

## STRUKTUR MIKRO, KEKUATAN TARIK DAN KETAHANAN KOROSI PADUAN Fe-2,2Al-0,6C SETELAH PROSES TEMPER

Ratna Kartikasari, Sutrisna, Petrus Wane Batseran  
Jurusan Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta  
Jalan Babarsari No. 1 Depok, Sleman, Yogyakarta  
e-mail: kartikafajar@yahoo.com

### ABSTRAK

Paduan Fe-Al-C merupakan paduan baru kandidat pengganti *ferritic stainless steel*, dimana unsur Al berperan menggantikan unsur mahal Cr pada *ferritic stainless steel*. Densitas yang rendah membuat paduan Fe-Al-C juga dikandidatkan sebagai *lightweight steel* (*baja ringan*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur temper terhadap struktur mikro, kekuatan tarik dan ketahanan korosi paduan Fe-2,2Al-0,6C dalam larutan 0,5% NaCl.

Rangkaian proses *heat treatment* yang dilakukan pada penelitian ini adalah proses *hardening* pada temperatur 1000 °C selama satu jam diikuti dengan pendinginan di dalam air. Proses selanjutnya adalah temper yang dilakukan pada temperatur 250°C, 350°C, 450°C, 550°C, dan 650°C selama satu jam diikuti dengan pendinginan di udara. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia, uji struktur mikro, uji tarik, dan uji korosi menggunakan metoda polarisasi sel tiga elektroda dalam larutan 0,5% NaCl.

Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe-2,2Al-0,6C mengandung Al 2,27% dan C 0,64%. Pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa paduan Fe-2,2Al-0,6C mempunyai struktur ferit dan perlit. Proses *hardening* dan temper mengubah struktur menjadi 100% ferit. Kekuatan tarik tertinggi terjadi pada proses temper temperatur 450°C sebesar 590,26 Mpa dan kekuatan tarik terendah pada temper 650°C sebesar 244,3 Mpa. Densitas tertinggi terjadi pada suhu 450°C sebesar 7,58 gr/cm<sup>3</sup> dan densitas terendah terjadi pada *raw material* sebesar 7,18 gr/cm<sup>3</sup>. Laju korosi tertinggi dalam larutan 0,5% NaCl terjadi pada suhu 550°C sebesar 0,0183 mm/tahun dan laju korosi terendah terjadi pada *raw material* sebesar 0,0118 mm/tahun. Nilai laju korosi ini menunjukkan bahwa paduan Fe-2,2Al-0,6C mempunyai tingkat ketahanan korosi sangat baik.

**Kata kunci** : Paduan Fe-2,2Al-0,6C, *ferritic stainless steel*, temper.

### PENDAHULUAN

Menurut Huang (2002) paduan Fe-Al-C merupakan kandidat yang menjanjikan untuk menggantikan beberapa jenis *stainless steel* konvensional pada aplikasi temperatur medium sampai tinggi. Paduan Fe-Al-C feritik mempunyai sifat-sifat fisik, mekanik, teknologikal, ketahanan korosi dan oksidasi yang unggul. Ditinjau dari segi biaya maka biaya bahan baku paduan Fe-Al-C feritik cukup rendah (Kobayashi, 2005).

Pengembangan teknologi otomotif pada dekade ini diarahkan pada teknologi masa depan dimana prioritas diarahkan pada desain yang ringan sekaligus aman (Frommeyer, 2000 dan DeCicco, 2005). Material dan teknik untuk mengurangi berat kendaraan adalah bagian dari praktek rekayasa rutin otomotif.

Teknologi besi dan baja maju dikembangkan secara substansial selama dekade terakhir. Teknologi diarahkan kepada pengurangan berat plus perbaikan secara simultan pada kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*) dan karakteristik kinerja struktural yang lain. Jadi potensi yang mengarah pada pada terjangkaunya harga, membuat kendaraan ringan dan aman dalam satu waktu.

