# The Influence of Mesh Ratio in Simulating Potential Distribution on Cathodic Protection of Reinforced Concrete Using BEM

Syarizal Fonna\*, Syifaul Huzni, Fran Toni dan Rudi Kurniawan Program Studi Teknik Mesin, Universitas Syiah Kuala, Jl. Tgk. Syech Abdul Rauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh

23111

\*Corresponding author: syarizal.fonna@unsyiah.ac.id

Abstract. Corrosion is a serious problem in infrastructure and development sector. One of the areas harmed as the result of corrosion are reinforced concrete. Therefore, corrosion of reinforcing steel in the concrete should be prevented. Sacrificial anode cathode protection (SACP) is one of the ways to protect reinforced concrete from corrosion. However, this method is hard to be evaluated without firstly being applied on the field. This problem can be solved by using Boundary Element Method (BEM). BEM has several advantages compared with other methods because its only requires data on the geometry surface to be calculated. However, the influence of numerical parameter to BEM performance still need to be studied. This research aims to study the influence of mesh ratio to the potential distribution of SACP of reinforced concrete. The SACP of reinforced concrete is modeled following Laplace's equation. The surface of the concrete was assumed having constant current density as a boundary condition. While the boundary conditions for the anode and cathode represented by their respective polarization curves. BEM simulation was performed to solve Laplace's equation so that potential distributions of domains can be obtained. The case study using steel reinforcement as cathode and Zn as anode shows that the potential distribution on the domain among various mesh ratio have a difference in scale less than 3 mV. Thus, the mesh ratio does not give significant effect to the potential distribution on the SACP reinforced concrete. Further study is needed to be conducted to study the influence of others parameter to the performance of BEM.

Abstrak. Korosi merupakan masalah yang serius dalam bidang infrastruktur dan pembangunan. Salah satu area yang mengalami kerugian akibat korosi adalah sektor beton bertulang. Oleh karena itu, korosi yang terjadi pada baja tulangan dalam beton perlu dicegah. Sistem proteksi katodik anoda korban (SACP) adalah salah satu cara untuk melindungi beton bertulang dari korosi. Akan tetapi metode ini sulit dievaluasi tanpa terlebih dahulu mengaplikasikannya dilapangan. Untuk mengatasi kendala ini dapat menggunakan metode elemen batas (BEM). BEM memiliki kelebihan dibandingkan metode lainnya, karena hanya data dipermukaan geometri yang akan dilakukan kalkulasi. Akan tetapi, pengaruh membutuhkan parameter-parameter numeric terhadap kinerja BEM masih perlu dipelajari. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh parameter rasio mesh terhadap distribusi potensial pada SACP beton bertulang. SACP beton bertulang dimodelkan dengan menggunakan Persamaan Laplace. Permukaan beton diasumsikan memiliki nilai densitas arus konstan sebagai kondisi batasnya. Sementara, kondisi batas untuk anoda dan katoda direpresentasikan oleh kurva polarisasinya masing-masing. Simulasi BEM dijalankan untuk menyelesaikan Persamaan Laplace sehingga distribusi potensial pada domain dapat diperoleh. Studi kasus dengan menggunakan baja tulangan sebagai katoda dan Zn sebagai anoda memperlihatkan bahwa distribusi potensial pada berbagai rasio mesh memiliki perbedaan dalam skala kurang dari 3 mV. Oleh karena itu, parameter rasio mesh tidak memberikan pengaruh yang berarti pada distribusi potensial SACP beton bertulang. Studi lebih lanjut perlu dijalankan untuk mempelajari pengaruh parameter yang lain terhadap kinerja BEM.

Keywords: korosi, BEM, rasio mesh, proteksi katodik, beton bertulang, anoda korban

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

## Pendahuluan

Korosi adalah proses kerusakan logam melalui reaksi elektrokimia yang terjadi antara logam tersebut dengan lingkungannya. Korosi akan mengakibatkan pemborosan sumber daya yang sangat berharga, pemeliharaan/perawatan yang mahal, penurunan efisiensi, biaya overdesign yang mahal, dan juga membahayakan keselamatan jiwa manusia [1].

