

PENGARUH ALUMINIZING (Al-Cu) TERHADAP LAJU KOROSI SAMBUNGAN LAS BUSUR RENDAM TABUNG GAS ELPIJI 3 KG

Paul David Rey¹⁾, Dody Prayitno²⁾

- 1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti
E-mail: david_rey76@yahoo.com ,
- 2) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti
E-mail: diktirisetgrup@gmail.com

Abstrak

Laju korosi dari tabung gas elpiji 3 Kg pada daerah yang dilas adalah 11,089 MPY dan perlu diturunkan agar tahan terhadap benturan yang sering terjadi. Laju korosi semakin meningkat karena adanya tegangan sisa akibat pengelasan. Penelitian Aluminizing Al-Cu terhadap laju korosi sambungan las busur rendam tabung gas elpiji 3 kg dilakukan sebagai salah satu cara alternatif menurunkan laju korosi. Tabung gas elpiji yang didesain sesuai dengan standar SNI 1452:2007 yang digunakan sebagai sampel, dipotong pada daerah yang dilas dari sekeliling badan tabung tersebut dengan lebar 20 mm kemudian dipotong lagi menjadi beberapa sampel berukuran lebar 20mm dan panjang 40 mm. Setelah itu sampel di Aluminizing dengan paduan Al-Cu dengan persentase Cuyang bervariasi 0%, 35% dan 53% pada suhu 750°C dan waktu rendam 3 menit untuk selanjutnya dikorosikan dalam larutan NaCl 3,5% berat dengan waktu perendaman yang bervariasi yaitu 168 jam, 336 jam, 504 jam dan 672 jam untuk selanjutnya dilakukan perhitungan selisih berat untuk mengetahui laju korosinya. Kemudian pengamatan dengan mikroskop optik dilakukan untuk melihat bentuk korosi yang terbentuk dan struktur mikro. Laju korosi dapat diturunkan dengan proses Aluminizing Al-Cu pada sambungan las busur rendam dari tabung gas elpiji 3Kg. Laju korosi turun secara signifikan pada sampel Al+53%Cu dengan nilai laju korosi 0.0734 mm/tahun dibandingkan dengan sampel initial yang mempunyai laju korosi 0.2531 mm/tahun.

Kata kunci: Tabung Gas Elpiji 3Kg, Aluminizing Al-Cu, Laju Korosi, Sambungan Las Busur Rendam tabung gas Elpiji 3Kg.

Pendahuluan

Untuk mencegah korosi pada bagian sambungan las tabung gas elpiji 3 kg dilakukan pengecatan, namun lapisan cat pada tabung elpiji yang beredar di masyarakat sebagian besar sudah terkelupas, terutama pada daerah las badan tabung. Ini disebabkan karena pada saat pendistribusian tabung yang satu dan yang lainnya bergesekan mengikuti gerakan mobil pengangkut. Selain itu, proses pengangkutan dan pembongkaran dari mobil pengangkut banyak yang tidak menghiraukan cara yang baik dan benar. Sering dijumpai tabung gas dilempar untuk mempercepat proses pembongkaran. Laju korosi dari tabung gas elpiji 3 Kg pada daerah yang dilas adalah 11,089 MPY. [M. Fitrullah dkk, 2014]. Korosi semakin naik karena adanya tegangan sisa akibat proses pengelasan busur terendam (SAW) pada bagian sambungan las tabung elpiji 3kg. Tegangan sisa terjadi karena dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas setempat yang mengakibatkan terjadinya pengembangan termal sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga dapat mengakibatkan terjadinya ketidakseragaman regangan. [Wiryosumarto Harsono & Toshie Okumura, 2000]. Tegangan sisa juga dapat menyebabkan terjadinya *stress corrosion cracking* (SCC) dan *hydrogen induced cracking* (HIC). [Jones, Denny A, 1996]. Proses pencelupan panas Aluminium (*Hot Dip Aluminizing*) telah dikenal sebagai proses untuk menurunkan laju korosi dan kekerasan, dimana pada proses ini akan terjadi fasa intermetalik (Fe Al) yang berdifusi dengan material besi (Fe) pada temperature 750 °C dan waktu rendam 3 menit yang akan memberikan peningkatan ketahanan korosi pada logam besi. (R. Rajendran dkk., 2006).

