

The Effect of Cu and Mo on Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Austempered Ductile Iron

by Sulardjaka Sulardjaka

Submission date: 23-Oct-2020 10:43AM (UTC+0700)

Submission ID: 1423875878

File name: 7450-22121-1-SM.pdf (381.57K)

Word count: 2227

Character count: 12599

The Effect of Cu and Mo on Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Austempered Ductile Iron

Sulardjaka^{1,2,*}, Yusuf Umardani¹ dan Agus Suprihanto¹

¹Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro

²Advanced Material Laboratory, Diponegoro University

*Corresponding Author. Email: sulardjaka@lecturer.undip.ac.id

ABSTRACT. The metal casting is the most economical manufacturing process. It can make products with complex geometries in one process. Austempered Ductile Iron (ADI) is a cast iron product that has high prospects for application, because ADI has a high strength closed to forged iron. The purpose of this study is to investigate the effect of addition of Cu and Mo on mechanical properties and corrosion resistance of ADI. Cu is added with percentages of 0.5 and 1% by weight, while Mo is added by percentages of 0.3 and 0.6% by weight. The austempering process is conducted on salt bath temperature 350 °C for 4 hours. The results of the process were characterized by hardness test, tensile test and corrosion resistance. Hardness and tensile strength of ADI were tested by Brinell hardness test based on ASTM E10 and ASTM E8 respectively. Corrosion resistance of ADI was tested by immersion corrosion testing based on ASTM G31 standard. The results of this study indicate that the addition of Cu element significantly increases the strength of ADI. The addition of Mo element inhibits graphite nodularity and not significantly increases the mechanical properties. Addition of Mo increases corrosion resistance due the amount of retained austenite.

Kata Kunci: austempered ductile iron; kekuatan tarik; kekerasan; ketahanan korosi

1. PENDAHULUAN

Permasalahan utama yang dari proses pengecoran adalah kekuatan produk cor yang relatif rendah, jika dibandingkan dengan produk hasil pembentukan (*forming*). Telah 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*) pada komponen otomotif untuk aplikasi struktur [1-4]. Besi cor ADI juga memiliki sifat yang seimbang antara kekuatan dan ketahanan aus. Besi cor ADI lebih tahan aus dibanding besi cor putih [5,6]

Austempered Ductile Iron (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%. Sifat mekanis ADI dapat ditingkatkan dengan menambah unsur paduan seperti : Ni, Mo atau V atau dengan proses *thermomechanical* [7,8].

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

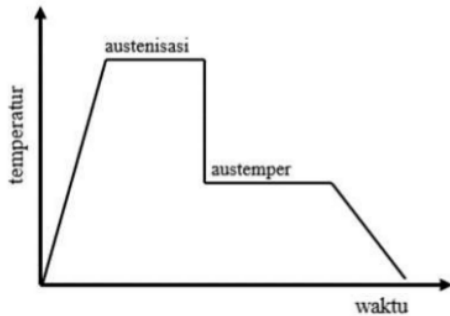
tertentu. Penambahan unsur paduan yang melebihi batas kelarutan, menyebabkan unsur tersebut akan terdapat dalam keadaan bebas (segresasi) dan akan menurunkan sifat mekanis material. Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu metoda lainnya yang mampu memperbaiki sifat-sifat material besi cor nodular. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh penambahan Cu dan Mo terhadap sifat mekanis dan ketahanan aus besi cor ADI.

2. METODE

Penelitian diawali dengan pembuatan besi cor dengan pengaturan komposisi sehingga dapat dihasilkan besi cor nodular. Proses pengecoran besi cor nodular dilakukan untuk membuat *test bar* yang berbentuk poros berdiameter 30 mm dengan panjang 60 mm dan balok dengan dimensi 100 mm x 50 mm x 10 mm. Peningkatan sifat mekanis ADI dilakukan dengan menambahkan unsur tembaga (Cu) dengan kisaran penambahan 0,5 s/d 1 % atau unsur molybdenum (Mo) dengan prosentase penambahan antara 0,2 s/d 1 %. Sebanyak 12 batang material uji yang dibuat dari *test bar* dengan bentuk silinder akan digunakan untuk spesimen uji tarik, uji kekerasan dan metalografi. Setiap *test bar* dapat dibuat spesimen uji tarik masing sebanyak 3 spesimen. Masing-masing kelompok tersebut akan dikenakan pengujian yang sama yaitu pengujian tarik, pengujian kekerasan makro dan mikro.

