

## Studi Korosi Pada Baja Galvanis Setelah Ekspos Dilingkungan Perairan Sungai Cidaho - Sukabumi

Ahmad Royani<sup>1\*</sup>, Lutviasari Nuraini<sup>1</sup>, Siska Prifiharni<sup>1</sup>, Gadang Priyotomo<sup>1</sup>, Joko Triwardono<sup>1</sup>, Sundjono<sup>1</sup> and Hadi Gunawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Gedung 470, Kawasan Puspiptek – Tangerang Selatan 15314 Indonesia

<sup>2</sup> Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat  
Jl. A.H. nasution No.264, Bandung – Jawa Barat 40294 Indonesia

### Abstrak

*Dalam penelitian ini, perilaku baja galvanis telah diteliti di Sungai Cidaho Wilayah Sukabumi, Jawa Barat. Kehilangan berat baja galvanis diukur dengan metode pengurangan berat setelah diekspos untuk periode waktu tertentu di berbagai kedalaman air (0 meter dan 1 meter). Morfologi permukaan dan komposisi produk korosinya dikarakterisasi menggunakan scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS) dan X-Ray diffraction (XRD). Setelah diekspos, seluruh permukaan baja galvanis ditutupi oleh produk korosi di semua kedalaman air. Hasil berat yang hilang dari baja galvanis diperoleh sebesar 1,37 mg/cm<sup>2</sup> pada permukaan air sungai dan 7,83 mg/cm<sup>2</sup> untuk kedalaman 1 meter setelah diekspos 76 hari. Kehilangan berat baja galvanis di kedalaman 1 meter lebih besar daripada di permukaan air sungai. Peningkatan kerusakan dari baja galvanis di kedalaman air terjadi karena tidak terbentuk lapisan protektif akibat tergerus arus sungai. Produk korosi yang dominan pada baja galvanis untuk kedalaman 1 meter berupa senyawa Zincite (ZnO).*

**Kata kunci:** Air tawar; Baja galvanis; Kehilangan berat; Korosi.

### Abstract

*[Title: Study Of Corrosion On Galvanized Steel After Dieksposed In The Water Environment Of Cidaho River - Sukabumi] In this study, the behavior of galvanized steel has been studied in the Cidaho River, Sukabumi Region, West Java. The heavy mortality of galvanized steel is measured by the weight loss method after being exposed for a certain period of time in various water depths (0 meters and 1 meter). The surface morphology and composition of the corrosion products were characterized using scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS), and X-Ray diffraction (XRD). After exposure, all galvanized steel surfaces are covered by corrosion products in all water depths. The weight loss results from galvanized steel were obtained at 1.37 mg / cm<sup>2</sup> at the river water surface and 7.83 mg / cm<sup>2</sup> for 1-meter depth after being exposed to 76 days. The loss of galvanized steel at a depth of 1 meter is greater than the surface of the river water. Increased damage from galvanized steel in water depth occurs because there is no eroded current protective layer formed. The dominant corrosion product in galvanized steel for 1-meter depth is Zincite (ZnO).*

**Keywords:** author guidelines; TEKNIK journal; article template; writing style (at least five items)

### 1. Pendahuluan

Korosi dan perbaikan akibat korosi adalah masalah besar. Meskipun korosi adalah fenomena alami,

dan tidak pernah dapat sepenuhnya dihilangkan, namun sistem perlindungan korosi yang tepat dapat secara drastis menurunkan biaya perbaikan akibat korosi. Penggunaan baja galvanis mampu mengurangi biaya dan bebas perawatan. Selama lebih dari 100 tahun, baja galvanis telah digunakan secara luas untuk komponen

\*) Penulis Korespondensi.

