

ANALISA PERLAKUAN PANAS AUSTEMPERING PADA BESI TUANG NODULAR FCD 45 TERHADAP KEKUATAN IMPAK DAN KEKERASANNYA

Galih Suhatmoko dan Nukman

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Palembang – Prabumulih Km. 32 Kec. Indralaya 30662 Ogan Ilir
e-mail : galihshatmoko@plasa.com ; ir_nukman2001@yahoo.com

ABSTRAK

Besi tuang nodular merupakan salah satu jenis besi tuang. Untuk meningkatkan sifat mekanik besi tuang nodular, dapat dilakukan melalui proses perlakuan panas austempering. Dengan perlakuan panas austempering dapat diketahui pengaruhnya pada sifat kekerasan dan kekuatan impak besi tuang nodular. Proses perlakuan panas austemper yang dilakukan meliputi preheating (pemanasan awal) pada temperatur 600°C selama 30 menit, dilanjutkan dengan menaikkan temperatur hingga temperatur austenisasi 900°C selama 60 menit, kemudian temperatur diturunkan hingga temperatur austempering 375°C selama 30 menit. Spesimen didinginkan dalam dapur setelah proses austempering selesai. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh dari perlakuan panas austempering meningkatkan kekuatan impak dan kekerasannya. Kekuatan impak spesimen mengalami peningkatan sebesar 42,78 %, dari 30,52 J menjadi 53,34 J. Sedangkan kekerasan meningkat 71,71 %, dari 118,61 BHN menjadi 419,32. Untuk struktur mikro besi tuang nodular grafitnya berbentuk nodul (bulatan), besi tuang nodular yang telah mengalami proses perlakuan panas austempering mengalami pengecilan bentuk nodul pada grafitnya dan jumlah nodul lebih merata daripada sebelum mengalami perlakuan panas.

Kata Kunci: austenisasi, austempering, besi tuang nodular

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Besi merupakan material logam yang digunakan manusia. Diperkirakan penggunaan perkakas besi oleh manusia sekitar tahun 2800–2700 sebelum Masehi di daerah Mesir dan Asiria. Awal penggunaan logam pada masa itu ketika orang membuat perhiasan dari emas atau perak, dan kemudian membuat senjata (Tata Surdia et al, 2000).

Besi tuang adalah paduan besi yang didalamnya terkandung unsur-unsur karbon, silikon, mangan, fosfor dan belerang. Besi tuang digolongkan menjadi 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 adalah 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, mangan s.d 1,0 %, sulfur antara 0,005 – 0,035 % (Anil Kumar Sunha, 2003).

Untuk itu, dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas austemper pada besi tuang nodular terhadap kekuatan impak dan tingkat kekerasannya. Perlakuan panas tersebut akan membuat perubahan bentuk grafit sebelum dan sesudah mengalami perlakuan panas austemper.

1.2. Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini digunakan besi tuang nodular FCD 45 sebagai bahan dasar. Penelitian dilaksanakan untuk mengetahui perubahan tingkat kekerasan dan kekuatan impak FCD 45 akibat perlakuan panas austemper, dan mengamati perubahan bentuk grafit FCD 45 sebelum dan sesudah mengalami perlakuan panas. Diharapkan dari penelitian ini didapatkan ADI yang lebih keras dan ulet sehingga dapat bermanfaat dalam dunia industri.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan yaitu :

- 1) Untuk mengetahui perubahan nilai kekerasan besi tuang nodular FCD 45 setelah mengalami proses perlakuan panas austempering.
- 2) Untuk mengetahui perubahan nilai kekuatan impak besi tuang nodular FCD 45 sebelum dan sesudah mengalami proses perlakuan panas austempering, melalui pengujian impact.
- 3) Untuk mengetahui perubahan struktur mikro besi tuang nodular FCD 45.

Sedangkan Manfaat yang didapat yaitu :

- 1) Dapat memberikan informasi tentang proses perlakuan panas *austempering* dan austenisasi pada besi tuang nodular FCD 45.

- 2) Data penelitian dapat dijadikan bahan referensi dalam suatu proses pemilihan bahan alternatif.

1.4 Pembatasan Masalah

Mengingat terlalu luasnya masalah yang senantiasa timbul, maka penelitian ini hanya dibatasi untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas *austempering* terhadap perubahan kekerasan dan kekuatan impak material besi tuang nodular FCD 45.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Besi Tuang

Besi tuang adalah paduan besi, karbon, silikon dengan beberapa unsur tambahan lainnya. Besi tuang mempunyai sifat fisik atau mekanik yang berbeda-beda, hal ini dipengaruhi oleh unsur paduan yang terdapat didalamnya seperti silikon (Si), karbon (C), mangan (Mn), fosfor (P) dan belerang (S) (Amstead et al., 1993).

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*) merupakan jenis besi tuang.

2.2 Besi Tuang Nodular

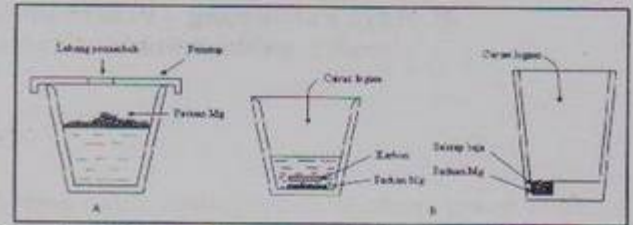
Besi tuang nodular mempunyai bentuk grafit bulat, adalah jenis besi tuang yang dihasilkan dari pengembangan besi tuang kelabu. Dimana besi tuang nodular dihasilkan dengan menambahkan unsur Mg (Magnesium) atau Ce (Cerium) pada saat peleburan sehingga mendorong proses grafitisasi menghasilkan grafit yang berbentuk bulat. Grafit nodul ini mempunyai konsentrasi tegangan yang sangat kecil, maka kekuatan besi tuang menjadi lebih baik (Tata Surdia, 2000).

