

Pengaruh Korosi Terhadap Kegagalan Logam pada Jembatan: *Literature Review*

Anita Putri Kurniasari^{1*} dan Yasmina Amalia¹

¹Fakultas Teknologi Mineral, Program Studi Teknik Metalurgi, Universitas "Veteran" UPN Yogyakarta, Jl. Padjajaran, Condongcatur, Yogyakarta; Telp. 0274-486733

*Corresponding author: 1161900018@student.upnyk.ac.id

Artikel info Diterima: 17 Juni 2022 | Disetujui: 30 Agustus 2022 | Tersedia online: 31 Agustus 2022
DOI: 10.32722/jmt.v3i2.4597

Abstrak

Jembatan baja digunakan sebagai bahan konstruksi karena sifat ringan, ketahanan, dan kemudahannya untuk dirakit. Namun kegagalan pada jembatan baja meningkat secara eksponensial. Kelelahan struktural, penuaan material yang dikombinasikan dengan peningkatan beban lalu lintas, menjadi penyebab dalam kerusakan jembatan, dimana dalam hal ini korosi menjadi bahasan utama dari penurunan kualitas dan kegagalan pada jembatan. Pada hasil literature review beberapa paper, didapatkan hasil bahwa dari pengamatan visual pada baja jembatan di lingkungan air laut, sungai, dan di lingkungan sekitar limbah toilet. kerusakan struktur jembatan yang disebabkan korosi dari ion klorida pada air laut lebih tinggi dibanding dengan korosi pada lingkungan sungai dan cairan limbah di kereta api. Laju korosi yang terjadi pada lingkungan laut lebih tinggi dibanding pada lingkungan sungai dan cairan limbah toilet. Pada lingkungan korosif, ion klorida atau sulfat akan berdifusi ke baja melalui beton struktur jembatan.

Kata-kata kunci: Jembatan, Klorida, Korosi

Abstract

Steel bridges are used as construction materials because of their lightweight properties, durability, and ease for assembled. But failure on steel bridges increases exponentially. Structural fatigue, material aging combined with an increase in traffic loads, is a cause in damage to the bridge, where in this case corrosion is the main discussion of decreased quality and failure on the bridge. In the results of the literature review of several papers, the results were obtained that from visual observations in bridge steel in the sea water environment, rivers, and in the environment around the toilet waste. Damage to the bridge structure caused by corrosion from chloride ions in sea water is higher than corrosion in the river environment and waste fluids on the train. The corrosion rate that occurs in the marine environment is higher than the river environment and toilet waste fluids. In the corrosive environment, chloride ions or sulfate will diffuse into steel through concrete bridge structure.

Keywords: Bridge, Chloride, Corrosion

1. PENDAHULUAN

Jembatan baja telah banyak digunakan untuk jalan raya hingga rel kereta api karena kelebihanannya akan massanya yang ringan, ketahanannya, dan kemudahannya dirakit pada konstruksi [1]. Namun, dengan kelebihan yang ada, tidak dapat dihindari terjadinya kegagalan pada jembatan. Diketahui bahwa kerusakan kelelahan pertama pada superstruktur jembatan jalan raya, tergantung pada intensitas lalu lintas, mulai muncul setelah sekitar 25-30 tahun beroperasi dan kemudian jumlahnya meningkat hampir secara eksponensial [2]. Karena penuaan material yang dikombinasikan dengan peningkatan beban lalu lintas, kelelahan struktural semakin menjadi perhatian penting dalam kerusakan jembatan [3].

Korosi adalah salah satu mekanisme degradasi yang paling penting dalam struktur baja. Secara umum korosi dapat dikategorikan menjadi dua jenis: korosi seragam yang dapat menurunkan seluruh ketebalan permukaan baja, dan korosi pitting yang dapat menyebabkan cacat lokal secara simultan pada permukaan baja yang terkorosi. Selama proses korosi seragam struktur baja, baja terkorosi secara seragam dalam lingkungan korosif. Akibatnya, baik tegangan dan rentang tegangan meningkat seiring dengan penurunan penampang, yang mengakibatkan degradasi kekuatan, stabilisasi, dan kinerja kelelahan struktur baja [4].

