

Pengaruh Konsentrasi Oksigen Terlarut Terhadap Laju Korosi Pada Baja ASTM 36

The Effect of Dissolve Oxygen Concentration on Corrosion Failure of Steel ASTM A36

Guswanta Fauzi^{a*}, Muhammad Dikdik Gumelar^b, Galih Taqwatomo^{c*}, dan Ronald Taufiq Waluyo^d

^aUniversitas Pertamina, Simprug, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan, 12220

^bBadan Riset dan Inovasi Nasional, Ged.224. Puspitek, Tangerang Selatan, 15314

^cBadan Riset dan Inovasi Nasional, Ged.224. Puspitek, Tangerang Selatan, 15314

^dBadan Riset dan Inovasi Nasional, Ged.224. Puspitek, Tangerang Selatan, 15314

*Surel: guswanta@gmail.com, galih2393@yahoo.com

INFO ARTIKEL

Diterima 13 Desember 2021
Direvisi 30 Desember 2021
Disetujui 31 Desember 2021
Nomor Artikel 202102
Halaman 25 - 30

Kata kunci:

Mild Steel ASTM A36
Suhu
Oksigen Terlarut
Na₂SO₃

Abstract

This research focuses on effect of dissolve oxygen concentration on corrosion failure of steel ASTM A36. This research is to study the impact of decreasing dissolved oxygen value at different temperatures on the corrosion rate of ASTM A36 steel at different temperatures. Aquadest was chosen to be the test solution because it is free from other mineral content so that the test results are more accurate. Some of the minerals contained in ordinary air can increase the corrosion rate and this is undesirable. Meanwhile, Na₂SO₃ was chosen as oxygen scavenger because it is easy to obtain, is not additive, is not dangerous for testers and the price is relatively cheap. Corrosion testing was carried out using potentiodynamic methods, followed by macro and micro photo analysis of experimental samples and literature studies of SEM-EDS testing. The results obtained from the corrosion test showed that the less oxygen value, the smaller the resulting corrosion rate.

Keywords: Mild Steel ASTM A36, temperatures, oxygen, dissolved, Na₂SO₃.

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada pengaruh konsentrasi oksigen terlarut yang dapat mempengaruhi nilai dari laju korosi pada suatu logam dengan menggunakan larutan aquadest ditambahkan Na₂SO₃. Aquadest dipilih menjadi larutan uji karena terbebas dari kandungan mineral lainnya agar hasil dari pengujian semakin akurat. Beberapa mineral yang terkandung dalam air biasa dapat meningkatkan laju korosi dan hal tersebut tidak diinginkan. Sedangkan Na₂SO₃ dipilih menjadi oksigen *scavenger* karena mudah didapat, tidak bersifat aditif, tidak berbahaya bagi penguji dan harganya yang relatif murah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari dampak dari penurunan nilai oksigen terlarut pada suhu yang berbeda terhadap laju korosi pada baja ASTM A36. Pengujian korosi dilakukan menggunakan metode potensiodinamik, dilanjutkan dengan analisa foto makro dan mikro sampel percobaan serta studi literatur pengujian SEM-EDS. Hasil yang diperoleh dari pengujian korosi menunjukkan bahwa semakin sedikit nilai oksigen, maka semakin kecil laju korosi yang dihasilkan.

PENDAHULUAN

Perkembangan dunia industri menaikkan produksi logam di Indonesia, mengingat logam merupakan bahan baku produksi di berbagai sektor industri dunia. Salah satu jenis logam yaitu baja yang memiliki kandungan besi-karbon serta elemen paduan lainnya dengan konsentrasi tertentu. Ada ribuan paduan yang memiliki perbedaan komposisi dengan perlakuan panas yang berbeda juga, setiap jenis paduan memiliki kegunaan dan ketahanan tersendiri. Umumnya baja dapat diklasifikasikan berdasarkan konsentrasi pada karbon yang terkandung seperti baja karbon rendah, baja karbon medium, dan baja karbon tinggi. Salah satu jenis baja yang tersedia yaitu baja ASTM A36, yang termasuk ke dalam tipe baja karbon rendah karena memiliki persentase karbon sebesar 0.26 %wt. Baja ASTM A36 ini sering dipakai dalam berbagai hal pada sektor industri, karena memiliki sifat material dan harganya yang sangat terjangkau. Baja A36 ini dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi, misalnya seperti konstruksi bangunan, tanki, ataupun pipa [1].