2.2.1 Pembuatan Besi Tuang Nodular

Proses peleburan dari besi tuang nodular memperhatikan kadar belerang dan proses penambahan Mg atau unsur pendukung terbentuknya nodul pada cairan besi tuang. Dalam proses pengerjaannya besi tuang melalui tiga tahap pengolahan, yaitu pengurangan belerang, penambahan unsur pembentuk grafit dan inokulasi.

Dalam proses pembuatan besi tuang nodular, kadar belerang perlu dikurangi, kadar belerang berkisar 0,01 – 0,02 % sebelum proses pembulatan grafit. Sebelum proses pembulatan grafit, Mg dan S akan bereaksi secara kimia, jika kadar S banyak tentunya akan menghambat pembulatan grafit karena unsur Mg habis bereaksi dengan S sebelum terjadi proses pembulatan. Sebagai bahan pengurang belerang banyak dipakai Kalsium Karbida (CaC_2). Pengurangan belerang dapat dilakukan dengan proses peleburan, seperti peleburan kupola basa, peleburan dengan tanur busur listrik, peleburan dengan tanur induksi frekuensi rendah, dan peleburan kupola asam.

Menambahkan unsur Mg secara langsung pada cairan mengakibatkan reaksi yang hebat dan memberikan hasil yang kurang. Oleh karena itu dipakai berbagai cara penambahan, antara lain cara penambahan permukaan, cara ladle terbuka, cara penyemplungan, dan cara ladle terbuka dan cara penyisipan (Lihat gambar 2.1).



Gambar 2.1 A. Cara penambahan Mg dal Ladle (Tata Surdia, 2000).

2.2.2 Sifat-Sifat Mekanik Besi Tuang Nodul

Tabel 2.1. Sifat-sifat mekanik besi tuang nodular grade 40/60/18 ASTM A 536 (www.ductile.org)

Nama	Tensile Strength (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Elongation (%)
Besi Tuang Nodular	414	276	18

Sifat mekanik merupakan sifat dasar yang dapat diubah dan dipengaruhi dari luar. Pengaruh ini biasanya berupa pemanasan pada waktu dan temperatur tertentu, sehingga struktur mikro logam tersebut berubah dan sifat mekaniknya turut berubah karena pemanasan. Sifat mekanik besi tuang nodular dapat dilihat pada tabel 2.1.

Sifat mekanik pada logam dapat dikontrol dengan cara pemanasan atau sering disebut dengan istilah *Heat Treatment*, sifat-sifat tersebut antara lain :

1. Kekerasan
2. Kekuatan
3. Ketangguhan
4. Keuletan

2.2.3 Pengaruh Komposisi Kimia Pada Sifat Mekanik Besi Tuang Nodular

Sifat mekanik suatu material tergantung dari komposisinya. Unsur-unsur paduan yang umumnya terdapat pada besi tuang nodular :

1) Karbon (C)

Kadar karbon berkisar 3 s/d 4% akan meningkatkan kekuatan tarikannya dan berpengaruh pada tingkat kekerasan dan elongationnya. Persentasi yang terlalu tinggi akan menyebabkan karbida, sehingga hanya kekerasannya yang meningkat tapi sifat mekanis yang lainnya akan menurun nilainya.

2) Silikon (Si)

Silikon akan membentuk matriks ferrit dan menghalangi terbentuknya bainite karbida. Unsur silikon akan meningkatkan kekuatan impak dan tahan pada temperatur rendah. Unsur silikon berkisar 2,4 s/d 2,8%.

3) Mangan (Mn)

Unsur mangan jarang dipakai karena unsur ini membentuk perlit dan kekerasan yang tinggi sehingga besi tuang susah dalam proses pemesinan. Mangan digunakan dengan kadar $\leq 0,3\%$.

4) Tembaga

Penambahan unsur tembaga sampai 0,8% akan meningkatkan kekerasan besi tuang. Dan jika besi tuang akan meningkat sifat keuletannya pada austempering dengan temperatur 350°C.

5) Nikel (Ni)

Dengan kadar sampai 2% akan meningkatkan kekerasan, karena unsur ini membentuk karbida-karbida. Dengan temperatur austemper 350°C, nikel akan mengurangi nilai kekuatan tarik besi tuang tetapi akan meningkatkan keuletan dan tahan terhadap *fracture*. Kadar nikel tidak lebih dari 2%.

6) Molebdenum (Mo)

Unsur ini sangat dibutuhkan karena mencegah terbentuknya perlit. Dengan unsur ini, besi tuang akan meningkat kekerasan, kekuatan tarik dan keuletannya. Kadar Mo tidak lebih dari 0,2%.

2.3 Perlakuan Panas Pada Besi Tuang

Perlakuan panas merupakan proses untuk memperbaiki sifat-sifat dari logam dengan cara memanaskan tuangan sampai temperatur yang cocok dibiarkan beberapa waktu pada temperatur itu, kemudian didinginkan ke temperatur yang lebih rendah dengan kecepatan yang sesuai. Ada beberapa macam perlakuan panas yang sering digunakan pada besi tuang (Tata Surdia, 2000), antara lain :

1) *Stress Relieving*, adalah perlakuan panas pada temperatur rendah untuk menghilangkan tegangan sisa pada tuangan. Proses ini memanaskan tuangan sampai temperatur antara 45 – 650°C.