Penurunan densitas merupakan salah satu aspek yang sangat menguntungkan dimana penurunan berat pada berbagai konstruksi akan meningkatkan efisiensi secara cukup signifikan (Frommeyer, 2000). DeCicco (2005) mengatakan bahwa

penurunan 1% berat desain akan menurunkan ekonomi bahan bakar sebesar 0,66%. Penambahan Al dalam baja dapat menurunkan densitas hingga 20% disamping harganya yang relatif murah karena ketersediaan logam ringan ini yang melimpah (merupakan unsure terbesar ketiga di bumi) (Frommeyer, 2000). Oleh karena itu sistem paduan Fe-Al-C terus dikembangkan.

Frommeyer (2000) melaporkan bahwa paduan Fe-Al-C adalah kandidat *lightweight steel* (baja ringan) dimana paduan Fe-Al-C yang mengandung Al sampai dengan 9% menunjukkan penurunan densitas hingga 10% lebih. Sayangnya paduan Fe-Al-C pada temperatur ruang menunjukkan gejala rapuh dengan nilai ketangguhan yang rendah (Jablonska, 2006).

Secara umum proses temper bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa, meningkatkan ketangguhan dan keuletan baja yang telah mengalami pengerasan. Selama proses tempering baja akan mengalami penurunan kekerasan dan kekuatan namun sifat keuletan akan naik dan diikuti dengan penurunan kerapuhan. Tegangan sisa yang terbentuk selama pembentukan fasa ikut berkurang. Pengurangan tegangan sisa menjadi sangat penting dalam penurunan kerapuhan baja. Artinya tegangan sisa pada baja akan menyebabkan baja menjadi rapuh atau getas.

Pengembangan paduan Fe-Al-C menjadi sangat potensial untuk dilakukan di Indonesia

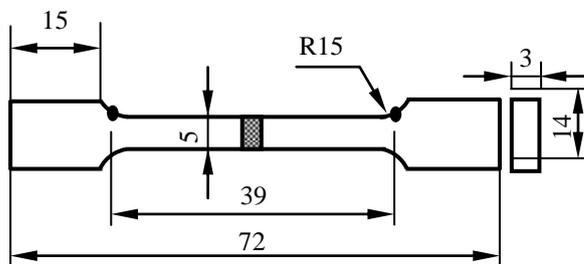
mengingat beberapa permasalahan yang ada yaitu kebutuhan industri dalam negeri akan bahan *stainless steel* konvensional yang masih dipenuhi dengan import, keterpurukan IKM Pengecoran Logam akibat krisis energy dunia, sedangkan Indonesia adalah salah satu negara dengan cadangan Al terbesar di dunia (*environmentalchemistry.com*, 2008).

Berbagai topik penelitian terkait dengan pengembangan paduan Fe-Al-C masih sangat mungkin untuk dilakukan.

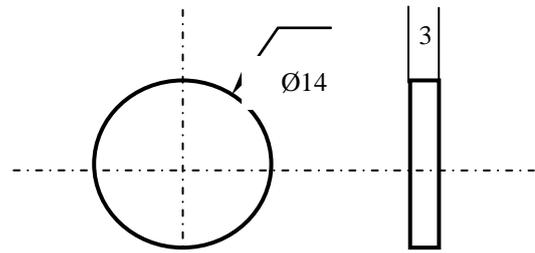
Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh temperatur temper terhadap struktur mikro, kekuatan tarik, dan ketahanan korosi paduan Fe-2,2Al-0,6C.

**METODE PENELITIAN**

Peleburan menggunakan dapur induksi frekwensi tinggi kapasitas 50 kg milik POLMAN Ceper, Klaten, Jawa Tengah. Bahan baku peleburan menggunakan scrap baja rendah Mn, aluminium murni dan Ferro-karbon. Coran dibuat dalam bentuk ingot dengan ukuran 3cm x 3cm x 20cm. Target komposisi yang akan dicapai adalah Fe-2,2% Al-0,6C. Perhitungan komposisi dilakukan secara manual dengan *material balance*. Ingot paduan Fe-Al-C selanjutnya dipotong menggunakan metal-cut dibentuk menjadi spesimen uji tarik berdasarkan JIS 2201 (Gambar 1) dan spesimen uji korosi (Gambar 2) dengan ukuran diameter 14 mm, tebal 3 mm. Proses *heat treatment* terdiri dari *hardening* yaitu pemanasan sampai temperatur 1000°C selama 1 jam dilanjutkan *quenching* dalam media air. Temper dilakukan pada temperatur 250°C, 350°C, 450°C, 550°C, 650°C di dalam muffle furnace selama 1 jam dilanjutkan dengan pendinginan di udara. Uji korosi dilakukan dengan metoda polarisasi sel tiga elektroda berdasarkan standar ASTM G31 di Laboratorium Uji Korosi PTAPB-BATAN. Foto struktur mikro menggunakan mikroskop optik merk Olympus milik Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Program D3 UGM.



