

Studi Laju Korosi Internal Pipa Baja Api 5L Grade B Berdasarkan Metode Pengukuran Metal Loss Dengan Ultrasonic Dan Polarisasi Resistance Dengan Variasi Konsentrasi Klorida

Supriyadi

Teknik Mesin, Universitas Soerjo, Jl. Cepu No.km. 3, Ngawi, 63218

E-mail: -

Abstract - Pipa penyalur minyak umumnya menggunakan material baja karbon. Salah satu masalah besar dalam penggunaan material tersebut yang berkaitan dengan korosi yaitu terjadinya kebocoran akibat adanya pengaruh konsentrasi ion klorida yang terlarut dalam media air sehingga lingkungan bersifat korosif (asam). Oleh karena itu sebagai upaya untuk mengatasi masalah tersebut perlu diketahui besaran laju korosi material baja karbon tersebut. Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan antara laju korosi yang diperoleh dari metode pengujian linear polarisasi resistance dan pengukuran metal loss dengan peralatan ultrasonic thickness meter. Output dari kedua metode tersebut selanjutnya diperoleh hubungan laju korosi melalui analysis of variance dengan menggunakan software. Studi pengaruh kadar klorida dilakukan untuk mengetahui korosi internal pipa baja karbon API 5L Grade B yang digunakan sebagai pipa penyalur minyak di lapangan. Metode pengujian polarisasi resistance dilakukan dalam media larutan air formasi NaCl 1%, 2% dan 3.5%. Laju korosi internal pipa baja karbon API 5L Grade B cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi klorida dalam media larutan. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa pipa baja karbon API 5L Grade B memiliki ketahanan korosi yang cukup pada fluida dengan konsentrasi klorida 1%, 2% dan 3.5%.

Keywords—: API 5L Grade B; chloride; corrosion rate; resistance polarization; metal loss.

I. PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas bumi terkait dengan infrastruktur untuk menyalurkan hasil minyak dan gas bumi tersebut. Untuk menjaga system penyaluran produksi minyak dan gas, maka seluruh unit-unit peralatan yang dilalui oleh fluida reservoir (minyak, kondensat, gas dan air terproduksi) atau sistem yang menggerakkan harus tetap dalam keadaan baik, tidak berdampak negatif terhadap keselamatan kerja dan lingkungan sampai ke tempat pemakai akhir (*end user*).

Tingkat korosi yang terjadi pada internal pipa penyalur pada fasilitas produksi minyak dan gas bumi berhubungan dengan korosifitas dari fluida yang mengalir didalamnya, sementara yang menjadi factor permasalahan di atas adalah hasil produksi terkini memiliki persentasi 10% minyak dan 90% *water cut*. Umumnya kondisi fluida dengan hanya satu fasa yang mengalir didalam pipa mempunyai tingkat korosi yang lebih rendah dibandingkan fluida dengan lebih dari satu fasa (multifasa) yang mengalir didalam pipa tersebut, utamanya jika terdapat konsentrasi ion – ion agresif seperti ion klorida (Cl^-), ion sulfat (SO_4^{2-}) dan pH serta gas – gas korosif sebagai produk ikutan dari sumur seperti CO_2 dan H_2S . Perubahan dari jenis fluida yang mengalir pada pipa tentunya akan berakibat pada perubahan tingkat korosi yang terjadi, apakah semakin buruk atautkah semakin baik.

Baja karbon API 5L Grade B yang banyak digunakan sebagai pipa penyalur di industri minyak dan gas bumi di Indonesia, khususnya pada pipa penyalur minyak salah satu perusahaan minyak dan gas nasional di daerah Jawa Tengah sering mengalami bocor yang terjadi sekitar 300 meter dari pompa transfer minyak dan sepanjang 350 meter sebanyak 6 titik.