2) *Annealing*, proses pelunakan sehingga besi tuang yang keras dapat dikerjakan melalui pemesinan atau pengerjaan dingin.

3) *Normalizing*, adalah proses untuk memperbaiki struktur kristal dari besi tuang dengan cara memanaskannya pada temperatur 40 - 60°C, kemudian didinginkan dengan udara terbuka.

4) *Hardening*, hardening atau pengerasan adalah memanaskan besi tuang di atas temperatur kritis disusul dengan pendinginan yang cepat.

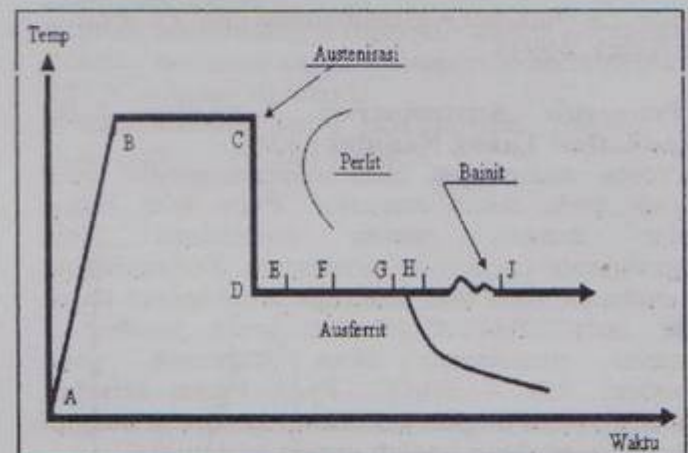
5) *Tempering*, merupakan pemanasan kembali setelah besi tuang mengalami quenching, tuangan dipanaskan di bawah A_1 (160 – 650°C), dengan tujuan mengurangi tegangan sisa dan memperbaiki ketangguhan tuangan.

6) *Austempering*, adalah besi tuang yang sudah mengalami austenisasi kemudian diquenching dengan cepat kemudian dipanaskan kembali dengan temperatur 240 - 400°C.

7) *Surface Hardening*, surface hardening atau pengerasan permukaan dilakukan pada lingkungan karbon pada temperatur di atas suhu A_1 .

2.4 Perlakuan Panas Pada Besi Tuang Nodular (Austempered Ductile Iron)

Dari gambar 2.3, besi tuang dipanaskan pada temperatur austenisasi (A-B) antara 1550 – 1750°F (840 – 950°C). Pada temperatur ini matriks akan berubah menjadi austenite FCC. Hal-hal yang mempengaruhi sifat-sifat tuangan adalah temperatur dan lamanya waktu saat proses austemper.

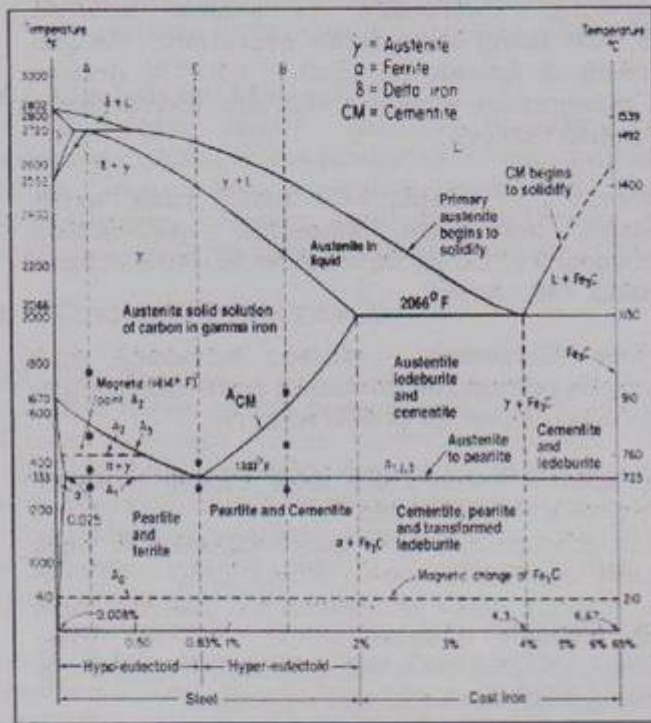


Gambar 2.3 Proses Perlakuan Panas Austempering (Kovacs et al., 1994).

Holding time saat austenisasi (B-C) haruslah cukup agar transformasi matriks keseluruhan ke austenite FCC dan memenuhi austenite dengan karbon. Untuk itu diperlukan waktu austenisasi yang cukup agar memenuhi dua hal diatas.

Setelah proses austenisasi, benda tuang diquench pada temperatur 450 – 750°F (230 – 400°C). Tujuan quench disini agar mencegah terbentuknya formasi ferlit dan mencapai temperatur austemper yang diinginkan pada benda tuang sebelum reaksi austemper dimulai pada titik E.

Melalui proses perlakuan panas pada besi tuang dapat dihasilkan struktur matriks yang berbeda-beda. Pada besi tuang nodular yang melalui proses perlakuan panas austempering dihasilkan matriks bainit. Dari diagram fasa logam ferrous Fe-Fe₃C (lihat gambar 2.4), dapat dipelajari perilaku transformasi matriks pada perlakuan panas.