Korosi merupakan reaksi sebuah logam dengan lingkungannya yang berfokus pada penurunan sifat material tersebut akibat hilangnya massa suatu logam karena pertukaran ion logam dengan lingkungan [2]. Korosi merupakan fenomena yang merugikan, maka dari itu berbagai cara dilakukan untuk menghindari korosi. Korosi merupakan proses alami yang akan terjadi pada setiap logam dan tidak dapat dihindari namun dapat diperlambat maupun dikontrol laju korosinya.

Oksigen dipilih sebagai variable uji karena oksigen merupakan zat yang mudah dikontrol dan berdampak besar jika diabaikan pada sektor industri. Menurunkan kadar oksigen terlarut pada fluida yang mengalir di pipa dapat mengurangi proses oksidasi yang terjadi pada permukaan logam, hal tersebut dapat menurunkan laju korosi [3].

Aquadest dipilih menjadi larutan uji karena terbebas dari kandungan mineral lainnya agar hasil dari pengujian semakin akurat. Beberapa mineral yang terkandung dalam air biasa dapat meningkatkan laju korosi dan hal tersebut tidak diinginkan. Sedangkan Na_2SO_3 dipilih menjadi oksigen *scavenger* karena mudah didapat, tidak bersifat aditif, tidak berbahaya bagi penguji dan harganya yang relatif murah.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari dampak dari penurunan nilai oksigen terlarut pada suhu yang berbeda terhadap laju korosi pada baja ASTM A36. Pengujian korosi dilakukan menggunakan metode potensiodinamik [4], dilanjutkan dengan analisa foto makro dan mikro sampel percobaan serta studi literatur pengujian SEM-EDS. Hipotesa yang diperoleh dari pengujian korosi menunjukkan bahwa semakin sedikit nilai oksigen, maka semakin kecil laju korosi yang dihasilkan.

METODE PERCOBAAN

Percobaan ini menggunakan Na_2SO_3 sebagai penangkap oksigen terlarut dalam aquadest (reduktor oksigen) karena Na_2SO_3 berdasarkan sifatnya yaitu mudah didapat, tidak aditif (berbahaya) dan cepat bereaksi. Nilai 10 ppm; 400 ppm; 1000 ppm; 5000 ppm dan 10,000 ppm Na_2SO_3 ditetapkan sebagai larutan uji elektrokimia.

Baja ASTM A36 (*low alloy steel*) dihilangkan lapisan oksidanya dengan menggunakan *table grinder* dimulai dengan amplas grid 100 hingga grid 1000 agar lapisan oksida pada sampel uji hilang sempurna serta hasil pengujian menjadi akurat.

Dissolve Oxygen Meter LAQUAact OM-71 digunakan sebagai alat pengukur nilai oksigen terlarut yang tersisa pada larutan uji setelah ditambahkan Na_2SO_3 dengan jumlah yang sudah ditentukan.

Alat pengujian yang digunakan pada percobaan ini yaitu mesin elektrokimia Zahner Zenium X sebagai alat uji coba korosi, yang mana alat tersebut berfungsi menciptakan proses korosi baja ASTM A36 pada tabung uji (*chemical cell*) dan menangkap besaran elektron yang terjadi pada proses korosi tersebut dan dibentuk menjadi grafik taffel. Ag-AgCl digunakan sebagai *reference electrode*; *Platinum wire* digunakan sebagai *counter electrode* pada percobaan ini. Grafik taffel yang didapatkan nantinya akan dianalisa untuk mendapatkan nilai laju korosinya.