Berdasarkan referensi di lapangan untuk penanggulangan kebocoran pada pipa tersebut adalah dengan melakukan perbaikan secara *tack welding* dibagian luar pipa yang bocor. Penanggulangan kebocoran tersebut diyakini tidak akan menyelesaikan masalah tersebut secara permanen. Berdasarkan hasil analisa kimia air terproduksi memiliki kadar klorida (Cl^-) yang tinggi. Cl^- atau *chloride* merupakan salah satu senyawa paling agresif terutama dalam keadaan terlokalisasi pada suatu tahap proses. Jika tidak ditangani dengan serius, korosi akibat *chloride* (Cl^-) pada baja karbon akan mengakibatkan *deteriorasi* (penurunan logam) yang cukup membahayakan seperti *stress corrosion cracking* (SCC), *crevice corrosion*, *pitting corrosion* dan *uniform corrosion*.

Pengukuran laju korosi yang telah berkembang sedemikian jauhnya sehingga bisa dilakukan dengan berbagai metode. Pengukuran ketebalan dinding pipa secara berkala menjadi salah satu solusi yang praktis dan cukup akurat untuk dilakukan di lapangan. Pemeriksaan NDT dengan menggunakan metode *Ultrasonic Testing* bisa dimanfaatkan untuk mendapatkan data ketebalan pipa secara ekstrusif (4). Dalam berbagai standard internasional untuk inspeksi system perpipaan seperti API 570 dan API 579, penggunaan *Ultrasonic Thickness* untuk mengukur ketebalan menjadi sesuatu yang dipersyaratkan untuk memenuhi kriteria *assessment*.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui laju korosi internal pada sampel pipa baja API 5L Grade B menggunakan metode *linear polarization resistance* dengan variasi konsentrasi klorida pada larutan air formasi.

- Mengetahui laju korosi internal pada sampel pipa baja API 5L Grade B dengan metode pengukuran penipisan logam (*metal loss*) dengan *Ultrasonic Thickness*.
- Mengetahui hubungan korelasi metode – metode penentuan laju korosi melalui *analysis of variance* dengan software MATLAB 7.0 dan metode Anova Way.

II. DATA DAN METODE

A. Diagram Alir Penelitian

Proses Penelitian dilakukan seperti diagram alir di bawah :

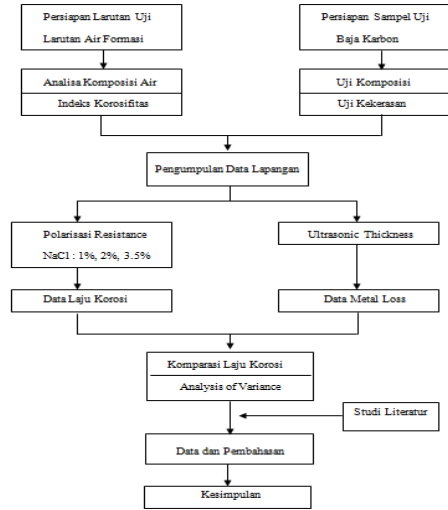


Diagram Alir Penelitian

B. Bahan yang digunakan

- Bahan yang digunakan adalah baja karbon dengan tebal ± 6.0 mm yang diperoleh dari PT.Pertamina EP Asset 4 Field Cepu.
- Sampel larutan air formasi dengan kadar klorida 1%, 2% dan 3.5%.
- Nital 2% untuk etsa.
- Resin untuk mounting uji metal.
- 100 ml Asam Sulfat (H_2SO_4), 3 menit pada suhu kamar untuk pickling

C. Alat yang digunakan

- Tabung sel polarisasi
- Elektroda standar kalomel
- Elektroda bantu (grafit)
- Jembatan garam
- Komputer yang dilengkapi dengan program AUTOLAB
- Mesin amplas dan kain amplas
- Alat pemotong logam (gerinda)
- Alat solder dan timah solder
- Resin mounting dan hardener
- Hardness tester
- Ultrasonic thickness meter

D. Persiapan Larutan dan Sampel

Material awal dipotong dengan ukuran $\Phi 100 \times 100 \times 6.0$ mm sebanyak 1 buah. Bentuk dan ukuran sampel seperti ditunjukkan gambar 3.2 di bawah.