Gambar 2.4 Diagram Keseimbangan Fasa Fe -Fe₃C (Van Vlack, 1991)

2.5 Pengaruh Austempered Terhadap Sifat Mekanik Besi Tuang Nodular (ADI)

Proses austenisasi ikut mempengaruhi sifat mekanik pada suatu material. Pada besi tuang nodular dengan proses austenisasi juga mempengaruhi tingkat kekerasannya. Perbandingan sifat mekanik ADI dan beberapa jenis logam dapat dilihat pada tabel 4. Seperti pada gambar 7 kekerasan maksimum akan terbentuk pada temperatur 850 – 900°C. Pada kurva tersebut membandingkan tingkat kekerasan spesimen dengan dan tanpa quenching setelah proses austenisasi.

Tabel 2.2 Standar Kelas ADI (ASTM A897/A897M-03) (www.aditreatment.com).

Grade	Tensile Strength (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Elongation (%)	Impact Energy (Joule)	Hardness (BHN)
1	900	650	9	100	269 - 341
2	1050	750	7	80	302 - 375
3	1200	850	4	60	341 - 444
4	1400	1100	2	35	388 - 477
5	1600	1300	1	20	402 - 512

2.5.1 Pengujian Impak

Ketangguhan adalah kemampuan dari logam untuk mempertahankan bentuknya dengan cara menyerap banyaknya energi dari suatu material yang mempengaruhinya sampai terjadinya perpatahan. Energi yang merupakan hasil kali gaya dan jarak

dinyatakan dalam joule. Suatu bahan ulet dengan kekuatan yang sama dengan bahan rapuh (tidak ulet) akan memerlukan energi perpatahan yang lebih besar dan mempunyai sifat tangguh yang lebih baik

Tabel 2.3 Perbandingan sifat mekanik ADI dan beberapa jenis logam (Clifford F. Lewis, 1986)

Sifat Mekanik	Austempering Ductile Iron	Cast Iron			Steel	
		Gray	Malleable	Ductile	Cast	Forged
Hardnes, BHN	285-514	140-290	110-156	196-255	131	388-341
Ult. Strength (10 ³ psi)	120-220	20-55	50-53	80-100	63	188-167
Yield Strength ((10 ³ psi)	90-180	NA	32.5-35	55-75	35	149-120
Elongation (%)	12-2	NA	10-18	NA	30	12-14

Salah satu metode untuk mengukur ketangguhan dari suatu material adalah dengan menggunakan pengujian impak. Pada pengujian dinamis ini spesimen uji dengan ukuran standar dijatuhkan beban tiba-tiba oleh sebuah bandul pemberat dari suatu ketinggian tertentu dan mengenai benda uji. Cara standar Charpy atau Izod merupakan dua cara untuk menentukan ketangguhan pada pengujian impak.

2.5.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Pada penelitian ini digunakan pengujian kekerasan dengan metode Brinell. Mesin uji kekerasan yang digunakan adalah *Brinell Hardness Tester type RH-3N* buatan Tokyo Testing Machine.MFG.CO., LTD Tahun 1992.

Metode Brinell menggunakan indenter bola baja dan bola karbida. Pada pengujian indenter yang digunakan harus lebih keras dari material yang diuji. Permukaan spesimen tentunya harus bersih dari lapisan korosi, kerak agar tidak terjadi kesalahan dalam pengukuran.

2.6 Pengaruh Austempered Terhadap Struktur Mikro Besi Tuang Nodular

Secara umum struktur yang terbentuk adalah matriks asuferit yang merupakan campuran dari ferit dan austenit sisa. Dengan pengamatan mikroskop butiran grafit tampak semakin kecil dan terbentuk bainit di sekitarnya.

2.6.1 Pengujian Metallografi

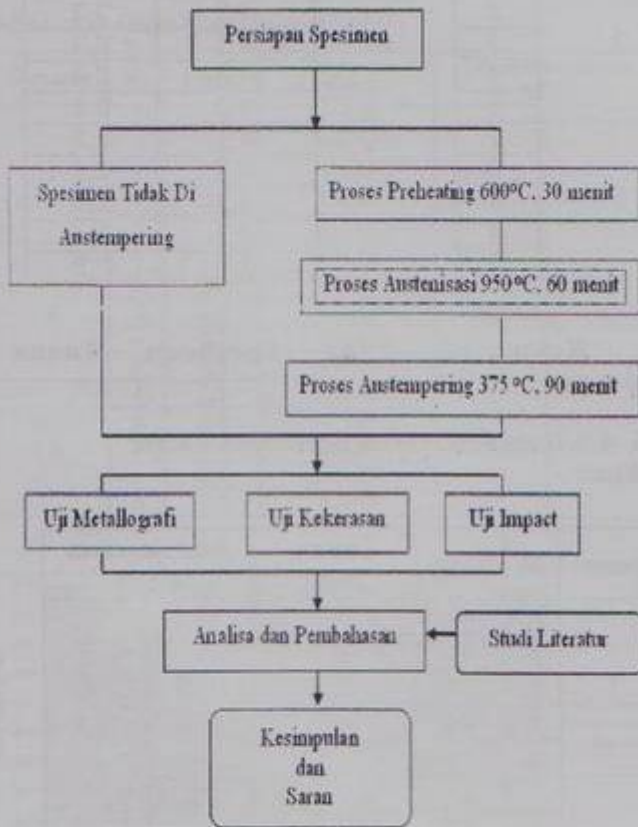
Pengujian metallografi merupakan analisa terhadap struktur mikro dan makro suatu material. Pengujian metallografi meliputi studi mengenai karakteristik dari logam secara mikroskopis. Melalui

struktur mikro akan dilihat perubahan struktur suatu logam sebelum dan sesudah mengalami perlakuan panas.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Persiapan Spesimen

Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir penelitian. Besi tuang nodular FCD 45 diperoleh dari proses pengecoran di PT. Toyota Astra Motor (TAM) unit Casting di Sunter, Jakarta Utara. Uji komposisi spesimen dilakukan di Laboratorium Uji Material Universitas Indonesia. Kandungan unsur penyusun besi tuang nodular FCD 45 disajikan pada tabel 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

Tabel 3.1 Komposisi unsur penyusun FCD 45

Nama	C (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)
FCD	2.49	0.931	0.018	0.014	0.146	<0.005	0.005
45	Mo (%)	Ti (%)	Cu (%)	Nb (%)	V (%)	Al (%)	Fe (%)
	<0.005	0.002	0.018	0.004	<0.002	0.005	96.2

Rincian pesimen yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sembilan spesimen tanpa perlakuan yang akan dilakukan uji kekerasan, uji metallografi dan uji

impak. Masing-masing pengujian menguji 3 spesimen.

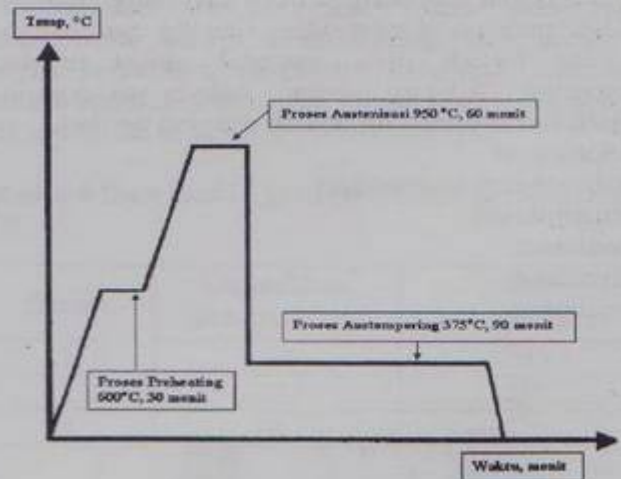
2. Sembilan spesimen akan melalui proses austempering, yang setelahnya akan dilakukan uji kekerasan, uji metallografi dan uji impact. Masing - maing pengujian menguji 3 spesimen.

Spesimen ini dipotong sesuai dengan standar pengujian impact untuk metode Charpy yaitu 55 x 10 x 10 (mm) dan mengandung takik 45°, dengan jari-jari dasar 0,25 mm dan kedalaman 2 mm (Gambar 14).

3.2 Proses Austempering

Adapun prosedur proses austempering yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Sampel diletakkan pada alat yang sudah disediakan.
2. Sampel uji dimasukkan ke dapur untuk mendapatkan perlakuan panas preheating 600°C selama 30 menit.
3. Proses kedua, temperatur dapur perlahan-lahan dinaikkan sampai temperatur austenisasi 950°C selama 60 menit.
4. Setelah austenisasi, temperatur dapur diturunkan dengan perlahan sampai tempertur austempering 375°C selama 90 menit.
5. Proses terakhir yaitu pendinginan. Sampel uji didinginkan di udara terbuka.



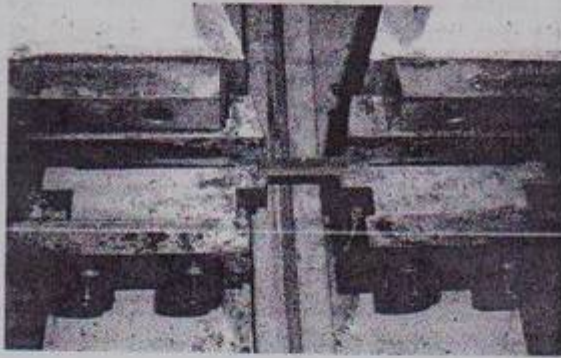
Gambar 3.2 Skematis Proses Austempering

3.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Pada penelitian ini digunakan pengujian kekerasan dengan metode Rockwell. Mesin uji kekerasan yang digunakan adalah *Brinell Tester type RH-3N* buatan Tokyo Testing Machine.MFG.CO., LTD Tahun 1992.

3.4 Pengujian Impak

Material yang telah di austempering dilakukan pengujian impak. Pelaksanaan pengujian impak ini dilakukan dengan menggunakan alat uji mesin *Charpy Impak Testing Machine type CI-30* buatan Tokyo Testing Machine.MFG.CO., LTD Tahun 1992. Penempatan specimen seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Spesimen Pengujian Impak

3.5 Pengujian Metallografi

Setelah semua spesimen dilakukan pengujian kekerasan maka selanjutnya dilakukan pengujian metallografi. Pengujian metallografi bertujuan untuk mengamati struktur mikro logam. Pengujian ini akan menunjukkan pengaruh yang ditimbulkan oleh proses austempering terhadap struktur mikro material tersebut dan dengan hasil dari pengujian ini kita bisa menarik kesimpulan tentang perubahan sifat yang terjadi pada material akibat proses austempering. Adapun urutan dalam melakukan pengujian metallografi ini adalah sebagai berikut :

1. Pemotongan
2. Pembungkaihan (mounting)
3. Pengamplasan
4. Pemolesan
5. Pengetsaan
6. Pemotretan



Gambar 3.4 Spesimen Yang Dibingkai Untuk Pengujian Metallografi

4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Kekerasan

Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan yang dilakukan pada besi tuang nodular yang diaustempering, dapat dilihat perbandingan

kekerasan dengan besi tuang nodular tanpa perlakuan. Sehingga diketahui peningkatan kekerasan akibat proses austempering.

