

# STUDI HAMBATAN BENZOTRIAZOLE AND TOLYTRIAZOLE PADA TEMBAGA DALAM PENGURAI AIR

S.M.B. Respati<sup>\*)</sup>

## Abstrak

*Efisiensi hambatan benzotriazole (BTA) dan Tolytriazole (TTA) pada tembaga dalam air pengurai diteliti. Efek hambatan BTA dan TTA dievaluasi dari kurva polarisasi. Parameter tes ditetapkan efisiensi hambatan adalah konsentrasi, temperature dan tergantung waktu. Efektif hambatan pada tembaga ketika TTA atau BTA (> 6 ppm) ditambahkan air pengurai TTA menunjukkan efisiensi untuk menghambat korosi tembaga dibawah kondisi-kondisi terpilih dimana dimungkinkan hubungan film hydrophobicity. Parameter termodinamik untuk BTA dan TTA dihitung adsorption.*

**Kata Kunci:** benzotriazole, tembaga, air pengurai, hambatan, tolytriazole.

## Pendahuluan

Generator turbin uap menjadi peran kunci didalam power plants. Air pengurai normal digunakan ketika media pendinginan didalam sistem pendingin generator turbin uap. Kualitas air pendingin dicek untuk memastikan konsentrasi  $\text{Cu}^{2+}$  tidak lebih dari 40 ppb dan konduktivitas  $<5 \mu\text{s/cm}$  ( $25^\circ \text{C}$ ). Ketika hambatan tembaga ditambahkan dalam sistem terdapat korosi tembaga pada tembaga konduktor dalam air pendingin walaupun konduktivitas air rendah dalam air pengurai adalah besar pengaruhnya pada power plans. Benzotriazole (BTA) dikenal sebagai penghambat korosi tembaga yang efektif dalam aqueous acidic, netral dan larutan alkali. Tolytriazole (TTA) ditemukan untuk anti korosi yang sama dalam sirkulasi air pendingin.

Pada paper ini efek hambatan TTA dan BTA untuk tembaga dalam air pengurai dievaluasi dari kurva polarisasi Efek untuk konsentrasi, temperature dan waktu efisiensi hambatan untuk BTA dan TTA. Diungkapkan hambatan efektif untuk tembaga korosi dapat dicapai ketika menambahkan TTA atau BTA (> 6 ppm) ke air pengurai. Parameter termodinamik untuk BTA dan TTA dihitung.

## Prosedur Percobaan

### Metode Percobaan

Spesimen (dimensi  $25 \times 25 \times 1,5 \text{ mm}$ ) yang dibebaskan dari oksigen konduktivitas tinggi. Komposisi tembaga adalah tembaga murni (99,99%). Spesimen dipoles dengan P. 1200 silikon karbida (SiC). Penurunan pada reaksi analitis acetone ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ) dan dibilas dengan air pengurai. Spesimen terbenam pada gelas 250

ml tertutup. Tes larutan pada temperature dan konsentrasi berbeda untuk variasi interval waktu. Semua percobaan dilaksanakan dalam media pengurai yang menggunakan nitrogen.

Semua bahan reaksi adalah nilai analitis dan air pengurai yang digunakan untuk semua dipersiapkan. Konduktivitas adalah  $1,25 \mu\text{s/cm}$  dan pH adalah 6.4 kualitas yang sama untuk air pendingin power plan generator uap.

Sel elektrochemical konvensional dengan tiga electrode digunakan untuk mengukur kurva polarisasi. Kerja electrode adalah piringan tembaga dengan (luas permukaan  $0,28 \text{ cm}^2$ ) ditempelkan epoxy resin. Kertas platina digunakan adalah saturated calomel electrode (SCE). Karena air pengurai digunakan terlalu murni untuk penghantar listrik. 0,001 M sodium Sulfate ( $\text{Na}_2 \text{SO}_4$ ) digunakan untuk meningkatkan kekuatan sifat ion dan menjaga konduktivitas dari larutan ( $1,25 \mu\text{s/cm}$ ). Kurva polarisasi direkam pada suatu tingkat penelitian 2 mV/s pada  $60^\circ \text{C}$ .

## Efisiensi Hambatan

Efisiensi hambatan ( $\eta$ ) dihitung menurut persamaan berikut ini:

$$\eta = 1 - \frac{\Delta W}{\Delta W_0} \quad (1)$$

dimana  $\Delta W_0$  dan  $\Delta W$  adalah kerugian berat yang terjadi hambatan berturut-turut.