Setelah sampel uji terkorosi, mikroskop digunakan untuk melihat bentuk dan *visual* permukaan logam uji untuk mengkonfirmasi kerusakan akibat setiap larutan uji (kandungan nilai oksigen berbeda).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi adalah proses pengecekan akurasi dari suatu alat ukur dengan cara dibandingkan dengan standar atau tolak ukur yang telah ditetapkan yang bertujuan untuk memastikan bahwa pada saat dilakukan pengukuran, hasil pengukuran yang didapat akurat. DO Meter dicelupkan kedalam larutan *oxygen test solution* dengan rentang waktu beberapa menit hingga kadar DO tercapai target yang telah ditentukan sebagai tanda acuan kalibrasi [5].

Hasil Pengukuran Nilai DO

Peran Na_2SO_3 sebagai penyerap kandungan oksigen terlarut di larutan aquadest yang bergantung pada besaran senyawa Na_2SO_3 . Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali dengan hasil **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil pengujian DO

Larutan Uji	Aquadest + Na ₂ SO ₃				
	PPM	Berat Na ₂ SO ₃	Hasil uji DO 1 (mg/L)	Hasil Uji DO 2 (mg/L)	Hasil Uji DO 3 (mg/L)
10	0.005gr	5mg/0.5L	2.96	2.96	2.97
50	0.025gr	25mg/0.5L	2.13	2.13	2.14
100	0.05gr	50mg/0.5L	0.86	0.86	0.87
400	0.2gr	200mg/0.5L	0.85	0.85	0.86
1000	0.5gr	500mg/0.5L	0.25	0.25	0.26
5000	2.5gr	2500mg/0.5L	0.11	0.11	0.12
10,000	5gr	5000mg/0.5L	0.1	0.1	0.1
18,000	9gr	9000mg/0.5L	0.1	0.1	0.1
LARUTAN AQUADEST			3.42mg/L		

Pengujian DO menghasilkan penurunan nilai oksigen dengan faktor jumlah Na₂SO₃ yang ditambahkan. Pengukuran nilai DO seharusnya dilakukan secara *in-situ* [6]. Sesuai dengan Tabel 1. Didapatkan nilai: 2.96 ppm oksigen terlarut (10 ppm larutan uji) ; 0.85 ppm oksigen terlarut (400 ppm larutan uji) ; 0.25 ppm oksigen terlarut (1000 ppm larutan uji) ; 0.11 ppm oksigen terlarut (5000 ppm larutan uji) dan 0.1 ppm oksigen terlarut (10,000 ppm larutan uji).

Hasil Pengujian Komposisi Spektrofotometri

Tabel 2. Hasil uji komposisi

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cu
4	97.8	0.268	0.271	0.838	0.0383	0.0422	0.255
5	97.9	0.242	0.269	0.838	0.0390	0.0426	0.253
6	97.8	0.261	0.271	0.840	0.0401	0.0441	0.259
Ave	97.8	0.267	0.272	0.844	0.0376	0.0415	0.256

Spektrofotometri merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui persentase uji dengan cara menembakan jenis panjang gelombang cahaya yang berbeda [7]. Setiap unsur senyawa logam memiliki reaksi berbeda untuk setiap panjang gelombang, dengan demikian maka akan diketahui unsur penyusun dari sampel uji tersebut. Setiap campuran logam memiliki nilai komposisi *alloying element* yang disesuaikan dengan kebutuhan penggunaan logam tersebut, perbedaan komposisi akan menghasilkan karakteristik ketahanan, keuletan serta kekerasan yang berbeda. Oleh karena itu, penting bagi penguji untuk mengetahui kadar komposisi dari sampel tersebut.

Pengujian sampel uji menggunakan ASTM 36 menghasilkan Tabel 2. Dibandingkan dengan spesifikasi standar baja karbon rendah ASTM A36 [8], maka sampel uji sudah dapat dinyatakan merepresentasikan kondisi pada dunia industri.

