

ANALISIS MEKANISME PENGARUH INHIBITOR SISKEM PADA MATERIAL BAJA KARBON

Sofia Loren Butarbutar dan Geni Rina Sunaryo

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) - BATAN

Kawasan PUSPIPTEK Gd. No. 80 Serpong, Tangerang Selatan 15310

e-mail: sofia@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS MEKANISME PENGARUH INHIBITOR SISKEM PADA MATERIAL BAJA KARBON. Penambahan inhibitor SISKEM ke dalam air pendingin sekunder RSG GAS merupakan suatu cara pengendalian kualitas air pendingin yang dapat mendukung keandalan komponen sistem. Inhibitor SISKEM yang ditambahkan secara umum mengandung fosfat dan seng yang merupakan jenis inhibitor gabungan dari anodik dan katodik dan berfungsi untuk menghambat laju korosi pada baja karbon yang merupakan material pipa sekunder reaktor RSG GAS. Seberapa besar efektivitas penambahan inhibitor sangat perlu dipahami. Salah satu parameternya adalah laju korosi yang pengukurannya dilakukan dengan menggunakan potensiostat. Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai efektivitas inhibitor ini dengan menggunakan potensiostat. Dimana pada penelitian tersebut diperoleh nilai optimum konsentrasi inhibitor korosi untuk air pendingin sekunder adalah 100 ppm, dengan efektivitas 35%. Tujuan dari penelitian ini adalah memahami mekanisme inhibisi dari inhibitor yang digunakan dalam menekan laju korosi. Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa mekanisme ilmiah yang dapat dipikirkan pada proses inhibisi korosi baja karbon, seng akan bereaksi dengan hasil reduksi oksigen, OH⁻, membentuk lapisan tipis Zn(OH)₂ yang mengisolasi logam dengan lingkungan, sehingga dapat melindungi logam. Fosfat yang di dalam air terhidrolisa menjadi ortofosfat akan bersenyawa dengan ion kalsium yang terdapat di dalam air PAM Puspipstek membentuk kalsium fosfat yang merupakan lapisan pelindung yang tidak larut dalam air.

Kata kunci: inhibitor anodik, inhibitor katodik, laju korosi

ABSTRACT

INHIBITOR SISKEM INFLUENCE MECHANISM ANALYSIS ON CARBON STEEL. *The addition of inhibitor SISKEM into the RSG GAS secondary cooling water is a way of controlling the quality of cooling water that can support the reliability of the system components. Generally, inhibitor SISKEM contain phosphate and zinc which is a kind of combination of anodic and cathodic inhibitors serves to inhibit the rate of corrosion of carbon steel which is a pipe secondary material RSG GAS reactor. The effectiveness of inhibitor addition is very important to understand. One of its parameters is the corrosion rate measurement is performed using a potentiostat. Previous studies have been conducted on the effectivity of these inhibitors by using a potentiostat. The result show that the optimum level of the corrosion inhibitor is 100 ppm, with 35% effectivity. The purpose of this study was to understand the mechanism of inhibition of inhibitor used to suppress rate of corrosion. From the experimental results can be concluded that the scientific mechanism that can be considered in the process of corrosion inhibition of carbon steel, zinc reacts with OH⁻ to form thin film Zn(OH)₂ so it can protect the metal from its environment. Phosphate in the water will be hydrolyzed into orthophosphoric will react with calcium ions which is contained in PUSPIPTEK tap water to form calcium phosphate called protective film that is insoluble in water.*

Keywords: anodic inhibitor, cathodic inhibitor, corrosion rate

1. PENDAHULUAN

Korosi merupakan salah satu permasalahan yang tidak dapat dihindari oleh sistem pendingin sekunder RSG GAS, karena bersentuhan langsung dengan lingkungan sehingga dapat mengurangi efektivitas pengoperasian reaktor. Terlebih air pendingin yang digunakan adalah air PAM PUSPIPTEK yang tanpa pengolahan lebih lanjut dan salah satu material yang digunakan adalah baja karbon, maka sudah dapat dipastikan bahwa korosi sangat mungkin untuk terjadi^[1].