Dibawah kondisi lingkungan yang netral reaksi oksidasi reduksi dalam larutan:

Reaksi anode:



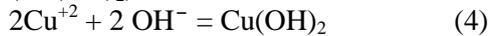
Reaksi katode:



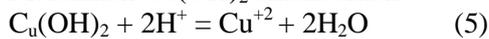
<sup>\*)</sup> Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang  
 Jl Menoreh Tengah X/22 Semarang

Dimana  $E^\circ$  adalah potensi suatu sel dibawah standart tingkat kondisi.

Hasil menunjukkan hidroksida cupric ( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ):



tetapi  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  adalah bukan campuran yang distabilkan dalam suatu larutan acid (pH = 6,4). Melainkan  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  dihancurkan:



Peningkatan konsentrasi  $\text{Cu}^{2+}$  dalam suatu larutan mengartikan peningkatan tiap tiangkat korosi tembaga.

Jumlah  $\text{Cu}^{2+}$  dalam tes larutan dilakukan menurut metode standar.

Kondisi percobaan yang sama, kerugian berat untuk tembaga selama tes adalah terlalu

dapat diwakili oleh pemenuhan permukaan,  $\theta$  ( $0 < \theta \leq 1$ ). Pemenuhan permukaan dinyatakan sebagai berikut ini:

$$\theta(\eta) = 1 - \frac{C}{C_0} \quad (7)$$

dimana K adalah fungsi volume dari tes larutan  $C_0$  dan C adalah konsentrasi ion tembaga yang terjadi dalam hambatan berturut-turut.

**Hasil dan Diskusi**

**Polarisasi Potensi Dinamik**

Gambar 1 menunjukkan kurva polarisasi untuk tembaga setelah 1 jam dalam air pengurai (0,001 M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) dan adanya 6 ppm TTA atau BTA pada  $60^\circ\text{C}$ .

Perubahan kecil potensi korosi tembaga

**TABLE 1**  
Corrosion Inhibition Behavior of TTA vs BTA on Copper After 24 h of Immersion in 250 mL Deionized Water at  $60^\circ\text{C}$

Inhibitor Concentration (ppm)		$\text{Cu}^{2+}$ In Solution (ppb)		$\eta$ (%)	
TTA	BTA	TTA	BTA	TTA	BTA
0	0	248.18	248.18	0	0
0.5	0.5	150.97	176.31	39.17	28.96
1.0	1.0	98.49	142.74	60.31	42.48
1.5	1.5	84.79	117.02	65.84	52.85
2.0	2.0	76.63	95.85	69.14	61.38
3.0	3.0	59.78	72.10	77.93	70.95
4.0	4.0	52.86	65.64	78.70	73.55
6.0	6.0	29.29	52.86	88.19	78.70
8.0	8.0	22.95	42.81	90.75	82.75
10.0	10.0	11.23	37.63	95.48	84.48

kecil dan tidak dapat diukur dengan teliti dan tidak dapat diukur dengan teliti oleh timbangan. Tingkat korosi di air pengurai adalah  $0,1021 \text{ mg/dm}^2 - \text{d}$  ( $60^\circ\text{C}$ ). Tetapi konsentrasi  $\text{Cu}^{2+}$  dalam perubahan larutan digunakan untuk menyatakan tingkat korosi tembaga dalam paper ini. Kerugian berat tembaga sebanding dengan ion konsentrasi tembaga dalam larutan melalui hubungan berikut ini:

$$\Delta W = K C \quad (6)$$

Kapan hambatan mempunyai "bloking efek"

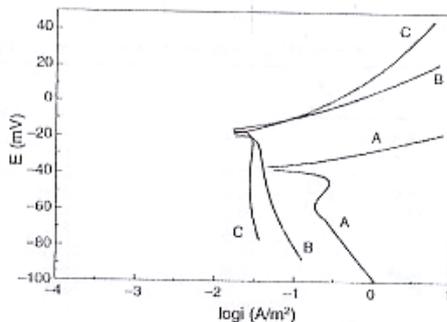


FIGURE 1. Potentiodynamic polarization curves for copper exposed to: (A) deionized water + 0.001 M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , (B) 6 ppm BTA, and (C) 6 ppm TTA.