Metoda laku panas (*austempering*) yang diterapkan adalah dengan memanaskan spesimen sampai temperatur austenisasi di atas 900^o C kemudian ditahan selama 3 jam agar didapat temperatur yang seragam. Selanjutnya spesimen tersebut di-*quench* ke dalam suatu *salt bath*

yang temperaturnya dikondisikan tertentu. Untuk mendapatkan temperatur laku panas yang optimum, *salt bath* dikondisikan dalam variasi temperatur 300^o C. Dengan waktu penahanan proses austempering selama 4 jam. Proses austempering secara skematik ditunjukkan pada Gambar 1. Selanjutnya dilakukan pengujian metalografi untuk mengetahui struktur akhir dari spesimen uji.



Gambar 1. Grafik Skematik Proses Austempering

1 Pengujian metalografi ini dimulai dari penyiapan spesimen yang meliputi *sectioning*, *mounting*, *grinding*, *polishing* dan *etching*. Larutan etsa yang digunakan adalah nital dengan konsentrasi 5%. Pengujian kekerasan makro menggunakan metoda Brinnel dengan mengacu pada standarisasi ASTM E10. Pengujian tarik dilakukan

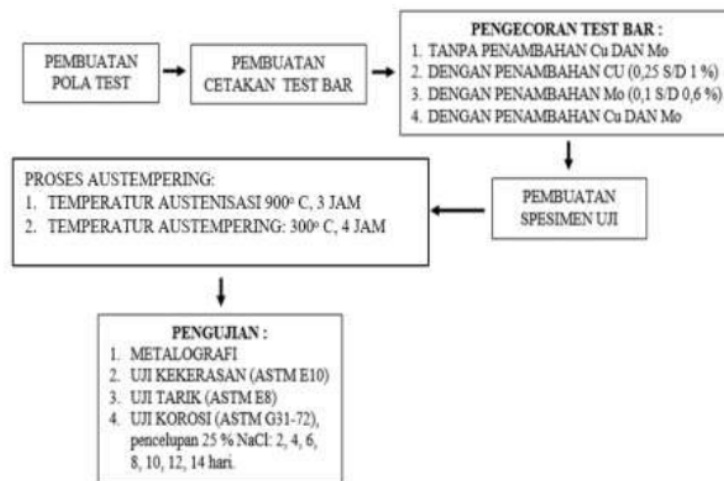
dengan mengacu pada standarisasi ASTM E8. Pengujian dilakukan pada temperatur kamar dengan 3 spesimen untuk setiap satu titik data. Penyiapan spesimen dilakukan dengan mesin *freis* CNC untuk mendapatkan spesimen yang seragam.

Ketahanan korosi besi cor ADI dilakukan dengan menggunakan metode pengujian Immersion Corrosion Testing pada skala laboratorium. Pengujian korosi didasarkan pada standarisasi ASTM G31-72. Untuk menguji ketahanan korosi besi cor ADI dilakukan dengan merendam spesimen pada lingkungan korosif (menggunakan larutan 25% NaCl). Laju korosi diukur dengan menimbang pengurangan berat besi cor ADI dengan menggunakan timbangan digital dengan kecermatan 0,01 gr. Penimbangan dilaksanakan setelah spesimen direndam dalam larutan 25% NaCl selama : 2, 4, 6, 8, 10, 12 dan 14 hari. Laju korosi dihitung dengan persamaan (1). Secara skematik, metode penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.

$$mmpt = 87,6 \frac{W}{D.A.T} \text{ milimeter per tahun} \quad (1)$$

di mana:

- 4 W = kehilangan berat (gram)
- D = densitas (gram/cm³)
- A = luar permukaan (cm²)
- T = lama perendaman (jam)



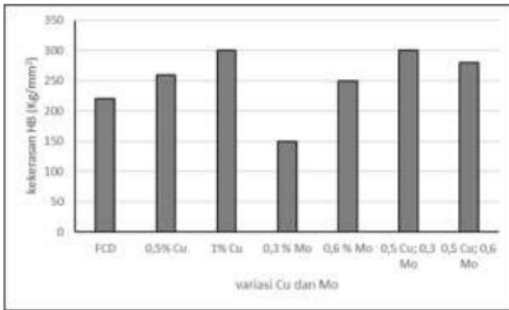
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

