

## MODEL ROTATING CYLINDER ELEKTRODE UNTUK MENENTUKAN KEPERLUAN RAPAT ARUS PROTEKSI KATODIK

Isni Utami<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Masuk: 15 Maret 2008, revisi masuk: 17 Juni 2008, diterima: 9 Juli 2008

### ABSTRACT

*Effect of fluids flow rate onto necessity of current density cathodic protection which characterized using Rotating cylinder electrode (RCE) model has been researched on an electrochemistry manner. This research was done to AISI 1018 steel as the electrode spinning cylinder-shaped inside aerated dissolvable NaCl 3.5%. using variation spinning rate 0-2000rpm and 25-75 0C temperature. Current density cathodice protection necessity determined from the steel interface potential -800mV with reference anode Ag/AgCl. Experiment result shows as the increasing of electrode rate, cathode protection current density needs increased due to diffusion layer tare faction and also because corrosion potential become more positive. Higher temperature would increasing cathode protection current density needs and makes corrosion potential more negative. Oxygen activation energy value to be diffused onto electrode surface support the corrodibility AISI 1018 toward temperature increment, because cathode reaction controlled by transfer mass of dissolved oxygen. With un-dimensioned number analysis and data experiment calculation, empiric formula which is functional relation between electrode rate/fluids flow rate characterized as turbulence flow toward cathodic protection current density is mentioned below:*

$$i_{PRCE} = 0,0841 \frac{nFCD}{d} [Re]^{0,6539} [Sc]^{0,4976}$$

**Keywords:** Cathodic Protection, RCE, AISI.

### INTISARI

Pengaruh laju alir fluida terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik yang dikarakterisasi oleh model Rotating Cylinder Elektrode (RCE) diteliti secara elektrokimia. Penelitian dilakukan pada baja AISI 1018 sebagai elektroda berbentuk silinder berputar dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi dengan variasi kecepatan pada rentang 0 - 2000 rpm dan suhu 25°C - 75°C. Keperluan rapat arus proteksi katodik ditentukan pada potensial antarmuka baja -800 mVolt dengan elektroda referensi Ag/AgCl. Dari hasil percobaan menunjukkan dengan meningkatnya kecepatan elektroda akan meningkatkan keperluan rapat arus proteksi katodik yang disebabkan karena penipisan lapisan difusi, dan potensial korosinya semakin positif. Naiknya suhu juga akan meningkatkan keperluan rapat arus proteksi katodik dan potensial korosinya semakin negatif. Nilai energi aktivasi oksigen untuk berdifusi ke permukaan elektroda mendukung korodibilitas AISI 1018 terhadap kenaikan suhu, karena reaksi katodik terkendali oleh perpindahan massa oksigen terlarut. Dengan analisis bilangan tak berdimensi dan perhitungan dari data hasil percobaan, persamaan empiris yang merupakan hubungan fungsional antara pengaruh kecepatan elektroda/laju alir fluida yang dikarakterisasi sebagai aliran turbulen terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik adalah sebagai berikut :

$$i_{PRCE} = 0,0841 \frac{nFCD}{d} [Re]^{0,6539} [Sc]^{0,4976}$$

**Kata Kunci :** Proteksi katodik, RCE, AISI

### PENDAHULUAN

Korosi merupakan degradasi logam akibat berinteraksi dengan lingkung-

annya, karena secara alamiah logam akan kembali menuju kondisi termodinamis yang lebih stabil sebagai senyawa-

wanya. Pengertian korosi adalah sebagai berikut, bila sepotong logam terkorosi dalam larutan elektrolit, sebagian daerah pada logam tersebut bersifat anodik dimana terjadi reaksi oksidasi logam atau logam terkorosi, sebagian lain bersifat katodik, dimana terjadi reaksi reduksi dan korosi tidak terjadi (Scully,1975)). Pada proses korosi reaksi anodik dan katodik berlangsung secara serempak, artinya bila salah satu reaksi tidak berlangsung maka korosi tidak terjadi (Fontana,1979). Pendekatan yang diambil dalam pengendalian korosi adalah dengan cara mengurangi atau mengeliminasi salah satu atau keduanya sehingga reaksi tidak berlangsung.

