

**Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi**<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>**Investigasi Pengaruh Jumlah Elemen Anoda Terhadap Distribusi Potensial Korosi Pada Beton Bertulang Menggunakan BEM 3D****Iqbal Tanjung<sup>1\*</sup>, Affandi<sup>1\*\*</sup>, Syifaul Huzni<sup>2</sup> & Syarizal Fonna<sup>2\*\*\*</sup>**<sup>1)</sup> Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara<sup>2)</sup> Jurusan teknik mesin dan industri, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala Banda Aceh

\*iqbaltanjung147@gmail.com ; \*\* affandi@umsu.ac.id ; \*\*\* syarizal.fonna@unsyiah.ac.id

**ABSTRACT**

*Some cases of damage to concrete structures are caused by corrosion. Efforts to prevent corrosion of reinforced concrete are to apply a sacrificial anode cathodic protection system. This method has been widely applied and has been successful in preventing corrosion in reinforced concrete. However, this system has several weaknesses, including the results of this system that can only be known after this system is applied. So to overcome this, researchers and scientists are interested in using and developing BEM as a solution in corrosion engineering. Therefore, BEM optimization is very important to improve the performance of BEM in completing corrosion engineering. This study aims to optimize the BEM by observing the effect of the anode mesh size on the potential distribution in reinforcing steel in the simulation of a reinforced concrete sacrificial anode cathodic protection system using BEM 3D. The simulation results show that the active victim anode protects each variation, the anode has a potential value that is not much different for each variation, with a potential value ranging from -1124.92 mV to -1124.90 mV. Then the reinforcing steel in each variation is also in a well-protected condition from the threat of corrosion. Reinforcing steel has a potential value ranging from -920.07 mV to -918.19 mV. Based on the simulation results, it is found that the more number of elements used in the simulation results in the smaller the potential difference in reinforcing steel and concrete. However, it can still be tolerated based on protection criteria. However, the number of elements greatly affects the computation time performed.*

**Keywords: Mesh, Victim Anode Cathodic Protection, Reinforced Concrete, and BEM 3D****PENDAHULUAN**

Studi kerugian korosi yang dilakukan oleh National Association of Corrosion Engineers (NACE) melaporkan kerugian langsung yang diakibatkan korosi memiliki nilai yang sangat fantastis, kerugian ini diperkirakan berjumlah 276 milyar dolar AS atau senilai dengan 3,1% dari gross domestic product (GDP) [1]. Studi lanjutan terus dilakukan oleh jakson pada tahun 2013 yang melaporkan bahwa kerugian akibat korosi mengalami peningkatan yang cukup signifikan dengan nilai kerugian sebesar 1 triliun dolar AS atau berjumlah 1-5 % gross national product (GNP) pada setiap negara [2,3].

Beton bertulang merupakan salah satu sektor yang paling sering terserang korosi. Korosi pada beton bertulang adalah reaksi kimia atau elektro kimia antara baja tulangan dengan lingkungan beton yang bersifat korosif. Proses korosi yang terjadi di baja tulangan pada beton mengakibatkan terjadinya pembentukan senyawa baru (senyawa korsi) yang dapat membentuk volume mencapai  $\pm 12$  kali dari volume bahan asalnya. Hal ini menyebabkan terjadinya keretakan halus pada struktur

## Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

beton bertulang yang jika dibiarkan akan berdampak pada rusaknya struktur beton tersebut. Sehingga korosi di beton bertulang merupakan masalah serius yang harus ditangani [4].

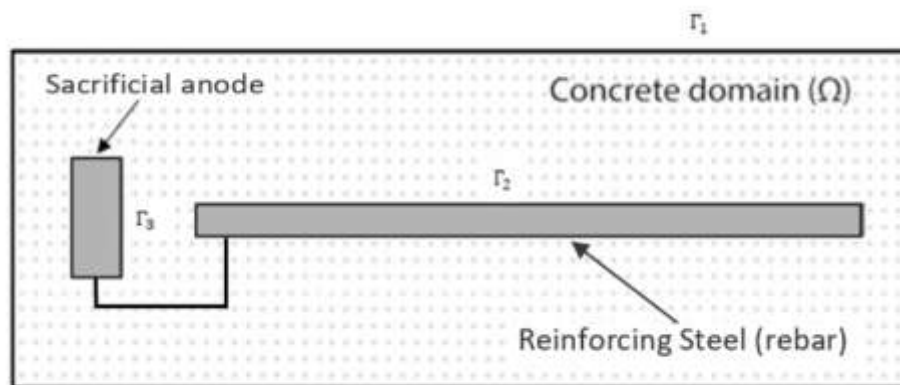
Salah satu metode yang telah umum digunakan dalam mengatasi korosi di beton bertulang ialah melakukan proteksi katodik anoda korban pada beton bertulang. Metode ini secara luas telah berhasil diterapkan dan berhasil mencegah korosi di beton bertulang, metode ini memiliki beberapa keunggulan diantaranya pengaplikasian yang sederhana, hasil yang stabil serta biaya perawatan yang cukup rendah. Akan tetapi metode ini juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya hasil proteksi dari sistem ini hanya dapat diketahui setelah sistem proteksi ini diaplikasikan [5].