Hasil Pengujian Elektrokimia (*Polarization Curve*)

Metode ini dilakukan untuk mendapatkan data korosifitas seperti potensial korosi, rapat arus korosi, dan laju korosi [9]. Kecepatan atau laju korosi yang terjadi pada logam dalam lingkungan elektrolit baik tanpa atau dengan adanya inhibitor korosi dapat dilakukan dengan menggunakan metode Tafel. Kinetika elektrokimia untuk korosi pada logam dapat dikarakterisasi dengan menentukan tiga parameter yaitu densitas hantaran (*I_{corr}*), potensial korosi (*E_{corr}*), dan

slop Tafel katodik (*β_a* dan *β_c*). Hasil pengolahan data ketiga parameter di atas dapat menentukan harga hambatan polarisasi (*R_p*) serta densitas hantaran (*I_{corr}*) dan dari hasil kedua olahan ini dapat dinyatakan sebagai laju korosi Faraday (*V_{corr}* atau *CF*) dalam satuan milimeter per tahun.

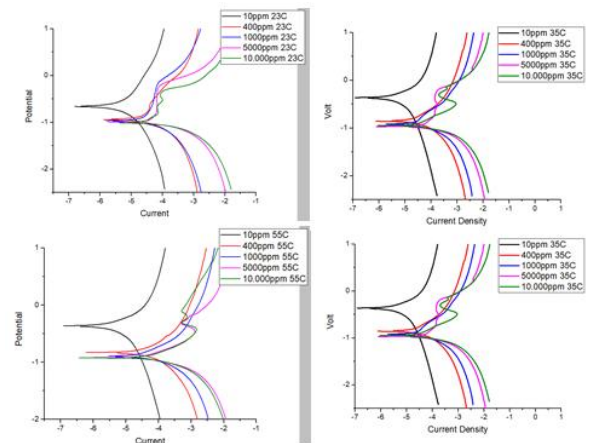
Pengujian yang dilakukan menggunakan larutan bernilai 10 ppm ; 400 ppm ; 1000 ppm ; 5000 ppm dan 10,000 ppm. Larutan 10 ppm menghasilkan nilai oksigen 2.96 ppm; larutan 400 ppm menghasilkan nilai oksigen 0.86 ppm; larutan 1000 ppm menghasilkan nilai oksigen 0.25 ppm; larutan 5000 ppm menghasilkan nilai oksigen 0.11 ppm dan larutan 10,000 ppm menghasilkan nilai oksigen 0.1. Nilai tersebut sudah dapat mewakili nilai penurunan oksigen untuk dilanjutkan dengan uji elektrokimia untuk membuktikan bahwa penurunan nilai oksigen terlarut dapat mempengaruhi nilai laju korosi.

Tabel 3. Data mengenai nilai oksigen, *E_{corr}*, *i_{corr}*, *j_{corr}*, *β_a*, *β_c* dan *Corrosion Rate* pada suhu 23°C, 35°C, 55°C

23C							
Na ₂ SO ₃ (PPM)	Oksigen Terlarut (PPM)	E-corr (mV)	i-corr (μA)	j-corr (μA/cm ²)	β _a (mV)	β _c (mV)	Corrosion Rate (mmpy)
10	2.9	-654.813	24.777	6.19425	1057.6	819.8	0.072937
400	0.85	-933.976	22.98	5.745	108.3	93.9	0.067647
1000	0.25	-971.301	21.653	5.41325	101.4	71.2	0.063741
5000	0.11	-999.525	43.526	10.8815	73.8	53.2	0.12813
10,000	0.1	-1013.925	53.132	13.283	159.9	40.7	0.156408

