CARBON STEEL CORROSION IN THE ATMOSPHERE, COOLING WATER SYSTEMS , AND HOT WATER

Gatot Subiyanto and Agustinus Ngatin

Chemical Engineering Department Bandung State Polytechnic
E.mail : Gattot_Subiyanto@yahoo.com and Ngatin_agustinus@yahoo.com

Abstract

Corrosion is the process of material damage due to interacting with the corrosive environments . To study the corrosion process in the industry , a corrosion testing was conducted in the atmosphere , in a lab-scale simulations for cooling water systems and hot water systems . Corrosion testing performed on mild steel material with Coupon method and the corrosion rate is calculated based on the weight loss method . This study aimed to determine the rate of corrosion in the atmospheric environment , cooling water, and hot water by the influence of time . The test results showed that the chemistry laboratory environment (building A) is still very good for with a corrosion rate of 0.39 mpy, in cooling water system reached 3.52 mpy and hot water system reached 137.12 mpy . Corrosion products from all three systems in the form of a brown layer $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ or $\text{FeO}(\text{OH})$ attached to the metal surface. Among of the three environments the hot water system gave the greatest corrosion rate.

Control of the coating and cathodic protection anode potential victims can reduce the steel to below the protection criteria ($< -850\text{mV/CSE}$) , to achieve a coating - 896 mV / CSE , Mg sacrificial anode cathodic protection can achieve -1696mV/CSE , while potentially bare steel - 762mV/CSE .

Keywords : corrosion of metals , the atmosphere , cooling water , hot water

KOROSI BAJA KARBON DI ATMOSFER, SISTEM AIR PENDINGIN, DAN AIR PANAS

Gatot Subiyanto dan Agustinus Ngatin

Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Bandung
E.mail:Gatot_Subiyanto@yahoo.com dan Ngatin_agustinus@yahoo.com

Abstrak

Korosi merupakan proses kerusakan material akibat berinteraksi dengan lingkungan yang korosif. Untuk mempelajari proses korosi di industri, maka dilakukan pengujian korosi di atmosfer, simulasi dalam skala lab untuk sistem air pendingin dan sistem air panas. Pengujian korosi dilakukan pada material baja lunak dengan metode Coupon dan laju korosi dihitung berdasarkan metode kehilangan berat. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan laju korosi di lingkungan atmosfer, air pendingin, dan air panas berdasarkan pengaruh waktu. Hasil pengujian korosi di atmosfer menunjukkan bahwa lingkungan sekitar laboratorium kimia (gedung A) masih sangat baik dengan laju korosi 0,39mpy, sistem air pendingin mencapai 3,52 mpy dan di sistem air panas mencapai 137,12 mpy. Produk korosi dari ke tiga sistem berupa lapisan berwarna coklat dari $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ atau $\text{FeO}(\text{OH})$ menempel di permukaan logam. Dari ketiga lingkungan yang menunjukkan laju korosi terbesar adalah di sistem air panas. Pengendalian dengan coating dan proteksi katodik anoda korban dapat menurunkan potensial baja sampai dibawah kriteria proteksi ($< -850\text{mV/CSE}$), untuk coating mencapai -896 mV/CSE , proteksi katodik anoda korban Mg dapat mencapai -1696 mV/CSE , sedangkan potensial baja telanjang -762 mV/CSE

Kata kunci: korosi logam, atmosfer, air pendingin, air panas

1. Pendahuluan

Korosi merupakan kerusakan material akibat reaksi antara logam atau logam paduan dengan lingkungan atau korosi adalah suatu proses elektrokimia yang melibatkan adanya transfer elektron dari anoda menuju katoda (Jones, 1992). Akibat korosi logam dapat menyebabkan penurunan kekuatan, perubahan warna, mudah terjadi keretakan, dan dapat menyebabkan polusi bagi lingkungan.

