

# STUDI PERBANDINGAN UNJUK KERJA INHIBITOR KOROSI BAJA BETON DI DALAM MEDIA SIMULASI YANG MENGANDUNG AIR LAUT DAN KARBONAT

## COMPARATIVE STUDY OF CORROSION INHIBITORS FOR REBAR STEELS IN SIMULATED PORE SOLUTION CONTAINING SEAWATER AND CARBONATES

Arini Nikitasari<sup>1,\*</sup>, Faty Alvina<sup>2</sup>, dan Efendi Mabru<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Serpong, Indonesia

<sup>2</sup>Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Indonesia

\*E-mail: arini\_nikitasari@yahoo.com

---

### ARTICLE INFO

#### Article history

Received date:

18 March 2016

Received in revised form date:

29 March 2016

Accepted date:

29 April 2016

Available online date:

31 May 2016

---

### Abstract

The performances of sodium nitrite and dimethylethanolamine (DMEA) inhibitors have been compared in mitigating corrosion of rebar steels in simulated pore solution containing sea water and carbonates. The simulated solution was prepared by dissolving saturation amounts of alkali hydroxides and sulphates in sea water and adding carbonates subsequently. The inhibitor of sodium nitrite and DMEA with various concentration was then added in the respective simulated solution. The corrugated rebar steels were immersed in the solutions and electrochemical corrosion was measured using potentiodynamic polarization method. The experimental results showed that sodium nitrite exhibited more effective performance compared to DMEA in mitigating rebar steel corrosion in sea water and carbonated media. The lowest steel corrosion rate of 0.27 mpy Sodium nitrite with 0.3 M concentration decreased corrosion rate of the steel to 0.27 mpy, the lowest values among the measured corrosion rates in this work.

**Keywords:** Sodium nitrite, Dimethylethanolamine, Inhibitor, Potentiodynamic polarization, Corrosion rate

---

### Kata kunci:

Sodium nitrit

Dimethylethanolamin

Inhibitor

Polarisasi Potensiodinamik

Laju korosi

---

### Abstrak

Telah dilakukan studi perbandingan mengenai unjuk kerja inhibitor korosi baja beton sodium nitrit dan dimethylethanolamine (DMEA) di dalam media simulasi yang mengandung air laut dan karbonat. Media simulasi dalam penelitian ini dibuat dengan melarutkan alkali hidroksida dan kalsium sulfat jenuh menggunakan air laut kemudian ditambahkan ion karbonat. Inhibitor sodium nitrit dan DMEA ditambahkan ke dalam media simulasi dengan berbagai variasi konsentrasi. Baja beton direndam dalam media simulasi dan diukur potensial korosi serta laju korosinya menggunakan metode polarisasi potensiodinamik. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa inhibitor sodium nitrit lebih efektif dibanding DMEA untuk digunakan sebagai inhibitor korosi pada baja beton di dalam media simulasi yang mengandung air laut dan karbonat. Laju korosi terendah dari hasil pengukuran yang telah dilakukan 0,27 mpy yaitu sodium nitrit dengan konsentrasi 0,3 M.

## PENDAHULUAN

Beton bertulang merupakan bahan struktural yang banyak digunakan untuk konstruksi bangunan atau jembatan. Faktor eksternal dari lingkungan dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada beton bertulang. Korosi baja tulangan beton adalah masalah yang paling sering timbul dalam kerusakan beton bertulang (Valcarce, López, and Vázquez 2012; Liu et al. 2014). Pada kondisi normal, baja tulangan beton terproteksi dari korosi dengan membentuk lapisan pasif pada permukaannya akibat tingginya pH pada beton. Bagaimanapun, lapisan pasif pada beton bertulang dapat mengalami kerusakan dan beton bertulang dapat mengalami korosi ketika pH pada beton turun atau ketika konsentrasi klorida pada beton melebihi batas kritisnya, yaitu sebesar 0,4-1% berat semen. Penurunan pH pada beton terjadi akibat proses karbonasi, yaitu reaksi netralisasi antara gas CO<sub>2</sub> di udara dengan semen beton (Rose 2011; Söylev and Richardson 2008; Garces et al. 2011).