Gambar Sampel pipa

Bagian material pipa yang dipotong di bagian atas dan tengah merupakan bagian kritis dimana terdapat area *pitting corrosion* dan titik kebocoran. Untuk mengetahui sebaran area *pitting corrosion* dilakukan pemotongan pipa menjadi dua bagian pada posisi 1 atau 90⁰ seperti ditunjukkan oleh gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar Tampak Atas Pipa

Larutan uji yang digunakan pada pengujian ini adalah larutan air formasi yang memiliki konsentrasi klorida 1%, 2% dan 3.5%. Sampel larutan tersebut dilakukan uji komposisi air dengan menggunakan metode titrimetri dan spektrometri yang telah dilakukan oleh laboratorium kimia Asset 4 PT. Pertamina EP Field Cepu. Selanjutnya untuk mendapatkan larutan air formasi 2% dan 3.5% dilakukan dengan penambahan NaCl 10 gram dan 25 gram per liter hingga didapatkan konsentrasi klorida yang diinginkan.

E. Pengujian Kekerasan & Komposisi

Pengukuran kekerasan (*hardness*) pipa bertujuan untuk mengetahui spesifikasi material pipa disebabkan data spesifikasi pipa di lapangan tidak ada. Pengujian kekerasan pipa dilakukan dengan alat uji kekerasan dengan pembacaan pada skala brinell (HB). Hasil pembacaan pada alat uji kekerasan tersebut kemudian dikonversi menjadi nilai tensile strength (psi). Sama halnya dengan pengukuran ketebalan, pengujian kekerasan pipa dilakukan secara random sepanjang 300 meter.

Pengujian OES (*Optical Emission Spectroscopy*) dimaksudkan untuk melihat ketepatan kadar unsur penyusun material pipa penyalur berdasarkan standar yaitu API 5L Grade B.

F. Pengujian Ketebalan

Pengukuran ketebalan sepanjang 350 meter dilakukan dengan *UT Wall Thickness* di setiap *test location* di empat arah yaitu pada arah jam 12, jam 3, jam 6, dan jam 9 termasuk di lokasi yang mengalami korosi *pitting*. Selanjutnya dilakukan perhitungan *metal loss* pada masing – masing *test location* tersebut untuk mengetahui laju korosi pipa.



Alat UT wall thickness

G. Pengujian Polarisasi Resistance

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi baja karbon dengan menggunakan perangkat lunak AUTOLAB. Sampel baja karbon dipotong berbentuk keping lingkaran dengan diameter 1,5 cm, dengan ketebalan kira – kira 6.0 mm. kemudian keping sampel dipoles dengan kertas amplas, sampai grit 2000. Kedua jenis sampel kemudian dicuci dengan aseton lalu diuji korosi dengan metode polarisasi *resistance* pada konsentrasi klorida 1%, 2% dan 3.5%.



Alat sel polarisasi dan perangkat lunak AUTOLAB

III.HASIL DAN DISKUSI

A. Data Operasional

Data pipa penyalur seperti ditunjukkan dalam tabel

Peralatan	Pipa Penyalur
Lokasi	SPU Nglobo
Fluida yang dialirkan	Minyak (Crude oil) + Air Formasi
Diameter Pipa	4 “
Material Pipa	API 5L Grade B
Panjang Pipa	+/- 350 meter
Konstruksi Sambungan	Welded
Sistem Proteksi Pipa	Coating
Tahun Konstruksi	2008
Tekanan Design	430 psi
Temperatur Design	50 °C
Tekanan Operasional	145 psi
Temperatur Operasional	37 °C

Pipa penyalur ini digunakan untuk mengalirkan minyak (*crude oil*) dari SPU Nglobo menuju ke PPP (Pusat Pengumpul Produksi) dan beroperasi secara intermitten. dengan tekanan operasi bervariasi. Kondisi konstruksi jalur pipa yaitu *aboveground* tetapi saat ini banyak yang tertimbun setengahnya.