dalam permukaan logam. Efisiensi hambatan ( $\eta$ )

dalam rekaman tes larutan. Ini menunjukkan penambahan BTA dan TTA mendorong peningkatan potensi korosi dari  $-40 \text{ mV}$  sampai  $-15 \text{ mV}$  dan  $-12 \text{ mV}$ . Faktor utama yang mempengaruhi potensi pergeseran harus mendukung adsorpsi hambatan pada permukaan tembaga electrode. Kerja mereka mekanis menjadi "bloking efek" karena konsentrasi sama hambatan (6 ppm). Potensi pergeseran diperoleh dalam air pengurai bercampur TTA adalah lebih besar dibanding berisi BTA. Hasil ini berarti kemampuan serapan kimia hambatan BTA dan TTA berbeda dipermukaan electrode. Dari potensi pergeseran dan perubahan arus menandai adanya indikasi TTA lebih efisiensi dibandingkan BTA untuk tembaga.

Gambar 1 menunjukkan TTA dan BTA tekanan kedua reaksi anoda dan katoda. Tetapi dengan jelas memperlambat pemutusan tembaga yang anodic. Lagi pula TTA lebih efektif dibanding dengan BTA. Hasil menunjukkan control korosi mekanisme hambatan dan waktu yang sama, ada efek memperlambat sedikit reduksi katoda oksigen. TTA lebih mempengaruhi kedua anoda dan katoda

dibanding BTA. Dalam hal ini hambatan terbaik ditunjukkan oleh TTA.

**Efek Penghambat Konsentrasi Atas Efisiensi Hambatan**

Banyak tes efisiensi hambatan tergantung pada konsentrasi, temperature, waktu dan pH. Sejak pH dalam pendingin air turbin uap tidak dirubah, temperature dan konsentrasi kebanyakan

ini, permukaan dari specimen mempunyai film protektif dan hambatan untuk reaksi anodic adalah observasi utama. Adanya penghambat mempengaruhi reaksi reduksi oksigen, terutama dari bloking permukaan pusat reaksi:  $Cu + O_2 (sol) \rightarrow CuO_2 (ads)$ . Ini diamati pada hasil kurva polarisasi. Dalam paper ini TTA dan BTA adalah 6 ppm.

TABLE 2

Relationship Between Inhibitor Concentrations (C) and  $\left(\frac{C}{v}\right)$  with the Least-Squares Method

Inhibitors	Coefficient of Relation	Slope	Intercept	K (L/mol)	$\Delta G^{(A)}$ (kJ/mol)
BTA	0.9998	1.0587	1.2009	0.8327	-42.977
TTA	0.9999	0.9826	0.8601	1.1627	-44.208

<sup>(A)</sup>  $\Delta G = -2.303RT \log (55.5K)$  here, the unit of K is L/mol, the value 55.5 is the concentration of water in the solution in mol/L.

dipertimbangkan dalam perbandingan.

Nilai efisiensi hambatan diperoleh variasi konsentrasi BTA dan TTA ditunjukkan pada table 1.

Hasil menunjukkan bahwa efisiensi hambatan ditingkatkan atas konsentrasi. Dibanding dengan semua konsentrasi berat sama, TTA menjadi lebih efektif dari BTA. Dari setiap kasus efisiensi hambatan mulai untuk menstabilkan ditingkat 6 ppm. Dalam konsentrasi ini efisiensi hambatan dikurangi dalam order: TTA (88,19 %) > BTA (78,79 %). Lebih dari itu TTA mempengaruhi katoda oksigen reduksi lebih

**Efek Temperatur Pada Efisiensi Hambatan**

Efek temperatur pada efisiensi hambatan ditentukan untuk air pengurai berisi 6 ppm dari campuran yang berbeda pada temperature antara 30° C sampai 90° C. Hasil dilihat pada gambar 2.

Efisiensi hambatan untuk kedua campuran ditemukan untuk suhu meningkat dari 30° C sampai 90° C. ini menunjukkan proses adsorpsi adalah reaksi ekssothermik dan peningkatan temperature menyebabkan penurunan absorpsi. Temperatur secara komparatif lebih sedikit pengaruhnya pada adsorpsi TTA dibanding dengan BTA.

