

# STUDI PENGARUH TEMPERATUR TEMPER TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KETAHANAN KOROSI PADUAN Fe-1,26Al-1,05C

**Ratna Kartikasari**

Jurusan Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta  
Jl. Babarsari No.1 Depok, Sleman, Yogyakarta Telp. (0274) 485390  
kartikafajar@yahoo.com

## ABSTRAK

*Paduan Fe-Al-C merupakan paduan baru kandidat pengganti stainless steel konvensional, dimana unsur Al berperan menggantikan unsur mahal (Cr) pada stainless steel konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur temper terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi paduan Fe-1,26Al-1,05C. Bahan baku peleburan terdiri dari: scrap baja Mn rendah, Al murni dan Fe-C. Peleburan menggunakan dapur induksi frekwensi tinggi kapasitas 50 kg dengan alloying di dalam ladle. Austenitisasi sampai temperatur 900°C dilanjutkan dengan quenching dalam media air. Proses temper dilakukan pada temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dan 450°C. Pengujian yang dilakukan adalah foto struktur mikro, pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian korosi dalam media 3,5% NaCl dengan metoda kehilangan berat. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa paduan Fe-1,26Al-1,05C as cast mempunyai struktur ferit dan perlit, kecenderungan pembentukan struktur ferit terjadi dengan semakin tinggi temperatur temper. Kekuatan tarik maksimum terjadi setelah hardening yaitu sebesar 82,7kg/mm<sup>2</sup> dengan regangan tertinggi sebesar 47,2% setelah temper 450°C. Kekerasan tertinggi sebesar 287,1 VHN terjadi setelah hardening. Hasil pengujian korosi menunjukkan bahwa laju korosi paduan 1,26Al-1,05C as cast akan menurun dengan semakin tinggi temperatur temper.*

**Kata Kunci:** paduan Fe-Al-C, stainless steel konvensional, alloying, temper.

## PENDAHULUAN

*Stainless steel* (baja tahan karat) merupakan paduan berbasis besi (Fe) dengan kadar cromium (Cr) paling sedikit 10,5 % (Shackelford, 1992). Fe-Cr-C adalah paduan baja tahan karat jenis feritik dimana Cr berperan terhadap ketahanan korosi sekaligus berfungsi sebagai penstabil struktur ferit (Leslie, 1983). Keunggulan paduan jenis ini ditentukan oleh keberadaan unsur Cr. Kekurangan yang dimiliki oleh *stainless steel* adalah terutama pada mahalnnya biaya produksi. Karena Cr merupakan

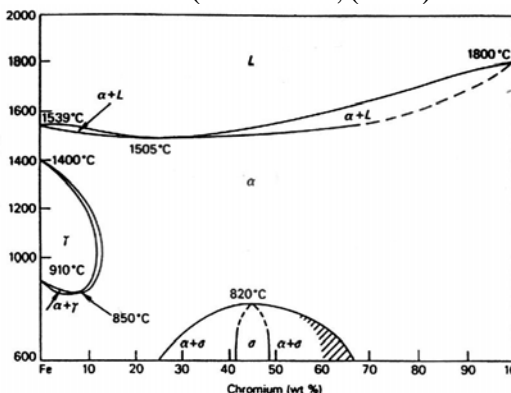
material strategis dan mahal di banyak negara, dimana 95 % cadangan Cr dunia hanya terdapat di Afrika Selatan dan Zimbabwe.

Berdasar pada alasan ekonomi dan strategi maka diperlukan upaya untuk menemukan paduan baru yang dapat menggantikan *stainless steel* konvensional. Diantara sistim paduan yang paling menjanjikan dapat menggantikan peran paduan Fe-Cr-C adalah paduan Fe-Al-C, dimana unsur Al menggantikan unsur Cr (Tjong, 1986 dan Wang, 1988). Unsur aluminium (Al), diketahui keberadaannya di dunia sangat melimpah, yaitu merupakan

kan unsur terbesar ketiga di bumi dan harganya relatif murah (Shackelford, 1992) dan proses produksinya relatif mudah (Frommeyer, 2000).