Gambar 1. Spesimen uj tarik



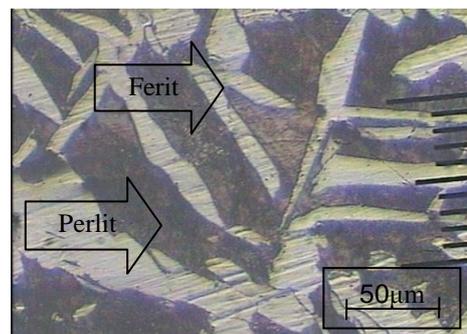
Gambar 2. Spesimen Uji Korosi

**DATA DAN PEMBAHASAN**

Hasil uji komposisi kimia (Tabel 1) menunjukkan bahwa paduan Fe-2,2Al-C pada penelitian ini mengandung unsur Al sebesar 2,28%, Si sebesar 1,07% dan C sebesar 0,65%, sehingga menurut Smallman (2000) paduan Fe-2,2Al-C termasuk baja paduan rendah. Unsur Al sebesar 2,28% dalam paduan Fe-2,2Al-C berfungsi sebagai penstabil ferit dan mampu meningkatkan ketahanan korosi secara cukup signifikan.

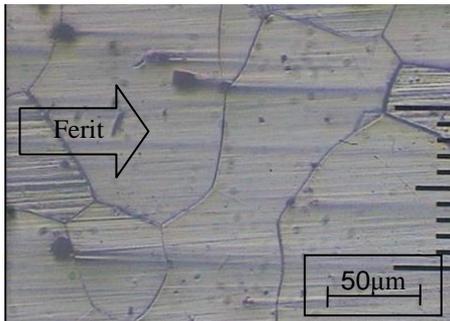
Tabel 1. Hasil uji komposisi kimia paduan Fe-2,2Al-C

Unsur	W (% berat)
Fe	95,32
Al	2,28
C	0,64
Si	1,07
Mn	0,13
P	0,06
S	0,08
Ni	0,09
Cu	0,18
Cr	0,04
Sn	0,02
W	0,06
Total	100