E-mail: [ahmad.royani@lipi.go.id](mailto:ahmad.royani@lipi.go.id)

struktur di berbagai industri, jembatan dan fasilitas umum lainnya. Baja galvanis lebih tahan terhadap korosi daripada besi atau baja. Sama seperti dengan baja, zinc terkorosi ketika kontak dengan lingkungan. Namun, laju korosi zinc sekitar 1/10 sampai 1/30 dari laju korosi baja tergantung dari lingkungan atmosfer (Irving et al. 1952). Oleh karena itu, kinerja baja galvanis bervariasi dari lingkungan ke lingkungan (Moniruzzaman et al. 2013). Karena bertahun-tahun baja galvanis telah digunakan untuk perlindungan korosi, banyak data ekspos jangka panjang pada berbagai lingkungan tersedia (Bednar et al.; Roseana et al. 2015). Banyak faktor yang mempengaruhi sifat dari korosi atmosferik. Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi di lingkungan atmosferik antar lain kelembaban relatif, suhu, konten sulfur dioksida, konten hidrogen sulfida, klorida, curah hujan, partikel, posisi logam yang terekspos udara, dan lokasi geografis logam tersebut (Sundjono et al. 2017). Sedangkan faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi di lingkungan air adalah suhu, kecepatan fluida, konduktivitas, total padatan terlarut (TDS), oksigen terlarut (DO), kesadahan air, pH, alkalinitas dan indeks saturasi (Revie and Uhlig 2008).

Baja galvanis banyak digunakan karena galvanis memiliki dua fungsi sifat pelindung. Sebagai lapisan proteksi, galvanis menyediakan lapisan zinc yang tangguh dan terikat secara metalurgi yang sepenuhnya menutupi permukaan baja dan melindungi baja dari serangan korosif lingkungan. Selain itu, terjadinya anoda korban dari zinc yang melindungi baja, sehingga kerusakan atau diskontinuitas minim terjadi (Rita et al.; Shuan et al. 2013). Lapisan galvanis telah terbukti kinerjanya dalam berbagai kondisi lingkungan. Ketahanan korosi lapisan zinc ditentukan terutama oleh ketebalan lapisan tetapi bervariasi tergantung dari tingkat korosivitas lingkungan (Shuan et al. 2013).

Perkiraan masa pakai (life time) pelapisan penting untuk perencanaan dan penganggaran dalam pemeliharaan yang diperlukan. Pengukuran tingkat aktual konsumsi lapisan galvanis selama beberapa tahun pertama sering memberikan data yang baik untuk memproyeksikan sisa masa pakai hingga pemeliharaan selanjutnya (Bednar et al. 2015). Oleh karena itu, prediksi masa pakai untuk perawatan berdasarkan tingkat korosi awal lapisan zinc sering konservatif.

Pada penelitian ini dilakukan uji performa baja galvanis pada lingkungan air sungai dengan variasi kedalaman selama 27 hari dan 76 hari. Tujuan utama dari penelitian ini untuk menentukan tingkat kerusakan baja galvanis dalam air sungai dan mempelajari korelasi parameter kualitas air terhadap laju korosi baja galvanis tersebut.

## 2. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan pada bulan agustus – november 2017 di perairan sungai Cidaho Kabupaten Sukabumi – Jawa Barat. Lokasi pengujian spesimen secara geografis berada sekitar 1,2 km (6°58'13.5"S 106°31'28.6"E -6.970427, 106.524611) dari pinggir pantai laut selatan wilayah Sukabumi seperti pada peta dalam Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi pengujian spesimen.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja galvanis yang diperoleh dipasaran. Komposisi kimia baja disajikan dalam Tabel 1 dengan tebal lapisan galvanis sebesar 50,9 µm.

Tabel 1. Komposisi kimia baja galvanis.

Unsur	Fe	C	Si	P	Mn	Ni	Cr	Cu	Ti
% berat	99	0,13	0,11	0,02	0,29	0,01	0,30	0,01	0,01

(Sumber: Prifiharni et al. 2108)

### 2.1 Preparasi Spesimen

Plat baja galvanis dipotong dengan ukuran 150 x 80 x 2 mm dan diberi kode. Sebelum dan sesudah ekspos, spesimen dibersihkan sesuai dengan standard ASTM G-1 (ASTM 1999). Setelah dibersihkan, spesimen ditimbang menggunakan timbangan analitik dan disimpan dalam desikator. Pemasangan spesimen menggunakan rak uji seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Perakitan spesimen pada rak uji.

