

PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR 0,25 % Mo PADA BESI TUANG NODULAR YANG DIAUSTENISASI DAN DIAUSTEMPER MENJADI AUSTEMPER DUCTILE IRON TERHADAP SIFAT MEKANISNYA

Nukman¹, Bustanul Arifin², dan Bambang Sugiarto³

1. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Inderalaya, Palembang, 30662

2. Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 16424

3. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 16424

E-mail: ir_nukman2001@yahoo.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meneliti pengaruh 0,25 % Molibdenum (Mo) yang dikandung dalam besi tuang nodular terhadap sifat mekanis Austempered Ductile Iron (ADI). Variasi temperatur dan waktu tahan digunakan dalam proses perlakuan panas. Dengan 0,25 % Mo dalam besi tuang, ADI yang dibuat, menghasilkan suatu nilai tegangan tarik yang besar dan menurunkan elongasi bila kita bandingkan dengan as-cast (paduan dan non paduan besi tuang tanpa perlakuan panas). Nilai energi impact terbesar didapat pada temperatur austenisasi 900^o C dan austempering 375^o C dengan waktu tahan selama 60 menit. Struktur berubah menjadi ausferrit.

Abstract

The aim of this research is to investigate the effects of 0.25 % Mo (Molybdenum) which is contained in the ductile cast iron on mechanical properties of Austempered Ductile Iron (ADI). The various temperatures and the holding times are used in the heat treatment processes. Using a given 0.25 % Mo in the ductile iron, ADI's alloyed develops a higher ultimate tensile stress value and decreases the elongation if we compare with the as cast (non alloy ductile iron). The higher impact energy value obtained at 900^o C austenization and 375^o C austempering temperatures during 60 minutes holding times. The structure changes into ausferrit.

Keywords: Heat treatment, holding time, temperature, Ultimate Tensile Strength, Elongation and Impact energy

Pendahuluan

Dengan penemuan proses perlakuan Magnesium (Mg) dalam sistem pengecoran, maka produksi besi tuang meningkat sejak tahun 1950 an [1-2-3]. Besi tuang adalah paduan antara besi dan karbon dengan persentase karbon lebih dari 3% dan di samping itu terdapat juga unsur-unsur lain seperti Si, Mn, S dan lainnya. Unsur-unsur ini menjadikan sifat fisis/mekanis besi tuang berbedabeda. Kadar karbon yang tinggi mengakibatkan besi tuang bersifat rapuh dan tidak dapat ditempa. Jenis lain dari besi tuang selain besi tuang kelabu yang ditandai dengan patahannya berwarna keabu-abuan, besi tuang putih dengan patahannya yang berwarna putih dan besi tuang mampu tempa, adalah besi tuang nodular yang

kandungannya berbentuk nodul grafit (*spheroidal*) atau sering disebut sebagai besi liat (*ductile iron*) atau besi tuang nodular.

Besi tuang nodular terus dikembangkan dengan beberapa pertimbangan bahwa besi tuang nodular mempunyai keuletan yang baik dan mempunyai ketahanan korosi dan ketahanan panas yang baik pula, di samping sifat lain yaitu sifat mekanisnya mendekati sifat mekanis baja. Besi tuang nodular mengandung grafit sekitar (8 – 12 %) dari volume [4]. Unsur-unsur tertentu yang mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanis besi tuang nodular adalah Silikon (Si), Mangan (Mn), Nikel (N), Khromium (Cr), Tembaga (Cu), Tin (Sn), Molibdenum (Mo) [3]. Sedangkan proses perlakuan panas austemper juga mempengaruhi struktur mikro dan sifat-sifatnya.

Logam hasil dari proses perlakuan panas austemper ini umumnya disebut sebagai ADI – besi tuang nodular austemper. Adapun sifat mekanis tersebut meliputi Kekuatan (*strength*), Keuletan (*ductility*) Ketangguhan (*toughness*), dan Kekerasan (*hardness*)[5].