Korosi logam merupakan masalah utama di bidang konstruksi mesin yang berbahan baku logam. Hal ini disebabkan, karena bertambahnya aktivitas industri, sehingga menghasilkan gas buang yang menyebabkan lingkungan menjadi korosif. Untuk mengamati gejala korosi logam di industri dapat dibuatkan suatu sistem pengujian korosi. Setiap industri mempunyai sistem air panas dan air pendingin yang merupakan unit pendukung yang vital. Untuk melihat laju korosi logam pada inlet dan outlet boiler dan cooling tower atau kondensor diperlukan percobaan. Untuk itu, percobaan dapat dilakukan dalam skala laboratorium yang memberikan gambaran secara umum tentang korosivitas lingkungan.

Ruang lingkup penelitian ini difokuskan pada pengujian korosi logam baja di lingkungan atmosfer, air pendingin, dan air panas. Pengujian korosi dilakukan dalam sistem coupon di tiga kondisi dengan lingkungan yang berbeda. Lingkungan yang berpengaruh terhadap korosi logam adalah udara lembab, kondisi lingkungan (polusi udara). Oleh karena itu, lingkungan pengujian korosi logam diasumsikan sesuai dengan aktivitas laboratorium, perubahan cuaca yang tidak stabil, serta kondisi suhu air pendingin dan air panas diasumsikan konstan.

Berdasarkan lokasi penempatan coupon di lingkungan atmosfer diasumsikan berlangsung lambat, maka periode waktu pengambilan coupon direncanakan 1

minggu, 2 minggu dan 1 bulan untuk atmosfer sekitar laboratorium, periode waktu 1 hari, 3 hari, 5 hari, 7 hari, dan 10 hari untuk simulasi sistem distribusi air pendingin, dan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 5 jam, dan 7 jam untuk simulasi sistem distribusi air panas. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk menentukan laju korosi logam di lingkungan atmosfer, sistem air pendingin, dan air panas, mem-bandingkan kondisi permukaan logam setelah dan sebelum proses korosi.

2. Metode Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut.

Tahap Persiapan merupakan tahapan menyiapkan bahan dan alat pendukung antara lain mempersiapkan alat simulasi untuk proses korosi logam, persiapan permukaan logam baik secara mekanik maupun kimiawi (biasanya larutan basa NaOH 10%). Pembuatan alat pendukung tempat meletakkan material yang dikorosikan (Coupon) di lingkungan atmosfer, alat pendukung berupa pipa dari fiber glas yang dialiri air untuk proses korosi logam di lingkungan air pendingin, dan air panas.

Tahap Proses Korosi Material Logam disesuaikan dengan lokasi dan periode waktu proses korosi. Waktu proses korosi meliputi 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu dan 1 bulan di lingkungan atmosfer di sekitar laboratorium, 1 hari, 3 hari, 5 hari, 7 hari, 10 hari, dan 13 hari untuk proses korosi logam di sistem air pendingin, dan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 5 jam, dan 7 jam untuk proses korosi logam di sistem air panas

Tahap Pengambilan Data meliputi data visual melalui pengamatan terhadap perubahan logam dalam periode waktu tertentu, dan data kuantitatif yang berupa berat material logam. Analisis data adalah pengolahan data visual dan data kuantitatif yang berupa penghitungan laju korosi material logam.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Korosi Logam di Atmosfer

Proses korosi logam baja karbon di lingkungan atmosfer dilakukan di atas rak tempat logam yang setiap minggu diamati dengan hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1. Kehilangan berat terhadap waktu proses korosi

Pada Gambar 1 menampilkan bahwa kehilangan berat semakin naik sebanding dengan lamanya waktu proses korosi. Hal ini disebabkan proses korosi berlangsung terus dengan bertambahnya waktu dan reaksi korosi berlangsung spontan (Jones, 1992), sehingga kehilangan berat material logam semakin bertambah.

