

**PENGARUH WAKTU AUSTEMPERING
TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO
AUSTEMPERED DUCTILE IRON NON PADUAN SERTA PADUAN Cu**

Yusuf Umardhani¹⁾

Abstrak

Material ADI adalah perlakuan panas dari besi cor nodular yang mempunyai struktur mikro yaitu *ausferrite*, terdiri dari austenit karbon tinggi dan *ferit bainitic* grafit nodul yang menyebar. Struktur mikro unik ini menghasilkan sifat unggul ADI: kekuatan tinggi, ketangguhan, tahan aus dan *machinability* yang baik. Besi cor nodular yang dipadu dengan 0,5% dan 1,0% tembaga, diaustenitisasi pada temperatur 850°C selama 120 menit dan di-*austemper* pada salt bath (KNO₃ + NaNO₂) temperatur 300°C selama 1, 2 dan 4 jam. Lingkup dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh waktu *austempering* terhadap sifat mekanis (kekuatan tarik dan kekerasan) dan struktur mikro ADI. Kekuatan tarik dan kekerasan sangat dipengaruhi oleh struktur mikro, matrik yang terbentuk dan komposisi paduan.

Dari pengujian dapat diambil nilai kekuatan tarik dan kekerasan material uji yang akan semakin meningkat apabila waktu austempering diberikan selama 4 jam dengan penambahan 1,0% Cu yaitu sebesar 995,87 Mpa dan untuk HBN 335,57 dan akan semakin menurun pada waktu *austempering* 1 jam material non paduan sebesar 263,07 Mpa dan untuk HBN 205,23. hal ini dikarenakan pembentukan bainit yang terjadi lebih banyak pada waktu austempering yang tinggi

Kata Kunci : *Ausferrite*, *Austempering*, Besi cor nodular, Grafit nodul, Struktur mikro, Kekuatan tarik, Kekerasan

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Besi cor merupakan paduan eutektik dari besi dan karbon dimana sering digunakan dalam dunia industri misalnya untuk pembuatan poros engkol pada mesin. Suhu cairnya yang relatif rendah ~1200 °C, Hal ini menguntungkan oleh karena mudah dicairkan, pemakaian bahan bakar lebih irit, dapur peleburan lebih sederhana dan logam cairnya dapat mengisi cetakan yang rumit dengan mudah. [Van Vlack, 1992]

Austempered Ductile Iron (ADI) merupakan suatu material yang didapatkan dari salah satu proses heat treatment dari besi cor *nodular*. Material ini mempunyai keunikan dimana matrik mikro stukturanya terdiri dari *high-carbon austenite (ghc)* dan *bainite* dengan grafit nodular didalamnya. Dengan struktur mikro ADI menunjukkan bahwa material tersebut secara sifat mekanik dan fisik sangat *remarcable*, sehingga material ini sangat baik digunakan dalam bidang manufaktur karena biaya yang murah. [Bonjak, 1997]

TINJAUAN PUSTAKA

Besi cor merupakan paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), Daerah komposisi kimia ditetapkan dalam diagram keseimbangan Fe-C pada batas kelarutan karbon pada besi y, yaitu mengandung 2% karbon atau lebih, tetapi besi cor yang nyata terdiri dari paduan yang berkomponen banyak yang mengandung Si, Mn, P, S dan unsur-unsur lainnya walaupun sebenarnya masih mengandung unsur-unsur lain namun tidak terlalu besar pengaruhnya [Surdia Tata, 1995]

Sifat mekanik besi cor sangat dipengaruhi oleh struktur mikronya yaitu fasa matrik dan grafitnya. Struktur besi cor terbentuk karena terjadinya proses pembekuan dari besi cor cair (1200 °C), strukturnya terdiri dari austenit dan sementit. Struktur mikro tersebut ditentukan oleh laju pendinginan, perlakuan saat cair, perlakuan panas dan unsur paduan. [Van Vlack, 1992]

Dengan penambahan Mg atau Ce dalam besi cor, maka grafit coran akan berbentuk bulatan. Grafit yang berbentuk nodular, mempunyai derajat konsentrasi tegangan yang sangat kecil, maka kekuatan besi cor menjadi lebih baik. Unsur-unsur lain yang dapat membulatkan grafit yaitu Ca, Na, K, Li, Ba, Sr, Zn, dsb. Telah dikenal, tetapi didasarkan atas masalah harga maka dipilih unsur Mg yang paling menguntungkan. [Surdia Tata, 1995]

Austempered Ductile Iron (ADI) adalah suatu besi cor yang dapat dibentuk dari proses heat-treated. Mempunyai suatu struktur mikro matriks *acicular* yang unik, terdiri dari *high-carbon austenite (γ_{hc})* dan *bainite (α)* dengan grafit nodular/bulat di dalamnya. Dengan struktur mikro ADI ini, menunjukkan sifat fisis dan mekaniknya *remarcable* (luar biasa).