Akibat dari korosi ini adalah terjadinya penipisan pada sistem pemipaan pendingin sekunder^[2]. Mengingat sistem ini memiliki fungsi yang penting, maka diperlukan cara untuk meminimasi korosi tersebut yaitu menambahkan inhibitor. Inhibitor yang digunakan adalah Siskem yang mengandung bahan dasar fosfat dan seng. Keefektivitasan penambahan inhibitor ini dapat diketahui dengan berkurangnya laju korosi material baja karbon dibanding dengan tanpa penambahan inhibitor. Pengukuran laju korosi dilakukan dengan metode elektrokimia menggunakan potensiostat. Pengukuran menggunakan Potensiostat EA161 telah dilakukan pada kegiatan penelitian Block Grant 2009^[3]. Pengukuran dilakukan pada temperatur kamar. Parameter yang dipakai adalah variasi konsentrasi inhibitor yang ditambahkan pada suatu sistem yang statis, dimana tidak terjadi aliran serta injeksi inhibitor secara kontinyu. Metoda yang digunakan adalah eksperimen dan pendekatan aspek elektrokimia. Pada kegiatan tersebut diperoleh nilai optimum konsentrasi inhibitor korosi untuk air pendingin sekunder adalah 100 ppm, dengan efektivitas 35%. Sedangkan penelitian sekarang ini bertujuan untuk memahami bagaimana mekanisme inhibisi laju korosi pada material baja karbon oleh senyawa-senyawa yang terkandung dalam inhibitor yang ditambahkan ke dalam pendingin sekunder.

2. TEORI

2.1 Korosi

Korosi adalah proses kerusakan/degradasi pada material akibat berinteraksi dengan lingkungannya. Terkorosinya suatu logam dalam lingkungan elektrolit (air) adalah suatu proses elektrokimia. Proses ini terjadi bila ada reaksi setengah sel yang melepaskan elektron (reaksi oksidasi pada anodik) dan reaksi setengah sel yang menerima elektron tersebut (reaksi reduksi pada katodik). Kedua reaksi ini akan terus berlangsung sampai terjadi kesetimbangan dinamis dimana jumlah elektron yang dilepas sama dengan jumlah elektron yang diterima. Suatu logam yang dicelupkan pada suatu larutan elektrolit, maka akan terbentuk dua lokasi yang disebut anoda dan katoda. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi dan pada katoda terjadi reaksi reduksi seperti dinyatakan dalam persamaan di bawah ini^[4].

Pada anoda, tempat terjadinya reaksi oksidasi dan biasanya terkorosi



Pada katoda, tempat terjadinya reaksi reduksi dan tidak mengalami korosi. Dua reaksi penting yang umum terjadi pada katoda, tergantung pH larutan bersangkutan, adalah:



2.2 Inhibitor korosi^[2]

Salah satu metoda untuk menghambat kerusakan yang terjadi adalah dengan cara menggunakan inhibitor. Inhibitor korosi adalah senyawa kimia yang dapat mencegah atau memperlambat proses korosi. Sejauh ini, penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang

paling efektif untuk mencegah korosi, karena biayanya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana. Biasanya proses korosi logam berlangsung secara elektrokimia yang terjadi secara simultan pada daerah anoda dan katoda yang membentuk rangkaian arus listrik tertutup. Inhibitor biasanya ditambahkan dalam jumlah sedikit, baik secara kontinu maupun periodik menurut suatu selang waktu tertentu.

Cara inhibitor mereduksi laju korosi adalah sebagai berikut^[5]:

- o Memodifikasi polarisasi katodik dan anodik (*Slope Tafel*)
- o Mengurangi pergerakan ion ke permukaan logam
- o Menambah hambatan listrik dipermukaan logam
- o Menangkap atau menjebak zat korosif dalam larutan melalui pembentukan senyawa yang tidak agresif

Mekanisme kerja inhibitor dapat dibedakan sebagai berikut :

- o Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya.
- o Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak, sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.
- o Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya, dan menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.
- o Inhibitor menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungannya.