Prinsip korosi pada logam sendiri memainkan peran mendasar dalam mengembangkan proses industri yang menggunakan korosi untuk tujuan konstruktif. Masing-masing proses ini terdiri dari sel elektrokimia dengan anoda, katoda, dan media konduktif atau elektrolit. Setiap prosesnya melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi elektrokimia [5].

Proses korosi terbagi menjadi dua jenis, yaitu proses kimia dan elektrokimia. Korosi proses kimia terjadi secara langsung, tanpa adanya aliran listrik pada logam. Seperti, baja yang berkarat dalam udara terbuka. Korosi ini menyebar secara merata pada seluruh permukaan logam. Kemudian korosi proses elektrokimia, menyebabkan permukaan logam akan membentuk daerah anoda dan katoda, di mana antara satu dengan lainnya dipisahkan oleh jarak tertentu. Karena potensial anoda lebih rendah dibanding potensial katoda, maka akan terjadi arus listrik diantara kedua elektroda tersebut di mana, elektron akan berpindah dari anoda ke katoda, sehingga anoda larut dan katoda mendapat perlindungan [6].

Pada pembangunan jembatan, penggunaan baja karbon rendah jarang digunakan terutama di lingkungan yang bersifat korosif. Hal ini dikarenakan baja karbon rendah dapat mempermudah pembentukan karat. Oleh karena itu, weathering steel yang efektif menunda dan memiliki ketahanan korosi lebih banyak digunakan dalam struktur jembatan. Weathering steel disebut memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dari baja karbon rendah karena lapisan karat yang terbentuk stabil dan dapat menghambat masuknya media korosi [7].

Selain penggunaan weathering steel, penggunaan beton juga menunda terjadinya korosi pada baja. Baja dalam beton adalah masalah yang berbeda. Alkalinitas beton menyebabkan baja menjadi mirip dengan stainless steel. Di mana beton akan menahan terjadi korosi pada baja, hingga ion klorida dari air laut mencapai permukaan baja dalam konsentrasi yang cukup. Ketika itu terjadi, baja terkorosi dan karat akan meluas hingga memecahkan beton di sekitarnya dan terjadi masalah fungsional dan struktural [8].

2. METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang dituliskan di sini berupa baja dari jembatan. Dimana peralatan-peralatan yang dituliskan yaitu instrumen Gaung Beton tipe CZ3-A, jangka sorong, ribbon hammer, software FEA untuk memprediksi produk yang bereaksi dengan aliran fluida, panas, dan lainnya.

Metode

Dalam penulisan review paper ini jenis penelitian yang digunakan adalah literature review. Penulis akan membuat sintesis artikel hasil pemikiran atau hasil penelitian diawali dengan menganalisis artikel-artikel yang relevan dengan topik yang akan di-review, maksudnya adalah membahas/mengkaji artikel dengan cara membuat identifikasi dan klasifikasi berdasarkan elemen-elemen yang akan di-review dari beberapa artikel yang membahas topik yang hampir sama. Pada beberapa paper, dilakukan pengamatan visual pada baja jembatan di lingkungan air laut, sungai, dan di lingkungan sekitar limbah toilet. Dari hasil pengamatan tersebut dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui penyebab-penyebab terjadinya kerusakan baja jembatan, khususnya penyebab korosi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam beberapa kasus keruntuhan jembatan terdapat beberapa kerusakan yang me-nyebabkan kegagalan pada struktur jembat-an. Hasil yang didapatkan dari beberapa ka-sus kegagalan jembatan yang disebabkan korosi meliputi :

1. Baja tidak homogen, misalnya : komposisi, struktur kristal, Internal Stress, Impurity, dan lain-lain.
2. Lingkungan baja tidak homogen, misalnya : Konsentrasi ion, konsen-trasi oksigen, kecepatan aliran, suhu, dan lain-lain.

