

# PENGARUH WAKTU AUSTEMPERING TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO AUSTEMPERED DUCTILE IRON PADUAN 0,5% Cu + 0,3% Mo DAN 0,5% Cu + 0,6 % Mo

Yusuf Umardani

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Kampus Undip Tembalang, Semarang 50275, Indonesia  
Phone: +62-24-7460059, FAX: +62-24-7460058, E-mail: yusuf@yahoo.com

## Abstrak

*Austempered ductile iron (ADI) memiliki sifat-sifat yang menarik seperti kekuatan tinggi yang dikombinasikan dengan keuletan dan ketangguhan yang baik. Penambahan unsur tembaga (Cu) dan molibdenum (Mo) diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanisnya.*

*Penelitian dimulai dari proses pengecoran besi cor nodular dengan penambahan unsur Cu dan Mo dengan prosentase yang telah ditentukan. Penambahan dalam penelitian ini adalah 0,5% Cu + 0,3% Mo dan 0,5% Cu + 0,6 % Mo. Struktur mikro dan sifat mekanis ADI tersebut diteliti setelah mengalami proses austempering dengan variasi waktu penahanan 1 jam, 2 jam dan 4 jam. Pengujian metalografi digunakan untuk mengetahui struktur mikronya, disertai dengan uji kekerasan Rockwell dan pengujian kekuatan tarik untuk mengetahui sifat mekanisnya.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan unsur Cu dan Mo dengan prosentase tertentu pada besi cor nodular akan meningkatkan sifat mekanisnya. Selain itu proses perlakuan panas austempering juga akan meningkatkan sifat mekanisnya, hal ini disebabkan karena terbentuknya struktur bainite yang akan meningkatkan kekuatan besi cor nodular dan adanya retained austenite yang akan menyebabkan material tersebut mempunyai sifat ulet.*

**Kata kunci:** *austempered ductile iron, struktur mikro, kekerasan, kekuatan tarik.*

## I. PENDAHULUAN

Besi cor merupakan paduan eutektik dari besi dan karbon. Suhu cairnya relatif rendah yaitu (~1200°C). Besi cor mudah di tuang untuk mengisi cetakan yang rumit. Hal ini memberikan keuntungan karena untuk mendapatkan bentuk akhir dari benda yang diinginkan hanya diperlukan sedikit proses permesinan. Sifat mekanik besi cor dipengaruhi oleh struktur mikronya yaitu fasa matrik dan grafitnya. (Lawrence H. Van Vlack, 1992)

Guna memperbaiki sifat mekanisnya, besi cor lazim dipadu dengan unsur paduan. Molybdenum (Mo) merupakan unsur paduan yang mampu bertindak sebagai penggalak karbida (*carbide promoter*). Tembaga adalah pembentuk grafit dan cenderung untuk menjaga coran bebas dari *chill*

Proses perlakuan panas *austempering* pada *ductile iron* dapat meningkatkan sifat mekanisnya. Dalam proses ini fasa matrik yang dihasilkan adalah *bainitic ferrite* yang di kombinasikan dengan *retained austenite* karbon tinggi. (Miguel A.Y, 2001)

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Besi cor nodular dapat diperoleh dengan penambahan unsur Magnesium (Mg) atau Cerium (Ce) dalam besi cor, sehingga grafit coran akan berbentuk bulatan. Dibandingkan dengan grafit yang berbentuk serpih, grafit yang berbentuk bulat (*nodular*), mempunyai derajat konsentrasi tegangan yang sangat kecil, maka kekuatan besi cor *nodular* menjadi lebih baik. Unsur-unsur yang dapat membulatkan grafit antara

lain Mg, Ca, Na, K, Li, Ba, Sr, Zn, dsb. Tetapi didasarkan atas masalah harga maka dipilih unsur Mg yang paling menguntungkan. (Surdia Tata, 1995)

Besi cor nodular dapat mengalami laku panas menjadi ferrit, perlit atau martensit temper sehingga dapat membentuk coran yang kuat. Sebagai struktur matriks, matriks ferrit lebih lemah dan liat, sedangkan matriks perlit agak kurang liat tetapi kuat. Struktur coran yang biasa setelah dicor adalah campuran dari keduanya, dan pelunakan menyebabkan struktur ferrit sedangkan penormalan menyebabkan struktur perlit.

Perlakuan panas *austempering* secara umum terdiri dari :

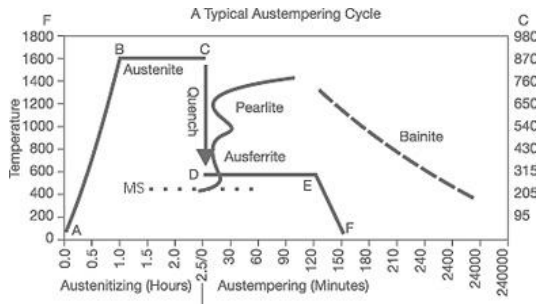
- Fully austenitizing* besi pada temperatur *austenitizing*
- Quenching* pada temperatur *austempering*
- Pendinginan udara pada suhu kamar.

