

Simulasi Desain Sistem Proteksi Katodik Anoda Korban pada Balok Beton Bertulang Dermaga Menggunakan Metode Elemen Batas

M. Ridha^a, S. Fonna^b, M. R. Hidayatullah^c, S. Huzni, S. Thalib
Jurusan Teknik Mesin, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdul Rauf 7, Banda Aceh, Indonesia

^a ridha.m@unsyiah.ac.id, ^b syarizal.fonna@unsyiah.ac.id, ^c rizkyhidayatullah.beta@gmail.com

Abstrak

Salah satu cara untuk memproteksi korosi balok beton bertulang dermaga adalah proteksi katodik anoda korban. Sejauh ini evaluasi desain sebuah sistem proteksi katodik anoda korban baru dapat diketahui terproteksi atau tidak, setelah sistem proteksi diaplikasikan pada beton bertulang. Sehingga perlu dikembangkan metode untuk mengevaluasi sebuah sistem proteksi anoda korban sebelum diaplikasikan seperti dengan menggunakan metode numerik. Metode elemen batas atau *Boundary Element Method* (BEM) merupakan salah satu metode numerik yang telah banyak digunakan untuk simulasi korosi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi desain sistem proteksi katodik anoda korban pada balok beton bertulang dermaga dengan menggunakan BEM. Potensial dalam beton bertulang dimodelkan dengan persamaan Laplace dan BEM digunakan untuk memecahkan persamaan Laplace, sehingga potensial dan densitas arus dipermukaan beton dan baja tulangan dapat diketahui. Desain sistem proteksi katodik peneliti sebelumnya dipilih untuk disimulasikan. Hasil simulasi menggunakan BEM menunjukkan nilai potensial diseluruh permukaan baja tulangan dapat diketahui. Data potensial tersebut menunjukkan bahwa sistem sudah dalam keadaan terproteksi berdasarkan standar NACE. Hasil ini sesuai dengan hasil eksperimen yang dilakukan peneliti sebelumnya. Dengan demikian, BEM berhasil diaplikasikan untuk evaluasi desain sistem proteksi katodik anoda korban pada balok beton bertulang dermaga.

Kata kunci : BEM, Korosi, Beton bertulang, Proteksi katodik, Anoda korban, Simulasi

Pendahuluan

Beton bertulang (*Reinforced Concrete*) merupakan material konstruksi yang dibentuk oleh beton (yang mengandung semen, agregat dan air), dan baja tulangan. Baja tulangan dapat menahan beban tarik dan beton dapat menahan beban tekan [1]. Salah satu contoh struktur terbuat dari beton bertulang adalah balok beton bertulang. Akan tetapi ketika korosi berlaku, beton bertulang akan kehilangan ketahanannya [2]. Sehingga banyak peneliti yang membahas masalah daya tahan beton bertulang terhadap korosi tersebut [3,4].

Korosi merupakan penurunan kualitas logam akibat reaksi kimiawi yang terjadi antara logam dengan lingkungannya [5]. Air laut yang merupakan lingkungan struktur

dermaga adalah contoh lingkungan yang sangat korosif. Korosi pada balok beton bertulang dermaga terinisiasi akibat berdifusinya ion klorida yang terdapat dalam lingkungannya ke dalam beton yang kemudian bereaksi dengan lapisan pasif baja tulangan. Kemudian lapisan pasif terlepas yang selanjutnya mengubah pH beton menjadi lebih rendah (semakin asam) dan akhirnya terjadi reaksi elektrokimia (korosi) pada baja tulangan.

Kerugian yang ditimbulkan korosi, seperti pada beton bertulang tersebut, berdampak pada kerugian negara, sebagai contoh di negara Amerika Serikat yang setiap tahunnya merugi 276 miliar dolar Amerika yang setara dengan 3,1% dari *Gross Domestic Product*

(GDP) atau pendapatan nasional [6]. Diperkirakan tahun 2013 kerugiannya meningkat 500,7 miliar dolar Amerika, sehingga total kerugian mencapai 1 triliun dolar Amerika [7]. Dengan demikian, korosi perlu ditanggulangi dengan baik. Metode penanggulangan guna mengurangi kerugian korosi ini, salah satunya dikembangkan dengan cara proteksi katodik dengan menghubungkan anoda korban dan baja tulangan struktur beton. Contoh aplikasi proteksi katodik pada beton bertulang sudah dilakukan oleh Sergi [8]. Proteksi katodik yang dilakukannya adalah mengaplikasikan anoda korban pada konstruksi balok beton bertulang dermaga. Hasilnya menunjukkan bahwa ketahanan korosi akan lebih baik jika struktur beton bertulang dermaga dipasang anoda korban. Pengujian ini dilakukan selama sepuluh tahun setelah dipasang anoda korban dan dibandingkan dengan sebelum dipasang anoda korban [8]. Akan tetapi teknik tersebut baru dapat dievaluasi setelah sistem proteksi diaplikasikan sehingga peluang untuk terjadinya kegagalan proteksi ataupun proteksi berlebihan masih ada.

