time* 60 menit, (c) *holding time* 120 menit. Tanda panah menunjukkan struktur *blocky austenite*.

Pada proses *austempering* pada temperatur 275°C, terlihat perubahan dari struktur mikro awal. Spesimen dengan *holding time* 30 (Gambar 2(a)) terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk adalah *bainitic ferrite* yang terdiri dari *ferrite* (α) dan *austenite* kaya karbon (γ_{Hc}). *Bainite* yang

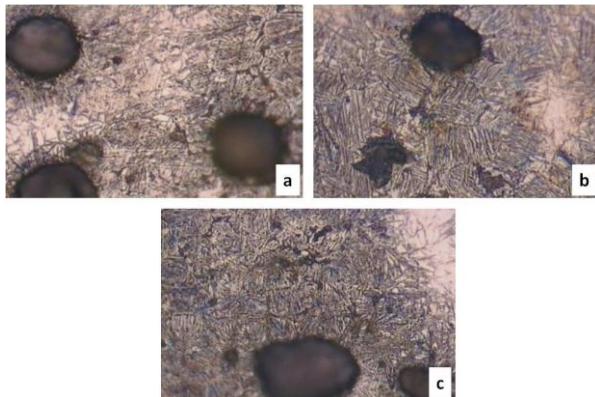
terbentuk menyerupai jarum, bentuk tipikal *lower bainite* dimana setelah dilakukan pengujian *microhardness* didapatkan nilai kekerasan 300-500 HV. *Lower bainite* biasanya terbentuk pada temperatur rendah (235-330 °C) [1, 2]. Selain itu, juga terdapat struktur *blocky austenite* (ditunjukkan dengan anak panah) yang mempunyai kekerasan lebih besar dari *bainite*, dimana setelah dilakukan pengujian *microhardness* didapatkan nilai kekerasan sekitar 700-800 HV. *Blocky austenite* mempunyai nilai kekerasan yang tinggi karena *blocky austenite* cenderung mengandung *martensite* [1]. Begitu juga pada *holding time* selama 60 dan 120 menit tampak pada Gambar 2(b) dan Gambar 2(c), struktur mikro yang terbentuk adalah *bainitic ferrite* dan *blocky austenite*.

Selain terbentuk struktur *bainitic ferrite* dan *blocky austenite*, pada temperatur 275 °C juga ditemukan struktur *retained austenite* pada beberapa titik seperti yang terlihat pada Gambar 3. Setelah dilakukan pengujian *micro hardness*. *retained austenite* mempunyai nilai kekerasan lebih rendah daripada *blocky austenite* maupun *bainitic ferrite*, yaitu 200 -250 HV. sehingga dengan adanya struktur *retained austenite* dapat menambah keuletan material tersebut.



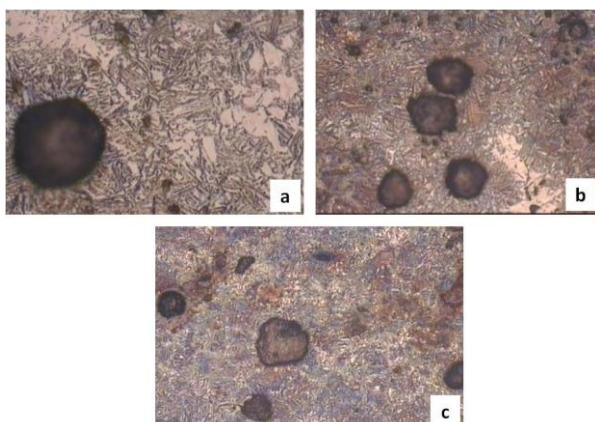
Gambar 3. Struktur *retained austenite* yang terdapat pada spesimen setelah diberi *austempering*.

Gambar 4 menunjukkan struktur mikro dari spesimen yang diberi perlakuan *austempering* 325°C. Struktur mikro yang terbentuk adalah *bainitic ferrite* yang terdiri dari *ferrite* dan *high carbon austenite*. *Bainite* tampak menyerupai jarum-jarum tapi lebih lebar dari *bainite* pada temperatur 275 °C. *Blocky austenite* tampak dengan bagian yang berwarna putih. Semakin lama *holding time* *bainite* yang terbentuk semakin mengumpul dan *Blocky austenite* yang terbentuk semakin sedikit.



Gambar 4. Struktur mikro hasil *austempering* 325 °C (a) *holding time* 30 menit, (b) *holding time* 60 menit, (c) *holding time* 120 menit.

