

**LAPORAN PENELITIAN HIBAH PEKERTI**

**TAHUN 2008**



UPT-PUSTAKA-UNDIP

No. Daff: 610/K/EM/LIT/C

Tgl. : 6-3-2008

**Peningkatan Kualitas Besi Cor Austempered Ductile Iron  
(ADI) untuk Komponen Otomotif Melalui Penambahan  
Unsur Paduan Molybdenum (Mo) dan Tembaga (Cu)**

**Anggota TPP :**

**Yusuf Umardani, ST, MT  
Ir. Yurianto, MT  
Gunawan Dwi Haryadi, ST, MT**

**Anggota TPM :**

**Moch. Noer Ilman, ST, MSc, PhD  
Dr. Suyitno, ST, MSc**

**DIBIYAI OLEH DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI,  
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL, SESUAI DENGAN SURAT  
PERJANJIAN PELAKSANAAN HIBAH PENUGASAN PENELITIAN  
DESENTRALISASI TAHUN ANGGARAN 2008,  
NOMOR : 321/SP2H/PP/DP2M/III/2008, TANGGAL 5 MARET 2008**

**UNIVERSITAS DIPONEGORO  
NOVEMBER 2008**

UPT PERPUSTAKAAN UNDIP

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**LAPORAN PENELITIAN HIBAH PEKERTI 2008**

1. Judul : Peningkatan Kualitas Besi Cor *Austempered Ductile Iron* (ADI) untuk Komponen Otomotif Melalui Penambahan Unsur Paduan Molybdenum (Mo) dan Tembaga (Cu)
2. Ketua TPP
- a. Nama Ketua Peneliti : Yusuf Umardani, ST, MT
  - b. Jenis Kelamin : L/P
  - c. NIP : 132 205 841
  - d. Jabatan Struktural : -----
  - e. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
  - f. Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin
  - g. Pusat Penelitian : Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro
  - h. Alamat Kantor : Jurusan Teknik Mesin UNDIP (024) 7460059
  - i. Alamat Rumah : Jl. Ngesrep Timur VI/29. Semarang
  - j. Telp/e – mail : 08122617633/ umardaniyusuf@yahoo.com
3. Ketua TPM
- a. Nama Ketua Peneliti : Mochammad Noer Ilman, ST, MSc, PhD
  - b. Jenis Kelamin : L
  - c. NIP : 132 133 374
  - d. Jabatan Struktural : PPJ 3 Jurusan T. Mesin-Industri FT UGM
  - e. Jabatan Fungsional : Lektor
  - f. Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin
  - g. Pusat Penelitian : Lembaga Penelitian Universitas Gadjah Mada
  - h. Alamat Kantor : Jurusan Teknik Mesin UGM  
Jl. Grafika No : 2 , Yogyakarta
  - i. Telp/Faks : (0274) 521673
  - j. Alamat Rumah : Jl.Monjali 163 C, Sinduadi, Sleman, Yogyakarta
  - k. Telp/e – mail : 08157986280/ ilman33@hotmail.com
4. Pembiayaan
- a. Biaya yang diajukan Th2 : Rp.50.000.000,-
  - b. Biaya Total : Rp.110.000.000,-
  - c. Biaya dari instansi lain : Tidak ada

Semarang, 31 Oktober 2008  
Ketua Tim Peneliti Pengusul

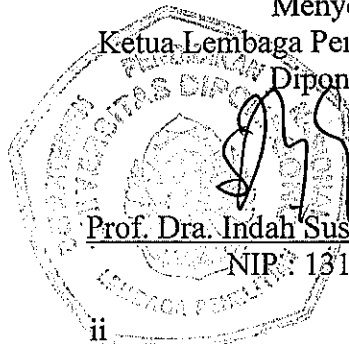


(Yusuf Umardani, ST,MT)

NIP : 132 205 841

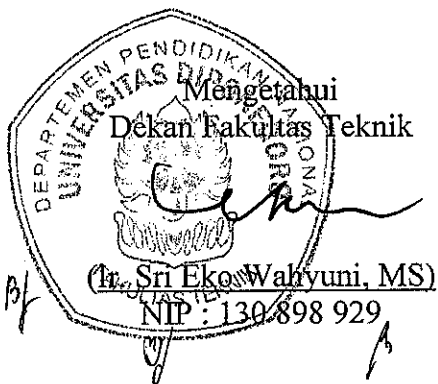
Menyetujui

Ketua Lembaga Penelitian Universitas  
Diponegoro



Prof. Dra. Indah Susilowati, M.Sc, Ph.D

NIP : 131 764 487



(Sri Eko Wahyuni, MS)