Metoda pengendalian korosi pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu metoda kinetika dan metoda termodinamika (Bard and Faulkner,1980). Dalam metoda kinetika pengendalian korosi dilakukan dengan memberi hambatan pada interaksi dengan lingkungannya sehingga laju korosinya dapat dikurangi, tetapi kecenderungan untuk terjadinya korosi itu sendiri tidak diselesaikan, sehingga apabila hambatan diiadakan korosi akan segera berlangsung lagi (Jones,1992). Selain dari pada itu apabila jumlah hambatan yang ditambahkan tidak mencukupi maka korosi akan menjadi lebih parah lagi misalnya terjadinya korosi setempat. Salah satu metoda termodinamika adalah proteksi katodik yang diterapkan secara luas.

Prinsip proteksi katodik sebenarnya sederhana, yaitu dengan cara memperlakukan struktur logam yang diproteksi sebagai katoda, dengan jalan mengalirkan arus listrik melalui elektrolit ke logam yang diproteksi (Blount,1989). Atas dasar prinsip inilah cara pengendalian korosi dengan teknik proteksi katodik diterapkan dalam praktek, terutama dalam pengendalian baja yang berada dalam elektrolit misalnya tanah basah atau dalam air laut. Besar kecilnya rapat arus yang harus dialirkan bergantung dari laju korosinya. Makin besar laju korosinya makin besar pula jumlah rapat arus proteksi yang diperlukan untuk memproteksi katodik. Laju korosi baja dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya oleh

laju alir fluida (Jones, 1992). Sebagai contoh kapal yang bergerak laju korosinya lebih besar dari pada kapal yang diam.

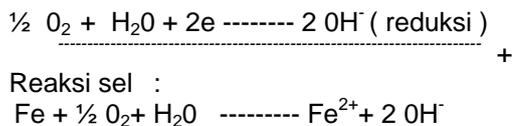
Kajian pengaruh laju alir fluida terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik yang dinyatakan dalam persamaan empiris diperlukan untuk mempermudah perhitungan di dalam desain proteksi katodik baja yang mempunyai kecepatan relatif, yang sampai saat ini belum ada.

Proteksi katodik merupakan salah satu metoda pengendalian korosi struktur logam dalam lingkungan elektrolit dengan cara memperlakukan struktur logam sebagai katoda (Jones, 1992). Metoda ini dilakukan dengan jalan mengalirkan arus listrik searah melalui elektrolit ke logam sehingga potensial antarmuka logam-larutan elektrolit turun menuju/mencapai daerah immunya atau sampai nilai tertentu dimana laju korosi logam masih diperbolehkan/minimum (Jones, 1972). Sumber arus listrik searah dapat diperoleh dengan dua cara yaitu: arus listrik searah diperoleh dari reaksi galvanik disebut metoda anoda korban (*sacrificial anode*), dan cara kedua arus listrik searah diperoleh dari sumber luar disebut metoda arus yang dipaksakan (*impressed current*) (Morgan,1987).

Pada kedua cara tersebut diatas, akan tercipta suatu sistem rangkaian arus listrik searah tertutup. Aliran listrik pada rangkaian luar dihantar oleh elektron, sedang dalam elektrolit dihantar oleh ion. Karena mekanisme dari proteksi katodik adalah proses elektrokimia yang terjadi pada elektroda, maka dapat disimpulkan proteksi katodik hanya mungkin diterapkan bila struktur yang diproteksi dan anoda berkesinambungan secara elektronik dan elektrolitik (Shreir,1994).

Proses korosi logam dalam larutan air (*aqueous*) berlangsung secara elektrokimia, sehingga pada permukaan logam yang terkorosi terbentuk daerah daerah yang bersifat anodik dan katodik (Fontana, 1979). Sebagai contoh untuk logam besi yang terkorosi dalam larutan air pada pH netral dan teraerasi reaksi selnya sebagai berikut :

Anodik :  
 $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$  (oksidasi)  
Katodik :



Reaksi sel elektrokimia di atas mencakup semua fenomena perpindahan elektron pada antar muka logam - larutan elektrolit yang disebabkan oleh reaksi oksidasi - reduksi, karenanya laju korosi dapat dinyatakan sebagai arus (elektron/satuan waktu, coulomb/detik = ampere) (Prentice, 1991).