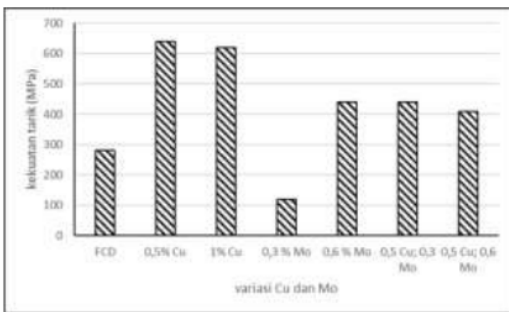
Hasil pengujian kekerasan ADI tanpa paduan maupun dengan penambahan unsur Cu, Mo, Cu dan Mo ditunjukkan pada Gambar 3. Grafik hasil pengujian kekerasan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa penambahan unsur Cu sebanyak 0,5 % dan 1 % berat, meningkatkan kekerasan ADI. Kekerasan meningkat

dengan meningkatnya penambahan unsur Cu ke 1 % berat. Penambahan unsur Mo sebanyak 0,3 % berat menurunkan kekerasan ADI, namun penambahan Mo sebanyak 0,6 % berat meningkatkan kekerasan ADI. Peningkatan kekerasan akibat penambahan unsur Mo, masih di bawah dari peningkatan kekerasan akibat penambahan unsur Cu. Penambahan unsur Cu dan Mo

meningkatkan kekerasan ADI, namun peningkatan Mo dari 0,3 % berat ke 0,6 % berat kekerasan yang dihasilkan masih di bawah kekerasan dari penambahan 1 % berat Cu atau 0,5 % Cu dan 0,3 % Mo. Kekerasan tertinggi yang dihasilkan sebesar 300 Brinell (Gambar 3).

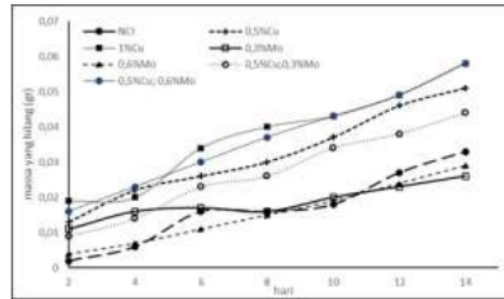


Gambar 3. Pengaruh paduan Cu, Mo, Cu dan Mo terhadap Kekerasan Besi Cor ADI

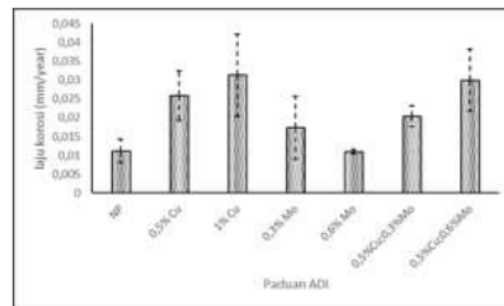


Gambar 4. Pengaruh paduan Cu, Mo, Cu dan Mo terhadap Kekuatan Tarik Besi Cor ADI

Gambar 4 menunjukkan pengaruh penambahan unsur paduan Cu, Mo, Cu dan Mo terhadap kekuatan tarik besi cor ADI. Grafik tersebut menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi sebesar 640 MPa dihasilkan dari penambahan unsur Cu sebesar 0,5 % berat. Peningkatan unsur Cu ke 1% berat menurunkan kekuatan tarik besi cor ADI. Penambahan unsur Mo sebanyak 0,3 % menurunkan kekuatan tarik ADI. Kekuatan tarik dan kekerasan besi cor ADI dipengaruhi oleh terbentuknya struktu grafit nodular [4,9]. Struktur mikro ADI dengan penambahan 0,3 % Mo ditunjukkan pada Gambar 7 (d). Gambar 7 (d) menunjukkan bahwa struktur mikro yang dominan terbentuk adalah ferit dan pearlit. Hanya sedikit grafit nodular yang terbentuk dengan *nodularity* yang rendah. Tidak terbentuknya grafit dengan nodularitas yang tinggi, mengakibatkan sifat mekanis (kekuatan tarik dan kekerasan) besi cor ADI rendah [1,10]. Jika dibandingkan dengan tanpa penambahan unsur paduan, kekuatan tarik yang dihasilkan akibat penambahan Mo sebanyak 0,6 % berat, Cu dan Mo meningkatkan kekuatan tarik besi cor ADI.