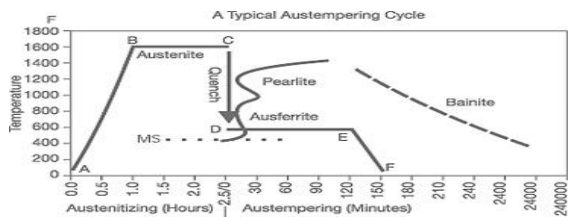
Dibawah ini merupakan tabel penggolongan dari *Austempered Ductile Iron*.

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

Tabel 1. ASTM A897/897M -02 *Minimum Property Specification For ADI Casting* [Hayrynen, 2002]

Grade	Tensile Strength (MPa/Ksi)	Yield Strength (MPa/Ksi)	Elongation (%)	Impact Energy (J/ft-lb)	Typical Hardness (BHN)
1	850 / 125	550 / 80	10	100 / 75	269 - 321
2	1050 / 150	700 / 100	7	80 / 60	302 - 363
3	1200 / 175	850 / 125	4	60 / 45	341 - 444
4	1400 / 200	1100 / 155	1	35 / 25	366 - 477
5	1600 / 230	1300 / 185	N/A	N/A	444 - 555

Dibawah ini merupakan diagram proses dari *Austempered Ductile Iron*



Gambar. 1. Diagram Proses Austempering [Miguel A.Y, 2001]

Pada gambar di atas, proses austemper terdiri dari dua tahap, yaitu

1. Austenitisasi
Proses pemanasan besi pada temperatur antara 840°C - 950°C (dari A ke B) kemudian ditahan selama 15 menit sampai 2 jam agar matrik austenit dalam besi homogen
2. Austemper
Material dicelup cepat dari temperatur austenit ke temperatur austemper (dari C ke D) dalam salt bath dengan temperatur salt bath antara 250 °C sampai 450 °C dan ditahan selama 0,5 sampai 4 jam (dari D ke E). Kemudian material didinginkan dalam temperatur kamar (dari E ke F).

Dalam penelitian ini unsur paduan yang ditambahkan adalah Cu (tembaga) sebanyak 0,5% dan 1,0%. Cu (tembaga) dipilih karena mempunyai sifat menggalakkan grafit.

METODE PENELITIAN

Prosedur Pengujian

Untuk mengetahui pengaruh unsur Cu terhadap kekuatan besi cor *nodular*, maka pada komposisi material dasar ditambah Cu sampai persentase tertentu. Penambahan yang dilakukan adalah 0,5% Cu dan 1,0% Cu. Tahap-tahap penelitian dimulai dari pembuatan batang uji (*test bar*), penyiapan spesimen uji pengujian tarik, uji kekerasan dan metalografi

Penyiapan Spesimen Uji

Untuk kepentingan pengujian diperlukan penyiapan spesimen uji. Adapun spesimen uji yang disiapkan adalah spesimen uji tarik, uji kekerasan dan spesimen uji metalografi. Untuk keperluan pengujian tarik, dimensi spesimen uji mengacu pada standar ASTM E8. (ASM, 1990) untuk spesimen uji berpenampang *rectangular*. Spesimen yang digunakan untuk uji kekerasan berbentuk silinder dengan diameter 20 mm dan tinggi 15 mm. Sebagian dari *test bar* juga diambil untuk dijadikan spesimen metalografi yang mempunyai dimensi sama dengan spesimen uji kekerasan.

Proses Austempering

Dalam penelitian ini spesimen uji di panaskan dalam tungku sampai temperatur 850⁰ C, dan ditahan selama 2 jam., dilanjutkan dengan tahap quenching dan dilanjutkan dengan proses austempering pada temperatur 300⁰C dengan variasi temperatur penahanan 1 jam, 2 jam dan 4 jam. Kemudian dilanjutkan dengan pendinginan udara.

