

# Modifikasi Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-1,52Al-1,44C dengan Proses Tempiring

**Ratna Kartikasari dan Sutrisna**

Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik Nasional, Yogyakarta  
E-mail: kartikafajar@yahoo.com

**Suyitno dan Soekrisno**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

## ABSTRAK

Aluminium merupakan unsur terbanyak ketiga di bumi yang harganya relatif murah. Paduan yang sangat menjanjikan untuk menggantikan Fe-Cr-C adalah Fe-Al-C. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur temper terhadap struktur mikro, kekuatan tarik, kekerasan, dan ketahanan korosi paduan Fe-1,52Al-1,44C dalam larutan 3,5% NaCl. Bahan baku peleburan yang digunakan adalah: Baja *low Mn*, FeMn HC, aluminium murni dan *slag remover*. Peleburan menggunakan dapur induksi frekwensi rendah kapasitas 50 kg. *Hardening* pada temperature 900°C, *quenching dalam air*, dan temper dengan variasi temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, selama 1 jam kemudian didinginkan di udara. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian komposisi kimia, uji struktur mikro, uji tarik, uji kekerasan, dan pengujian korosi dalam media 3,5% NaCl. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe-Al-C mengandung unsur Al sebesar 1,52% dan C sebesar 1,44%. Struktur mikro yang terbentuk dalam system paduan adalah ferit dan perlit dengan kekuatan tarik sebesar 33,77 kg/mm<sup>2</sup>. Terjadi peningkatan kekuatan tarik setelah proses *hardening* yaitu menjadi 74,44 kg/mm<sup>2</sup> dan menurun kembali setelah proses temper, dengan kecenderungan semakin rendah dengan semakin tinggi temperatur temper. Nilai kekerasan sebesar 232,4 VHN, dan mengalami peningkatan pada proses *hardening* yaitu menjadi 298,7 VHN. Laju korosi paling tinggi terjadi setelah *hardening* yaitu 0,927 mm/th, dan laju korosi terendah terjadi setelah proses temper 300°C sebesar 0,196 mm/th, termasuk katagori baik.

**Kata kunci:** *Ferittic stainless steel*, paduan Fe-1,52 Al-1,44C, *hardening*, *quenching*, temper.

## ABSTRACT

*Aluminum is third of biggest element in the world and cheaper relatively. The Fe-Cr-C alloy is promised alloy to replace the Fe-Cr-C alloy. The purpose of the research is to investigate influence of temperature to microstructure, tensile strength, hardness, and corrosion resistance of Fe-Al-C in the 3.5% NaCl solution. Raw material for casting is low Mn steel, FeMn HC, pure aluminum, slag remover. The melting used low frequency induction furnace which has 50 kg capacity. Hardening at 900°C, and then quenching in the water, the last temper along 1 hour with various temperature; 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C and cooling in the air. Chemical composition, microstructure, tensile strength, hardness, and corrosion resistance of Fe-Al-C in the 3.5% NaCl solution were investigated. The result of the chemical composition investigation showed that Fe-Al-C alloy contained 1.52% Al, and 1.44% C. The microstructure of Fe-1.52 Al-1,44C alloy is ferrite and pearlite. The tensile strength of Fe-1.52 Al-1,44C alloy is 33.77 kg/mm<sup>2</sup>. The tensile strength raised after hardening process became 74.44 kg/mm<sup>2</sup> and turn off again after tempering process. The Vickers hardness investigation showed that the Fe-1.52 Al-1,44C alloy has 232.4 VHN and raised after hardening became 298.7 VHN. Highest corrosion rate is 0.927 mm/year after hardening and lowest is 0.196 mm/year after tempering at 300°C (good category corrosion resistance).*

**Keywords:** *Ferittic stainless steel*, Fe-1.52 Al-1.44C alloy, *hardening*, *quenching*, *tempering*.

## PENDAHULUAN

Kebutuhan akan bahan yang mempunyai kriteria khusus (*stainless steel*) menyebabkan pengeluaran yang cukup besar dibidang teknologi dan industri. *Stainless steel* (baja tahan karat) konvensional merupakan paduan berbasis besi (Fe) dengan kadar cromium (Cr) paling sedikit 10,5 % [1]. Paduan Fe-Cr sering disebut dengan *ferittic stainless steel* yang memiliki struktur kubik pemusatan ruang, kandungan karbon yang rendah (biasanya kurang dari 0,2%), dan kandungan cromium dalam kisaran 16% sampai 20%. Paduan ini tidak akan mengalami perubahan struktur kristal selama pemanasan, dan tidak bisa dikeraskan [2].