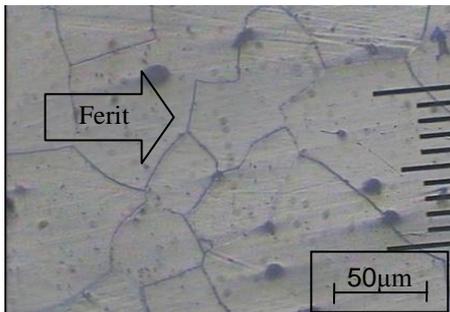


Gambar 3. Struktur Mikro Fe-2,2Al-C

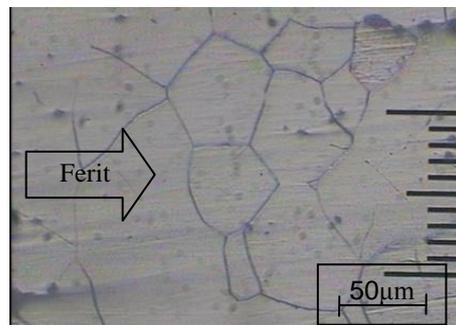
a. *Hardening*



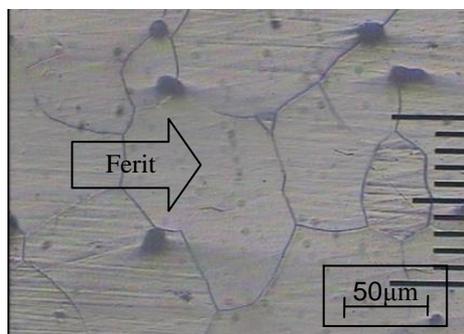
b. Temper 250°C



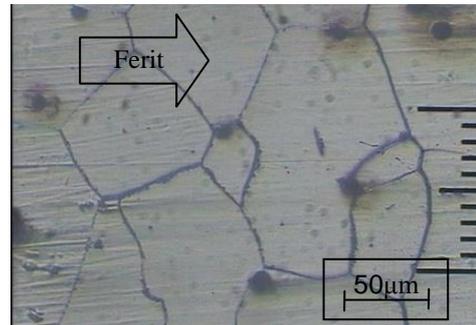
c. Temper 350°C



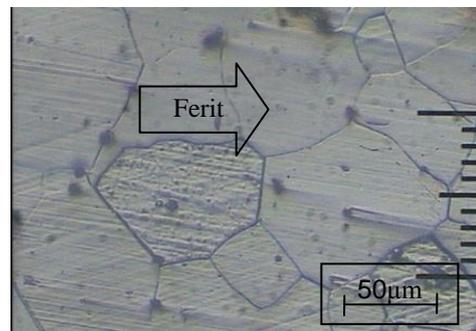
d. Temper 450°C



e. Temper 550°C



f. Temper 650°C



**Gambar 4.** (Lanjutan)

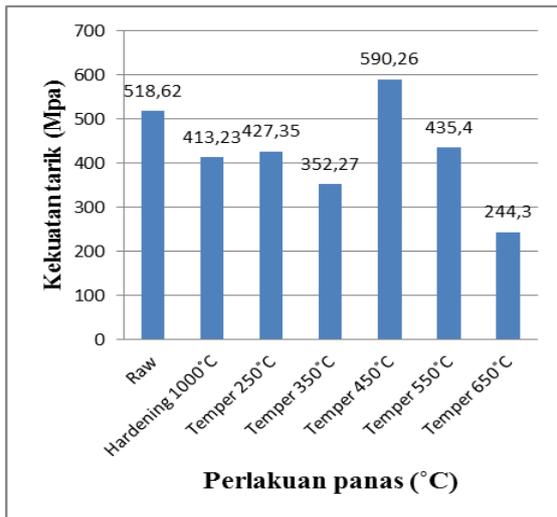
Gambar 3 menunjukkan struktur mikro paduan Fe-2,2Al-C *raw material*, yang terdiri dari ferit dan perlit. Munculnya kedua struktur ini disebabkan oleh unsur-unsur yang terkandung dalam paduan ini yaitu unsur Al yang berfungsi sebagai pembentuk dan penstabil struktur ferit dan unsur C yang mempunyai kadar cukup tinggi mendorong terbentuknya struktur perlit. Struktur perlit yang terdistribusi lebih banyak jumlahnya dibandingkan dengan struktur ferit. Perubahan yang mencolok terjadi setelah *hardening* 1000°C. Struktur mikro paduan berubah menjadi 100% ferit sedangkan struktur perlit hilang (Gambar 4a). Proses temper tidak mengubah struktur paduan, dimana struktur paduan tetap sama dengan struktur paduan setelah *hardening* yaitu 100% ferit.

Peningkatan temperatur temper tetap tidak mengubah struktur ferit hanya mengubah besar butir ferit dimana semakin tinggi temperatur temper butir ferit semakin besar (Gambar 4b-f).