NIP : 130 898 929

## ABSTRAK

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  $\sim 1200$  °C. Salah satu jenis besi cor adalah besi cor nodular. ADI adalah perlakuan panas *austempering* 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.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh waktu austempering terhadap ketangguhan dan laju korosi ADI dari material uji. Dalam penelitian ini adalah besi cor nodular yang terdiri dari paduan 0,5% Cu; 1,0 % Cu; 0,3% Mo; 0,6% Mo; 0,5% Cu dan 0,3% Mo; serta 0,5 % Cu dan 0,6% Mo, diaustenitiasi pada temperatur 850°C selama 120 menit dan diaustemper pada temperatur 300°C selama 1, 2 dan 4 jam.

Pengujian ketangguhan menggunakan mesin uji impak *Charpy*. Dari pengujian tersebut didapat bahwa pada masing – masing paduan mengalami peningkatan keuletan akibat austempering. Harga energi impak terendah terlihat pada material ADI NP3 dan NP5, masing – masing sebesar 0,020 J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan harga energi impak tertinggi diperoleh dari material ADI AP7, yaitu sebesar 0,150 J/mm<sup>2</sup>. Untuk persentase peningkatan energi impak terbesar adalah pada pengujian impak material ADI BP5 yaitu sebesar 575 %. Sedangkan untuk peningkatan energi impak terkecil adalah 25,926 %, yaitu pada pengujian impak material ADI AP4 atau material ADI BP4.

Pengujian laju korosi dianalisa berdasarkan kehilangan beratnya. Laju korosi dapat diturunkan dengan penambahan paduan atau dengan diberikan perlakuan asutemper. Ketahanan material ADI terhadap korosi yang terbaik adalah pada penambahan 0,3 % Mo dengan perlakuan 4 jam (CP4) yaitu laju korosinya sebesar 0,020 mg/dm<sup>2</sup>day.

Kata Kunci : *Ausferrite*, Austempering, Besi cor nodular, Uji impak *Charpy*, Laju korosi.

## ABSTRACT

Cast iron represent eutectic alloy from carbon and iron where is often used in the world of industry for example for the making of balanced crank shaft at machine. Liquidity temperature which relative lower  $\sim 1200$  °C. One of the cast iron type is ductile iron. The ADI material is a heat-treated of austempering ductile iron having micro structure that is ausferrite, which consists high carbon austenite and bainitic ferrite with graphite nodules dispersed in it. This unique microstructure yields excellent properties of the ADI: high strength, toughness, good wear resistance and good machinability.

The purpose of this research is to study austempering time to mechanical properties (tensile strength and hardness) and micro structure of ADI and also chemical composition from test material. Tensile strength and hardness very influenced by micro structure, matrix shaped and composition alloy.

In this research is nodular iron alloyed with 0,5% and 1,0% copper, was austenitised at temperature 850°C during 120 minute and austempered at 300°C during 1, 2 and 4 hour.

Toughness testing is using Charpy Impact machine. From the testing it is gotten that at each alloy experiences improvement of ductility as result of austempering. The lowest of impact energy seen at material ADI NP3 and NP5, each 0,020 J/mm<sup>2</sup>. The highest of impact energy is obtained from material ADI AP7, that is 0,150 J/mm<sup>2</sup>. For improvement percentage of the biggest impact energy of diatomic is at assaying of impak material ADI BP5 that is 575 %. While for improvement of smallest impak dissociation energy of diatomic is 25,926 %, at assaying of impak material ADI AP4 or material ADI BP4.

A testing of corrosion speed is analyzed based on losing of weight. Derivable corrosion speed with addition of alloy or by given by austemper treatment. Endurance of material ADI to best corrosion is at addition of 0,3 % Mo with treatment of 4 hour(clock ( CP4) that is its(the corrosion speed 0,020 mg/dm<sup>2</sup>day.