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

Paduan Fe-Al-C *lightweight steel* yang mengandung Al sampai 9% menunjukkan penurunan densitas hingga 10% lebih (Frommeyer, 2000). Sayangnya paduan Fe-Al-C pada temperatur ruang menunjukkan gejala rapuh dengan nilai ketangguhan yang rendah (Jablonska, 2006). Baligheid (1996) melaporkan bahwa penambahan karbon pada Fe-Al dengan kadar Al antara 8,5-16% akan menghasilkan paduan dengan kekuatan yang lebih tinggi dan *machinability* yang lebih baik (Baligheid, 1998). Paduan Fe-Al-C dikembangkan untuk aplikasi struktur pada temperatur sampai dengan 873K (Sikka et al., (1993) and Prakash et al., 1991),



adalah salah satu unsur terbesar di dunia (Tom, 2008), maka paduan ini menjadi kebutuhan industri *stainless steel* konvensional import.

Untuk membuat logam modifikasi dilakukan oleh IKM (Kendali Mutu Logam), mempelajari sifat mekanik dan ketahanan korosi paduan Fe-1,26Al-1,05C.

### TINJUAN PUSTAKA

Untuk mengetahui pengaruh penambahan unsur dalam paduan biner terhadap fasa  $\gamma$  yang dihasilkan, dapat mengacu pada daftar periodik unsur-unsur (Leslie, 1983). unsur-unsur yang berperanan sebagai pembentuk struktur ferit disebut sebagai Cr equivalent dan unsur-unsur yang berperanan sebagai pembentuk struktur austenit disebut sebagai Ni equivalent (Honey-

combe, 1995) yang secara umum dirumuskan sebagai berikut :  $Cr\ equivalent = (Cr) + 2(Si) + 1,5(Mo) + 5(V) + 5,5(Al) + 1,75(Nb) + 1,5(Ti) + 0,75(W)$ .  $Ni\ equivalent = (Ni) + (Co) + 0,5(Mn) + 0,3(Cu) + 25(N) + 30(C)$

Hubungan antara Cr equivalent dan Ni equivalent digambarkan dalam diagram Schaeffler (Gambar 2).

Unsur paduan yang mempunyai perilaku seperti Cr dalam sistim paduan biner Fe-Cr adalah Al. Diagram kesetimbangan Fe-Al (Gambar 3) memperlihatkan kemiripan dengan diagram kesetimbangan Fe-Cr (Gambar 1) Dari daftar periodik unsur-unsur, juga dapat diketahui bahwa Al mempunyai *gamma loop* (loop  $\gamma$ ) seperti Cr.

Kelarutan Al dalam  $\gamma$ -Fe sangat kecil dibandingkan Cr (Avner, 1987). Hal ini berarti, Al hanya dapat ditambahkan dalam jumlah yang sangat terbatas.

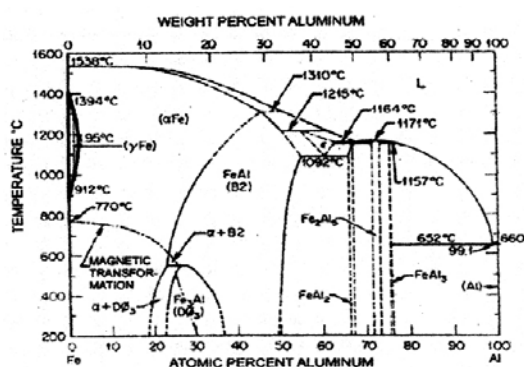
Aluminium adalah logam reaktif yang dapat membentuk lapisan pelindung aluminium-oksida. Lapisan ini mempunyai sifat yang sangat stabil dalam lingkungan netral dan asam, tetapi rentan dalam lingkungan alkali (Fontana, 1988). Paduan Al (*Al alloy*) telah secara luas digunakan dalam industri, tetapi dalam *stainless steel* konvensional, Al hanya ditambahkan dalam jumlah yang kecil. Sistim paduan Fe-Al bersifat feritik pada semua temperatur (setara dengan Fe-Cr *stainless steel*). Fasa  $\gamma$  muncul dalam area yang sangat sempit pada penambahan Al dalam jumlah kecil ( $\pm 2\%$ ) mulai temperatur 912°C sampai dengan 1394°C.

**Gambar 1.** Diagram Kesetimbangan Fe-Cr (Leslie, 1983)

**Gambar 2.** Diagram Schaeffler (Honeycombe, 1995) (Honeycombe, 1995)

Pada proses pendinginan lambat fasa  $\gamma$  dalam sistim paduan yang mengandung Al rendah dan C tinggi akan terdekomposisi membentuk fasa eutektik. Sedangkan pada pendinginan cepat akan tertransformasi membentuk struktur martensit.