Studi Pustaka

Secara umum tabung gas elpiji 3 kg dibuat dengan menggunakan material logam yang disambung menggunakan metode pengelasan. Definisi las berdasarkan DIN (*Deutsche Industrie Normen*) adalah ikatan metalurgis pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Secara umum pengelasan dapat didefinisikan sebagai penyambungan dari beberapa batang logam dengan memanfaatkan energi panas. [Wiryosumarto Harsono & Toshcie Okumura, 2000].

Adapun spesifikasi yang dipersyaratkan dalam menggunakan bahan baku (*raw material*) untuk badan tabung elpiji 3 kg yang berlaku di Indonesia harus memenuhi JIS G3116 SG295 dan persyaratan desain tabung elpiji sesuai dengan SNI 1452:2007. JIS G3116 SG295 pada aplikasinya digunakan untuk *gascylinders* dan *gas vessels*.

Korosi merupakan peristiwa yang bersifat alamiah dan berlangsung dengan sendirinya. Oleh karena itu korosi tidak mungkin sepenuhnya dicegah atau dihentikan. Korosi hanya dapat dikendalikan kerusakannya supaya serangannya serendah mungkin atau diperlambat laju korosinya. Pengukuran laju korosi dapat dilakukan dengan berbagai cara, yang paling sederhana dengan cara mengukur kehilangan logam (berdasarkan perbedaan berat). Metode lainnya dapat diterapkan untuk pengukuran laju korosi antara lain dengan mengukur ion logam yang terdapat di lingkungan, mengukur konduktivitas lingkungan, mengukur berat jenis lingkungan, atau berdasarkan reaksi dengan metode elektrokimia. Laju korosi juga merupakan banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu. Laju korosi umumnya dinyatakan dengan satuan *mils per year* (MPY). Satu *mils* adalah setara dengan 0,001 inch. Pada Tabel 1 dapat dilihat hubungan laju korosi dengan ketahanan korosinya (relatif). [Jones, Denny A, 1996]

Tabel 1. Hubungan Laju Korosi Dan Ketahanan Korosi

Ketahanan Korosi Relatif	Laju Korosi				
	MPY	mm/yr	$\mu\text{m/yr}$	nm/h	pm/s
Sangat Baik	< 1	< 0,02	< 25	< 2	< 1
Baik	1 – 5	0,02 – 0,1	25 – 100	2 – 10	1 – 5
Cukup	5 – 20	0,1 – 0,5	100 – 500	10 – 50	20 – 50
Kurang	20 – 50	0,5 – 1	500 – 1000	50 – 150	20 – 50
Buruk	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000	150 - 500	50 – 200
Sangat Buruk	200+	5+	5000+	500+	200+

Catatan:

MPY = *Miles Per Year*

mm/yr = *millimeter Per Year*

pm/s = *Picometer Per Second*

$\mu\text{m/yr}$ = *Micrometer Per Year*

nm/h = *Nanometer Per Hour*

Setelah diketahui bentuk korosi yang terjadi yaitu korosi merata, maka untuk laju korosi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut. [ASTM-G1-03, 2011]

$$CR = (W \times K) / (D \times A_s \times T) \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

CR = Laju Korosi (mm/year) \rightarrow 1 MPY = 0.0254 mm/year

W = Pengurangan berat (gr) = $W_0 - W_1$ (berat awal – berat akhir)