**Key word : Ausferrite, Austempering, Ductile cast iron, spheroidal graphite, microstructure, Tensile strength, Hardness**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan YME, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis. Akhirnya penulis dapat menyelesaikan Penelitian Hibah Pekerti tahun ke-2

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bpk. Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar. TK., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
2. Istri dan anak-anakku atas seluruh kasih sayang, doa, tenaga, pikiran, harapan dengan segala keikhlasannya yang tak mungkin terbalaskan.
3. Sulardjaka, ST., MT atas bantuan selama ini
4. Pihak-pihak yang menolong terselesaikan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa Tulisan ini masih banyak kekurangan dan penulis mengharapkan generasi yang akan datang dapat memperbaiki atau melengkapi hasil Penelitian ini.

Semarang, Nopember 2008

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
<b>BAB II TUJUAN DAN MANFAAT.....</b>	<b>3</b>
2.1. Tujuan Penelitian.....	3
2.2. Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB III TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
3.1. tinjauan Pustaka.....	4
3.2. Dasar teori.....	6
3.2.1. Austempered Ductile Iron (ADI).....	6
3.2.2. Proses Austempering.....	8
3.2.3. Temperatur dan Waktu Penahanan.....	12
3.2.4. Struktur Mikro ADI.....	13
3.3. Aplikasi Austempered Ductile Iron.....	16
3.4. Pengujian Bahan.....	16
<b>BAB IV METODE PENELITIAN.....</b>	<b>37</b>
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>41</b>
5.1. Pengujian Impak.....	41
5.2. Pengujian Korosi.....	77

<b>BAB VI KESIMPULAN</b>	<b>113</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>114</b>
<b>Biodata Peneliti</b>	<b>115</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Struktur Mikro ADI	5
Gambar 3.2	Proses perlakuan panas ADI	6
Gambar 3.3	Foto Mikro dari ADI	7
Gambar 3.6	Diagram Proses Austempering	9
Gambar 3.7	Diagram Pemilihan temperatur austenisasi	10
Gambar 3.10	Upper bainit dan Lower Bainit	14
Gambar 3.12	Kurva tegangan dan Regangan	18
Gambar 3.17	Perbandingan beberapa skala kekerasan	27
Gambar 3.20	Gambar alat uji impak	29
Gambar 3.22	Diagram mesin uji impak Charpy	33
Gambar 3.24	Spesimen Charpy	34
Gambar 4.1	Diagram Alir Penelitian	40
Gambar 5.1	Histogram Energi impak ADI non Paduan	62
Gambar 5.2	Histogram energi Impak ADI paduan 0,5% Cu	64
Gambar 5.3	Histogram energi Impak ADI paduan 1,0% Cu	65
Gambar 5.4	Histogram energi Impak ADI paduan 0,3% Mo	67
Gambar 5.5	Histogram energi Impak ADI paduan 0,6% Mo	68
Gambar 5.6	Histogram energi Impak ADI paduan 0,5% Cu dan 0,3% Mo	70
Gambar 5.6	Histogram energi Impak ADI paduan 0,5% Cu dan 0,6% Mo	71
Gambar 5.9	Grafik pengaruh penambahan Cu terhadap kekuatan impak	74
Gambar 5.11	Grafik Laju Korosi pada variasi waktu austempering ADI non Paduan	98
Gambar 5.12	Struktur mikro ADI non paduan	99
Gambar 5.13	Grafik laju korosi pada variasi waktu austemper untuk ADI paduan 0,5% Cu	100
Gambar 5.14	Struktur mikro ADI paduan 0,5% Cu	101
Gambar 5.15	Grafik laju korosi pada variasi waktu austemper untuk ADI paduan 1,0% Cu	102
Gambar 5.16	Struktur mikro ADI paduan 1,0% Cu	103