Baja tahan karat jenis ferittik mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik di lingkungan tertentu, seperti air laut, dan relatif imun terhadap kecenderungan terjadinya *stress corrosion cracking*. Paduan Fe-Cr yang mengandung 13% cromium digunakan untuk garpu dan sendok, sedangkan yang mengandung 20% cromium digunakan untuk tabung sinar katoda. Kekurangan yang dimiliki oleh logam ini terutama pada mahalanya biaya produksi karena cromium merupakan material strategis dan mahal di banyak negara, dimana 95% cadangan Cr dunia berada di Afrika Selatan dan Zimbabwe [3]. Dengan alasan dasar ekonomi dan strategi maka diperlukan upaya untuk menemukan paduan baru yang dapat menggantikan *ferittic stainless steel*. Paduan yang sangat menjanjikan untuk menggantikan Fe-Cr-C tersebut adalah Fe-Al-C.

Sebagaimana diketahui aluminium (Al) merupakan unsur terbesar ketiga di bumi dan harganya relatif murah [1]. Aluminium (Al) juga telah dikenal dapat berperan sebagai penstabil stuktur ferit, dan penambahan aluminium (Al) pada sistim paduan dapat meningkatkan ketahanan korosi dan oksidasi. Penambahan sampai 1% karbon memberikan kontribusi terhadap kekuatan secara cukup signifikan [3].

Telah dilakukan penelitian bahwa sistim paduan Fe-7,5Al (Mn sangat kecil, 0,01%), mempunyai struktur ferit (Gambar 1) dan mempunyai ketahanan oksidasi yang baik pada temperatur di atas 800 °C [4] dan [5], dan paduan tersebut mempunyai sifat magnetik [6]. Disebutkan pula bahwa *ferritic stainless steel* adalah *stainless steel* yang paling sederhana yang hanya mengandung Fe dan Cr serta bersifat magnetik [7].

Dilaporkan pula bahwa paduan Fe-8Al mempunyai ketahanan oksidasi yang ekivalen dengan SS 302 dan mempunyai sifat-sifat yang secara umum lebih baik dari *austenitic stainless steel* (jenis baja tahan karat yang menempati urutan tertinggi dalam aplikasi), dimana kelebihan sifat yang dimilikinya akan meningkat dengan meningkatnya temperatur [4] dan [5]. Sedangkan

jika kadar Al ditingkatkan, paduan yang dihasilkan akan mempunyai sifat *hot* dan *cold workability* yang rendah dan menjadi sulit dipabrikasi. Jika kadar C diturunkan maka paduan menjadi lebih mudah teroksidasi. Paduan Fe-Al dengan struktur ferit akan bersifat *brittle* dan mempunyai *strength* yang rendah pada temperatur tinggi [9].

## METODE PENELITIAN

Bahan baku peleburan adalah: Baja *low Mn*, FeMn HC, Al murni, dan *Slag Remover*. Peleburan menggunakan dapur induksi frekwensi rendah kapasitas 50 kg milik Politeknik Manufaktur (Polman) Ceper. *Alloying* Al dilakukan di dalam *ladle*.

Persiapan specimen meliputi pemotongan coran yang berbentuk ingot dengan ukuran 4 x 4 x 20 cm, menjadi 1 specimen uji komposisi, 21 specimen tarik, 7 specimen uji kekerasan, 21 specimen uji korosi. Persiapan specimen dilanjutkan dengan pengamplasan dan pemolesan menggunakan autosol. *Hardening* dilakukan sampai dengan temperatur 900°C selama 1 jam di dalam *muffle furnace*, dilanjutkan *quenching* dalam media air. Setelah itu dilakukan temper dengan variasi temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, selama 1 jam kemudian didinginkan di udara terbuka.

Pengujian komposisi kimia menggunakan spektrometer di Polman Ceper, uji struktur mikro, uji tarik menggunakan standard *JIS Z 2201 No.8*, uji kekerasan dengan metoda *Vickers* berdasarkan standar *ASTM E28.06*, dan pengujian korosi dengan metoda kehilangan berat dalam media 3,5% NaCl berdasarkan standar *ASTM G 44*.