**Analisis Hasil Uji Tarik**

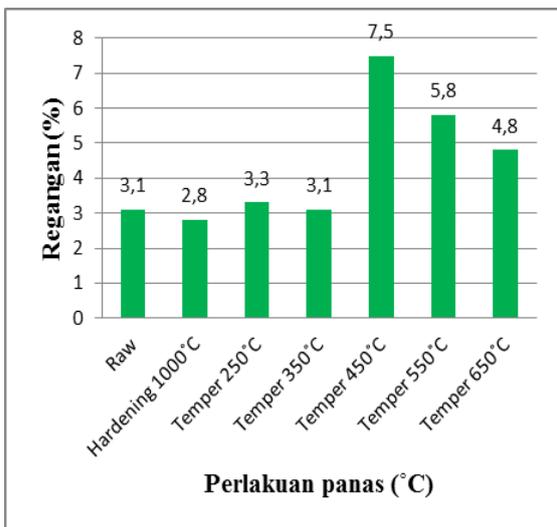
Hasil uji tarik menunjukkan bahwa paduan Fe-2,2Al-0,6C mempunyai kekuatan tarik sebesar 518,62 Mpa (Gambar 4) dengan regangan ( $\epsilon$ ) sebesar 3,1% (Gambar 5). Nilai kekuatan tarik ini cukup tinggi jika dibandingkan dengan kekuatan tarik baja tahan karat feritik Fe-Cr-C yaitu berkisar 441,31 - 490,34 Mpa (AZoM™.com, 2009), sedangkan nilai

Gambar 4. Pengaruh temperatur temper terhadap struktur mikro Fe-2,2Al-C

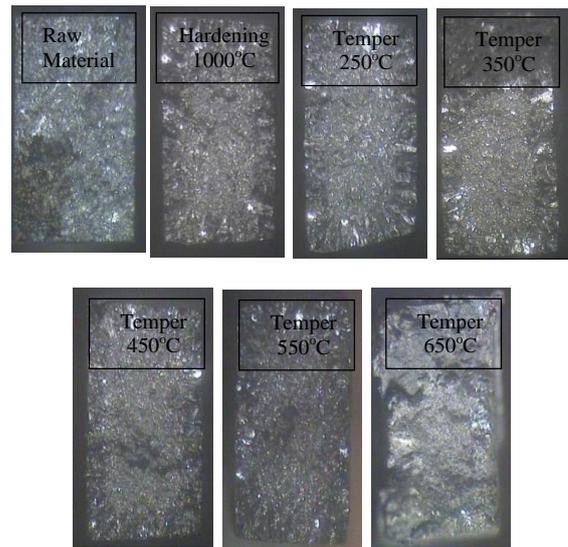


Gambar 4. Pengaruh temperatur temper terhadap kekuatan tarik paduan Fe-2,2Al-0,6C

regangan sangat rendah. Hal ini disebabkan kadar karbon yang tinggi dan adanya senyawa intermetalik Fe-Al yang berperan dalam peningkatan kekuatan tarik paduan, sementara itu karbida Al menyebabkan penggetasan paduan Fe-2,2Al-0,6C. Proses *hardening* pada 1000°C menurunkan kekuatan tarik hingga 413,23 Mpa dan regangan hingga 2,8%. Proses *temper* hingga 350°C menurunkan kekuatan tarik dan regangan, sedangkan *temper* pada 450°C menghasilkan kekuatan tarik dan regangan paling tinggi yaitu sebesar 590,26 MPa dan 7,5%. Hal ini



Gambar 5. Pengaruh temperatur temper terhadap regangan paduan Fe-2,2Al-0,6C

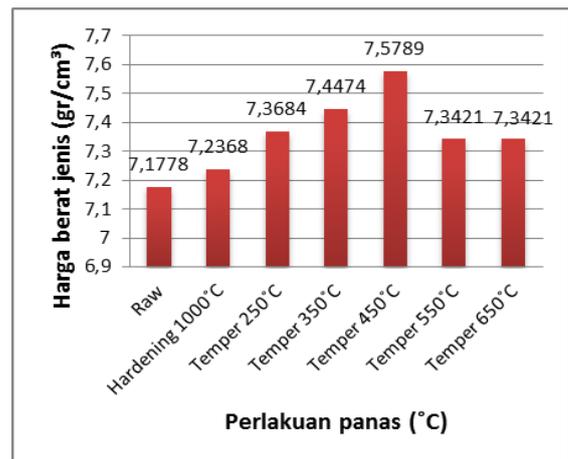


Gambar 6. Foto makro permukaan patah hasil uji tarik paduan Fe-2,2Al-0,6C

disebabkan struktur paduan sudah sempurna ferit, dan pada 450°C senyawa intermetalik Fe-Al ada dalam jumlah maksimal sedangkan penurunan temperatur selanjutnya akan menurunkan kembali kekuatan tarik dan regangan karena peruraian senyawa intermetalik Fe-Al.

