

Analisis Laju Korosi pada Lingkungan Sungai Terhadap Material Pipa *Stainless Steel* 304 dan Pipa Galvanis di Kota Semarang

*Norman Iskandar^a, Sri Nugroho^a, I Putu Gde Wahyu Krisna^b

^aDosen Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

^bMahasiswa Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: norman.undip@gmail.com

Abstract

Flood pump installations in river environments in Semarang City often experience failure or damage due to corrosion problems. This is because the city of Semarang is directly adjacent to the sea and some areas have experienced sea water infiltration. This study will examine the rate of corrosion that occurs in 304 stainless steel pipe material and galvanized pipe in flood pump installations in Semarang City. Material preparation begins with a pipe cutting process with a length of 50 mm. Galvanized material is divided into two treatments where the first condition (non-treatment) is the absence of coating on the cut ring and the second condition (treatment) is the coating on the cut part to protect the base metal from corrosion. The test method used is to immerse the specimen directly in the river and weight loss analysis is used to calculate the corrosion rate of the material. The test parameters considered are the content of corrosive environmental elements such as the degree of acidity (pH), salinity, total dissolve solids (TDS), dissolve oxygen (DO), chloride and sulfate ions to the hardness of river water. There are three test locations, namely the Progo river, the Gudang Senjata river and the Banger river. The results showed that the highest corrosion rate of SS-304 pipe and non-treatment Galvanized pipe occurred in the Gudang Senjata river, namely 0.1796 mpy (outstanding) and 1.5104 mpy (excellent) respectively due to the presence of higher corrosive content compared to rivers. other. Meanwhile, for Galvanized pipe material treatment, the highest corrosion rate occurred at the location of the Banger river, which is 1.2047 mpy (excellent), this is because the Banger river has low hardness compared to other rivers.

Keywords: Corrosion; river; weight loss analysis; 304 Stainless Steel Pipe; Galvanized Pipe

Abstrak

Instalasi pompa banjir di lingkungan sungai di Kota Semarang sering mengalami kegagalan atau kerusakan karena permasalahan korosi. Hal ini dikarenakan Kota Semarang berbatasan langsung dengan laut dan sebagian wilayah telah mengalami infiltrasi air laut. Penelitian ini akan mengkaji tentang laju korosi yang terjadi pada material pipa stainless steel 304 dan pipa galvanis pada instalasi pompa banjir di Kota Semarang. Preparasi material diawali dengan proses pemotongan pipa dengan panjang 50 mm. Untuk material Galvanis dibagi menjadi dua perlakuan dimana kondisi pertama (*non-treatment*) yaitu tidak terdapatnya pelapisan bagian cincin potongan dan kondisi kedua (*treatment*) yaitu diberikannya pelapisan pada bagian potongan untuk melindungi base metal dari korosi. Metode pengujian yang digunakan adalah dengan merendam langsung spesimen langsung di sungai dan *weight loss analysis* digunakan untuk menghitung laju korosi pada material. Parameter uji yang dipertimbangkan adalah kandungan unsur-unsur korosif lingkungan seperti derajat keasaman (pH), tingkat keasinan (salinitas), *total dissolve solids (TDS)*, *dissolve oxygen (DO)*, ion klorida dan sulfat hingga tingkat kesadahan air sungai. Terdapat tiga lokasi pengujian yaitu di sungai Progo, sungai Gudang Senjata dan sungai Banger. Hasil penelitian menunjukkan nilai laju korosi pipa SS-304 dan pipa galvanis *non-treatment* tertinggi terjadi pada sungai Gudang Senjata yaitu masing-masing 0,1796 mpy (*outstanding*) dan 1,5104 mpy (*excellent*) akibat adanya konten korosif yang lebih tinggi dibandingkan sungai lainnya. Sedangkan untuk material pipa galvanis yang *ditreatment*, laju korosi tertinggi terjadi pada lokasi sungai Banger yaitu sebesar 1,2047 mpy (*excellent*) hal ini dikarenakan sungai Banger memiliki kesadahan yang rendah dibandingkan sungai lain.

