

Studi Efektivitas Jumlah Data Pengukuran Nilai Potensial Terhadap Kinerja BEIA dalam Mendeteksi Lokasi Korosi Beton Bertulang

Israr^{1*}, Affandi², Syifaul Huzni³, Syarizal Fonna⁴ & Iqbal Tanjung⁵

^{1,3,4,5}Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

^{2,5}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Sumatera Utara

*Email: israr@usk.ac.id

ABSTRACT

Corrosion is a very serious problem. It could not be prevented due to natural events which trigger corrosion itself. Many failures and losses caused by suboptimal early prevention of corrosion, such as the sudden collapse of buildings and infrastructure which incurring loss and casualties. One method that is widely used to detect corrosion is the Half Cell Potential Mapping method. However, there is shortage interpretation of data in the methods who need to be considered. Then, the software who could detect early failures caused by corrosion is developing. One of them is Boundary Element Inverse Analysis (BEIA). BEIA has succeeded in detecting the location of corrosion in reinforced concrete with <5% error percentage. However, it is necessary to increase its ability. This research aims to find the effect of the amount of potential value measurement data on BEIA ability to detect corrosion in reinforced concrete. BEIA developed by combining the application of Boundary Element Method (BEM) and Particle Swarm Optimization (PSO). BEM used to calculate potential values on concrete surface, while PSO evaluates the cost function for detecting corrosion in reinforcing steel in concrete. This research was conducted on reinforced concrete 3-dimensional geometry, namely length, width and height. In the middle of the concrete there is reinforcement which has corrosion. The parameter of the amount of potential value measurement data was varied in order to get better input in improving the performance of BEIA. That were 5, 10, 15 and 20. The simulation showed that the use of the potential value measurement data of 20 had less error percentage value obtained at 650 cm x 50 cm geometry was 0.2 %. These prove that the larger potential value measurement data could improve BEIA performance

Keywords: Corrosion, BEM, PSO, BEIA, Reinforced Concrete.

PENDAHULUAN

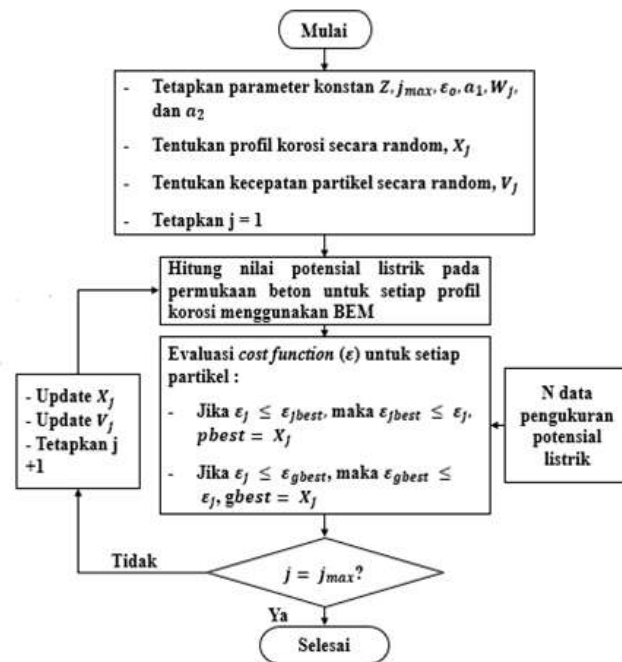
Korosi adalah peristiwa alami yang terjadi karena proses degradasi logam secara elektrokimia akibat adanya reaksi kimia antara logam dengan lingkungannya. Korosi merupakan permasalahan yang telah mencapai tingkat global yang mana mengakibatkan kerugian besar secara ekonomi [1]–[3]. Pada kasus baja tulangan dalam beton, korosi merupakan peristiwa yang sangat tidak diinginkan karena dapat mengakibatkan kegagalan dini pada struktur beton tersebut [4]. Oleh karena itu, pendeteksian korosi secara dini pada struktur beton bertulang perlu dilakukan agar dapat dilakukan pencegahan dini, umur struktur beton lebih lama, dan mengurangi biaya perawatan [5]–[7]. Korosi dapat dideteksi dengan metode yang sudah sering digunakan yaitu, metode *Half-Cell Potential Mapping*. Metode ini digunakan untuk mencari suatu nilai yang berupa nilai potensial. Setiap nilai yang didapat pada beton bertulang menjadi acuan untuk memprediksi korosi yang terjadi pada baja tulangan. Namun, ditemukan permasalahan ketika mendeteksi korosi lokal yang disebabkan oleh nilai potensial beton berbeda jauh dengan permukaan tulangan [8]–[10].