Secara umum inhibitor korosi dibagi atas beberapa kategori yakni;

- o Inhibitor Anodik
Inhibitor anodik menurunkan laju korosi dengan cara memperlambat reaksi anodik. Inhibitor anodik membentuk lapisan pasif melalui reaksi ion-ion logam yang terkorosi untuk menghasilkan selaput pasif tipis yang akan menutupi anoda (permukaan logam) dan lapisan ini akan menghalangi pelarutan anoda selanjutnya. Lapisan pasif yang terbentuk mempunyai potensial korosi yang tinggi atau inhibitor anodik menaikkan polarisasi anodik. Senyawa yang biasa digunakan sebagai inhibitor anodik adalah: Kromat, Nitrit, Nitrat, Molibdat, Silikat, Fosfat, Borat.
- o Inhibitor Katodik
Inhibitor katodik menurunkan laju korosi dengan cara memperlambat reaksi katodik. Inhibitor katodik bereaksi dengan OH^- untuk mengendapkan senyawa-senyawa tidak larut pada permukaan logam sehingga dapat menghalangi masuknya oksigen. Contoh inhibitor tipe ini antara lain: Zn, CaCO_3 , Polifosfat.

2.3 Potensiostat^[6]

Potensiostat merupakan peralatan yang biasa digunakan pada penelitian elektrokimia seperti untuk mengamati fenomena yang terjadi selama proses korosi terjadi. Potensiostat akan memberikan potensial atau tegangan listrik yang telah ditentukan terlebih dahulu kepada benda uji sehingga pengukuran arus selama proses korosi dapat dilakukan. Peralatan potensiostat biasanya dilengkapi dengan tiga jenis elektroda yaitu; elektroda kerja, elektroda bantu, elektroda acuan. Elektroda kerja (*Working Electrode*) : elektroda logam yang akan diteliti (benda uji) yang disiapkan dengan memasang sebuah benda uji kecil dalam resin pendingin. Benda uji ini harus dapat menghantarkan arus listrik, dan permukaannya harus digerinda dan diampelas untuk menghilangkan oksida-oksida yang mungkin ada. Elektroda bantu (*Auxiliary Electrode*) : elektroda yang khusus mengangkut arus hasil proses korosi yang terjadi dalam rangkaian sel. Elektroda acuan (*Reference Electrode*): elektroda ini dimaksudkan sebagai titik dasar yang sangat mantap untuk mengacukan pengukuran potensial elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus sekecil mungkin sehingga dapat diabaikan. Bila tidak, elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel dan potensialnya tidak lagi konstan. Oleh karena itu diperlukan elektroda bantu untuk mengangkut arus listrik hasil proses korosi. Potensiostat dilengkapi dengan EChem sebagai perangkat lunak. EChem adalah suatu program yang biasa digunakan dalam penelitian elektrokimia. Dalam pelaksanaannya EChem ini dihubungkan dengan potensiostat sehingga arus yang dihasilkan pada setiap potensial yang diberikan dapat direkam oleh komputer secara langsung. Dalam pengujian korosi ini digunakan potensiodinamik karena dengan ini dapat dilakukan Analisa Tafel untuk mendapatkan data-data tentang arus korosi (I_{kor}) dan laju korosi (*CorrRate*).

3. TATA KERJA

3.1 Persiapan Spesimen

Spesimen yang digunakan pada kegiatan ini adalah baja karbon yang memiliki komposisi seperti terlihat pada Tabel 1 dengan luas permukaan 1cm^2 .

Tabel 1. Komposisi kimia baja karbon^[7]

Komponen	% Berat
C	0.42 – 0.5
Fe	98.51 – 98.98
Mn	0.6 – 0.9
P	Max 0.04
S	Max 0.05

Spesimen dipasang kabel sebagai penghantar listrik dan kemudian dibingkai menggunakan resin epoksi tetapi bagian yang akan kontak dengan media dibiarkan terbuka. Kemudian permukaan

spesimen yang terbuka diampelas menggunakan kertas grit 400, 600, 800 sampai dengan grit 1000, selanjutnya dipoles dengan pasta diamond METADI II ukuran $\frac{1}{4}$ mikron.

3.2 Persiapan Larutan

Larutan yang menjadi media berasal dari air PAM Puspipstek dengan pH = 7.8 yang kemudian ditambahkan variasi inhibitor Siskem mulai dari 0, 50, 100, dan 150 ppm.