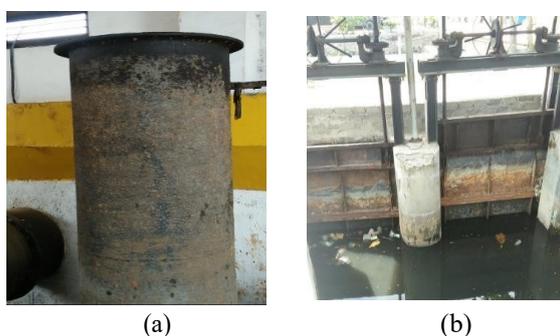
Kata kunci: Korosi; sungai; *weight loss analysis*; pipa stainless steel 304; pipa galvanis

1. Pendahuluan

Penggunaan logam dalam perkembangan teknologi dalam menunjang peradaban manusia sangat besar peranannya. Dalam kondisi karakteristik logam, hal yang paling rentan terjadi dan mengganggu kinerja logam adalah laju korosi dari logam tersebut. Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya [1].

Korosi pada logam telah dikenal sejak lama sangat merugikan, dimana kerugian akibat korosi dapat terjadi di banyak aspek seperti korosi dapat menyebabkan penutupan sebuah pabrik, pemborosan sumber daya yang berharga, kehilangan atau kontaminasi suatu produk, penurunan efisiensi, pemeliharaan yang mahal, dan *overdesign* yang mahal, juga membahayakan keselamatan dan menghambat kemajuan teknologi [2].

Kota Semarang merupakan salah satu kota di Indonesia yang memiliki kelembaban relatif dan suhu yang tinggi, Kota Semarang juga memiliki banyak aliran sungai dengan kondisi air yang bervariasi. Variasi kondisi air sungai di Kota Semarang dipengaruhi oleh limbah rumah tangga ataupun industri yang masuk di sepanjang aliran sungai. Kota Semarang juga terkenal dengan kondisi area bawah yang sering mengalami banjir baik akibat dari limpahan air sungai dari sektor hulu maupun dari air pasang laut. Salah satu penanganan banjir ini adalah dengan pembuatan polder dan pemasangan pompa banjir. Pada instalasi pompa banjir tersebut banyak menggunakan material logam diluar elemen pompanya sendiri, seperti untuk pintu air dan perpipaannya. Korosi banyak ditemukan bahkan secara kasat mata sangat jelas terlihat di peralatan dan instalasi pendukung pompa banjir yang dipasang oleh Pemerintah Kota Semarang. Berikut Gambar 1 menunjukkan kerusakan material pipa di salah satu instalasi pompa banjir dan pintu irigasi akibat korosi di Kota Semarang.



Gambar 1 Kerusakan akibat korosi (a) Pipa pompa banjir, (b) Pintu air irigasi

Korosi menjadi salah satu masalah besar dikarenakan banyaknya jumlah instalasi pompa banjir sehingga menuntut biaya perawatan dan perbaikan yang sangat besar. Bahkan beberapa peralatan mengalami kerusakan yang cukup parah akibat korosi. Hal ini yang coba diinvestigasi termasuk mengetahui tingkat laju korosi sehingga bisa menjadi acuan perencanaan material baru yang akan diterapkan dan perencanaan untuk teknik perawatannya. Hal ini juga sekaligus untuk mengetahui tingkat ketahanan material yang selama ini telah terpasang serta mengetahui karakteristik tiap aliran sungai dan kontaminasi yang ada sehingga bisa menjadi bahan pertimbangan juga dalam perbaikan mutu lingkungan.

Pengklasifikasian ketahanan suatu material perlu diketahui untuk mendapatkan parameter tentang apakah material yang digunakan layak atau tidak digunakan dalam infrastruktur. Berikut Tabel 1 menunjukkan klasifikasi tingkat ketahanan material terhadap korosi.

Tabel 1. Klasifikasi tingkat ketahanan material terhadap korosi [3].