Oleh karena itu diperlukan adanya metode yang lebih baik untuk dapat mengevaluasi sistem proteksi katodik sebelum sistem tersebut diaplikasikan. Salah satu metode yang menjanjikan adalah dengan menggunakan metode numerik. Metode numerik yang tepat untuk kasus korosi adalah dengan menggunakan metode elemen batas atau *Boundary Element Method* (BEM) [9].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi desain sistem proteksi katodik anoda korban pada balok beton bertulang dermaga dengan menggunakan metode elemen batas.

Pemodelan Proteksi Katodik

Pemodelan sistem proteksi katodik untuk beton bertulang mulai dilakukan dengan mengasumsikan domain beton yang melingkupi baja tulangan dan anoda memiliki batas Γ_1 dan berjarak r seperti pada Gambar 1. Permukaan anoda korban adalah Γ_{m2} dan permukaan baja tulangan adalah Γ_{m3} . Gambar 1 menunjukkan model umum untuk

sistem proteksi tersebut. Konduktivitas beton (κ) diasumsikan seragam dan tidak ada akumulasi atau kehilangan ion pada seluruh domain.

Potensial dalam domain beton bertulang (Ω) dapat dimodelkan dengan menggunakan persamaan Laplace [10] seperti diberikan dalam Persamaan (1).

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

Sedangkan densitas arus (i) pada domain tersebut diatur oleh Persamaan (2).

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

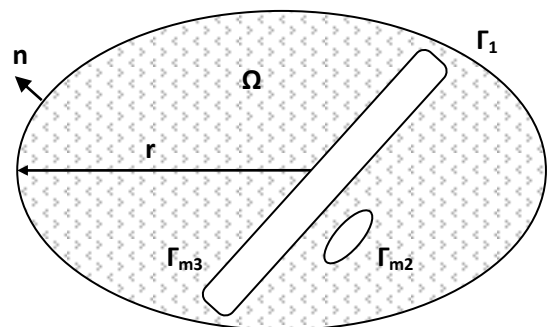
Yang mana κ adalah konduktivitas elektrik dan $\partial/\partial \mathbf{n}$ adalah turunan terhadap vektor normal (\mathbf{n}).

Kondisi batas bagi Persamaan (1) adalah sebagai mana yang diberikan dalam Persamaan (3) untuk anoda dan Persamaan (4) untuk katoda/baja tulangan.

$$-\phi_a = f_a(i) \quad \text{di } \Gamma_{m2} \quad (3)$$

$$-\phi_c = f_c(i) \quad \text{di } \Gamma_{m3} \quad (4)$$

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



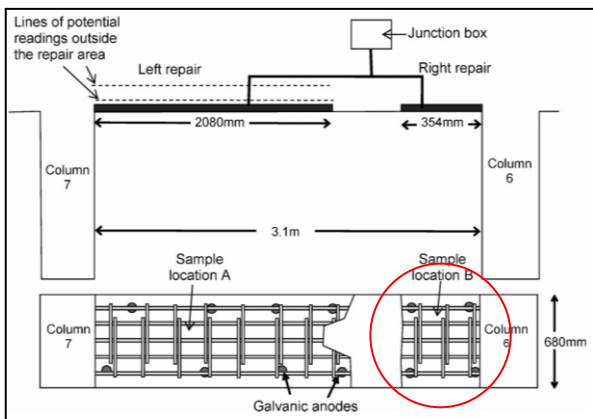
Gambar 1. Model umum sistem proteksi katodik anoda korban.

Jika seluruh kondisi batas diketahui, maka Persamaan (1) dapat diselesaikan dengan menggunakan BEM. Dengan demikian,

potensial pada permukaan baja tulangan dapat diketahui. Prosedur penyelesaian dengan BEM tersebut dapat dilihat dalam literatur [9,10].