Pada Gambar-1 akan diperlihatkan diagram proses dari *Austempered Ductile Iron*.

## III. METODE PENELITIAN

### Prosedur Pengujian

Untuk mengetahui pengaruh unsur Cu dan Mo terhadap kekuatan besi cor *nodular*, maka pada komposisi material dasar ditambah Cu dan Mo sampai persentase tertentu. Penambahan yang dilakukan adalah 0,5% Cu + 0,3% Mo dan 0,5% Cu + 0,6% Mo. Tahap-tahap penelitian dimulai dari pembuatan batang uji (*test bar*), penyiapan spesimen uji pengujian tarik, uji kekerasan dan metalografi



Gambar 1. Proses Austempering

#### IV. METODE PENELITIAN

##### Prosedur Pengujian

Untuk mengetahui pengaruh unsur Cu dan Mo terhadap kekuatan besi cor *nodular*, maka pada komposisi material dasar ditambah Cu dan Mo sampai persentase tertentu. Penambahan yang dilakukan adalah 0,5% Cu + 0,3% Mo dan 0,5% Cu + 0,6% Mo. 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 850<sup>0</sup> C, dan ditahan selama 2 jam., dilanjutkan dengan tahap *quenching* dan dilanjutkan dengan proses *austempering* pada temperatur 300<sup>0</sup>C dengan variasi temperatur penahanan 1 jam, 2 jam dan 4 jam. Kemudian dilanjutkan dengan pendinginan udara.

#### V. HASIL DAN PEMBAHASAN

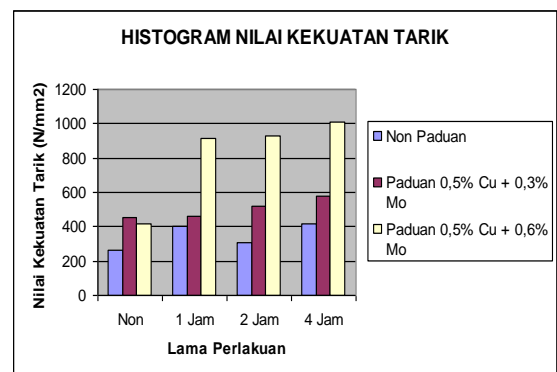
##### Pengujian Kekuatan Tarik

Hasil pengujian kekuatan tarik ADI dapat dilihat pada Tabel-1 di bawah ini. Dari Tabel-1 dapat dilihat bahwa penambahan unsur Cu dan Mo akan meningkatkan kekuatan tarik *ductile iron*. Selain itu proses austempering juga akan meningkatkan kekuatannya seiring dengan lama waktu penahanan austempering. Dari data diatas, dapat dibuat diagram kekuatan tarik ADI sebagai berikut.

Tabel 1. Nilai Kekuatan Tarik ADI

Paduan	Perlakuan	$\sigma_{max}$ (MPa)
Non Paduan	Non	263.07
	1 Jam	400.57
	2 Jam	307.77
	4 Jam	415.13
0,5% Cu + 0,3% Mo	Non	450.14
	1 Jam	460.06
	2 Jam	515.87
	4 Jam	581.59
0,5% Cu + 0,6% Mo	Non	416.66
	1 Jam	915.18
	2 Jam	931.3
	4 Jam	1008.18

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa penambahan unsur Cu dan Mo akan meningkatkan kekuatan tarik *ductile iron*. Selain itu proses austempering juga akan meningkatkan kekuatannya seiring dengan lama waktu penahanan austempering. Dari data diatas, dapat dibuat diagram kekuatan tarik ADI sebagai berikut.



Gambar 2. Histogram Kekuatan Tarik

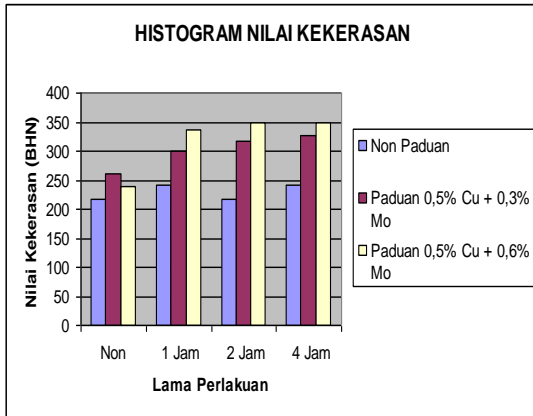
##### Pengujian Kekerasan

Tabel 2. Nilai Kekerasan ADI

Paduan	Perlakuan	BHN
Non Paduan	Non	216.20
	1 Jam	240.36
	2 Jam	217.72
	4 Jam	242.03
0,5% Cu + 0,3% Mo	Non	260.78
	1 Jam	300.76
	2 Jam	317.45
	4 Jam	326.03
0,5% Cu + 0,6% Mo	Non	238.16
	1 Jam	335.57
	2 Jam	348.1
	4 Jam	349.39