DATA DAN ANALISA HASIL PENGUJIAN

Data dan Analisa Komposisi Spesimen Uji

Spesimen Data hasil pengujian komposisi kimia terhadap besi *Austempered Ductile Iron* dengan paduan tembaga (Cu) 0,5 % ditunjukan dalam Tabel 2. Data yang diperoleh ini sebagai sampel acuan untuk ADI dengan variasi paduan tembaga yang lainnya.

Tabel 2. Komposisi Kimia Spesimen Uji Pada NP2

Komposisi kimia	Prosentase Unsur						
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
NP2	91,89	3,57	3,41	0,513	0,084	0,002	0,070
	Mo	Ni	Al	B	Co	Cu	Mg
	0,000	0,046	0,014	0,000	0,003	0,105	0,018
	Nb	Pb	Sn	Ti	V	W	
	0,007	0,0017	0,001	0,017	0,002	0,034	

Dari data yang diperoleh pada pengujian dibandingkan data klasifikasi besi cor yaitu kandungan karbon pada spesimen uji sebesar 3,57% sehingga material ini dapat digolongkan dalam klasifikasi besi cor kelabu dan besi cor nodular, kandungan karbon yang tinggi antara 3 sampai 4% dapat meningkatkan kekuatan tarik material akan tetapi elongasi dan kekerasannya dapat diabaikan. Kandungan silikon sebesar 3,41% sudah melebihi batas dari klasifikasi yang ditetapkan. Silikon merupakan unsur penting dalam ADI karena dapat berfungsi menggalakan penggrafitan, menurunkan kelarutan karbon dalam austenit dan meningkatkan temperatur eutektik dan pemacu pembentukan bainit karbida. Peningkatan silikon dapat meningkatkan kekuatan impak dari ADI. [Ref. 16 hal. 33-34] Kandungan silikon yang besar akan mengakibatkan kecenderungan membentuk besi cor kelabu, namun dengan penambahan sedikit unsur magnesium yang cukup dapat menghambat penggrafitan bentuk serpih (*flake*) dan membentuk grafit bulat (*spheroid*).

Pada spesimen uji kandungan mangan 0,513% sulfur 0,004% dan fosfor 0,089% serta magnesium sebesar 0,018% .

Dari komposisi ketiga unsur terakhir mempertegas bahwa spesimen uji tersebut termasuk klasifikasi besi cor *nodular*. Untuk meningkatkan sifat dan menurunkan kepekaan ADI terhadap ukuran bagian dan jumlah *nodul*, maka sebaiknya untuk membatasi kadar mangan dalam ADI lebih kecil dari 0,3%.

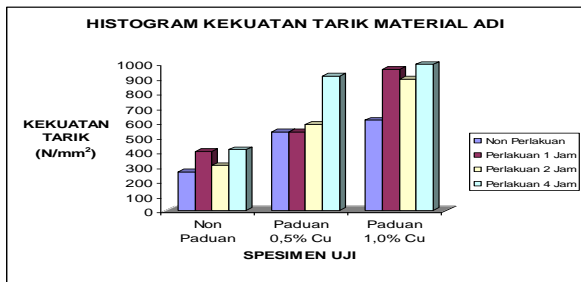
Apabila dibandingkan dengan rencana komposisi kandungan Cu yang diharapkan sebesar 0,5% dengan data hasil pengujian ternyata berbeda. Hal ini disebabkan adanya unsur lain diluar rencana yaitu unsur Al, Ti, V, Cr dan Co yang mungkin sudah ada dalam bahan baku yang digunakan sebelumnya.

Data dan Analisa Uji Tarik

Data Uji Tarik

Tabel 3. Data hasil pengujian tarik ADI

Kode	Perlakuan	UTS _(σ) (MPa)	Kenaikan %	Kode	UTS _(σ) (MPa)	Kenaikan %	Kode	UTS _(σ) (MPa)	Kenaikan %
NP1	Non	263,07	0	NP2	535,49	0	NP3	615,18	0
ANP	1 Jam	400,57	52,28	AP2	537,76	0,42	AP3	960,54	56,04
BNP	2 Jam	307,77	16,99	BP2	585,29	9,29	BP3	895,96	45,64
CNP	4 Jam	415,13	57,80	CP2	915,91	71,04	CP3	995,87	61,88



Gambar 2. Histogram nilai kekuatan tarik rata-rata ADI untuk setiap variasi paduan tembaga (Cu).