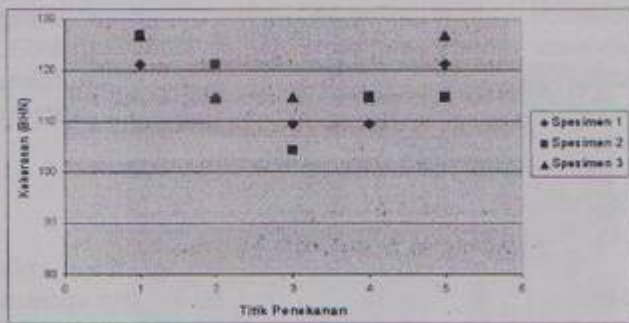
Tabel 4.1 Data Hasil Uji Kekerasan Spesimen Tanpa Perlakuan dan ADI

Spesimen	No	D (mm)	Tanpa Perlakuan d (mm)	ADI d (mm)
1	1	10	4,2	2,3
	2		4,3	2,4
	3		4,4	2,4
	4		4,4	2,5
	5		4,3	2,4
2	1		4,1	2,2
	2		4,2	2,2
	3		4,5	2,3
	4		4,3	2,3
	5		4,2	2,1
3	1		4,1	2,3
	2		4,3	2,3
	3		4,3	2,5
	4		4,3	2,4
	5		4,2	2,2

4.1.1. Kekerasan Pada Spesimen Tanpa perlakuan

Tabel 4.2 Data Kekerasan Spesimen Tanpa Perlakuan

Spesimen	No	d (mm)	Kekerasan (BHN)	Kekerasan rata-rata (BHN)
1	1	4,2	121,19	119,79
	2	4,3	114,53	
	3	4,4	109,28	
	4	4,4	109,28	
	5	4,3	114,71	
2	1	4,1	126,79	117,62
	2	4,2	121,19	
	3	4,5	104,20	
	4	4,3	114,71	
	5	4,2	121,19	
3	1	4,1	126,79	118,42
	2	4,3	114,71	
	3	4,3	114,71	
	4	4,3	114,71	
	5	4,2	121,19	

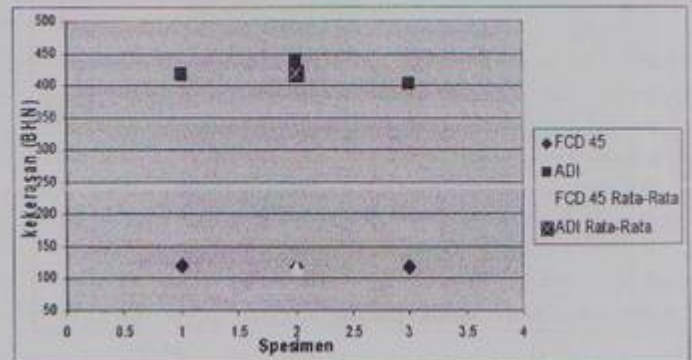


Gambar 4.1 Kurva tingkat kekerasan spesimen tanpa perlakuan ustempering

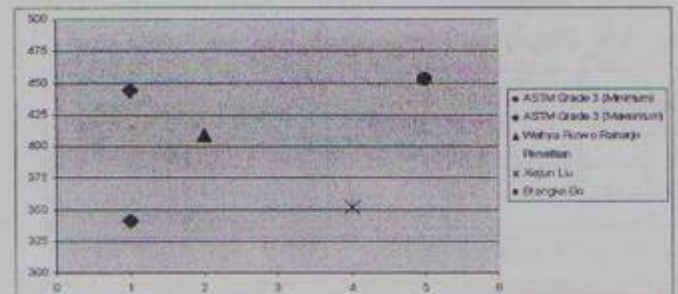
4.1.2 Kekerasan Spesimen ADI

Tabel 4.3 Data Kekerasan ADI

Spesimen	No	d (mm)	Kekerasan (BHN)	Kekerasan rata-rata (BHN)	
1	1	2,3	415,68	416,68	
	2	2,4	381,38		
	3	2,3	415,68		
	4	2,2	454,96		
	5	2,3	415,68		
2	1	2,2	454,96	459,28	419,32
	2	2,2	454,96		
	3	2,3	415,68		
	4	2,3	415,68		
	5	2,2	454,96		
3	1	2,3	415,68	402,01	
	2	2,3	415,68		
	3	2,4	381,38		
	4	2,4	381,38		
	5	2,3	415,68		



Gambar 4.3 Kurva tingkat kekerasan spesimen tanpa perlakuan austempering dengan ADI



Gambar 4.4 Kurva perbandingan tingkat kekerasan ADI hasil penelitian dengan penelitian lainnya.

4.2 Pengujian Impak

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar energi yang diserap oleh spesimen sampai terjadinya perpatahan, dengan kata lain untuk mengetahui kekuatan impact atau ketangguhan dari spesimen tersebut.