Gambar 6 memperlihatkan foto makro permukaan patah paduan Fe-2,2Al-0,6C setelah pengujian tarik. Pola perpatahan menunjukkan bahwa paduan bersifat getas, dan tidak terlihat adanya *necking* (pengecilan penampang sebelum patah).

#### Analisis Hasil Pengujian Densitas

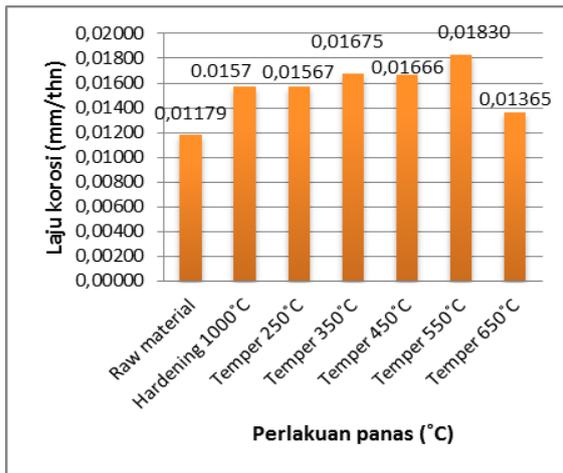


Gambar 7. Histogram densitas paduan Fe-2,2Al-0,6C

Gambar 7 menunjukkan bahwa densitas paduan Fe-2,2Al-0,6C sebesar 7,18 gram/cm<sup>3</sup>. Proses *hardening* pada 1000°C menyebabkan kenaikan berat jenis menjadi 7,24 gram/cm<sup>3</sup>. Jika diamati dari hasil foto mikro, kenaikan densitas disebabkan oleh perubahan struktur mikro menjadi

100% ferit. Nilai densitas akan terus naik dengan proses temper dan dengan semakin tingginya temperatur temper. Nilai densitas mencapai maksimal pada temper temperatur 450°C yaitu sebesar 7,5789 gram/cm<sup>3</sup>. Selanjutnya Nilai densitas menurun dengan semakin tinggi temperatur temper. Fenomena ini disebabkan pembentukan senyawa intermetalik Fe-Al sempurna pada 450oC dan akan terjadi peruraian kembali pada temperatur temper yang lebih tinggi.

**Analisis Hasil Pengujian Korosi**



Gambar 8. Histogram laju korosi paduan Fe-2,2Al-C

Pengujian ketahanan korosi dilakukan dengan metoda polarisasi sel 3 elektroda. Laju korosi dihitung menggunakan rumus (Jones, 1996):

$$R = 0,129 \frac{(I_{corr})EW}{\rho} \quad (1)$$

Dimana, R adalah laju korosi (mpy), I<sub>corr</sub> Rapat arus korosi (µA/cm<sup>2</sup>), ρ berat jenis (gr/cm<sup>3</sup>) dan EW berat ekuivalen (gram/ekivalen).

Berat ekuivalen (*Equivalent Weight/EW*) untuk logam paduan dihitung berdasarkan rumus:

$$N_{EQ} = \sum \left( \frac{\omega_i}{A_i} \right) = \sum \left( \frac{\omega_i n_i}{A_i} \right) \quad (2)$$

$$EW = N_{EQ}^{-1} \quad (3)$$

Dimana N<sub>EQ</sub> adalah nilai ekuivalen total, ω fraksi berat, N electron valensi dan A nomor massa atom.

Pengaruh proses heat treatment terhadap laju korosi paduan Fe-2,2Al-0,6C dapat dilihat pada Gambar 8. Paduan Fe-2,2Al-0,6C mempunyai laju korosi sebesar 0,01179 mm/th termasuk kategori sangat baik berdasarkan tabel MPY (Tabel 2) (Fontana, 1987). Proses *hardening* pada temperatur 1000°C meningkatkan laju korosi paduan menjadi 0,0157 mm/th. Proses temper meningkatkan laju korosi dan semakin meningkat dengan semakin me-

ingkatnya temperature temper. Laju korosi mencapai nilai maksimal pada temper 550°C sebesar 0,01830 mm/th. Laju korosi turun kembali pada temper 650°C menjadi 0,01365 mm/th, penurunan nilai korosi ini masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan *raw material*. Hal ini disebabkan perubahan struktur mikro yang terjadi akibat proses heat treatment, dimana hilangnya struktur perlit meningkatkan laju korosi paduan Fe-2,2Al-0,6C. Secara keseluruhan berdasarkan tabel 1 laju korosi paduan Fe-2,2Al-C termasuk dalam kategori sangat baik.