Studi Kasus Sistem Proteksi Katodik

Simulasi desain sistem proteksi katodik pada balok beton bertulang dermaga dilakukan berdasarkan kasus sistem proteksi katodik yang dikaji oleh Sergi [8]. Kasus tersebut adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Kemudian, lokasi B (lingkaran dalam Gambar 2) merupakan bagian yang diambil untuk merepresentasikan keseluruhan sistem proteksi katodik. Lokasi B ini yang disimulasikan menggunakan BEM.

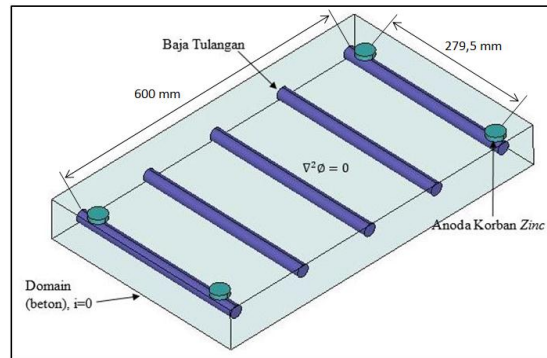


Gambar 2. Studi kasus yang dipilih untuk dievaluasi menggunakan BEM [8].

Seterusnya, pemodelan balok beton bertulang dermaga untuk lokasi B tersebut ditunjukkan dalam Gambar 3. Balok beton bertulang tersebut terdiri dari lima tulangan utama yang berdiameter 24 mm. Empat unit anoda korban berbahan seng/zinc yang berdiameter 34,5 mm dan ketebalan 9 mm diletakkan dengan posisi seperti dalam Gambar 3. Jarak permukaan anoda terhadap permukaan baja tulangan adalah 4,5 mm. Diasumsikan tebal selimut beton 28 mm.

Kemudian, model balok beton bertulang dermaga tersebut di-meshing menggunakan elemen segitiga. Jumlah elemen pada permukaan baja tulangan adalah 3000 elemen, pada permukaan anoda korban adalah 160 elemen dan pada permukaan beton adalah 972 elemen. Sehingga, total keseluruhan

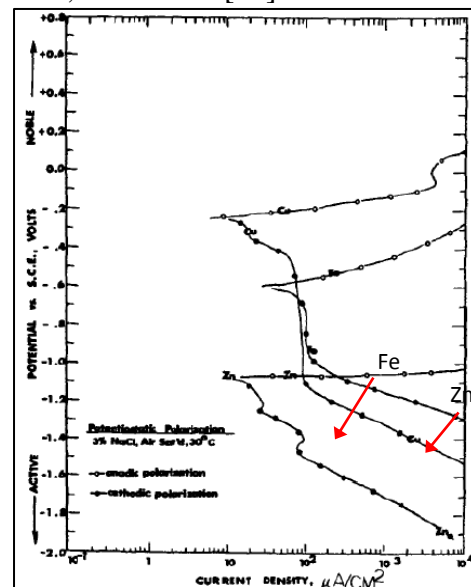
elemen untuk model tersebut adalah 4132 elemen.



Gambar 3. Pemodelan kasus proteksi anoda korban beton bertulang.

Selanjutnya, kondisi batas bagi permukaan beton (Γ_1) ditetapkan dengan densitas arus sama dengan nol ($i=0$). Hal ini karena mengingat tingginya tahanan listrik yang dimiliki oleh beton. Kondisi batas untuk permukaan seng (Γ_{m2}) dan baja tulangan (Γ_{m3}) mengikuti Persamaan (3) dan Persamaan (4). Kedua persamaan tersebut diperoleh dari kurva polarisasi masing-masing bahan yang diberikan dalam Gambar 4.

Rujukan elektroda referensi SCE yang diberikan dalam kurva polarisasi Gambar 4 dikonversi menjadi rujukan terhadap elektroda referensi Cu/CuSO₄ agar sesuai dengan standar NACE. Konduktivitas beton yang digunakan dalam simulasi adalah sebesar 0,007 $\Omega^{-1}m^{-1}$ [10].

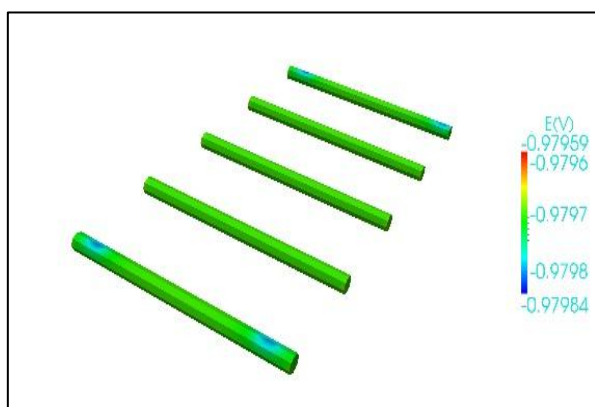


Gambar 4. Grafik polarisasi seng, tembaga, dan besi [11].