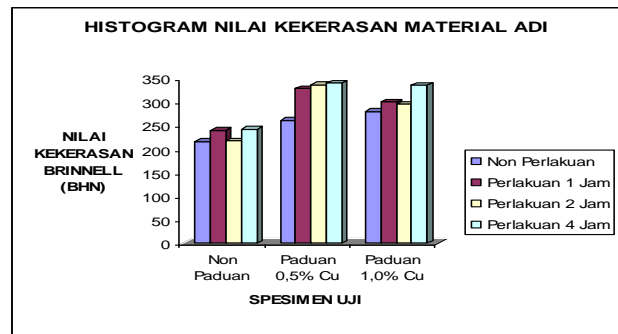
Penambahan unsur tembaga (Cu) dan perlakuan dengan variasi waktu *austempering* terlihat jelas memberikan peningkatan kekuatan tarik pada Austempered Ductile Iron. Nilai kekuatan tarik terendah terlihat pada non paduan tembaga non perlakuan yaitu sebesar 263,07 N/mm² (Mpa). Sedangkan nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada paduan tembaga 1,0% perlakuan 4 jam dengan peningkatan sebesar 278,56%, yaitu sebesar 995,87 N/mm² (Mpa). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kekuatan tarik pada material yang telah dilakukan *austempering* dengan variasi lama penahanan sangat tinggi dan penambahan tembaga, mencapai 2 kali bahkan lebih dari kekuatan tarik spesimen awal. Nilai kekuatan tarik ini didapat dari merata-rata tiga kali nilai pengujian tarik yang dilakukan tiap spesimen non paduan dan paduan Cu dan tiap variasi perlakuan waktu *austempering*.

Data dan Analisa Uji Kekerasan

Data hasil pengujian kekerasan yang dengan menggunakan standar kekerasan Rockwell .

Tabel 4. Data hasil pengujian kekerasan ADI

Kode	Perlakuan	BHN	Kenaikan (%)	Kode	BHN	Kenaikan (%)	Kode	BHN	Kenaikan (%)
(NP1)	Non	216,20	0	(NP2)	261,6	0	(NP3)	279,70	0
(ANP)	1 Jam	240,36	11,17	(AP2)	329,26	25,86	(AP3)	300,24	7,34
(BNP)	2 Jam	217,72	0,70	(BP2)	336,49	28,61	(BP3)	295,91	5,79
(CNP)	4 Jam	242,03	11,94	(CP2)	341,12	30,39	(CP3)	335,57	19,97

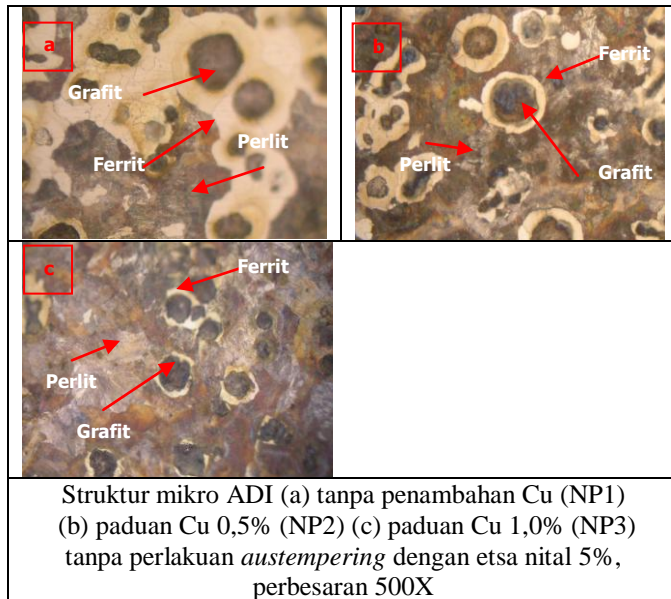


Dari data nilai kekerasan terlihat bahwa pemaduan tembaga dan waktu *austempering* mempengaruhi nilai kekerasan Austempered Ductile Iron. Perbedaan penambahan tembaga (Cu) dan waktu *austempering* pada ADI memberikan efek kenaikan harga kekerasan yang dapat dilihat pada histogram nilai kekerasan diatas.