**2.2 Analisa Kehilangan Berat**

Analisa kehilangan berat dilakukan dengan menimbang spesimen sebelum dan sesudah ekspos. Metode untuk menentukan kerusakan spesimen berdasarkan kehilangan berat mengikuti persamaan:

$$Kehilangan\ Berat = \frac{(W_o - W_1)}{A} \quad (1)$$

Dengan:

Wo: berat awal (mg); W1: berat akhir (mg) dan A: luas area (cm<sup>2</sup>).

**2.3 Analisa Parameter Air**

Parameter kualitas air sungai seperti oksigen terlarut (DO), salinitas, konduktivitas, suhu, total padatan terlarut (TDS) dan pH diukur menggunakan alat portabel meter Multi Hach (HQ40d). Kesadahan dan alkalinitas air diukur dengan metode titrasi. Pengukuran kualitas air dilakukan pada awal pemasangan dan setiap pengambilan spesimen uji.

**2.4 Analisa Produk Korosi**

Morfologi lapisan produk korosi yang terbentuk pada permukaan spesimen diamati dengan menggunakan scanning electron microscope (SEM JEOL JSM-6390A) yang dilengkapi dengan energy dispersive spectrometer (EDS). Jarak kerja 10 mm dan tegangan akselerasi 20 kV. Senyawa kimiawi dari produk korosi dianalisis menggunakan difraktometer sinar-X (Shimadzu XRD 7000).

**3. Hasil dan Pembahasan**

**3.1 Indeks Kejenuhan Air**

Indeks kejenuhan air atau Langlier Saturation Index (LSI) adalah ukuran stabilitas air sehubungan dengan pembentukan deposit atau korosi. Ketika nilai LSI positif, maka air cenderung membentuk deposit, dan ketika nilai LSI negatif, maka cenderung korosif.

Kecenderungan Indeks kejenuhan air (LSI) dihitung dari data hasil pengukuran air dalam Tabel 2. Dari hasil pengujian nilai kesadahan kalsium dan alkalinitas total masing-masing sebesar 2,7 ppm dan 29 ppm, maka indeks LSI pada 27,1 °C diperoleh sebagai berikut:

$$LSI = pH - pHs \quad (2)$$

$$pHs = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad (3)$$

dimana:

$$A = [\log(332) - 1]/10 = 0,152$$

$$B = -13,12 \times \log(27,1^\circ C + 273) + 34,55 = 2,048$$

$$C = \log(2,7) - 0,4 = 0,031$$

$$D = \log(29) = 1,462$$

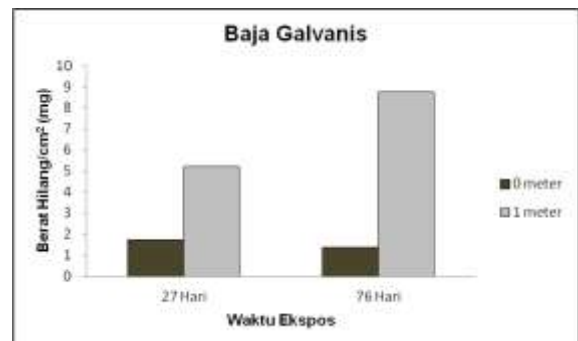
Sehingga LSI air sungai pada 27,1 °C sebesar:

$$pHs = (9,3 + 0,152 + 2,048) - (0,031 + 1,462) = 10,007$$

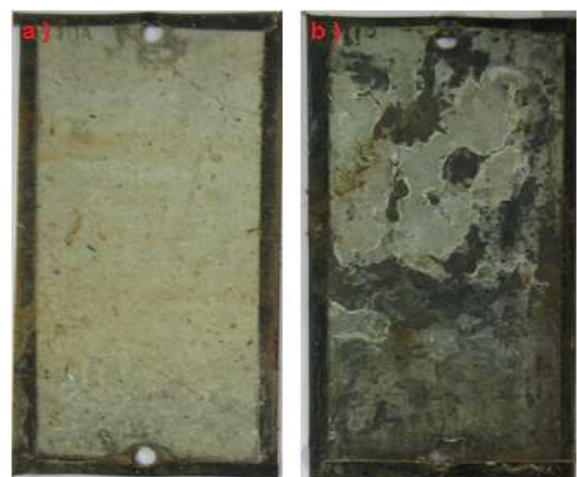
$$LSI = 6,92 - 10,007 = -3,087 \text{ (negatif)}$$

Hasil indeks LSI bernilai negatif, sehingga menunjukkan kecenderungan air sungai membentuk korosi.

Perubahan berat dari baja galvanis terhadap waktu ekspos di lingkungan air sungai ditunjukkan pada Gambar 3. Pada permukaan air sungai, perubahan berat relatif stabil selama waktu ekspos 27 hari dan 76 hari. Sedangkan pada kedalaman 1 meter, perubahan berat meningkat dari 27 hari ke 76 hari. Data hasil perubahan berat pada Gambar 3, menunjukkan bahwa kehilangan berat baja galvanis di kedalaman 1 meter lebih tinggi daripada di permukaan air. Hasil visualisasi spesimen memperkuat bahwa kerusakan baja galvanis di kedalaman 1 meter jauh lebih parah dibandingkan pada kerusakan di permukaan air. Hasil visualisasi spesimen baja galvanis setelah di ekspos selama 76 hari ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Laju korosi baja galvanis Vs waktu.



Gambar 4. Visualisasi spesimen setelah ekspos pada: a) permukaan sungai, b) kedalaman 1 meter.

**Tabel 2.** Hasil parameter kualitas air sungai.

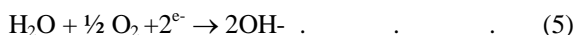
Waktu Ekspos	Temp. (°C)	pH	Salinitas (ppt)	Konduktivitas (µs/cm)	DO (mg/L)	TDS (mg/L)
0	27.1	6.92	0.33	667	6.23	332
27	27.2	6.86	0.5	1018	4.95	500
76	25.5	7.61	0.03	61.5	8.3	28.8

Baja galvanis yang diekspos dipermukaan air sungai memiliki berat hilang lebih kecil dibandingkan dengan di kedalaman 1 meter karena terbentuk lapisan pelindung. Lapisan pelindung pada baja galvanis terbentuk menurut mekanisme reaksi sebagai berikut:

Pada anoda terjadi pelarutan Zinc (Zn) menjadi ion Zn<sup>++</sup> :



sedangkan pada katoda terjadi reaksi :



Pada peristiwa korosi, ion Zinc (Zn<sup>++</sup>) yang terbentuk di anoda bereaksi dengan ion hidroksil (OH<sup>-</sup>) dari elektrolit membentuk zinc hydroxide berbentuk lapisan sangat tipis pada permukaan logam dan mencegah terkorosinya zinc lebih lanjut:



Pada kedalaman 1 meter, kerusakan baja galvanis lebih besar dikarenakan air cenderung bersifat korosif sesuai hasil dari perhitungan indek kejenuhan air (LSI). Selain itu dimungkinkan lapisan penghambat pada baja galvanis tidak sempat terbentuk karena terganggu oleh aliran arus sungai. Berbeda jika dalam kondisi statis, maka akan terbentuk deposit atau scale alami dari garam yang tidak larut pada permukaan baja galvanis (Rose et al. 2012). Deposit tersebut, bergabung dengan zinc untuk membentuk lapisan penghalang berupa kalsium karbonat dan zinc carbonate yang memperlambat laju korosi (Merajul et al. 2014).