B. Data Analisa Komposisi Air Formasi

Hasil pengujian komposisi kimia air formasi ditunjukkan pada tabel dibawah :

Hasil Analisa Sifat Kimia Air

No	Parameter	Hasil Analisa	Satuan
1	Temperatur	29	°C
2	Densitas	1,009	gr/cc
3	pH	8.5	-
4	Cl ⁻	10000	ppm
5	TDS	18865.89	ppm
6	Ca ²⁺	24.06	ppm
7	HCO ₃ ⁻	3451.4	ppm

Data komposisi kimia air formasi di atas akan digunakan untuk menentukan indeks korosifitas berdasarkan Langelier dan Ryznar Index.

C. Data Pengujian Komposisi

Persentase Unsur Hasil OES

Unsur	Kandungan (%)	Pada Standar (%)
C	0.179	0.21 (max)
Si	0.226	-
S	< 0.003	0.05 (max)
P	0.004	0.04 (max)
Mn	0.614	1.15 (max)
Ni	0.028	-
Fe	Bal.	Dominant
Lain-lain	< 0.07	-

Berdasarkan data tabel 4.5 di atas dapat disimpulkan bahwa adanya kesesuaian dengan spesifikasi unsur penyusun pipa berdasarkan standar **API 5L Grade B**.

D. Data Pengujian Ultrasonic Thickness

Pengukuran ketebalan pipa dilakukan secara random dengan *Ultrasonic Thickness* untuk mengetahui kondisi material pipa baja karbon yang terpasang di lapangan.

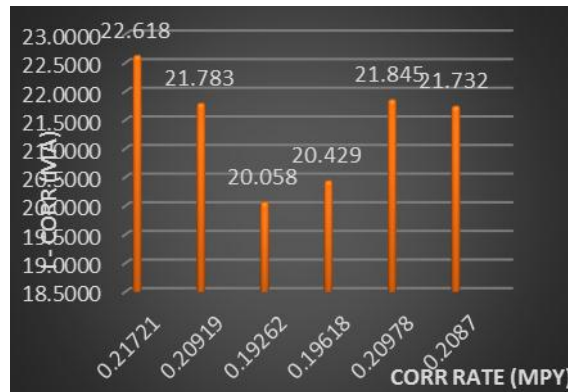
Data laju korosi pipa

Test Location	Min Thickness	Corr. Rate (mm/year)
1	6,35	0,084
2	6,38	0,078
3	6,1	0,134
4	4,25	0,504
5	5,05	0,344
6	6,2	0,114
7	6,14	0,126
8	6,178	0,119
9	6,25	0,104
10	6,1	0,134

Dari data di atas dihasilkan rata – rata nilai laju korosi berdasarkan *general metal loss* adalah 0.174 mm/year (6.8 mpy).

E. Data Pengujian Polarisisasi

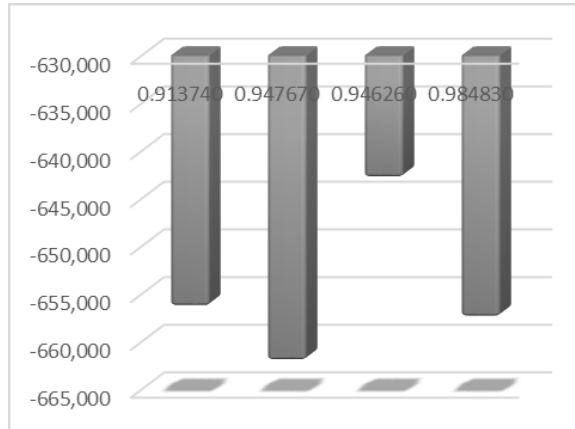
Pengujian polarisisasi yang digunakan menggunakan metode *linear polarisasi resistance* (LPR), dengan asumsi bahwa fenomena yang ingin di amati adalah perilaku korosi seragam (*uniform corrosion*). Air formasi yang air formasi yang memiliki index korosifitas *Ryznar Index* 6.3 dan *Langelier Saturation Index* 1.1. Adapun nilai laju korosi pada baja karbon untuk tiap - tiap larutan dengan variasi klorida yang berbeda (1%, 2%, dan 3,5%) dapat dilihat pada tabel dibawah :