Besi tuang nodular didapat dengan memperlakukan cairan besi tuang kelabu biasa dengan kadar S < 0.015 % dengan proses perlakuan khusus, yaitu dengan menambahkan unsur Mg kepada cairan besi tuang sesaat sebelum cairan dituang. Grafit yang dihasilkan berbentuk bulat atau nodular yang mempunyai derajat konsentrasi tegangan yang kecil, sehingga berakibat kekuatan besi tuang menjadi lebih baik [6].

Latar belakang dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas austenisasi dan austemper pada besi tuang nodular terhadap kekuatan tarik, elongasi dan energi impaknya. Hasil perlakuan panas akan memberikan kesempatan terjadinya transformasi matriks yang nantinya akan menghasilkan sifat-sifat mekanis khusus bagi ADI yang dibuat.

Standard ASTM menamakan struktur matriks yang diaustemper secara benar yaitu ausferrit, yang menunjukkan bahwa struktur ADI tersebut terdiri dari austenit dan ferrit [7].

Dengan Keel-block, Mallia [8], telah melakukan penelitian tentang pengaruh austenisasi pada temperatur 850°, 900° dan 950° C dan temperatur austemper 360°C. Waktu tahan untuk austenisasi yaitu 1 jam dan ditahan selama 5 menit – 7 jam untuk penemperan. Pengaruh kandungan Si akibat bervariasinya temperatur austenisasi dan kandungan Si terhadap nilai-nilai energi impact adalah rendah bilamana waktu austemper kurang dari 30 menit. Juga untuk

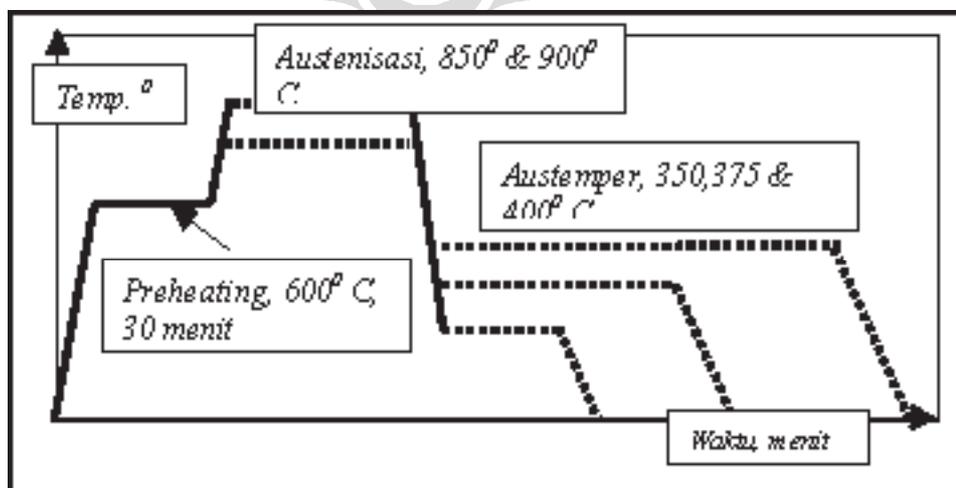
kandungan Si yang diberikan, peningkatan temperatur austenisasi dari 850 ke 950°C, menaikkan waktu yang diberikan untuk mencapai energi impact yang maksimum. Meningkatnya kandungan Si dari 1.02% ke 3.31% dan untuk seluruh temperatur austenisasi, nilai energi impact maksimum juga bertambah. Untuk temperatur austenisasi pada penelitiannya ini, waktu austemper menghasilkan penurunan optimum energi impact dengan meningkatnya kandungan silikon.

Ali & Elliot [9], melakukan penelitian dengan sampel yang dibuat dari Keel-block besi tuang ulet Mn-Mo-Cu dengan komposisi 3.49C – 2.23Si – 0.42Mn – 0.25Cu – 0.23Mo – 0.035Mg, austenisasi dilakukan pada dua macam temperatur yaitu 870° dan 920° C, sedangkan temperatur austempering pada 350°, 375° dan 400° C. Bila dibandingkan dengan standard ADI, kenaikan elongasi diikuti dengan kenaikan tegangan tarik. Sedangkan dengan penurunan temperatur austenisasi 870° C, memperbaiki keuletan (*ductility*) pada temperatur austemper yang konstant.