Ketidak homogen baja dan lingkungan baja mengakibatkan terbentuknya sel korosi pa-da permukaan baja yaitu adanya bagian baja sebagai anodik dan katodik. Di mana bagian anodik akan mengalami korosi dan bagian katodik tindak mengalami korosi. [9]

Korosi baja pada lingkungan tertentu seperti laut (air, angin, kabut) juga menjadi salah satu faktor. Mekanisme korosi baja yang terjadi pada lingkungan laut yaitu ion klor-ida dari lingkungan laut akan masuk menembus beton dan mencapai permukaan baja. Kemudian lapisan pelindung baja ru-sak dan korosi baja segera terjadi seiring konsentrasi ion klorida yang melampaui ba-tas kritisnya. [10]

Pada kasus korosi di jembatan bertulang di bagian timur Shenzhen, Cina, jembatan beton mengalami retak, terkelupas, dan sengkang retak karena korosi. Korosi ini disebabkan oleh ion klorida dari lingkungan laut yang menembus penutup beton dan mencapai permukaan batang baja. Lapisan pelindung permukaan tulangan dihancur-kan, dan korosi baja dimulai setelah kon-sentrasi ion klorida yang terletak pada ba-tang baja melebihi tingkat kritis. Lebih dari 85% beton permukaan dermaga retak atau terkelupas dan untuk korosi pada pier jauh lebih serius dari slab. Hal ini diakibatkan dermaga yang dekat dengan air laut dan kekuatan beton dermaga lebih rendah dibandingkan dengan pelat jembatan. Baja di dermaga menunjukkan korosi yang sig-nifikan karena kandungan ion klorida men-capai 0,20%~1,00%. Baja di pelat jembatan menunjukkan kehilangan masa korosi yang jauh lebih rendah karena kandungan ion klorida adalah 0,03% ~ 0,09%. [10]

Pada jurnal Perilaku Konstruksi Jembat-an Hutan Mangrove, terjadi pengurangan mutu tulangan beton sebesar 10% sampai dengan 25% yang disebabkan oleh adanya korosi, sehingga mempengaruhi umur layanan dari suatu konstruksi. Selain itu, pada proses korosi akan membentuk suatu senyawa baru yang disebut karat, terlebih pada media korosi air laut, perubahan tulan-gan beton menjadi karat akan menyebabkan pertambahan volume tergantung pada kon-disi oksidasi pada besi. Hal lain yang perlu menjadi perhatian serius adalah kondisi be-berapa bagian komponen konstruksi jem-batan yang mengalami ekspansi atau kere-takan akibat penambahan volume besi aki-bat korosi. Tulangan pada konstruksi jem-batan ini telah memasuki tahap Propagasi korosi (corrosion propagation). Pada tahap ini akan terjadi penurunan kapasitas pen-ampang struktur beton bertulang. Pada kon-disi lingkungan dengan tingkat Klorida ting-gi atau pada daerah lingkungan yang ber-pengaruh langsung dengan air laut, maka diwajibkan menggunakan mutu beton yang cukup tinggi [11].

Berdasarkan studi pada jembatan di pesisir india, terjadi korosi tidak seragam yang diakibatkan ion klorida dari ling-kungan laut. Penelitian yang telah dilakukan berfokus pada permodelan mekanisme korosi dan efek lanjutan pada kerentanan seismik. Model laju korosi yang digunakan telah dikombinasikan dengan peristiwa beban seismik varian waktu dan penuaan. Dari hasil penelitian tersebut, dapat diamati bahwa laju korosi tidak berkurang secara linear berbanding dengan waktu. Berten-tangan dengan teori yang ada, di mana laju korosi akan meningkat secara bertahap dan kemudian menurun. Hal ini disebabkan bahwa retakan beton mengakibatkan difusi klorida yang lebih tinggi hingga menyebab-kan keretakan parah pada beton karena pembentukan karat berlebih. Pada analisis kerapuhan seismik dari korosi, pertum-buhan kerentanan struktur meningkat ber-banding dengan penuaan struktur pada probabilitas kegagalan jembatan. Pertum-buhan kerentanan meningkat lebih dalam pada kondisi terpapar lingkungan laut kare-na difusi klorida yang lebih tinggi pada permukaan beton. Oleh karena itu, perlu diberikan wawasan aktual tentang pengaruh potensial klorida dan penuaan pada keren-tanan seismik jembatan, sehingga strategi pemeliharaan yang tepat dapat diusulkan untuk mencapai aspek keamanan yang lebih tinggi[12].