Struktur mikro *austempering* pada 400 °C ditunjukkan pada Gambar 5. *Holding time* selama 30 menit menghasilkan struktur mikro *bainitec* ferrite yang terdiri dari ferrite dan austenite kaya karbon. Tampak blocky austenite berwarna putih. Struktur *bainitee* yang terbentuk mulai lebih gelap dan lebih lebar menyerupai plate *bainitic/coarse bainitee* typical *Upper Bainite*. *Upper bainite* terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi (370°C-400°C). Pada temperatur yang tinggi, laju difusi karbon yang terjadi juga akan lebih tinggi, sehingga *austenite* kaya karbon yang terbentuk menjadi lebih banyak.



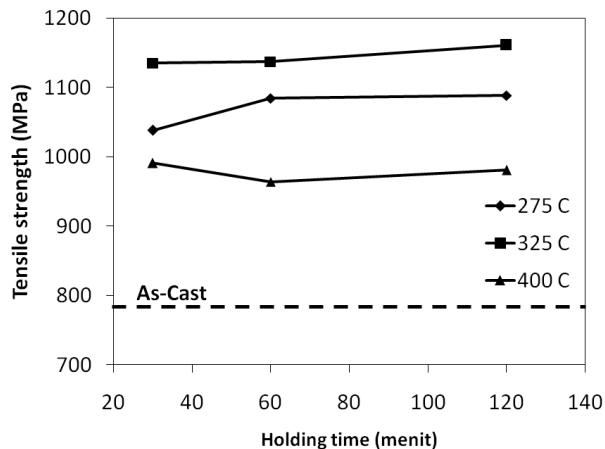
Gambar 5. Struktur mikro hasil *austempering* 400 °C (a) *holding time* 30 menit, (b) *holding time* 60 menit, (c) *holding time* 120 menit.

Sifat Mekanik. Hasil pengujian mekanik terhadap spesimen as-cast FCD 600 non standar menunjukkan bahwa spesimen tersebut memiliki sifat mekanik yang masih berada dalam *range* kualitas FCD 600 berdasarkan standar JIS, seperti yang ditunjukkan pada

Tabel 2. Perbandingan sifat mekanik FCD 600 non standar (as-cast) dan FCD 600 standar.

	As cast FCD 600 non standar	FCD 600 Standar
Hardness (BHN)	220.8	170-270
Tensile Strength (Mpa)	782.67	Min. 600
Elongation (%)	3.01	Min. 3

Pengaruh perlakuan *austempering* terhadap kekuatan tarik (*tensile strength*) ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6 tersebut tampak bahwa material FCD 600 mengalami kenaikan harga kekuatan tarik setelah mengalami proses *austempering*. harga *tensile strength* tertinggi terjadi pada temperatur 325°C. sedangkan harga *tensile strength* paling rendah terjadi pada temperatur 400°C.



Gambar 6. Pengaruh *holding time* terhadap kekuatan tarik material FCD 600 non standar setelah diberi perlakuan *austempering*.

Selain dipengaruhi oleh temperatur *austempering*, perubahan kekuatan tarik juga dipengaruhi oleh *holding time*. Kekuatan tarik berubah seiring berubahnya waktu, namun perubahan nilai kekuatan tarik ini tidak terlalu signifikan seperti halnya pengaruh perubahan temperatur. Pada temperatur 275 °C, nilai kekuatan tarik paling kecil terjadi pada *holding time* 30 menit, selanjutnya nilai kekuatan tarik mengalami sedikit kenaikan pada *holding time* 60 menit dan 120 menit. Pada temperatur 325 °C kecenderungan kenaikan nilai kekuatan sama seperti pada temperatur 275 °C, nilai kekuatan tarik paling kecil terjadi pada *holding time* 30 menit selanjutnya mengalami kenaikan pada

holding time 60 menit dan kekuatan tarik paling tinggi terjadi pada *holding time* 120 menit. Pada temperatur 400 °C, pola kenaikan nilai kekuatan tarik berbeda dengan pada temperatur sebelumnya.

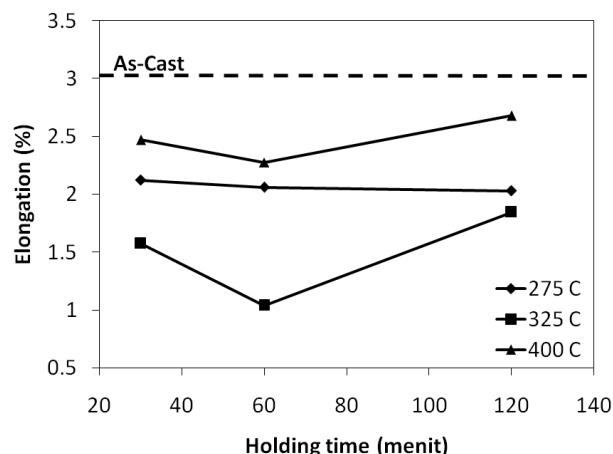
Pada temperatur ini, nilai kekuatan tarik paling tinggi justru terjadi pada *holding time* 30 menit. Selanjutnya mengalami penurunan nilai kekuatan tarik pada *holding time* 60 menit yang merupakan nilai kekuatan tarik paling rendah. Temperatur autempering yang tinggi menyebabkan proses difusi karbon kedalam austenit semakin cepat, sehingga jumlah austenit yang terbentuk akan semakin banyak dan semakin stabil. Hal tersebut menyebabkan turunnya nilai kekuatan tarik.