Metode Penelitian

Sebagai as-cast dalam penelitian ini adalah besi tuang nodular FCD 450 [10] dan besi tuang nodular berunsur paduan Mo dengan persentase 0.25 %. Grafit bebas yang berbentuk bulat (nodular) pada besi tuang nodular (BTN-FCD) dihasilkan dari reaksi Mg pada proses peleburan besi tuang. Sifat mekanis yang diperoleh dari grafit yang berbentuk bulat adalah kekuatan, ketangguhan dan keuletan yang baik. Begitu juga halnya pada pengaruh unsur paduan Mo yang ditambahkan

Hasil proses perlakuan panas akan menghasilkan ADI dengan cara mengatur waktu pemanasan (*holding time*). Sejumlah sampel uji besi tuang nodular dan besi tuang



Gambar 1. Skematis proses perlakuan panas

nodular paduan tidak akan menerima perlakuan panas dan sampel-sampel ini dipakai sebagai pembanding. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah besi tuang nodular dan besi tuang nodular paduan dengan unsur paduan 0,25 % Mo. Unsur paduan ini dimasukkan kedalam ladle yang berisi cairan BTN. Sampel dicor di bagian Casting Toyota Astra, Sunter Jakarta Utara.

Kepada dua macam sampel uji yaitu paduan, sampel A dengan unsur Mo dan non paduan, sampel B, sebelum diberikan proses perlakuan panas austenisasi pada temperatur 850^o dan 900^o C dengan waktu tahan masing-masing 60 menit, dilakukan proses *preheating* pada temperatur 600^o C selama 30 menit untuk menghindari terjadinya retak pada permukaan sampel uji. Kemudian terhadap sampel-sampel tersebut di atas diberikan proses austemper masing-masing pada 350^o, 375^o dan 400^o C dengan waktu tahan masing-masing selama 30, 60 dan 120 menit. Gambar 1 menunjukkan skematis proses perlakuan panas pada sampel uji.

Pengamatan struktur mikro, dilakukan dengan mengamati permukaan sampel, yang bertujuan untuk mengetahui apakah nodul yang diperkirakan terbentuk telah timbul, setelah perlakuan panas dan melihat bentuk perlit, ferrit, dan bainit, juga timbul. Untuk mengetahui nilai tegangan tarik dan elongasi, maka diperlukan uji tarik, dengan membentuk sampel uji sesuai dengan standard ASTM A 370. Pengujian nilai energi impact dilakukan dengan memberikan beban kejut terhadap sampel yang dibentuk untuk uji impact yang mengikuti standard ASTM.

Hasil dan Pembahasan

1. Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia produk cor dilakukan di PT.Bakri Tosan Jaya Jakarta. Tabel I adalah data hasil uji komposisi.

2. Pengujian Kekuatan Sifat Mekanis

Pengujian kekuatan sifat mekanis dari sampel uji meliputi pengujian-pengujian tarik disertai elongasi dan impact. Untuk kemudahan dan kesederhanaan penulisan maka sampel-sampel uji tersebut ditulis dalam bentuk kodefikasi tertentu. Pengujian dilakukan di LMK-PLN Kalibata Jakarta.

Sebagai contoh sampel: A/900/350

Dimana artinya adalah:

- A = Coran sampel uji
- 900 = Derajat Temperatur Austenisasi
- 350 = Derajat Temperatur Austemper

Sampel Uji terdiri dari benda coran A dan B
Temperatur Austenisasi 900^o dan 850^o C

Tabel 1. Data hasil uji komposisi

| Unsur Kimia | Sampel(%) | |
|-----------------|-------------|-------|
| | A | B |
| Karbon (C) | 3.59 | 3.72 |
| Silikon (Si) | 1.90 | 2.34 |
| Sulfur (S) | 0.008 | 0.004 |
| Fosfor (P) | 0.024 | 0.017 |
| Mangan (Mn) | 0.25 | 0.29 |
| Nikel (Ni) | 0.030 | 0.025 |
| Kromium (Cr) | 0.031 | 0.003 |
| Molibdenum (Mo) | 0.263 | 0.005 |
| Tembaga (Cu) | 0.02 | 0.01 |
| Titan (Ti) | 0.012 | 0.01 |
| Zinok (Zn) | 0.098 | 0.008 |
| Aluminium (Al) | 0.020 | 0.008 |
| Timbal (Pb) | 0.014 | 0.009 |
| Barium (Ba) | 0.01 | 0 |
| Magnesium (Mg) | 0.058 | 0.044 |
| CE | 4.569 | 4.5 |
| Fe | 91.82 | 92.73 |

Temperatur Austemper 350^o, 375^o dan 400^o C

Tabel-tabel 2, 3 dan 4 berikut adalah tabel data sifat mekanis rata-rata.

