

PENGARUH KUALITAS AIR DARI WADUK JATILUHUR SEBAGAI PENDINGIN TERHADAP KOROSI PADA UNIT PENUKAR PANAS

Saefudin* dan Sundjono

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI
Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan
E-mail : *saef003@lipi.go.id

Masuk tanggal : 15-01-2015, revisi tanggal : 09-03-2015, diterima untuk diterbitkan tanggal : 19-03-2015

Intisari

PENGARUH KUALITAS AIR DARI WADUK JATILUHUR SEBAGAI PENDINGIN TERHADAP KOROSI PADA UNIT PENUKAR PANAS. Masalah korosi dan pembentukan kerak sering terjadi di sektor industri khususnya pada unit penukar panas. Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi logam dan pembentukan kerak antara lain kualitas air pendingin, temperatur, pH dan jenis material logam. Telah dilakukan penelitian pengaruh air pendingin dari waduk jatiluhur terhadap korosi pada material pipa penukar panas dan utilitas yang terbuat dari baja karbon tipe: A179, C1045, A192 dan A515-70, dalam variasi temperatur: 32, 37 dan 50°C, dengan menggunakan teknik polarisasi dan prediksi kecenderungan pembentukan kerak, yang ditentukan dari hasil analisa kimia air pendingin berdasarkan metoda derajat kejenuhan Langelier. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi baja karbon sebagai pipa pendingin dipengaruhi oleh kualitas air pendingin, temperatur, komposisi kimia, dan strukturmikro. Hasil analisa kimia air dari kedua contoh air pendingin mempunyai harga derajat indek kejenuhan negatif. Ini menunjukkan bahwa air pendingin dari waduk Jatiluhur cenderung korosif.

Kata kunci : Korosi, Unit penukar panas, Kualitas air pendingin, Derajat kejenuhan Langelier, Waduk jatiluhur

Abstract

EFFECT OF WATER QUALITY OF RESERVOIR JATILUHUR AS TO CORROSION ON COOLING UNIT HEAT EXCHANGER. The problems of corrosion and scale formation often occur in the industrial sector, especially in heat exchanger unit. The factors, which influence the corrosion of metals and scale formation are the quality of the cooling water, the temperature, pH and the kind of metals. Some of observations had been performed to analyze the influence of the cooling water from Jatiluhur Dam to corrosion at the material tube of the heat exchanger and utility which made from carbon steel type : A179C;1045; A192; and A515-70 in the variable of temperatures: 32, 37 and 50 °C, by means of the polarization method and the prediction of scale formation tendency, which determined from the chemical composition analysis of the cooling water on base of Langelier Saturation Index method. The results of observation showed that the corrosion rates of carbon steels are affected by the quality of the cooling water; the temperature, the chemicals composition. The analysis results from both samples of the cooling water have negative value of the saturation index degree. These showed that cooling water from the Jatiluhur Dam tend to a corrosive.

Keywords : Corrosion, Heat exchanger unit, cooling water quality, Langelier saturation index, Jatiluhur dam

PENDAHULUAN

Air sangat vital dan dibutuhkan untuk unit-unit proses air di industri, diantaranya sebagai fluida pendingin pada unit penukar panas. Akan tetapi, air yang digunakan sebagai fluida pendingin seringkali cenderung korosif terhadap pipa penukar panas dan utilitas yang terbuat dari beberapa jenis baja karbon dan juga dapat menyebabkan pembentukan kerak.

Proses korosi yang terjadi pada unit penukar panas sangat kompleks dan seringkali sulit terdeteksi sampai kebocoran pipa penukar panas terjadi. Tingkat korosi tergantung pada kualitas air pendingin (kandungan konstituen-konstituen agresif seperti ion-ion Cl^- , SO_4^{2-} , gas terlarut O_2 , Cl_2 , CO_2 dan H_2S , padatan terlarut dan kesadahan), jenis material

konstruksi, kondisi operasi seperti laju alir, temperatur dan pH.

Pembentukan kerak pada unit penukar panas dipengaruhi oleh kesadahan kalsium (Ca), padatan terlarut total, alkalinitas total (m-alkalinitas), pH dan temperatur air pendingin. Kerak atau *biofouling* yang terbentuk pada permukaan pipa penukar panas dapat menyebabkan korosi sekunder yaitu korosi sumuran dikarenakan pembentukan sel perbedaan aerasi oksigen dan mempercepat serangan lokal di bawah endapan atau *biofouling* tersebut [1].

Kerugian akibat korosi pada penukar panas diantaranya meliputi: penurunan efisiensi transfer panas, kontaminasi produk, pergantian material logam.

Telah dilakukan penelitian pengaruh kualitas air dari Waduk Jatiluhur, yang digunakan sebagai fluida pendingin pada unit *tubular heat exchanger* resirkulasi terbuka dengan sistem *shell side flow* di industri pupuk, melalui prediksi derajat indek kejenuhan berdasarkan metoda *Langelier saturation index* dan pengaruhnya terhadap korosi pada material pipa penukar panas dan utilitas, yang terbuat dari jenis baja karbon: A179, C1045, A192 dan A515-70 dalam variasi temperatur 32, 37 dan 50°C.

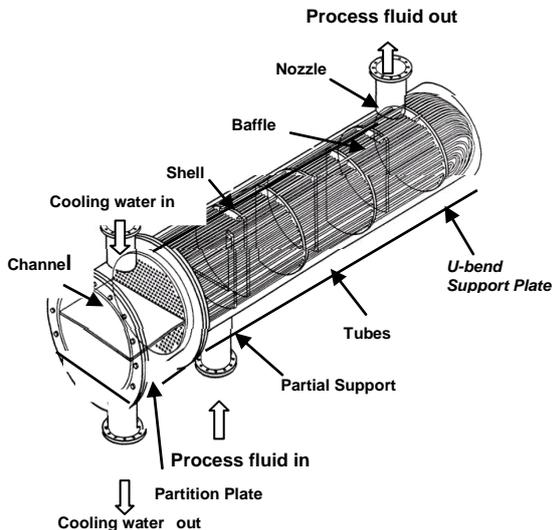
Tujuan penelitian ini dimaksudkan dalam upaya pengendalian korosi dan kerak pada unit *tubular heat exchanger* resirkulasi terbuka dengan sistem *shell side flow* yang sering terjadi di industri pupuk, yang mana dapat mengakibatkan penurunan dan kontaminasi produk, penurunan efisiensi transfer panas, dan pergantian material logam

Latar Belakang dan Teori

Unit penukar panas dapat digunakan sebagai pendingin, pemanas, kondenser atau evaporasi tergantung pada kebutuhan. Struktur penukar panas diklasifikasikan sebagai *tubular heat exchanger*, *coil heat exchanger*, *plate heat exchanger* dan *air fin heat exchanger*. *Tubular heat exchanger* seperti ditunjukkan pada

Gambar 1 sangat luas digunakan di industri.

Material pipa untuk *tubular heat exchanger* tergantung pada media pendingin yang akan digunakan. Bilamana media pendingin berasal dari air danau, material yang banyak digunakan untuk *tubular heat exchanger* adalah baja karbon.



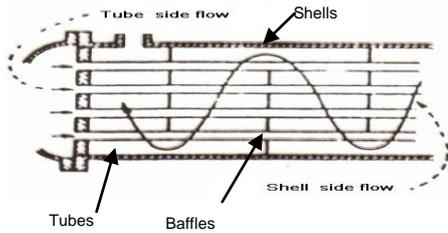
Gambar 1. *Tubular heat exchanger*^[2]

Ada 2 jenis aliran media pendingin pada unit *tubular heat exchanger* :

1. Air pendingin yang mengalir melalui bagian dalam pipa penukar panas, sedangkan fluida produk panas mengalir melalui sel disebut *tube side flow* (Gambar 1).
2. Air pendingin yang mengalir melalui sel, sedangkan fluida produk panas mengalir melalui bagian dalam pipa disebut *shell side flow* (Gambar 2).

Pada kedua sistem ini, air pendingin secara kontinyu mengalir melalui unit *tubular heat exchanger* dan menara pendingin. Menara pendingin berfungsi untuk menghilangkan sebagian panas yang terabsorpsi oleh air pendingin dari fluida produk panas.

Konstituen-konstituen yang sering menyebabkan deposit pada unit *tubular heat exchanger* resirkulasi terbuka dengan sistem *shell side flow* antara lain padatan terlarut (TDS) seperti garam-garam karbonat, bikarbonat dan sulfat dari kalsium dan magnesium^[4].

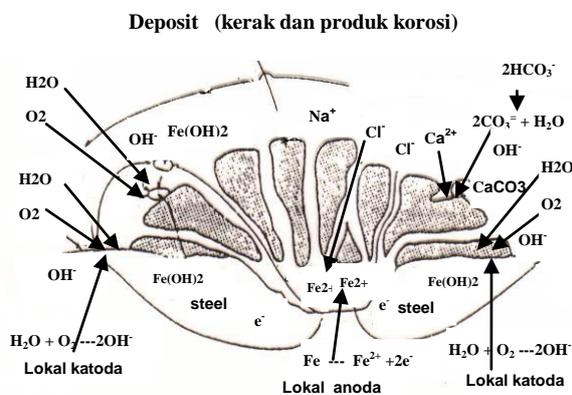


Gambar 2. Aliran fluida air pendingin dengan sistem *shell and tube side flow* dalam *tubular heat exchanger*^[3]

Sedangkan konstituen-konstituen yang sering menyebabkan korosi pada *tubular heat exchanger* yang terbuat dari baja karbon : gas-gas terlarut (seperti O₂, Cl₂, CO₂, dan H₂S), dan ion-ion agresif (seperti klorida dan sulfat)^[5].

Disamping itu pH dan temperatur larutan sangat berpengaruh terhadap korositifitas logam baja karbon dan kecenderungan pembentukan kerak.

Kerak dan produk korosi pada unit *tubular heat exchanger* resirkulasi terbuka dengan sistem *shell side flow*, membentuk ongokan yang dikenal sebagai *tubercles* seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.



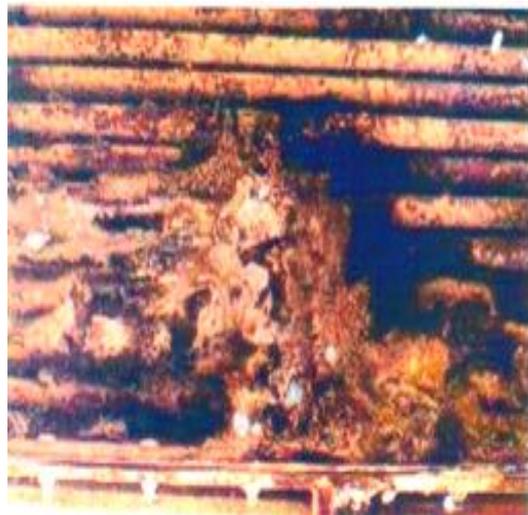
Gambar 3. Mekanisme korosi sumuran di bawah deposit^[6]

Adanya deposit dan produk korosi pada unit *tubular heat exchanger* resirkulasi terbuka dengan sistem *shell side flow* menyebabkan korosi sekunder (korosi sumuran) di bawah deposit dan produk korosi tersebut, yang pada akhirnya mengakibatkan kebocoran pada *tubular*

heat exchanger seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.



(a)



(b)

Gambar 4. (a) Unit *tubular heat exchanger* resirkulasi terbuka dengan sistem *shell side flow*; (b) masalah kebocoran pada *tubular heat exchanger* resirkulasi terbuka dengan sistem *shell side flow* (air pendingin dari waduk Jatiluhur)

Kualitas air yang akan digunakan sebagai air pendingin unit *tubular heat exchanger* resirkulasi terbuka dengan sistem *shell side flow* tergantung pada kondisi proses dan jenis material yang akan digunakan.

Yang paling penting bahwa air tersebut harus tidak cenderung membentuk deposit dan tidak bersifat korosif, yang mana disebut dengan air stabil. Stabilitas air pendingin dapat ditentukan dengan

menggunakan metoda LSI (*Langelier saturation index*)^[7].

Dengan LSI maka kualitas air pendingin bisa diketahui apakah cenderung membentuk endapan kalsium karbonat atau bersifat korosif.

LSI dapat dihitung dari formula sebagai berikut :

$$LSI = pH - pHs$$

dimana :

LSI : *Langelier saturation index*

pH : pH terukur dari air pendingin

pHs : pH air dalam keadaan jenuh

Harga pHs dapat dihitung melalui formula sebagai berikut :

$$pHs = (pK_2 - pK_{sp}) + pCa + palk$$

Dimana :

pK₂ : konstanta disosiasi H₂CO₃ tahap ke 2

pK_{sp} : konstanta kelarutan CaCO₃

pCa : - log Ca²⁺

palk : - log (alkalinitas total)

Harga LSI memberi rumusan sebagai berikut:

pH - pHs kecenderungan air

positif membentuk kerak

nol tidak membentuk kerak dan tidak korosif

negatif bersifat korosif

Tabel 1. Prediksi karakteristik air (LSI) ^[8]

LSI	<i>Tendency of water</i>
2,0	<i>Heavy scale forming, non-aggressive</i>
0,5	<i>Slightly scale forming and mildly aggressive</i>
0	<i>Balance or at CaCO₃ saturation</i>
-0,5	<i>Non-scaling and slightly aggressive</i>
-2,0	<i>Under-saturated, very aggressive</i>

PROSEDUR PERCOBAAN

Pengujian Korosi

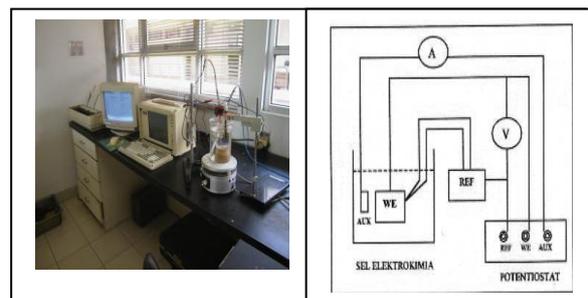
Pengujian laju korosi dari material *tubular heat exchanger* dan utilitas yang terbuat dari baja karbon tipe: A179, C1045, A192 dan A515-70, dilakukan dengan metoda polarisasi Tafel

menggunakan alat potensiostatik CMS100 ^[9].

Persiapan Benda Uji

Benda uji baja karbon dengan ukuran 1 X 1 cm dihubungkan dengan kabel melalui penyolderan dan di monting dalam resin. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji tersebut dipoles dengan kertas ampelas sampai grit 600 dan dibilas dengan aseton.

Benda uji (WE), elektroda pembanding Ag/AgCl (REF) dan elektroda pembantu platina (AUX) dimasukkan ke dalam sel elektrokimia yang berisi larutan uji air pendingin dari waduk Jatiluhur dan dihubungkan ke alat potensiostatik CMS 100 seperti ditunjukkan dalam Gambar 5. Larutan uji dipanaskan pada variasi temperatur: 32, 37 dan 50°C dengan *hot plate*, dan dipertahankan konstan selama percobaan dengan alat termostat.



Gambar 5. Pengukuran laju korosi logam baja karbon dalam media air dari waduk Jatiluhur pada variasi temperatur dengan alat CMS 100

Pengukuran Laju Korosi

Metoda polarisasi Tafel digunakan untuk memperoleh suatu estimasi laju korosi dari benda uji baja karbon dalam media air dari waduk Jatiluhur secara akurat. Arus sel (I) diukur selama perubahan potensial (E) benda uji baja karbon dengan kisaran perubahan potensial dari -250 sampai +250 mV relatif terhadap E_{oc} (*potential open circuit*).

Pengamatan perubahan potensial benda uji baja karbon dimulai dari E awal katodik (-250 mV) ke E akhir anodik (+250 mV). Pembacaan arus pada interval waktu tertentu dicatat secara bersamaan selama perubahan potensial benda uji baja karbon

dan ditampilkan dalam bentuk kurva log I (arus) vs E (potensial) selama pengukuran (*scanning*). Laju korosi benda uji baja karbon diperoleh melalui ekstra polarisasi dari kurva log I (arus) vs E (potensial).

Analisa Komposisi Kimia dan Strukturmikro

Komposisi kimia dari benda uji material baja karbon dari *tubular heat exchanger* dan utilitas tipe: A179, C1045, A192 dan A515-70, dianalisa dengan menggunakan alat spektrofotometer.

Analisa strukturmikro benda uji material baja karbon dari *tubular heat exchanger* dan utilitas tipe: A179, C1045, A192 dan A515-70, diamati dengan menggunakan mikroskop metalurgi Olympus Tipe PME.

Benda uji baja karbon dengan ukuran 10 x 10 mm dimonting dalam resin. Sebelum dilakukan pengamatan di bawah mikroskop metalurgi, benda uji tersebut dipoles dengan kertas ampelas sampai grit 1000 dan dibilas dengan aseton.

Analisa Kimia Air

Komposisi kimia air dari waduk Jatiluhur, yang digunakan sebagai air pendingin untuk unit penukar panas resirkulasi terbuka dianalisa dengan metoda basah menggunakan alat AAS.

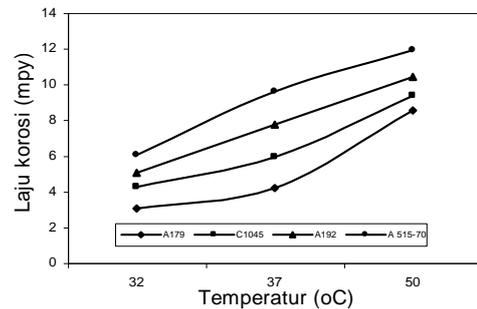
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Temperatur Air Pendingin Terhadap Korosi Logam Baja

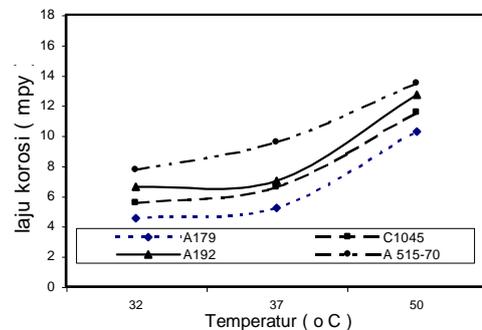
Hasil laju korosi masing-masing benda uji material baja karbon dari *tubular heat exchanger* dan utilitas tipe: A179, C1045, A192 dan A515-70 dalam variasi temperatur : 32, 37 dan 50°C ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 6 dan 7.

Dari Gambar 6 dan 7 menunjukkan bahwa semakin naik temperatur air pendingin dari 32 s/d 50 °C, laju korosi baja karbon *tubular heat exchanger* dan utilitas tipe: A179, C1045, A192 dan A515-70

meningkat, baik dalam air pendingin sampel 1 maupun sampel 2.

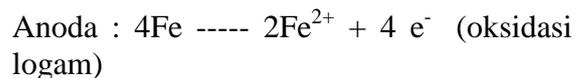
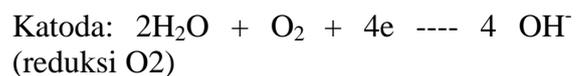


Gambar 6. Pengaruh temperatur terhadap laju korosi baja karbon dalam air pendingin (sampel 1)



Gambar 7. Pengaruh temperatur terhadap laju korosi baja karbon dalam air pendingin (sampel 2)

Temperatur mempunyai pengaruh terhadap korosi oksigen, yang merupakan suatu fenomena elektrokimia. Oksigen terlarut dalam air pendingin sangat berpengaruh terhadap korosi pada logam baja, karena oksigen merupakan bagian dari seluruh reaksi elektrokimia yang terjadi pada antar muka fasa (*interface*) larutan dan permukaan logam melalui reaksi reduksi dan oksidasi pada daerah katoda dan anoda :



Oleh karena itu, korosi logam baja sebanding dengan kadar oksigen terlarut dalam air tersebut.

Disamping itu, temperatur berpengaruh terhadap sifat kimia-fisik (seperti,

viskositas dan konduktivitas) air pendingin.

Konduktivitas merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam proses korosi secara elektrokimia. Konduktivitas air pendingin meningkat dengan kenaikan temperatur, sehingga meningkatkan kinetik reaksi pada anoda-katoda. Sebaliknya viskositas dari air pendingin menurun dengan kenaikan temperatur, yang mana ini meningkatkan laju difusi oksigen ke permukaan logam, sehingga meningkatkan laju korosi karena jumlah oksigen terlarut yang tersedia relatif banyak dikonsumsi untuk proses reduksi pada daerah katoda.

Pengaruh Komposisi Kimia dan Struktur-mikro Pada Logam Baja Terhadap Laju Korosi

Dalam penelitian ini, komposisi kimia dan strukturmikro baja karbon perlu dianalisa dan dievaluasi karena keduanya dapat mempengaruhi tingkat korosi terhadap logam baja tersebut dalam lingkungan air dan kondisi tertentu.

Hasil analisa komposisi kimia material baja karbon dari *tubular heat exchanger* dan utilitas tipe: A179, C1045, A192 dan A515-70 ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisa komposisi kimia baja karbon

Unsur kimia	% komposisi			
	A179*	C1045	A-192	A 515-70
C	0,028	0,50	0,179	0,237
Si	0,163	0,04	0,236	0,250
Mn	0,522	0,90	0,515	0,519
P	0,015	0,035	0,009	0,015
S	0,006	0,040	0,020	0,012

* material *tubular heat exchanger*

Dari Tabel 2 menunjukkan bahwa kadar karbon dari material baja karbon dari *tubular heat exchanger* dan utilitas tipe: A179, C1045, A192 dan A515-70 masing-masing adalah sebesar 0,028; 0,538; 0,179 dan 0,237 %C.

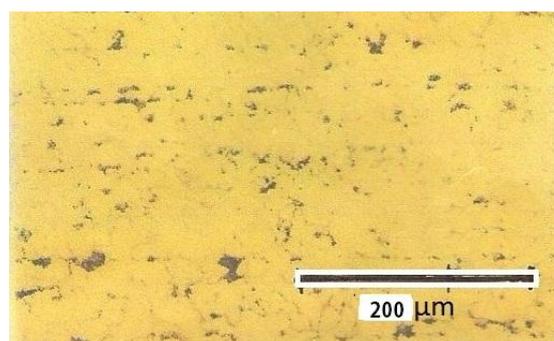
Dari hasil analisa komposisi kimia logam baja menunjukkan bahwa material baja karbon *tubular heat exchanger* tipe A179 (0,028 %C) termasuk dalam kategori

extra low-carbon steel dengan kandungan kadar karbon antara 0,015-0,05 % C. Sedangkan untuk baja karbon tipe: A192 (0,179 %C) termasuk dalam kategori *low-carbon steel* dengan kandungan kadar karbon antara 0,05 – 0,19 %C; baja karbon tipe A515-70 (0,237 %C) termasuk dalam kategori *medium-carbon steel* dengan kandungan kadar karbon antara 0,2- 0,49 %C dan baja karbon AISI C1045, C 0,42 %-0,50%, Mn 0,60%-0,90%, Si 0,15%-0,40%,

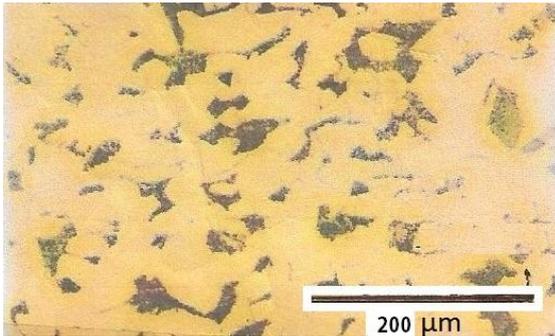
P maks 0,035%, S maks 0,040% atau standar AISI 1045 dimana unsur komposisinya adalah C 0,4%-0,45%; Si 0,1 % - 0,3 %; Mn 0,60 % - 0,90 %; Mo 0,025 %; P 0,04 maks; S 0,05 %.

Pada umumnya laju korosi baja karbon dipengaruhi oleh kadar unsur karbon, karena unsur ini bersenyawa dengan unsur Fe dalam matrik dan membentuk fasa perlit (campuran fasa ferit dan sementit Fe₃C). Disamping itu, kadar karbon juga mempengaruhi bentuk strukturmikro dari baja karbon tersebut.

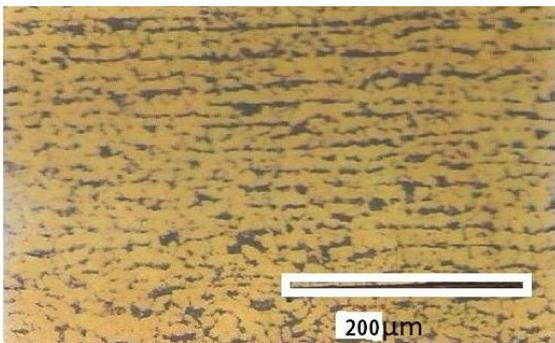
Hasil analisa strukturmikro material baja karbon dari *tubular heat exchanger* dan utilitas tipe: A179, C1045, A192 dan A515-70 ditunjukkan dalam Gambar 8 - 11.



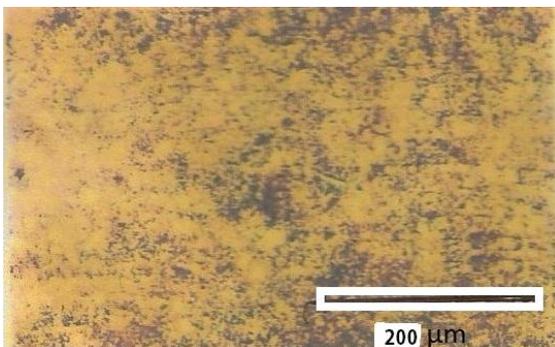
Gambar 8. Foto strukturmikro material *tubular heat exchanger* baja karbon A179 dengan struktur yang terbentuk ferit (putih) dan perlit (hitam). Etsa Nital 2%



Gambar 9. Foto strukturmikro baja karbon A192 dengan struktur yang terbentuk ferit (putih) dan perlit (hitam). Etsa Nital 2%



Gambar 10. Foto strukturmikro baja karbon A 515- 70 dengan struktur yang terbentuk ferit (putih) dan perlit (hitam). Etsa Nital 2%



Gambar 11. Foto strukturmikro baja karbon C1045 dengan struktur yang terbentuk martensit. Etsa Nital 2%

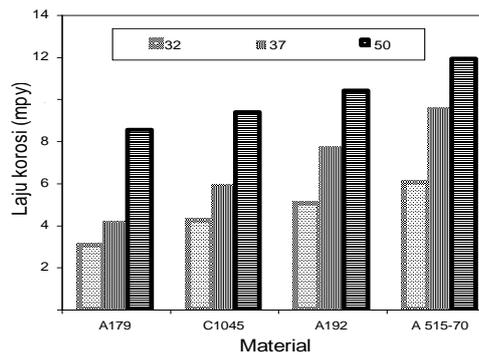
Dari hasil pengamatan strukturmikro seperti yang terlihat masing-masing dalam Gambar 8 - 10 menunjukkan bahwa pada dasarnya material baja karbon tipe: A179, A192, dan A515-70, mempunyai fasa perlit (hitam) yang bersifat katodik dan fasa ferit (putih) yang bersifat anodik (Gambar 8-10). Perbedaan fasa, bentuk dan ukuran butiran serta persentase perlit dalam baja karbon tipe: A179, A192, dan

A515-70, dipengaruhi oleh kadar unsur karbon (C). Semakin besar kadar %C, semakin banyak jumlah fasa perlit yang terbentuk. Sedangkan logam baja karbon tipe C1045 seperti yang terlihat dalam Gambar 11 hanya mempunyai satu fasa yaitu fasa martensit.

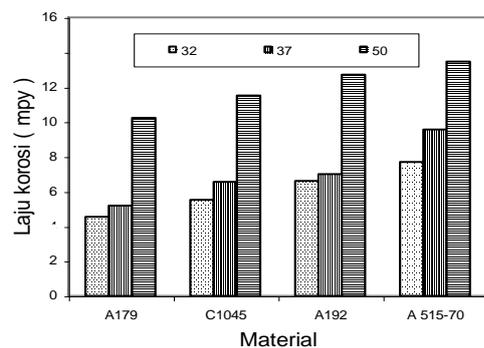
Adanya fasa perlit dan ferit dalam baja karbon tersebut dapat mengakibatkan efek galvanik. Intensitas galvanik dalam baja karbon tergantung perbandingan antara area katodik (fasa perlit) dan area anodik (fasa ferit) dan ukuran butiran. Semakin besar perbandingannya (antara area katodik dan area anodik) dan semakin halus ukuran butiran, intensitas galvaniknya semakin tinggi, sehingga dapat mengakibatkan ketahanan korosi baja tersebut menjadi rendah. Persentase perlit dalam material *tubular heat exchanger* baja karbon tipe: A179, relatif rendah dibandingkan dengan baja karbon tipe: A192, dan A515-70.

Persentase ferit dalam material *tubular heat exchanger* baja karbon tipe: A179 dengan kadar unsur karbon rendah (0,028 %C) adalah sekitar 85% dan persentase perlitnya relatif rendah sekitar 15%, dihitung dari hasil foto strukturmikro (Gambar 8) berdasarkan standar JIS G 0552^[11]. Persentase perlit dalam baja karbon: A192, dan A515-70 relatif besar, karena kadar unsur karbonnya lebih tinggi masing-masing adalah sebesar 0,179%C dan 0,237 %C.

Pada Gambar 11 merupakan strukturmikro yang ditunjukkan dalam baja karbon AISI C1045 adalah fasa martensit, yang merupakan hasil dari proses perlakuan panas dan pendinginan cepat. Dasar pemilihan fasa martensit ini hanya tes cupon saja sebagai pembanding dalam penelitian terhadap material aslinya dengan pengetesan pengaruh korosinya tidak untuk sebagai material *tubular heat exchanger*.



(a)



(b)

Gambar 12. Hubungan antara material logam baja dan laju korosi pada variasi temperatur untuk; (a) sampel 1, (b) sampel 2

Gambar 12 menunjukkan laju korosi dari material *tubular heat exchanger* baja karbon tipe: A179, relatif lebih rendah dibandingkan dengan baja karbon tipe: C1045, A192, dan A515-70 baik dalam larutan uji sampel 1 dan sampel 2 maupun pada variasi temperatur 32, 37 dan 50°C.

Sedangkan laju korosi logam C1045 relatif lebih rendah, baik dalam larutan uji sampel 1 dan sampel 2 maupun pada variasi temperatur 32, 37 dan 50°C dibandingkan dengan baja karbon: A192, dan A515-70, meskipun kadar karbonnya lebih tinggi, karena strukturnya berbentuk fasa tunggal yaitu fasa martensit sehingga efek korosi galvanik relatif kecil. Sedangkan pada logam baja A192 dan A515-70 komposisi strukturnya terdiri dari dua fasa yaitu fasa ferit bertindak sebagai anoda dan fasa perlit bertindak sebagai katoda, sehingga

proporsi dari kedua fasa tersebut akan mempengaruhi laju korosi.

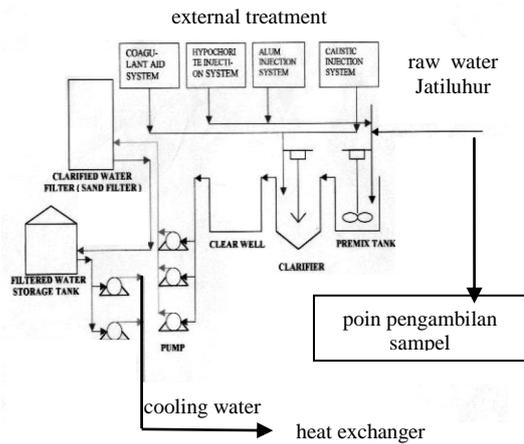
Semakin tinggi kadar karbon, semakin besar fasa perlit yang terbentuk sehingga laju korosi logam baja karbon A515-70 relatif lebih besar dibandingkan dengan baja karbon A192, baik dalam larutan uji sampel 1 dan sampel 2 maupun pada variasi temperatur 32, 37 dan 50°C. Hal ini disebabkan oleh peningkatan efek galvanik.

Pengaruh Kualitas Air Pendingin Terhadap Korosi Logam Baja

Komposisi kimia air dari waduk Jatiluhur, yang digunakan sebagai air pendingin untuk unit *tubular heat exchanger* resirkulasi terbuka dengan sistem *shell side flow* sangat diperlukan, untuk mengetahui kualitas air tersebut. pH, jenis dan konsentrasi dari konstituen-konstituen agresif, padatan terlarut (TDS) dan tersuspensi yang terkandung dalam air baku sangat bervariasi, tergantung sumber air, lokasi dan iklim. Komposisi kimia air digunakan untuk prediksi atau merekomendasikan metoda pengolahan eksternal dan internal, pemilihan jenis material logam dan bahan aditif kimia yang diperlukan dalam pengendalian korosi dan kerak.

Sampel air dari waduk Jatiluhur yang digunakan untuk fluida pendingin pada *tubular heat exchanger* resirkulasi terbuka dengan sistem *shell side flow* diambil dari bagian *inlet water* sebelum proses pengolahan air eksternal seperti ditunjukkan dalam Gambar 13, dilakukan pada waktu musim kemarau dan musim hujan.

Hasil analisa komposisi kimia air dari Waduk Jatiluhur, yang digunakan sebagai air pendingin untuk unit *tubular heat exchanger* resirkulasi terbuka dengan sistem *shell side flow* ditunjukkan dalam Tabel 3.



Gambar 13. Ilustrasi pengambilan sampel air dari waduk Jatiluhur dimana biasa dilakukan pada waktu musim kemarau dan hujan

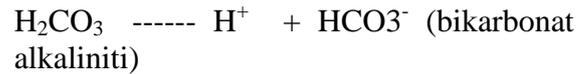
Dari hasil analisa komposisi air pada Tabel 3, menunjukkan adanya perubahan relatif signifikan dari parameter-parameternya antara sampel 1 dan sampel 2 terutama pH, alkalinitas total, bikarbonat, CO₂ bebas (bersifat asam), ion Na⁺ dan K⁺ (bersifat basa).

Tabel 3. Hasil analisa kimia air dari waduk Jatiluhur yang digunakan dalam sistem pendingin tubular heat exchanger

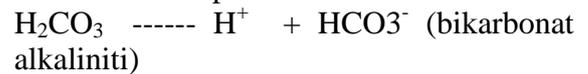
Jenis analisa	Air pendingin	
	sampel 1	sampel 2
pH	8,05	7,04
Turbidity (NTU)	0,37	2,4
Conductivity umhos	233	221
Dissolved Solid ppm	144	143
CaHardness ppm CaCO ₃	47,84	48,8
Total Hardness ppm CaCO ₃	65,52	62,04
Total Alkalinity ppm	17,12	75,2
CaCO ₃	20,89	91,74
Bicarbonat ppm	0,0	0,0
Total Chlorine, Cl ₂ ppm	14,68	13,35
Chloride, Cl ppm	6,02	8,43
Hidroksida bebas, OH ⁻ ppm	0,0	7,29
Free CO ₂ ppm	0,05	0,82
Nitrate NO ₃ ⁻ ppm	13,01	6,83
Sulfate, SO ₄ ⁻ ppm	55,09	-
Sodium, Na ⁺ ppm	11,79	-
Potasium, K ⁺ ppm	1,07	0,35
Total iron, Fe ppm	11,12	20,62
Silika SiO ₂ , ppm		

Harga pH dari sampel 2 sebesar 7,04 relatif lebih rendah dibandingkan dengan harga pH dari sampel 1 sebesar 8,05 yang

mana ini disebabkan adanya konsentrasi CO₂ bebas yang terlarut dalam sampel 2 sebesar 7,29 ppm, sedangkan dalam sampel 1 tidak ada CO₂ bebas yang terlarut. Hal ini menyebabkan pH dari sampel 2 bersifat lebih asam daripada sampel 1, karena CO₂ yang terlarut bereaksi dengan air membentuk asam karbonat seperti ditunjukkan dalam reaksi:



Harga alkalinitas total (M-alkaliniti) yang umumnya merupakan komponen dalam bentuk bikarbonat alkaliniti (HCO₃⁻) dari sampel 2 sebesar 75,2 ppm sebagai CaCO₃ lebih besar dari pada dalam sampel 1 sebesar 17,12 ppm sebagai CaCO₃. Hal ini dihasilkan dari proses disosiasi :



Sampel 1 mengandung ion Na⁺ dan K⁺ (bersifat basa) relatif besar masing-masing 55,09 dan 11,79 ppm, sedangkan dalam sampel 1 tidak ada ion Na⁺ dan K⁺ terlarut, sehingga pH sampel 1 lebih besar dibandingkan dengan sampel 2.

Perubahan parameter-parameter tersebut, disebabkan oleh pengaruh perubahan musim panas-hujan atau aktivitas yang ada disekitarnya seperti pencemaran dari buangan limbah industri atau rumah tangga.

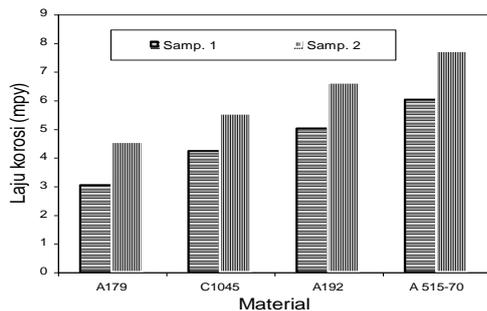
Untuk mengetahui kualitas air dari waduk Jatiluhur apakah cenderung membentuk kerak CaCO₃ atau bersifat korosif, maka perlu diketahui terlebih dahulu angka (bilangan) indek kejenuhannya, yang mana ini dapat diperoleh melalui perhitungan dengan menggunakan metoda Langelier didasarkan dari hasil analisa komposisi kimia air yang meliputi parameter-parameter: kesadahan kalsium (sebagai CaCO₃), p-alkalinitas (sebagai CaCO₃), pH dan temperatur air dari waduk Jatiluhur.

Hasil perhitungan derajat indek kejenuhan air dari waduk Jatiluhur pada

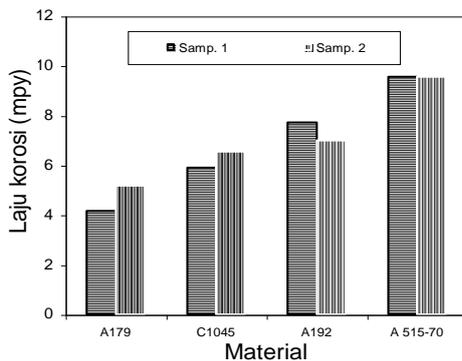
variasi temperatur 32, 37 dan 50°C ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Derajat indeks kejenuhan air dari waduk Jatiluhur

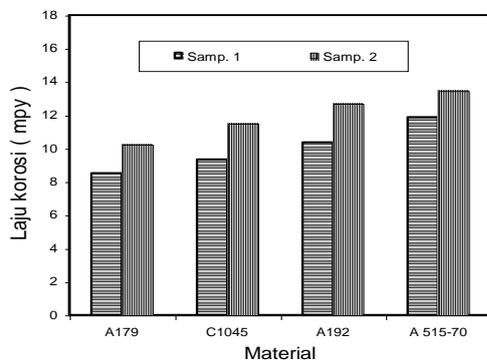
Temperatur (°C)	Derajat indeks kejenuhan (LSI)	
	sampel 1	sampel 2
32	-0,85	-1,13
37	-0,75	-1,03
50	-0,50	-0,84



(a)



(b)



(c)

Gambar 14. Hubungan antara material logam baja dan laju korosi dalam air pendingin untuk sampel 1 dan 2 pada temperatur (°C); (a) 32, (b) 37, dan (c) 50

Gambar 14 menunjukkan laju korosi dari sampel 1 dan sampel 2 pada berbagai temperatur. Pada Gambar 14 terlihat bahwa air dari waduk Jatiluhur sampel 2 relatif lebih bersifat korosif terhadap material baja karbon tipe: A179, C1045, A192 dan A515-70 pada variasi temperatur 32, 37 dan 50 °C dibandingkan dengan air dari waduk Jatiluhur sampel 1. Hal ini disebabkan karena harga derajat indeks kejenuhan (LSI) air baku sampel 2 lebih negatif dibandingkan dengan sampel 1 seperti terlihat dalam Tabel 4.

Kualitas air dari waduk Jatiluhur yang digunakan sebagai air pendingin pada unit *tubular heat exchanger* resirkulasi terbuka dengan *shell side flow* sistem mempunyai harga derajat indeks kejenuhan negatif. Oleh karena itu, air dari waduk Jatiluhur bersifat korosif (lihat Tabel 1, prediksi karakteristik air). Hal ini bisa mengakibatkan kebocoran *tubular heat exchanger* disebabkan oleh sifat korosifitas dari air pendingin tersebut seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.

Disamping itu, laju alir air pendingin pada penukar panas dengan sistem *shell side flow* relatif rendah (< 0,6 m/detik) dan kompleks sehingga deposit atau *biofouling* cenderung lebih mudah terbentuk pada permukaan pipa penukar panas, yang mana ini dapat menyebabkan korosi sekunder yaitu korosi sumuran dikarenakan pembentukan sel perbedaan aerasi oksigen dan mempercepat korosi sumuran (kebocoran pipa penukar panas).

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Laju korosi material baja karbon tipe: A179; C1045, A192 dan A515-70, baik dalam air dari waduk Jatiluhur sampel 1 maupun sampel 2 meningkat dengan kenaikan temperatur dari 32 sampai dengan 50°C.
- Laju korosi material *tubular heat exchanger* baja karbon tipe: A179 relatif lebih rendah dibandingkan dengan baja karbon tipe C1045, A192

dan A515-70, baik dalam air dari waduk Jatiluhur sampel 1 dan sampel 2 maupun pada variasi temperatur dari 32 sampai dengan 50°C.

- Derajat indek kejenuhan air dari waduk Jatiluhur sampel 2 relatif lebih negatif dari pada sampel 1.
- Air dari waduk Jatiluhur sampel 2 relatif lebih korosif dibandingkan sampel 1 terhadap material baja karbon tipe: A179, C1045, A192 dan A515-70, pada variasi temperatur dari 32 sampai dengan 50°C.
- Ketahanan korosi material baja karbon tipe A179 > C1045 > A192 > A515-70, baik dalam air dari waduk Jatiluhur sampel 1 dan sampel 2 maupun pada variasi temperatur dari 32 sampai dengan 50°C.
- Untuk meminimalisasi masalah kebocoran pada *tubular heat exchanger* maka perlu pengolahan eksternal dengan benar sebelum air dari waduk Jatiluhur digunakan sebagai fluida pendingin, disamping itu perlu diinjeksikan jenis dan dosis inhibitor korosi, *antiscale* dan *biocide* yang sesuai dan memadai ke dalam resirkulasi air pendingin tersebut.

Process Industries. R.K. Shah, Ed., Begell House Inc., 483-491.

- [5] Bennett P. Boffardi, Calgon Corporation. 2006., „Control of Environmental Variables in Water Recirculating System”, *Metal Handbook Ninth Edition*, Volume 13 Corrosion, p 487-497.
- [6] Russel W. Lane.1993., „Control of Scale and Corosion in Building Water System”, *Mc. Graw-Hill, Inc.*
- [7] S. Sastri, E. Ghali, and M. Elboudjaini. 2007. „Corrosion Prevention and Protection, Practical Solutions”, *Wiley, Chichester, England*.
- [8] R. Winston Revie and Herbert H. Uhlig *Corrosion and Corrosion Control*, by Copyright © 2008 John Wiley & Sons, Inc.
- [9] ASTM G5-94 e1: Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anode Polarization Measurements, 2011.
- [10] HM Revenue and Customs., „Clasifikasi iron and steel”, 3 june 2013.
- [11] JIS Hand Book Ferrous Materials and Metallurgy; JIS G 0552 : Methode of Ferrite Grain Size Test for Steel; 1979.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pierangela Cristiani. 2005. „Solutions to fouling in power station condensers”; *Applied Thermal Engineering* 25, 2630–2640.
- [2] Nagaraj Tumma, 2013. „Heat Exchanger Fundamentals”. Chevron Oronite Pte Ltd 22nd.
- [3] General electric, 2013 “Water Industries Ltd.” Hand Book Water Treatment “.
- [4] Konstantinos D. Demadis. 2003. „Combating Heat Exchanger Fouling and Corrosion Phenomena in Process Waters”, *Compact Heat Exchangers and Enhancement Technology for the*