<i>Relative Corrosion Resistance</i>	mpy	mm/yr	µm/yr	nm/h	pm/s
<i>Outstanding</i>	< 1	< 0,02	< 25	< 2	< 1
<i>Excellent</i>	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
<i>Good</i>	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	20-50
<i>Fair</i>	20-50	0,5-1	500-1000	50-150	20-50
<i>Poor</i>	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
<i>Unacceptable</i>	200 +	5 +	5000 +	500 +	200 +

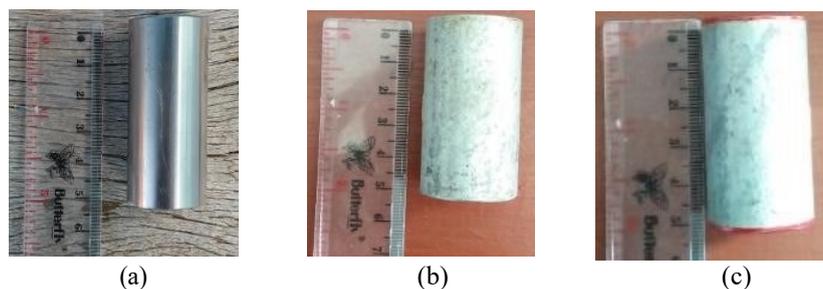
2. Material dan metodologi

Metodologi pengujian korosi untuk melakukan analisis tingkat korosifitas lingkungan sungai dengan menggunakan metode *weight loss analysis* untuk mengetahui laju korosi material, terdapat beberapa langkah.

2.1 Persiapan material

Persiapan material diawali dengan memotong bagian pipa sehingga memiliki panjang 50 mm untuk masing-masing pipa. Untuk pipa galvanis dibagi menjadi 2 kondisi dimana kondisi pertama pipa galvanis *non-treatment* dalam artian bahwa pipa bagian cincin bekas potongan pipa tidak dilapisi kembali dengan menggunakan cat dan kondisi yang kedua bagian bekas potongan dilapisi dengan menggunakan cat. Kemudian pipa direndam pada larutan aseton kurang lebih 10

menit. Kemudian pipa ditimbang pada timbangan digital untuk mengetahui massa awal pipa sebelum pengujian dan diukur nilai densitasnya dengan menggunakan *density meter*. Berikut Gambar 2 menunjukkan preparasi material.



Gambar 2. Preparasi material (a) Pipa SS-304, (b) Pipa galvanis *non-treatment*, (c) Pipa galvanis *treatment*

2.2 Perendaman material

Perendaman material dilakukan pada tiga lokasi sungai yang berbeda yaitu (Sungai Progo, Sungai Gudang Senjata dan Sungai Banger). Masing masing lokasi ada sembilan spesimen material yang direndam. Dengan rincian 3 pipa SS-304, 3 pipa galvanis *non-treatment* dan 3 pipa galvanis dengan *treatment*. Perendaman selama 3 bulan dengan masing-masing pengambilan 1 bulan sekali untuk setiap spesimen dan tempat.

2.3 Pengujian unsur-unsur korosif pada lingkungan sungai

Pengujian unsur-unsur korosif meliputi derajat keasaman (pH), tingkat garam terlarut (salinitas), *Dissolved Oxygen* (DO), sulfat dan klorida hingga tingkat kesadahan air. Pengujian unsur-unsur korosif penting kaitannya dengan tingkat korosifitas suatu sungai semakin tinggi nilai unsur korosif tentunya akan menyebabkan lokasi tersebut begitu korosif, namun untuk tingkat kesadahan berbanding terbalik dengan korosi pada baja galvanis hal ini disebabkan oleh terbentuknya lapisan pasivasi pada baja galvanis yang dapat menghambat terjadinya korosi lanjutan pada galvanis.

2.4 Pembersihan material pasca perendaman

Pembersihan material pasca perendaman 1, 2, 3 bulan bertujuan untuk menghilangkan kotoran dan produk korosi yang terbentuk pada permukaan material. Pembersihan dilakukan secara kimiawi (*chemical cleaning*) menurut ASTM-G1 [4]. Dimana pembersihan material SS-304 dilakukan dengan cara merendam material pada larutan HF (20 mL) dan HNO₃ (100 mL) yang dicampurkan dengan air (1000 mL) untuk material galvanis pembersihan dilakukan dengan menggunakan NH₄OH (150 mL) dicampur dengan menggunakan air 1000 mL.