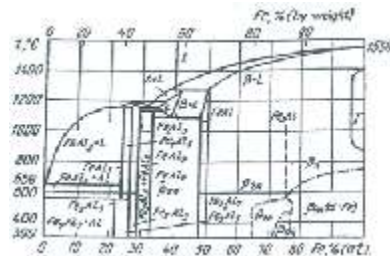
D = *Density specimen* (gr/cm³)

A_s = Luas permukaan (cm²)

T = Waktu (jam)

K = Konstanta Faktor (8.76×10^4 untuk logam baja)

Bahan panduan aluminium banyak dikembangkan dalam dunia industri untuk melapisi permukaan logam karena memiliki potensi tahan korosi dan ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi. Aluminium merupakan bahan yang memiliki sifat mekanik yang relative baik, ulet dan kekerasan yang baik apabila dipadukan untuk melapisi logam. Aluminium memiliki suhu lebur 660°C dan *ferrous* sebesar 1539°C . Walaupun suhu lebur berbeda, namun berdasarkan fasa Fe-Al pada gambar 1. *ferrous* dapat dipadukan dengan aluminium menjadi intermetalik Fe-Al melalui proses *aluminizing*. [Prayitno, Dody dan Triyono, 2010]



Gambar 1. Diagram Fasa Al-Fe. [Prayitno, Dody dan Triyono, 2010]

Proses *aluminizing* yang mudah secara praktek adalah metode pelapisan Al-celup panas (*Hot Dip Aluminizing*). Tahapan prosesnya diawali dengan membersihkan permukaan sampel baja dari kotoran. Dilanjutkan dengan pencelupan didalam cairan aluminium untuk beberapa lama. Kemudian sampel ditarik keluar dari cairan aluminium dan terakhir didinginkan di udara terbuka. Tercelupnya sampel di dalam cairan aluminium akan memberikan kesempatan bagi aluminium untuk berdifusi ke dalam sampel baja. Difusi ini menghasilkan senyawa logam Fe_nAl_m yang dikenal sebagai lapisan intermetalik. Difusi berlangsung sangat cepat dan menghasilkan lapisan dengan ketebalan 0.02-0.10 mm yang terbentuk dalam waktu 1-15 menit. Terwujudnya lapisan intermetalik pada seluruh permukaan akan menyebabkan ketahanan korosi meningkat.

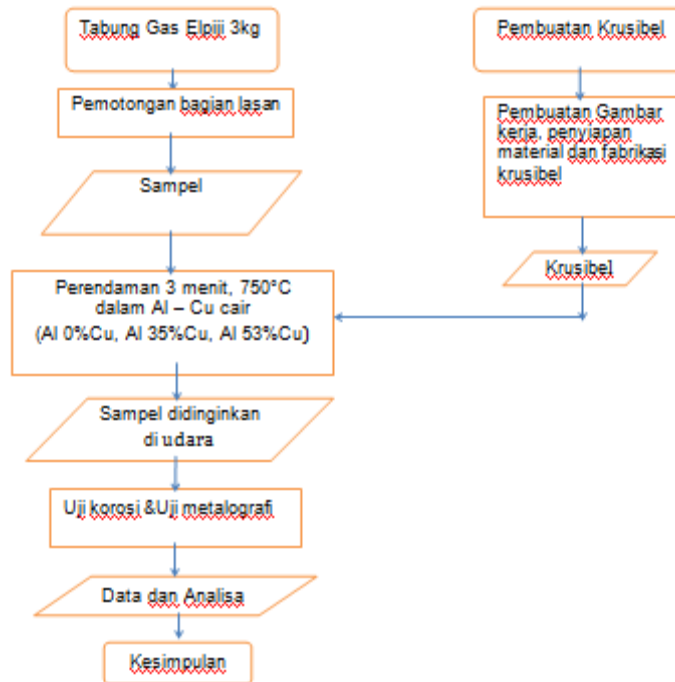
Metode pelapisan Al-celup panas prosesnya lebih cepat dibandingkan proses *aluminizing* lainnya. Selain itu metode Al-celup panas juga memungkinkan pelapisan terjadi pada seluruh permukaan sampel. Namun metode Al-celup panas sangat sukar dilakukan apabila permukaan yang hendak dilapisi adalah selektif.