3.3 Pengujian Korosi

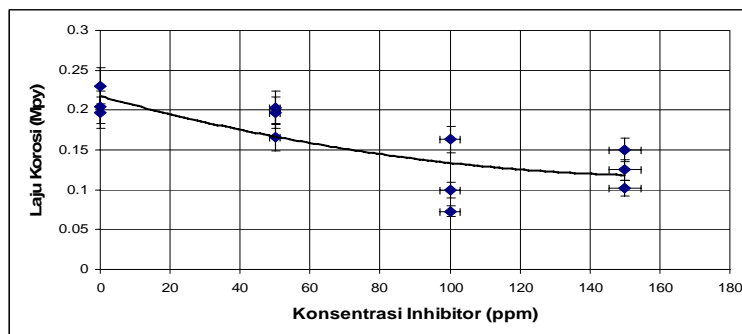
Pertama-tama dilakukan persiapan instrumen potensiostat, dan memasang masing-masing elektroda. Kemudian spesimen dicelupkan ke dalam larutan yang telah disiapkan. Pencelupan dilakukan selama dua jam untuk setiap sampel. Uji korosi dilakukan dengan menggunakan peralatan EDAQ

kemudian data diolah dengan Analisis *Tafel* untuk mendapatkan arus korosi, selanjutnya dikonversi untuk mendapatkan nilai laju korosi.

Dalam pengukuran dilakukan variasi tegangan yaitu dari -0,1 V sampai 0,5 V dengan *scan rate* 0,1 mV/s selama 6000 detik pada elektroda kerja, sehingga aliran arus saat terjadinya korosi dapat diukur. Dengan menggunakan teknik ini, *scan* tegangan terkontrol diaplikasikan pada material. Perubahan arus yang terjadi direkam menggunakan perangkat lunak EChem.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengendalian kualitas air pendingin sekunder akan mendukung keandalan komponen sistem pendingin sekunder sehingga terjaga efektivitas operasi reaktor. Hal inilah yang merupakan tujuan dari penambahan inhibitor korosi pada sistem pendingin sekunder yang sebagian komponennya yaitu pipa terbuat dari material baja karbon. Material ini memiliki ketahanan korosi yang rendah pada air mengandung oksigen temperatur rendah. Dari hasil pengukuran laju korosi dengan menambahkan variasi konsentrasi inhibitor menggunakan Potensiostat EA 161 dapat dilihat pada Gambar 1.

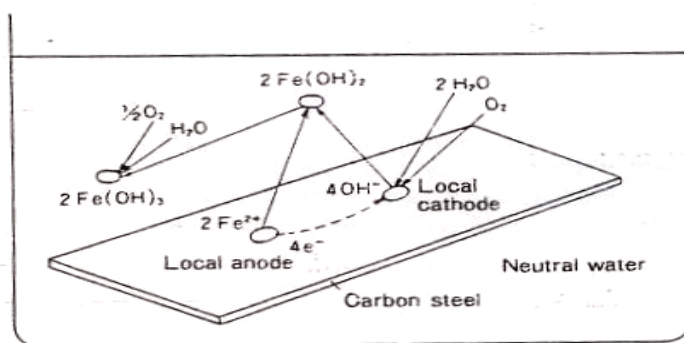
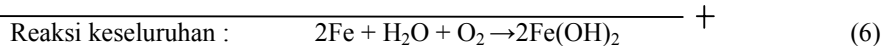
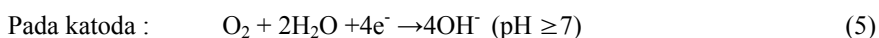
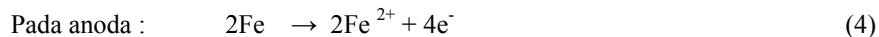


Gambar 1. Grafik laju korosi baja karbon terhadap penambahan inhibitor Siskem dengan menggunakan Potensiostat EA 161^[2]

Secara menyeluruh terlihat bahwa penambahan inhibitor korosi bisa menurunkan laju korosi. Hal ini sesuai dengan teori yang menyebutkan bahwa inhibitor korosi dapat memperlambat proses korosi.