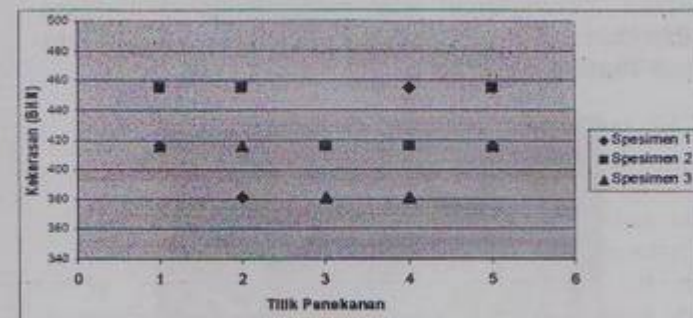
Tabel 4.4 Data Hasil Uji Impak Tanpa perlakuan dan ADI

Spesimen	Tanpa perlakuan, Sudut Ayun Palu (ϕ)	ADI, Sudut Ayun Palu (ϕ)
1.	131	120,5
2.	129,5	120
3.	130,5	121

4.2.1 Energi Impak Spesimen Tanpa perlakuan

Tabel 4.5 Data Hasil Uji Impak Tanpa perlakuan

Spesimen	Tanpa perlakuan, Sudut Ayun Palu (ϕ)	Energi Impak (Joule)
1.	131	29,26
2.	129,5	32,34
3.	130,5	30,15

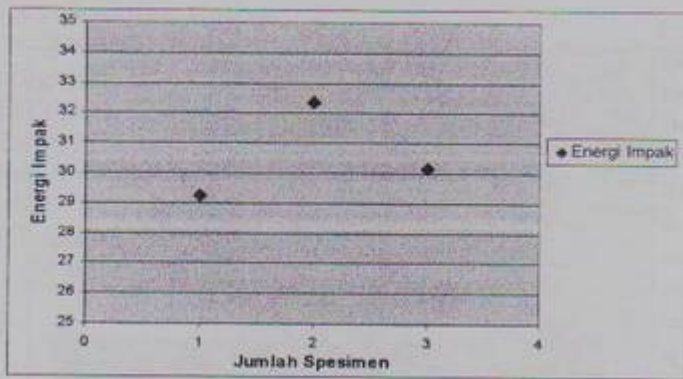


Gambar 4.2 Kurva tingkat kekerasan ADI

4.1.3 Pembahasan Pengujian Kekerasan

Gambar 4.3, menunjukkan harga kekerasan yang dihasilkan perlakuan panas austemper. Terlihat harga kekerasan ADI meningkat dari kondisi sebelum mengalami perlakuan austempering.

Kekerasan rata-rata sebelum mengalami perlakuan sebesar 118,61 BHN, dan kekerasan rata-rata sebesar 419,32 BHN setelah mengalami perlakuan panas austemper. Peningkatan kekerasan sebesar 71,71 % pada material FCD 45 setelah mengalami perlakuan austemper (Gambar 4.4)

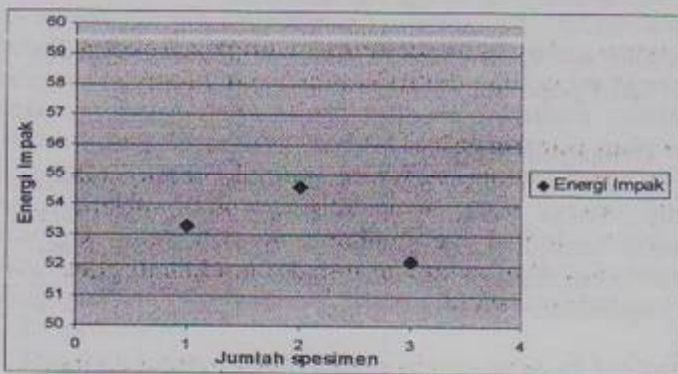


Gambar 4.5 Energi impact spesimen tanpa perlakuan

4.2.2 Energi Impact Spesimen ADI

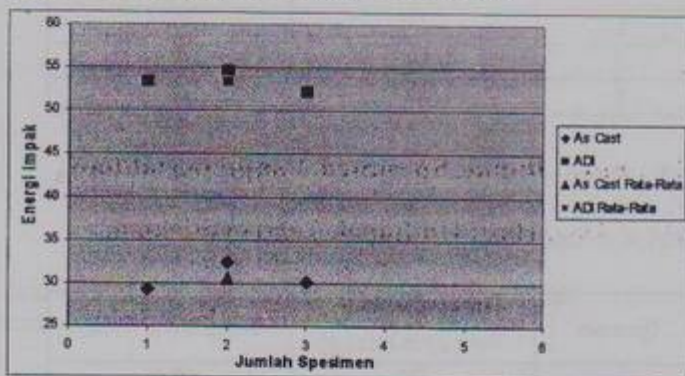
Tabel 4.6 Data Hasil Uji Impact ADI

Spesimen	Tanpa perlakuan, Sudut Ayun Palu (ϕ)	Energi Impact (Joule)
1.	120,5	53,29
2.	120	54,58
3.	121	52,13



Gambar 4.6 Energi impact spesimen ADI

4.2.3 Pembahasan Pengujian Impact



Gambar 4.7 Perbandingan energi impact tanpa perlakuan dengan ADI

Berdasarkan pengujian impact yang telah dilakukan terhadap spesimen tanpa perlakuan dan

spesimen yang diaustempering, energi impact spesimen tanpa perlakuan sebesar 30.52 J dan 53,34 J untuk spesimen yang diaustempering. Peningkatan energi impact sebesar 42,78 % setelah spesimen mengalami austempering.