Dalam proteksi katodik salah satu cara untuk mengetahui keberhasilan suatu struktur logam terproteksi dengan baik adalah dengan mengamati potensial antarmuka logam yang dilindungi (Uhlig, 1985). Beberapa kriteria yang menggunakan parameter potensial antarmuka, khususnya untuk besi atau baja dalam lingkungan air laut, umumnya mengacu ke standard National Assosiation of Corrosion Engineer NACE (RP 076-1983) tentang "Corrosion Control of Steel, Fixed Offshore Platform Associated with Petroleum Production " yang dapat disarikan sebagai berikut : Proteksi katodik dicapai bila,

- (1) Potensial antarmuka logam  $\leq - 800$  mV diukur antara permukaan struktur yang diproteksi dengan elektroda referensi Ag/AgCl jenuh yang dikontakkan dengan elektrolit.
- (2) Potensial diturunkan  $\geq 300$  mV ke arah negatif dari potensial korosi struktur yang dihasilkan dari aplikasi arus proteksi.
- (3) Bila korosi terkendali oleh suhu lingkungan, maka potensial proteksi dapat didekati dengan menggunakan persamaan Nernst, sedangkan pada lingkungan khusus dan suhu normal berlaku kriteria (1) dan (2).

RCE digunakan secara luas untuk mempelajari proses korosi dan parameter kinetika reaksi elektrokimia yang terkendali oleh laju perpindahan massa (uhlig, 1985), karena karakteristik perpindahan massa yang dibentuknya sudah sangat dikenal berdasarkan hukum hukum termodinamika. Pada umumnya aliran fluida karena konveksi natural (konveksi yang disebabkan gradient densitas), dan konveksi paksaan ,yang dika-

rakterisasi oleh regim aliran turbulen nilai bilangan Reynoldnya adalah :

$$\text{Re} = \frac{\pi \omega d^2}{\nu} > 200 \text{ ( hanya berlaku$$

untuk metoda RCE) (Gabe and Walsh ,1984)

Oleh karena besarnya keperluan rapat arus proteksi katodik sebanding dengan rapat arus korosi maka, hubungan pengaruh laju alir fluida terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik yang disimulasi dengan RCE dapat dinyatakan sebagai fungsi dari :  $i_{\text{PRCE}} = f ( D, d, V, U, n, C, F )$  (Uhlig, 1985).

Dengan analisis bilangan tak bermatra dapat dicari kelompok kelompok bilangan bilangan tak bermatra sebagai berikut :

$$i_{\text{PRCE}} = K n F C d^{-1} U \left[ \frac{Vd}{\nu} \right]^c \left[ \frac{\nu}{D} \right]^{-c}$$

Dengan manipulasi aljabar persamaan akan didapat:

$$i_{\text{PRCE}} = K \frac{n F C D}{d} [\text{Re}]^{a_1} [Sc]^{a_2}$$

Persamaan empiris tersebut, menunjukkan hubungan antara pengaruh laju alir fluida terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik. Konstanta  $K$  ,  $a_1$  ,  $a_2$  akan ditentukan melalui percobaan.

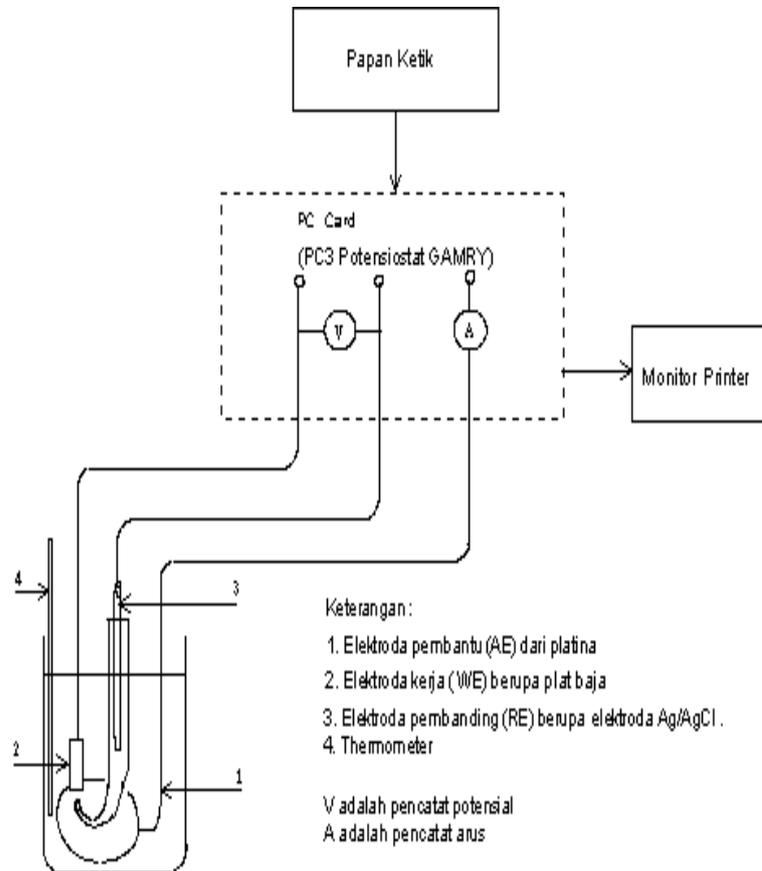
Peubah tetap yang digunakan adalah baja AISI - SAE 1018, sedangkan peubah bebas yang dikerjakan adalah :