35C							
Na ₂ SO ₃ (PPM)	Oksigen Terlarut (PPM)	E-corr (mV)	i-corr (μA)	j-corr (μA/cm ²)	β _a (mV)	β _c (mV)	Corrosion Rate (mmpy)
10	2.9	-365.633	76.422	19.1055	1121.2	2121.9	0.224968
400	0.85	-846.389	65.974	16.4935	315.6	209.8	0.194211
1000	0.25	-922.105	61.459	15.36475	368.9	128.2	0.18092
5000	0.11	-973.475	218.979	54.74475	633.5	148	0.644621
10,000	0.1	-940.77	295.528	73.882	396.2	217.5	0.869963

55C							
Na ₂ SO ₃ (PPM)	Oksigen Terlarut (PPM)	E-corr (mV)	i-corr (μA)	j-corr (μA/cm ²)	β _a (mV)	β _c (mV)	Corrosion Rate (mmpy)
10	2.9	-360.139	82.439	20.60975	1210.8	2238.3	0.24268
400	0.85	-832.881	76.836	19.209	242.6	175.6	0.226187
1000	0.25	-897.519	74.747	18.68675	231.3	116.9	0.220037
5000	0.11	-916.099	362.376	90.594	347.3	216.6	1.06675
10,000	0.1	-918.543	492.064	123.016	403.4	284.3	1.44852

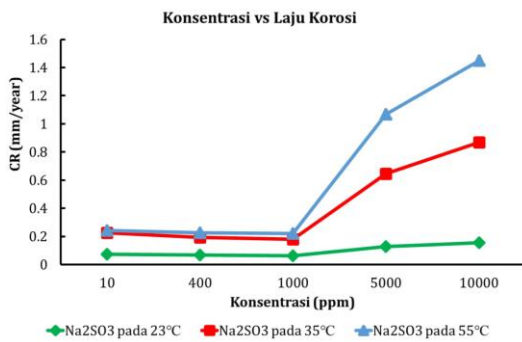


Gambar 1. Diagram tafel 23°C, 35°C, 55°C.

Melalui perhitungan setelah nilai E_{corr} dan I_{corr} didapatkan seperti **Gambar 2** dan **Tabel 4**.

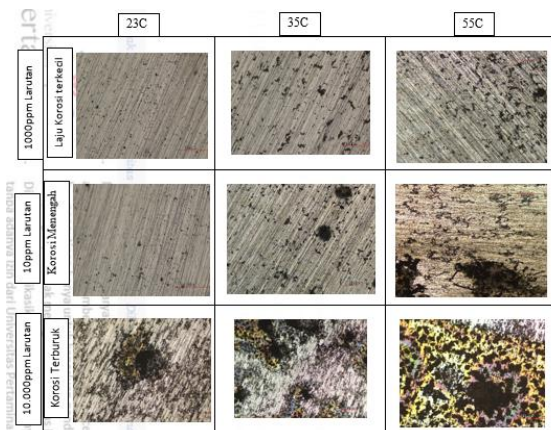
Tabel 4. Ringkasan pengujian

ppm	Laju korosi			PH Larutan
	23C	35C	55C	
10	0.072937	0.224968	0.24268	6,8
400	0.067647	0.194211	0.226187	6
1000	0.063741	0.18092	0.220037	6
5000	0.12813	0.644621	1.06675	5,5
10000	0.156408	0.869963	1.44852	5