Penentuan laju korosi dihitung berdasarkan selisih berat yang di-timbulkan akibat proses korosi dengan persamaan : laju korosi (V) = $\frac{w}{A \cdot t \cdot p}$ dalam satuan mpy. Pengaruh waktu proses korosi terhadap laju korosi ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Laju Korosi terhadap Waktu proses korosi

Pada Gambar 2. Menampilkan bahwa laju korosi mulai minggu pertama sampai minggu ke-tiga mempunyai laju korosi yang hampir sama yaitu 0,23- 0,26 mpy atau mengalami sedikit kenaikan dengan bertambahnya waktu atau boleh dikatakan stabil. Hal ini diakibatkan reaksi korosi dan pembentukan oksida sebagai produk korosi berlangsung secara stabil akibat kondisi lingkungan tidak mengalami perubahan yang berarti. Namun, pada minggu ke-empat laju korosinya mencapai 0,39 mpy yang menunjukkan kenaikan yang cukup berarti. Ini disebabkan kondisi lingkungan yang lembab akibat sering hujan. Perbedaan laju korosi logam di atmosfer dipengaruhi oleh lingkungan atmosfer yang berupa suhu, arah atau laju angin, kelembaban, dan polusi udara di sekitar lokasi (Jones, 1992, Trethewey, 1991).

Laju korosi logam baja karbon sekitar 0,23- 0,26 mpy merupakan laju korosi yang masih sangat rendah atau lingkungan atmosfer di sekitar laboratorium gedung kimia atas masih sangat bagus dengan laju korosi lebih rendah dari 1 mpy (Jones, 1992).

Mekanisme atau proses korosi di atmosfer secara elektrokimia (Jones, 1992) dapat dijelaskan sebagai berikut.

Proses korosi dimulai dari pelarutan anodik besi:

Reaksi ini terjadi di antar muka logam besi atau di bawah lapisan magnetit. Ion ferro (Fe^{2+}) dijenuhkan dalam pori-pori magnetit bereaksi dengan oksigen di luar permukaan magnetit membentuk magnetit, dengan reaksi :

Reaksi reduksi katodik adalah reduksi ion feri dalam FeOOH (karat) menjadi ion ferro dalam bentuk magnetit (Fe_3O_4) diantar muka antara dua atom.

Oksigen atmosfer bermigrasi melalui batas butir yang terbuka di lapisan luar FeOOH, yang kemudian dioksidasi kembali magnetit menjadi karat.

Hasil pengkorosian material baja karbon di lingkungan atmosfer adalah produk korosi berupa bintik-bintik berwarna coklat yang ditunjukkan pada gambar 3.

Gambar 3. Korosi logam di atmosfer

Berdasarkan gambar 3 ditunjukkan bahwa bintik-bintik coklat di sudut logam lebih banyak. Ini menunjukkan bahwa proses korosi logam dimulai dari struktur logam yang paling rentan (mudah bereaksi) dengan lingkungan. Dengan bertambahnya waktu, maka proses anodik dan katodik terjadi di permukaan logam dengan laju korosi yang sama. Proses korosi seperti ini disebut korosi merata (Jones, 1992).

Hasil foto mikro korosi baja karbon di atmosfer ditunjukkan pada gambar 4.

Gambar 4. Foto mikro korosi atmosfer (5x)

Gambar 4 menampilkan foto mikro permukaan logam kondisi awal (a) dengan permukaan yang bersih dan rata serta ukuran oksida 8 µm dan 17 µm. Permukaan logam berwarna coklat tua (b) hasil pengkorosian selama 4 minggu dengan produk korosi dari $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ atau $\text{FeO}(\text{OH})$ yang dihasilkan dari proses korosi di lingkungan udara lembab (Jones, 1992). Permukaan logam dengan produk korosi dibersihkan (gambar 4c) menampilkan permukaan logam yang masih tampak adanya lubang-lubang akibat adanya serangan korosi di atmosfer. Proses korosi menjalar pada goresan kertas abrasif pada saat pembersihan permukaan logam secara mekanik, dengan lebar lubang bervariasi mulai dari yang kecil 39 µm, 50 µm, 124 µm dan ada yang lebih besar.