Tabel 2. Data hasil uji tarik rata-rata kondisi as-cast

| Sampel | Tegangan Tarik Kg/mm ² | Yield Str Kg/mm ² | Elongasi % | Keterangan |
|-------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------|------------|
| A (as-cast) | 35 | 37 | 17 | 0.25 % Mo |
| B (as-cast) | 39 | 41 | 7 | Non Paduan |

Tabel 3. Data hasil uji tarik rata-rata

| Sampel | Tegangan Tarik kg/mm ² | Yield Strength kg/mm ² | Elongasi % | Keterangan |
|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------|------------------------------|
| A/850/350 | 92 | 64 | 5.9 | A D I Paduan 0.25 % Mo |
| A/850/375 | 91 | 64 | 6.9 | |
| A/850/375 | 89 | 61 | 5.1 | |
| A/900/350 | 102 | 71 | 4 | |
| A/900/375 | 100 | 70 | 5 | |
| A/900/400 | 81 | 54 | 7 | |
| B/850/350 | 98 | 69 | 5.2 | A D I Non Paduan |
| B/850/375 | 100 | 70 | 4.3 | |
| B/850/400 | 100 | 70 | 4.2 | |
| B/900/350 | 101 | 71 | 4.2 | |
| B/900/375 | 104 | 73 | 4.3 | |
| B/900/400 | 104 | 74 | 4 | |

Tabel 4. Data Hasil Uji Impak Rata-rata

| Sampel | I m p a k | | Keterangan |
|-----------|-----------|----------------------|------------|
| | (J) | (J/cm ²) | |
| A/850/350 | 7.3 | 9.3 | |
| A/850/375 | 7.5 | 8.3 | ADI |
| A/850/375 | 5.3 | 6.7 | Paduan |
| A/900/350 | 7.3 | 9.3 | 0.25%Mo |
| A/900/375 | 10.7 | 13.3 | |
| A/900/400 | 7 | 8.5 | |
| B/850/350 | 5.5 | 7.2 | |
| B/850/375 | 5.5 | 7 | ADI |
| B/850/400 | 5 | 6.5 | NonPaduan |
| B/900/350 | 5 | 6.5 | |
| B/900/375 | 5.3 | 6.5 | |
| B/900/400 | 4.8 | 6.5 | |

3. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro di Lab. Metalografi Jurusan Metalurgi Fak. Teknik Universitas Indonesia. Pembesaran yang dilakukan adalah sebesar 200 X.

Pembahasan

1. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan memfoto permukaan benda coran yang akan diamati yang telah dihaluskan sebelumnya dan pembesaran adalah 200 x dan dengan pemberian nital 5%. Pada gambar struktur mikro as-cast B (Gambar 2), matriks berupa campuran ferrit dan perlit terlihat, dimana fasa ferrit berupa daerah warna terang dan yang berwarna gelap tidak beraturan adalah fasa perlit. Warna gelap adalah nodul yang terbentuk. Gambar struktur mikro as-cast A (Gambar 3) terlihat warna putihnya lebih dominan dibandingkan pada as-cast B. Berarti fasa ferrit yang terbentuk lebih banyak. Kemudian setelah proses austemper, terbentuk bainit, dimana bainit ini adalah bainit ferrit dan karbida yang kandungan karbonnya sebesar 3,59 % untuk sampel A dan 3,72 % untuk sampel B. Pada Gambar 4 - 7, bagian-bagian serpihan tajam adalah karbida yang terbentuk, sedangkan sebaran nodul yang terbentuk semakin banyak dari proses awal austemper (A/850/350 ke A/900/400 dan B 850/350 ke B/900/400). (Lihat juga, Kovacs [7]).