Lapisan aluminium yang terbentuk pada permukaan baja dapat menjadi pelindung selama aplikasi pada temperature tinggi dengan membentuk lapisan protektif tipis Al_2O_3 . [Badaruddin, M dan Suharno, 2012].

Pada penelitian lain menyimpulkan bahwa pada waktu celup 3 menit pada suhu 1023K (750°C) yaitu kondisi yang optimal untuk proses *Aluminizing*. [R. Rajendan dkk, 2006]

Metodologi Penelitian

Diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut



Hasil dan Pembahasan

Dimensi permukaan sampel diperlihatkan tabel 2 dan tabel 3 berikut ini:

Tabel 2 Dimensi Sampel *Initial* (A) dan Al+0%Cu (B)

No Urut	Kelompok					
	A			B		
	Panjang P (mm)	Lebar L (mm)	Luas (mm ²)	Panjang P (mm)	Lebar L (mm)	Area (mm ²)
1	23.9	19.4	463.66	23.9	19.85	473.42
2	23.9	20.9	499.51	23.9	20.75	494.89
3	23.9	20.0	478.00	23.9	20.25	482.96
4	23.9	19.1	456.49	23.9	20.00	477.00
5	23.9	19.7	470.83	23.9	19.25	459.11

Tabel 3 Dimensi Sampel Al+35%Cu (C) dan Al+53%Cu (D)

No Urut	Kelompok					
	C			D		
	Panjang P (mm)	Lebar L (mm)	Luas (mm ²)	Panjang P (mm)	Lebar L (mm)	Area (mm ²)
1	23.9	19.85	473.42	23.9	19.9	473.42
2	23.9	21.00	500.85	23.9	21.3	506.81
3	23.9	20.45	487.73	23.9	20.9	497.27
4	23.9	20.65	492.50	23.9	19.7	468.65
5	23.9	20.00	477.00	23.9	20.7	492.50

Pengurangan berat setiap sampel setelah direndam dalam larutan NaCl 3.5% diperlihatkan pada tabel 4, 5, 6, 7 berikut.

Tabel 4 Pengurangan Berat Sampel *Initial* (A)

Waktu Perendaman	Kode Sampel				
	A1	A2	A3	A4	A5
168 Jam	0.0162 gr	0.0241 gr	0.0164 gr	0.0270 gr	0.0256 gr
336 Jam	0.0384 gr	0.0356 gr	0.0362 gr	0.0403 gr	0.0463 gr
504 Jam	0.0446 gr	0.0366 gr	0.0488 gr	0.0391 gr	0.0511 gr
672 Jam	0.0585 gr	0.0409 gr	0.0637 gr	0.0474 gr	0.0606 gr

Tabel 5 Pengurangan Berat Sampel Al+0%Cu (B)

Waktu Perendaman	Kode Sampel				
	B1	B2	B3	B4	B5
168 Jam	0.0150 gr	0.0199 gr	0.0138 gr	0.0235 gr	0.0208 gr
336 Jam	0.0314 gr	0.0294 gr	0.0293 gr	0.0337 gr	0.0361 gr
504 Jam	0.0414 gr	0.0330 gr	0.0448 gr	0.0409 gr	0.0433 gr
672 Jam	0.0543 gr	0.0405 gr	0.0536 gr	0.0495 gr	0.0514 gr

Tabel 6 Pengurangan Berat Sampel Al+35%Cu (C)

Waktu Perendaman	Kode Sampel				
	C1	C2	C3	C4	C5
168 Jam	0.0131 gr	0.0134 gr	0.0122 gr	0.0138 gr	0.0072 gr
336 Jam	0.0251 gr	0.0275 gr	0.0257 gr	0.0270 gr	0.0208 gr
504 Jam	0.0331 gr	0.0372 gr	0.0355 gr	0.0358 gr	0.0259 gr
672 Jam	0.0441 gr	0.0495 gr	0.0446 gr	0.0438 gr	0.0344 gr