Beton bertulang sebagai bahan konstruksi banyak digunakan di wilayah pesisir laut. Wilayah pesisir laut merupakan lingkungan yang agresif untuk menyebabkan korosi bagi beton bertulang karena mengandung ion klorida yang sangat tinggi. Ketika beton bertulang mengalami korosi, ukuran penampang menjadi lebih kecil sehingga mengurangi kekuatannya untuk mendukung beban. Volume produk korosi menghasilkan tekanan yang menyebabkan selimut beton pecah, sehingga baja tulangan beton terekspos secara langsung dengan lingkungan yang agresif. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya kerusakan pada struktur beton di wilayah pesisir laut (Gastaldi and Bertolini 2014; Kondratova, Montes, and Bremner 2003)

Pencegahan korosi pada baja tulangan beton terutama yang terletak pada tahap desain dengan menggunakan selimut beton

berkualitas tinggi. Metode pencegahan tambahan harus digunakan ketika beton digunakan pada kondisi lingkungan yang parah atau agresif. Di antara beberapa metode pencegahan korosi yang ada, inhibitor korosi merupakan metode yang paling menarik untuk digunakan karena membutuhkan biaya yang lebih murah dan penanganannya lebih mudah dibandingkan metode pencegahan lainnya (Ormellese et al. 2006).

Inhibitor dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu *admixed* inhibitor yang ditambahkan pada saat pembuatan beton ketika beton belum mengeras dan *migrating* inhibitor yang dapat masuk ke dalam beton yang sudah mengeras biasanya digunakan untuk proses perbaikan (Ormellese et al. 2006). Saat ini terdapat berbagai macam inhibitor yang terdapat di pasaran baik inhibitor anorganik seperti nitrit yang merupakan *admixed inhibitor* dan *sodium mono-flouro-phosphate* yang merupakan *migrating inhibitor*, maupun inhibitor organik seperti *alkanolamines (admixed inhibitor)* dan asam karboksilat (*admixed dan migrating inhibitor*) (Söylev and Richardson 2008).

Nitrit merupakan inhibitor yang paling banyak digunakan, karena keefektifannya dalam mencegah korosi pada baja tulangan beton. Nitrit berperan sebagai pasivator karena kemampuannya mengoksidasi. Kepopuleran nitrit sebagai inhibitor terus meningkat seiring dengan kesesuaiannya untuk diaplikasikan pada beton dan harganya yang relatif murah. Walaupun demikian, kekhawatiran mengenai sifat racun, kelarutan, dan kemungkinannya untuk mempercepat laju korosi jika dosisnya rendah menyebabkan inhibitor organik juga mulai digunakan saat ini (Söylev and Richardson 2008; Garces et al. 2011).

Inhibitor organik menghambat korosi dengan cara terserap pada permukaan logam, membentuk lapisan organik yang

dapat menghambat proses anodik maupun katodik. Walaupun tinjauan mengenai inhibitor organik telah terbit sejak tahun 2001, tetapi efisiensi dari inhibitor organik komersial belum terlalu dimengerti hingga saat ini. Uji laboratorium yang telah dilakukan menunjukkan hasil yang berbeda-beda dan efisiensi yang relatif masih rendah. Salah satu jenis inhibitor organik yang telah diteliti dapat digunakan untuk menghambat korosi baja beton adalah dimethylethanolamine (DMEA) (Rakanta, Zafeiropoulou, and Batis 2013).

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan keefektifan sodium nitrit ( $\text{NaNO}_2$ ) yang merupakan inhibitor anorganik yang paling sering digunakan untuk menghambat laju korosi baja tulangan beton dengan inhibitor organik dimethylethanolamine (DMEA). Studi perbandingan ini dilakukan dengan menggunakan media simulasi beton yang mengandung air laut dan karbonat untuk mempersingkat waktu yang dibutuhkan oleh ion klorida dan karbonat untuk masuk dan merusak selimut beton. Parameter korosi seperti potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ) dan laju korosi ( $i_{\text{corr}}$ ) dievaluasi menggunakan pengukuran secara elektrokimia.

## METODE

### Preparasi Larutan Uji

Larutan uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan beton simulasi yang dilarutkan menggunakan air laut pesisir pulau utara Jawa. Larutan beton simulasi dibuat dengan komposisi sesuai Tabel 1.