2.5 Penimbangan material pasca perendaman

Penimbangan material bertujuan untuk mengetahui pengurangan massa yang terjadi pada material setelah pengujian. Kemudian setelah didapatkan nilai pengurangan massa suatu material dapat dihitung nilai laju korosi dengan menggunakan Rumus 1. berikut [5].

$$mpy = \frac{K \times W}{D \times A_s \times t} \quad (2.1)$$

Dimana:

<i>mpy</i>	= Laju korosi <i>mills per year</i>	K	= Konstanta laju korosi (3,45 x 10 ⁶)
W	= Pengurangan massa material (gr)	D	= Densitas material (gr/cm ³)
A _s	= Luas permukaan pipa (mm ²)	t	= Waktu Perendaman (jam)

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Hasil uji kandungan ion korosif air sungai

Pengujian kandungan ion korosif pada sungai dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur makro air sungai yang mempengaruhi korosi ditunjukkan pada Tabel 2. Kandungan unsur makro yang diketahui adalah unsur Cl⁻ (klorida) dan SO₄²⁻ (sulfat).

Tabel 2. Hasil pengujian kandungan unsur makro air sungai.

Lokasi	Parameter unsur makro (mg/L)	
	Klorida (Cl ⁻)	Sulfat (SO ₄ ²⁻)
A (Sungai Progo)	0,05-406,16	0,225-0,235
B (Sungai Gudang Senjata)	0,16-1342,20	0,226-0,234
C (Sungai Banger)	0,08-776,16	0,227-0,237

Dari hasil pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa Sungai Progo memiliki tingkat korosifitas yang rendah karena kandungan unsur makro (klorida dan sulfat) yang lebih rendah dari pada 2 sungai lainnya. Sedangkan tingkat korosifitas paling tinggi dimiliki oleh Sungai Gudang Senjata karena memiliki kandungan unsur makro yang lebih besar diantara yang lainnya. Untuk Sungai Banger berada pada tingkat korosi antara Sungai Gudang Senjata dan Sungai Progo. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi kandungan unsur makro (klorida dan sulfat) maka semakin tinggi pula ion yang mempengaruhi dan mempercepat terjadinya proses korosi.

3.2 Hasil uji pH, salinitas, dan TDS

Pengujian pH, salinitas dan TDS ini dilakukan untuk mengetahui tingkat korosifitas air sungai pada tempat perendaman material. Berikut Tabel 3. menunjukkan nilai pH, TDS (*Total Dissolve Solid*), serta salinitas setiap sungai.

Tabel 3. Hasil pengujian nilai pH, salinitas dan TDS setiap sungai.

Lokasi	Parameter		
	pH	Salinitas (mg/L)	TDS (mg/L)
A (Sungai Progo)	7,11-8,56	498-527	751-899
B (Sungai Gudang Senjata)	7,22 -8,47	624-1340	1420-1820
C (Sungai Banger)	7,44-8,36	752 -970	1256-1337

Dari data tersebut maka dapat diambil kesimpulan bahwa sungai Gudang Senjata menjadi lingkungan yang memiliki tingkat korosifitas material tertinggi, karena mempunyai nilai pH, salinitas dan TDS lebih tinggi dibandingkan 2 sungai lainnya. Sedangkan sungai yang memiliki tingkat korosifitas yang rendah yaitu sungai Progo karena hasil pengujian parameter menunjukkan bahwa sungai Progo memiliki nilai yang rendah dibandingkan sungai lainnya. Untuk kualitas air, ketiga sungai termasuk kedalam klasifikasi kualitas air sedang, hal ini dikarenakan nilai salinitas ketiga sungai berada pada cakupan antara 500-1500 ppm.

3.3 Hasil pengujian DO (*Dissolved Oxygen*) dan kesadahan

Pengujian kesadahan dan DO dilakukan untuk mengetahui tingkat kualifikasi sungai yang dapat mempengaruhi laju korosi material tempat perendaman material. Berikut Tabel 4. menunjukkan nilai kesadahan dan DO setiap sungai.

Tabel 4. Hasil pengujian DO dan kesadahan air sungai

Lokasi	Parameter (%)	
	DO	Kesadahan
A (Sungai Progo)	1,5	1525
B (Sungai Gd Senjata)	2,2	2964
C (Sungai Banger)	1,9	436

Dari hasil pengujian diatas dapat diketahui bahwa Sungai Gudang Senjata memiliki tingkat korosi yang tinggi dikarenakan nilai DO yang tinggi, namun dalam segi kesadahan Sungai Gudang Senjata memiliki proteksi terhadap korosi terhadap material galvanis karena mengandung ion CaCO₃ yang besar untuk membentuk suatu lapisan penghalang yang dapat menghambat laju korosi pada material galvanis.