**3.2 Pengaruh Parameter Air**

**3.2.1 Salinitas**

Kadar garam (salinitas) adalah banyaknya garam zat-zat terlarut dalam 1000 gram air. Ion klorida (Cl<sup>-</sup>) dan juga konduktivitas dalam air dapat menyebabkan logam menjadi sangat korosif. Semakin besar kadar garam (salinitas) maka semakin besar klorida dan konduktivitas yang terkandung sehingga mempercepat laju korosi. Adanya klorida akan mempercepat laju korosi, sehingga spesimen yang diekspos pada lingkungan dengan kadar garam yang tinggi akan terdegradasi dan akan terkorosi lebih besar (Fachrudin and Dwi 2017; Zakowski et al. 2014). Berdasarkan hasil pengukuran yang sudah dilakukan diketahui bahwa salinitas (kadar garam) air sungai Cidaho sebesar 0,33

%. Dari hasil pengujian selama 27 hari dan 76 hari pada air sungai, dapat di lihat bahwa faktor salinitas relatif tidak berpengaruh karena kandungan Cl dibawah 1000 ppm. Hasil pengukuran salinitas mengindikasikan bahwa air sungai Cidaho termasuk ke dalam kategori air segar (fresh water), karena kandungan klorin di bawah 1000 ppm (Roberge 2008).

**3.2.2 pH (TINGKAT KEASAMAN)**

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan diketahui bahwa pH (keasaman) lingkungan air sugai Cidaho reaktif sama selama waktu ekspos yakni sekitar 6,86 sampai 7,61. Hasil laju korosi baja galvanis tidak tergantung pada pH karena air di lingkungan sungai Cidaho memiliki nilai pH netral. Berbeda jika baja galvanis diekspos di lingkungan air laut, maka nilai laju korosi baja galvanis semakin besar dengan semakin asamnya air laut (Prifiharni et al. 2017).

pH air sangat penting karena jika nilai pH di bawah 5,5, maka laju korosi zinc meningkat tajam kecuali ada inhibitor. Produk korosi galvanis dalam kondisi asam (pH <5,5) seperti dalam lingkungan klorida, sulfat, dan asetat mudah larut dalam air. Dalam larutan alkali yang kuat (pH> 12,5), akan terbentuk zinkat yang larut dalam air sehingga dengan demikian serangan korosi menjadi tidak terhalang dalam lingkungan yang sangat asam atau basa. Oleh karenanya penggunaan galvanizing (zinc) sesuai pada lingkungan yang memiliki pH antara 5,5 samapai 12,5 (Revie and Uhlig 2008).

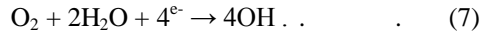
**3.2.3 TDS (Total Dissolve Solid)**

TDS atau Total Dissolve Solid adalah jumlah partikel yang terlarut dalam air sungai atau dapat dibilang sebagai tingkat kekeruhan air. Lebih besar TDS di dalam lingkungan air mengakibatkan laju korosi semakin lebih besar karena lebih banyak partikel dalam media air akan mengakibatkan lebih banyak gesekan terhadap material yang diekspos (Rose et al. 2012). Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan diketahui bahwa TDS (Total Dissolve Solid) air sungai Cidaho awalnya sebesar 332 mg/L. Hasil pengukuran TDS air sungai Cidaho pada 27 hari dan 76 hari masing-masing sebesar 500 mg/L dan 28,8 mg/L. Dari hasil pengujian dapat di lihat bahwa nilai laju korosi menjadi besar pada air yang mempunyai TDS tinggi.

**3.2.4 Oksigen Terlarut (DO)**

Distribusi oksigen yang seragam di dalam air berpengaruh signifikan terhadap laju korosi (Ismail and Adan 2014). Besarnya oksigen terlarut (DO) dari hasil pengukuran sebelum diekspos lebih tinggi daripada pengukuran ke 27 hari dan meningkat pada ke 76 hari. Hasil pengukuran DO untuk 27 hari dan 76 hari masing-

masing sebesar 4,95 dan 8,3 mg/L seperti disajikan dalam Tabel 2. Pada 27 hari ekspos, DO dari air sungai menurun dengan terjadinya proses korosi, karena pengurangan katodik oksigen terlarut terjadi dalam kondisi larutan netral dalam reaksi berikut:



setelah 76 hari ekspos, proses korosi baja galvanis terus berlangsung dengan kandungan DO meningkat karena terhalang oleh endapan.