Selanjutnya, dilakukan penambahan ion karbonat ke dalam larutan uji menggunakan sodium karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) dengan konsentrasi sebesar 0,015 M dan sodium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) dengan konsentrasi 0,3 M.

Larutan uji yang sudah terdapat ion karbonat di dalamnya kemudian ditambahkan inhibitor sodium nitrit ( $\text{NaNO}_2$ ) atau DMEA ( $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{NO}$ ) dengan berbagai variasi konsentrasi yaitu 0,1 M; 0,3 M; 0,6 M.

**Tabel 1.** Komposisi larutan simulasi beton

Unsur	Mol/L
NaOH	0,1
KOH	0,3
Ca(OH) <sub>2</sub>	0,03
CaSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	0,02

Sumber (Amir Poursaee 2010)

### Preparasi Benda Uji

Benda uji dalam penelitian ini berupa baja tulangan beton SNI (Standar Nasional Indonesia) berulir yang memiliki diameter 13 mm dan dipotong dengan ukuran 1 cm. Benda uji kemudian dihubungkan dengan kabel menggunakan solder listrik dan *di-mounting* menggunakan resin hingga luas area yang terekspos hanya sebesar 1,23 cm<sup>2</sup>.

Benda uji yang telah *di-mounting*, dipoles menggunakan *abbrasive paper* dari ukuran 120 cw hingga 800 cw. Selanjutnya, benda uji direndam dalam larutan uji untuk dilakukan pengukuran parameter korosi. Adapun komposisi kimia dari baja tulangan beton SNI yang digunakan pada penelitian ini diuji menggunakan *spark Optical Emission Spectroscopy* (OES), dengan hasil ditampilkan pada Tabel 2.

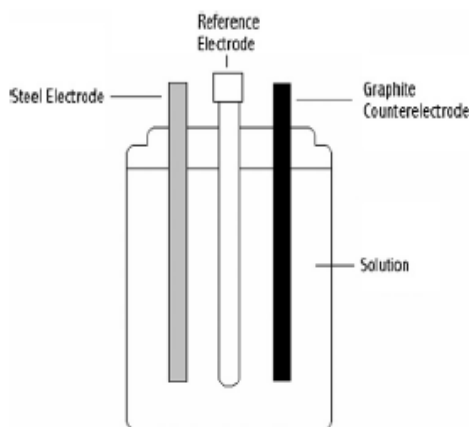
**Tabel 2.** Komposisi kimia baja beton

Unsur	Kadar (%)
C	0,37
Si	0,23
Mn	0,54
P	0,03
S	0,04
Fe	Bal

## Pengukuran Potensial Korosi ( $E_{\text{corr}}$ ) dan Laju Korosi ( $i_{\text{corr}}$ )

Pengukuran potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ) dan laju korosi ( $i_{\text{corr}}$ ) pada penelitian ini menggunakan alat Gamry Instruments Seri G750 dengan teknik pengukuran menggunakan metode polarisasi potensiodinamik Tafel (Nikitasari et al. 2014) pada range potensial -200mV sampai 200mV dari OCP (*open circuit potential*) dengan parameter *scan rate* 1,5 mV/s.

Terdapat tiga jenis elektroda yang digunakan dalam pengukuran ini seperti skema pada Gambar 1, yaitu elektroda bantu (*counter electrode*) menggunakan grafit, elektroda pembanding (*reference electrode*) menggunakan elektroda kalomel jenuh, dan elektroda kerja (*working electrode*), yaitu baja tulangan beton yang *ter-mounting*.



**Gambar 1.** Skema tiga elektroda  
Sumber (Garces et al. 2011)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 merupakan grafik hasil pengukuran potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ) pada semua benda uji. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa baik sodium nitrit maupun DMEA dapat menaikkan nilai potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ). Inhibitor DMEA dapat menaikkan nilai potensial korosi dari nilai sekitar -400 mV menjadi