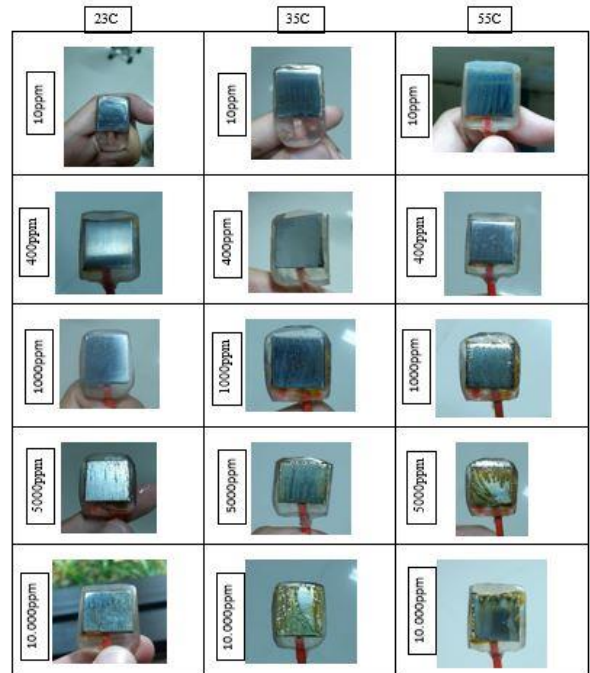


Gambar 2. Grafik laju korosi total pengujian

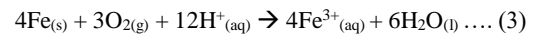
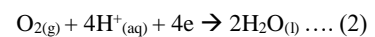
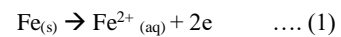
larutan 10 ppm; 400 ppm dan 1000 ppm untuk suhu 23°C; 35°C dan 55°C mengalami penurunan nilai oksigen terlarut yang juga diikuti oleh penurunan nilai laju korosi. Tetapi pada larutan 5000 ppm dan 10,000 ppm dengan nilai oksigen terlarut 0.1 ppm, nilai laju korosi yang didapatkan lebih besar dibanding nilai laju korosi pada kadar larutan 10 ppm; 400 ppm dan 1000 ppm. **Gambar 2** laju korosi total untuk setiap suhu. Setelah diteliti, terdapat indikasi bahwa nilai ph yang menjadi lebih asam. Pembuktian bahwa pemberian Na_2SO_3 juga mengakibatkan nilai ph yang semakin asam serta diperkuat dengan **Gambar 3** dan **Gambar 4** foto mikro sampel percobaan yang terlihat berwarna kuning – jingga serta foto makro sampel yang menunjukkan hasil reaksi berwarna kuning - orange. Reaksi kimia yang terjadi pada suasana asam (1), (2), (3)



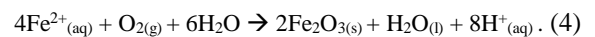
Gambar 3. Foto mikro sampel uji



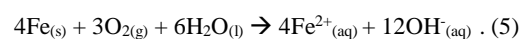
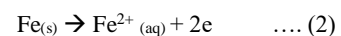
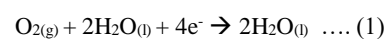
Gambar 4. Foto mikro sampel uji



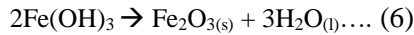
Produk karat atau korosi yang akan dihasilkan menjadi: (Ferri Oksida)



Proses korosi adalah proses dimana suatu logam mengalami proses reduksi (proses diperoleh elektron) dan proses oksidasi (proses kehilangan elektron). Proses korosi yang umum terjadi akan diawali dengan reaksi oksidasi pada logam. Namun pada proses korosi dengan pengaruh kadar oksigen yang berlebih, proses korosi tersebut diawali dengan reaksi reduksi pada atom oksigen. Proses reduksi tersebut membutuhkan transfer atau suplai elektron, yang dimana suplai elektron tersebut didapatkan dari hasil oksidasi terpaksa oleh logam. Semakin besar nilai oksigen terlarut, maka nilai elektron yang dibutuhkan pada proses reduksi akan semakin besar. Dimana reaksi kimia korosi yang terjadi yaitu reaksi (1), (2), (5)



Produk karat atau korosi yang akan dihasilkan menjadi: (Ferri Oksida)

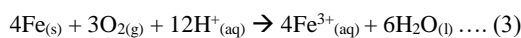
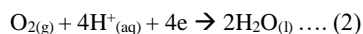
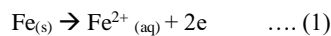


Studi literatur analisis EDS baja karbon rendah (low alloy steel) ASTM A36 terhadap oksigen

EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) adalah metode pengujian suatu specimen uji untuk mengetahui dan menganalisis unsur atau karakteristik kimia yang terbentuk pada specimen tersebut dengan menembakan sinar-X [10]. Dimana setiap unsur atom memiliki keunikan dan ciri tersendiri pada strukturnya, sehingga memungkinkan sinar-X untuk mengidentifikasi unsur tersebut secara tepat.