Pada paper Kajian Risiko Bencana Kega-galan Teknologi Pada Jembatan Kereta Api, dilakukan pengamatan visual dan ana-lisis numerik pembebanan pada jembatan kereta api. Di mana jembatan tersebut terpapar cairan limbah toilet dari kereta api yang lewat. Dari pengamatan yang telah dil-akukan, dapat diamati bahwa jembatan baja di lokasi banyak yang berkarat dan karat-karat ini disebabkan paparan limbah yang dibuang dari kereta. Korosi yang terjadi pa-da jembatan kereta api ini juga menjadi sa-lah satu faktor jembatan mengalami penurunan kualitas hingga melebihi nilai ba-tas pembebanan. Untuk mengurangi resiko terjadinya kegagalan, jembatan perlu di-perkaku atau diganti atau dilakukan penam-bahan material baru pada bagian yang ru-sak. Selain itu, perlu dilakukan pencegahan korosi seperti proteksi pada jembatan kereta api. [13]

Pada jurnal Evaluasi dan Penanganan Jembatan di Pulau Nias, melakukan penilaian kondisi jembatan menggunakan tata cara virtual detail. Detail pemeriksaan ini meliputi, bangunan atas bangunan bawah, bangunan pelengkap, dan daerah aliran sungai. Terdapat pencatatan khusus diantaranya kode elemen, jenis kerusakan, dilengkapi foto, sketsa kerusakan beserta lokasinya, dan volume kerusakannya. Dengan

menggunakan metode Bridge Man-agement System, didapatkan hasil pengamatan Korosi pada Komponen Jembatan mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh korosi atau karat yang berlebihan, sehingga membuat kekuatan batang berkurang dan menyebabkan perubahan bentuk hingga patah atau kehilangan bagian elemennya. Pada jembatan ini, telah terjadi korosi pada tulangan, di mana reaksi kimia yang berdifusi ke dalam beton sampai ke permukaan besi tulangan yang menyebabkan hilangnya lapisan pasif besi. Korosi menyebabkan berkurangnya diameter tulangan dan membesarnya reaksi korosi. Besarnya reaksi korosi yang terjadi dapat mengakibatkan tertekannya bagian beton di sekeliling tulang terkorosi hingga menyebabkan keretakan dan pengelupasan terutama pada selimut beton. Sedangkan pada rangka baja utama jembatan mengalami korosi ringan. Untuk penanganannya dapat dilakukan pengecatan atau penggantian rangka baja yang baru. [14]

Tabel 1. Penyebab Korosi

Peneliti	Judul	Penyebab Korosi
Haijun Zhoua, et al	<i>Field test of a reinforced concrete bridge under marine environmental corrosion</i>	Ion klorida dari lingkungan laut (seawater, sea breeze, and sea fog)
Edy Utomo, Hutagamissufardal	Perilaku Konstruksi Jembatan Hutan Wisata Kawasan Konservasi Hutan Mangrove Bekantan Kota Tarakan Tahun 2021	Tingkat Klorida tinggi pada lingkungan bakau yang bersinggungan langsung dengan air laut
Abhijeet Dey, Arjun Sil	<i>Advanced corrosion-rate model for comprehensive seismic fragility assessment of chloride affected RC bridges located in the coastal region of india</i>	Terpapar gelombang air laut yang diinduksi klorida dan peristiwa pemuatan seismik.
Mulyo Harris Pradono	Kajian Risiko Bencana Kegagalan Teknologi Pada Jembatan Kereta Api	Cairan yang berasal dari limbah toilet yang tumpah dan mengenai rel maupun jembatan saat kereta melintas.
Sumargo, Rachmat Hakiki, dan Reni Raafidiani	Evaluasi dan Penanganan Jembatan di Pulau Nias Provinsi Sumatera Utara dengan Metode <i>Bridge Management System</i>	Kontak dengan lingkungan sungai