1. Sifat Mekanis As-cast

Pada kondisi as-cast, sampel B, tegangan tariknya sebesar 59 kg/mm² (Gambar 10). Tegangan tarik as-cast A adalah 53 kg/mm². Hal ini berarti bahwa penambahan unsur Mo pada as-cast A menurunkan tegangan tarik sebesar 10%. Penambahan unsur Mo juga mempengaruhi besarnya elongasi. Terjadi peningkatan nilai elongasi. As-cast mempunyai elongasi 6,7 % (Gambar 8 dan 12), as-cast A

elongasinya 16,5 % (Gambar 8 dan 11), sehingga bila dibandingkan as-cast A dengan B terjadi peningkatan elongasi sebesar 143 %.

1. Sifat Mekanis ADI

- Tegangan Tarik

Secara umum dikatakan bahwa terdapat peningkatan kekuatan tarik, setelah as-cast A dan B diberi perlakuan

Gambar 2. Foto struktur as-cast B pembesaran 200 X

Gambar 3. Foto struktur mikro as-cast A pembesaran 200 X

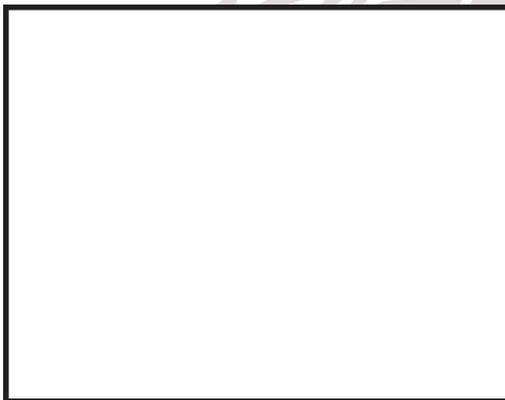
Gambar 4. Foto struktur mikro sampel A/850/350 pembesaran 200 X



Gambar 5. Foto struktur mikro sampel B/850/350 pembesaran 200 X



Gambar 6. Foto struktur mikro sampel A/900/400 pembesaran 200 X



Gambar 7. Foto struktur mikro sampel B/900/400 pembesaran 200 X

panas. Bila dibandingkan antara tegangan tarik rata-rata sampel B dengan as-cast B, terjadi peningkatan 72% tegangan tarik. Kenaikan tegangan tarik juga terdapat pada sampel B, dimana tegangan tarik rata-ratanya adalah 92 kg/mm² dengan tegangan tarik maksimum pada A 900/350 dan tegangan tarik minimum pada A/900/400, sedangkan as-castnya 53 kg/mm², sehingga peningkatannya adalah 73,5 %.

- Elongasi

Elongasi rata-rata sampel B dari Gambar 12 adalah sebesar 4,4 % dan bila dibandingkan dengan as-castnya sebesar 7 % maka telah terjadi penurunan elongasi sebesar 59 %. Dari Gambar 11 dapat dilihat as-cast A mempunyai elongasi sebesar 17 %, sehingga kalau dibandingkan dengan elongasi rata-ratanya sebesar 6 %, maka terjadi penurunan sebesar elongasi 65 % pada sampel paduan 0,25 % Mo.

- Impak

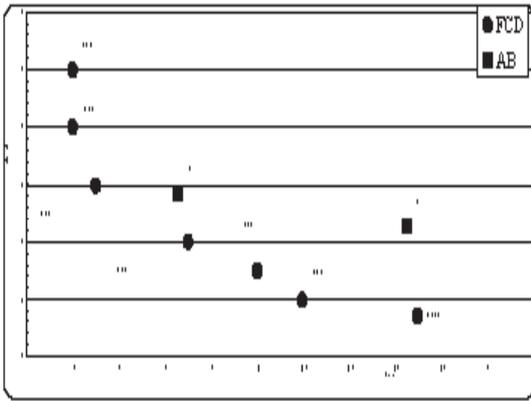
Kedua macam sampel A dan B (gambar 9 dan 14) pada kondisi pengujian bahan bertemperatur ruang membentuk pola bentuk grafik yang sama, yaitu kenaikan temperatur austemper untuk temperatur austenisasi 850⁰ C menyebabkan penurunan kemampuan impak benda coran. Berbeda halnya dengan sampel yang mendapat perlakuan panas yang diaustenisasi pada 900⁰ C, sampel yang diaustemper 375⁰ C lebih besar kekuatan impaknya dibandingkan dengan sampel yang diaustemper 350⁰ dan 400⁰ C, dengan catatan bahwa kenaikan dari 350⁰ ke 375⁰ C menaikkan kekuatan impak yang kemudian menurun bila diaustemper pada 400⁰ C, dimana kekuatan impak kondisi austemper 400⁰ C lebih rendah dari 350⁰ C.

