

## Evaluasi Sistem Proteksi Katodik Anoda Korban pada Submersible Pump Menggunakan BEM-3D Domain Tak Berhingga

S. Fonna<sup>1</sup>, Arismawan<sup>2</sup>, M. Ridha<sup>1</sup>, S. Huzni<sup>1</sup> dan H.M. Zebua<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Tgk. Syech Abdul Rauf No.7 Darussalam, Banda Aceh, 23111, Indonesia  
<sup>2</sup> Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Tgk. Syech Abdul Rauf No.7 Darussalam, Banda Aceh, 23111, Indonesia  
E-mail: syarizal.fonna@gmail.com

### Abstrak

Perencanaan dan evaluasi sistem proteksi katodik anoda korban pada umumnya masih bergantung kepada pengalaman operator dan bersifat *trial-and-error*, sehingga cacat perencanaan hanya akan diketahui setelah sistem tersebut berjalan. Akibatnya banyak struktur akan tetap terkorosi, walaupun menggunakan sistem proteksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengaplikasikan *Boundary Element Method* (BEM) 3D domain tidak berhingga untuk mengevaluasi sistem proteksi katodik anoda korban. BEM dikembangkan dengan asumsi bahwa pada elektrolit sistem proteksi tidak ada ion yang masuk atau keluar, sehingga dapat dimodelkan sebagai domain Laplace dengan struktur yang diproteksi dan anoda korban sebagai kondisi batas. Nilai potensial dan densitas arus diseluruh batas dapat diketahui dengan menyelesaikan persamaan Laplace. Sistem proteksi dapat dianalisa dengan menggunakan data potensial dan densitas arus tersebut. BEM 3D yang dikembangkan ini diaplikasikan pada sistem proteksi katodik anoda korban *submersible pump* yang bekerja dalam lingkungan air laut. Material pompa adalah besi cor dan dilindungi dengan anoda jenis aluminium. Konduktivitas elektrolit untuk sistem proteksi tersebut sebesar 0,0357 S/m. Sistem proteksi katodik ini dievaluasi dengan melihat pengaruh jarak anoda korban terhadap distribusi nilai potensial pada permukaan pompa. Hasil simulasi menunjukkan bahwa BEM 3D domain tak berhingga berhasil dikembangkan dan diaplikasikan untuk evaluasi sistem proteksi katodik anoda korban.

**Keywords:** korosi, sistem proteksi katodik anoda korban, BEM, domain tidak berhingga, simulasi

### Pendahuluan

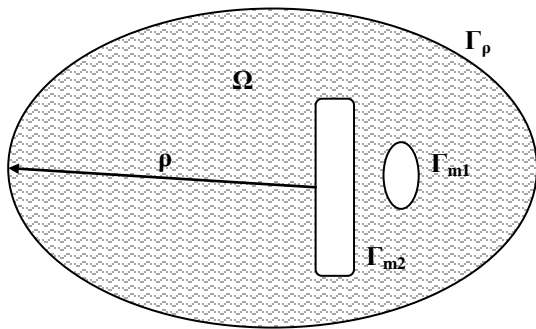
Korosi adalah salah satu permasalahan yang dihadapi dunia dan telah mengakibatkan kerugian yang sangat besar. FHWA (*Federal Highway Administration*; Badan Jalan Raya Federal Amerika Serikat) melaporkan bahwa total kerugian langsung akibat korosi di AS adalah \$ 276 milyar (sekitar 3,1 % dari GDP AS) (NACE 2002). Secara keseluruhan, kerugian akibat korosi untuk dunia diperkirakan melebihi \$ 1,8 trilyun (Schmitt et al. 2009). Selain itu korosi juga merupakan penyebab utama kerusakan dan kegagalan pada kebanyakan infrastruktur. Karena itu, upaya meminimalisir ongkos pemeliharaan dan memperpanjang umur infrastruktur merupakan hal yang sangat mendesak (Broomfield 2007). Berbagai macam sistem proteksi telah digunakan untuk melindungi infrastruktur dari serangan korosi. Salah satunya adalah sistem proteksi katodik. Namun sistem proteksi katodik sulit dievaluasi tanpa terlebih dahulu mengaplikasikannya di lapangan. Hingga saat ini perancang hanya bergantung kepada pengalaman dan *trial-and-error*. Karena itu dibutuhkan metode

untuk mengevaluasi sistem proteksi katodik sebelum sistem diaplikasikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode evaluasi sistem proteksi katodik anoda korban dengan menggunakan *Boundary Element Method* (BEM) 3D domain tidak berhingga. Kemudian metode ini diaplikasikan untuk mengevaluasi sistem proteksi katodik anoda korban *submersible pump* (pompa benam) yang bekerja dalam lingkungan air laut.