Menurut Davidson dkk. (1988), penambahan Mn pada *stainless steel* konvensional dalam jumlah besar akan menurunkan sifat-sifat paduan, tetapi dalam jumlah yang sedang akan mempunyai pengaruh yang menguntungkan, karena Mn akan berinteraksi dengan S membentuk Mn-sulfida yang akan berperan dalam meningkatkan ketahanan korosi, khususnya terhadap *pitting corrosion*. Sistim paduan Fe dengan 28-30% Mn, 8-10% Al dan 0,8-1% C di atas 850°C mempunyai struktur austenit lewat jenuh, dengan pemanasan 350-700°C struktur austenit akan terdekomposisi membentuk fasa  $(Fe,Mn)_3AlC$  yang akan meningkatkan kekuatan luluh secara signifikan.



**Gambar 3.** Diagram Kesetimbangan Fe-Al (Chao, 2002)

## METODE PENELITIAN

Peleburan menggunakan dapur induksi frekwensi tinggi kapasitas 50 kg milik POLMAN Ceper, Klaten, Jawa Tengah dengan alloying dilakukan di dalam *ladle*. 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-1,26% berat Al-1,05% berat C. Perhitungan komposisi secara manual dilakukan dengan *material balance* dengan toleransi kehilangan Al sebesar 15%. Ingot paduan Fe-Al-C selanjutnya dipotong menggunakan *meta-cut* dibentuk menjadi specimen uji tarik berdasarkan standard JIS 2201, specimen uji kekerasan dan specimen uji korosi dengan ukuran diameter 14 mm tinggi 10 mm. Proses *heat treatment* terdiri dari *hardening* yaitu pemanasan sampai temperatur 900°C selama 1 jam dilanjutkan *quenching* dalam media air. Temper dilakukan pada temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C selama 1 jam. Uji korosi dilakukan dengan metoda kehilangan berat berdasar standar ASTM G31. Foto struktur mikro dengan mikroskop optik merk Olympus milik Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Program D3 UGM.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 1. Analisis Hasil Uji Struktur Mikro Paduan Fe-1,26Al-1,05C

Gambar 4 menunjukkan struktur mikro paduan Fe-1,26Al-1,05C *as cast*, terlihat bahwa struktur paduan terdiri dari ferit dan perlit yang terdistribusi merata dengan jumlah yang hampir seimbang. Terlihat adanya pola dendritik dalam jumlah yang relatif kecil. Perubahan yang mencolok terjadi setelah austenitisasi pada temperatur 900°C. Struktur ferit mendominasi dengan ukuran butir yang besar-besar sedangkan struktur perlit tersisa sedikit di bagian batas butir ferit (Gambar 5). Struktur perlit semakin berkurang dengan semakin tinggi temperatur temper dan pada temperatur temper 450°C struktur ferit hampir sempurna. Hal ini mem-

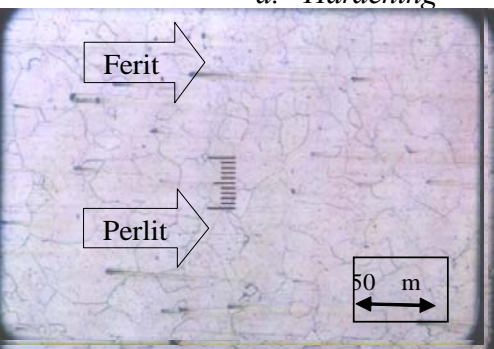
buktikan peran Al sebagai penstabil struktur ferit pada paduan Fe-1,26Al-1,05C.

d. Temper 350°C

**Gambar 4.** Struktur Mikro 1,26Al-1,05C

e. Temper 400°C

a. *Hardening*



b. Temper 250°C

f. Temper 450°C

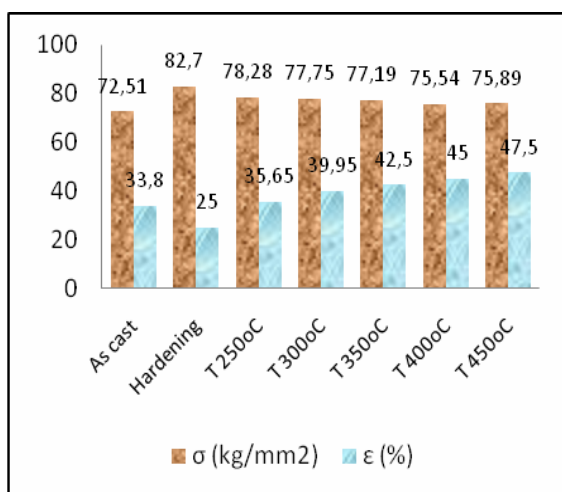
**Gambar 5.** Pengaruh Temperatur Temper terhadap Struktur Mikro Paduan Fe-1,26Al-1,05C