Kenaikan kekuatan impak terdapat pada sampel A dengan kondisi temperatur austemper 375⁰ C dengan temperatur austenisasi dari 850⁰ ke 900⁰ C, kekuatan impak pada 850/375 adalah 8,3 J/cm² sedangkan pada sampel A/850/350 dan A/900/350 mencapai nilai kekuatan impak yang samabesar yaitu 9,3 J/cm². Begitu juga dengan sampel B/850/400 kekuatan impaknya samabesar dengan B/900/350,375,400, yang mengindikasikan perubahan temperatur pada sampel B relatif tidak memberikan kenaikan nilai kekuatan impak yang cukup besar.

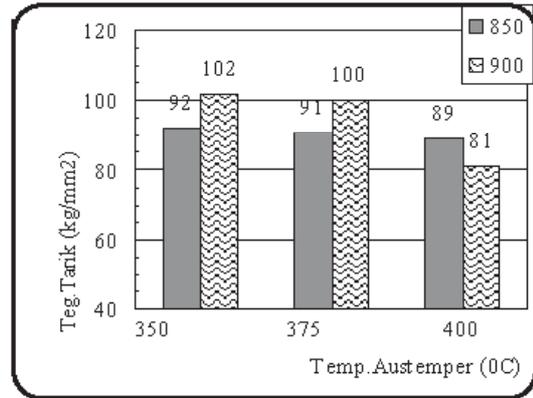
Kesimpulan

Dari tulisan di atas maka dapat ditarik beberapa kesimpulan:

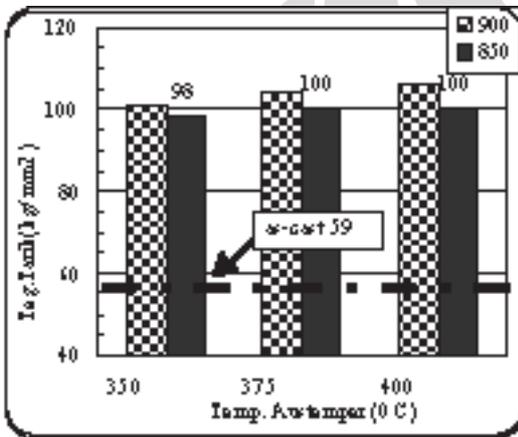
1. Besi tuang nodular yang as-cast baik paduan maupun non paduan akan mengalami perubahan sifat mekanis setelah diberikan proses austemper.
2. Dibandingkan dengan as-castnya maka unsur Mo pada besi tuang nodular, cenderung menurunkan tegangan tarik dan menaikkan elongasinya.
3. Proses austemper juga memberikan selisih nilai maksimum yang merupakan peningkatan maksimum pada masing-masing sampel A dan B adalah 21.7 dan 8 kg/mm². Sedangkan elongasinya adalah 2 dan 1.2 %. Kuat impak juga mengalami perubahan dan untuk masing-masing sampel A dan B adalah 6.6 dan 0.7 J/cm².