### Pemodelan Sistem Proteksi Katodik Anoda Korban

Pemodelan sistem proteksi katodik untuk domain tidak berhingga dilakukan dengan mengasumsikan air laut yang berada disekitar infrastruktur memiliki batas  $\Gamma_p$  dengan  $\rho$  tidak berhingga (Gambar 1). Permukaan anoda korban adalah  $\Gamma_{m1}$  dan permukaan pompa benam adalah  $\Gamma_{m2}$ . Gambar 1 menunjukkan model umum untuk sistem proteksi tersebut. Konduktivitas listrik air laut ( $\kappa$ ) diasumsikan seragam dan tidak ada akumulasi atau kehilangan ion pada seluruh domain.



**Gambar 1.** Model umum sistem proteksi anoda korban

Potensial di dalam domain air laut (Ω) dapat dimodelkan menggunakan persamaan Laplace (Aoki & Kishimoto 1990; Miyakasa et al. 1998):

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad \text{di } \Omega \quad (1)$$

Densitas arus (*i*) pada domain adalah :

$$i = -\kappa \frac{\partial \phi}{\partial n} \quad (2)$$

dimana κ adalah konduktivitas elektrik dan ∂/∂n adalah turunan terhadap vektor normal.

Kondisi batas Persamaan (1) adalah sebagai berikut :

$$-\phi_a = f_a(i) \quad \text{di } \Gamma_{m1} \quad (3)$$

$$-\phi_c = f_c(i) \quad \text{di } \Gamma_{m2} \quad (4)$$

dimana *f<sub>a</sub>(i)* dan *f<sub>c</sub>(i)* adalah fungsi non-linear yang merepresentasikan kurva polarisasi eksperimental untuk anoda dan katoda.

Prosedur standar BEM akan menghasilkan persamaan berikut :

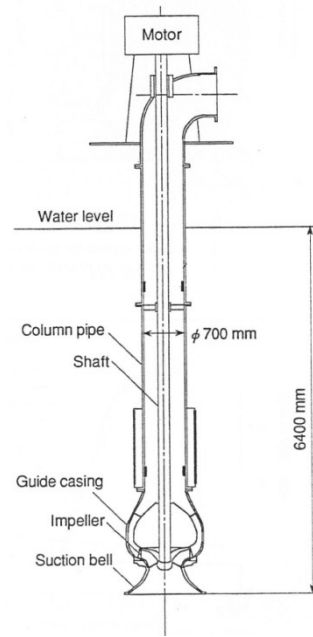
$$\kappa [H] \begin{Bmatrix} \phi_p \\ -f(i_a) \\ -f(i_c) \end{Bmatrix} - [G] \begin{Bmatrix} i_0 \\ i_a \\ i_c \end{Bmatrix} = 0 \quad (5)$$

dimana penjelasan detil matriks [H] dan [G] diberikan pada referensi (Brebba 1980; Brebbia & Domiguez 1992). Subskrip ρ, a, dan c merepresentasikan kuantitas pada Γ<sub>ρ</sub>, Γ<sub>m1</sub>, dan Γ<sub>m2</sub>.