Gambar 5. Massa yang Hilang pada Besi Cor ADI dengan Variasi Paduan Cu, Mo, Cu dan Mo

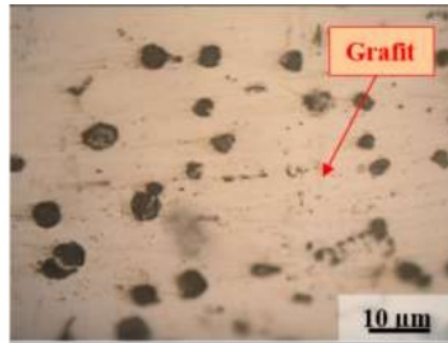


Gambar 6. Laju Korosi Besi Cor ADI dengan Variasi Paduan Cu, Mo, Cu dan Mo

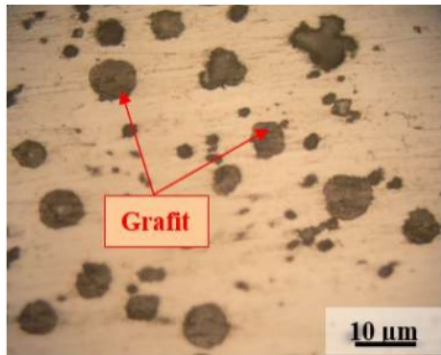
Struktur mikro besi cor ADI tanpa penambahan paduan ditunjukkan pada Gambar 7(a), besi cor ADI dengan penambahan 0,5 % Cu dan 1 % Cu ditunjukkan pada Gambar 7(b) dan 7(c). Gambar 7(b) dan 7(c) menunjukkan bahwa penambahan Cu dapat mendorong pembentukan perlit pada proses pengecoran. Paduan Cu pada besi cor ADI berperan dalam membentuk karbida yang kuat [11]. Sehingga kekuatan dan kekerasan besi cor ADI meningkat. Struktur mikro ADI dengan penambahan 0,3 % Mo dan 0,6 % Mo ditunjukkan pada Gambar 7(d) dan 7(e). Struktur mikro ADI dengan 0,3 % Mo didominasi oleh pearlit dan ferit, struktur nodular sangat sedikit yang terbentuk. Namun, dengan perlakuan panas austempering, Mo bertindak sebagai penstabil austenit sehingga meningkatkan kandungan *retained austenite* [12]. Pada penambahan 0,6 % Mo terbentuk grafit nodular dengan nodularitas yang rendah, seperti ditunjukkan pada Gambar 7(e). Penambahan unsur Mo mengakibatkan terhambatnya pembentukan grafit nodular namun penambahan Mo meningkatkan kandungan *retained austenite*. Kandungan *retained austenite* dapat meningkatkan ketahanan korosi [7]. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian massa yang hilang (Gambar 5) dan hasil pengujian laju korosi (Gambar 6). Grafik pada Gambar 6 menunjukkan laju korosi pada besi cor ADI dengan penambahan 0,6 % Mo lebih rendah dibandingkan laju korosi pada besi Cor ADI tanpa penambahan Mo. Hal ini sesuai dengan penelitian Akinribide et.al. (2019),