Gambar 5.17	Grafik laju korosi pada variasi waktu austemper untuk ADI paduan 0,3% Mo	104
Gambar 5.18	Struktur mikro ADI paduan 0,3% Mo	105
Gambar 5.19	Grafik laju korosi pada variasi waktu austemper untuk ADI paduan 0,6% Mo	106
Gambar 5.20	Struktur mikro ADI paduan 0,6% Mo	107
Gambar 5.21	Grafik laju korosi pada variasi waktu austemper untuk ADI paduan 0,5% Cu + 0,3% Mo	108
Gambar 5.22	Struktur mikro ADI paduan 0,5% Cu + 0,3% Mo	109
Gambar 4.4	Grafik hubungan antara kekerasan dengan jarak titik pengujian pada penampang melintang pada putaran 4000 rpm.....	53
Gambar 4.5	Grafik hubungan antara kekerasan dengan jarak titik pengujian pada penampang melintang pada putaran 5000 rpm.....	54
Gambar 4.6	Struktur mikro baja AISI 4140 sebelum proses plasma, dengan menggunakan etsa nital 2 % dan perbesaran 500x.....	55
Gambar 4.7	Struktur mikro permukaan baja AISI 4140 setelah proses plasma dengan berbagai variasi putaran motor dan waktu pendeposisian, dengan menggunakan etsa nital 2 % dan perbesaran 500x.....	56
Gambar 4.8	Struktur mikro permukaan baja AISI 4140 setelah proses plasma pada putaran 5000 rpm dan waktu pendeposisian 0,5 jam, dengan menggunakan etsa nital 2 % dan perbesaran 500x.....	57
Gambar 4.9	Struktur mikro permukaan baja AISI 4140 setelah proses plasma pada putaran 5000 rpm dan waktu pendeposisian 1 jam, dengan menggunakan etsa nital 2 % dan perbesaran 500x.....	58
Gambar 4.10	Struktur mikro permukaan baja AISI 4140 setelah proses plasma pada putaran 4000 rpm dan waktu pendeposisian 1,5 jam, dengan menggunakan etsa nital 2 % dan perbesaran 500x.....	59
Gambar 4.11	Struktur mikro permukaan baja AISI 4140 setelah proses plasma pada putaran 4000 rpm dan waktu pendeposisian 2 jam, dengan menggunakan etsa nital 2 % dan perbesaran 500x.....	60
		61

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Tabel Minimum Property specification for ADI Casting	7
Tabel 3.2	Teknik Pengujian kekerasan	21
Tabel 5.1	Data hasil pengujian impak	41
Tabel 5.2	Data perhitungan hasil pengujian impar ADI non paduan	62
Tabel 5.3	Data perhitungan hasil pengujian impar ADI paduan 0,5% Cu	63
Tabel 5.4	Data perhitungan hasil pengujian impar ADI paduan 1,0% Cu	65
Tabel 5.5	Data perhitungan hasil pengujian impar ADI paduan 0,3% Mo	66
Tabel 5.6	Data perhitungan hasil pengujian impar ADI paduan 0,6% Mo	68
Tabel 5.7	Data perhitungan hasil pengujian impar ADI paduan 0,5% Cu dan 0,3% Mo	69
Tabel 5.8	Data perhitungan hasil pengujian impar ADI paduan 0,5% Cu dan 0,6% Mo	71
Tabel 5.9	Perubahan massa dan presentase reduksi spesimen uji tanpa perlakuan (NP1)	78
Tabel 5.10	Perubahan massa dan presentase reduksi spesimen uji dengan perlakuan 1 jam (AP1)	78
Tabel 5.11	Perubahan massa dan presentase reduksi spesimen uji dengan perlakuan 2 jam (BP1)	79
Tabel 5.12	Perubahan massa dan presentase reduksi spesimen uji dengan perlakuan 4 jam (CP1)	79
Tabel 5.13	Perubahan massa dan presentase reduksi spesimen uji tanpa perlakuan (NP2)	79
Tabel 5.14	Perubahan massa dan presentase reduksi spesimen uji dengan perlakuan 1 jam (AP2)	80
Tabel 5.15	Perubahan massa dan presentase reduksi spesimen uji dengan perlakuan 2 jam (BP2)	80

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Permasalahan utama yang dari proses pengecoran adalah kekuatan produk cor yang relatif rendah, jika dibanding dengan produk hasil pembentukan (*forming*) [2]. Dengan berhasilnya dikembangkan material *Austempered Ductile Iron* (ADI), telah didapat suatu produk *as cast* dengan kekuatan yang tinggi. Material ADI banyak dikembangkan karena dapat menggantikan baja tempa (*forged steel*) untuk aplikasi struktur [3]. Dengan peningkatan kekuatan mekanis, material ADI kini banyak digunakan untuk menggantikan proses *forging* pada komponen otomotif.