Pada lingkungan laut, korosi terjadi lebih cepat akibat difusi klorida pada baja tulangan jembatan. Di mana difusi klorida akan semakin meningkat ketika beton yang melindungi baja rusak sehingga baja tulangan terekspos dan terpapar ion klorida.

Dari penelitian Agus Purwanto dijelaskan bahwa larutan garam NaCl dapat menyebabkan korosi pada baja tulangan karena larutan tersebut mampu mempercepat proses korosi. Karena baja tulangan merupakan logam yang mudah terkorosi, maka jika konsentrasi larutan NaCl tersebut tinggi maka semakin besar pula laju korosinya. Hal ini juga berlaku untuk baja tulangan yang terkorosi asam sulfat, garam sulfat dan asam lainnya. [15]

Pada lingkungan sungai, kecepatan korosi yang terjadi bergantung pada kandungan sungai. Sungai yang mengandung klorida atau sulfat serta memiliki pH dan salinitas tinggi akan mengalami korosi lebih cepat [16]. Seperti halnya dengan lingkungan laut, ion klorida/sulfat akan berdifusi ke baja tulangan dan terjadi korosi. Dalam hal terjadinya korosi, yang membedakan antara lingkungan sungai dan laut adalah kadar dari kandungan klorida atau sulfat serta tingkat pH dan salinitas di lingkungan tersebut.

Seperti yang telah dijelaskan, banyak studi eksperimental telah dikhususkan untuk penilaian korosi pada jembatan dengan bagian jembatan yang terkorosi secara umum berbagai baja. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada jembatan di Shenzhen, India, serta jembatan hutan wisata kawasan konservasi hutan mangrove Bekantan Kota Tarakan, korosi yang terjadi pada jembatan-jembatan tersebut disebabkan oleh kontak jembatan dengan air laut. Apabila dibandingkan dengan kerusakan akibat korosi yang terjadi lingkungan sungai seperti yang terjadi pada jembatan yang berada di sungai pulau Nias dan jembatan kereta api yang berkontak dengan limbah toilet di beberapa jembatan kereta api di Jawa Barat, kerusakan akibat korosi berlangsung lebih cepat dan lebih parah pada lingkungan laut. Hal ini diakibatkan oleh adanya kandungan klorida pada air laut.

Tiga dari lima jembatan kereta api mengalami kerusakan dimana dua diantaranya mengalami ledutan melampaui batas yang dipersyaratkan. Kerusakan yang terjadi diantaranya adalah perkaratan pada flange dari grinder, grinder tengah, serta perkaratan pada flange hingga tembus. Untuk jembatan di Pulau Nias terdapat kerusakan pada ikatan angin bawah di-mana korosi menyebabkan kekuatan batang berkurang dan menyebabkan perubahan ben-tuk. Korosi menyebabkan berkurangnya di-ometer tulangan.

Untuk jembatan hutan wisata kawasan kon-servasi hutan mangrove Bekantan Kota Tara-kan, terdapat pengurangan mutu tulangan bet-on sebesar 10% sampai dengan 25% akibat korosi sehingga menurunkan umur layanan. Selain itu akibat media korosi dari jembatan ini berupa air laut, perubahan tulangan beton menjadi karat menyebabkan penambahan volume yang menyebabkan ekspansi beton dan keretakan. Dalam waktu 12 tahun ter-dapat peningkatan prediksi kegagalan sebesar 5,3%.