c. Temper 300°C

## 2. Analisis Hasil Uji Kekuatan Tarik Paduan Fe-1,26Al-1,05C

Hasil uji kekuatan tarik menunjukkan bahwa paduan Fe-1,26Al-1,05C mempunyai kekuatan tarik sebesar 72,51 kg/mm<sup>2</sup> (Gambar 6) dengan regangan ( $\epsilon$ ) sebesar 33,8%. Nilai kekuatan tarik ini cukup tinggi jika dibandingkan dengan kekuatan tarik baja tahan karat feritik Fe-Cr-C yaitu berkisar 45-50 kg/mm<sup>2</sup>

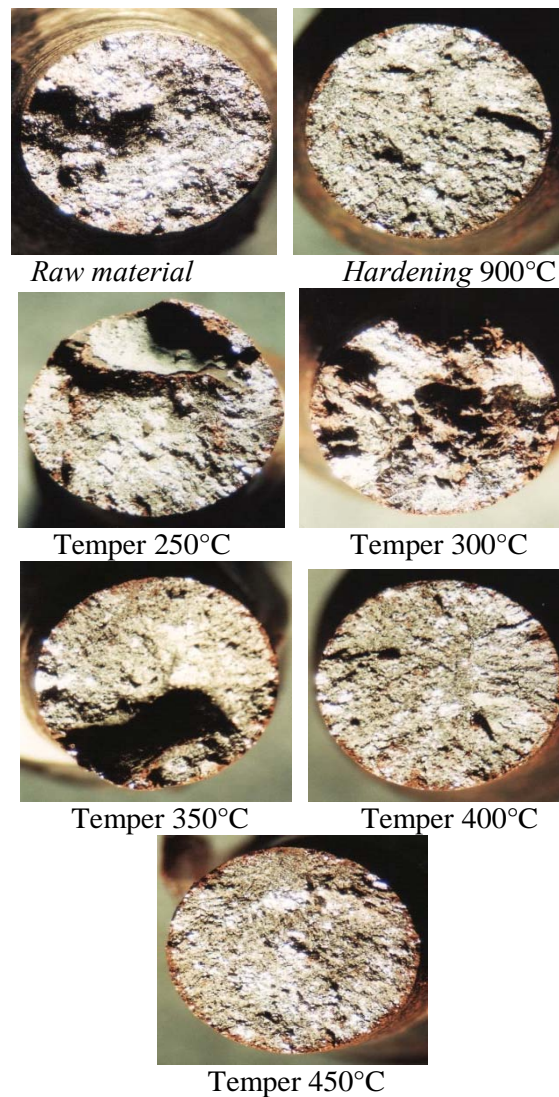
(AZoM™.com, 2009). Hal ini disebabkan kadar karbon yang tinggi dan adanya senyawa intermetalik Fe-Al yang berperan dalam peningkatan kekuatan paduan. Setelah *hardening* terlihat kekuatan tarik meningkat menjadi 82,7kg/mm<sup>2</sup> yang diikuti dengan penurunan regangan menjadi 25%. Fenomena ini disebabkan terjadinya perubahan struktur yang sangat mencolok dimana struktur ferit dengan ukuran yang besar lebih mendominasi dikelilingi struktur perlit dengan jumlah yang relatif lebih kecil. Senyawa intermetalik Fe-Al setelah *hardening* berperan dalam penurunan regangan. Proses temper akan menurunkan kekuatan. Semakin tinggi temperatur temper kekuatan tarik semakin menurun hingga mencapai nilai minimal sebesar 75,89kg/mm<sup>2</sup>. Fenomena ini disebabkan semakin tinggi temperatur temper maka struktur paduan Fe-1,26Al-1,054C akan cenderung menjadi lebih feritik. Transisi getas-ulet paduan Fe-1,26Al-1,054C dapat dilihat dari permukaan patah specimen uji tarik pada Gambar.7.