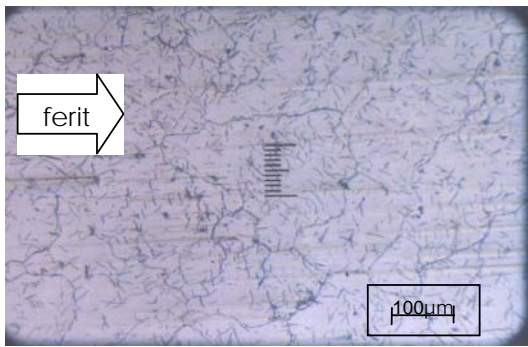
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji Komposisi Kimia

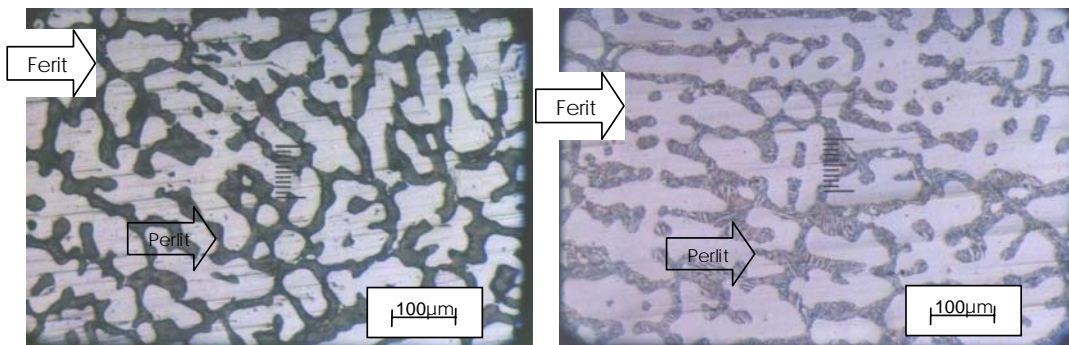
Tabel 1. Hasil Uji Komposisi Kimia

Unsur	W (% Berat)
Fe	95.190
C	1.440
Si	0.176
Mn	0.650
P	0.020
S	0.002
Mo	0.038
Ni	0.061
Al	1.520
Co	0.020
Cu	0.031
Pb	0.245
Sn	0.019
Ti	0.031
V	0.128
W	0.225