Setelah seluruh kondisi batas ditetapkan, proses simulasi desain sistem proteksi katodik dengan menggunakan BEM dijalankan. Selanjutnya, distribusi nilai potensial yang diperoleh dari simulasi divisualisasikan untuk dianalisa.

Hasil Simulasi dan Pembahasan

Hasil simulasi dengan menggunakan BEM untuk desain sistem proteksi katodik pada balok beton bertulang dermaga dapat dilihat pada Gambar 5. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa distribusi potensial pada permukaan baja tulangan menunjukkan nilai berkisar antara -0,9798 s.d -0,9796 V. Nilai potensial paling negatif permukaan baja tulangan berada pada bagian yang paling dekat dengan anoda korban.



Gambar 5. Distribusi potensial pada permukaan baja tulangan.

Berdasarkan standar NACE, struktur baja akan terlindungi terhadap serangan korosi jika nilai potensialnya berada pada nilai $\leq -0,85$ V (vs. Cu/CuSO₄) [12]. Merujuk kepada standar NACE tersebut, hasil simulasi menunjukkan bahwa balok beton bertulang dermaga telah berada dalam kondisi terlindungi dari korosi. Oleh karena itu, desain sistem proteksi katodik tersebut sudah aman diaplikasikan di lapangan.

Desain sistem proteksi katodik balok beton bertulang dermaga tersebut sudah diaplikasikan dilapangan. Berdasarkan kajian peneliti sebelumnya, sistem proteksi katodik tersebut telah terbukti dapat melindungi dari korosi [8]. Dengan demikian, hasil simulasi

telah sesuai dengan hasil yang diperoleh di lapangan.

Kesimpulan

BEM diaplikasikan untuk mengevaluasi desain sistem proteksi katodik pada balok beton bertulang dermaga. Hasil simulasi menunjukkan desain tersebut sudah aman untuk diaplikasikan berdasarkan standar NACE. Oleh karena itu, BEM telah berhasil dijalankan untuk mengevaluasi desain sistem proteksi katodik sebelum sistem tersebut diaplikasikan di lapangan.

Referensi

- [1] S.N. Sinha, Reinforced Concrete, 2nd Ed., McGraw-Hill, New York, 2002.
- [2] J.P. Broomfield, Corrosion of Steel in Concrete – Understanding, Investigation and Repair, CRC Press, New York, 2007.
- [3] R. Montoya, W. Aperador, D.M. Bantias, Influence of Conductivity on Cathodic Protection of Reinforced Alkali-Activated Slag Mortar Using the Finite Element Method, Corrosion Science, 51(2009) 2857-2862.
- [4] J. Xu, W. Yao, Current Distribution in Reinforced Concrete Cathodic Protection System with Conductive Mortar Overlay Anode, Construction and Building Materials, 23 (2009) 2220-2226.
- [5] M.G. Fontana, Corrosion Engineering, 3rd Ed., McGraw-Hill, New York, 1987.
- [6] NACE International, International Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United States, 2002.
- [7] Information on: <http://www.g2mtlabs.com/cost-of-corrosion>
- [8] G. Sergi, Ten-Year Results of Galvanic Sacrificial Anodes in Steel Reinforced Concrete, Materials and Corrosion, 62 (2011) 98-104.
- [9] S. Fonna, M. Ridha, S. Huzni, Israr, A.K. Ariffin., Pre and Post Processing for BEM 3D Reinforced Concrete Corrosion Simulation, Key Engineering Materials, 462-463 (2011) 230-235.
- [10] S. Fonna, S. Huzni, M. Ridha, A.K. Ariffin, Inverse Analysis Using Particle Swarm Optimization for Detecting

Corrosion Profile of Rebar in Concrete Structure, Engineering Analysis with Boundary Elements 37 (2013) 585–593

- [11] R.G. Kasper, M.G. April, Electrogalvanic Finite Element Analysis of Partially Protected Marine Structure, Corrosion, NACE International, 39 (1983) 181-188.

- [12] NACE, Standar Practice Control of External Corrosion on Underground or Submerge Metallic Piping System, NACE International, Texas, 2007.