Berdasarkan permasalahan tersebut peneliti melakukan rekayasa simulasi proteksi katodik anoda korban beton bertulang menggunakan Metode elemen batas (boundary element method) atau biasa disebut BEM. Metode ini dianggap efektif dalam melakukan rekayasa korosi karena kasus korosi hanya terjadi di permukaan struktur yang terserang. Metode ini dipelopori oleh Prof Aoki dari Jepang. Metode ini telah berhasil menyelesaikan beberapa masalah rekayasa korosi seperti rekayasa korosi pada submersible pump (Ridha 2011), rekayasa korosi pada beton bertulang (Iqbal 2019). Sehingga BEM menjadi salah satu topik yang sangat berpotensi untuk dikaji dan dikembangkan hal ini bertujuan untuk meningkatkan efektifitas pada metode ini [6,7,8,9]. Makalah ini bertujuan untuk mengamati pengaruh ukuran mesh anoda terhadap distribusi potensial korosi pada beton bertulang menggunakan BEM 3D

### METODE PENELITIAN

Metode elemen batas (BEM) merupakan sebuah metode numerik yang dapat menyelesaikan banyak persamaan termasuk persamaan Laplace. BEM memiliki beberapa kelebihan dari metode numerik lain diantaranya BEM hanya membutuhkan data pada permukaan sehingga jumlah elemen yang digunakan pada BEM lebih sedikit dari metode numerik lainnya. Sehingga BEM merupakan metode yang sesuai digunakan untuk simulasi korosi dikarenakan korosi hanya terjadi pada permukaan logam dengan lingkungannya.

Pada penelitian ini beton bertulang adalah domain yang tersusun dari baja tulangan yang tersambung secara elektrik oleh anoda korban. Model beton bertulang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Model proteksi katodik anoda korban pada beton bertulang [8]

Pemodelan diawali dengan memodelkan medium (Ω) tersebut, medium tersebut berada dalam suatu keadaan tunak (terisolir sempurna) dengan konduktivitas konstan, maka medium tersebut dapat dimodelkan menggunakan persamaan Laplace (1-3):

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (1)$$

## Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

selanjutnya diekspresikan dalam koordinat rectangular (x, y dan z) pada kasus 3D:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial^2 x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial^2 y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial^2 z^2} = 0 \quad (2)$$

Dengan densitas arus yang melintas pada permukaan:

$$i = -\kappa \frac{\partial \phi}{\partial n} \quad (3)$$

Dimana  $\phi$  adalah potensial di dalam elektrolit,  $\kappa$  adalah konduktivitas,  $n$  adalah vektor normal dan  $\partial/\partial n$  adalah turunan normal. Kemudian kondisi batas dalam penyelesaian persamaan ditunjukkan pada persamaan (4-6).

$$\Gamma_1 : i = i_0 \quad (4)$$

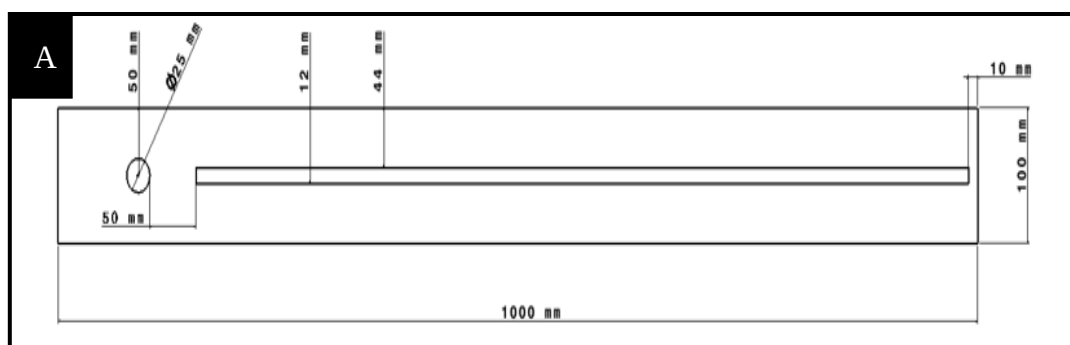
$$\Gamma_2 : \phi_c = -f_c(i) \quad (5)$$