### Analisis Hasil Uji Struktur Mikro

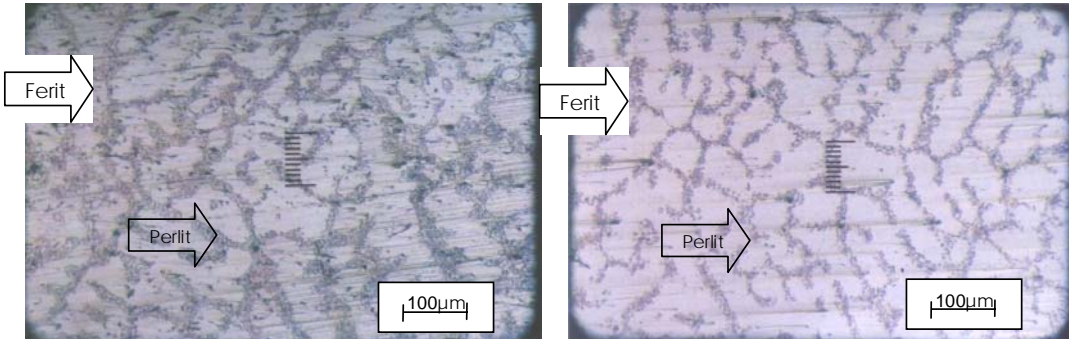


Gambar 1. Struktur mikro paduan Fe-1,52Al



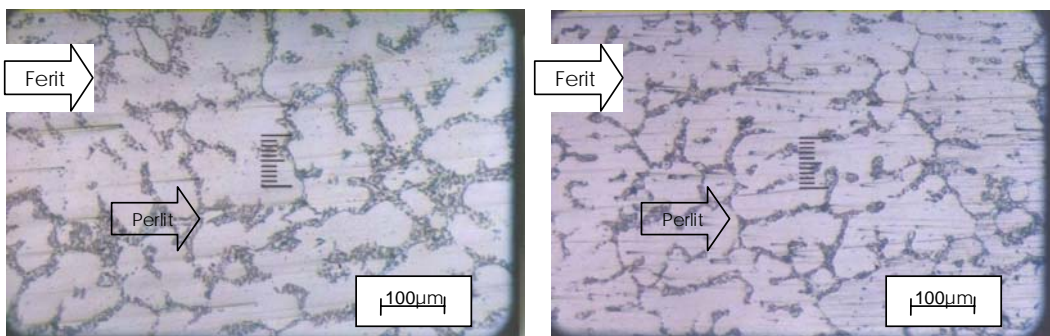
(a). Hardening 900°C

(b). Temper 250°C



(c). Temper 300°C

(d). Temper 350°C



(e). Temper 400°C

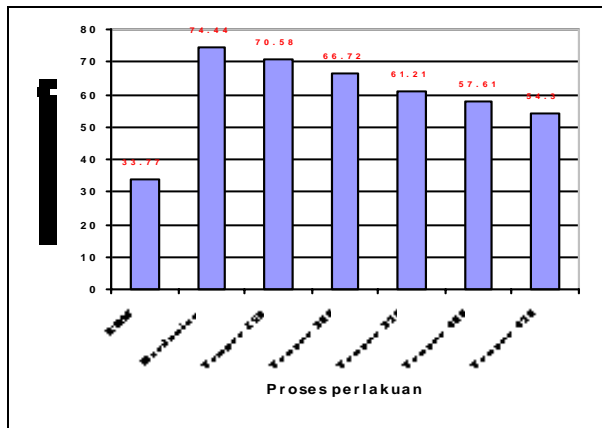
(f). Temper 450°C

Gambar 2. Struktur Mikro Paduan Fe-1,52Al Hasil *Heat Treatment*

Gambar 2 menunjukkan struktur mikro pada paduan Fe-Al-C, terlihat bahwa struktur ferit persentasinya sangat besar (mendominasi) dan tidak terlihat adanya struktur perlit, hal ini membuktikan peran Al pada paduan Fe-Al-C sebagai penstabil struktur ferit. Gambar 3a menunjukkan struktur mikro paduan Fe-Al-C setelah proses *hardening* pada temperatur 900°C, terlihat adanya perubahan struktur, dimana struktur perlit terlihat sangat jelas di antara struktur ferit. Munculnya struktur perlit disebabkan pendinginan cepat setelah pemanasan sampai temperatur austenit paduan Fe-Al-C. Pada gambar 3b menunjukkan hasil struktur mikro paduan Fe-Al-C setelah proses *hardening* 900°C dan dilanjutkan dengan proses temper dengan temperatur 250°C. Terlihat bahwa terjadi penurunan jumlah struktur perlit dan akan terus berkurang dengan semakin turunnya temperatur (Gambar 3c-f). Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur temper aluminium akan menjadi penstabil ferit yang baik.

**Analisis Hasil Uji Tarik**

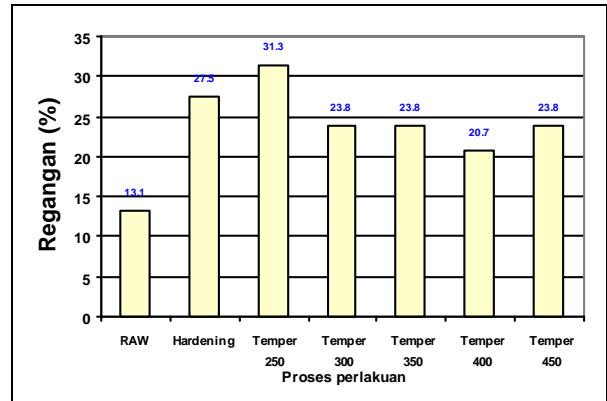
Pengujian tarik akan menghasilkan tegangan tarik dan regangan paduan Fe-1,52 Al.



**Gambar 3. Histogram Kekuatan Tarik Rata-rata**

Hasil uji kekuatan tarik menunjukkan bahwa paduan Fe-1,52Al-1,44C mempunyai kekuatan tarik sebesar 33,77 kg/mm<sup>2</sup> (Gambar 3). Data regangan menunjukkan bahwa paduan Fe-1,52Al-1,44C mempunyai regangan (□) sebesar 13,1% (Gambar 4). Kedua nilai tersebut sangat rendah jika dibandingkan nilai kekuatan tarik dan regangan yang dimiliki oleh *stainless steel* pada umumnya. Hal ini disebabkan kadar karbon yang sangat tinggi dan kondisi coran yang kurang homogen, yang akan menyebabkan konsentrasi tegangan di suatu titik pada spesimen tarik sehingga nilai kekuatan tarik menjadi jauh di bawah nilai sesungguhnya dan paduan Fe-1,52Al-1,44C menjadi lebih cepat putus.