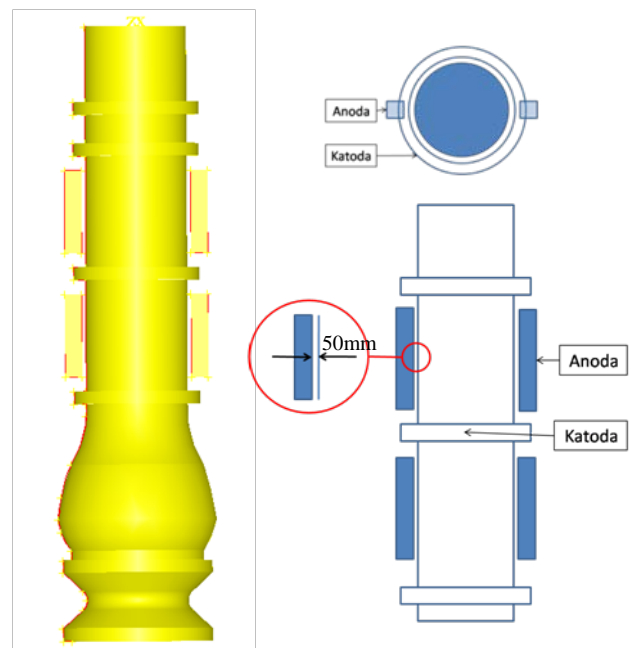
BEM digunakan untuk menyelesaikan persamaan Laplace pada Persamaan (1), jika kondisi batas pada Persamaan (3) dan (4) diketahui. Dengan menyelesaikan persamaan Laplace, potensial, φ, dan densitas arus, *i*, pada seluruh permukaan logam dapat diketahui.

**Simulasi Numerik**

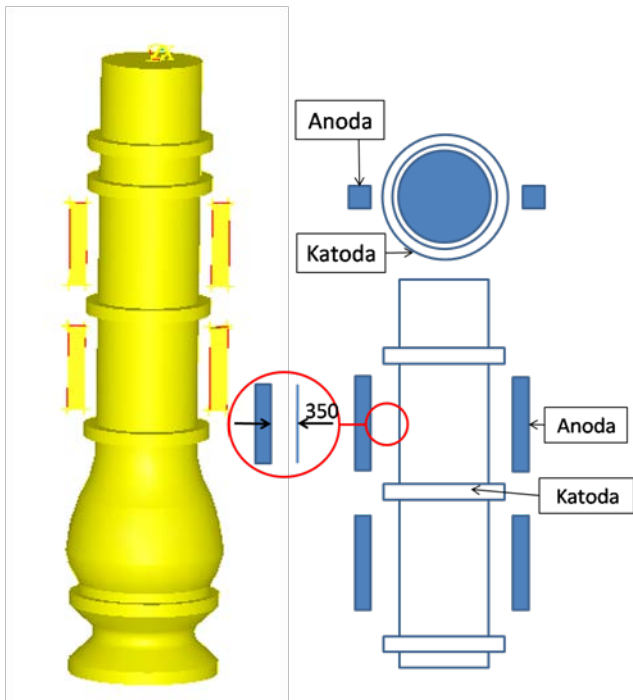
Untuk menunjukkan efektivitas metode yang dikembangkan, suatu studi kasus sistem proteksi katodik anoda korban pada pompa benam ditinjau. Gambar 2 menunjukkan pompa benam yang dianalisa. Sistem proteksi katodik akan optimal jika distribusi potensial pada permukaan pompa mencapai nilai tertentu dan relatif seragam di seluruh permukaan pompa tersebut.



**Gambar 2.** Submersible pump yang ditinjau dalam studi kasus (Miyakasa et al. 1998)



**Gambar 3.** Model sistem proteksi katodik pompa benam dengan jarak anoda 50 mm



Gambar 4. Model sistem proteksi katodik pompa benam dengan jarak anoda 350 mm

Tabel 1. Parameter simulasi

Material pompa	Besi cor
Material anoda	Aluminium
Konduktivitas elektrolit	0,0357 S/m

Pada penelitian ini, simulasi hanya dibatasi untuk menganalisa pengaruh jarak antara pompa dan anoda terhadap distribusi potensial dipermukaan pompa. Gambar 3 dan 4 menunjukkan model tiga dimensi untuk sistem proteksi katodik pada pompa yang dikaji dalam penelitian ini.

Tabel 1 memberikan parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi. Kurva polarisasi untuk besi cor dan aluminium yang digunakan sebagai kondisi batas katoda dan anoda diambil dari referensi (Aoki & Kishimoto 1990).

Hasil Simulasi dan Pembahasan

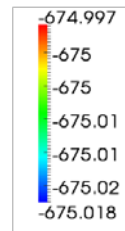
Gambar 5 dan 6 menunjukkan hasil simulasi distribusi potensial pada permukaan katoda dan anoda untuk jarak anoda 50 mm. Sementara, Gambar 7 dan 8 memberikan distribusi potensial untuk jarak anoda 350 mm. Hasil simulasi dengan jarak anoda 50 mm menghasilkan distribusi nilai potensial proteksi katoda sebesar -675 mV hingga -675,012 mV. Sedangkan simulasi dengan jarak anoda 350 mm memberikan distribusi nilai potensial proteksi katoda -675 mV hingga -675,004 mV.