Tabel 7 Pengurangan Berat Sampel Al+53%Cu (D)

Waktu Perendaman	Kode Sampel				
	D1	D2	D3	D4	D5
168 Jam	0.0002 gr	0.0069 gr	0.0062 gr	0.0037 gr	0.0045 gr
336 Jam	0.0062 gr	0.0142 gr	0.0148 gr	0.0137 gr	0.0125 gr
504 Jam	0.0129 gr	0.0194 gr	0.0157 gr	0.0147 gr	0.0168 gr
672 Jam	0.0160 gr	0.0238 gr	0.0187 gr	0.0225 gr	0.0236 gr

Dari tabel diatas dan menggunakan rumus satu dihalaman sebelumnya maka diperoleh laju korosi untuk masing-masing sampel sebagai berikut.

Tabel 8 Laju Korosi (mm/tahun) Sampel *Initial* (A)

Waktu Perendaman	Kode Sampel					Rata-rata
	A1	A2	A3	A4	A5	
168 Jam	0.2391	0.3311	0.2352	0.4056	0.3730	0.3168
336 Jam	0.2844	0.2446	0.2601	0.3030	0.3371	0.2858
504 Jam	0.2200	0.1678	0.2333	0.1961	0.2481	0.2130
672 Jam	0.2164	0.1404	0.2285	0.1780	0.2208	0.1968

Tabel 9 Laju Korosi (mm/tahun) Sampel Al+0%Cu (B)

Waktu Perendaman	Kode Sampel					Rata-rata
	B1	B2	B3	B4	B5	
168 Jam	0.2174	0.3168	0.1960	0.3380	0.3108	0.2676
336 Jam	0.2275	0.2858	0.2081	0.2424	0.2697	0.2303
504 Jam	0.2000	0.2130	0.2121	0.1961	0.2157	0.1953
672 Jam	0.1967	0.1968	0.1904	0.1780	0.1920	0.1795

Tabel 10 Laju Korosi (mm/tahun) Sampel Al+35%Cu (C)

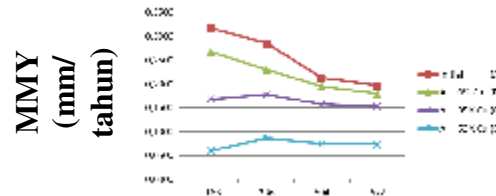
Waktu Perendaman	Kode Sampel					Rata-rata
	C1	C2	C3	C4	C5	
168 Jam	0.1898	0.1836	0.1716	0.1922	0.1036	0.1682
336 Jam	0.1819	0.1884	0.1808	0.1881	0.1496	0.1777
504 Jam	0.1599	0.1699	0.1665	0.1662	0.1242	0.1573
672 Jam	0.1598	0.1695	0.1568	0.1525	0.1237	0.1525

Tabel 11 Laju Korosi (mm/tahun) Sampel Al+53%Cu (D)

Waktu Perendaman	Kode Sampel					Rata-rata
	D1	D2	D3	D4	D5	
168 Jam	0.0029	0.0934	0.0855	0.0542	0.0627	0.0597
336 Jam	0.0449	0.0961	0.1021	0.1003	0.0871	0.0861
504 Jam	0.0623	0.0875	0.0722	0.0717	0.0780	0.0744
672 Jam	0.0580	0.0805	0.0645	0.0823	0.0822	0.0735

Tabel 12. Laju Korosi rata-rata untuk 5 sampel (mm/tahun) setelah direndam NaCl 3.5%