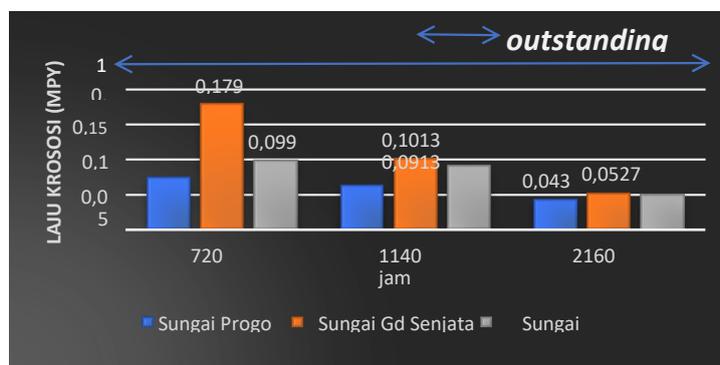
3.4 Hasil Pengujian Korosi

Dengan menggunakan data kehilangan berat masing-masing material serta rumus 2.1 maka laju korosi material di lokasi sungai Progo dapat diketahui dan ditunjukkan pada Tabel 5.

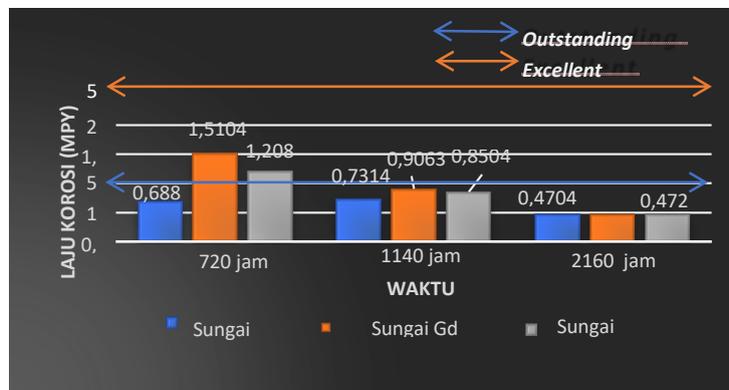
Tabel 5. Hasil pengujian laju korosi

Lokasi	Pipa SS- 304			Laju Korosi (mpy) Pipa Galvanis			Pipa Galvanis dicat		
	720 jam	1140 jam	2160 jam	720 jam	1140 jam	2160 jam	720 jam	1140 jam	2160 jam
Sungai Progo	0,0742	0,0630	0,0436	0,6887	0,7314	0,4704	0,4072	0,3708	0,2005
Sungai Gd Senjata	0,1796	0,1013	0,0527	1,5104	0,9063	0,4745	0,5837	0,4924	0,2571
Sungai Banger	0,0990	0,0913	0,0516	1,2080	0,8504	0,4724	1,2047	0,7437	0,3608

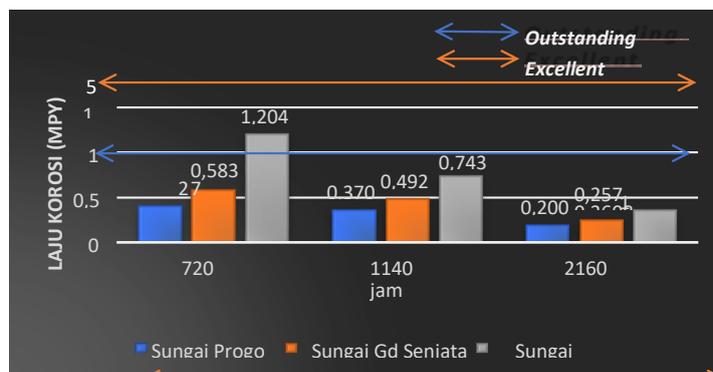
Berikut merupakan Gambar 3. sampai Gambar 5. menampilkan histogram laju korosi material pada lokasi perendaman terhadap waktu perendaman.