(a) ADI non paduan



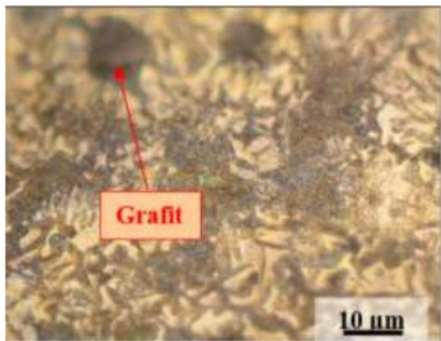
(b) ADI 0,5 % Cu



(c) ADI 1 % Cu



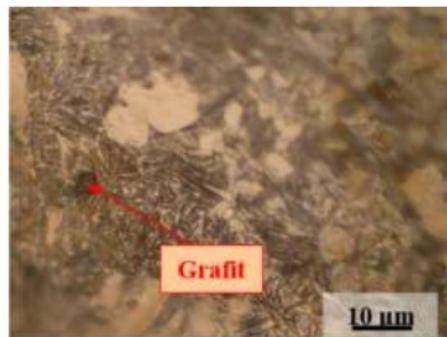
(d) ADI 0,3 % Mo



(e) ADI 0,6 % Cu



(f) ADI 0,5 % Cu; 0,3 % Mo



(g) ADI 0,5 % Cu; 0,6 % Mo

Gambar 7. Struktur Mikro Besi Cor ADI dengan Variasi Paduan Cu, Mo, Cu dan Mo

bahwa penambahan Mo meningkatkan ketahanan korosi besi cor ADI pada lingkungan yang korosif [13]. Penambahan unsur Cu dan Mo selain didapat peningkatan sifat mekanis, paduan Mo meningkatkan ketahanan korosi besi cor ADI, sehingga didapat sifat yang lebih baik. Pada penambahan unsur Cu dan Mo, selain terbentuk grafit nodular dengan karbida yang kuat akibat penambahan Cu, juga terdapat struktur ferit, pearlit serta *retained austenite* seperti ditunjukkan pada Gambar 7(f) dan Gambar 7(g).

4. KESIMPULAN

Penambahan unsur Cu pada besi cor ADI meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan besi cor ADI. Penambahan unsur Mo menurunkan sifat mekanis besi cor ADI, karena menghambat nodulasi grafit. Namun unsur Mo meningkatkan ketahanan korosi besi cor ADI karena struktur ferit, pearlit dan *retained austenite* yang dihasilkan. Penambahan Cu dan Mo meningkatkan sifat mekanis dan ketahanan korosi besi cor ADI.

PENGHARGAAN

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Dekan Fakultas Teknik yang telah memberikan dana bagi pelaksanaan penelitian ini, melalui anggaran DIPA FT tahun 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahmatullah, A. dkk., Pengaruh temperatur austempering terhadap sifat mekanis dan struktur mikro austempered ductile iron, *Seminar Nasional Rekayasa Manufaktur dan Industri 2005*, Semarang 10 Desember 2005. 2005.
- [2] Samaddar, S., et.al., Manufacturing of engineering components with austempered ductile iron – A Review, *Materials Today: Proceedings* 5, 5615–5624, 2018.
- [3] J. Zimba, dkk., Austempered ductile iron: an alternative material for earth moving components, *Cement & Concrete Composites* 25, 643–649, 2003.
- [4] Putatunda, S.K. and Gadicheria, P.K., Effect of austempering time on mechanical properties of a low manganese austempered ductile iron, *JMEPEG*, Vol 9 (2), 193 – 203, 2000.
- [5] Straffellini, G. et.al., Dry rolling-sliding wear of austempered cast iron, *Wear* 271, 1602– 1608, 2011.
- [6] Cardoso, P.H.S. et.al., Abrasive wear in Austempered Ductile Irons: A comparison with white cast irons, *Wear* 313, 29–33, 2014.
- [7] Singh, I and Putantunda, S.K., Fatigue crack growth behaviour of austempered ductile iron (ADI) alloyed with chromium, *Transaction of the Indian Institute of Metals*, 47, 317 – 325, 1994.
- [8] Achary, J., Tensile properties of austempered ductile iron under thermomechanical treatment, *JMPEG*. Vol. 9 (1), 56 – 61, 2000.
- [9] Lekakh, S.N. et.al., Graphite nodule size distribution in ductile iron, *AFS Proceedings* 2013, 1313 – 1321, 2013.
- [10] Ramadan, M. et.al., Influence of graphite nodularity on microstructure and processing window of 1.5% Ni–0.3% Mo austempered cast iron, *Materials Science and Engineering A* 435–436, 564–572, 2006.
- [11] Balachandran, G. et.al., Mechanical and wear behavior of alloyed gray cast iron in the quenched and tempered and austempered conditions, *Materials and Design* 32, 4042–4049, 2011.
- [12] Kilinc, B. and Kirtay, S., Influence of Cu addition and austempering treatment on mechanical properties and microstructure of GGG 50, *Acta Physica Polonica A*. Vol: 32 (3), 461 – 465, 2017.
- [13] Akinribide, O. J. et.al., Corrosion behavior of ductile and austempered ductile cast iron in 0,01 M and 0,05 M NaCl environment. *Procedia Manufacturing* 30, 167–172, 2019.

The Effect of Cu and Mo on Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Austempered Ductile Iron

ORIGINALITY REPORT

10%

SIMILARITY INDEX

9%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	alfijar.files.wordpress.com Internet Source	5%
2	Submitted to Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Student Paper	2%
3	www.imim.pl Internet Source	1%
4	Submitted to Universitas Jember Student Paper	1%
5	pt.scribd.com Internet Source	1%
6	Submitted to Universitas Diponegoro Student Paper	1%

Exclude quotes Off

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On