**Efek Waktu Pada Efisiensi Hambatan**

Efek waktu pada efisiensi hambatan (gambar 3) menunjukkan aksi hambatan untuk TTA adalah lebih cepat. Waktu diperlukan untuk hambatan BTA untuk stabil dari 2 hari sampai 7 hari. Karena efisiensi hambatan tergantung pada konsentrasi ion tembaga dalam larutan. Konsentrasi ion tembaga dalam TTA tidak dirubah dengan waktu peningkatan dari bloking permukaan pusat. Efisiensi hambatan untuk TTA lebih tinggi dari BTA dengan peningkatan waktu.

**Adsorpsi Campuran Azole.**

Beberapa penyelidikan mengidentifikasi bahwa adsorpsi BTA dan TTA pada permukaan tembaga menurut angmuir's adsorpsi isotherm:

$$\frac{\theta}{1-\theta} = KC' \tag{8}$$

dimana  $\theta$  = permukaan penuh. K = konstanta keseimbangan proses adsorpsi dan  $C'$  = konsentrasi penmgambat persamaan (8) dapat dinyatakan:

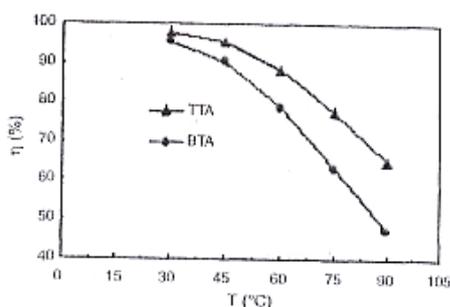


FIGURE 2. Temperature vs  $\eta$ .

banyak dari BTA. Ini diasumsikan dalam posisi

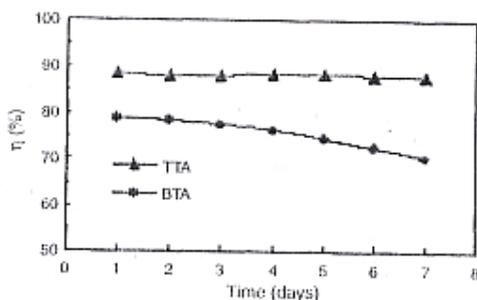


FIGURE 3. Time vs  $\eta$ .

$$\frac{C}{\theta} = C' + \frac{1}{K} \quad (9)$$

Hal ini ditemukan dari harga  $\Delta H$  adsorpsi untuk campuran azole pada permukaan tembaga

TABLE 3  
Adsorption Thermodynamic Values of BTA and TTA on the Surface of Copper (60°C)

Inhibitors	$\Delta H$ (kJ/mol)	$mG$ (kJ/mol)	$\Delta S$ (J/mol-K)	$K \times 10^5$ (L/mol)
TTA	-48.296	-44.268	-12.276	1.5477
BTA	-48.644	-42.977	-17.018	0.9919

$\theta$  dapat diwakili oleh:

$$\frac{C'}{\eta} = C' + \frac{1}{K} \quad (10)$$

Tabel 2 menunjukkan hubungan antara  $C'/\theta$  dan  $C'$  ketika nilai dari table 1 diambil persamaan (10). Dua garis lurus dengan dua kemiringan yang nilainya mendekati 1 diperoleh adsorpsi BTA dan TTA pada tembaga adalah konsisten dengan langmuir adsorpsi isotherm.

Dari persamaan Arrhenius:

$$K = K_o \exp\left[-\frac{\Delta H}{RT}\right] \quad (11)$$

dan persamaan langmuir (9). Dapat diperoleh

$$\log \frac{\theta}{1-\theta} = \log K_o + \log C' - \frac{\Delta H}{2,3RT} \quad (12)$$

dimana  $K_o$  adalah parameter tidak terikat

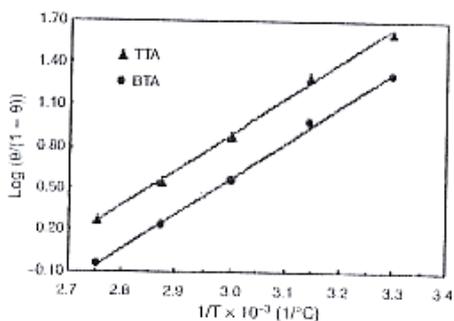


FIGURE 4. Plots of  $\log \frac{\theta}{1-\theta}$  vs  $\frac{1}{T}$  for BTA and TTA.

temperature,  $C'$  memberikan hambatan konsentrasi dan  $\Delta H$  adalah panas adsorpsi.