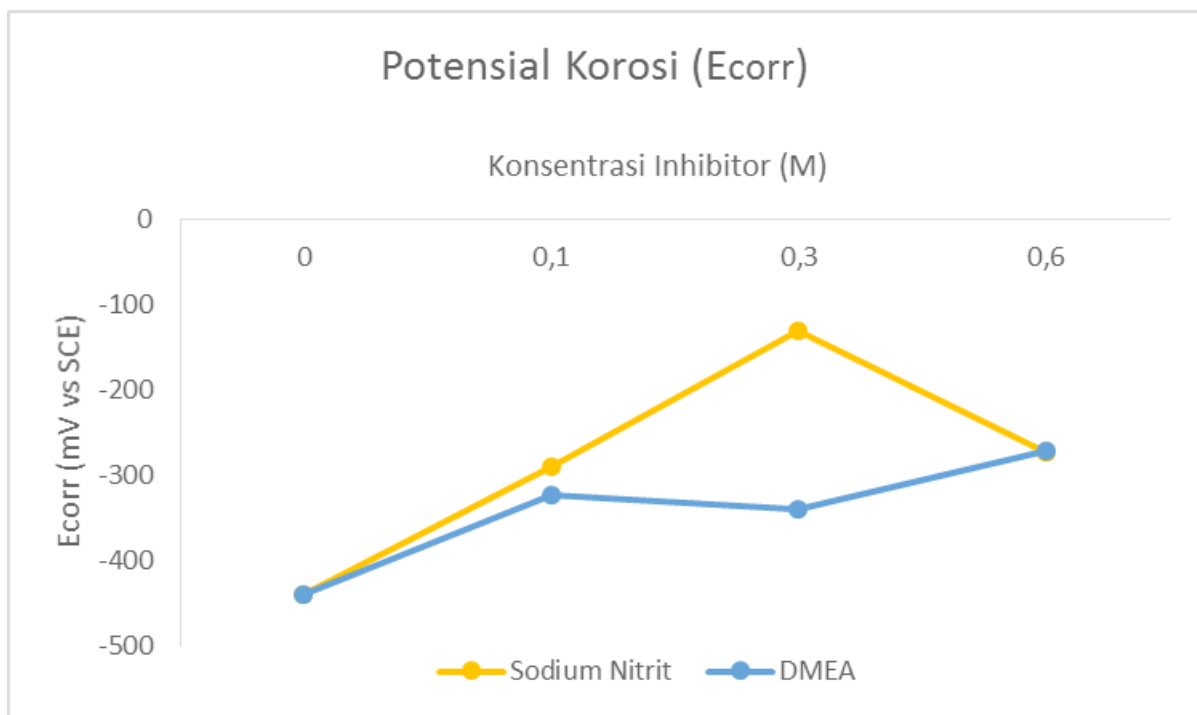
-300 mV, sedangkan inhibitor sodium nitrit dapat menaikkan nilai potensial korosi sangat signifikan dari -400 mV menjadi -200 mV bahkan -100 mV untuk konsentrasi sodium nitrit 0,3 M. Berdasarkan reaksi yang dihambat, inhibitor dapat dibedakan menjadi inhibitor katodik atau anodik. Inhibitor yang menghambat reaksi reduksi dengan membentuk senyawa tak larut yang mengendap pada katodik, sehingga potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ) bergeser ke arah negatif disebut inhibitor katodik. Sedangkan, inhibitor anodik menghambat reaksi oksidasi, menggeser kesetimbangan proses korosi ke daerah pasif yang menyebabkan pembentukan lapisan film pasif oksida yang tidak terlihat di daerah anodik sehingga memicu kenaikan potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ) dan menekan proses korosi (Rina dan Butarbutar 2010). Dari Gambar 2, dapat diketahui bahwa inhibitor sodium nitrit dan DMEA termasuk inhibitor anodik karena dapat menaikkan nilai potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ) (Rakanta, Zafeiropoulou, and Batis 2013), akan tetapi sodium nitrit lebih kuat daya inhibisinya untuk menghambat reaksi oksidasi di anodik sehingga nilai potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ) nya naik lebih signifikan dibanding DMEA.