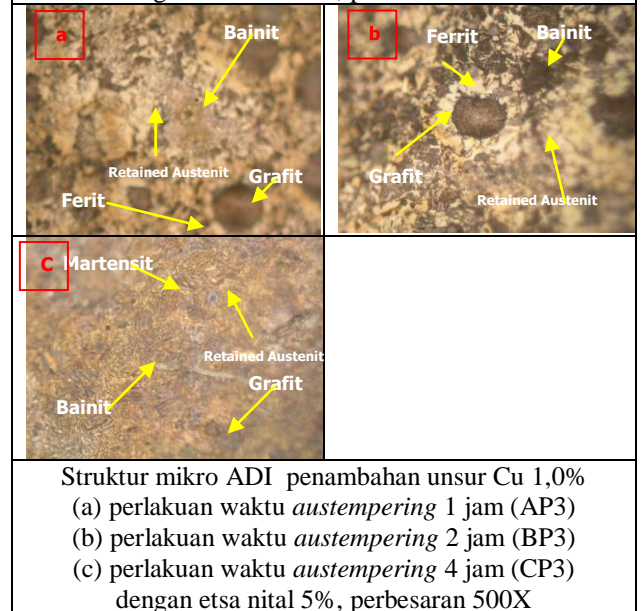
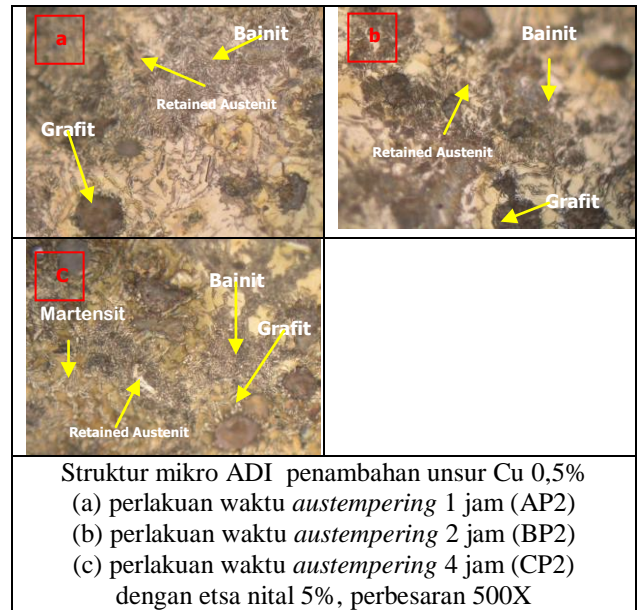
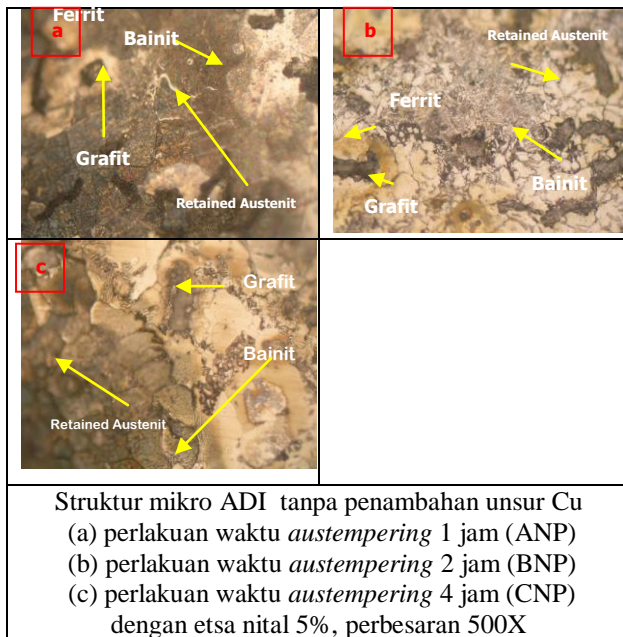
Penambahan unsur tembaga dan Perlakuan *austempering* dengan variasi waktu penahanan terlihat jelas memberikan peningkatan kekerasan pada ADI. Nilai kekerasan terendah terlihat non paduan tembaga (Cu) tanpa perlakuan *austempering* , yaitu sebesar 216,20 BHN. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada paduan tembaga sebesar 0,5% perlakuan *austempering* 4 jam, yaitu sebesar 341,20 BHN.