- (1) Sebagai lingkungan, larutan NaCl 3,5%
- (2) Suhu yaitu 25 °C , 50 °C, 75 °C
- (3) Kecepatan RCE pada rentang 0 - 2000 rpm

Pada penelitian ini digunakan Potensiostat Gamry Instrument yang dilengkapi dengan "Programable DC Power Supply". Reaksi reduksi dilangsungkan dalam sel elektrolisis yang dilengkapi dengan elektroda kerja berbentuk silinder berputar dari baja. Kecepatan elektroda kerja dikendalikan oleh motor pengaduk, dan sumber arus listrik dihubungkan dengan sikat sikat yang terbuat dari Graphalloy. Elektroda bantu terbuat dari kawat platina berbentuk jaring ditempatkan mengelilingi dinding sel. Ag/AgCl ( kalibrasi +0,202 Volt terhadap SHE pada suhu 25°C) digunakan sebagai elektroda referensi, yang dicelupkan pada larutan. Selama proses elektrolisis sistem dalam ke-

adaan tertutup sehingga tidak ada gas yang keluar. Untuk memperoleh data yang akurat, sebelum polarisasi dimulai e-

lektroda kerja diputar di dalam sel elektrolisis sampai diperoleh potensial korosi yang relatif tetap.

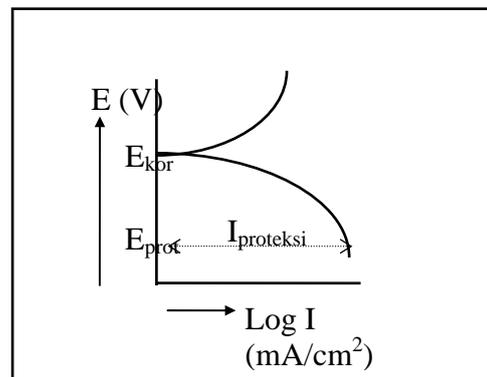


Gambar 1. skema rangkaian alat potensiostat

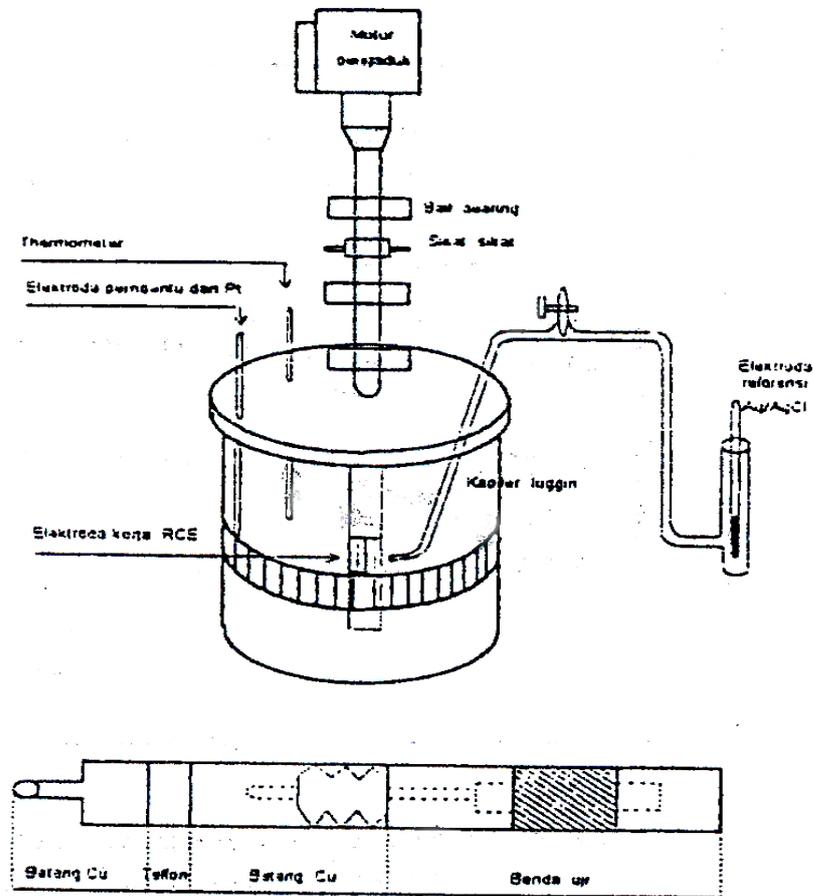