**Gambar 6.** Pengaruh Temperatur Temper terhadap Kekuatan Tarik dan Regangan Paduan Fe-1,26Al-1,05C

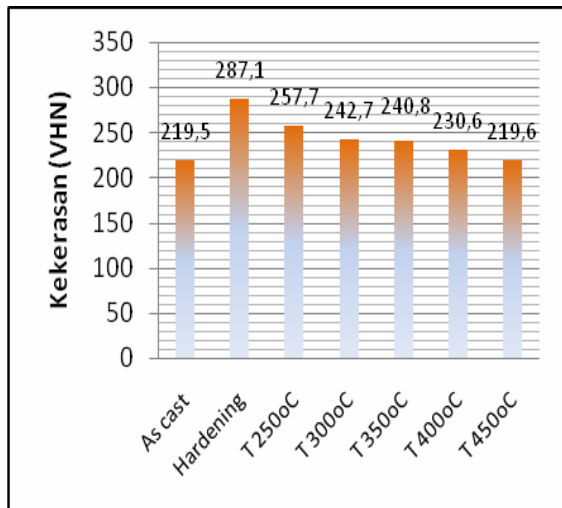
### 3. Analisis Hasil Uji Kekerasan Paduan Fe-1,26Al-1,05C

Gambar 8. menunjukkan bahwa paduan Fe-1,26Al-1,05C *as cast* mempunyai nilai



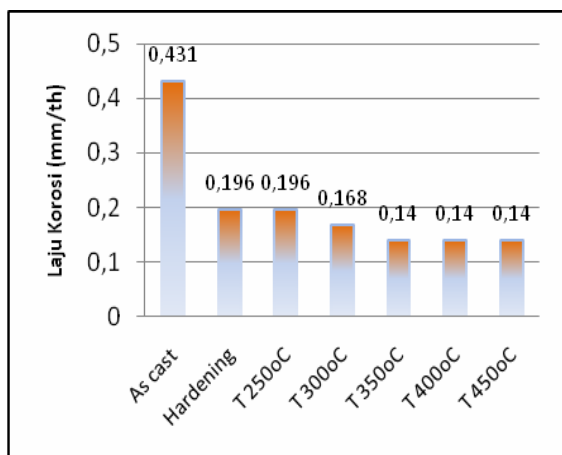
**Gambar 7.** Makro Permukaan Patah Spesimen Uji Tarik

kekerasan sebesar 219,5 VHN. Nilai kekerasan tertinggi tertinggi terjadi setelah *hardening* yaitu sebesar 287,1 VHN. Semakin tinggi temperatur temper kekerasan paduan Fe-1,26Al-1,05C semakin menurun hingga mencapai nilai minimal pada temper 450°C yaitu sebesar 219,6 VHN. Fenomena ini sesuai dengan fenomena yang terjadi pada struktur mikro paduan Fe-1,26Al-1,05C, dimana dengan heat treatment terjadi kecenderungan perubahan struktur menjadi lebih feritik.



**Gambar 8.** Pengaruh Temperatur Temper terhadap Kekerasan Paduan Fe-1,26Al-1,05C

#### 4. Analisis Hasil Uji Ketahanan Korosi Paduan Fe-1,26Al-1,05C



**Gambar 9.** Pengaruh Temperatur Temper terhadap Ketahanan Korosi Paduan Fe-1,26Al-1,05C

Perhitungan laju korosi dilakukan dengan metoda kehilangan berat. Paduan Fe-1,26Al-1,05C *as cast* mempunyai laju korosi sebesar 0,431 mm/th termasuk katagori baik berdasarkan Tabel 1 (tabel MPY) (Fontana, 1987). Laju korosi akan semakin menurun dengan *heat treatment* dan mencapai nilai minimal pada temper 450°C dengan laju korosi

sebesar 0,14 mm/th. Jika dianalisis dari perubahan yang terjadi pada struktur mikro akibat proses *heat treatment* maka penurunan jumlah perlit yang terjadi cenderung menurunkan laju korosi pada paduan Fe-1,26Al-1,05C. Secara keseluruhan berdasarkan tabel 1 laju korosi paduan Fe-1,26Al-1,05C termasuk dalam katagori baik.