Hasil pengukuran laju korosi ( $i_{\text{corr}}$ ) ditampilkan dalam Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, dapat diketahui bahwa inhibitor sodium nitrit dan DMEA dapat menurunkan laju korosi pada media simulasi beton yang mengandung air laut dan karbonat. Inhibitor sodium nitrit lebih efektif dalam menghambat proses korosi pada media simulasi yang mengandung air laut dan karbonat dibandingkan inhibitor DMEA. Hal ini dibuktikan dari nilai laju korosi yang turun secara drastis dengan adanya penambahan sodium nitrit. Pada konsentrasi 0,3 M terdapat hasil yang berbanding terbalik antara sodium nitrit dan DMEA, dimana pada sodium nitrit 0,3 M adalah konsentrasi yang dapat menurunkan laju

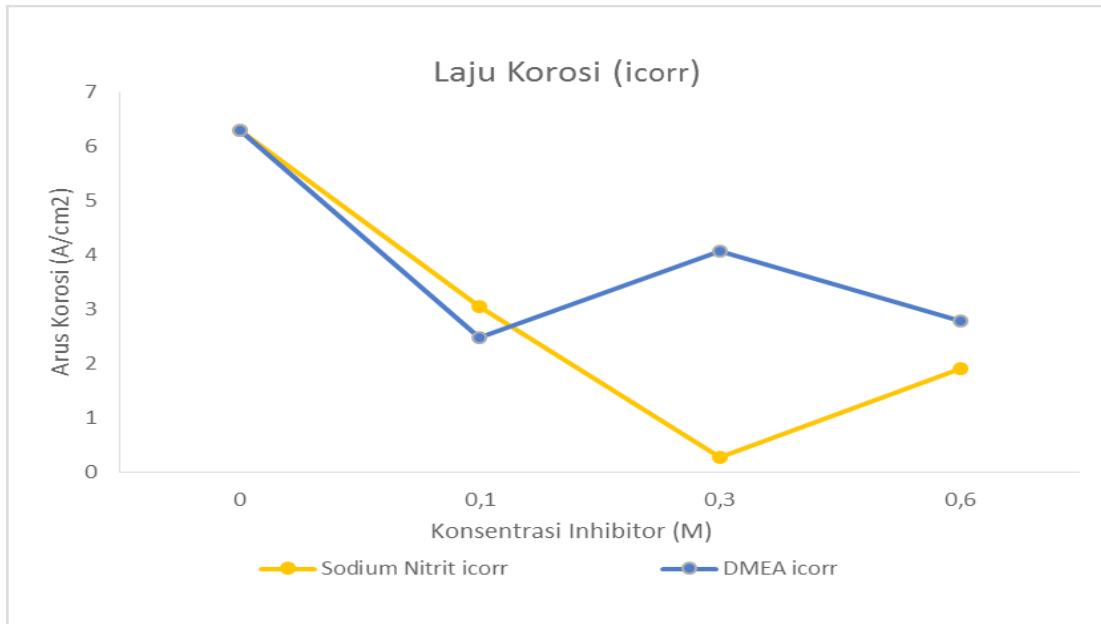
korosi paling besar sedangkan pada DMEA justru 0,3 M adalah konsentrasi yang dapat menaikkan laju korosi. Perbedaan hasil ini dapat terjadi karena perbedaan mekanisme kerja antara inhibitor anorganik dan organik dalam menghambat proses korosi. Sodium nitrit yang merupakan inhibitor anorganik memiliki mekanisme membentuk lapisan pasif  $Fe_2O_3$  untuk menghambat terjadinya korosi sesuai reaksi:  $2Fe^{2+} + 2OH^- + 2NO_2^- \rightarrow 2NO + Fe_2O_3 + H_2O$  (Hassan 2013), sehingga konsentrasi 0,3 M adalah dosis yang paling optimum untuk menghambat reaksi oksidasi dengan kondisi adanya ion klorida dari air laut dan ion karbonat. Sedangkan, DMEA sebagai inhibitor organik memiliki mekanisme teradsorpsi kimiawi pada permukaan logam, sehingga pemakaiannya sangat terbatas karena memerlukan

konsentrasi yang tetap, pH yang sensitif dan kadang tidak efektif dengan adanya ion klorida (Rina and Butarbutar 2010) sehingga dengan konsentrasi DMEA 0,3 M di lingkungan air laut dan ion karbonat justru menyebabkan penggunaannya tidak efektif sebagai inhibitor korosi.

Tabel 3 menampilkan data semua hasil pengukuran baik potensial, arus, dan laju korosi pada semua benda uji. Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa sodium nitrit dengan konsentrasi 0,3 M adalah yang paling optimal untuk menghambat korosi pada baja tulangan beton dalam media simulasi yang mengandung air laut dan karbonat karena dapat menurunkan laju korosi dari 6 mpy menjadi kurang dari 1 mpy.