Gambar 7 menunjukkan pengaruh *austempering* dan *holding time* yang berbeda terhadap elongation dari spesimen. Nilai elongation tersebut merepresentasikan keuletan dari spesimen setelah diberi perlakuan *austempering*.

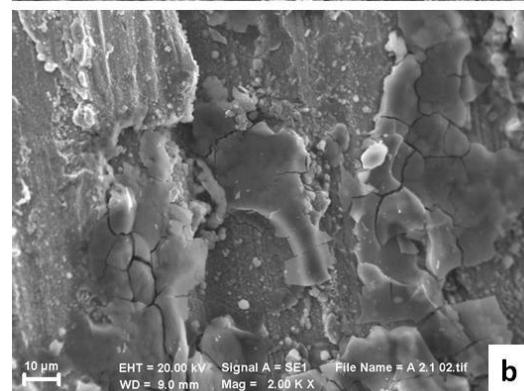
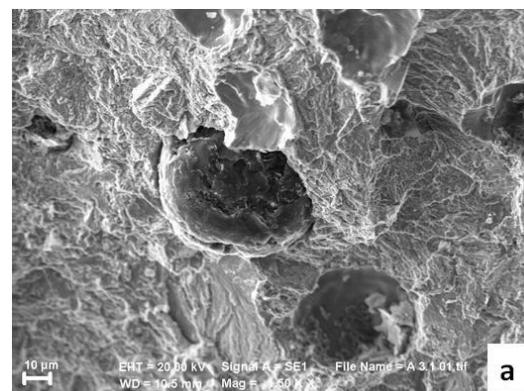
Kecenderungan yang terjadi adalah semua spesimen setelah *austempering* menunjukkan nilai elongation yang lebih rendah bila dibandingkan dengan kondisi as-cast. Hal tersebut mengimplikasikan bahwa terjadi penurunan keuletan dari material setelah diberi perlakuan *austempering*.

Elongation paling rendah terjadi pada temperatur 325°C, sedangkan nilai elongation paling tinggi terjadi pada temperatur 400 °C. Kecenderungan tersebut sesuai dengan nilai kekuatan tarik (Gambar 6). Variasi *holding time* tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada keuletan material yang digunakan dalam penelitian ini.

Nilai elongation tersebut sesuai dengan hasil pengujian SEM pada masing masing permukaan patahan material yang paling getas dan yang paling ulet. Dari nilai elongation dapat diketahui bahwa material paling getas adalah material dengan temperatur *austempering* 325°C *holding time* 60 menit. Sedangkan material paling ulet adalah material dengan temperatur *austempering* 400°C *holding time* 120 menit. Dari gambar hasil pengujian SEM, pada Gambar 8(a) terlihat pola patahan ulet (*dimple*) dengan matrik *bainitic ferrite* terlihat berwarna putih mengelilingi grafit. Sedangkan pada Gambar 8(b) terlihat pola patahan pada material yang lebih getas.



Gambar 7. Pengaruh *holding time* terhadap elongation material FCD 600 non standar setelah diberi perlakuan *austempering*.



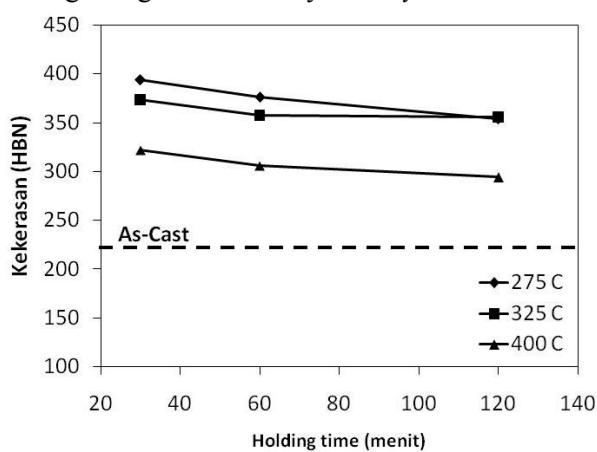
Gambar 8. Hasil Pengujian SEM pada penampang pola patahan material uji tarik (a) *Austempering* 400 °C (b) *Austempering* 325 °C.