$$\Gamma_3 : \phi_a = -f_a(i) \quad (6)$$

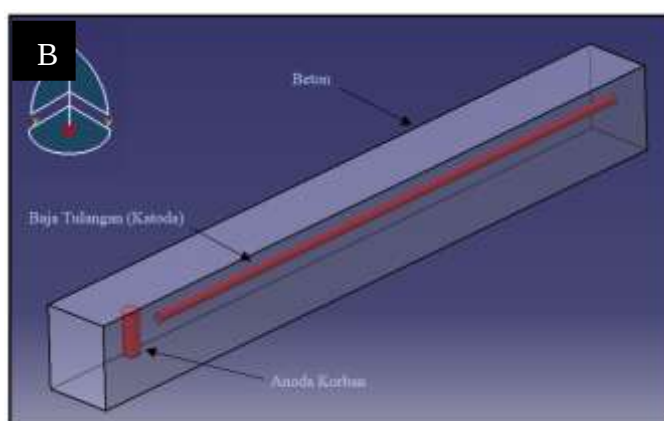
Dengan mengikuti standar penurunan pada BEM maka diperoleh persamaan matrik (7). ketika kondisi batas didefinisikan pada persamaan (4-6). Persamaan (7) dapat diselesaikan. Hasil kalkulasi berbentuk nilai potensial listrik di seluruh permukaan domain beton bertulang [8,9].

$$\kappa [H] \begin{Bmatrix} \phi \\ -f_c(i) \\ -f_a(i) \end{Bmatrix} - [G] \begin{Bmatrix} i_0 \\ i_c \\ i_a \end{Bmatrix} = 0 \quad (7)$$

Kasus dalam penelitian ini adalah sebuah model 3D beton bertulang yang merujuk pada penelitian Doods [10]. Ukuran dari geometri beton, baja tulangan dan anoda korban pada penelitian ini adalah (Lebar 100 × Tinggi 100 × Panjang 1000) mm, (Φ25 × 50) mm, and (Φ6 × 840) mm. Baja tulangan yang digunakan berjenis *mild steel* dan anoda korban yang digunakan berjenis Zn. Geometri dan model beton bertulang ditunjukkan pada gambar 2.



(a)



(b)

Gambar 2. (a) geometri, (b) Pemodelan beton bertulang

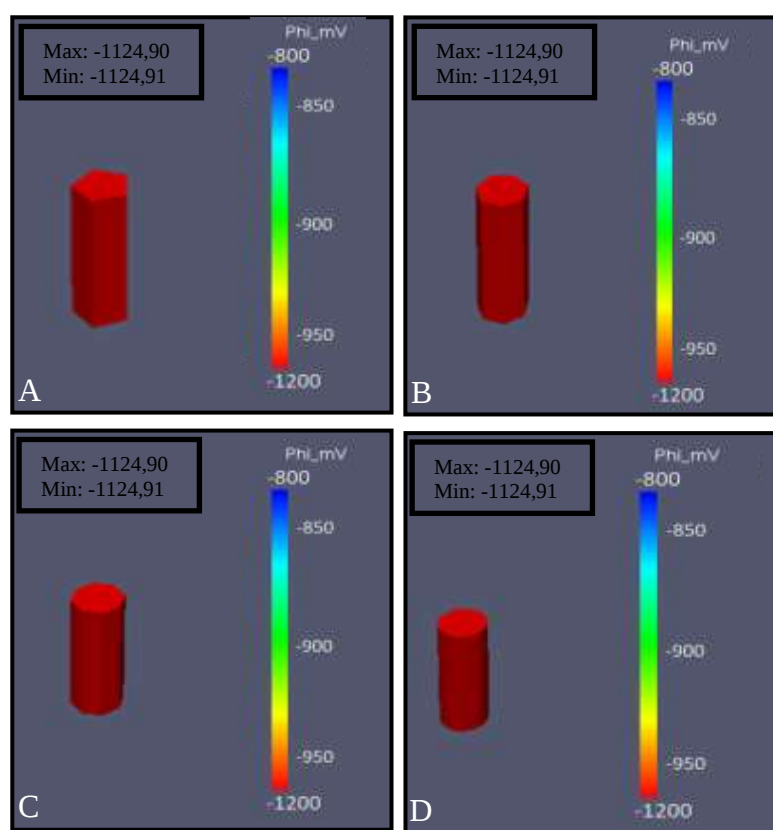
Geometri dibangun dan dimeshing menggunakan software Salome Meca 8.3. Jenis elemen yang digunakan pada penelitian ini adalah *triangular* dan dilakukan 4 variasi ukuran mesh anoda dengan ukuran elemen baja tulangan dan beton ditetapkan. Ukuran dan jumlah elemen terlampir pada Tabel 2. Selanjutnya data geometri yang telah dibangun diintegrasikan kedalam bentuk kode fortran dan kemudian dikalkulasikan menggunakan G-Fortran Compiler. Setelah proses kalkulasi selesai hasil divisualisasikan menggunakan *software open source Paraview* untuk dianalisis.