Gambar 2. Hasil pengukuran potensial korosi ( $E_{corr}$ ) pada berbagai konsentrasi inhibitor



**Gambar 3.** Hasil pengukuran laju korosi ( $i_{corr}$ ) pada berbagai konsentrasi inhibitor

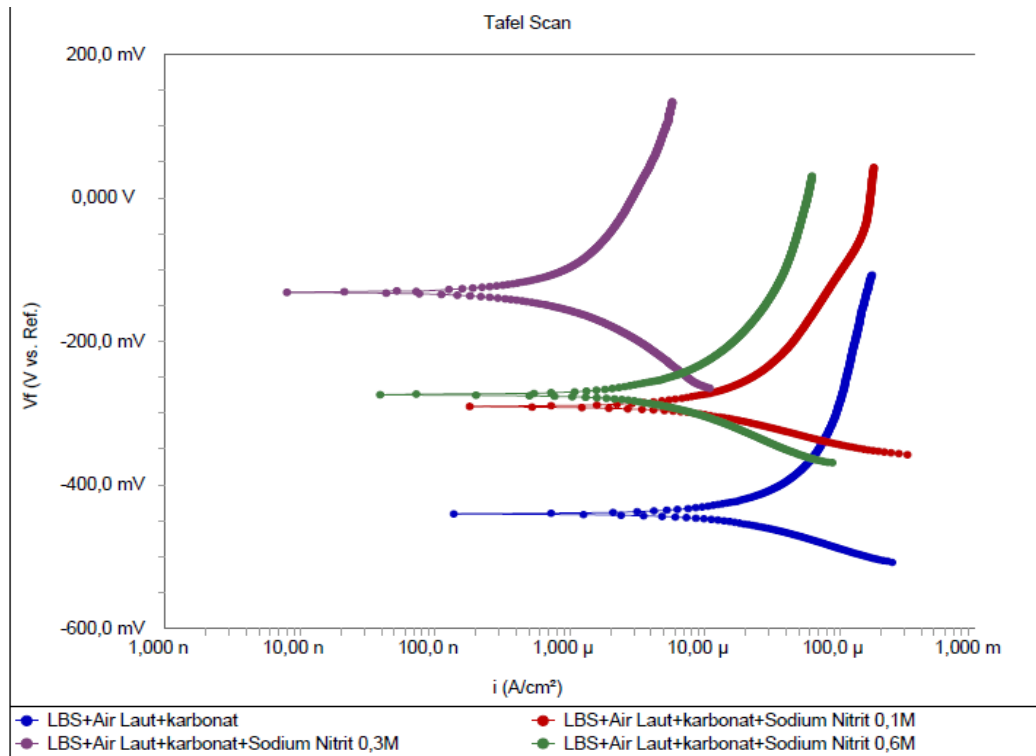
**Tabel 3.** Potensial korosi ( $E_{corr}$ ), arus korosi ( $I_{corr}$ ) dan laju korosi ( $i_{corr}$ ) untuk semua benda uji

Media	$E_{corr}$ (mV)	$I_{corr}$ (A/cm <sup>2</sup> )	Corrosion Rate (mpy)
Larutan Beton Simulasi (LBS) + Air Laut + Karbonat	-439,2	1,37E-5	6,28
LBS + Air Laut + Karbonat + Sodium Nitrit 0,1 M	-289,2	6,63E-6	3,04
LBS + Air Laut + Karbonat + Sodium Nitrit 0,3 M	-131,7	5,83E-7	0,27
LBS + Air Laut + Karbonat + Sodium Nitrit 0,6 M	-272,4	4,15E-6	1,90
LBS + Air Laut + Karbonat + DMEA 0,1 M	-322,7	5,39E-6	2,47
LBS + Air Laut + Karbonat + DMEA 0,3 M	-339,2	8,86E-6	4,06
LBS + Air Laut + Karbonat + DMEA 0,6 M	-270,5	6,07E-6	2,78