Pengukuran keperluan rapat arus proteksi katodik dilakukan dengan metoda potensiodynamik. Polarisasi katodik dilakukan dengan laju penambahan potensial sebesar 0,5 mV/det. Penentuan keperluan rapat arus proteksi katodik ditentukan pada potensial baja - 800 mVolt dengan elektroda Ag/AgCl.

#### PEMBAHASAN

Dari setiap percobaan polarisasi baja AISI-SAE 1018 dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi dilakukan untuk menentukan besarnya rapat arus proteksi katodik pada suhu 25 - 75°C dengan variasi kecepatan pada rentang 0 - 2000 rpm, diperoleh kurva polarisasi sebagai berikut :



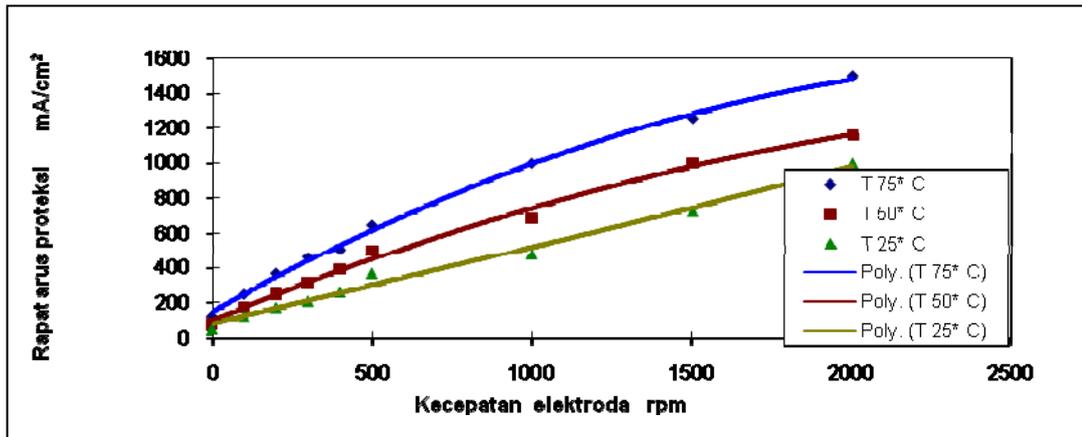
Gambar 2. Skema kurva polarisasi baja dalam larutan NaCl 3,5% pada pH 7,2 dan teraerasi



Gambar 3. skema sel elektrolisis RCE

Dari kurva polarisasi katodik pada (gambar 2) dapat ditentukan dua parameter yaitu potensial korosi dan besarnya keperluan rapat arus proteksi katodik pada kriterium - 800 mVolt dengan elektrode referensi Ag/AgCl. Dari parameter tersebut dapat ditentukan hubungan pengaruh laju alir fluida terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik'. Dari hasil serangkaian percobaan baja AISI 1018

