



ID0200229

PENGUKURAN LAJU KOROSI MATERIAL SS304 DAN SS321 PADA TEMPERATUR DAN TEKANAN TINGGI DENGAN CMS100

Oleh : Sriyono, Febrianto, Nur Rahmah, Puradwi Ismu W, Edy Sumarno

ABSTRAK

PENGUKURAN LAJU KOROSI MATERIAL SS304 DAN SS321 PADA TEMPERATUR DAN TEKANAN TINGGI DENGAN CMS100. Telah dilakukan pengukuran laju korosi material SS 321 dan SS304 pada temperatur dan tekanan tinggi dengan menggunakan CMS100. Pengukuran ini dilakukan sebagai langkah pendekatan pada proses korosi yang terjadi pada operasi pembangkit uap yang sebenarnya. Meskipun tidak semua parameter dapat terwakili tetapi diharapkan hasil yang didapat telah memberikan gambaran tentang kondisi korosi yang sebenarnya terjadi pada pembangkit uap. Pengukuran korosi pada temperatur dan tekanan tinggi seharusnya dilakukan dengan menggunakan simulasi pembangkit uap seperti Primary Loop ataupun dengan menggunakan Autoclave. Tetapi karena kondisi Primary Loop yang belum memungkinkan untuk digunakan, serta permasalahan dalam kapilaritas Jembatan Garam dari Autoclave maka untuk mensimulasikan kondisi tekanan dan temperatur tinggi, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pemanas atau heater. Tentu saja dengan menggunakan heater, temperatur yang dicapai maksimal hanya 70 °C pada tekanan 1 atmosfer. Dari hasil analisis Tafel CMS100 dan perhitungan tangan dengan menggunakan rumus $CR = I_{corr} \cdot K \cdot E_w / (D \cdot A)$ maka dapat disimpulkan bahwa laju korosi SS321 dan SS304 terhadap NaCl 3% menunjukkan adanya korelasi yang semakin naik pada temperatur yang lebih tinggi. Selain itu apabila kedua hasilnya dibandingkan menunjukkan bahwa SS321 lebih tahan terhadap NaCl 3% dibandingkan dengan SS304 pada lingkungan yang sama. Kekuatan terhadap laju korosi SS321 pada lingkungan NaCl 3% adalah rata-rata 3 kali lipat dari kekuatan SS304 pada lingkungan yang sama.

ABSTRACT

CORROSION MEASUREMENT OF SS321, SS304 ON HIGH PRESSURE AND TEMPERATURE BY USING CMS100. Corrosion measurement of SS321 and SS304 on high temperature and pressure had done. This measurement is done to simulate the real corrosion phenomena on steam generator. Even though, not all parameter can be simulating, it's expected to explained corrosion process on steam generator. Actually, this experiment can done by using Primary Loop, because of several problem on its, i.e.: salt bridge or the capillarity of salt bridge, so this research done by using heater. Of course, the maximum temperature it's only 70 C. Also the pressure just only 1 bar (atmosphere). From the Tafel Analysis of CMS100, and by using hand calculation, it can conclude that SS321 stronger than SS304 at the same environment NaCl 3%.

PENDAHULUAN

Pembangkit Uap atau steam generator beroperasi pada temperatur dan tekanan tinggi yaitu ± 64 bar dan ± 300 C. Permasalahan yang sering terjadi pada pembangkit uap ini adalah permasalahan korosi. Seperti pada kasus kecelakaan Reaktor MIHAMA II, di Jepang, yang mengakibatkan berhentinya operasi reaktor disebabkan oleh adanya leakage/kebocoran pada tube-tube pembangkit uap yang diakibatkan oleh peristiwa korosi.

Untuk mempelajari berbagai fenomena korosi yang terjadi pada pembangkit uap itu, diperlukan suatu penelitian yang dapat mensimulasikan kondisi yang sebenarnya dari operasinya pembangkit uap. Untuk mensimulasikan kondisi tersebut, P2TKN mempunyai peralatan eksperimental yang dinamakan Primary Loop. Tetapi karena saat ini Primary Loop sedang mengalami berbagai modifikasi dan perbaikan maka peralatan tersebut belum dapat digunakan. Untuk mengatasi kendala ini sebenarnya telah pula dilakukan rancang bangun pengukuran laju korosi pada Autoclave menggunakan CMS100. Permasalahan yang ada pada Autoclave ini adalah belum sempurnanya karakterisasi desain Jembatan Garam.