Tabel 2. Ukuran Mesh dan Jumlah Elemen Anoda

| Kode | Ukuran mesh anoda | Jumlah Elemen |
|------|-------------------|---------------|
| A    | 18                | 40            |
| B    | 12                | 84            |
| C    | 10                | 96            |
| D    | 4                 | 560           |

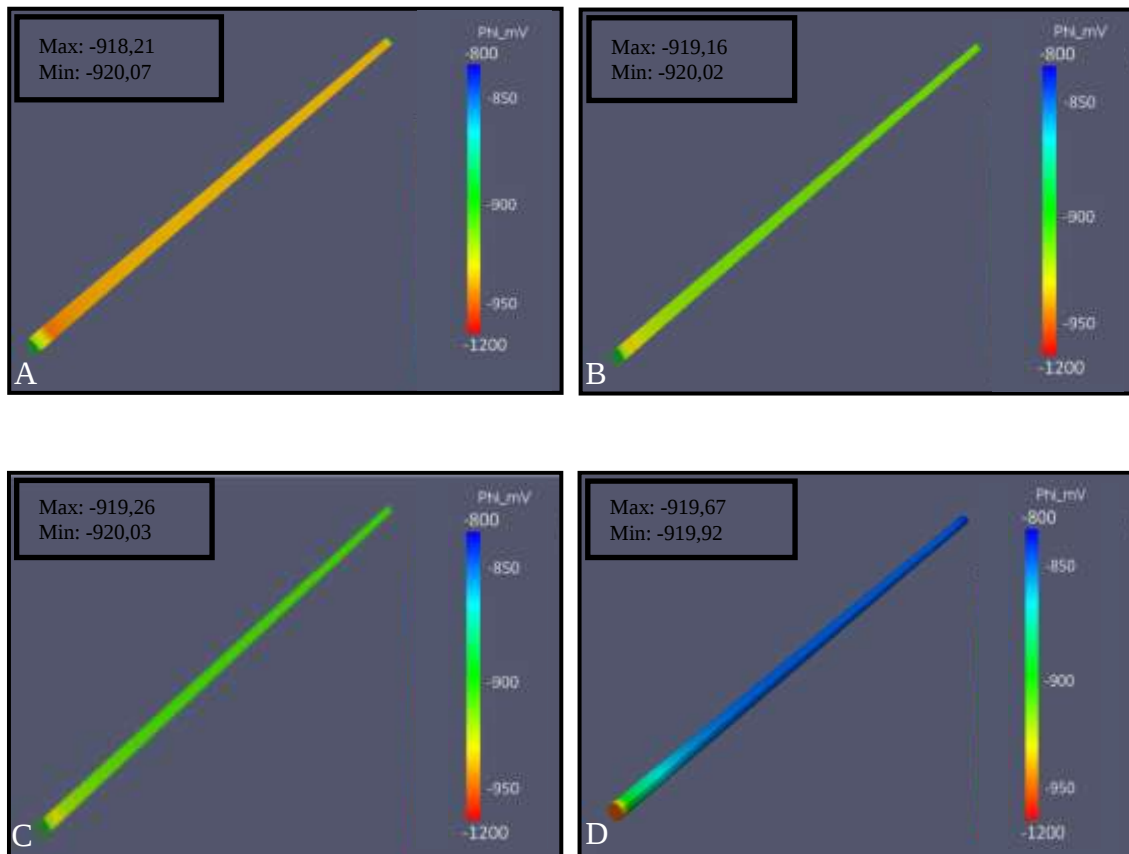
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil simulasi menunjukkan anoda korban aktif melakukan proteksi pada setiap variasi. dengan nilai potensial dalam rentang  $\pm 1100$  mV [11]. anoda memiliki nilai potensial yang tidak jauh berbeda pada setiap variasi, dengan nilai potensial direntang -1124,92 mV sampai -1124,90 mV. Hasil simulasi anoda pada setiap variasi dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil simulasi anoda pada setiap variasi