Inhibitor Siskem yang ditambahkan ke dalam pendingin sekunder secara umum mengandung seng dan fosfat. Melihat kandungan inhibitor ini, maka dapat digolongkan bahwa jenis inhibitor ini adalah inhibitor gabungan, dimana seng merupakan jenis inhibitor katodik sedangkan fosfat merupakan inhibitor anodik, keduanya menghambat laju korosi secara bersamaan.

Proses korosi baja karbon seperti yang terlihat pada Gambar 2, dimana baja karbon kontak dengan air akan membentuk anoda dan katoda setempat, dengan reaksi elektrokimia sebagai berikut:



Gambar 2. Skema proses korosi baja karbon di dalam air^[8]

Oksidasi pada anoda terjadi karena berlangsungnya reaksi kimia antara besi dan oksigen yang terdapat dalam air pendingin. Lapisan $\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang terbentuk pada Persamaan 6, pada prinsipnya akan menutupi permukaan spesimen sehingga difusi oksigen pada permukaan akan terhalangi untuk sementara waktu. Oleh karena percobaan dilakukan pada sistem sirkulasi terbuka, seperti pada kondisi riil di lapangan, maka kandungan oksigen di dalam air akan terus bertambah bahkan tidak menutup kemungkinan mencapai keadaan jenuh. Semakin banyak oksigen maka akan semakin cepat reaksi di katoda. $\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang terbentuk pada anoda selanjutnya oleh karena kehadiran oksigen yang berlebih pada lingkungan akan mengakibatkan karat besi (produk korosi) yang diamati berwarna kecoklatan di dalam larutan elektrolit dan mengendap di dasar wadah. Dengan adanya inhibitor maka mata rantai korosi tersebut dapat diputus. Mekanisme reaksi yang mungkin terjadi adalah Inhibitor katodik, Zn akan bereaksi dengan hasil reduksi oksigen, OH^- , membentuk lapisan tipis $\text{Zn}(\text{OH})_2$ yang menghalangi masuknya oksigen, sehingga dapat melindungi logam. Disamping itu oksigen tidak lagi dapat meningkatkan reaksi katodik yang menghasilkan ion hidroksil karena ion tersebut sudah bereaksi dengan inhibitor membentuk lapisan tipis yang lebih stabil.

Jika dilihat pada Gambar 1, tren laju korosi terus berkurang sampai penambahan inhibitor mencapai 150 ppm. Inhibitor mulai bekerja semenjak ditambahkan terlihat dengan semakin berkurangnya laju korosi, bahkan terus berkurang sampai konsentrasi inhibitor 150 ppm. Akan tetapi dapat disimpulkan bahwa nilai konsentrasi inhibitor korosi untuk air pendingin sekunder yang

optimum dari sisi ekonomi adalah 100 ppm^[3], karena efektivitasnya mencapai 35%, sedangkan efektivitas pada konsentrasi inhibitor 50 ppm dan 150 ppm berturut-turut adalah 10% dan 40%. Pada konsentrasi inhibitor 50 ppm, laju korosi masih signifikan menurun sampai penambahan 100 ppm. Pada konsentrasi inhibitor 150 ppm efektivitas hanya bertambah 5% saja, sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan laju korosi tidak signifikan lagi karena telah terbentuk lapisan pelindung yang merata dan kuat di seluruh permukaan logam spesimen sehingga proses oksidasi berkurang. Selain itu ada kemungkinan lain yaitu bahwa inhibitor katodik yang tadinya sudah menghasilkan lapisan pasif, akibat penambahan yang berlebihan tidak efektif malah sebaliknya dapat menimbulkan masalah baru yaitu kerak. Selain masalah kerak, juga tidak ekonomis karena menambah biaya operasional.

Apabila seluruh permukaan logam telah tertutupi oleh lapisan pelindung maka logam bersifat lebih katodik dan laju korosi akan berkurang. Meskipun lapisan pelindung yang terbentuk stabil, akan tetapi ada kemungkinan pada kondisi riil bias lepas, dikarenakan adanya laju alir yang tinggi, oleh sebab itu inhibitor harus diinjeksikan secara periodik.