Pada jembatan di Shenzhen, China tercatat bahwa rasio kehilangan massa dari sengkang yang diuji adalah antara 11,87% dan 35,01%. Ketika rasio kehilangan massa sengkang terkorosi lebih besar dari 19,46% (20,28% dari persamaan linier), kekuatan luluh nomi-nal lebih rendah dari nilai karakteristik. Ketika rasio kehilangan massa lebih besar dari 19,46% (26,13% dari persamaan linier), kekuatan luluh nominal lebih rendah dari nilai desain, menunjukkan bahwa sengkang terkorosi tidak memenuhi syarat oleh kode desain. Ketika rasio kehilangan massa sengkang terkorosi lebih besar dari 11,87% (10,38% dari persamaan linier), kekuatan ul-timit nominal lebih rendah dari nilai karakter-istik.

Untuk jembatan di pesisir India, terdapat ke-rusakan ringan hingga kerusakan total di be-berapa bagian jembatan yang mana disebab-kan oleh klorida. Hal ini membuktikan bahwa kondisi lingkungan laut mempercepat dan menghasilkan kerusakan korosi yang cukup parah bila dibandingkan dengan lingkungan sungai dan jembatan kereta yang tercemar limbah toilet.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan beberapa paper yang diamati, dengan jangka waktu yang sama, kerusakan struktur jembatan yang disebabkan korosi dari ion klorida pada air laut lebih tinggi dibanding dengan korosi pada lingkungan sungai dan cairan limbah di kereta api. Selain itu, pada lingkungan laut, laju korosi yang terjadi lebih cepat karena ion klorida (jembatan garam atau elektrolit) pada lingkungan laut lebih tinggi dibandingkan lingkungan sungai dan cairan limbah toilet. Hal ini dikarenakan lingkungan laut dan sungai memiliki kandungan yang berbeda dimana kadar ion klorida laut lebih tinggi daripada kadar ion klorida pada sungai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Metalurgi UPN “Veteran” Yogyakarta dan semua pihak yang tidak bisa kami sebut-kan satu per satu.

REFERENSI

1. D. Yuan, C. Cui, Q. Zhang, Z. Li, and Z. Ye, *Int. J. Fatigue* **161**, 106898 (2022).
2. L. Solovyov, A. Solovyov, and V. Fedorenko, *Transp. Res. Procedia* **61**, 588 (2022).
3. G. Alencar, A. de Jesus, J. G. S. da Silva, and R. Calçada, *Eng. Fail. Anal.* **104**, 154 (2019).
4. Y. Zhang, K. Zheng, J. Zhu, M. Lei, and X. Feng, *Constr. Build. Mater.* **289**, 123108 (2021).
5. P. Pedferri (Deceased), *Eng. Mater.* 73 (2018).
6. A. M. Das, **12**, 11 (2012).
7. J. dong Fu, S. Wan, Y. Yang, Q. Su, W. wen Han, and Y. bo Zhu, *Constr. Build. Mater.* **306**, 124864 (2021).
8. J. Tinnea, W. H. Hartt, and A. Sagues, *Corros. Environ. Ind.* 559 (2018).
9. (n.d.).
10. H. Zhou, S. Chen, Y. Du, Z. Lin, X. Liang, J. Liu, and F. Xing, *Eng. Fail. Anal.* **115**, 104669 (2020).
11. E. Utomo, **4**, 70 (2021).
12. A. Dey and A. Sil, *Structures* **34**, 947 (2021).
13. M. H. Pradono, J. Alami e-ISSN 2548-8635 **2**, 57 (2018).
14. Sumargo, R. Hakiki, and R. Raafidiani, *J. Tek. Sipil* **22**, 874 (2012).
15. W. Wibowo and P. Gunawan, *Media Tek. Sipil* **7**, pp. 21 (2007).
16. N. Iskandar, S. Nugroho, and I. Krisna, *Rotasi* **22**, 266 (2020).