3.2 Proses Korosi Logam Sistem Air Pendingin

Proses korosi dalam sistem air pendingin dilakukan dengan simulasi peralatan sederhana berupa pipa fiber gelas yang dialiri air dingin. Logam baja karbon yang digunakan untuk simulasi (dengan berat tertentu) ditempatkan dalam pipa aliran air pendingin selama kurun waktu tertentu dari kondisi logam. Hasil korosi logam baja karbon dalam berbagai waktu ditunjukkan pada gambar 5.

•Gambar 5. Kehilangan massa terhadap waktu proses korosi

Pada gambar 5. ditampilkan semakin lama proses korosi menghasilkan kehilangan berat yang semakin meningkat. Ini berarti produk korosi juga meningkat atau proses korosi logam meningkat yang menyebabkan logam semakin berkurang. Reaksi korosi logam baja karbon dalam sistem air pendingin menyebabkan proses oksidasi, sehingga daerah ini bersifat anodik dan logam berubah menjadi ion fero (Fe^{2+}).

Air pendingin mengandung oksigen terlarut menyebabkan molekul oksigen dan air tertarik ke permukaan logam akibat adanya elektron yang dilepaskan oleh atom besi (Fe) semakin meningkat, sehingga molekul air dan oksigen mengalami reduksi dan daerah ini menjadi bersifat katodik menghasilkan ion hidroksil (OH^-). Adanya ion Fe^{2+} dan ion OH^- serta oksigen di permukaan logam yang semakin meningkat, maka kedua ion tersebut bereaksi membentuk $\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang akhirnya berubah menjadi $\text{Fe}(\text{OH})_3$ atau FeOOH yang berwarna coklat menempel di permukaan logam yang akhirnya membentuk kerak (Jones, 1992). Kerak berwarna coklat di permukaan logam baja (gambar 6).

Gambar 6 Korosi logam sistem air dingin

Laju korosi baja karbon dalam sistem air pendingin terhadap waktu pengkorosian

logam ditunjukkan pada Gambar 7.

Gambar 7. Laju korosi logam terhadap waktu

Dari gambar 7 ditunjukkan bahwa laju korosi baja karbon dalam sistem air pendingin mengalami kenaikan dengan bertambahnya waktu proses korosi sampai hari ke -10 dan hari ke-10 sampai hari ke-13 laju reaksinya stabil atau tidak menunjukkan kenaikan yang berarti. Ini menunjukkan bahwa setelah hari ke-10 reaksi korosi berlangsung stabil akibat laju alir air stabil dan kandungan oksigen di dalam air sudah stabil dan tidak mengalami perubahan. Laju korosinya mencapai 3,52 mpy. Selain itu, pH lingkungan naik menjadi basa yaitu dari pH 6,5 menjadi 9.

Lingkungan air yang basa menyebabkan laju korosi menjadi stabil akibat terbentuk lapisan pasif (Trethewey, 1991).

Hasil foto mikro perubahan permukaan logam selama proses pengkorosian ditunjukkan pada gambar 8.

Gambar 8. Fotomikro proses korosi di air pendingin

Gambar 8 menunjukkan bahwa permukaan logam baja karbon pada kondisi awal (a), 10 hari (b), dan 13 hari (c), mengalami perubahan. Pada kondisi awal permukaan logam tampak bersih, sedangkan proses pengkorosian selama 10 hari menunjukkan adanya lubang-lubang akibat produk korosi ($69\ \mu\text{m}$, $201\ \mu\text{m}$) yang belum merata, dan proses pengkorosian selama 13 hari menunjukkan lubang-lubang yang lebih besar daripada 10 hari dan merata di permukaan logam. Hal tersebut membuktikan bahwa semakin lama proses korosi menghasilkan serangan dan produk korosi semakin banyak. Untuk itu waktu, suhu, kelembaban udara, pengotor udara, serta arah angin mempengaruhi laju, jumlah, dan produk korosi (Trethewey, 1991)