Nilai kekerasan ini didapat dari merata-rata tiga kali nilai pengujian tarik yang dilakukan tiap spesimen non paduan dan paduan Cu dan tiap variasi perlakuan waktu *austempering* diambil titik pengujian sebanyak 5 buah. Jika dilihat dalam tabel 2.6 ASTM A897/897M -02 *Minimum Property Specification For ADI Casting*, ADI tanpa paduan tembaga, ADI paduan tembaga 1,0% tanpa perlakuan, perlakuan variasi waktu *austempering* 1 dan 2 jam termasuk dalam tipe ADI tingkat 1 dengan range 269-321 BHN sedangkan ADI paduan tembaga 0,5% perlakuan variasi waktu *austempering* 1, 2, dan 4 jam, ADI paduan tembaga 1,0% perlakuan variasi waktu *austempering* 4 jam termasuk dalam tipe ADI tingkat 2 dengan range 302-363 BHN.

Data dan Analisa Uji Struktur Mikro



Gambar diatas memperlihatkan struktur mikro ADI tanpa penambahan dan dengan penambahan unsur tembaga (Cu) 0,5% serta 1,0 % Struktur grafit sangat jelas terlihat pada gambar (berwarna hitam bulat), berbentuk bulat (*spheroidal graphite*) atau grafit tipe VI yang tersebar merata namun ukuran grafitnya tidak seragam dengan orientasi sembarang, adanya ferit mengelilingi setiap grafit, membuat material ini memiliki sifat ulet yang baik. Struktur grafit ini dipengaruhi oleh paduan tembaga, salah satu sifat paduan tembaga dalam besi cor adalah menggalakkan penggrafitan.



Gambar dapat dilihat struktur mikro *austempered ductile iron* dengan tanpa penambahan dan penambahan 0,5% serta 1,0% Cu Bentuk grafit merupakan tipe VI grafit bulat yang tersebar merata namun ukuran grafitnya tidak seragam dengan orientasi sembarang.

Pertumbuhan retained austenit akan lebih banyak dengan semakin lama waktu *austempering* dan penambahan Cu sehingga keuletannya bertambah baik, sedangkan warna gelap menyerupai jarum-jarum atau plat yaitu terbentuknya struktur bainit bertambah banyak seiring waktu *austempering* dan penambahan Cu sehingga kekerasan dan ketangguhan semakin meningkat. Kombinasi terbentuknya bainit yang banyak dan merata serta terbentuknya martensit pada perlakuan 4 jam menyebabkan nilai kekerasan material semakin bertambah keras.

Dari gambar dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu *austempering* akan mempengaruhi bertambahnya bainit, retained austenit dan martensit

yang terjadi sehingga meningkatkan nilai kekerasan dan keuletan dimana akan lebih baik dari sebelum austempering dan penambahan Cu karena sifat dari tembaga sebagai pembentuk grafit sehingga karakteristik yang dihasilkan lebih baik..

KESIMPULAN

1. Kekuatan, keuletan dan kekerasan akan meningkat seiring dengan meningkatnya waktu penahanan. Dalam penelitian ini waktu penahanan yang digunakan adalah 1, 2 dan 4 jam.
2. Penambahan tembaga (Cu) 0,5 % dan 1,0% pada material ADI, akan meningkatkan sifat mekanis lebih dari 2 kali dari material tanpa paduan.
3. Struktur bainit akan lebih banyak terbentuk apabila diberikan perlakuan proses *austempering* dengan waktu penahanan 4 jam dan akan lebih sedikit daripada 1 jam perbandingan ini diambil dengan suhu penahanan yang konstan yaitu 300°C

REFERENSI

1. Lawrence H. Van Vlack, *Ilmu Dan Teknologi Bahan* edisi kelima, Erlangga 1992.
2. Hayrynen, Kathy. L., *The Production of ADI*, Word Conference on ADI, Applied Process Technologies Division, Livonia, MI, 2002
3. Surdia, Tata., Saito, Shinroku., *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Prandya Paramita, Jakarta, 1995.
4. J. Achary, *Tensile Properties of Austempered Ductile Iron under Thermomechanical Treatment*, (Submitted 1 June 1999; in revised form 27 August) KUS-Zollner Division, Fort Wayne, 1999
5. Bonjak, Branka., Radulovi, Branko., *Effect Of Austempering Temperature On Microstructure And Mechanical Properties Of Unalloyed Ductile Iron*, Faculty of Metallurgy and Technology University of Montenegro, Cetinjski, Yugoslavia, 1997
6. www.aditreatment.com
7. Miguel A.Y. *Modeling The Microstruktire and Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron*, University of Cambrige, 2001.
8. ASM Handbook Volume 8. *Mechanical Testing and Evaluation : Uniaxial Tension Testing*