Oleh karena berbagai kendala ini maka simulasi yang memungkinkan dapat dilakukan eksperimen adalah dengan menggunakan *heater*/ pemanas. Dengan menggunakan heater maka temperatur maksimum yang dapat dicapai adalah 70 °C dan tekanan 1 bar. Dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran kondisi korosi yang sebenarnya pada pembangkit uap.

TEORI

Korosi temperatur tinggi didefinisikan sebagai proses degradasi material, termasuk degradasi sifat-sifat mekaniknya, yang disebabkan oleh pengaruh atmosfer pada temperatur tinggi (tanpa adanya fasa air). Pada jenis korosi semacam ini, temperatur tinggi mempunyai peran ganda terhadap kerusakan logam yang ditimbulkannya. Dari segi kenaikan temperatur mempengaruhi termodinamika dan kinetika reaksinya, di segi lain struktur dan perilaku logam juga akan terpengaruh. Oleh karenanya disamping kerusakan yang berupa degradasi fisik pada permukaan (kerusakan eksternal), tak kurang pentingnya adalah terjadinya perapuhan internal (degradasi sifat mekanik) yang tidak terlihat secara visual tetapi akan berakibat fatal.

Seperti halnya pada proses-proses korosi basah, atmosfer yang bersifat oksidatif merupakan lingkungan penyebab utama terjadinya korosi temperatur tinggi, khususnya yang mengakibatkan kerusakan pada permukaan logam.

Pada umumnya pengertian korosi temperatur tinggi terutama mencakup reaksi langsung antara logam (padat) dengan gas/steam. Namun dalam lingkungan tertentu kerusakan logam dapat diakibatkan oleh reaksi dengan lelehan garam ('*fused salt*') yang terbentuk pada temperatur tinggi tersebut. Untuk membedakannya dengan jenis korosi temperatur tinggi yang lain, bentuk korosi yang terakhir ini sering dinamakan "hot corrosion" atau korosi panas.

Reaksi logam dengan Gas pada Temperatur tinggi

Kecenderungan logam-logam untuk bereaksi dengan unsur lain membentuk senyawa tertentu pada dasarnya adalah fenomena alamiah yang sulit dicegah kelangsungannya. Kecuali logam-logam mulia (emas, perak), pada umumnya logam-logam lain dalam udara normal, pada temperatur kamar pun cenderung bereaksi membentuk senyawa oksidanya. Adanya sulfur dalam atmosfer juga memungkinkan terbentuknya sulfida berbagai logam.

Kecenderungan berlangsungnya reaksi serta lambat cepatnya reaksi tergantung pada jenis logam serta kondisi lingkungan dan temperaturnya.

Reaksi logam dengan oksigen

Pada temperatur tinggi, dimana air tidak lagi stabil sebagai fasa cair, reaksi antara logam dengan oksigen dapat dianggap sebagai suatu jenis reaksi kimia biasa. Secara termodinamis kecenderungan berlangsungnya operasi ditentukan oleh perubahan energi bebas (ΔG) yang menyertai pembentukan oksida logam yang bersangkutan. Apabila reaksi umumnya dituliskan sebagai :

Nisbah Pilling Bedworth

Pendekatan paling sederhana, khususnya pada awal pengkajian ilmiah proses oksidasi, diperkenalkan oleh Pilling dan Bedworth yang menyatakan bahwa daya tahan terhadap oksidasi suatu logam berkaitan dengan nisbah volume oksida yang terbentuk terhadap logam yang teroksidasi. Secara matematis hubungan tersebut yang kemudian dikenal dengan "Nisbah Pilling-Bedworth" dinyatakan oleh persamaan :

$$R = \frac{W.d}{D.w} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan :

W : berat molekul oksida

w : berat atom logam

D : rapat jenis oksida

d : rapat jenis logam

Nisbah R tidak lain menunjukkan volume oksida yang terbentuk persatuan volume logam.