3.3 Proses Korosi Logam dalam air panas

Proses korosi dalam sistem air panas (steam) dilakukan dengan membuat simulasi peralatan sederhana berupa pipa fiber gelas yang dialiri air panas dalam sistem sirkulasi atau air panas dengan diberi stirer pada laju perputaran tertentu. Logam baja karbon untuk simulasi (sudah diketahui beratnya) ditempatkan dalam pipa aliran air panas dan dalam waktu tertentu diamati kondisi logam. Setelah cukup waktu, logam yang dikorosikan diambil, dibersihkan produk korosinya, dikeringkan dan ditimbang berat akhirnya. Dari jumlah kehilangan berat dapat dihitung besarnya laju korosi. Produk korosi di permukaan logam berwarna coklat ditunjukkan pada Gambar 10.

Gambar 10. Korosi dalam air panas

Proses korosi di permukaan logam baja karbon dimulai dari pelarutan besi menjadi ion ferro (Fe^{2+}) di anodik : $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}$

Pengaruh suhu, pH, dan kandungan oksigen terlarut dalam air saling berkaitan. Suhu semakin tinggi kelarutan oksigen menurun dan pH air menjadi naik, sehingga laju korosi menjadi turun (Trethewey, 1991). Pada kondisi netral, reaksi reduksi di katodik di muka logam adalah

Reaksi anodik dan katodik ini terjadi di antar muka logam, sehingga ion Fe^{2+} dan ion hidroksil (OH^-) bereaksi di permukaan logam menghasilkan senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang mengendap. Endapan $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ini secara termodinamika tidak stabil dan dengan adanya oksigen terlarut dalam air akan bereaksi menghasilkan endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ atau $\text{FeO}(\text{OH})$ yang berwarna coklat di muka logam seperti ditunjukkan pada gambar 4.10.

Dalam air tanah yang mengandung kalsium dan magnesium sebagai air sadah akan mempengaruhi laju korosi baja karbon, akibat kation kalsium dan magnesium dengan adanya gas karbon dioksida dan ion hidroksida akan membentuk kerak sebagai kalsium atau magnesium karbonat (Trethewey, 1991). Kelarutan kalsium karbonat dalam air rendah, selaput mengendap dari bikarbonat yang dihasilkan melalui reaksi

Ketika air menjadi panas kandungan karbon dioksida (CO_2) menurun dalam larutan, sehingga pH naik dan reaksi akan bergeser ke arah pembentukan CaCO_3 .

Hasil korosi logam baja karbon yang dilakukan dalam air pada suhu $75-80^\circ\text{C}$ dalam berbagai waktu ditunjukkan pada gambar 11.

Gambar 11. Kehilangan berat terhadap waktu proses korosi pada T 25-80°C

Pada gambar 11 ditunjukkan, bahwa semakin lama waktu pengkorosian menghasilkan kehilangan berat semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa waktu proses korosi mempengaruhi kehilangan berat ak semakin lama waktu proses korosi dalam air panas (75oC) menyebabkan waktu reaksi korosi semakin lama, sehingga berat yang logam yang hilang meningkat (Jones, 1992) sampai mencapai 29,17 mg/dm² untuk waktu pengkorosian selama 7 jam. Laju korosi baja karbon terhadap waktu pengkorosian dalam air panas ditunjukkan pada gambar 12.

Gambar 12. Laju korosi terhadap waktu proses korosi

Berdasarkan laju korosi ditunjukkan, bahwa semakin lama waktu pengkorosian menghasilkan laju korosi baja karbon yang semakin meningkat. Hal ini disebabkan

meningkatnya waktureaksi yang menyebabkan reaksi korosi dalam air panas yang disertai pengadukan juga meningkat, sehingga laju korosi masih terus meningkat sampai mencapai 137,12 mpy. Foto mikro permukaan logam pada kondisi awal sampai proses korosi selama 7 jam mengalami perubahan yang jelas seperti ditunjukkan pada gambar 13.