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa penambahan unsur Cu dan Mo akan meningkatkan nilai

kekerasan *ductile iron*. Selain itu proses *austempering* juga akan meningkatkan kekuatannya seiring dengan lama waktu penahanan *austempering*. Dari data diatas, dapat dibuat diagram nilai kekerasan ADI sebagai berikut.



**Gambar 3.** Histogram Nilai Kekerasan

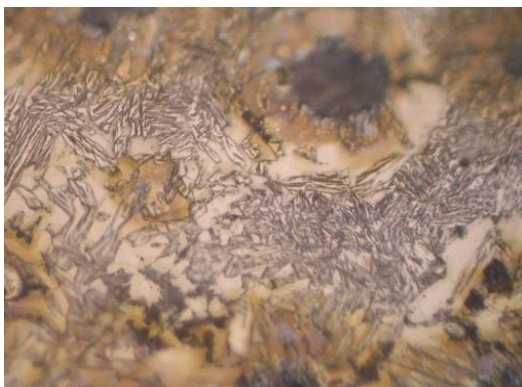
**Pengujian Metalografi**

Berikut adalah gambar struktur mikro ADI setelah di etsa menggunakan nital 5 % dengan perbesaran 1000x

**Paduan 0,5% Cu + 0,3% Mo**

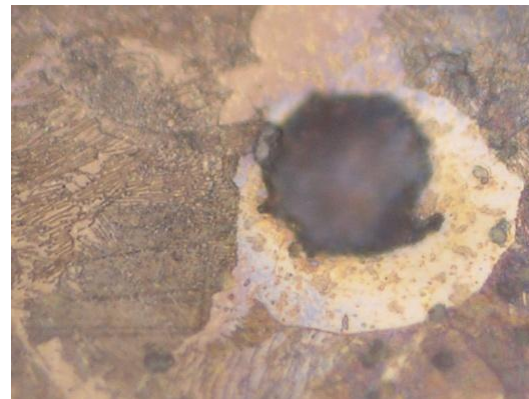


**Gambar 4.** Non Perlakuan

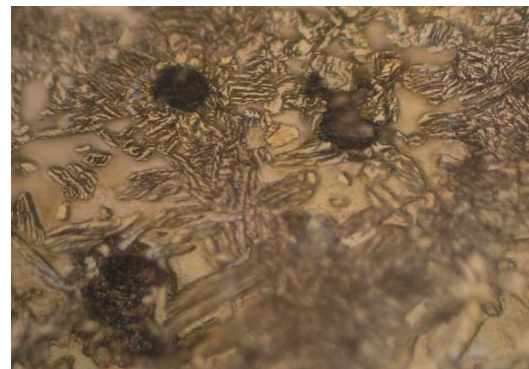


**Gambar 5.** Perlakuan 1 Jam

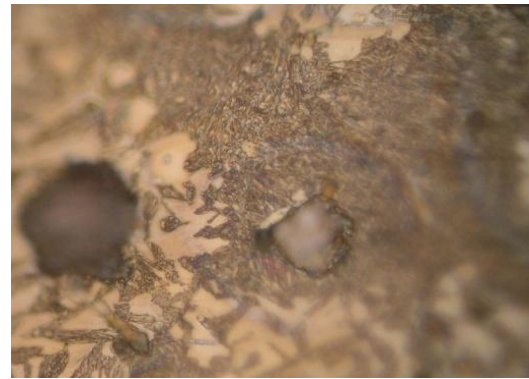
**Paduan 0,5% Cu + 0,6% Mo**



**Gambar 8.** Non Perlakuan



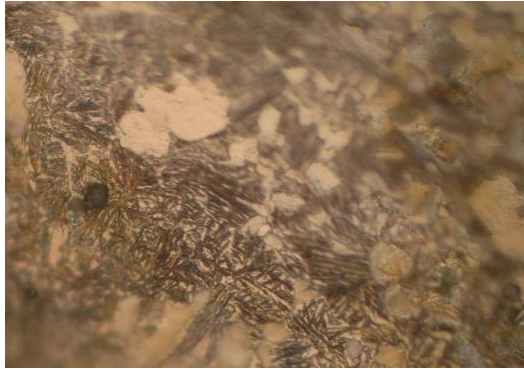
**Gambar 9.** Perlakuan 1 Jam



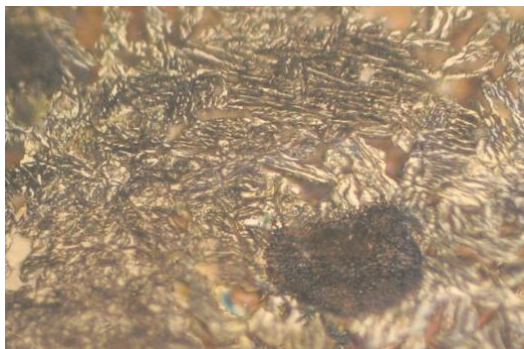
**Gambar 6.** Perlakuan 2 Jam



**Gambar 7.** Perlakuan 4 Jam



**Gambar 10.** Perlakuan 2 Jam



**Gambar 11.** Perlakuan 4 Jam

Gambar 4 dan 8 di atas menunjukkan struktur mikro ADI non perlakuan. Pada gambar terlihat adanya grafit *nodular* ditunjukkan dengan bulatan yang berwarna hitam. Grafit merupakan bentuk stabil dari karbon murni yang memiliki karakteristik densitas rendah, kekerasan rendah, konduktivitas panas yang tinggi. *Ferrite* berwarna terang terbentuk di sekeliling grafit. *Ferrite* merupakan fasa murni dalam besi cor yang memiliki karakteristik memberikan pengaruh rendahnya kekuatan dan kekerasan tetapi meningkatkan keuletan dan ketangguhan material. *Pearlite* merupakan struktur yang terbentuk dari reaksi *eutektoid* yang merupakan campuran lamelar *cementit* dalam sebuah matrik *ferrite*. *Pearlite* ini dapat meningkatkan kekuatan tetapi menurunkan keuletan material. (Rio Tinto, 1990)

Gambar 5 - 7 dan 9 - 11 merupakan gambar struktur mikro ADI setelah mengalami proses perlakuan *austempering* dengan variasi waktu penahanan. Pada gambar sudah terbentuk *bainite* yang ditunjukkan dengan garis-garis hitam bersilangan yang menyerupai jarum. Terbentuknya *bainite* berpengaruh terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tarik material. Austenit sisa atau *Retained austenit* yang merupakan fasa *austenite*