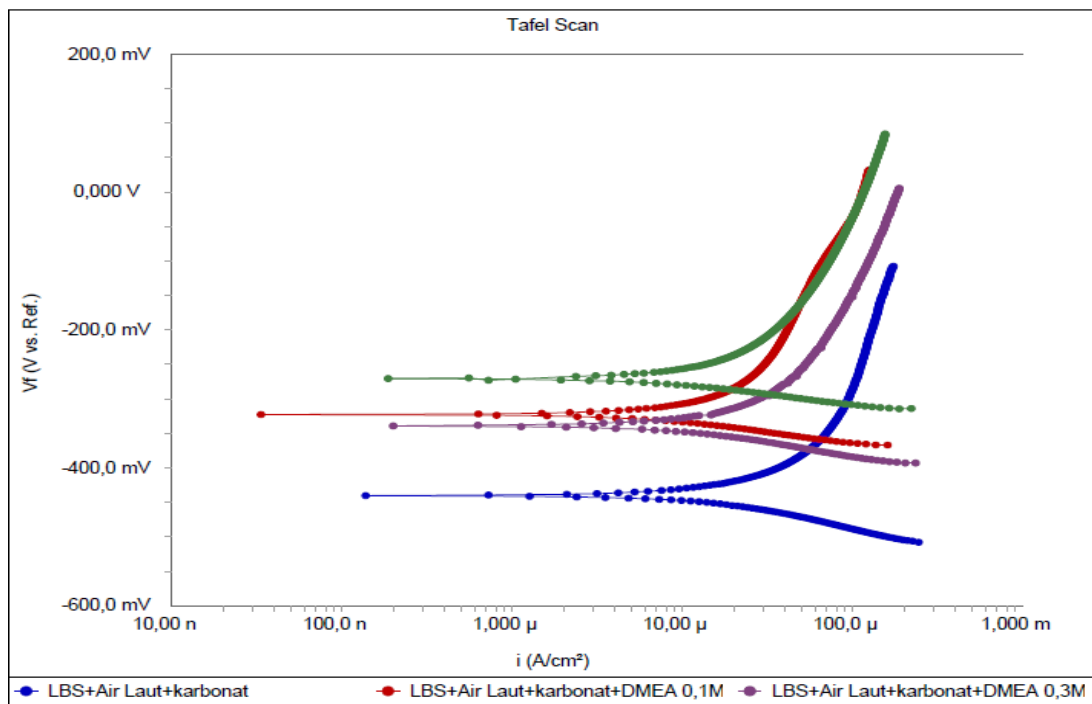
Kurva polarisasi inhibitor sodium nitrit dan DMEA ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Kedua gambar tersebut menunjukkan kenaikan potensial korosi ( $E_{corr}$ ) dengan adanya penambahan inhibitor baik sodium nitrit maupun DMEA. Akan tetapi, rentang kenaikan pada Gambar 4 lebih lebar dibandingkan rentang kenaikan pada Gambar 5. Selain itu, nilai arus korosi pada Gambar 4 terlihat adanya pergeseran ke arah kiri (penurunan) dengan adanya penambahan inhibitor sodium nitrit, sedangkan pada Gambar 5

pergeseran tidak terlalu terlihat kecuali pada konsentrasi DMEA 0,1 M. Hal ini membuktikan bahwa inhibitor sodium nitrit lebih efektif menurunkan laju korosi dibandingkan DMEA pada media simulasi yang mengandung air laut dan karbonat. Sodium nitrit menunjukkan performa yang lebih baik dibanding DMEA pada penelitian ini, karena DMEA merupakan jenis inhibitor organik yang kurang efektif sebagai inhibitor dengan adanya ion klorida yang berasal dari air laut (Rina dan Butarbutar, 2010).





Gambar 4. Kurva polarisasi sodium nitrit pada berbagai konsentrasi



Gambar 5. Kurva polarisasi DMEA pada berbagai konsentrasi

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian studi perbandingan ketahanan korosi baja beton menggunakan sodium nitrit dan DMEA pada media simulasi yang mengandung air laut dan karbonat, disimpulkan bahwa sodium nitrit dan DMEA merupakan jenis inhibitor anodik yang menghambat proses oksidasi di anoda, sehingga mampu menaikkan nilai potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ )

DMEA dapat menghambat proses korosi dengan cara membentuk ikatan logam-heterologam pada permukaan baja beton. Sodium nitrit lebih efektif digunakan sebagai inhibitor dibandingkan DMEA, karena lebih mampu menurunkan laju korosi baja beton dalam media simulasi yang mengandung air laut dan karbonat.