Setelah *hardening* terlihat kekuatan tarik melonjak mencapai 120,4% yaitu sebesar 74,44% kg/mm<sup>2</sup>, disebabkan struktur perlit lebih mendominasi. Data regangan menunjukkan bahwa setelah *hardening* regangan paduan Fe-1,52Al-1,44C naik menjadi 27,5%. Proses temper akan menurunkan kekuatan. Semakin tinggi temperatur temper kekuatan tarik semakin menurun hingga mencapai nilai minimal sebesar 54,3 kg/mm<sup>2</sup>. Fenomena ini disebabkan semakin tinggi temperatur temper maka struktur paduan Fe-1,52Al-1,44C akan cenderung menjadi lebih feritik.

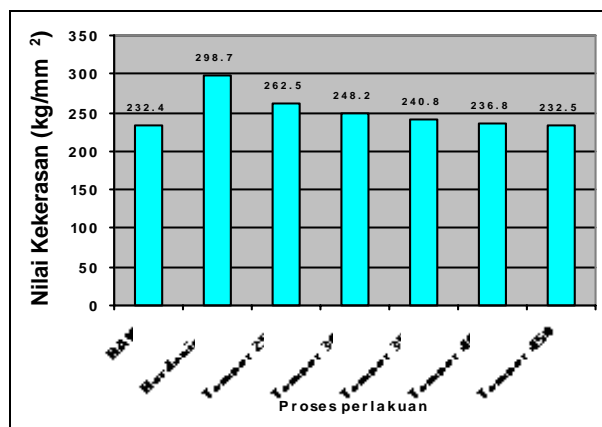


**Gambar 4. Histogram Regangan Rata-rata**

Akan tetapi data regangan menunjukkan bahwa pada temper 250°C nilai regangan bahkan naik menjadi 31,3%. Pada kenaikan temperatur temper nilai regangan akan menurun, tetapi pada temper 450°C nilai regangan naik kembali dengan prosentase kenaikan cukup signifikan yaitu sebesar 13%. Berdasarkan analisis visual terlihat adanya cacat inklusi pada permukaan patah spesimen uji tarik sehingga data regangan menjadi bervariasi.

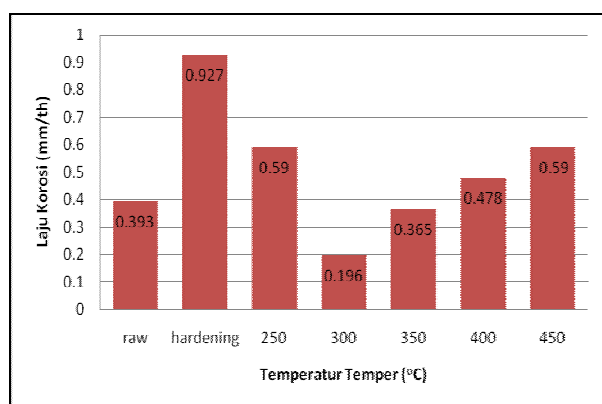
**Analisis Hasil Uji Kekerasan Pengujian Kekerasan**

Paduan Fe-1,52Al-1,44C mempunyai nilai kekerasan sebesar 232,4 VHN (Gambar 5). Jika dibandingkan dengan nilai kekerasan *stainless steel konvensional* masih lebih rendah. Hal ini disebabkan struktur paduan Fe-1,52Al-1,44C yang feritik. Nilai kekerasan mengalami peningkatan dengan proses *hardening* yaitu sebesar 298,7 VHN, sesuai dengan perubahan struktur yang terjadi yaitu terjadi peningkatan jumlah struktur perlit yang cukup mencolok. Peningkatan temperatur temper menurunkan nilai kekerasan hingga mencapai nilai terendah pada temper 450°C yaitu sebesar 232,5 VHN. Hal ini setara dengan struktur paduan Fe-1,52Al-1,44C yang cenderung lebih feritik dengan peningkatan temperatur temper.