Tabel 2. Tingkat ketahanan korosi berdasarkan harga MPY

Tingkat Ketahanan Korosi	MPY	Konversi kesatuan-satuan lain			
		mm/th	µ/th	nm/th	pm/th
Luar Biasa	< 1	<0,02	<25	<2	<1
Sangat Baik	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
Baik	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	5-20
Cukup Baik	20-50	0,5-1	500-1000	50-150	20-50
Kurang Baik	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Tidak Dianjurkan	200 +	5 +	5000 +	500 +	200 +

Sumber : Fontana, 1987

**KESIMPULAN**

1. Struktur mikro paduan Fe-2,2Al-0,6C adalah ferit dan perlit. Proses *Hardening* dan temper merubah struktur menjadi 100% ferit.
2. Kekuatan tarik paduan Fe-2,2Al-0,6C adalah 518,62 Mpa dengan regangan sebesar 3,1%. Kekuatan tarik menurun setelah *hardening* dan hingga temperatur 350°C dan naik kembali hingga mencapai maksimal pada temperatur temper 450°C yaitu sebesar 590,26 MPa dengan regangan sebesar 7,5%. Berdasarkan foto makro, patahan hasil uji tarik termasuk patahan getas.
3. Paduan Fe-2,2Al-0,6C memiliki densitas sebesar 7,1778. Proses *Hardening* dan temper meningkatkan nilai densitas dan mencapai maksimal pada temperatur temper 450°C dengan nilai densitas sebesar 7,5789 gr/cm<sup>3</sup>.
4. Laju korosi paduan Fe-2,2Al-0,6C sebesar 0,0118 mm/th. Proses *hardening* dan temper meningkatkan laju korosi hingga mencapai maksimal pada temperatur temper 550°C dengan laju korosi sebesar 0,0183 mm/th. Berdasarkan tabel MPY paduan Fe-2,2Al-0,6C mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik.

**UCAPAN TERIMAKASIH**

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini melalui program penelitian Hibah Bersaing.

**DAFTAR PUSTAKA**

- DeCicco, J.M., 2005, Steel and Iron Technology for Automotive Lightweighting, Environmental Defence.
- Environmentalchemistry.com, 2008, Environmental, Chemistry & Hazardous Materials News, Careers & Resources, Periodic Table of Elements.
- Fontana, M.G, 1987, “*Corrosion Engineering*”, Edisi Ketiga, Singapura.
- Frommeyer, 2000, Physical and Mechanical Properties of Iron-Aluminum-(Mn-Si) Lightweight Steels, The 1999 ATS International Steelmaking Conference, Paris. Sec.4.
- Huang, B.X., Wang, X.D., Rong,Y.H., Wang, L., and Jin, L., 2006, Mechanical Behavior and Martensitic Transformation of an Fe-Al-Si-Al-Nb Alloy, Materials Science and Engineering A, Vol. 438-440, p. 306-311.
- Jablonska, M., Jasik, A., dan Hanc, A., 2009, Structures and Phases transitions of The Alloys on the bases of Fe-Al Intermetallic Phases, International Scientific Journal vol. 29. Issue 1, p.16-19.
- Jones, D.A., 1996, Principles and Prevention of Corrosion, 2<sup>nd</sup> ed., Prentice-Hall International, London.
- Kobayashi, S., Zaefferer, S., Schneider, A., Raabe, D., dan Frommeyer, G., 2005, Optimisation of Precipitation for Controlling Recrystallization of Wrought Fe<sub>3</sub>Al Based Alloys, Intermetallics, 13, 1296-1303, (2005).