Endapan padat atau homogenitas lainnya pada permukaan galvanis dapat menginduksi pembentukan sel aerasi diferensial dengan zinc yang diserang. Sel aerasi diferensial terbukti dalam beberapa aspek korosi galvanis, terutama dalam pembentukan noda dalam lingkungan yang mengandung air (Roberge 2008).

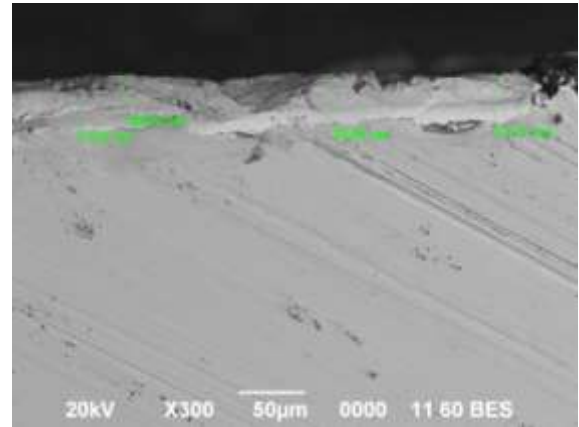
### 3.2.5 Suhu

Setiap reaksi kimia dipercepat oleh kenaikan suhu. Secara umum, kecepatan reaksi meningkat signifikan dengan setiap kenaikan suhu 10 oC (Asadi et al. 2015). Fenomena ini juga berlaku pada korosi galvanis di lingkungan air, tetapi ada faktor lain yang memperlambat korosi, seperti pengendapan karbonat atau pengurangan udara atau oksigen terlarut.

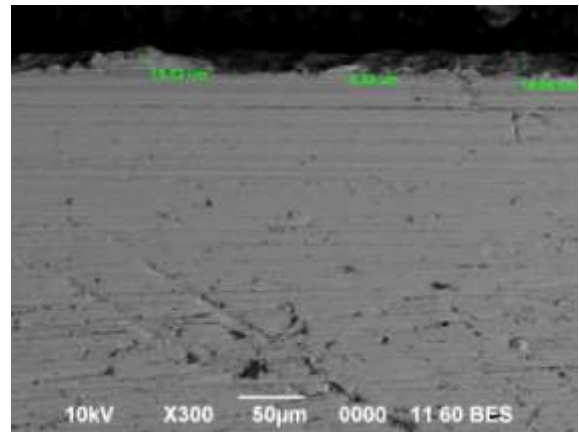
Pada suhu rendah, endapan padat dapat terbentuk sedangkan pada suhu lebih tinggi akan meningkatkan porositas dan mengurangi perlindungan korosi. Data hasil pengukuran suhu air sungai pada Tabel 2 terlihat bahwa suhu air sungai relatif sama yaitu berkisar antara 25,5 oC sampai 27,2 oC. Dari hasil pengukuran suhu yang relatif sama dapat dikatakan bahwa pengaruh suhu pada laju korosi baja galvanis relatif kecil.

### 3.3 Produk Korosi

Gambar SEM dari spesimen baja galvanis ditunjukkan pada Gambar 5. Spesimen diekspos selama 76 hari di lingkungan air sungai Cidaho-Sukabumi. Perbedaan ketinggian permukaan terlihat pada kedua spesimen yang diekspos pada permukaan air dengan spesimen yang diekspos di kedalaman 1 meter. Pada spesimen di permukaan air menunjukkan permukaan yang hampir seragam (Gambar 5-a). Terlihat sisa lapisan galvanis pada spesimen yang diekspos di kedalaman 1 meter lebih tipis dibandingkan pada spesimen di atas permukaan air sungai. Hasil ini mengkonfirmasi bahwa kerusakan permukaan baja galvanis pada kedalaman 1 meter lebih besar dibandingkan dengan kerusakan permukaan baja galvanis pada permukaan air. Hasil foto morfologi ini konsisten dengan hasil metode pengurangan berat.