Gambar 5. Histogram Nilai Kekerasan Rata-rata

### Analisis Hasil Uji Korosi



Gambar 6. Grafik Hasil Uji Korosi

Perhitungan laju korosi dilakukan dengan metoda kehilangan berat. Paduan Fe-1,52Al-1,44C mempunyai laju korosi sebesar 0,393 mm/tahun, nilai ini cukup kecil karena paduan Fe-1,52Al-1,44C struktur yang muncul adalah ferit sehingga spesimen paduan Fe-1,52Al-1,44C tanpa perlakuan akan cenderung tahan korosi. Laju korosi tertinggi terjadi pada spesimen paduan Fe-1,52Al-1,44C yang dilakukan dengan proses *hardening* 900°C yaitu 0,927 mm/tahun, hal ini disebabkan munculnya struktur perlit setelah *quenching*. Laju korosi yang terendah terjadi pada spesimen dengan proses temper 300°C yaitu sebesar 0,196 mm/tahun. Jika disesuaikan dengan tabel mpy [10] nilai tersebut (0,1-0,5 mm/th) yang terjadi pada temper 300°C, 350°C dan 500°C, termasuk katagori baik, sedangkan pada specimen yang lain (0,5-1,0 mm/th) termasuk katagori cukup baik. Histogram (Gambar 6) menunjukkan laju kekerasan bervariasi, jika diamati dari permukaan terkorosi ternyata ada indikasi bahwa bahan tidak homogen. Hal ini senada dengan pengamatan pada permukaan patah pada spesimen hasil pengujian tarik. Pada bagian spesimen yang kekurangan kandungan aluminium akan lebih cepat terkorosi. Ketidak homogenan

bahan akan menyebabkan adanya perbedaan potensial dalam bahan yang akan mempercepat terjadinya korosi [11]. Korosi juga menyerang pada bagian yang terdapat celah ataupun kotoran yang terperangkap pada paduan Fe-1,52Al-1,44C. Korosi cenderung lebih cepat terjadi pada daerah tepi bahan.

### KESIMPULAN

Struktur mikro paduan Fe-1,52Al-1,44C didominasi oleh struktur ferit. *Hardening* mengubah struktur ferit menjadi struktur perlit tetapi jumlah perlit menurun kembali dengan semakin tinggi temperatur temper. Perubahan struktur yang terjadi pada paduan Fe-1,52Al-1,44C setelah proses *hardening* menyebabkan terjadinya peningkatan kekuatan tarik dan kekerasan. Penurunan kekuatan tarik dan kekerasan terjadi setelah proses temper dan kecenderungan semakin menurun dengan peningkatan temperature temper.

Proses temper terbukti dapat meningkatkan ketahanan korosi hingga mencapai laju korosi paling rendah pada temper 300°C yaitu sebesar 0,196 mm/th dan berdasarkan tabel Fontana ketahanan korosi paduan Fe-1,52Al-1,44C termasuk katagori baik.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Budinski, Kenneth G., *Engineering Materials Properties and Selection*, 3<sup>rd</sup> ed., Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1989.
2. Shackelford, J.F., *Introduction to Material Science for Engineers*, 3<sup>th</sup> ed., McMillan Publishing Company, New York, 1992.
3. Tjong, S.C., *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, 1986.
4. Kao, C.H., dan Wan C.M., *Effect of Carbon on the Oxidation of Fe-5.5Al-0.55C Alloy*, Journal of Materials Science, Vol. 22, Hal: 3203-3208, 1987.
5. Kao, C.H., dan Wan C.M., *Effect of Manganese on the Oxidation of Fe-Mn-Al-C Alloys*, Journal of Materials Science, Vol. 23, Hal: 744-752, 1988.
6. Parker, S.H.F., Grundy, P.J., Jones, G.A., Briggs, I. dan Clegg, A.G., *Microstructural and Magnetic Properties of the Permanent Magnet Material Fe-Al-C*, Journal of Material Science, Vol. 23, Hal: 217-222, 1988.
7. Davidson, R.M., DeBold, T. dan Johnson, M.J., *Corrosion of Stainless Steel*, dalam ASM Handbook, Metals Park, Ohio, 1988.

8. Chao, et.all. , *High Strength Multiphase Light Weight Steel*, dalam A Perlade 2006, Toulouse, 2002.
9. Wang, C. J. dan Duh, J. G., *Nitriding in the high temperature oxidation of Fe-31Mn-9Al-6Cr alloy*, *Journal of Materials science*, Vol. 23, Hal: 769-775, 1988.
10. Fontana, G.M., *Corrosion Engineering, 3th ed.*, McGraw Hill Inc., Singapore, 1988,
11. Trethewey, KR., *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, PT.Gramedia Pustaka Utama Jakarta, 1991.