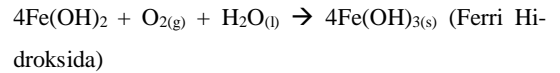
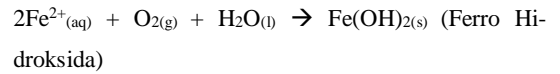
Untuk memicu emisi karakteristik dari sinar-X pada suatu specimen, maka sinar dengan energi tinggi difokuskan ke spesimen yang diteliti. Selanjutnya beberapa atom dalam spesimen yang mengandung elektron dasar pada setiap tingkat energi atau kulit elektron terikat pada inti, sinar yang dihasilkan dapat mengeksitasi elektron pada kulit tersebut dan mengeluarkannya sehingga tercipta lubang elektron dimana elektro tersebut berada sebelumnya. Lalu sebuah elektron dari kulit luar yang berenergi lebih besar mengisi lubang tersebut, perbedaan energi antara kulit dengan elektron tersebut dapat dirilis dalam bentuk sinar-X. Yang mana pancaran sinar-X dari spesimen tersebut merupakan karakteristik dari struktur unsur yang berada pada spesimen tersebut.

Oksigen merupakan unsur yang menjadi kebutuhan utama untuk kelangsungan hidup semua yang bernyawa, tetapi oksigen memiliki peran penting terhadap kerusakan pada benda berjenis logam. Logam sejatinya akan berusaha untuk kembali menjadi bentuk stabilnya yaitu bentuk ion logam, sementara hal itu sangat merugikan karena hal tersebut dapat membuat logam kehilangan kekuatan dan kegunaannya. Kondisi logam stabil yang mengalami kelebihan kadar oksigen disekelilingnya akan menjadikan logam tersebut secara terpaksa melakukan proses oksidasi (berikatan dengan oksigen) dan membentuk oksida akibat dari proses redoks spontan untuk menjaga kestabilan molekulnya. Dimana reaksi kimia korosi pada kondisi tersebut yaitu reaksi (1), (2), dan (3):



Produk karat atau korosi yang akan dihasilkan menjadi:

Redoks:



Jika dapat mengontrol kadar oksigen dengan tepat maka proses oksidasi spontan akan terhambat, yang artinya proses korosi juga ikut terhambat. Semakin banyak nilai oksigen yang terkandung dan semakin lama berinteraksi pada suatu logam maka pada permukaan logam tersebut akan terbentuk senyawa dengan komposisi oksigen yang sesuai dengan jumlah banyaknya oksigen yang berikatan. Hal ini dapat dibuktikan oleh studi kasus korosi berdasarkan referensi dimana percobaan tersebut meneliti bagaimana pengaruh lama waktu tetesan air terhadap proses korosi serta kekasaran pada permukaan logam yang terhalang oleh air [11]. Fenomena tersebut juga berlaku reaksi kimia oksidasi ASTM A36 terhadap suasana pH larutan normal yaitu persamaan reaksi (1), (2), dan (3).

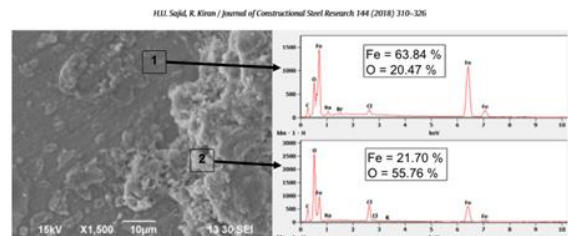


Fig. 23. EDS analysis of specimen S4 (subjected to 4 hours corrosion).