Data pengukuran Polarisisasi API 5L Grade B dalam larutan air formasi

API 5L GRADE	NaCl 1%		NaCl 2%		NaCl 3.5%	
	UJI 1	UJI 2	UJI 1	UJI 2	UJI 1	UJI 2
E-CORR (mV)	-	-	-	-	-	-654.98
POL RES. (KΩ)	0.91374	0.9476	0.94	0.984	0.9123	0.94236
I-CORR (µA)	22.6180	21.783	20.0	20.42	21.845	21.7320
CORR RATE (mm/year)	0.21721	0.2091	0.19	0.196	0.2097	0.20870

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa makin besar corrosion rate makin besar Icorr yang dihasilkan. Dalam aplikasinya untuk memberikan perlindungan terhadap pipa baja dapat dilakukan dengan menurunkan Icorr.

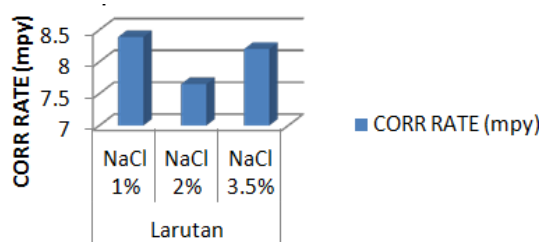


F. Pembahasan Pengaruh Konsentrasi Klorida terhadap Laju Korosi.

Pada material baja karbon API 5L Grade B dari hasil yang didapat terlihat bahwa laju korosi pada pengujian dengan konsentrasi klorida 2% lebih lambat dibanding dengan laju korosi dengan konsentrasi klorida 1% dan 3.5%. Profil laju korosi yang dapat diamati cenderung mengalami peningkatan akan tetapi hal ini juga dipengaruhi oleh kation dan anion lain yang ada dalam larutan air formasi tersebut.

Laju korosi material API 5L Grade B

API 5L Grade B	Larutan		
	NaCl 1%	NaCl 2%	NaCl 3.5%
CORR RATE (mm/year)	0.2132	0.1944	0.20924
CORR RATE	8.39	7.65	8.2



Hubungan antara Larutan NaCl dengan Corr Rate (mpy)

Dari gambar di atas dapat dijelaskan bahwa laju korosi larutan NaCl 1% lebih tinggi dibanding larutan NaCl 2% dan 3,5%. Namun kecenderungan laju korosi makin meningkat seiring dengan adanya peningkatan konsentrasi larutan NaCl, mengingat larutan NaCl 3.5% merupakan batas optimum terjadinya laju korosi yang lebih tinggi.

Kelarutan oksigen dipengaruhi oleh kadar klorida dimana kelarutan optimumnya terjadi pada konsentrasi klorida 3% sebagaimana ditunjukkan dalam table di atas. Dengan demikian laju korosi maksimum terjadi pada konsentrasi ion klorida tersebut. Konsentrasi NaCl dalam larutan akan sangat berpengaruh terhadap laju korosi baja karbon dalam larutan tersebut. Peningkatan konsentrasi NaCl dalam larutan akan meningkatkan konduktifitas larutan sehingga meningkatkan laju korosi. Namun sebaliknya, peningkatan konsentrasi NaCl akan mengurangi kelarutan agen pereduksi dalam larutan sehingga akan menurunkan laju korosi baja karbon dalam larutan tersebut. Oleh karena itu, konsentrasi NaCl dapat meningkatkan dan menurunkan laju korosi baja karbon dalam larutan tersebut tergantung pada pengaruh yang dominan yang ditimbulkan oleh konsentrasi NaCl tersebut.