Gambar 9 menunjukkan bahwa material FCD 600 mengalami kenaikan harga kekerasan setelah mengalami proses *austempering*. Harga kekerasan tertinggi terjadi pada temperatur 275°C. Selanjutnya mengalami penurunan nilai kekerasan dengan bertambahnya temperatur *austempering*. Nilai kekerasan paling rendah terjadi pada temperatur 400°C.

Pada masing-masing temperatur *austempering*, nilai kekerasan paling tinggi terjadi pada *holding time* 30 menit. Selanjutnya mengalami penurunan seiring bertambahnya *holding time* dan nilai kekerasan paling rendah terjadi pada *holding time* 120 menit. Pola grafik kekerasan tersebut sama dengan hasil penelitian terdahulu [3], dimana material FCD 50 mengalami peningkatan kekerasan setelah mengalami proses *austempering*. nilai kekerasan semakin menurun seiring bertambahnya temperatur *austempering* dan *holding time*.

Kekerasan semakin menurun dengan semakin bertambahnya temperatur. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada temperatur 275°C karena masih sedikitnya struktur *bainitic ferrite* yang terbentuk. Selain itu, Pada temperatur rendah (230°C-330°C), tipe *bainite* yang terbentuk adalah *lower bainite (needle-like)* yang memiliki nilai kekerasan yang sangat tinggi (mencapai 500 HV) [4, 5].

Sebaliknya, pada temperatur yang tinggi (370°C-400 °C) terbentuk *Upper bainite (Coarse bainite)* yang memiliki nilai kekerasan yang rendah (280-320 HB) [5]. Temperatur *austempering* yang semakin tinggi akan menyebabkan proses difusi karbon kedalam austenit semakin cepat, sehingga jumlah austenit yang terbentuk akan semakin banyak dan semakin stabil. Austenit kaya karbon ini bersifat ulet sehingga kekerasan akan turun. Seiring dengan naiknya *austempering* time, nilai kekerasan cenderung menurun akibat proses pembentukan *bainitic ferrite* dan *austenite* kaya karbon, serta diiringi dengan menurunnya *blocky austenite*.



Gambar 9. Pengaruh *holding time* terhadap kekerasan material FCD 600 non standar setelah diberi perlakuan *austempering*.

Kesimpulan

Material awal FCD 600 yang memiliki struktur mikro ferrit, pearlit dan grafit nodular mengalami perubahan struktur mikro setelah mengalami proses *austempering* yaitu struktur mikro *bainitic ferrite*. Setelah proses perlakuan panas *austempering*, material FCD 600 mengalami peningkatan harga kekerasan dan tensile strength dibandingkan dengan material awal. Kekuatan tarik mengalami kenaikan pada temperatur 325 °C dan turun lagi pada temperatur 400 °C yang merupakan nilai kekuatan tarik paling rendah. Pada temperatur 275°C nilai kekuatan tarik paling rendah terjadi pada *holding time* 30 menit kemudian menalami kenaikan seiring bertambahnya temperatur. Pada temperatur 325 °C nilai kekuatan tarik paling rendah terjadi terjadi pada *holding time* 30 menit kemudian menalami kenaikan seiring bertambahnya temperatur. Pada temperatur 400°C nilai kekuatan tarik mengalami penurunan pada *holding time* 60 menit, kemudian meningkat lagi pada *holding time* 120 menit. Nilai kekerasan paling tinggi terjadi pada temperatur 275°C dan mengalami penurunan nilai kekerasan dengan naiknya temperatur *austempering*. nilai kekerasan paling rendah terjadi pada temperatur 400°C.

Referensi

- [1]. M. Bahmani, R. Elliot, N. Varahram, The *Austempering Kinetics and Mechanical Properties of an Austempered Cu–Ni–Mo–Mn Alloyed Ductile Iron*, *Journal of Material Science* 32 (1997) 4783-4791.
- [2]. Branka Bosnjak, et al, *Microstructural and Mechanical Characteristics of Low Alloyed Ni-Cu-Mo Austempered Ductile Iron*, *ISIJ International* 40 No. 12, (2000) 1246-1252.
- [3]. I. Sidharta, W. Berata, Karakter Mekanik Dan Struktur Mikro FCD 500 Hasil *Austempering* Dalam *Austempered Ductile Iron*, *SNTI* 13, 2007.
- [4]. D. C. Wen, T. S. Lei, The Mechanical Properties of a Low Alloyed Austempered Ductile Iron in the Upper Ausferrite Region, *ISIJ International* 39 No. 5, (1999) 493-500.
- [5]. Cast Metals Development Ltd., *Austempered Ductile Iron Castings - Advantages, Production, Properties and Specifications, Materials & Design* 13 No. 5 (1992) 285-297.