Menurut Pilling dan Bedworth, kemampuan lapisan oksida melindungi permukaan logam terhadap korosi/oksida selanjutnya, tergantung pada harga R. Nisbah yang ideal agar oksidasi tidak berlanjut adalah mendekati harga 1. Bila terlalu kecil oksida tidak mencukupi untuk meliputi seluruh permukaan logam, sehingga tidak protektif. Sebaliknya bila terlalu jauh lebih besar dari 1 akan cenderung menimbulkan tegangan di dalam oksida yang mengakibatkan rendahnya daya tahan terhadap oksida karena terjadinya keretakan dan keruntuhan.

Pada Tabel 1 ditunjukkan nisbah volume untuk berbagai logam yang membentuk oksida bersifat protektif dan yang non protektif. Terlihat bahwa harga nisbah tersebut tidak secara tepat dipakai untuk meramalkan daya tahan oksidasi, meskipun memang ada persesuaian secara kualitatif dengan Teori Pilling Bedworth. Secara umum logam-logam dengan nisbah volume lebih kecil dari 1 atau yang jauh lebih besar (2-3) membentuk oksida-oksida yang non protektif.

Penyimpangan-penyimpangan yang terjadi dapat dimengerti karena kemudian diketahui bahwa ada sifat-sifat lain yang tak kurang penting pengaruhnya terhadap daya tahan oksidasi.

Tabel 1. Nisbah volume oksida logam

Oksida-oksida protektif	Oksida-oksida non protektif
Be-1,59	Li-0,57
Cu-1,68	Na-0,57
Al-1,28	K-0,45
Si-2,27	Ag-1,59
Cr-1,99	Cd-1,21
Mn-1,79	Ti-1,95
Fe-1,77	Mo-3,40
Co-1,99	Cb-2,61
Ni-1,52	W-3,40
Pd-1,60	Ta-2,23
Ce-1,16	U-3,05
	V-3,18

Pembentukan dan Pertumbuhan Oksida Logam

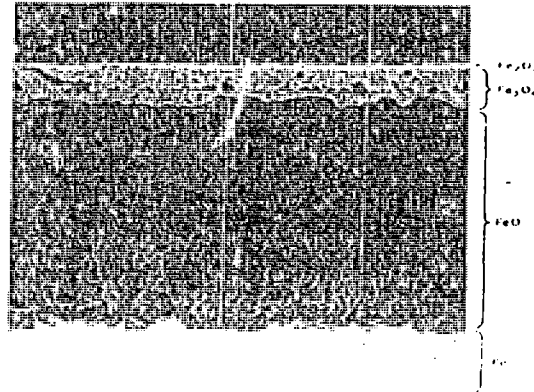
Karakteristik lapisan kerak oksida yang terbentuk pada oksidasi logam oleh gas pada temperatur tinggi, sangat menentukan perilaku logam dalam suatu atmosfer yang korosif. Demikian pula usaha pengendalian korosi temperatur tinggi pada umumnya didasarkan pada usaha-usaha pemaduan logam sehingga lapisan kerak yang terbentuk dapat memiliki sifat protektif untuk menghambat proses korosi yang lebih lanjut. Oleh karena itu ihwal pembentukan oksida dan pertumbuhannya merupakan aspek pokok yang menjadi tolok ukur proses korosi temperatur tinggi.

Berbagai diagram fase sistem logam-logam oksigen menunjukkan adanya beberapa oksida biner yang stabil. Misalnya besi dapat membentuk senyawa FeO , Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 ; tembaga dapat membentuk Cu_2O dan CuO dsb.nya. Dalam pembentukan kerak oksida pada logam-logam murni, umumnya fasa-fasa oksida yang stabil terbentuk secara bertahap-bergilir. Senyawa yang paling kaya oksigen (dengan derajat oksidasi tertinggi) terdapat pada antarmuka kerak-gas, sedangkan senyawa yang paling kaya dengan logam (derajat oksidasi terendah) berada pada antarmuka logam kerak. Jadi untuk Fe pada temperatur diatas 560 C urutan fasanya adalah: $\text{Fe}/\text{FeO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{O}_2$ seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Ketebalan relatif masing-masing fasa ditentukan oleh laju difusi ionik melalui fasa tersebut. Namun komplikasi morfologi atau nukleasi kadang-kadang terjadi dalam oksidasi beberapa logam sehingga yang terbentuk bukanlah fasa-fasa yang stabil, melainkan justru yang metastabil.

Kerak yang terbentuk pada logam-logam dasar yang umum seperti Fe, Ni, Cu, Cr dan Co terutama tumbuh pada antarmuka kerak-gas oleh difusi kation keluar. Akan tetapi karena adanya kekosongan (vacancy) pada antarmuka logam-kerak, sejumlah rongga kan terbentuk pada bagian dalam kerak. Diperkirakan bahwa sejumlah oksida yang berada di bagian tengah kerak terurai mengakibatkan terjadinya perpindahan kation keluar dan molekul-molekul gas ke dalam melalui rongga-rongga tersebut. Dengan mekanisme semacam ini, kerak diperkirakan tumbuh pada dua sisi, yaitu pada antarmuka kerak-gas oleh reaksi kation dengan oksigen dan pada antarmuka logam-kerak oleh reaksi kimia molekul oksigen dan logam.

Bertentangan dengan pada logam-logam dasar diatas, dalam pembentukan oksida logam-logam seperti TA, Cb(Nb), Hf, dan mungkin juga Ti, dan Zr peranan difusi ion-ion oksigen jauh lebih menonjol daripada difusi kation, sehingga dalam keadaan ideal pembentukan oksida terutama terjadi pada antarmuka logam-kerak. Namun demikian setelah tahap awal pembentukan kerak berlangsung

pembentukan oksida tidak lagi dikendalikan oleh difusi pada kerak, karena sifat kerak yang porous mengakibatkan kemungkinan molekul oksigen dapat berdifusi dalam fasa gas melalui pori-pori/rongga-rongga yang terbentuk. Mekanisme ini akan mempercepat laju korosi.



Gambar 1. Lapisan-lapisan oksida Fe terbentuk pada korosi temperatur tinggi

TATA KERJA PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat

1. CMS100
2. Peralatan mounting
3. Peralatan bengkel
4. Termometer
5. Pemanas (heater)

Bahan

1. Resin Epokwick
2. Hardener Epokwick
3. Larutan NaCl 3%

PEMBUATAN SAMPEL

1. Specimen uji SS304 dan SS321 dibuat dalam ukuran permukaan uji $\pm 1 \text{ cm}^2$
2. Specimen uji di mounting
3. Setelah kering bahan mountingnya, permukaannya dipoles dengan amplas 400, 600, 800, dan 1000

PENGUJIAN DENGAN CMS100

1. Disiapkan lingkungan uji dalam gelas beker 200ml
2. Pengujian dilakukan dalam kondisi kamar dan peningkatan temperatur 30°C, 40°C, 50°C, 60°C dan 70 °C selama waktu pengujian 6 jam

ANALISIS DENGAN CMS100

Setelah selesai pengambilan data pengukuran laju korosi, data diolah dan dianalisis dengan Tafel Analysis yang telah disediakan oleh CMS100.

PERHITUNGAN

$$CR = I_{CORR} \cdot K \cdot \frac{E_w}{D \cdot A}$$

Untuk menghitung laju korosi yang terjadi dipakai rumus :

dengan :

CR = corrotion rate

Icorr = arus korosi yang didapatkan dari Analysis Tafel CMS100

K = tetapan ($1,288 \times 10^5$) jika satuan mpy

Ew = berat ekivalen

D = densitas sampel

A = luas area pengukuran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pendahuluan dilakukan pada temperatur dan tekanan kamar untuk kedua material SS321 dan SS304. Penelitian ini berguna sebagai pembanding terhadap hasil dari pengukuran pada temperatur yang lebih tinggi. Hasil pengukuran laju korosi dapat dilihat pada Tabel 2. Dari data Tabel 2 diketahui bahwa laju korosi SS304 lebih besar dari SS321 pada lingkungan NaCl 3%.