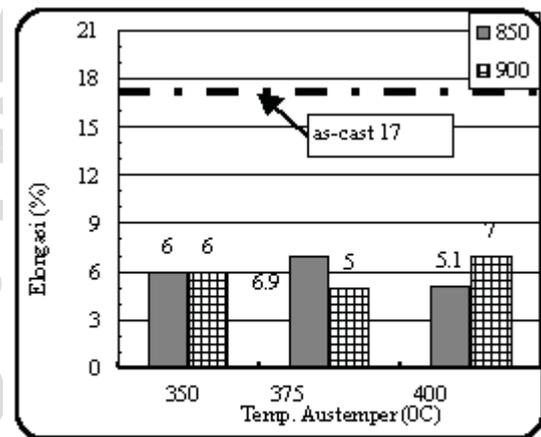
Gambar 8. Teg. tarik Vs. elongasi untuk FCD dari JIS dan As-cast penelitian



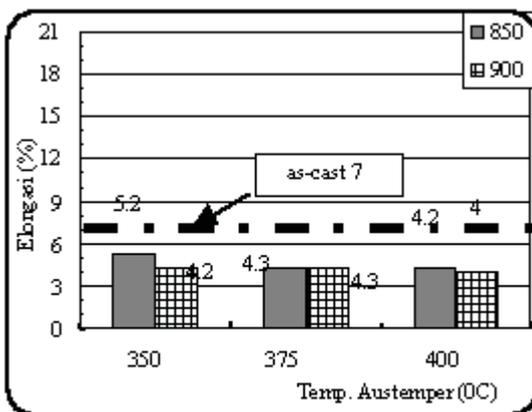
Gambar 9. Teg. tarik Vs. temp. austemper untuk sampel A



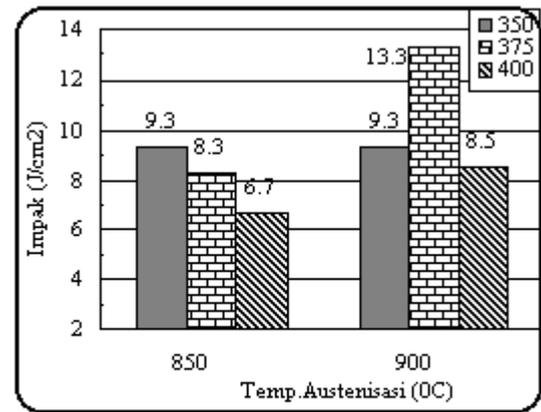
Gambar 10. Teg. tarik Vs. temp. austemper untuk sampel B



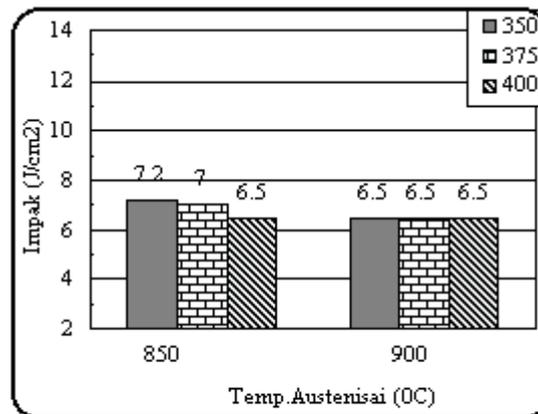
Gambar 11. Elongasi Vs. temp. austemper untuk sampel A



Gambar 12. Elongasi Vs. temp. austemper untuk sampel B



Gambar 13. Impak Vs. temp. austenisasi untuk sampel A



Gambar 14. Impak Vs. temp. austenisasi untuk sampel B

Daftar Acuan

1. As-cast 53 Karsay, Stephen Istvan. American Foundrymen's Society, 1979.
2. K. B. Rundman. International ADI and Simulation Conference, Otaniemi, Finland, 1997.
3. Karsay, S. Istvan. DUCTILE IRON-The State of The Art. QIT-Fer et Titane Inc, Canada, 1980.
4. Karsay, S. Istvan. DUCTILE IRON II -Engineering, Design, Properties, Aplications. Quebec Iron and Titanium Corporation, Canada, 1971.
5. L. Van Vlack. Ilmu dan Teknologi Bahan, terjemahan: Sriati Djaprie, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1983.
6. T. Surdia, S. Saito. Pengetahuan Bahan Teknik. PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1995.
7. B. V. Kovacs. International ADI Seminar, June, Otaniemi Finland, 1994.
8. Mallia. Journal of Materials Science and Technology 13 (1997).
9. A. S. Hamid Ali, R. Elliot. Materials Science and Technology 103 (1997).
10. Japanesse Industries Standard, 1990.