yang tertahan selama transformasi juga terlihat yang ditunjukkan dengan warna terang yang menyebabkan material memiliki sifat ulet.

Pada waktu pengecoran, penambahan unsur tembaga berfungsi untuk pembentuk grafit pada transformasi *eutektik* dan cenderung menjaga coran bebas dari *chill*. Selain itu penambahan tembaga juga akan memperhalus ukuran *pearlite* sehingga kekuatannya akan meningkat. Penggunaan tembaga berkisar antara 0,3% sampai 1,5%.

Sedangkan penambahan molibdenum pada saat pengecoran akan menggalakkan karbida. Pada proses *austempering*, molibdenum akan mencegah terbentuknya *pearlite* saat dilakukan proses *quenching* karena akan menggeser garis-garis transformasi ke arah kanan. (Rio Tinto, 1990)

Pada waktu proses *austempering*, tembaga paling efektif untuk mencegah terbentuknya *pearlite* saat digunakan bersama dengan 0,5% sampai 2,0% Mo. Kemampukerasan paduan ini sangat bagus yang mengindikasikan adanya pengaruh yang sinergi saat tembaga dan molibdenum ditambahkan dalam besi cor. (ASM Handbook Vol. 1)

## KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa penambahan paduan Cu dan Mo serta perlakuan panas *austempering* pada *ductile iron* akan meningkatkan sifat mekanisnya.

Perlakuan panas *austempering* dengan waktu penahanan sampai 4 jam pada ADI paduan 0,5% Cu + 0,3% Mo dan 0,5% Cu + 0,6% Mo masih akan meningkatkan sifat mekanisnya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ASM Handbook Volume 1. *Properties and Selection : Iron, Steel And High Performance Alloys*.
2. *Ductile Iron Data for Design Engineers*, Published by Rio Tinto Iron & Titanium Inc. 1990
3. Hayrynen, K. L., *The Production of ADI*, Word Conference on ADI, 2002
4. Lawrence H. Van Vlack, *Ilmu Dan Teknologi Bahan* edisi kelima, Erlangga 1992.
5. Miguel A.Y. *Modeling The Microstructure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron*, University of Cambridge, 2001.
6. Surdia, Tata., Saito, Shinroku., *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Prandya Paramita, Jakarta, 1995.