Sampel	Laju Korosi rata-rata dari 5 sampel (mm/tahun) dengan waktu rendam				Rata-Rata Total
	168 Jam	336 Jam	504 Jam	672 Jam	
<i>Initial</i> (A)	0.3168	0.2858	0.2130	0.1968	0.2531
Al+0%Cu (B)	0.2676	0.2303	0.1953	0.1795	0.2182
Al+35%Cu (C)	0.1682	0.1777	0.1573	0.1525	0.1639
Al+53%Cu (D)	0.0597	0.0861	0.0744	0.0735	0.0734

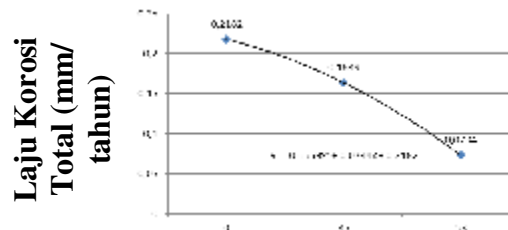


Grafik Laju Korosi Rata-Rata Sampel Direndam NaCl

Berdasarkan grafik laju korosi diatas maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Laju Korosi sampel *initial* menurun karena lapisan korosi yang tertinggal sebelumnya bisa melindungi sampel dari larutan NaCl.
- Laju Korosi sampel Al+0%Cu menurun karena tidak terjadi lapisan intermetalik
- Laju Korosi sampel Al+35%Cu dan Al+53%Cu bisa diasumsikan konstan masing-masing antara 0.05 ~ 0.1 dan 0.15 ~ 0.2 mm/tahun karena lapisan intermetalik.

Maka berdasarkan data-data hasil penelitian diatas, dapat dikatakan bahwa pengaruh *Aluminizing* terhadap laju korosi sangat besar sekali. Dengan proses *Aluminizing* laju korosi sambungan las tabung gas elpiji 3kg dapat diturunkan sehingga kebocoran yang sering terjadi dapat dihindari. Dan juga korosi yang diakibatkan benturan antar tabung yang sering terjadi dan dapat menimbulkan kebocoran dapat dihindari pula. Berdasarkan tabel 12 diatas maka pengaruh persentase Cu terhadap laju korosi diketahui dan ditunjukkan pada grafik berikut ini.



Grafik Persentase Cu terhadap laju korosi sampel

Berdasarkan grafik diatas, diperoleh persamaan polynomial orde 2 untuk persentase Cu terhadap laju korosi rata-rata total yaitu:

$$y = -0.6559x^2 + 0.0744x + 0.2182.....(2)$$









Dimana:

y = Laju Korosi rata-rata total dan x = Persentase Cu

%Cu

Berdasarkan grafik laju korosi total pada gambar 4.2 diatas, pada Al+0% Cu laju korosi total 0.2182 mm/tahun dan dengan penambahan 35% Cu dan 53% Cu maka laju korosi total menurun menjadi 0.1639 mm/tahun dan 0.0734 mm/tahun masing-masing. Karena sifat tembaga yang tahan terhadap korosi dan dari data-data diatas menunjukkan bahwa pengaruh penambahan tembaga pada proses *aluminizing* sangat besar sekali untuk menurunkan laju korosi. Dengan menggunakan persamaan 2 diatas kita bisa mengetahui berapa persen Cu untuk menghasilkan laju korosi rata-rata pertahun pada proses *aluminizing*.

Perbandingan Struktur Mikro sampel pada sebelum dan sesudah perendaman larutan NaCl 3.5%

Sampel	Sebelum direndam NaCl Pembesaran 200x	Sesudah direndam NaCl Pembesaran 200x
Initial		
Al+0%Cu		
Al+35%Cu		
Al+53%Cu		

Berdasarkan foto Struktur Mikro masing-masing sampel diatas maka berikut ini rekapitulasi pengamatan struktur mikro untuk masing-masing sampel.