ADI dibuat dari besi cor nodular dengan memberikan proses *austempering*. Sifat mekanis ADI dipengaruhi oleh komposisi besi cor nodular, kecepatan pendinginan dari proses austenisasi, waktu dan temperatur *austempering*. Meskipun ADI sudah dikembangkan sejak awal 1966, saat ini masih sangat banyak penelitian-penelitian pengembangan ADI. Penelitian – penelitian tentang ADI, saat ini berfokus pada usaha – usaha untuk meningkatkan sifat mekanis ADI. Material ADI dikembangkan untuk dapat memenuhi tuntutan dalam suatu struktur secara lebih spesifik. ADI secara umum memiliki komposisi kimia Fe dengan unsur paduan : C– 3,6%, Si-2,5%,Mn-0,5% dan Mg-0,05% [4]. Sifat mekanis ADI dapat ditingkatkan dengan menambah unsur paduan seperti : Ni, Mo atau V [4] atau dengan proses *thermomechanical* [5 ].

Meskipun upaya penambahan unsur paduan yang telah dilakukan mampu memperbaiki sifat mekanisnya, tetapi peningkatan sifat mekanis lebih lanjut dengan cara tersebut sangat sulit dilakukan lagi. Hal ini disebabkan oleh kelarutan unsur paduan dalam matrik memiliki batas tertentu. Penambahan unsur paduan yang melebihi batas kelarutan, menyebabkan unsur tersebut akan terdapat dalam keadaan bebas (*segresasi*) dan akan menurunkan sifat mekanis material. Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu metoda lainnya yang mampu memperbaiki sifat-sifat material besi cor nodular.

Selain dengan menambahkan unsur paduan, sifat mekanis ADI dapat ditingkatkan dengan melakukan optimasi waktu dan temperatur *austempered* [2]. Proses *austempering* terdiri dari 2 tahapan. Tahapan pertama adalah proses austenisasi pada

temperatur di atas  $750^{\circ}\text{C}$  selama 15 menit sampai dengan 2 jam. Setelah diaustenisasi kemudian dilakukan proses pendinginan cepat di dalam larutan *salt bath* sampai temperatur transformasi isothermal. Tahapan kedua adalah proses austenisasi pada temperatur antara  $250^{\circ}\text{C}$  -  $450^{\circ}\text{C}$ , selama 0,5 sampai dengan 3 jam diikuti dengan pendinginan ke temperatur ruang. Waktu dan proses perlakuan panas akan menghasilkan struktur bainit yang berbeda.

Penelitian oleh Suprihanto dkk menyimpulkan bahwa penambahan unsur tembaga (Cu) atau krom (Cr) dapat meningkatkan kekuatan besi cor hasil produk UKM [6]. Dari hasil penelitian tersebut dapat disusun suatu hipotesa bahwa penambahan unsur Cu atau akan meningkatkan kekuatan besi cor nodular sebagai bahan dasar ADI sehingga akan meningkatkan produk ADI yang dihasilkan. Namun penambahan unsur Cu atau Mo akan berpengaruh terhadap waktu transformasi *bainit*, sehingga pembahan suatu unsur harus diikuti dengan penelitian optimasi waktu *austenisasi*. Pada penelitian yang didanai oleh program Riset Unggulan Daerah ini, akan dilakukan suatu penelitian untuk meningkatkan sifat mekanis ADI dengan menambahkan unsur Cu, Mo atau Cu dan Mo. Pada penelitian ini juga akan dilakukan optimasi waktu dan temperatur pada proses *austempering*.

## BAB II TUJUAN DAN MANFAAT

### 2.1. Tujuan Penelitian

Tujuan utama kegiatan penelitian ini adalah meningkatkan sifat mekanis besi cor ADI dengan menambahkan unsur : Cu dan Mo. Fokus penelitian adalah pengaturan komposisi dan mengembangkan metoda perlakuan panas (*austempering*) yang dapat menghasilkan besi cor nodular yang berstruktur bainit (ADI) dan karakterisasi sifat-sifat mekanisnya. Oleh karena itu metoda dan tahap-tahap penelitian yang ditawarkan dirumuskan sebagai berikut.

1. Meneliti karakteristik ketahanan aus besi cor ADI.
2. Meneliti karakteristik ketahanan korosi besi cor ADI.
3. Meneliti karakteristik ketahanan fatik besi cor ADI.

### 2.2. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan metode pembuatan besi cor ADI dengan sifat mekanis yang sesuai untuk komponen otomotif .
2. Mendapatkan sifat besi cor ADI terhadap ketahanan lelah dan pengaruh lingkungan terhadap sifat besi cor ADI.

Dengan diketahuinya berbagai karakteristik besi cor ADI tersebut maka kita dapat menentukan apakah besi cor ADI tersebut dapat menggantikan komponen otomotif sesuai dengan persyaratan sifat mekanisnya.