Pernyataan dari The World Corrosion Organization (TWCO) menunjukkan bahwa biaya tahunan untuk korosi sebesar \$ 2,2 triliun di seluruh dunia. Angka tersebut lebih besar dari 3% dari Produk Domestik Bruto (PDB) dunia [2]. Namun, pemangku kepentingan khususnya pemerintah dan industri masih belum banyak memberikan perhatian yang serius terhadap kerugian korosi ini kecuali pada sektor berisiko tinggi seperti pesawat terbang dan jaringan pipa gas alam [2].

Salah satu sektor dari kerugian korosi yang semakin menjadi perhatian adalah korosi pada beton bertulang. Infrastruktur beton seperti dermaga, jembatan, terowongan, gedung dan struktur beton lainnya mengalami kerugian yang tidak sedikit akibat peristiwa korosi [3]. Dengan demikian, upaya pencegahan perlu dijalankan.

Proteksi katodik (cathodic protection/CP) merupakan salah satu metode yang dapat diterapkan untuk mencegah terjadinya korosi pada baja termasuk dalam lingkungan beton. Metode perlindungan korosi ini terbagi menjadi dua yaitu metode sacrificial anode/SACP (anoda korban) dan impressed current/ICCP (arus paksa) [1].

Proteksi katodik anoda korban/SACP banyak digunakan termasuk pada beton bertulang. Hal ini karena tidak membutuhkan sumber arus dari luar dan tidak memerlukan pengawasan khusus yang pada akhirnya berimpak pada pembiayaan yang relatif lebih murah. Namun, evaluasi efektivitas dari perlindungan korosi menggunakan metode tersebut masih bergantung kepada pengalaman operator/ engineer dan trial-error. Oleh karena itu, teknik lain yang lebih unggul untuk mengevaluasi efektivitas perlindungan korosi tersebut sangat diperlukan.

Evaluasi efektivitas anoda korban pada SACP telah dikembangkan dengan menggunakan metode numerik yang salah satunya adalah metode elemen batas (boundary element method/BEM). BEM digunakan karena dianggap sangat sesuai dengan kebutuhan analisis korosi mengingat korosi hanya terjadi pada permukaan logam [4].

Penelitian sebelumnya telah menjalankan simulasi efektivitas anoda korban dari proteksi katodik pada balok beton bertulang dermaga menggunakan BEM [5]. Penelitian tersebut terbatas pada memodifikasi lokasi penempatan anoda korban dari balok beton. Kajian mengenai pengaruh jarak anoda-katoda terhadap performance SACP juga telah dijalankan [6]. Namun, kajian khusus mengenai pengaruh parameter BEM seperti rasio mesh belum dijalankan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut menjadi penting untuk dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh parameter rasio mesh pada BEM terhadap distribusi potensial dari SACP pada beton bertulang dengan menggunakan BEM-3D dengan merujuk pada penelitian sebelumnya.

# Pemodelan Proteksi Katodik Anoda Korban

Sistem SACP untuk beton bertulang dapat dimodelkan dengan mengasumsikan bahwa domain beton  $(\Omega)$  pada sekeliling baja tulangan dan anoda korban memiliki batas  $\Gamma_1$  dan berjarak r seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Gambar ini merupakan ilustrasi model umum dari sistem SACP pada beton bertulang. Kemudian, anoda korban dan memiliki baja tulangan permukaan yang disimbolkan dengan  $\Gamma_{m2}$  dan  $\Gamma_{m3}$ . Konduktivitas beton ( $\kappa$ ) bernilai tetap dan tidak ada kehilangan atau akumulasi ion pada seluruh domain.

Berdasarkan pada kondisi tersebut di atas, potensial listrik dalam domain beton dapat dimodelkan menggunakan persamaan Laplace [7, 8] seperti ditunjukkan pada Pers. 1.

$$\nabla^2 \phi = 0 \qquad \text{pada } \Omega \qquad (1)$$

Nilai densitas arus (*i*) pada domain beton dinyatakan melalui Pers. 2.

$$i = -\kappa \frac{\partial \phi}{\partial n} \tag{2}$$

Yang mana  $\kappa$  adalah konduktivitas elektrik dan  $\partial/\partial n$  adalah turunan terhadap vektor normal (*n*).

Pers. 1 dapat diselesaikan dengan mengetahui beberapa kondisi batas. Kondisi batas ini adalah sebagai mana yang diberikan dalam Pers. 3 untuk anoda korban dan Pers. 4 untuk katoda/baja tulangan.

$$-\phi_a = f_a(i)$$
 pada  $\Gamma_{m2}$  (3)

$$-\phi_c = f_c(i) \text{ pada } \Gamma_{m3} \tag{4}$$

Yang mana  $f_a(i)$  dan  $f_c(i)$  merupakan fungsi/data yang didapat dari kurva polarisasi anoda dan katoda melalui eksperimen.