**Tabel 1.** Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Harga MPY

Tingkat ketahanan korosi	MPY	Konversi kesatuan-satuan lain			
		mm/ tahun	$\mu\text{m}/$ tahun	mm/ tahun	pm/ tahun
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 paduan Fe-1,26Al-1,05C *as cast* terdiri dari ferit dan perlit yang terdistribusi merata dan dalam jumlah kecil struktur dendrit. Semakin tinggi temperatur temper struktur berubah menjadi lebih feritik.
2. Kekuatan tarik paduan Fe-1,26Al-1,05C *as cast* sebesar 72,41 kg/mm<sup>2</sup> dengan regangan sebesar 33,8%. Kekuatan tarik maksimal terjadi setelah *hardening* dan akan menurun dengan semakin tinggi temperatur temper.
3. Nilai kekerasan paduan Fe-1,26Al-1,05C *as cast* sebesar 219,5VHN. Nilai kekerasan tertinggi terjadi setelah *hardening* dan akan semakin menurun dengan semakin tinggi temperatur temper.
4. Laju korosi tertinggi terjadi pada paduan Fe-1,26Al-1,05C *as cast* yaitu 0,431 mm/th dan semakin menurun dengan semakin tinggi temperatur temper. Secara keseluruhan laju korosi termasuk katagori baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Avner, H.S., 1987, *Introduction to Physical Metallurgy*, McGraw-Hill Inc., Singapore.
- Baligheid, R.G., Prakash, U., Ramakrishna Rao, V., Rao, P.K., and Ballal N.B., 1996, *Effect of Carbon Content on Mechanical Properties of Electroslag Remelted Fe3Al Based Intermetallic alloys*, Vol. 36, No. 12, 1453-1458.
- Baligheid, R.G., Prakash, U., and Radha Krishna, 1998, *Effect of Carbon Addition on Structure and Mechanical Properties of Electroslag Remelted Fe-20wt.%Al alloy*, Vol. 249, No. 1-2, 97-102.
- Chao, Y.C., and Liu, C.H., 2002, *Effect of Mn Content on the Microstructure and Mechanical Properties of Fe-10Al-xMn-1.0C Alloy*, Materials Transactions, Vol. 3, No. 10, pp. 2635-2642.
- Davidson, R.M., DeBold, T. dan Johnson, M.J, 1988, *Corrosion of Stainless Steel, dalam ASM Handbook*, Metals Park, Ohio
- Environmentalchemistry.com, 2008, Environmental, *Chemistry & Hazardous Materials News, Careers & Resources*, Periodic Table of Elements.
- Fontana, G.M., 1988, *Corrosion Engineering*, 3th ed., McGraw Hill Inc., Singapore.
- Frommeyer, 2000, *Physical and Mechanical Properties of Iron-Aluminium-(Mn-Si) Lightweight Steels*, The 1999 ATS International Steelmaking Conference, Paris. Sec.4.
- Honeycombe, R.W.K. dan Bhadeshia, H.K.D., 1995, *Steel Microstructure and Properties*, 2<sup>nd</sup> ed., Edward Arnold, London.
- 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.
- Kobayashi, S., Zaefferer, S., Schneider, A., Raabe, D., and Frommeyer, G., 2005, *Optimisation of Precipitation for Controlling Recrystallization of Wrought Fe3Al Based Alloys*, Intermetallics, 13, 1296-1303.
- Leslie, T., 1983, *The Physical Metallurgi of Steels*, John Willey and Sons Inc., New York.
- Prakash, U. Buckley, R.A., Jones, H. and Sellars, C.M., 1991, *Structure and Properties of Ordered Intermetallics Based on the Fe-Al System*, ISIJ Int., vol 31, no. 10, 1113-1126.
- Shackelford, J.F., 1992, *Introduction to Material Science for Engineers*, 3th ed., McMillan Publishing Company, New York.
- Sikka, V.K., Viswanathan, S., and McKamey, C.G., 1993, in 'Structural Intermetallic', (ed. R. Darolia et al.), Warrendale, PA, TMS. pp. 483-491
- Tjong, S.C., 1986, *Stress Corrosion Cracking behavior of the duplex Fe-10Al-29Mn-0,4C alloy in 20% NaCl solution at 100°C*, Journal of Material Science, Vol. 21, Hal.: 1166-1170

Wang, S., Zhang, H., dan Chen, S.J., 2000, *Experiment on Fe-Al-Mn Deoxidizing and Alloying of Low-carbon Aluminium Killed Steel*, Journal Iron Steel Vanadium Titanium, Vol. 21, No. 4., hal. 44-49.