Pada jarak 50 mm, terjadi polarisasi katodik paling tinggi. Polarisasi yang tinggi menyebabkan arus proteksi terkonsentrasi pada daerah yang terdekat

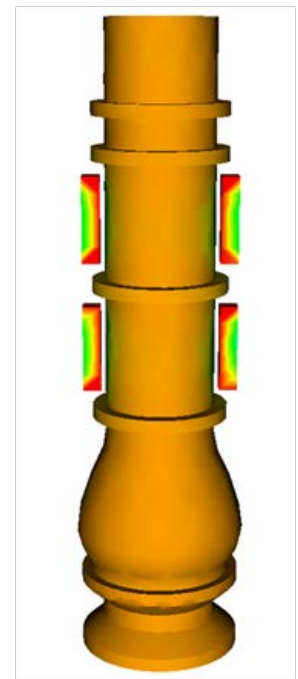
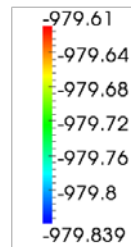
dengan anoda. Sehingga, potensial pada permukaan pompa/katoda dibawah anoda memiliki nilai yang paling tinggi seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 6.

Pada jarak anoda 350 mm, nilai potensial pada permukaan katoda relatif lebih seragam baik untuk permukaan yang jauh dari anoda maupun yang dekat dengan anoda. Kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 8 yang menunjukkan nilai potensial permukaan katoda dibawah anoda seragam dengan permukaan yang lain.

Potensial katoda (mV)

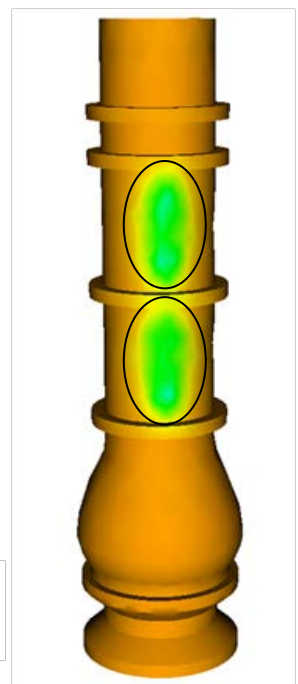
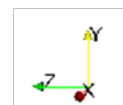
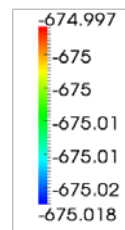


Potensial anoda (mV)



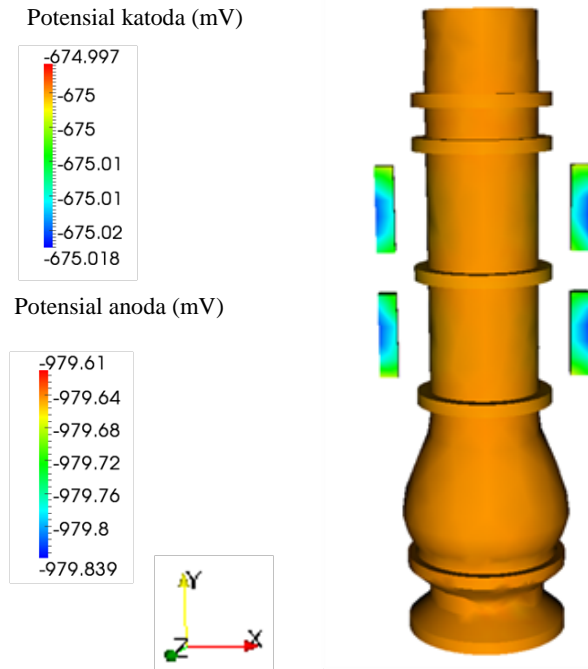
Gambar 5. Distribusi potensial pada permukaan pompa dan anoda untuk jarak anoda 50 mm

Potensial katoda (mV)