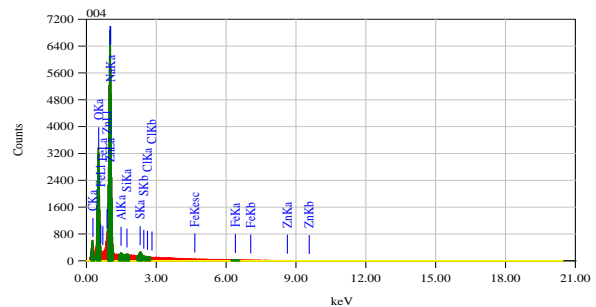


a). Permukaan air ( 0 meter ).



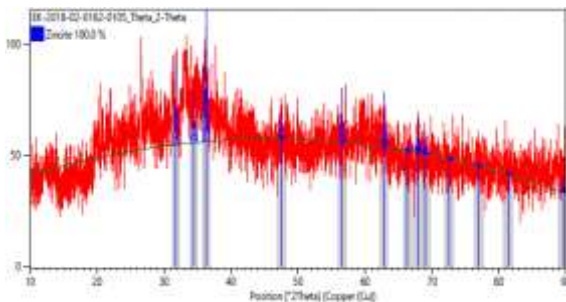
b). Kedalaman 1 meter dari permukaan air.

**Gambar 5.** Hasil foto SEM baja galvanis setelah ekspos.



**Gambar 6.** Hasil EDS produk korosi.

Hasil analisis EDS permukaan spesimen baja galvanis setelah diekspos selama 76 hari pada Gambar 6. Produk korosi mengandung unsur zinc, besi, oksigen, karbon dan natrium. Hasil ini memperkuat bahwa senyawa yang terbentuk pada produk korosi didominasi oleh senyawa Zincite (ZnO) sebagaimana hasil analisis difraksi sinar-X pada Gambar 7.



Gambar 7. Pola difraksi sinar-X produk korosi.

#### 4. Kesimpulan

Kerusakan baja galvanis pada daerah lingkungan air tawar dipengaruhi oleh waktu dan kedalaman ekspos. Kerusakan baja galvanis di kedalaman 1 meter lebih besar daripada di permukaan air sungai. Hasil kehilangan berat baja galvanis diperoleh sebesar 7,83 mg/cm<sup>2</sup> pada kedalaman 1 meter dan 1,37 mg/cm<sup>2</sup> di posisi permukaan air sungai setelah waktu ekspos 76 hari. Peningkatan kerusakan dari baja galvanis di kedalaman air terjadi karena tidak terbentuk lapisan protektif akibat tergerus arus sungai. Hasil ini mengindikasikan bahwa penggunaan baja galvanis tidak cocok untuk lingkungan di kedalaman air.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada staf teknisi dan analis kimia laboratorium pusat penelitian metalurgi dan material - LIPI khususnya kepada Heri Nugraha dan Sugiarti.

#### Daftar Pustaka

Asadi, V., Danaee, I., and Eskandari. 2015. "The Effect of Immersion Time and Immersion Temperature on the Corrosion Behavior of Zinc Phosphate Conversion Coatings on Carbon Steel." *Materials Research* 18 (4): pp 706-713.

ASTM Committee G1. "Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens." *Book of ASTM Standards. G01-05*, pp. 15-21, 1999.

Bednar, L. 2015. "Plain Galvanized Steel Drainage Pipe Durability Estimation with a Modified California Chart." *Transportation Research Record* 1231: pp 70-79.

Bhaskaran, R.N., Palaniswamy, N.S., Rengaswamy, and M. Jayachandran. 2005. "A review of differing approaches used to estimate the cost of corrosion (and their relevance in the development of modern corrosion prevention andp control strategies)." *Anti-Corrosion Methods and Materials* 52 (1): pp 29-41.