Kesimpulan

Sampel	Sebelum direndam NaCl			Setelah direndam NaCl
	Bentuk Butir	Ukuran Butir	Kehadiran Intermetalik	Laju Korosi (mm/tahun)
<i>Initial</i>	<i>Columnar Grains</i>	Besar	Tidak	0.2531
Al+0%Cu	Relatif Bulat	Sedang	Tidak	0.2182
Al+35%Cu	Relatif Bulat dan Lonjong	Sedang	Tidak	0.1639
Al+53%Cu	Relatif Bulat	Sedang	Ya	0.0734

Berdasarkan data dan analisa hasil pengujian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses *aluminizing* dapat menurunkan laju korosi dari sambungan las tabung gas Elpiji 3 kg dengan nilai sebagai berikut:
 - a. Sampel Initial = 0.2531 mm/tahun.
 - b. Sampel Al+0%Cu = 0.2182 mm/tahun.
 - c. Sampel Al+35%Cu = 0.1639 mm/tahun.
 - d. Sampel Al+53% = 0.0734 mm/tahun.
2. Adanya lapisan intermetalik mampu menurunkan laju korosi secara signifikan.
3. Penambahan Cu pada proses *aluminizing* juga dapat menurunkan laju korosi yang signifikan pula.

Daftar Pustaka

Ahmad, Zaki. *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. First Edition. Burlington: Elsevier Ltd., 2006.

ASM, *Metallurgy and Microstructures*, ASM Handbook Committee, Metal Park, Ohio, 1989.

Badaruddin, M dan Suharno. *Peningkatan Ketahanan Korosi Temperatur Tinggi Baja Karbon Rendah (AISI 1020) Dengan Pelapisan Celup Panas Aluminium Untuk Aplikasi Pada Pipa Gas Panas Bumi*. Prosiding Seminar Insentif Riset Sinas. Jakarta, 2012.

Biatna Dulbert, Untari P. dan Wahyu, *Kajian penerapan produk tabung baja LPJ 3 kg terhadap SNI 1452:2007*, Badan standarisasi nasional (BSN), litbang@bsn.or.id, Jurnal Riset Industri Vol. III No.1 April 2009.

Jones, Denny A. *Principles And Prevention Of Corrosion*. Department Of Chemical And Metallurgical Engineering University Of Nevada. Reno 1992.

M. Fitrullah, Yanyan D., Andinnie J., Tripartuti, P. Tarigan, Wahyudin, Andika MP., *Studi kekuatan dan ketahanan korosi pada sambungan las 3 Kg*, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Universitas Trisakti Jakarta 2014, ISSN : 2355-925X Juni 2014 Indonesia.

Prayitno, Dody dan Triyono, M.S. *Pembentukan Lapisan Intermetalik Dengan Metode Powder Liquid Coating Sebagai Upaya Alternatif Pengerasan Permukaan Besi Tuang Nodular*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing. Jakarta: Universitas Trisakti, 2010.

R, Rajendran, S, Venkataswamy, U, Jaikrishna , N, Gowrishankar, A, Rajadurai B.S.A. *Effect of process parameters in hot dip aluminizing of medium carbon steel*. Crescent Engineering College, Chennai 600048, India, 2IP Rings Ltd, D 11/ 12, Industrial Estate, Maraimalainagar 603 209, India, 3 Anna University, Chennai 600 044, India, Student Papers from FISITA 2006.

Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens, ASTM - G1 – 03 (Reapproved 2011).

Tarmizi, Sri Mulyati Latifah, *Analisa kegagalan tabung gas LPG 3 kg (Failure analysis LPG gas cylinder capacity 3 kg)* Balai besar logam dan Mesin, tarmizi@kemenperin.go.id, Jurnal Riset Industri Vol. VI No. 1, 2012.

Wiriosumarto, Harsono & Toshie Okumura. *Teknologi Pengelasan Logam Cetakan Kedelapan*. PT. PRADNYA PARAMITA. Jakarta 2000.

Yan Li, *Corrosion behaviour of hot dip zinc and zinc–aluminium coatings on steel in seawater*, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071, China, 2001.