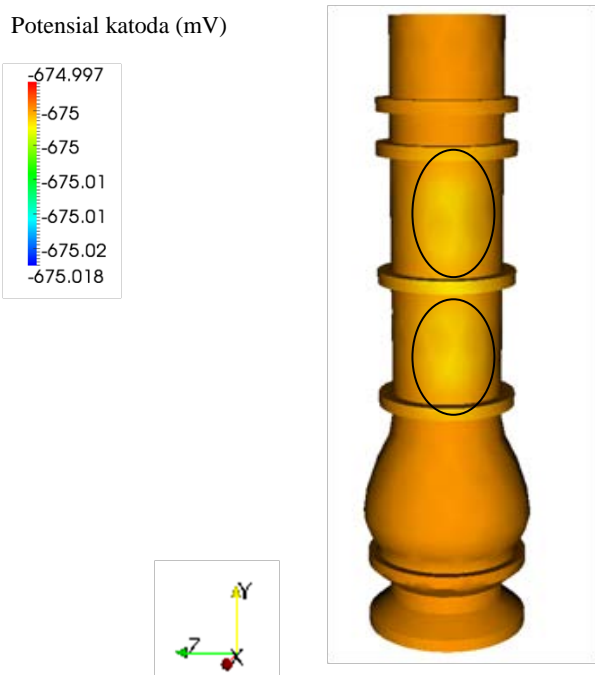


Gambar 6. Distribusi potensial permukaan pompa dibawah anoda untuk jarak anoda 50 mm

Hasil kedua simulasi diatas menunjukkan bahwa variasi jarak anoda korban pada simulasi ini menghasilkan perbedaan distribusi potensial pada permukaan katoda. Dari dua jarak yang ditinjau didapatkan bahwa simulasi dengan jarak anoda 350 mm memberikan distribusi potensial katoda yang lebih seragam sehingga proteksi menjadi lebih optimal.



**Gambar 7.** Distribusi potensial pada permukaan pompa dan anoda untuk jarak anoda 350 mm



**Gambar 8.** Distribusi potensial permukaan pompa dibawah anoda untuk jarak anoda 350 mm

**Kesimpulan**

Dari hasil simulasi, dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. BEM 3D domain tidak berhingga telah dikembangkan dan diaplikasikan untuk menganalisa sistem proteksi katodik anoda korban pada *submersible pump*.
2. Jarak anoda dengan pompa berpengaruh terhadap distribusi potensial dibagian luar pompa, sehingga variabel ini menjadi penting dalam mendesain sistem proteksi katodik anoda korban yang efektif.

**Ucapan Terima kasih**

Penelitian ini didanai oleh skim Dosen Muda dengan nomor kontrak: 053/UN11.2/LT/SP3/2012

**Referensi**

Aoki, S & Kishimoto, K. Aplication of BEM to Galvanic Corrosion and Cathodic Protection. *Topics in Boundary Element Research*. Editor: Brebbia, C. A. Springer-Verlag. pp. 65-85 (1990)

Brebia, C.A. *The Boundary Element Technique in Engineering*, Newnes-Butterworths, London (1980)

Brebbia, C.A. & Domiguez, J. *Boundary Elements – An Introductory Course*, 2<sup>nd</sup> ed., Computational Mechanics Publication (1992)

Broomfield, J. P., *Corrosion of Steel in Concrete - Understanding, Investigation and Repair*. 2<sup>nd</sup> edition. Taylor & Francis. London. (2007)

Miyakasa, M., Takayama, H., Amaya, K., & Aoki, S., Combined BEM Analysis of 3D and Axisymmetric Regions for Cathodic Protection Design of Seawater Pump, Corrosion, Nace International, Paper No. 689 (1998)

NACE, Cost of Corrosion Study Unveiled, *A Supplement to Material Performance*, NACE International. [http://www.nace.org/uploadedFiles/Publications/ccsup\\_p.pdf](http://www.nace.org/uploadedFiles/Publications/ccsup_p.pdf), (2002) (diakses pada 16 Maret 2012)

Schmitt, G., Schütze, M., Hays, G.F., Burns, W., Han, E.H., Pourbaix, A. & Jacobson, G. Global Needs for Knowledge Dissemination, Research, and Development in Materials Deterioration and Corrosion Control. The World Corrosion Organization (WCO). [http://www.corrosion.org/images\\_index/white\\_paper.pdf](http://www.corrosion.org/images_index/white_paper.pdf), (2009) (diakses pada 16 Maret 2012)