Hubungan penentuan hasil laju korosi dengan menggunakan metode *linear polarization resistance* berdasarkan variasi konsentrasi klorida (1%, 2% dan 3.5%) memiliki hubungan yang significant artinya komposisi atau konsentrasi klorida sangat berpengaruh terhadap laju korosi pipa baja API 5L Grade B. Hal ini diperkuat dengan hasil dari *analysis of variances* nilai laju korosi dengan menggunakan software MATLAB 7.0 dan metode yang digunakan adalah *AnovaWay*. Adapun hubungan korelasi antara nilai laju korosi dengan konsentrasi larutan klorida yang bervariasi (1%, 2%, 3.5%) ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.

ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	0.00039	2	0.0002	14.6	0.0284
Error	0.00004	3	0.00001		
Total	0.00043	5			

Hasil one way ANOVA laju korosi pada variasi konsentrasi klorida

Akan mempercepat laju korosi hingga 5 - 6 kali sehingga Nilai *probability* (p) menunjukkan lebih kecil dari 0.05 yaitu sekitar 0.0284 menggambarkan hubungan yang significant antara konsentrasi klorida dengan laju korosi.

Ketahanan korosi relatif material pipa baja karbon API 5L Garde B pada larutan air formasi NaCl 1%, 2% dan 3.5% sebenarnya masuk dalam kategori cukup tetapi apabila terbentuk *localized corrosion* menyebabkan timbulnya bocor pada pipa.

G. Perbandingan Hasil Laju Korosi Metal Loss dan Linear Polarisasi Resistance

Perbandingan hasil laju korosi dilakukan terhadap hasil *linear polarization resistance* (LPR) dengan laju penipisan pada dinding pipa (*metal loss*). Penipisan dinding pipa disesuaikan dengan titik – titik yang mengalami kebocoran di jalur pipa penyalur tersebut. Sedangkan metode LPR dilakukan dalam skala laboratorium dan menggunakan sampel yang telah dipersiapkan.

Berdasarkan *software* MATLAB 7.0 dan metode *Anova Way* hubungan *analyssi of variances* yang diperoleh antara laju korosi dengan laju penipisan (*metal loss*) dan metode *linear polarization resistance* menunjukkan hasil yang tidak signifikan, Hal ini dimungkinkan oleh adanya perkiraan korosi yang terbentuk kemungkinan bervariasi yaitu *general corrosion*, korosi merata (*uniform corrosion*) dan korosi terlokalisasi (*localized corrosion*). Adapun hubungan korelasi penentuan nilai laju korosi metode LPR dengan variasi konsentrasi larutan klorida dan metode penipisan logam (*metal loss*) ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.

ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	0.00006	1	0.00006	0	0.951
Error	0.15312	10	0.01531		
Total	0.15318	11			

Hasil one way ANOVA laju korosi metode LPR

Nilai *probability* (p) menunjukkan lebih besar dari 0.05 yaitu sekitar 0.951 menggambarkan hubungan nilai laju korosi yang tidak significant antara metode LPR dan *Metal Loss*.

Namun secara prinsip sebenarnya kedua metode ini menghasilkan nilai laju korosi yang tidak jauh berbeda, hal ini terkait dengan kondisi bahwa permukaan pipa secara internal dialiri fluida yang memiliki variasi konsentrasi klorida yang cukup tinggi sehingga mengalami tingkat korosi yang sama. Namun demikian yang perlu diperhatikan adalah terdapat perbedaan tingkat sensitifitas hasil pengukuran antara kedua metode tersebut diatas, dimana sampel pipa terpasang pada metode *linear polarization resistance* dalam suatu periode waktu tertentu yang cukup pendek, sedangkan laju korosi dinding pipa diukur berdasarkan laju penipisan (*metal loss*) yang diukur dalam rentang waktu yang lebih panjang (5 tahun).