Korosi lokal adalah korosi yang terjadi hanya pada bagian tertentu saja dari baja tulangan dalam beton bertulang. Karena ditemukan permasalahan yang tidak dapat diselesaikan oleh *Half-Cell Potential Mapping*, maka dikembangkanlah sebuah metode untuk mendeteksi korosi pada beton bertulang yaitu *Boundary Element Inverse Analysis* (BEIA) yang berbasis *Boundary Element Method* (BEM) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) [11]–[13].

Pada penelitian sebelumnya [14], didapatkan bahwa aplikasi BEIA pada deteksi korosi beton

bertulang menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik dengan error $\leq 5\%$. Parameter BEM dan PSO juga telah dioptimalisasi sehingga kemampuan BEIA dalam deteksi korosi juga semakin baik. Namun, penelitian yang telah dilakukan selama ini hanya menggunakan jumlah data pengukuran nilai potensial sebesar 15. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah data pengukuran nilai potensial terhadap kinerja BEIA dalam mendeteksi korosi bertulang.

Boundary Element Inverse Analysis (BEIA) sebuah metode pendeteksian korosi pada beton bertulang merupakan perpaduan antara *Boundary Element Method* (BEM) dengan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Penelitian tentang BEIA sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya [15]. *Inverse Analysis* pada BEIA dilakukan dengan meminimalkan *cost function* untuk mendapatkan lokasi korosi pada beton bertulang dan *cost function* dievaluasi oleh PSO. Diagram alir proses pada BEIA dapat dilihat pada Gambar 1. Menetapkan nilai-nilai dari parameter yang diperlukan seperti, j_{max} , a_1 , a_2 , Z , dan W_j merupakan langkah awal pada metode ini. Parameter j_{max} merupakan iterasi maksimum, a_1 dan a_2 merupakan nilai konstan, Z merupakan jumlah partikel, dan W_j adalah nilai *Weight Inertia*. Selanjutnya, tentukan profil korosi atau X_j secara acak pada permukaan beton, dan tentukan secara acak kecepatan partikel atau V_j . BEM dijalankan untuk menghitung nilai potensial pada permukaan beton untuk setiap partikel.



Gambar 1. Diagram Alir BEIA

Kemudian, data nilai potensial (N) pada permukaan beton hasil pengukuran dilapangan ($\bar{\phi}$) diinput. Nilai *cost function* (ϵ) untuk setiap partikel dihitung dengan mengikuti Persamaan (1).

$$\epsilon(C) \sum_{i=1}^N = \left[\left(\frac{\phi_1 - \bar{\phi}_1}{\phi_{\max}} \right) \right]^2 \quad (1)$$

Pada persamaan tersebut, C adalah profil korosi yang terletak pada baja tulangan dan N adalah nilai potensial yang dimasukkan untuk BEIA. ϕ dan $\bar{\phi}$ adalah nilai potensial yang dihitung menggunakan BEM dan data potensial listrik yang diukur menggunakan half-cell potential mapping. $\bar{\phi}_{\max}$ adalah nilai potensial listrik tertinggi diantara N . Nilai *cost function* dievaluasi

untuk setiap partikel dari setiap iterasi dengan ketentuan yang sudah ditentukan. Simulasi selesai apabila proses sudah sampai pada iterasi maksimum. Akan tetapi, jika tidak tercapai maka iterasi diteruskan dengan melakukan pembaruan pada X_j dan V_j . Perubahan posisi dan kecepatan dari setiap partikel untuk setiap iterasi mengikuti persamaan (2) dan (3). Pada persamaan tersebut, $X_{(j+1)}$ adalah posisi partikel, X_j adalah posisi partikel saat ini, $V_{(j+1)}$ merupakan kecepatan partikel selanjutnya, V_j kecepatan partikel saat ini sedangkan W_j (*Inertia Weight*), a_1 dan a_2 konstan r_1 dan r_2 angkat acak dari 0-1, $p\ best$ posisi partikel lokal terbaik, $g\ best$ posisi partikel global terbaik, dan j iterasi.

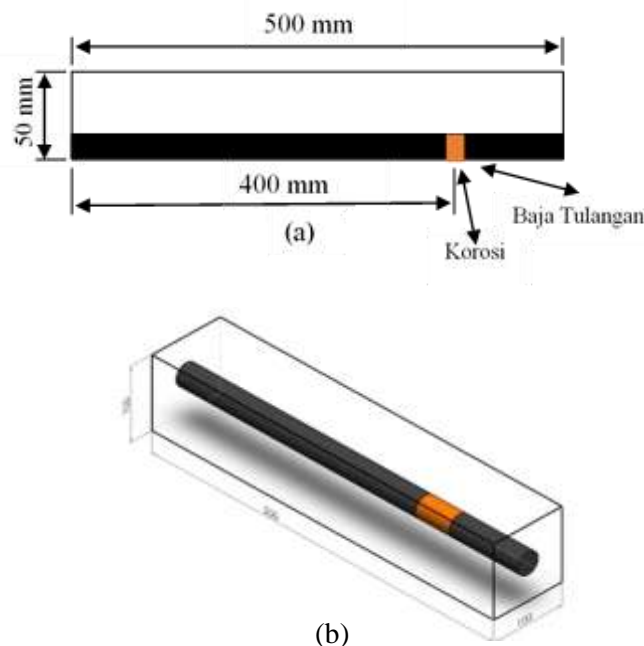
$$X_{j+1} = X_j + V_{j+1} \quad (2)$$

$$V_{j+1} = W_j V_j + a_1 r_1 (p\ best - X_j) + a_2 r_2 (g\ best - X_j) \quad (3)$$

Cost Function (ϵ) akan terus dievaluasi sampai posisi partikel berada pada posisi yang hampir sama atau jumlah iterasi maksimum sudah tercapai.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan model geometri beton bertulang dengan dimensi panjang, lebar dan tinggi. Pada bagian tengah beton terdapat tulangan yang memiliki korosi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Untuk panjang beton dan lokasi korosi divariasikan seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Ukuran mesh yang digunakan adalah 1.25 dan untuk nilai $\alpha_1 = 0.1$ dan $\alpha_2 = 0.9$.



Gambar 2. Model beton bertulang dengan tulangan: (a) dua dimensi; (b) tiga dimensi.

Tabel 1. Variasi panjang beton dan lokasi korosi

| No | Panjang Beton (mm) | Lokasi Korosi (mm) |
|----|--------------------|--------------------|
| 1 | 500 | 400 |
| 2 | 650 | 510 |
| 3 | 1000 | 400 |
| 4 | 1500 | 400 |

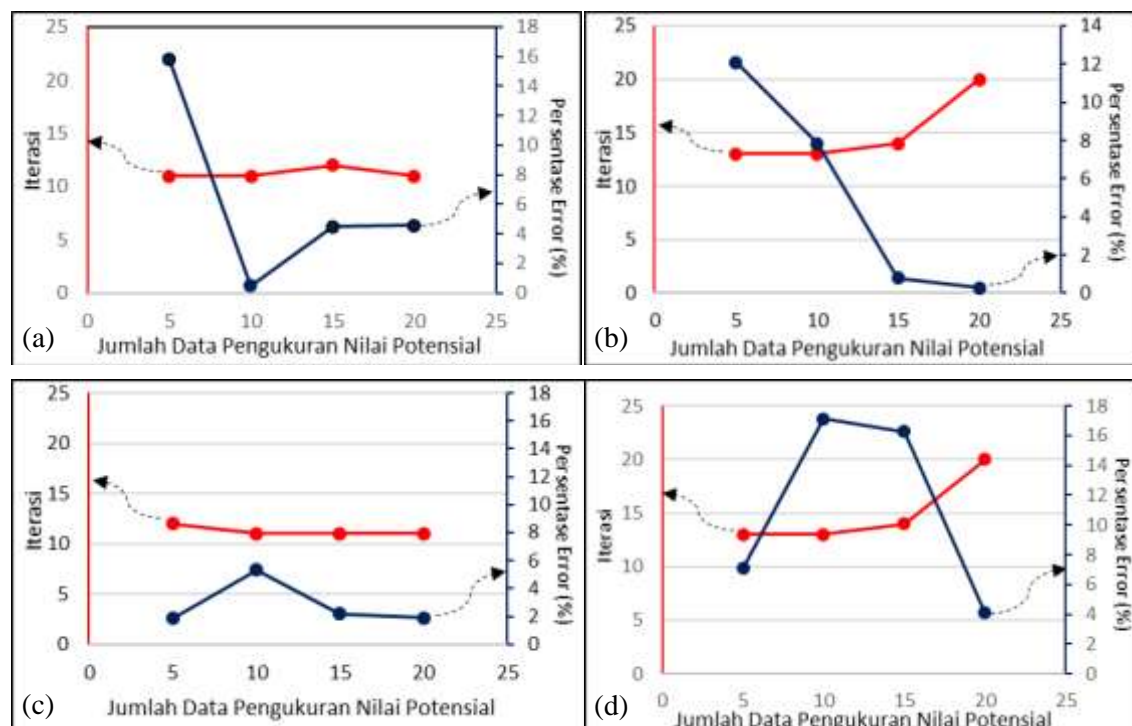
Dalam penelitian ini yang menjadi fokus utama adalah mengetahui pengaruh jumlah data pengukuran nilai potensial (N) yang digunakan dalam mendeteksi korosi menggunakan BEIA. Jumlah data pengukuran nilai potensial divariasikan dan dicantumkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Variasi jumlah data pengukuran nilai potensial (N)

| No | Jumlah data nilai potensial |
|----|-----------------------------|
| 1 | 5 |
| 2 | 10 |
| 3 | 15 |
| 4 | 20 |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dihasilkan dari simulasi Boundary Element Invers Analysis (BEIA) dengan variasi geometri serta jumlah data pengukuran nilai potensial memperlihatkan hasil seperti pada Gambar 3 a sampai d. Gambar tersebut menunjukkan nilai persentase error dari masing-masing geometri dan jumlah data pengukuran nilai potensial



Gambar 3. Hasil Simulasi Pada (a) Geometri 500, (b) Geometri 650, (c) Geometri 1000 dan (d) Geometri 1500.

Gambar 2(a) menampilkan grafik persentase error dari geometri dengan panjang 500 cm, persentase error terendah diperoleh pada N 10 sebesar 0.49%. Gambar 2(b) menampilkan grafik persentase error dari geometri 650 cm, persentase error terendah diperoleh pada N 20 sebesar 0.29 %. Gambar 2(c) menampilkan grafik persentase error dari geometri 1000 cm, persentase error terendah diperoleh pada N 20 sebesar 1.9 %. Gambar 2(d) menampilkan grafik persentase error dari geometri 1500, persentase error terendah diperoleh pada N 20 sebesar 4.07 %. Dari simulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kemampuan BEIA dalam mendeteksi lokasi korosi pada setiap geometri berbeda-beda. Untuk penggunaan jumlah data pengukuran nilai

potensial sebesar 5 menunjukkan hasil simulasi yang kurang baik. Untuk jumlah data pengukuran nilai potensial sebesar 10 tidak dianjurkan untuk digunakan, karena menunjukkan ketidakstabilan persentase keberhasilan dalam menemukan lokasi korosi. Sedangkan untuk jumlah data pengukuran nilai potensial sebesar 15 menunjukkan hasil yang baik, namun tidak dengan geometri yang berukuran besar seperti pada simulasi yang ke-4. Peneliti beranggapan bahwa untuk simulasi geometri 1500 perlu dilakukan perubahan pada nilai α_1 dan α_2 sehingga bisa mendapatkan hasil simulasi dengan persentase error yang lebih minim.

Selanjutnya untuk jumlah data pengukuran nilai potensial sebesar 20 menunjukkan hasil yang sangat baik, dari simulasi yang dilakukan jumlah data pengukuran nilai potensial sebesar 20 menunjukkan persentase error yang sangat minim dan stabil. Hal ini membuktikan bahwa jumlah nilai potensial yang lebih besar dapat meningkatkan kemampuan BEIA dalam mendeteksi lokasi korosi pada beton bertulang. Hubungan jumlah data pengukuran nilai potensial terhadap iterasi pada simulasi tidak terlalu berpengaruh, terlihat dari ke-4 simulasi yang telah dilakukan semuanya hampir memiliki nilai yang sama.

KESIMPULAN

Simulasi Boundary Element Invers Analysis dengan variasi geometri dan jumlah data potensial dalam mendeteksi lokasi korosi pada beton bertulang telah berhasil dilakukan. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah data pengukuran nilai potensial yang disarankan untuk simulasi BEIA adalah sebesar 15 dan 20.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. R. Roberge and P. Eng, "Corrosion engineering," *Princ. Pract.*, vol. 1, 2005.
- [2] M. G. Fontana and N. D. Greene, "Corrosion Engineering," 1967.
- [3] S. Fathi, I. Tanjung, I. B. M. Ibrahim, S. Fonna, and S. Huzni, "Pengaruh Jumlah Data Potensial Terhadap Kemampuan BEIA Dalam Mendeteksi Korosi Pada Beton Bertulang," *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 9, no. 1, pp. 300–309, 2023.
- [4] Z. Ahmad, *Principles of corrosion engineering and corrosion control*. Elsevier, 2006.
- [5] J. P. Broomfield, *Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair*. Crc Press, 2023.
- [6] E. Moreno, A. Cobo, G. Palomo, and M. N. González, "Mathematical models to predict the mechanical behavior of reinforcements depending on their degree of corrosion and the diameter of the rebars," *Constr. Build. Mater.*, vol. 61, pp. 156–163, 2014.
- [7] I. Tanjung, A. Affandi, S. Huzni, and S. Fonna, "Investigasi pengaruh jumlah elemen anoda terhadap distribusi potensial korosi pada beton bertulang menggunakan BEM 3D," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 3, no. 1, pp. 57–64, 2020.
- [8] S. Fathi, M. A. Masykuri, I. Bin M. Ibrahim, S. Fonna, and S. Huzni, "Boundary Element Inverse Analysis (BEIA) Simulation for Detecting Corrosion Location in Reinforced Concrete," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Experimental and Computational Mechanics in Engineering: ICECME 2020, Banda Aceh, October 13–14*, Springer, 2021, pp. 161–168.
- [9] S. Fonna, "Boundary element method and particle swarm optimization for inverse analysis to identify reinforced concrete corrosion." Doctoral dissertation, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), 2014 (in Malay), 2014.
- [10] A. A. Sagüés and M. T. Walsh, "Kelvin Probe electrode for contactless potential measurement on concrete—Properties and corrosion profiling application," *Corros. Sci.*, vol. 56, pp. 26–35, 2012.
- [11] S. Fonna, S. Huzni, M. Ridha, and A. K. Ariffin, "Inverse analysis using particle swarm optimization for detecting corrosion profile of rebar in concrete structure," *Eng. Anal.*

- Bound. Elem.*, vol. 37, no. 3, pp. 585–593, 2013.
- [12] I. Tanjung, S. Fonna, and S. Huzni, “Study on the effect of mesh ratio to the potential distribution of RC cathodic protection using BEM,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2019, p. 12022.
- [13] I. Tanjung, Affandi, S. Huzni, and S. Fonna, “Investigation the Effect of Concrete Element Size on the Potential Distribution of RC Cathodic Protection Simulation Using BEM 3D,” in *Proceedings of the 2nd International Conference on Experimental and Computational Mechanics in Engineering: ICECME 2020, Banda Aceh, October 13–14*, Springer, 2021, pp. 189–198.
- [14] S. Fonna, S. Huzni, and A. K. Ariffin, “Boundary element inverse analysis for rebar corrosion detection: Study on the 2004 tsunami-affected structure in Aceh,” *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 8, pp. 292–298, 2018.
- [15] S. Fonna and S. Huzni, “Study of inertia weight parameter for boundary element inverse analysis to detect RC corrosion,” in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, 2018, p. 2030.