Kemudian baja tulangan pada setiap variasi juga dalam kondisi terproteksi dengan baik dari ancaman korosi, ini merujuk kepada standard perlindungan katodik anoda korban yang diterbitkan oleh NACE [12] baja tulangan dikategorikan dalam kondisi terproteksi dari ancaman korosi apabila memiliki nilai potensial ( $\leq -850$  mV vs Cu/CuSO<sub>4</sub>). Baja tulangan memiliki nilai potensial direntang -920,07 mV sampai -918,19 mV. Hasil simulasi baja tulangan pada setiap variasi dapat dilihat pada gambar 4.

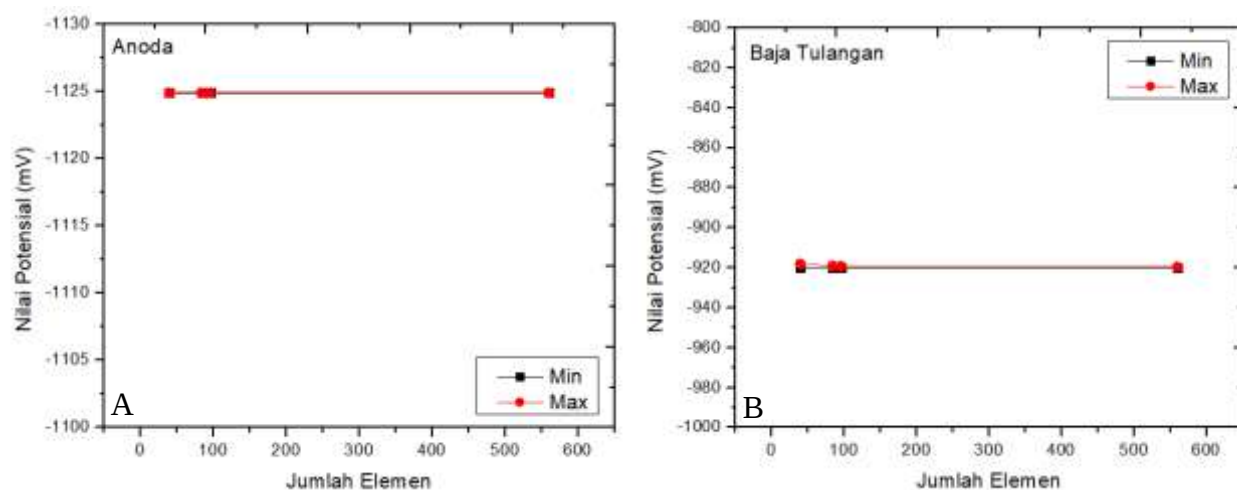
**Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi**<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

Gambar 4. Hasil simulasi baja tulangan pada setiap variasi

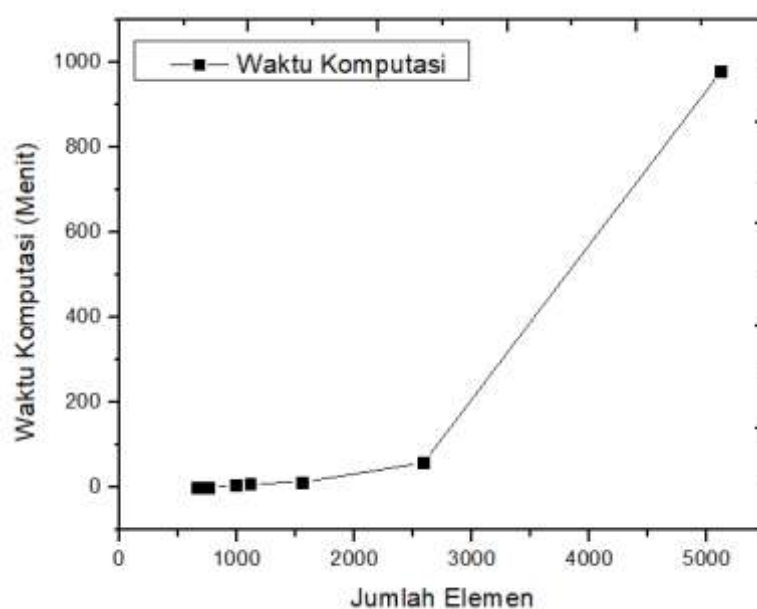
Pengaruh jumlah elemen terhadap distribusi potensial korosi diamati berdasarkan nilai selisih potensial pada tiap domain anoda dan baja tulangan. berdasarkan hasil simulasi nilai potensial listrik pada anoda memiliki nilai yang cenderung sama antar variasi. Hal itu juga terjadi pada baja tulangan nilai selisih potensial pada tiap variasi memiliki nilai yang cenderung konstan. Namun jumlah elemen sangat mempengaruhi waktu komputasi yang dilakukan, semakin banyak jumlah elemen membutuhkan waktu komputasi yang semakin lama. Nilai selisih potensial pada anoda dan baja tulangan dapat dilihat pada gambar 5 serta untuk pengaruh jumlah elemen terhadap waktu komputasi dapat dilihat pada gambar 6.

## Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>



Gambar 5. Nilai selisih potensial (A) anoda (B) baja tulangan



Gambar 6. Pengaruh jumlah elemen terhadap waktu komputasi

## Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

### KESIMPULAN

Berdasarkan studi ini BEM berhasil digunakan dalam simulasi proteksi katodik anoda korban beton bertulang dengan mengamati pengaruh jumlah elemen anoda terhadap distribusi potensial korosi pada beton bertulang. Berdasarkan hasil simulasi didapat semakin banyak jumlah elemen yang digunakan dalam simulasi menghasilkan nilai selisih potensial pada baja tulangan yang semakin kecil. Akan tetapi penurunan nilai tidak signifikan dan masih dapat ditoleransi berdasarkan kriteria proteksi. Namun jumlah elemen tersebut sangat mempengaruhi waktu komputasi yang dilakukan. Pengaruh jumlah elemen terhadap waktu komputasi dapat dilihat pada gambar 5.

### Penghargaan

Penulis mengucapkan terima kasih kepada laboratorium Rekayas Material, Divisi korosi, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, laboratorium bahan dan metrologi Laboraroty, Universitas Syiah Kuala atas fasilitas yang diberikan selama riset.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Ahmad, *Principles of corrosion engineering and corrosion control*. Elsevier, 2006.
- [2] J. Jackson, "Cost of Corrosion Annually in the US over \$1 Trillion," *Houston, TX G2MT Labs, LLC*. Accessed online <http://www.g2mtlabs.com/cost-of-corrosion>, 2013.
- [3] P. R. Roberge, "Handbook of Corrosion Engineering McGraw-Hill," *New York, NY*, 2000.
- [4] F. Fahirah and F. Fahirah, "Korosi pada beton bertulang dan pencegahannya," *SMARTek*, vol. 5, no. 3, 2007.
- [5] S. Fonna, S. Huzni, A. Zaim, and A. K. Ariffin, "Simulation of Cathodic Protection on Reinforced Concrete Using BEM," *J. Mech. Eng. SI4*, vol. 2, pp. 111–122, 2017.
- [6] S. Aoki and K. Kishimoto, *Application of BEM to galvanic corrosion and cathodic protection*. Springer, 1990, pp. 65–86.
- [7] M. Ridha, M. Safuadi, S. Huzni, I. Israr, A. K. Ariffin, and A. R. Daud, "The evaluation of cathodic protection system design by using boundary element method," in *Advanced Materials Research*, 2011, vol. 339, pp. 642–647.
- [8] 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*, 2019, vol. 364, no. 1, p. 12022.
- [9] S. Fonna, S. Huzni, M. A. Putra, and R. Kurniawan, "Simulation the effect of anode-cathode displacement and anode type on reinforced concrete cathodic protection using BEM," in *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 197, p. 12001.
- [10] W. J. Dodds, C. Christodoulou, C. I. Goodier, and S. A. Austin, "Performance evaluation of galvanic anodes through laboratory testing and on-site monitoring," 2014.
- [11] R. G. Kasper and M. G. April, "Electro galvanic finite element analysis of partially protected marine structures," *Corrosion*, vol. 39, no. 5, pp. 181–188, 1983.
- [12] N. S. TM0284, "Evaluation of pipeline and pressure vessel steels for resistance to hydrogen-induced cracking," *NACE Int. Houston, TX*, 2011.