Gambar 4 menunjukkan plot  $\log \frac{\theta}{1-\theta}$  vs  $\frac{1}{T}$  untuk BTA dan TTA.

Harga untuk panas adsorpsi,  $\Delta H$ , untuk permukaan tembaga diperoleh dari kemiringan garis linier kurva. Dimana sama dengan  $-\Delta H/2,3R$ . Entropy adsorpsi  $\Delta S$  dapat dihitung dari persamaan (13):

$$\Delta G = \Delta H = T\Delta S \quad (13)$$

hasil terkait disampaikan dalam table 3.

dengan bahan kimia adsorpsi masing-masing mempunyai dua Cu(I) ions via H, dan N<sub>3</sub> untuk triazole lingkaran untuk polymeric, dimana dipercaya untuk lapisan aktif untuk melindungi permukaan tembaga dari oksidasi.

Pemeriksaan  $\Delta H$  lebih lanjut mengungkapkan bahwa BTA dan TTA yang dibedakan oleh CH<sub>3</sub> dalam struktur, kelompok metal tidak diharapkan untuk bertentangan dengan ikatan karakteristik dari lingkaran triazole. Karena metal jauh dari triazole N atoms.

Dalam kondisi percobaan  $\Delta S_{TTA}$  lebih besar dari  $\Delta S_{BTA}$ . Ini diakibatkan  $|\Delta G_{TTA}| > |\Delta G_{BTA}|$ .

Karena metal nonpolar menggantikan hydrogen di lingkaran benzana. Pada TTA pengurangan system entropy disebabkan dari hydrophobic luar dari lingkaran air. Tes basah menunjukkan adanya metal mengurangi permukaan dan sudut kontak pergeseran dengan nilai lebih tinggi. Ketika diusulkan Tommesani, hidrophobitas TTA tinggi salah satu penyebab dari penghambat Tafel konstan. Efisiensi hambatan tinggi dan aksi hambatan.

Keduanya bebas energi absorpsi  $\Delta G$  menjadi harga negatif dimana adsorpsi meneruskan proses spontan. Nilai lebih negatif  $\Delta G$  ketika TTA adsorpsi dibanding BTA. Hubungan K adalah  $K_{TTA} = 1,56 K_{BTA}$ .

Kedua entalpi untuk adsorpsi,  $\Delta H$  dimana lebih besar negatif. Meskipun demikian nilai keduanya kurang dari nol. Indikasi proses adsorpsi dihubungkan entalpi bukan efek entropy.

**Kesimpulan.**

- BTA dan TTA mempunyai hambatan baik pada tembaga dalam air pengurai ketika konsentrasi > 6 ppm. Mereka adalah penghambat tipe anodic hambatan dan waktu yang sama mempunyai efek hambatan ke arah reduksi oksigen katoda.
- Adsorpsi BTA & TTA pada permukaan tembaga dalam air pengurai punya bahan kimia adsorpsi dan mamatuhi reaksi

langmuir's adsorpsi isotherm. Adsorpsi proses reduksi eksotermik menghubungkan entalpi dibanding efek entrophy.

#### Daftar Pustaka

- Cao, C. 1990, *Mater. Prot.* 26.
- Frignani, A. Tommesani, L. Brunoro, G. Monticelli, C. Fogagnolo, M. 1999, *Corros. Sci.* 41.
- Gomma. K. 1998, *Mater. Prot.*
- Hollander, O. May R.C. 1985, *Corrosion* 41.
- Huynh, N. Bottle, S.E. Notoya, T. Trueman, A. Hinton, B. Scheinsberg, D.P. 2002, *Corros. Sci.* 44.
- Mansfeld, O. Smith, T. 1973, *Corrosion* 29.
- S.L.F.A. da Costa, S.M.L. Agostinho, H.C, Chadas, J.C. Rubim, 1987, *Corrosion* 43.
- Tommesani, L. Brunoro, G. Monticelli, C. Fogagnolo, M. Frignani, A. 1997, *Corros. Sci.* 39.
- Walker, R. 2000, *Corrosion* 56.
- Yu, P., Liao, D.M., Luo Y.B., dan Chen, Z.G., 2003, *Studies Benzotriazole and Tolytriazole As Inhibitors for Copper in Deionized Water*, Corrosion Science Section, pp 314 - 118.
- Zhu, Y. Zhao Z.G. 1996, *The Base of Boundary Chemistry*, Chemical Industry Press, Beijing.