Fachrudin, T. D. and Dwi, H. S. 2017. "Laju Korosi Pipa Galvanis (Inlet Desalinasi) Pada Sea Chest

Kapal Terhadap Waktu dan Salinitas Air Laut." *JTM* 5 (3): pp 87-94.

Huyuan, S., Shuan, L., and Lijuan, S. 2013. "A Comparative Study on the Corrosion of Galvanized Steel under Simulated Rust Layer Solution with and without 3.5 wt% NaCl." *Int. J. Electrochem. Sci.*, 8: pp 3494 – 3509.

Irving, A., Denison, and Melvin, R. 1952. "Corrosion of Galvanized Steel in Soils." *Journal of Research of the National Bureau of Standards* 49 (5): pp 299-314.

Ismail, A., and Adan, N. H., 2014. "Effect of Oxygen Concentration on Corrosion Rate of Carbon Steel in Seawater." *American J. of Eng. Research (AJER)* 3 (1): pp 64-67.

Merajul, H., S. Alam, L., Moniruzzaman, and Mohar, A. B. 2014. "Corrosion Comparison of Galvanized Steel and Aluminum in Aqueous Environments." *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME)* 9: pp 1758-1767.

Moniruzzaman, M., Mohar, A. B., Merajul, H. M., and Limon, S. A. 2013. "Corrosion of Galvanized Steel and Copper in Aqueous Environments." *Journal of Mechanical Engineering* 43(2): pp 61-67.

Prifiharni, S., Nuraini, L., Priyotomo, G., Sundjono, Gunawan, H., and Ibrahim, P., 2017. "Corrosion Performance of Steel and Galvanized Steel in Karangsong and Limbangan Sea Water Environment." *Proc. of the Int. Seminar on Metallurgy & Materials (ISMM2017) AIP Conf. Proc.* 1964: pp 020038-1 - 020038-6.

Revie, R.W., and Uhlig, H.H. 2008. "Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering, Fourth Edition." Canada: John Wiley & Sons.

Rita, M., Figueira, Elsa, V. P., Carlos J.R. Silva., and Maria, M. S. 2013. "Corrosion Protection of Hot Dip Galvanized Steel in Mortar." *Portugaliae Electrochimica Acta* 31(5): pp 277-287.

Roberge, P.R. 2008. "Corrosion Engineering: Principles and Practice." New York: McGraw-Hill.

Rose, A.L., Rani, F.R.S., Regis, A.P.P., and Rose, C.M. 2012. "Corrosion behaviour of carbon steel in river water in the presence of Lactic acid-Zn<sup>2+</sup> system." *Int.J. ChemTech Research* 4 (1): pp 157-164.

Roseana, F. C. P., Edkarlla, S. D. O., Maria, A. G. A. L., and Simone, L. D. C. B. 2015. "Corrosion of Galvanized Steel Under Different Soil Moisture Contents." *Materials Research.* 18 (3): pp 563-568.

Royani, A., Nuraini, L., Prifiharni, S., Priyotomo, G., and Sundjono. 2018. "Corrosion Rate of Various Carbon Steels in Raw Water for Water Cooling System at Ammonia Plant." *Int. J. of Eng. Trends & Tech. (IJETT)* 59 (1): pp 51-58.

- Shuan, L., Huyuan, S., Zhang, N., and Lijuan, S. 2013. "The Corrosion Performance of Galvanized Steel in Closed Rusty Seawater." *International Journal of Corrosion*. pp 1-9
- Sundjono, Priyotomo, G., Nuraini, L., and Prifiharni, S. 2017. "Corrosion Behavior of Mild Steel in Seawater from Northern Coast of Java and Southern Coast of Bali, Indonesia." *J. Eng. Technol. Sci.* 9 (6): pp 770-784.
- Zakowski, K., Narozny, M., Szocinski, M., and Darowicki, K., 2014. "Influence of Water Salinity on Corrosion Risk – The Case of the Southern Baltic Sea Coast." *Environ Monit Assess* 186: