

# PENGARUH TEMPERATUR DAN pH AIR SADAH KALSIMUM SULFAT TERHADAP KOROSI PADA BAJA KARBON

**Sundjono\* dan Saefudin**

Pusat Penelitian Metalurgi LIPI

Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan

E-mail : \*sund002@lipi.go.id

Masuk tanggal : 22-01-2014, revisi tanggal : 13-03-2014, diterima untuk diterbitkan tanggal : 21-03-2014

Intisari

**PENGARUH TEMPERATUR DAN pH AIR SADAH KALSIMUM SULFAT TERHADAP KOROSI PADA BAJA KARBON.** Baja karbon masih banyak digunakan untuk konstruksi pada unit proses penukar panas. Akan tetapi baja jenis tersebut mudah terkorosi dalam media air. Tingkat korosivitasnya tergantung pada jenis baja, kondisi operasi seperti temperatur, pH dan kesadahan air yang digunakan sebagai media pendingin. Laju korosi baja dalam air sadah  $\text{Ca}^{2+}$  3000 ppm dan  $\text{SO}_4^{2-}$  7000 ppm dapat diprediksi melalui metoda polarisasi berdasarkan standar ASTM G-5. Parameter uji dalam penelitian ini meliputi variasi temperatur 30, 40, 50, 60, 70 dan 80 °C, pH larutan 6, 7, 8, 9, 10 dan 11. Material uji adalah baja karbon C1045, C1035 dan A192. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi baja C1045 dalam air sadah  $\text{Ca}^{2+}$  3000 ppm dan  $\text{SO}_4^{2-}$  7000 ppm relatif lebih rendah dibandingkan dengan baja A192 dan C1035 pada semua variasi temperatur dan pH.

*Kata kunci: Baja karbon, Korosivitas, Laju korosi, Kesadahan air, Kalsium sulfat, Polarisisasi*

Abstract

**EFFECTS TEMPERATURE AND pH OF THE HARD WATER CALCIUM SULPHATE TO CORROSION ON CARBON STEEL.** The carbon steels still most used for construction on heat exchanger unit. But these metals are easy corroded in water medium. Its corrosive degrees depend on kinds of the steel, operation conditions as such pH, temperature and hard water which used as cooling medium. Corrosion rate of the carbon steel in hard water of  $\text{Ca}^{2+}$  3000 ppm and  $\text{SO}_4^{2-}$  7000 ppm can be predicted by polarization method on based of ASTM G-5 standard. Parameters test in this research include variation of temperature 30, 40, 50, 60, 70 and 80 °C, pH solutions 6, 7, 8, 9, 10 and 11. Specimens test are carbon steels C1045, C1035 and A192. From results of the research shows that corrosion rate of the carbon steel C1045 in hard water of  $\text{Ca}^{2+}$  3000 ppm and  $\text{SO}_4^{2-}$  7000 ppm relative lower than carbon steel C1035 and A192 on all variation of pH and temperature.

*Keywords: Carbon steel, Corrosivity, Corrosion rate, Hard water, Calsium sulphate, Polarization*

## PENDAHULUAN

Unit proses penukar panas merupakan salah satu urat nadi proses di industri, digunakan sebagai sarana perpindahan panas. Oleh karena itu, unit tersebut perlu dipelihara dengan sebaik-baiknya. Material-material logam yang masih banyak digunakan untuk konstruksi unit proses penukar panas sirkulasi terbuka adalah baja karbon, karena baja tersebut memiliki sifat mekanik dan perpindahan panas relatif baik. Akan tetapi baja mudah mengalami korosi yang diakibatkan oleh

pengaruh kualitas air pendingin, kondisi operasi seperti laju alir fluida, temperatur, pH, dan desain sistem aliran fluida (*flow side shell* atau *flow tube side*). Sampai saat ini, masalah korosi pada pipa penukar panas masih sering dijumpai di sektor industri seperti industri pupuk, petrokimia, pembangkit listrik, minyak dan gas serta sarana transportasi kapal laut.

Kerugian yang disebabkan masalah tersebut meliputi penurunan efisiensi perpindahan panas, yang diakibatkan oleh penyumbatan pipa penukar panas, peningkatan tekanan pompa dan jumlah

pemakaian energi, penurunan laju alir, dan pemborosan zat kimia yang digunakan; mempercepat korosi, kebocoran pipa penukar panas dan penurunan kekuatan material.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efek temperatur dan pH dari kesadahan kalsium sulfat (Ca 3000 ppm dan  $\text{SO}_4^{2-}$  7000 ppm) terhadap korosi logam baja karbon C1045, C1035 dan A192. Penelitian korosi baja karbon diukur dengan metoda teknik polarisasi.

## LATAR BELAKANG TEORI

Air untuk keperluan unit proses penukar panas berasal dari air permukaan (sungai, danau dan laut) dan air tanah (sumur, mata air dan artesis). Pada umumnya, air dari semua sumber tidak ditemukan dalam keadaan murni. Air merupakan pelarut kuat sehingga dapat melarutkan konstituen- konstituen yang ada dalam air tersebut. Sebagai akibatnya komposisi kimia air baku sangat bervariasi. Derajat kesadahan, pH, alkalinitas, konduktivitas, ion-ion agresif dan bahan organik merupakan parameter- parameter yang berhubungan dengan masalah korosi dan deposit.

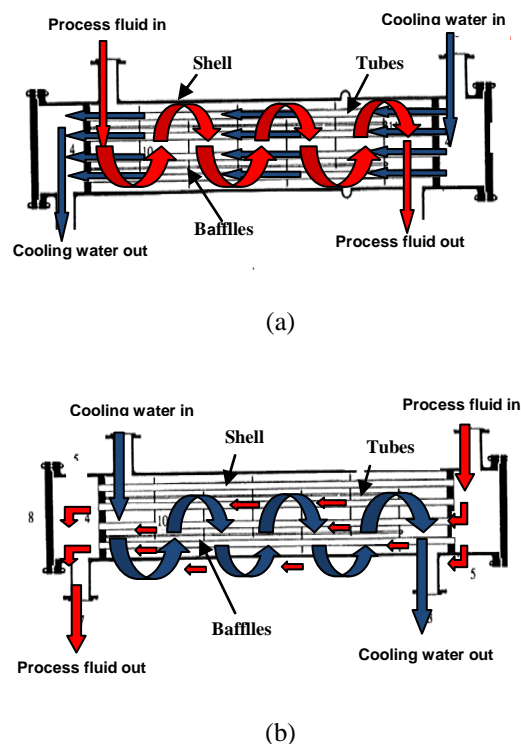
Ditinjau dari sisi aliran fluida, unit penukar panas dibedakan dalam dua kategori seperti ditunjukkan dalam Gambar 1(a) dan 1(b) yaitu <sup>[1]</sup>: (a) *Flow side tube*, fluida air pendingin mengalir didalam pipa, dan fluida produk panas mengalir melalui sisi sel.

(b) *Flow side shell*, fluida air pendingin mengalir melalui sisi sel, dan fluida produk panas mengalir di sisi dalam pipa.

Proses alih panas pada sistem *flow shell side* berlangsung bilamana air pendingin mengalir melalui sisi sel yang kontak secara tidak langsung dengan aliran fluida produk panas dari sisi dalam pipa, dimana air pendingin akan mengabsorpsi panas dari fluida produk panas. Pada sistem resirkulasi terbuka, fluida pendingin dialirkan lagi secara kontinyu melalui unit penukar panas

setelah fluida tersebut didinginkan di menara pendingin<sup>[2]</sup>.

Selama proses ini berlangsung, terjadi pemekatan dari konstituen-konstituen kimia diantaranya kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) sampai air pendingin menjadi sangat sadah (*very hard water*), yang mana ini dapat menimbulkan masalah pada pipa-pipa unit penukar panas.



**Gambar 1.** Sistem aliran fluida penukar panas; (a) *flow side tube*; (b) *flow side shell*<sup>[1]</sup>

Penghentian proses di sektor industri sering terjadi karena korosi / kebocoran pada pipa-pipa unit proses penukar panas sistem *flow side shell* akibat pengaruh kualitas air kurang baik. Masalah ini sering kali disebabkan dari pengolahan air baku baik secara eksternal maupun internal kurang memadai. Disamping itu, laju alir air pendingin pada unit penukar panas dengan sistem *flow shell side* relatif rendah ( $< 0,6$  m/detik) dan kompleks sehingga deposit atau *biofouling* cenderung mudah terbentuk pada permukaan pipa penukar panas. Deposit atau *biofouling* dapat menyebabkan korosi sumuran dikarenakan pembentukan sel perbedaan aerasi

oksigen atau *microorganism induction corrosion*<sup>[3]</sup>.

Korosivitas air sangat dipengaruhi oleh kualitas air konsentrasi ion-ion agresif yang terlarut meliputi gas oksigen, karbon dioksida, garam-garam/padatan terlarut (TDS), padatan tersuspensi (TSS), pH dan temperatur. Kesadahan bikarbonat / non-bikarbonat, konsentrasi ion  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  yang terkandung dalam air sangat bervariasi tergantung lokasi, sumber air baku, dan iklim<sup>[4]</sup>.

Kualitas air yang diperlukan untuk unit proses penukar panas sirkulasi terbuka yaitu harus tidak bersifat korosif dan tidak mempunyai kecenderungan pembentukan kerak<sup>[5]</sup>.

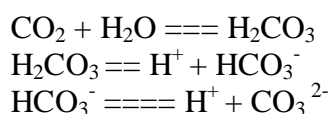
Korosi pada pipa-pipa penukar panas sangat dipengaruhi oleh konsentrasi oksigen terlarut dalam air pendingin. Oksigen merupakan faktor utama yang berkontribusi terhadap korosi baja karbon melalui reaksi elektrokimia yang terjadi pada *interface* fasa cairan dan permukaan baja. Kelarutan oksigen dalam air pendingin bervariasi dengan temperatur, tekanan dan konsentrasi elektrolit. Kenaikan temperatur dan konsentrasi elektrolit menurunkan kelarutan oksigen, tetapi kenaikan tekanan parsial meningkatkan kelarutannya. Untuk sistem air pendingin resirkulasi terbuka, konsentrasi kelarutan oksigen sekitar 6 mg/l<sup>[6]</sup>.

Pengaruh temperatur terhadap korosi baja dalam air yang mengandung oksigen terlarut tergantung pada sistem unit pendingin. Pada sistem pendingin sirkulasi terbuka, kenaikan temperatur akan menurunkan kelarutan oksigen karena oksigen dapat dibebaskan dari sistem, dan korosi akan meningkat sampai harga maksimum pada temperatur 80 °C, bilamana kelarutan oksigen 3 mg/l. Di atas temperatur 80 °C, kelarutan oksigen semakin turun sehingga menghambat reaksi reduksi oksigen sebagai akibatnya laju korosi baja karbon menurun. Pada sistem pendingin sirkulasi tertutup, oksigen tidak dapat dibebaskan sehingga

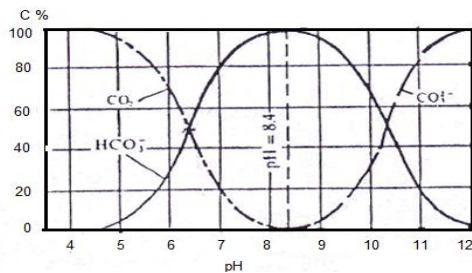
korosi secara kontinyu meningkat linier dengan temperatur. Laju korosi meningkat dengan kenaikan temperatur, karena jumlah oksigen yang terlarut lebih banyak digunakan untuk proses reduksi katodik<sup>[7]</sup>.

Pengaruh lainnya dari temperatur yang harus diperhatikan adalah kecenderungan pembentukan kerak. Kenaikan temperatur menurunkan kelarutan dari sebagian besar garam anorganik. Kelarutan  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CaSO}_4$  menurun dengan kenaikan temperatur. Pada temperatur tinggi, garam-garam  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CaSO}_4$  cenderung mengendap membentuk deposit tebal pada unit penukar panas.

Karbon dioksida dari lingkungan atmosfer sekitarnya lebih mudah larut dalam air dibandingkan dengan oksigen dan bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  menjadi asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) yang mempunyai pH lebih rendah dari 6. Asam karbonat dapat terdisosiasi membentuk ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ), dan selanjutnya menjadi ion karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ):



Harga perbandingan dari bermacam-macam komponen karbonat ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ ) tergantung pH air. Dalam sistem air pendingin resirkulasi terbuka, pH umumnya dikontrol dalam kisaran 6,5 – 8,5. Dalam kisaran pH ini, hanya komponen  $\text{CO}_2$ - $\text{HCO}_3^-$  yang ada dalam larutan sedangkan komponen lainnya  $\text{CO}_3^{2-}$  tidak terbentuk. Peningkatan harga pH air dari 6,5 sampai 8,5 akan menurunkan konsentrasi  $\text{CO}_2$  dan menaikkan konsentrasi  $\text{HCO}_3^-$ . Pada harga pH > 8,5, air tidak lagi mengandung  $\text{CO}_2$  bebas, sedangkan konsentrasi  $\text{CO}_3^{2-}$  meningkat dan konsentrasi  $\text{HCO}_3^-$  menurun seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.



**Gambar 2.** Perbandingan kadar  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  sebagai fungsi pH air<sup>[7]</sup>

Ion  $\text{Ca}^{2+}$  dalam air dapat bereaksi dengan ion  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$  menghasilkan  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CaSO}_4$ . Garam  $\text{CaCO}_3$  mempunyai kelarutan lebih rendah dibandingkan dengan garam  $\text{CaSO}_4$ . Oleh karena itu garam  $\text{CaCO}_3$  lebih mudah mengendap pada permukaan unit penukar panas<sup>[8]</sup>.

Kisaran pH normal untuk sistem air pendingin sirkulasi terbuka adalah 6,5 – 8,5 dan untuk sirkulasi tertutup adalah 8,5 – 9,5. Harga pH ini merupakan pH dari air *bulk*, tetapi harga pH sebenarnya pada permukaan logam berbeda tergantung pada reaksi yang terjadi pada permukaannya. Reaksi reduksi oksigen pada permukaan logam menghasilkan ion  $\text{OH}^-$  yang dapat meningkatkan harga pH, tetapi di bawah produk korosi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) atau kerak harga pH menurun. Semakin meningkat harga pH, besi oksida akan mengendap membentuk deposit, sehingga menyebabkan korosi merata secara bertahap menurun. Tetapi, di bawah deposit, serangan korosi setempat (sumuran) pada pipa penukar panas dapat terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi oksigen antara bagian bawah deposit dan di sekeliling deposit yang disebut dengan istilah sel perbedaan aerasi oksigen. Di sekeliling endapan berlebihan akan  $\text{O}_2$  dan bertindak sebagai katoda dimana proses reduksi  $\text{O}_2$  ( $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4e^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ ) terjadi. Sedangkan di bawah deposit kekurangan akan  $\text{O}_2$  dan bertindak sebagai anoda sehingga proses oksidasi ( $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$ ) terjadi yang mengakibatkan pelarutan logam baja (korosi).

Semakin pH meningkat, sifat deposit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  berubah dari lunak dengan daya rekat lemah pada pH 6, menjadi keras

dengan daya rekat kuat pada pH 8. Laju korosi baja karbon dalam air teraerasi menurun pada kisaran pH normal 6,5-8,5. Pengaruh pH dapat meningkatkan atau menurunkan laju korosi merata pada pipa penukar panas tergantung pada konstituen-konstituen yang terlarut dalam air tersebut. Disamping itu dapat berpengaruh terhadap pembentukan kerak  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CaSO}_4$ .

Kecenderungan pembentukan kerak  $\text{CaCO}_3$  tergantung pada temperatur, pH, kesadahan kalsium, alkalinitas dari fluida pendingin dan dapat diprediksi dengan metoda LSI (*Langelier saturation index*)<sup>[7]</sup>.

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pHs}$$

dimana :

LSI : *Langelier saturation index*

pH : pH terukur dari air pendingin

pHs : pH air dalam keadaan jenuh

Harga pHs dapat dihitung dengan formula sebagai berikut :

$$\text{pHs} = (\text{pK}_2 - \text{pK}_{\text{sp}}) + \text{pCa} + \text{palk}$$

Dimana :

pK<sub>2</sub> : konstanta disosiasi  $\text{H}_2\text{CO}_3$  tahap ke 2

pK<sub>sp</sub> : konstanta kelarutan  $\text{CaCO}_3$

pCa :  $-\log \text{Ca}^{2+}$

palk :  $-\log$  (alkalinitas total)

Harga LSI memberi rumusan sebagai berikut:

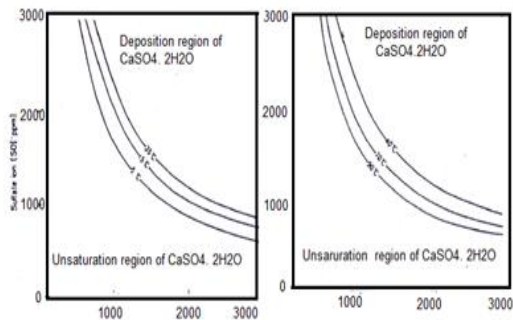
pH - pHs : kecenderungan air

positif : membentuk kerak

nol : tidak membentuk kerak dan  
: tidak korosif

negatif : bersifat korosif

Sedangkan kecenderungan pembentukan kerak  $\text{CaSO}_4$  tergantung pada temperatur, konsentrasi ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$  yang terlarut dalam fluida pendingin (lihat Gambar 3).



**Gambar 3.** Hubungan kesadahan kalsium dan konsentrasi ion sulfat terhadap pengendapan  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  [7]

Endapan  $\text{CaCO}_3$  atau  $\text{CaSO}_4$  yang terbentuk pada permukaan pipa-pipa penukar panas dapat menghambat difusi oksigen sehingga menurunkan laju korosi [7-8].

Garam-garam terlarut dalam air dapat menyebabkan bermacam-macam pengaruh seperti peningkatan laju korosi dan pembentukan kerak. Peningkatan kadar dari garam-garam terlarut dalam air meningkatkan konduktivitas. Kesadahan (Ca dan Mg dari garam-garam  $\text{CO}_3^{2-}$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ ), bersifat inhibisi dan akan menurunkan korosi, tetapi ion  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$  bersifat antagonis dan akan meningkatkan laju korosi. Agresivitas air berhubungan dengan kesadahan dan alkalinitasnya. Agresivitas air menurun dengan kenaikan konsentrasi kesadahan dan alkalinitas.

Air lunak adalah air yang mengandung kadar kalsium rendah, lebih korosif dibandingkan dengan air sadah yang mengandung kadar kalsium tinggi. Air baku dengan kisaran konsentrasi Ca 3000 ppm dan  $\text{SO}_4^{2-}$  7000 ppm termasuk ke dalam katagori air sangat sadah (*very hard water*) [9].

## PROSEDUR PERCOBAAN

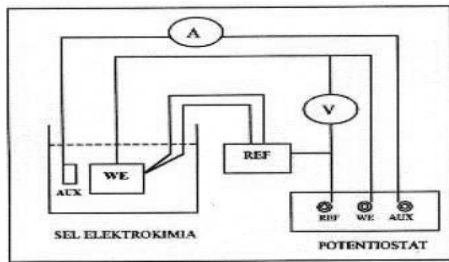
Pengujian laju korosi baja karbon tipe: C1045, C1035 dan A192, dilakukan dengan metoda polarisasi Tafel menggunakan alat potensiostatik CMS100.

## Persiapan benda uji

- Potong spesimen uji baja karbon C1045, C1035 dan A192, dengan ukuran 1 X 1 cm.
- Sambung spesimen uji dengan kabel menggunakan solder.
- Periksa sambungan spesimen uji dan kabel dengan menggunakan multimeter.
- Mounting spesimen uji yang sudah disolder dengan resin.
- Poles spesimen uji dengan kertas ampelas mulai dari ukuran 120 sampai 600.
- Bersihkan spesimen uji dengan aseton menggunakan alat *ultrasonic cleaner*.

## Percobaan pengukuran laju korosi

- Spesimen uji (WE), elektroda pembanding Ag/AgCl (REF) dan elektroda pembantu platina (AUX) dimasukan ke dalam sel elektrokimia yang mengandung larutan uji (Ca 3000 ppm -  $\text{SO}_4^{2-}$  7000 ppm).
- Menghubungkan spesimen uji ke *working electrode* (WE) dan *working sense*, elektroda Ag/AgCl (REF.) ke *reference electrode sense* dan elektroda platina (AUX.) ke *counter electrode sense* yang tersedia pada alat potensiostatik CMS 100 seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.
- Memanaskan larutan uji dalam kondisi terbuka di atas *hotplate* pada variasi temperatur 30, 40, 50, 60, 70 dan 80 °C.
- Temperatur uji dipertahankan konstan selama percobaan dengan alat *thermostate*.
- pH larutan divariasikan dengan harga pH 6, 7, 8, 9, 10 dan 11.
- Mengaktifkan program Tafel yang ada dalam alat CMS 100.
- Mengamati dan mencatat perubahan rapat arus dan potensial korosi.
- Menganalisa laju korosi melalui ekstrapolarisasi Tafel.

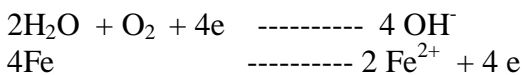


**Gambar 4.** Rangkain pengujian laju korosi secara polarisasi<sup>[10]</sup>

## HASIL DAN PEMBAHASAN

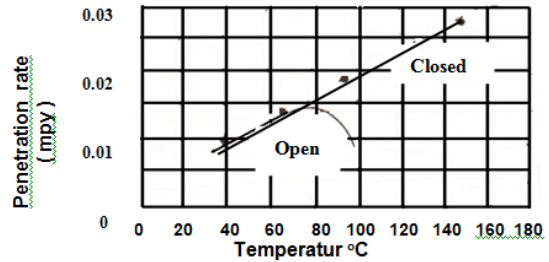
### Pengaruh Temperatur Terhadap Korosi Pada Baja Karbon

Korosi merupakan suatu fenomena elektrokimia, yang sangat erat berhubungan dengan temperatur. Sifat kimia-fisik seperti, viskositas, konduktivitas larutan dan difusi oksigen ( $O_2$ ) ke permukaan baja sangat dipengaruhi oleh temperatur. Oksigen terlarut dalam media air mempunyai peranan penting terhadap korosi pada baja karbon karena oksigen merupakan bagian dari seluruh reaksi elektrokimia yang terjadi pada antar muka fasa (*interface*) larutan dan permukaan logam melalui reaksi reduksi dan oksidasi<sup>[11]</sup>:



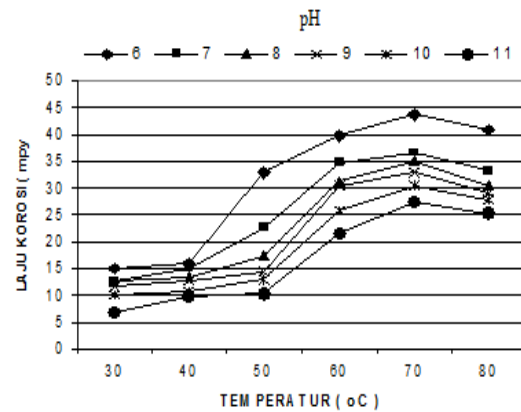
Oleh karena itu, korosi Pada baja karbon sebanding dengan kadar oksigen terlarut dalam air.

Dalam media aqueous, korosi baja karbon yang diakibatkan oleh oksigen sangat dipengaruhi temperatur dan sistem (terbuka dan tertutup). Dalam sistem terbuka, semakin naik temperatur, kelarutan oksigen dalam media aqueous semakin menurun karena oksigen dapat dibebaskan, sebaliknya dalam sistem tertutup oksigen tidak dibebaskan, sehingga semakin naik temperatur, laju korosi semakin meningkat seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.

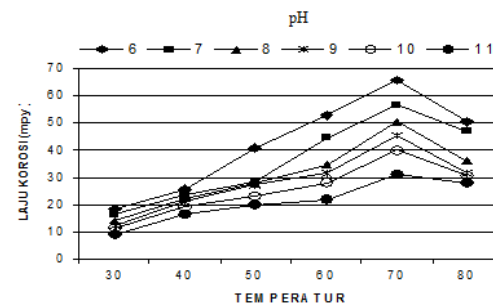


**Gambar 5.** Efek temperatur pada korosi besi dalam air yang mengandung oksigen terlarut<sup>[12]</sup>

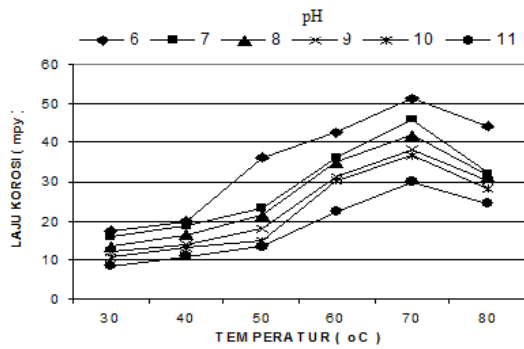
Semakin naik temperatur, viskositas dari media aqueous semakin turun sehingga memudahkan oksigen terdifusi ke permukaan logam. Hal ini akan meningkatkan laju korosi baja karena jumlah oksigen yang terlarut sebagian besar dikonsumsi dalam proses reduksi pada daerah katoda.



**Gambar 6.** Pengaruh temperatur terhadap laju korosi baja karbon C 1045 dalam media 3000 ppm  $Ca^{2+}$  dan 7000 ppm  $SO_4^{2-}$ .



**Gambar 7.** Pengaruh temperatur terhadap laju korosi baja C1035 dalam media 3000 ppm  $Ca^{2+}$  dan 7000 ppm  $SO_4^{2-}$ .



**Gambar 8.** Pengaruh temperatur terhadap laju korosi baja A192 dalam media 3000 ppm  $\text{Ca}^{2+}$  dan 7000 ppm  $\text{SO}_4^{2-}$

Dari Gambar 6, 7 dan 8 menunjukkan bahwa laju korosi baja C1045, C1035 dan A192 dalam larutan 3000 ppm  $\text{Ca}^{2+}$  dan 7000 ppm  $\text{SO}_4^{2-}$  pada sistem terbuka meningkat hanya sampai pada temperatur 70 °C, ini dikarenakan konsentrasi oksigen terlarut dalam larutan uji masih mencukupi untuk proses reaksi reduksi pada daerah katoda. Sedangkan pada temperatur di atas 70 °C yaitu pada temperatur 80 °C, kadar oksigen dalam larutan uji menurun drastis karena sebagian besar oksigen dibebaskan ke udara terbuka sehingga reaksi reduksi pada daerah katoda sangat berkurang, sebagai akibatnya proses pelarutan logam diturunkan, sehingga laju korosi baja C1045, C1035 dan A192 menurun.

Ion  $\text{SO}_4^{2-}$  dalam larutan uji bukan konstituen utama penyebab korosi karena tidak dapat mengalami proses reaksi reduksi-oksidasi (proses elektrokimia) tanpa adanya oksigen terlarut, akan tetapi ion tersebut hanya berkontribusi terhadap konduktivitas larutan uji. Semakin tinggi temperatur, konduktivitas larutan uji semakin meningkat. Disamping itu, temperatur berpengaruh terhadap sifat kimia-fisik lainnya seperti viskositas

Konduktivitas merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam proses korosi secara elektrokimia. Dari Gambar 6,7 dan 8 menunjukkan bahwa laju reaksi korosi meningkat dengan kenaikan temperatur sampai 70 °C, hal ini disebabkan konduktivitas larutan uji meningkat dengan kenaikan temperatur. Sebaliknya viskositas

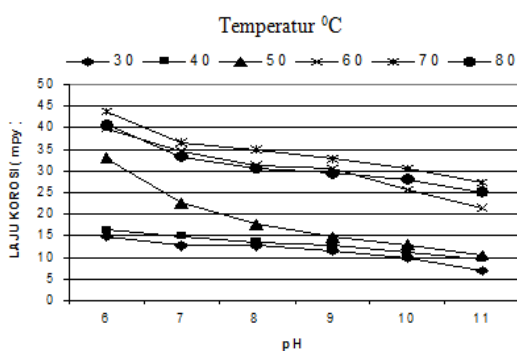
dari larutan uji menurun dengan kenaikan temperatur, yang mana ini akan menaikkan laju difusi oksigen ke permukaan baja, sehingga meningkatkan laju korosi karena jumlah oksigen terlarut yang tersedia relatif banyak dikonsumsi untuk proses reduksi pada daerah katoda. Akan tetapi pada temperatur 80 °C, sebagian besar oksigen terlarut dibebaskan ke udara terbuka. Disamping itu ion  $\text{SO}_4^{2-}$  diendapkan bersamaan dengan adanya ion  $\text{Ca}^{2+}$  dalam larutan membentuk  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yang bertindak sebagai lapisan penghalang terhadap difusi  $\text{O}_2$  ke permukaan baja, sehingga konduktivitas larutan menurun. Dengan terbentuknya endapan  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , penurunan konduktivitas dan pembebasan oksigen menyebabkan laju korosi baja menurun pada temperatur 80 °C.

### **Pengaruh pH Larutan Terhadap Korosi Baja**

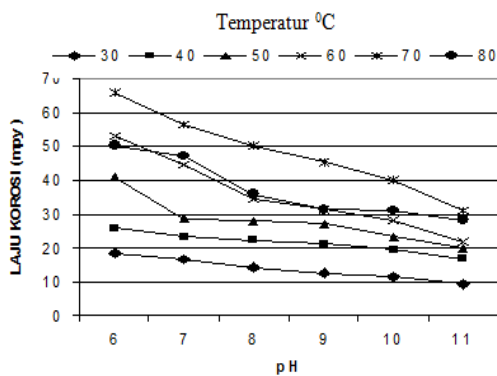
pH larutan dalam air sadah juga mempengaruhi laju korosi terhadap baja karbon. Ion-ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$  merupakan komponen – komponen dari kesadahan, yang bisa membentuk kerak  $\text{CaSO}_4$  tergantung pada tingkat kesadahan, temperatur dan pH. Tingkat kesadahan tergantung pada konsentrasi ion-ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Komponen-komponen kerak dalam konsentrasi 3000 ppm  $\text{Ca}^{2+}$  dan 7000 ppm  $\text{SO}_4^{2-}$ , termasuk ke dalam katagori air sangat sadah (*very hard water*). Oleh karena itu, garam  $\text{CaSO}_4$  dalam larutan uji cenderung membentuk deposit tergantung pada pH dan temperatur larutan. Semakin tinggi pH dan temperatur, derajat kejenuhan semakin meningkat dan periode induksi semakin cepat sehingga pertumbuhan kristal semakin cepat dan kristal  $\text{CaSO}_4$  lebih mudah diendapkan sebagai deposit. Dengan perkataan lain kelarutan dari garam  $\text{CaSO}_4$  menurun, semakin tinggi pH dan temperatur. Disamping itu, jumlah deposit  $\text{CaSO}_4$  semakin banyak dengan kenaikan pH dan temperatur larutan.

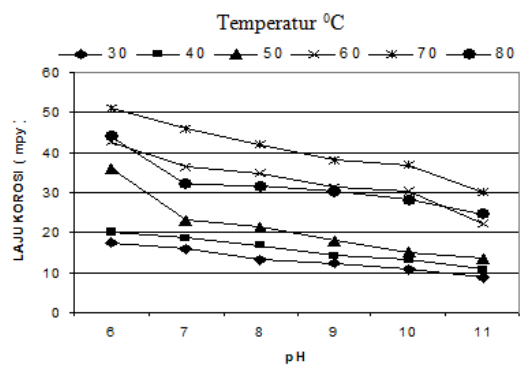
Dari Gambar 9, 10 dan 11 menunjukkan bahwa semakin tinggi harga pH, laju korosi baja C1045, C1035 dan A192 semakin menurun. Hal ini disebabkan kerak  $\text{CaSO}_4$  lebih mudah diendapkan pada pH tinggi. Semakin tinggi derajat kejenuhan ( $3000 \text{ ppm Ca}^{2+}$  dan  $7000 \text{ ppm SO}_4^{2-}$ ), jumlah endapan  $\text{CaSO}_4$  yang terbentuk semakin besar. Deposit  $\text{CaSO}_4$  yang mengendap pada permukaan baja C1045, C1035 dan A192 bertindak sebagai lapisan penghalang (*barrier*) sehingga menghambat difusi oksigen terlarut ke permukaan logam tersebut sebagai akibatnya menurunkan laju korosi.



**Gambar 9.** Pengaruh pH terhadap laju korosi baja C1045 dalam media  $3000 \text{ ppm Ca}^{2+}$  dan  $7000 \text{ ppm SO}_4^{2-}$



**Gambar 10.** Pengaruh pH terhadap laju korosi baja C1035 dalam media  $3000 \text{ ppm Ca}^{2+}$  dan  $7000 \text{ ppm SO}_4^{2-}$



**Gambar 11.** Pengaruh pH terhadap laju korosi baja A192 dalam media  $3000 \text{ ppm Ca}^{2+}$  dan  $7000 \text{ ppm SO}_4^{2-}$

### Pengaruh Komposisi Kimia dan Strukturmikro Pada Baja Terhadap Laju Korosi

Komposisi kimia dan strukturmikro baja karbon, keduanya dapat mempengaruhi tingkat korosi terhadap baja dalam lingkungan air dan kondisi tertentu.

Hasil analisa komposisi kimia material baja karbon dari tipe: C1045, C1035 dan A192 ditunjukkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Analisa komposisi kimia baja karbon

Baja Karbon	Komposisi Kimia (% berat)				
	C	Si	Mn	P	S
C1045	0,538	0,209	0,678	0,009	0,003
C1035	0,336	0,553	0,677	0,019	0,013
A192	0,179	0,236	0,515	0,009	0,020

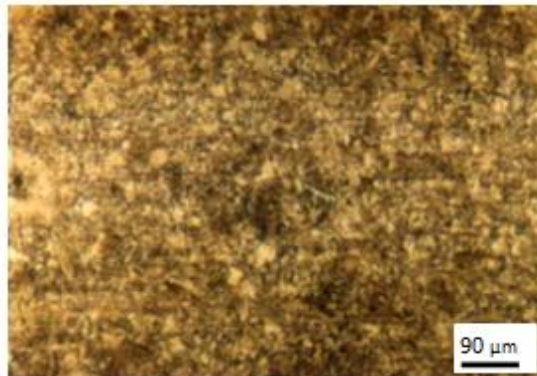
Dari Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar karbon dalam baja karbon C1045, C1035 dan A192 masing-masing adalah 0,538; 0,336 dan 0,179 C %.

Pada umumnya laju korosi baja karbon dipengaruhi oleh kadar karbon, karena unsur ini bersenyawa dengan unsur Fe membentuk fasa perlit (campuran fasa ferit dan sementit  $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Unsur lainnya seperti Si, Mn, P, S, dan fasa dalam baja karbon juga dapat mempengaruhi ketahanan korosi baja tersebut.

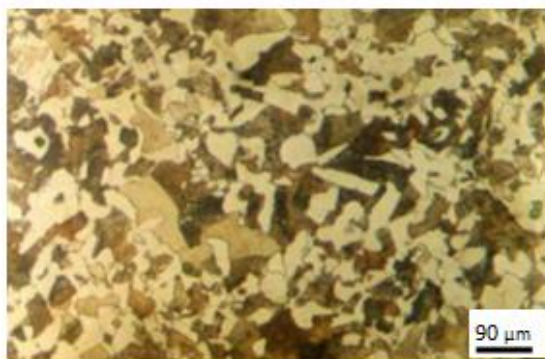
Dari hasil pengamatan strukturmikro seperti yang terlihat dalam Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan bahwa baja karbon C1035 dan A192 mempunyai fasa perlit yang bersifat katodik dan fasa ferit



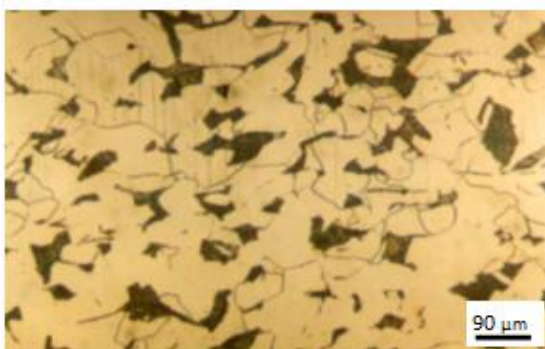
yang bersifat anodik. Sedangkan baja karbon C1045 seperti yang terlihat dalam Gambar 11 hanya mempunyai satu fasa yaitu fasa martensit. Perbedaan fasa, bentuk dan ukuran butiran serta persentase perlit dalam baja karbon dipengaruhi oleh kadar karbon dan pengerjaan akhir seperti perlakuan panas atau dingin. Semakin besar kadar karbon (C %), semakin banyak jumlah fasa perlit yang terbentuk.



**Gambar 12.** Foto strukturmikro baja karbon C1045 (Etsa Nital)

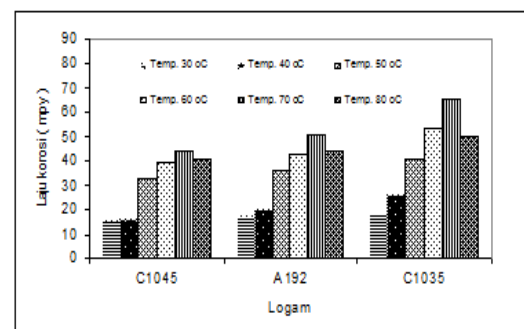


**Gambar 13.** Foto strukturmikro baja karbon C1035 (Etsa Nital)



**Gambar 14.** Foto strukturmikro baja karbon A192 (Etsa Nital)

Adanya fasa perlit dan ferit dalam baja karbon dapat mengakibatkan efek galvanik (*self corrosion*). Intensitas galvanik dalam baja karbon tergantung perbandingan antara area katodik (fasa perlit) - area anodik (fasa ferit) dan ukuran butiran. Semakin besar perbandingannya, semakin tinggi intensitas galvaniknya sehingga dapat mengakibatkan ketahanan korosi baja tersebut menjadi rendah. Persentase perlit dalam baja karbon A192 relatif rendah dibandingkan dengan baja karbon C1035. Strukturmikro yang ditunjukkan dalam baja karbon C1045 adalah fasa martensit, yang merupakan hasil dari proses perlakuan panas dan pendinginan cepat. Pembentukan fasa martensit pada baja ini mengakibatkan pengaruh galvanik (*self corrosion*) rendah.



**Gambar 15.** Laju korosi baja dalam media 3000 ppm  $\text{Ca}^{2+}$  dan 7000 ppm  $\text{SO}_4^{2-}$  pada variasi temperatur

Dari Gambar 15 menunjukkan bahwa laju korosi pada baja karbon disamping dipengaruhi oleh temperatur, komposisi kimia dan strukturmikro dari baja tersebut juga mempunyai pengaruh terhadap laju korosinya. Meskipun kadar karbon dalam baja karbon C 1045 lebih tinggi (lihat Tabel 1 analisa komposisi kimia), dari pada baja karbon C1035 dan A192, akan tetapi laju korosinya relatif lebih rendah dalam semua variasi temperatur dan pH larutan dibandingkan dengan baja C1035 dan A192, karena strukturmikronya berbentuk fasa tunggal yaitu martensit, sehingga efek korosi (*self corrosion*) akibat galvanik relatif kecil. Sedangkan

pada baja karbon C1035 dan A192 komposisi strukturmikronya terdiri dari dua fasa yaitu fasa ferit bertindak sebagai anoda dan fasa perlit bertindak sebagai katoda (Gambar 13 dan 14), sehingga proporsi dari kedua fasa tersebut akan mempengaruhi laju korosinya. Semakin tinggi kadar karbon, semakin besar fasa perlit yang terbentuk sehingga laju korosi logam baja karbon C1035 relatif lebih besar dibandingkan dengan baja karbon A192 dalam semua variasi temperatur dan pH larutan. Hal ini diakibatkan oleh peningkatan efek galvanik (*self corrosion*).

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Laju korosi baja karbon C 1045, A192, dan C1035 dalam media air yang mengandung kesadahan kalsium sulfat (Ca 3000 ppm dan  $SO_4^{2-}$  7000 ppm ) meningkat sampai tempertur 70 °C, sedangkan pada temperatur 80 °C laju korosinya cenderung menurun.
2. Semakin naik harga pH larutan, laju korosi logam baja C 1045, A192, dan C1035 semakin turun.
3. Laju korosi logam baja karbon C 1045 relatif lebih rendah dari pada logam baja A192 dan C1035 pada semua variasi pH dan temperatur.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Daniel R. Lewin.,,Plant Design Heat Exchanger Design". *Department of Chemical Engineering Technion, Haifa, Israel*
- [2] The Nalco Water Handbook. Cppyright 2013.
- [3] Masoud Asadi and Dr. Ramin Haghghi Khoshkhoo. 2013. „Investigation into fouling factor in compact heat exchanger". *International Journal of Innovation*

*and Applied Studies.*: ISSN 2028-9324 Vol. 2 No. 3 Mar. 2013, pp. 238-249

- [4] S. Sastri, E. Ghali, and M. Elboujdaini. 2007.,,Corrosion Prevention and Protection". *Practical Solutions, Wiley, Chichester, England.*
- [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] Taud. 2004.,,Water Treatment Handbook". *Copyright ©2004. All rights reserved.*
- [7] General electric. 2013.,,Hand Book Water Treatment". *Water Industries Ltd.*
- [8] Russel W. Lane. 1993.,,Control of Scale and Corosion in Building Water System". *Mc. Graw-Hill, Inc.*
- [9] Sundjono. 2008.,,Pengaruh Kualitas Air Terhadap Pembentukan Kerak  $CaSO_4$  Pada Unit Proses". *Majalah Korosi.*: Volume 17, No. 2 Oktober 2008, Hal. 57-64. ISSN 0126-33579.
- [10] ASTM G5-94 e1. 2011.,,Standard Reference TestMethod for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anode Polarization Measurements".
- [11] Zaki, Ahmad. 2012.,,Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control". Second Edition (Dec).
- [12] R. Winston Revie and Herbert H. 2008.,,Uhlig Corrosion and Corrosion Control". Copyright John Wiley & Sons, Inc.