Tabel 2. Hasil pengukuran laju korosi pada temperatur dan tekanan kamar

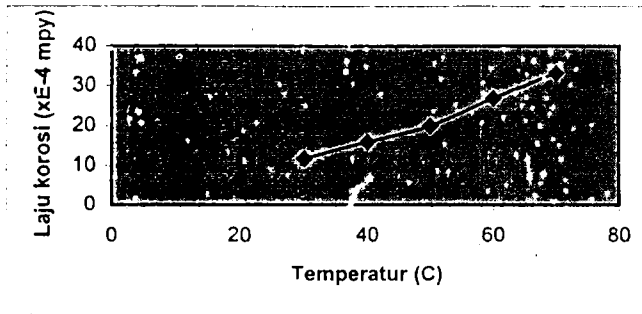
Larutan	Spesimen uji	Corrosion rate
NaCl 3%	SS321	$1,16 \times 10^{-4}$
	SS304	$4,22 \times 10^{-4}$

Penelitian ini seharusnya dilakukan pada temperatur dan tekanan tinggi. Tetapi karena keterbatasan alat maka penelitian hanya dapat dilakukan sampai dengan 70 °C dengan menggunakan heater pada tekanan kamar 1 atmosfer. Hasil dari pengukuran laju korosi untuk material SS321 dan SS304 pada temperatur sampai dengan 70°C dapat dilihat pada Tabel 3.

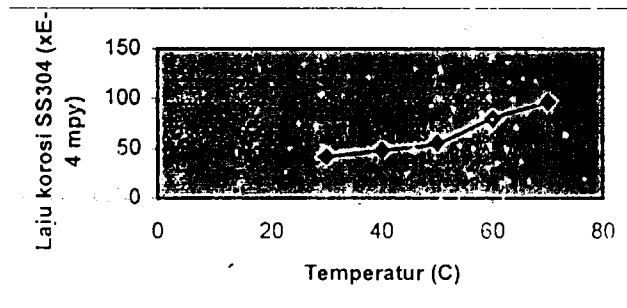
Tabel 3. Hasil pengukuran laju korosi SS321 pada temperatur 30°C – 70 °C dengan CMS100

Larutan	Temperatur (°C)	Spesimen uji	Laju korosi (mpy)
NaCl 3%	30	SS321	$1,16 \times 10^{-4}$
	40	SS321	$1,59 \times 10^{-4}$
	50	SS321	$2,00 \times 10^{-4}$
	60	SS321	$2,69 \times 10^{-4}$
	70	SS321	$3,32 \times 10^{-4}$
NaCl 3%	30	SS304	$4,22 \times 10^{-4}$
	40	SS304	$4,87 \times 10^{-4}$
	50	SS304	$5,60 \times 10^{-4}$
	60	SS304	$8,02 \times 10^{-4}$
	70	SS304	$9,72 \times 10^{-4}$

Kecenderungan laju Korosi material SS321 dan SS304 pada NaCl 3% terhadap variasi temperatur dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Kecenderungan laju korosi adalah semakin meningkat dengan adanya kenaikan temperatur.



Gambar 2. Hubungan laju korosi dan temperatur untuk SS321



Gambar 3. Hubungan laju korosi dan temperatur

KESIMPULAN

Dari hasil analisa Tafel dan perhitungan tangan, laju korosi SS321 adalah sepertiga laju korosi SS304 pada lingkungan yang sama. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa SS321 mempunyai ketahanan tiga kali lebih besar apabila dibandingkan dengan SS304 pada lingkungan larutan NaCl 3%.

SARAN

Penelitian ini masih jauh dari harapan, oleh sebab itu akan dilanjutkan lagi pada temperatur dan tekanan yang lebih tinggi. Tentu saja penelitian tersebut akan berhasil apabila disain penempatan elektroda CMS100 pada temperatur dan tekanan tinggi telah berhasil pula.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kepada teman-teman se BK2S saya ucapkan terima kasih atas terselesaikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. -----, CMS100 Framework Operator's Manual, Gamry Instrument, Inc. USA, 1994
2. CHAMBERLAIN J., TRETHEWEY K., Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan, Gramedia, Jakarta 1991
3. FONTANA, M.G., Corrosion Engineering, Second Edition, Mc. Graw Hill Book Company, 1987
4. SEDRIKS. A. JOHN., Corrosion of Stainless Steel, John Wiley & Sons, New York, 1979
5. BOEDIORO S., ROZIK, DR.IR, Dasar-Dasar Korosi Temperatur Tinggi, Jurusan Metalurgi, Teknik Pertambangan, ITB-Bandung, 1986