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Laju korosi hasil pengujian sampel larutan air formasi dengan konsentrasi klorida 1%: 8.39 mpy, konsentrasi klorida 2% : 7.65 mpy dan konsentrasi klorida 3.5%: 8.2 mpy.
2. Laju korosi hasil pengukuran penipisan logam (*metal loss*) dengan *ultrasonic thickness* rata – rata adalah 6.8 mpy.
3. Komparasi hasil dari *analysis of variances* nilai laju korosi dengan menggunakan *software* MATLAB 7.0 dan metode *Anova Way*. Nilai *probability* (p) menunjukkan lebih kecil dari 0.05 yaitu sekitar 0.0284 menggambarkan hubungan yang significant antara kenaikan konsentrasi klorida dengan laju korosi. Nilai *probability* (p) menunjukkan lebih besar dari 0.05 yaitu sekitar 0.951 menggambarkan hubungan nilai laju korosi yang tidak significant antara metode *Linear Polarization Resistance* (LPR) dan *Metal Loss*.

Komparasi hasil perhitungan laju korosi pada area yang mengalami *localized corrosion* tidak dapat dijelaskan karena tidak dilakukan pengujian polarisasi lanjutan dengan metode *potensiodynamic*. Dimana dengan metode ini dapat diketahui karakter aktif pasif dari sistem logam – larutan yang diukur sesuai dengan mekanisme terjadinya korosi tersebut.

V. PUSTAKA

- Ismail N. Andijani1, Mohammad Mobin , “*Studies on The Determination of Maximum Chloride Level in Product Wate Transmitted Through Pipeline*”. Saline Water Desalination Institute, Journal. August. 2005.
- Nakarini Srisuwan, Nathalie Ochoa, Nadine Pe`be`re, Bernard Tribollet, “*Variation of Carbon Steel Corrosion Rate with Flow Conditions In The Presence of An Inhibitive Formulation*”, Journal. February. 2008.
- L. Pan , S.H. Tang, J.W. Hao, “*Failure Analysis of A Rotating Cantilever Shaft in Chloride Corrosive Environment*”, Journal. May. 2005.

- Mario, Marcelleus, “ Studi Penambahan beras ketan hitam sebagai Inhibitor Organik dengan konsentrasi 500 GPL pada baja SPCC pada lingkungan Air Tanah” Skripsi, Universitas Indonesia. Depok. 2010.
- Jones. Denny A, *Principles and Prevention of Corrosion*, Maxwell Macmillan, Singapura, 1992.
- Fontana. Mars. G, *Corrosion Engineering, 3rd Edition*. Houston : McGraw-Hill, 1986.
- American Petroleum Institute. 2000. API Recommended Practice 579, “*Fitness for Service*”. Houston, United State.
- William D. Callister, Jr., *Materials Science and Engineering, And Introduction*, 6th ed., John Wiley and Son, inc., 2003.
- Davis Harmer E, George E Troxell, George F.W. Hauck, *The Testing of Engineering Materials*, 4th ed., Mc Graw Hill, inc., 1982.
- Budinski, G Kenneth., *Engineering Materials Properties and Selection*, 5th Edition. USA: Prentice – Hall, 1996.
- Klug, H.P, L.E Alexander, *X-Ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials*, Wiley & Sons, 1974.
- Oktaviana, Aptika, “Teknologi Penginderaan Mikroskopi”, Tugas Makalah, Universitas Sebelas Maret, Surakarta. 2009.
- American Petroleum Institute. 2012. API Spec 5L, “*Line Pipe Specification*”. United State
- G. S, Sulistioso, M. Ihsan dan Komarudin, “Analisa Korosi dari SS 440C pada Media Air Tawar dan Air Laut. Serpong. 2004.
- ASTM International. 2002. ASTM E 340-00, “*Standard Test Method for Macroetching Metals and Alloys*”. United State
- ASTM International. 2002. ASTM E407-99, “*Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*”. United State
- ASTM International. 2002. ASTM E3 – 01, “*Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*”. United State.
- ASTM International. 2002. ASTM G46-94, “*Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion*”. United State.
- ASTM International. 2003. ASTM E18 – 03, “*Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials*”. United State.
- Piere Roberge, *Corrosion Inspection*