Gambar 13 Foto mikro korosi dalam air panas

Berdasarkan gambar 13 ditampilkan permukaan logam baja karbon dengan waktu pengkorosian di lingkungan air panas. Waktu proses korosi semakin lama menampilkan permukaan dengan lubang-lubang yang semakin meningkat (a-c) dengan ukuran bervariasi ada yang 19 µm dan 182 µm (gambar 13b), 28 µm, 44 µm, dan 144 µm (gambar 13c), dan produk korosi yang berwarna coklat semakin merata menutupi permukaan logam (gambar 13d).

Berdasarkan hasil laju korosi baja karbon di tiga (3) lingkungan menunjukkan, bahwa laju korosi dalam sistem air panas lebih cepat daripada di lingkungan air pendingin dan atmosfer. Laju korosi baja karbon di atmosfer mencapai 0,39 mpy yang menunjukkan lingkungan masih sangat bagus dan korosi terjadi bagian luar logam atau pipa, sehingga pengendalian korosinya atau sistem proteksinya dapat dilakukan menggunakan coating. Laju korosi baja karbon dalam sistem air pendingin 3,52 mpy dan dalam sistem air panas mencapai 137,12 mpy.

Serangan korosi pada baja karbon untuk kedua sistem terjadi di dalam pipa tempat air mengalir, sehingga perlindungannya dapat dilakukan menggunakan inhibitor. Pengendalian dengan coating dan proteksi katodik anoda korban dapat menurunkan potensial baja sampai di bawah kriteria proteksi ($< -850 \text{ mV/CSE}$), untuk coating mencapai $- 896 \text{ mV/CSE}$, proteksi katodik anoda korban Mg dapat mencapai $- 1696 \text{ mV/CSE}$, sedangkan potensial baja telanjang -762 mV/CSE

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan pembahasan, maka penelitian ini dapat disimpulkan bahwa proses korosi baja karbon di atmosfer berlangsung lambat dengan laju korosi mencapai $0,39 \text{ mpy}$, yang mengidentifikasi kondisi lingkungan masih sangat baik. Proses korosi baja karbon di lingkungan air dingin lebih lambat dibandingkan dalam air panas, yaitu mencapai $3,52 \text{ mpy}$ dan dalam air panas $137,12 \text{ mpy}$, kondisi permukaan logam pada kondisi awal adalah bersih dan setelah proses korosi menjadi berwarna coklat yang menunjukkan adanya produk korosi sebagai senyawa $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ untuk kondisi atmosfer yang lembab atau FeO(OH) untuk kondisi dalam air baik dingin maupun panas. Pengendalian dengan coating dan proteksi katodik anoda korban dapat menurunkan potensial baja sampai dibawah kriteria proteksi ($< -850 \text{ mV/CSE}$), untuk coating mencapai $- 896 \text{ mV/CSE}$, proteksi katodik anoda korban Mg dapat mencapai $- 1696 \text{ mV/CSE}$, sedangkan potensial baja telanjang -762 mV/CSE

5. UcapanTerimaKasih

Penelitian ini dibiayai dengan dana APBN dengan nomor kontrak : 984.15 / PL1.R5 /PL/2013 dan tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Fajar yang telah membantu dalam pengambilan data penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Haryanto, (2012), Boiler,Pompa, Turbin, dan kondensor diakses tgl 28 Mei 2013
2. Jones, (1992), Principles and Prevention of Corrosion, Macmillan PC, USA
3. Kusuma, (2012), teori dasar Kondensor, diakses tgl 27 mei 2013
4. Pararaya, (2008), Air dan Fungsinya sebagai Umpan Boiler dan Cooling Tower, diakses tgl 28 Mei 2013
5. Raharjo, (2012), Pengertian Kondensor/kondenser, diakses tgl 27 Mei 2013
6. Supangat , (2013), [Prinsip Kerja Boiler \(Ketel Uap\)](#) . diakses tanggal 27 mei 2013
7. Trethewey, (1991), Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasawan, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta1.
8. Anonim, <http://id.wikipedia.org/wiki/Korosi>)
9. Anonim, <http://id.wikipedia.org/wiki/Korosi>)