Gambar 5. Analisis EDS Spesimen S4 [11]

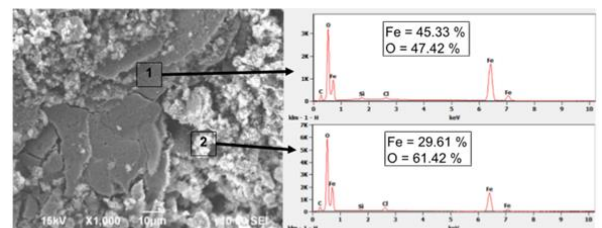


Fig. 24. EDS analysis of specimen S16 (subjected to 16 hours corrosion).

Gambar 6. Analisis EDS Spesimen S16 [11]

Berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6 tren yang terjadi pada kasus tersebut yaitu semakin lama waktu percobaan tetesan air, semakin banyak komposisi oksigen yang terbentuk pada lapisan logam didaerah tersebut. Jika kita membatasi atau mengurangi jumlah oksigen terlarut pada suatu larutan uji, dan dilanjutkan pengujian menggunakan metode SEM/EDS untuk menguji komposisi yang kimia yang terjadi,

maka tren yang dihasilkan akan berkebalikan dengan tren uji coba diatas yaitu komposisi oksigen yang berikatan pada logam akan semakin sedikit. Yang mana secara garis besar kenaikan atau penurunan komposisi oksigen akan berpengaruh terhadap laju korosi pada logam tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penurunan nilai oksigen terlarut menyebabkan penurunan pada nilai laju korosi. Peningkatan suhu pengujian serta bertambahnya nilai keasaman akibat dari kelebihan penggunaan Na_2SO_3 pada larutan 5000 ppm dan 10.000 ppm menyebabkan laju korosi meningkat. Data grafik hasil percobaan dijelaskan lebih detail pada **Gambar 2**.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan berakhirnya penelitian ini, maka penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan memberikan bimbingannya selama penelitian ini berlangsung, serta para pihak yang membantu langsung secara signifikan kegiatan penelitian dan penulisan naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. William D. Callister and D. G. Rethwisch, *Material Science And Engineering*, Wiley, 1985.
- [2] M. G. a. S. W. Fontana, “*Advances in Corrosion Science and Technology*”, New York: Plenum Press, 1970.
- [3] O.-C. TIM EON, “*Dissolve Oxygen dan Oksigen Scavenger*,” 2019. [Online]. Available: <https://article.eonchemicals.com/dissolved-oxygen-dan-perhitungan-dosis-injeksi-oxygen-scavenger/>.
- [4] A. Rana and M. Hamed Abdulmajeed, “*Tribbocorrosion*,” p. 10.5772/63657. October 2016.
- [5] Inda Robbihi Mardhiya, Arif Surtono, Sri Wahyu Suciwati. “Sistem Akusisi Data Pengukuran Kadar Oksigen Terlarut pada Air Tambak Udang Menggunakan *Dissolved Oxygen (DO)*”. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, Vol 05, No. 02, p.133,2017.
- [6] Salmin. “Oksigen Terlarut (Do) Dan Kebutuhan Oksigen Biologi (Bod) Sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan”. *Oseanografi-LIPI, dinamika laut*, p. 6, 2005.
- [7] Prof. Dr. Dachriyanus. “Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi”. *LPTIK Universitas Andalas*, p. 22. 2004.
- [8] ASTM A36 Steel, Plate Standard Properties . 2019.
- [9] Yudha Kurniawan Afandi, Irfan Syarif Arief, dan Amiadji, “Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja

Karbon dengan Variasi Ketebalan *Coating*”. *Jurnal Teknik ITS* Vol. 4, No. 1, p. G-3. 2015.

- [10] Edward Baringin Sihite, Budiarto. “Analisis Pengaruh Penuaan dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Strukturmikro Paduan Cuhfo”. *JKI Universitas Bhayangkara Jakarta Raya*, p. 233. 2019.
- [11] R. K. Hizb Ullah Sajid, “*Influence of corrosion and surface roughness on wettability of ASTM 36 steels*,” *ScienceDirect*, 2018.