4.3 Pengujian Metallografi

4.3.1 Pengamatan Struktur Mikro

Pada penelitian ini pengujian struktur mikro dilakukan pada semua spesimen, baik yang spesimen tanpa perlakuan maupun spesimen ADI. Berdasarkan pengamatan struktur mikro, dapat dilihat bentuk perbedaan struktur mikro akibat dilakukan proses austempering pada masing-masing spesimen. Gambar struktur mikro spesimen dengan pembesaran 200 X dan 800 X dapat dilihat pada gambar berikut.

4.3.2 Pembahasan Pengamatan Struktur Mikro

Struktur mikro spesimen tanpa perlakuan tidak banyak perubahan saat mengalami austempering. Dari gambar 20 dan 21, grafit nodul lebih banyak terdapat pada spesimen sesudah perlakuan (ADI) daripada spesimen tanpa perlakuan. Bentuk grafit nodul sendiri mengalami perubahan dimana terdapat struktur ferit pada pusat nodul.

Pada kondisi tanpa perlakuan (Gambar 18) menunjukkan kadar perlit lebih besar dibandingkan kadar ferit. Struktur ferit memiliki sifat ulet dan lunak sedangkan struktur perlit memiliki sifat kekerasan yang tinggi.

Sedangkan pada struktur mikro ADI cenderung terbentuk ausferit yang lebih dominan. Matriks ausferit menghasilkan perbaikan sifat mekanis dari material, peningkatan sifat mekanis tersebut dapat dilihat dari peningkatan harga kekerasan dan energi impact material ADI.



Gambar 4.8 Struktur Mikro Spesimen Tanpa Perlakuan Dengan Perbesaran 200X



Gambar 4.9 Struktur Mikro Spesimen Tanpa Perlakuan Dengan Perbesaran 800X



Gambar 4.10 Struktur Mikro Spesimen Sesudah Perlakuan Dengan Perbesaran 200X



Gambar 4.11 Struktur Mikro Spesimen Sesudah Perlakuan Dengan Perbesaran 800X

5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Besi tuang nodular FCD 45 akan mengalami perubahan sifat mekanis setelah melalui proses austempering.
- 2) Waktu *holding time* austenisasi dan austempering ikut mempengaruhi sifat mekanis besi tuang nodular.
- 3) Terjadi peningkatan kekerasan sebesar 71,71 % untuk harga kekerasan akibat proses austempering.
- 4) Pada energi impak terjadi peningkatan sebesar 42,78 % setelah melalui proses austempering.
- 5) Struktur mikro pada penelitian ini adalah ausferit lebih dominan dari ferit. Dimana ausferit menghasilkan perbaikan sifat mekanis dari material, peningkatan sifat mekanis tersebut dapat dilihat dari peningkatan harga kekerasan dan energi impak material ADI.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Amstead, B.H., et al. *Teknologi Mekanik*. Jakarta. Erlangga, 1992.
- [2]. Bo, Brangka.. *Effect Of Austempering Temperature On Microstructure And Mechanical Properties Of Unalloyed Ductile Iron*. Journal of Kovine, Zlitine, Tehnologije, Fee, Andrew R., Segabache, Robert., Brinell

Hardness Testing (Page-Wilson Corporation) 1999

- [3]. Hashemi, Javad., Smith, William F. *Foundations Of Materials Science and Engineering*. McGraw-Hill. New York, 1993.
- [4]. Hasnan, Ahmad. *Mengenal Baja (Introduction Of Iron)*. Diakses dari www.oke.or.id.
- [5]. Iron, Rio Tinto. *Ductile Iron Data For Design Engineers*. Titanium Inc. Canada. 1990.
- [6]. Jr, Callister. *Material Science and Engineering* John Willey & Son. 1992.
- [7]. Kovacs, B.V. *On The Terminology And Struktur Of ADI*. American Foundrymen's Society, Inc. 1994.
- [8]. Liu, Xiajun. *Proses For Austempering Ductile Iron*. United States Patent. 1998.
- [9]. Nukman. *Pengaruh Perubahan Temperatur Austenisasi Dan Austemper Terhadap Peningkatan Sifat Mekanis Dari Besi Tuang Nodular Menjadi Austempered Ductile Iron (ADI) (Kasus Besi Tuang Nodular Paduan 0,25 % Mo Dan Paduan 0,25 % Mo + 1,0 % Ni, Serta Non Paduan*. Thesis, Progam Pascasarjana Bidang Ilmu Teknik Universitas Indonesia. Depok. 1999.
- [10]. Raharjo, Wahyu purjo., Surojo, Eko. *Pengaruh Temperatur Dan Austenisasi Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Besi Cor Nodular FCD 45*. Skripsi, Progam Sarjana Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret. Surakarta., 2006.
- [11]. Sinha, Anil Kumar. *Physical Metallurgy Handbook* McGraww Hill. New York. 2003.
- [12]. Smallman, R.E. *Metalurgi Fisik Modern* Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.
- [13]. Surdia, Tata., Saito, Shinroku. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramita. Jakarta. 2000.
- [14]. Surdia, Tata. Chijjiwa, Kenji., *Teknik Pengecoran Logam*. Pradnya Paramita. Jakarta. 2000.
- [15]. Sukamto, Hendri. *Perbaikan Sifat Mekanik Besi Cor Nodular Feritik Perlitik Dengan Proses Laju Panas Annealing Dan Austempering*. Skripsi, Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra. Surabaya. 2004.
- [16]. Vlack, Lawrence H. Van. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Erlangga. Jakarta. 1994.