Gambar 3. Laju korosi pipa SS-304 pada berbagai lingkungan sungai terhadap waktu perendaman



Gambar 4. Laju korosi pipa galvanis pada berbagai lingkungan sungai terhadap waktu perendaman



Gambar 5. Laju korosi pipa galvanis treatment pada berbagai lingkungan sungai terhadap waktu perendaman

Dari histogram diatas dapat diketahui bahwa pipa SS-304 dengan laju korosi terbesar yaitu pada lokasi Sungai Gudang Senjata yaitu sebesar 0,1796 mpy namun masih dalam kategori *outstanding*, hal ini disebabkan karena Sungai Gudang Senjata memiliki unsur-unsur korosif dengan presentase yang lebih tinggi dibandingkan sungai lainnya. Sedangkan laju korosi paling rendah terjadi pada Sungai Progo karena memiliki presentase unsur-unsur penyebab korosi yang rendah.

Pada pipa galvanis laju korosi terbesar terjadi pada Sungai Gudang Senjata yaitu dengan laju sebesar 1,5104 mpy (termasuk kategori *excellent*) karena memiliki presentase unsur penyebab korosi lebih besar dibandingkan sungai lainnya, hal ini akan dengan mudah menyerang permukaan terutama bagian ring pipa yang merupakan base metal pipa galvanis bekas potongan yaitu baja karbon karena tidak terproteksi *zinc* sehingga lingkungan dengan mudah menyerang bagian tersebut.

Pada pipa galvanis *treatment*, laju korosi paling besar terjadi pada Sungai Banger yaitu sebesar 1,2047 mpy (*excellent*) karena Sungai Banger memiliki nilai kesadahan yang rendah yang dapat menyebabkan kurangnya ion-ion CaCO_3 yang membentuk lapisan proteksi pada galvanis untuk menghambat korosi, oleh karena itu lingkungan dengan kesadahan yang lebih rendah dapat mengakibatkan baja galvanis lebih terkorosi. Sedangkan daerah yang paling rendah mengalami korosi galvanis dengan pengecatan yaitu di Sungai Progo, hal ini disebabkan karena kesadahan yang cukup tinggi dan kandungan unsur korosif yang rendah sehingga kurang adanya unsur-unsur yang menyerang bagian *zinc* pada lapisan galvanis.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dibahas pada Bab 3 kemudian didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut: (1) Laju korosi pipa SS-304 tertinggi yaitu berada pada perendaman Sungai Gudang Senjata yaitu sebesar 0,1796 mpy pada perendaman 1 bulan hal ini dikarenakan kandungan unsur korosif paling tinggi pada lokasi ini; (2) Laju korosi pada pipa galvanis dicat memiliki nilai laju korosi tertinggi diperoleh pada lokasi Sungai Banger yaitu 1,2047 mpy hal ini dikarenakan tingkat kesadahan air pada Sungai Banger paling rendah diantara sungai yang lainnya; (3) Laju korosi pada pipa galvanis tertinggi pada perendaman Sungai Gudang Senjata yaitu sebesar 1,5104 mpy hal ini dikarenakan lingkungan Sungai Gudang Senjata mempunyai unsur yang lebih korosif dibandingkan sungai lainnya yang dapat menyerang bagian *base metal* galvanis bekas potongan dengan signifikan.

Nilai laju korosi kedua material masih dalam kategori *outstanding* untuk pipa SS-304 dan *excellent* untuk pipa galvanis (*treatment* dan *non-treatment*) hal ini mengidentifikasi bahwa kedua material sudah sangat baik digunakan pada kondisi lingkungan sungai terkait instalasi pompa banjir oleh Pemerintah Kota Semarang.

Daftar Pustaka

- [1] Trethewey and Chamberlain., 1991, "Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan," PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [2] Roberge, Pierre R., 2000, "Handbook of Corrosion Engineering," McGraw-Hill. Library of Congress, USA.
- [3] Jones, D. A., 1996, "Principles and Prevention of Corrosion, 2nd. Ed. Upper Saddle River," Prentice Hall, NY., 168-198.
- [4] ASTM G1., 1999, "Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens"
- [5] M.G. Fontana., 1986, "Corrosion Engineering, third ed.," McGraw-Hill, New York.