Konsentrasi inhibitor sodium nitrit yang paling optimal untuk digunakan pada larutan beton simulasi terkarbonasi dan terkontaminasi air laut adalah 0,3 M.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih kepada ke deputian Ilmu Pengetahuan Kebumihan LIPI yang telah mendanai penelitian ini melalui mekanisme kegiatan Unggulan 2015. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI yang telah memfasilitasi pengujian dalam penelitian ini.

## DAFTAR ACUAN

- Engineering, Civil, and West Lafayette. 2010. "Corrosion of Steel Bars in Saturated Ca (OH)<sub>2</sub> and Concrete Pore Solution" 1 (September): 90–97.
- Garces, P., P. Saura, E. Zornoza, and C. Andrade. 2011. "Influence of pH on The Nitrite Corrosion Inhibition of Reinforcing Steel in Simulated Concrete Pore Solution." *Corrosion Science* 53(12): 3991–4000. doi:10.1016/j.corsci.2011.08.002.
- Gastaldi, Matteo, and Luca Bertolini. 2014. "Effect of Temperature on The Corrosion Behaviour of Low-Nickel Duplex Stainless Steel Bars in Concrete." *Cement and Concrete Research* 56. Elsevier Ltd: 52–60. doi:10.1016/j.cemconres.2013.11.004.
- Hassan, Ahmed Rajih. 2013. "Sodium Nitrite as Inhibitors for Protection of Rebar Against Corrosion: من التآكل من الصوديوم كمادة مثبطة في حماية حديد التسليح اسماعيل فراس نايف حسن استعمال تبريدات كلية الهندسة احمد راجح حسن علي خليل / جامعة المثني," no. 1: 82–96.
- Kondratova, I. L., P. Montes, and T. W. Bremner. 2003. "Natural Marine Exposure Results for Reinforced Concrete Slabs with Corrosion Inhibitors." *Cement and Concrete Composites* 25 (4-5 SPEC): 483–90. doi:10.1016/S0958-9465(02)00088-4.
- Liu, Rong, Linhua Jiang, Jinxia Xu, Chuansheng Xiong, and Zijian Song. 2014. "Influence of Carbonation on Chloride-Induced Reinforcement Corrosion in Simulated Concrete Pore Solutions." *Construction and Building Materials* 56. Elsevier Ltd: 16–20. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.01.030.
- Nikitasari, Arini, Moch Syaiful Anwar, Efendi Mabruri. 2014. "Evaluasi Inhibitor Sodium Nitrit di dalam Larutan Beton Sintetis" *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 16(1): 12–18.
- Ormellese, M., M. Berra, F. Bolzoni, and T. Pastore. 2006. "Corrosion Inhibitors for Chlorides Induced Corrosion in Reinforced Concrete Structures." *Cement and Concrete Research* 36(3): 536–47. doi:10.1016/j.cemconres.2005.11.007.
- Rakanta, E., Th Zafeiropoulou, and G. Batis. 2013. "Corrosion Protection of Steel with DMEA-Based Organic Inhibitor." *Construction*



and *Building Materials* 44. Elsevier Ltd: 507–13. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.03.030.

- Rina, Geni, and Sofia L Butarbutar. 2010. “Analisis Laju Korosi dengan Penambahan Inhibitor Korosi Pada Pipa Sekunder Reaktor Rsg-Gas,” no. November.
- Rose, A Leema. 2011. “Corrosion Behaviour of Mild Steel in Simulated Concrete Pore Solution” 52: 35–41.
- Söylev, T. A., and M. G. Richardson. 2008. “Corrosion Inhibitors for Steel in Concrete: State-of-the-Art Report.” *Construction and Building Materials* 22 (4): 609–22. doi:10.1016/j.conbuildmat.2006.10.013.
- Valcarce, M. B., C. López, and M. Vázquez. 2012. “The Role of Chloride, Nitrite and Carbonate Ions on Carbon Steel Passivity Studied in Simulating Concrete Pore Solutions.” *Journal of The Electrochemical Society* 159(5): C244. doi:10.1149/2.006206jes.