Fosfat yang merupakan inhibitor anodik dapat memperlambat laju korosi dengan memperlambat reaksi anodik. Di dalam air senyawa fosfat dihidrolisa menjadi ortofosfat, yang merupakan bentuk aktif dari fosfat^[9]. Ortofosfat akan bersenyawa dengan ion kalsium yang terdapat di dalam air PAM Puspipstek membentuk kalsium fosfat yang merupakan lapisan pelindung yang tidak larut dalam air, dimana menurut teori senyawa ini mudah terbentuk dalam suasana lingkungan dengan pH > 7. Hal ini sesuai dengan kondisi air PAM Puspipstek yang memiliki pH 7.8

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penambahan inhibitor korosi pada air pendingin sekunder dapat menurunkan laju korosi baja karbon seperti yang terlihat pada hasil pengukuran Potensiostat EA 161. Inhibitor yang ditambahkan ke dalam pendingin sekunder adalah inhibitor gabungan karena mengandung seng yang merupakan jenis inhibitor katodik dan fosfat yang merupakan inhibitor anodik. Pada proses inhibisi korosi baja karbon, seng akan bereaksi dengan hasil reduksi oksigen, OH⁻ membentuk lapisan tipis Zn(OH)₂ yang menghalangi masuknya oksigen, sehingga dapat melindungi logam. Disamping itu oksigen tidak lagi dapat meningkatkan reaksi katodik yang menghasilkan ion hidroksil karena ion tersebut sudah bereaksi dengan inhibitor membentuk lapisan tipis yang lebih stabil. Fosfat yang di dalam air terhidrolisa menjadi ortofosfat akan bersenyawa dengan ion kalsium yang terdapat di dalam air PAM Puspipstek membentuk kalsium fosfat yang merupakan lapisan pelindung yang tidak larut dalam air.

Mekanisme reaksi yang disampaikan dalam makalah ini hanyalah berdasarkan kandungan inhibitor SISKEM secara umum. Mekanisme rinci akan dipelajari lebih lanjut setelah dilakukan analisis kandungan inhibitor secara rinci.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Diktat Kimia Air, Pelatihan Penyegaran Operator & Supervisor Reaktor, Pusat Pendidikan dan Pelatihan, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong 2007
- [2]. ROZIQ HIMAWAN, SRIYONO, SAFRUL, HENDRO, Analisis ketebalan pipa system pendingin sekunder RSG GAS, Sigma Epsilon, Agustus 2008
- [3]. FEBRIANTO, SUNARYO G.R., BUTARBUTAR S.L., Analisis laju korosi dengan penambahan inhibitor korosi pada pipa sekunder reaktor RSG-GAS, Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 18 November 2010
- [4]. UHLIG H., The Corrosion HandBook, The Electrochemical Society, Inc, John Wiley & Sons, New York
- [5]. Indocor, "Training dan Sertifikasi Proteksi Katodik Level 1"
- [6]. TRETWEY, KR, CGAMBERLAIN, J, Korosi, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991, 63-140, 145-158, 173-190
- [7]. Matweb, Special Metal of Carbon Steel
- [8]. INDRA SURYA DALIMUNTE, Kimia Dari Inhibitor Korosi; Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
- [9]. ERLINA D., UTOMO, S.B., Pemantauan kandungan ortofosfat sebagai parameter uji pengoperasian sistem injeksi inhibitor korosi (PAQ 2) pada system pendingin sekunder RSG GA Siwabessy, Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 18 November 2010

DISKUSI/TANYA-JAWAB:

1. PERTANYAAN: (T.M. Sembiring, PTRKN-BATAN)

- Mengapa di konsentrasi *inhibitor* 100 ppm dikatakan sebagai nilai optimum untuk menahan laju korosi?.

JAWABAN: (Sofia Loren B., PTRKN-BATAN)

- Karena pada konsentrasi inilah nilai efektivitas tertinggi penambahan inhibitor, yaitu sekitar 35%. Ke-efektifan inhibitor ini merupakan kemampuan inhibitor untuk meng-inhibisi (memperlambat) laju korosi pada material.