Gambar 1. Model umum sistem proteksi katodik anoda korban.

Jika seluruh kondisi batas tersebut di atas dapat diketahui, maka Pers. 1 dapat diselesaikan dengan

menggunakan BEM. Oleh karena itu, potensial listrik pada permukaan permukaan domain dapat diketahui. Nilai potensial ini yang digunakan untuk evaluasi efektivitas SACP. Prosedur lengkap untuk penyelesaian Pers. 1 dengan BEM tersebut dapat dilihat dalam literatur [9].

# Studi Kasus Sistem Proteksi Katodik Anoda korban

Satu sistem SACP pada balok beton bertulang dipilih untuk studi kasus. SACP ini berdasarkan sistem proteksi katodik yang dikaji oleh Wayne Dodds et al. [10]. Kasus tersebut adalah seperti yang perlihatkan pada Gambar 2. Sistem tersebut terdiri dari satu batang baja tulangan dan satu anoda korban yang dicor ke dalam balok beton.



Gambar 2. Studi kasus untuk dievaluasi menggunakan BEM [9].

Kemudian, model 3D dari balok beton bertulang tersebut dibangun dengan menggunakan software open source yaitu Salome Meca. Model ini ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Model 3D sistem SACP dari kasus yang dikaji.

Balok beton bertulang tersebut memiliki dimensi dengan panjang 800 mm, lebar 100 mm, dan tinggi 100 mm. Baja tulangan dengan dimensi panjang 610 dan diameter 25 mm. Sedangkan, anoda korban (Zn) dengan diameter 65 mm dan tebal 30 mm. Sementara, variasi rasio mesh (rasio antara ukuran mesh beton dengan ukuran mesh anoda-katoda) yang digunakan dalam studi ini adalah 4,2; 5; 6,25. Rincian mengenai mesh ini dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Variasi mesh yang digunakan			
No. variasi	Ukuran	Ukuran	
	mesh beton	mesh anoda-	Rasio mesh
	(cm)	katoda (cm)	
1	50	12	4,2
2	50	10	5
3	50	8	6,25

Seterusnya, kondisi batas untuk permukaan beton ( $\Gamma_1$ ) ditetapkan dengan densitas arus sama dengan nol (*i*=0). Kondisi ini dikarenakan mengingat rendahnya konduktivitas listrik yang dimiliki oleh beton. Kondisi batas untuk permukaan Zn ( $\Gamma_{m2}$ ) dan baja tulangan ( $\Gamma_{m3}$ ) mengikuti Pers. 3 dan Pers. 4. Kedua persamaan tersebut dibangun berdasarkan kurva polarisasi masing-masing logam yang diberikan dalam Gambar 4.

Nilai potensial yang diberikan dalam kurva polarisasi Gambar 4 merujuk kepada elektroda referensi SCE yang kemudian dikonversi menjadi rujukan terhadap elektroda referensi Cu/CuSO<sub>4</sub> agar sesuai dengan standar NACE. Konduktivitas beton yang digunakan dalam studi ini adalah sebesar 0,007  $\Omega^{-1}$ m<sup>-1</sup>[8].



Dengan seluruh kondisi batas bagi model tersebut telah ditetapkan, simulasi sistem proteksi katodik dengan menggunakan BEM dapat dijalankan. Selanjutnya, distribusi nilai potensial yang diperoleh dari simulasi divisualisasikan untuk dianalisis.

#### Hasil Simulasi dan Pembahasan

Hasil simulasi menggunakan BEM untuk sistem SACP pada balok beton bertulang dengan rasio mesh 4,2 dapat dilihat pada Gambar 5. Pada gambar tersebut terlihat bahwa distribusi potensial listrik pada permukaan baja tulangan menunjukkan nilai antara -906,618 s.d -1095,94 mV. Nilai potensial yang paling negatif berada pada bagian permukaan yang berdekatan dengan anoda korban.