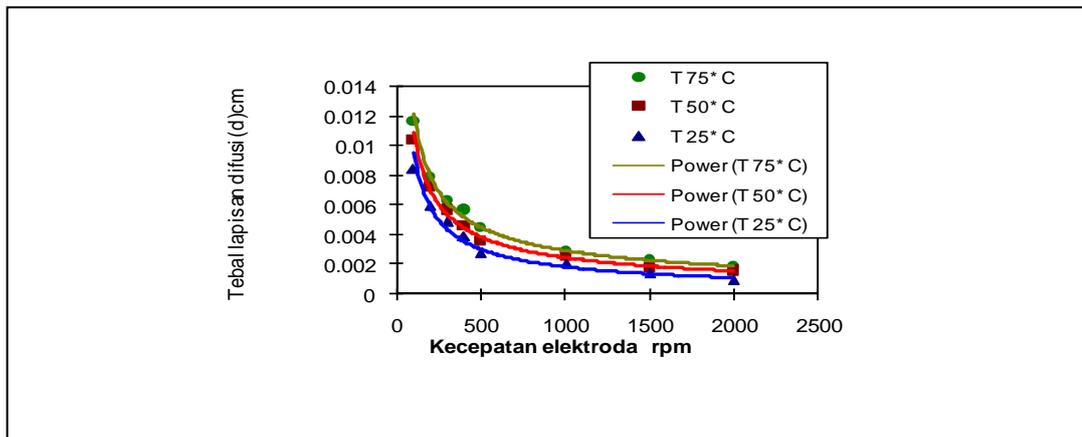
dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi pada pH 7,2 dengan variasi kecepatan pengadukan pada rentang 0 - 2000 rpm dan suhu 25 - 75<sup>0</sup>C, didapatkan bahwa besarnya keperluan rapat arus proteksi dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan dan suhu yang dinyatakan dalam persamaan empiris sebagai fungsi bilangan Schmidt, Reynold dan Sherwood.



Gambar 4. Pengaruh kecepatan elektroda terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik AISI - SAE 1018 (RCE) dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi

Sebagaimana yang dapat dilihat pada (gambar 4) meningkatnya kecepatan pengadukan akan meningkatkan laju korosi baja AISI 1018 dan keperluan rapat arus proteksi, hal ini disebabkan dengan adanya pengadukan ion - ion logam di antarmuka logam - larutan elektrolit lebih cepat mencapai ruang, yang ditunjukkan dengan semakin tipisnya tebal lapisan

difusi dengan meningkatnya kecepatan pengadukan, sehingga laju korosinya juga meningkat. Hubungan pengaruh kecepatan pengadukan pada berbagai suhu terhadap tebal lapisan difusi ditunjukkan pada (gambar 5). Selain dari pada itu potensial korosinya meningkat dengan meningkatnya kecepatan pengadukan (gambar 6).

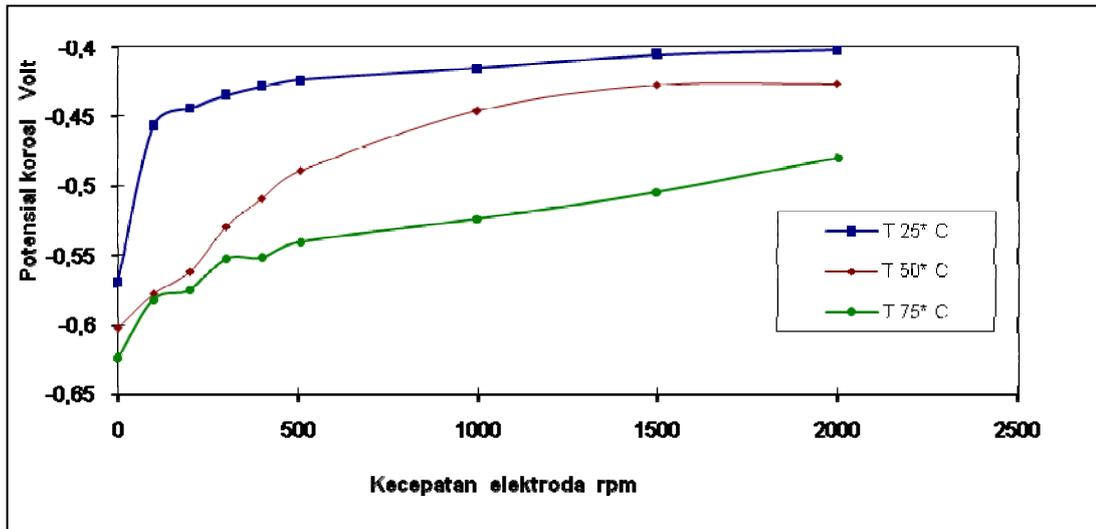


Gambar 5. Hubungan pengaruh kecepatan elektroda terhadap tebal lapisan difusi AISI-SAE 1018 dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi

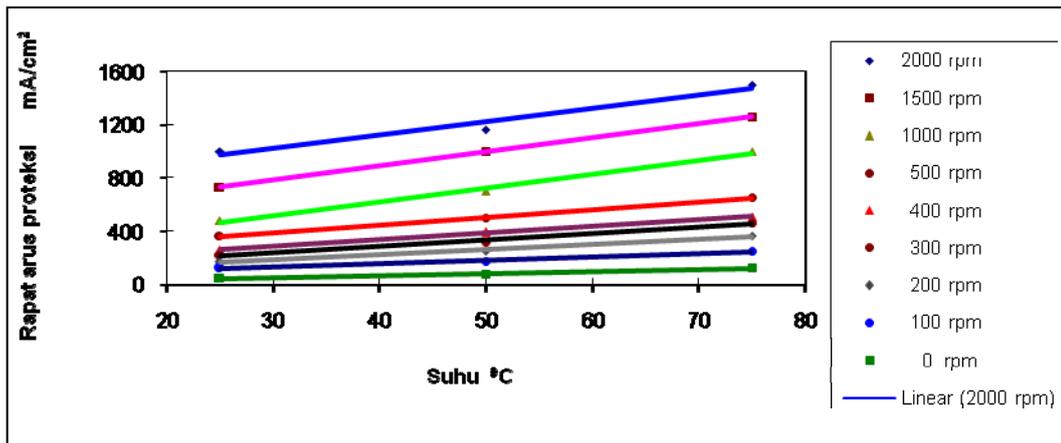
Kenaikan suhu (25 - 75°C) juga akan meningkatkan laju korosi baja AISI 1018 dan keperluan rapat arus proteksi katodik (gambar 7). Meningkatnya keperluan rapat arus proteksi ini disebabkan difusi oksigen ke permukaan elektroda meningkat dengan kenaikan suhu sehingga laju ko-

rosinya juga meningkat, yang dapat dijelaskan dengan penerapan rumus Arrhenius sebagai berikut :

$$D_i = D_{i0} \exp \left[ \frac{Q^*}{RT} \right]$$



Gambar 6. Pengaruh kecepatan elektroda terhadap potensial korosi AISI - SAE 1018 (RCE) dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi

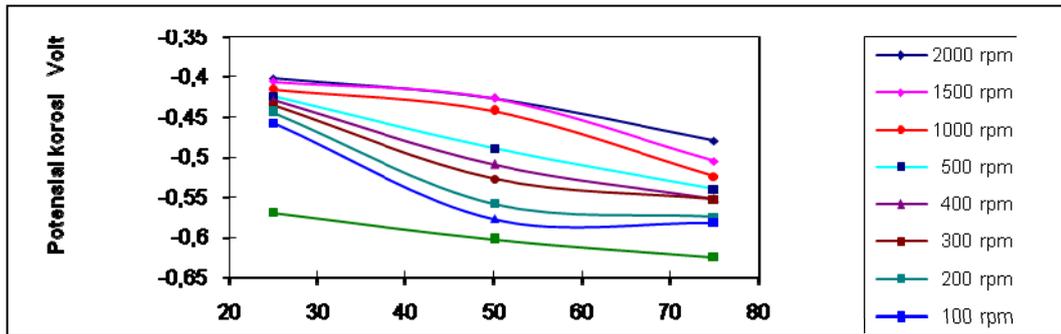


Gambar 7. Pengaruh suhu terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik AISI - SAE 1018 (RCE) dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi

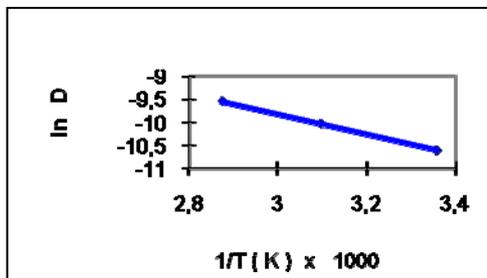
Dari rumusan tersebut dapat disimpulkan bahwa difusi oksigen ke permukaan elektroda meningkat dengan meningkatnya suhu dan potensial korosinya lebih negatif (gambar 8), sehingga laju korosinya juga meningkat. Dengan mengalirkan  $\ln D$  terhadap  $1/T$  yang berupa garis lurus (gambar 9) dapat ditentukan besarnya energi aktivasi oksigen untuk berdifusi.

Sebagaimana telah diuraikan pada tinjauan pustaka, hubungan fungsional pengaruh kecepatan pengadukan/laju alir fluida dan suhu terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik untuk regim aliran turbulen dituliskan sebagai berikut :

$$i_{PRCE} = K \frac{nFCD}{d} [Re]^{a_1} [Sc]^{a_2}$$



Gambar 8. Pengaruh suhu terhadap potensial korosi AISI - SAE 1018 (RCE) dalam larutan NaCl 3,5% teraerasi



Gambar 9. Kurva ln D terhadap 1/T

Dari data - data hasil percobaan yang diperoleh, dapat dihitung nilai koefisien  $K$ ,  $a_1$  dan  $a_2$ . Dengan menggunakan analisis regresi linier ganda diperoleh nilai  $K$ ,  $a_1$ , dan  $a_2$ , sehingga rumusan keperluan rapat arus proteksi katodik untuk metode RCE yang dianggap sebagai regim aliran turbulen adalah sebagai berikut :

$$i_{PRCE} = 0,0841 \frac{nFCD}{d} [Re]^{0,6539} [Sc]^{0,4976}$$

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa persamaan empiris yang merupakan hubungan fungsional antara pengaruh kecepatan elektroda/laju alir fluida yang dikarakterisasi sebagai aliran turbulen terhadap keperluan rapat arus proteksi katodik adalah sebagai berikut :

$$i_{PRCE} = 0,0841 \frac{nFCD}{d} [Re]^{0,6539} [Sc]^{0,4976}$$

### Notasi

$i_{PRCE}$  rapat arus proteksi katodik mA/cm<sup>2</sup>  
D koefisien difusi spesi i cm<sup>2</sup>/det  
d diameter elektroda cm

V kecepatan m/det  
 $\nu$  viskositas kinematik cm<sup>2</sup>/det  
n jumlah elektron yang dipertukarkan  
C konsentrasi spesi i mol/lt  
F konstanta Faraday C/ekuivalen

### DAFTAR PUSTAKA

- Berendsen A.M., 1987, *Ship Painting Manual*, Delf.
- Bard A.J. and Faulkner L.R., 1980, *Electrochemical Methods, Fundamental and Application*, John Willey & Sons, New York.
- Blount F.E., 1989, *Electrochemical Principles of Cathodic Protection Corrosion Control*, NACE, vol 10, No 7.
- Chawla S.L and Gupta R.K, 1993, *Material Selection for Corrosion Control ASM International*. John Willey and Sons, New York.
- Fontana G.Mars, 1979, *Corrosion Engineering*, Third edition, Mac Graw Hill Book co, New York.
- Gabe D.R. and Walsh F.C, 1984, *The Rotating cylinder Elektrode, Applied Electrochemistry 6*, Prentice Hall, New Jersey.
- Jones Denny A., 1992, *Principles and Prevention of Corrosion*, Macmillan Publishing Company, New York.
- Jones D.A., 1972, *Analysis of Cathodic Protection Criteria, Corrosion, NACE, Vol 28, No. 11*.
- Morgan J.H., 1987, *Catodic Protection*, second edition, NACE.
- NACE Standard Rp-01-76, 1976, *Corrosion Control of Steel, Fixed Offshore Platforms With Petroleum Production*, NACE.

Prentice G., 1991, *Electrochemical Engineering Principles*, Prentice Hall, New Jersey.

Scully J.C., 1975, *The Fundamental of Corrothion*, second edition, New York.

Uhlig H.H., 1985, *Corrothion and Corrothion Control*, John Welly & Sons New York.