**Gambar 5**. Distribusi potensial pada permukaan beton untuk rasio mesh 4.2.

Gambar 6 dan 7 memperlihatkan distribusi nilai potensial listrik pada permukaan beton dengan rasio mesh 5 dan 6,25. Distibusi nilai potensial untuk rasio mesh 5 adalah antara -906,822 s.d -1096,37 mV. Sedangkan untuk rasio mesh 6,25 adalah dalam rentang -906,939 s.d -1097,82 mV. Kedua gambar tersebut juga menunjukkan bahwa nilai paling negatif berada pada bagian yang berdekatan dengan anoda korban.



Gambar 6. Distribusi potensial pada permukaan beton untuk rasio mesh 5.



**Gambar 7**. Distribusi potensial pada permukaan beton untuk rasio mesh 6.25.

Kemudian. efektivitas sistem SACP dalam melindungi korosi dapat dinilai dari tercapainya nilai potensial proteksi mengikuti standar yang ada. Nilai potensial proteksi umumnya mengikuti standar NACE yaitu <-850 mV (vs Cu/CuSO<sub>4</sub>). Merujuk kepada hasil simulasi di atas memperlihatkan bahwa nilai potensial vang diperoleh telah masuk ke dalam kriteria proteksi. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa nilai potensial pada permukaan tulangan sebesar <-900 mV.





Selanjutnya, Gambar 8 memperlihatkan perbandingan distribusi potensial antara variasi rasio mesh yang telah disimulasikan. Pada gambar tersebut terlihat bahwa perbedaan nilai potensial antara ketiga variasi rasio mesh tersebut lebih kecil dari 3 mV. Nilai ini cukup kecil sehingga dapat dinyatakan bahwa rasio mesh belum menunjukkan pengaruh yang berarti bagi distribusi nilai potensial.

## Kesimpulan

BEM telah diaplikasikan untuk simulasi sistem SACP pada balok beton bertulang untuk mempelajari pengaruh parameter rasio mesh terhadap distribusi potensial pada beton. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rasio mesh belum memberi pengaruh yang berarti pada distribusi potensial tersebut. Namun, perlu adanya penelitian lanjutan guna mengklarifikasi hasil tersebut dengan menggunakan rasio mesh yang lebih ekstrim. Penelitian lebih lanjut juga perlu dilakukan untuk mempelajari pengaruh parameter yang lain terhadap kinerja BEM.

#### Penghargaan

Penelitian ini dibiayai dengan Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi 2018 nomor kontrak 47/UN11.2/PP/SP3/2018.

#### Referensi

- [1] Roberge, P.R., 2000, Handbook of corrosion engineering, McGraw-Hill Inc., New York.
- [2] Information on: http://corrosion.org/Corrosion+Resources/Publ ications/\_/nowisthetime.pdf (diakses pada 15 September 2018).

- [3] Information on: https://www.openaccessgovernment.org/wpcontent/uploads/2014/06/ETH-Zurich-ebookweb.pdf (diakses pada 15 September 2018).
- [4] Information on: http://web.stanford.edu/class/energy281/Bound aryElementMethod.pdf (diakses pada 15 September 2018)
- [5] Fonna, S. et al., 2015. Evaluation of CP system on reinforced concrete pier using 3D boundary element method, Proceedings of The 5th Annual International Conference Syiah Kuala University (AIC Unsyiah), 96-100, September 9-11, Banda Aceh, Indonesia
- [6] Fonna, S. dkk. 2017. Simulation on the effect of anode-cathode distance on reinforced concrete cathodic protection using BEM, Prosiding SNTTM XVI, Oktober 2017, 96-100.
- [7] Fonna, S. et al. 2016. Simulation of the illposed problem of reinforced concrete corrosion detection using boundary element method, International Journal of Corrosion 2016, 1-5.
- [8] Fonna, S. et al. 2013. Inverse analysis using particle swarm optimization for detecting corrosion profile of rebar in concrete structure, Engineering Analysis with Boundary Elements 37, 585–593
- [9] Aoki, S. and Kishimoto, K. 1990. Aplication of BEM to galvanic corrosion and cathodic protection. in: Brebbia, C.A., Topics in boundary element research, Springer-Verlag, New York.
- [10] Dodds, W. et al., 2014. Performance of galvanic evaluation anodes through laboratory testing and on-ste monitoring, International **RILEM** workshop on performance-based specification and control of concrete durability, 175-182, 11-13 June 2014, Zagreb, Croatia
- [11] Kasper, R.G. and April, M.G. 1983. Electrogalvanic finite element analysis of partially protected marine structure, Corrosion 39, 181-188.2