

UJI EFEKTIVITAS NATRIUM FOSFAT SEBAGAI INHIBITOR PADA KOROSI BAJA TULANGAN BETON

Dewi Selvia Fardhyanti

Jurusan Kimia Fakultas MIPA
Universitas Negeri Semarang

ABSTRAK

Baja tulangan merupakan penguat struktur beton bertulang sehingga selimut beton dapat berfungsi sebagai pelindung baja terhadap serangan korosi oleh lingkungan penggunaan. Lingkungan beton yang alkalis ($pH=12-13$) akan memberikan proteksi korosi yang sangat baik terhadap baja tulangan dengan membentuk selaput pasif yang terdiri dari senyawa-senyawa besi-oksida ($Fe_3O_4/\gamma-Fe_2O_3$) atau hidroksida ($FeOOH$) di permukaan baja tulangan. Penetrasi gas CO_2 dan ion klorida dari lingkungan penggunaan dapat menurunkan pH beton dan melarutkan selaput pasif secara setempat sehingga baja akan terkorosi dan menggagalkan pasivasi Natrium fosfat yang dikenal sebagai inhibitor pasivator untuk baja, telah diuji efektivitas inhibisinya dalam larutan $Ca(OH)_2$ jenuh yang ditambah $NaCl$ dan $NaHCO_3$, mewakili lingkungan beton terkontaminasi, menggunakan metode EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy). Uji efektivitas inhibisi natrium fosfat menggunakan metode EIS dalam larutan pori beton artifisial terkontaminasi menunjukkan bahwa penambahan sebanyak 50 ppm mampu membentuk lapisan pelindung dengan efektivitas inhibisi mencapai 94,4%.

Kata Kunci: EIS, inhibisi, korosi, natrium fosfat, natrium polifosfat

EFFECTIVITY EVALUATION OF SODIUM PHOSPHATE AS AN CORROTION INHIBITOR OF STEELED CONCRETE

ABSTRAK

Steel strengthen concrete so that concrete shield it from corrotion attack in its environment concrete in an alkaline medium (pH Of 12-13) have concrete protecting effect on the steel by formation of passive layer constituted of ferrous oxides ($Fe_3O_4/ \gamma-Fe_2O_3$) or its hydroxide on its surface. Carbon dioxide ang chloride ion from environment penetrate and lower pH of the concrete so that dissolving passive layer locally and steel corrode sequentl. Sodium phosphate is an inhibition passivating agent that its effectiveness has been tested in saturated $Ca(OH)_2$ solution added by $NaCl$ and $NaHCO_3$ that simulated concrete's contaminated environment, by ELS methode (electrochemical impedance speet). ELS evaluation of the usage of sodium phosphate as an inhibitor in an artificial contaminated concrete show that the addition of 50 ppm sodium phosphate constructs shielding layer with inhibition effectivity of 94.4%

Key Word: EIS, inhibition, corrotion, sodium phosphate, sodium phosphate

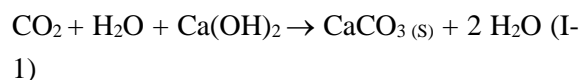
PENDAHULUHAN

Lingkungan beton yang alkalin ($pH=12-13$) akan memberikan proteksi korosi yang sangat baik terhadap baja tulangan (Bentur, *et.al.*, 1997). Ketahanan korosi baja dalam lingkungan beton ini disebabkan oleh proses pasivasi dengan terbentuknya selaput protektif dalam bentuk oksida ($Fe_3O_4/\gamma-Fe_2O_3$) atau hidroksida ($FeOOH$). Selaput ini akan menghalangi besi yang terdapat di bawahnya untuk teroksidasi lebih lanjut. Korosi baja tulangan beton merupakan faktor utama penyebab

berkurangnya umur layanan struktur beton bertulang. Kehadiran ion-ion agresif seperti klorida di dalam selimut beton dapat mengakibatkan korosi yang sangat berbahaya karena bentuk serangannya adalah korosi sumuran, yang diawali dengan pelarutan selaput pasif setempat. Diameter baja tulangan yang mengalami korosi sumuran akan mengecil sehingga kekuatan struktur baja tulangan akan berkurang.

Apabila beton berada dalam lingkungan yang mengandung CO_2 , penetrasi gas karbon dioksida

ke dalam beton akan merubah pH beton menjadi lebih kecil dari 8. Penurunan pH ini diakibatkan oleh reaksi gas CO₂ dengan ion Ca²⁺ membentuk CaCO₃ yang mengendap menurut reaksi berikut (Brian, *et.al.*, 1986):



Proses pembentukan CaCO₃ ini dikenal dengan proses karbonasi. Laju karbonasi bergantung pada konsentrasi gas CO₂ di atmosfer, permeabilitas, kelembaban relatif dan tingkat kerusakan beton. Pada pH < 8, korosi baja tulangan beton menghasilkan produk korosi yang volumenya dapat mencapai 2 hingga 10 kali volume baja sebelum terkorosi, mengakibatkan terbentuknya tegangan ekspansi setempat sehingga terjadi peretakan dan pengelupasan selimut beton serta penurunan kemampuan mekanik beton sebagai struktur.

Untuk memperpanjang umur layanan struktur beton, beberapa cara telah dilakukan untuk menanggulangi korosi baja tulangan yang meliputi perawatan atau pencegahan korosi dengan cara memberikan lapisan pelindung pada baja tulangan beton (galvanisasi), pelapisan baja tulangan dengan epoksi, proteksi katodik atau pemberian inhibitor korosi ke dalam beton.

Penggunaan inhibitor untuk menanggulangi korosi baja telah banyak disarankan akhir-akhir ini dan pengembangan penggunaan inhibitor korosi untuk struktur beton bertulang masih terus dilakukan. Beberapa peneliti telah menggunakan beberapa jenis inhibitor dan memberikan indikasi cukup efektif untuk menurunkan laju atau mencegah korosi baja tulangan beton. Inhibitor korosi secara umum akan membentuk lapisan tipis protektif yang mencegah terjadinya kontak antara larutan korosif dengan baja. Keunggulan dari penambahan inhibitor korosi ini adalah tidak membutuhkan biaya perawatan, dapat ditambahkan ke dalam lingkungan beton jika kemampuan untuk menginhibisi menurun dan

lebih murah. Di samping keunggulan yang dimilikinya, terdapat juga beberapa kelemahan, di antaranya adalah tidak dapat diganti jika ditemukan tidak bekerja secara efektif dan dapat merubah sifat-sifat fisik dan mekanik beton (Zulhan, 2000).

Jenis inhibitor yang dipilih dalam penelitian ini adalah natrium fosfat (Na₃PO₄). Adapun alasan dipilihnya inhibitor ini antara lain merupakan inhibitor anodik yang lebih efisien daripada inhibitor katodik. Inhibitor katodik ada kecenderungan tidak efisien walaupun tidak berbahaya pada logam, tapi jelas kurang memperbaiki ketahanan terhadap korosi. Di samping itu natrium fosfat relatif murah dan mudah didapat.

Sebelum penambahan inhibitor ke dalam lingkungan beton, efektivitas inhibitor dipelajari lebih dahulu dalam larutan pori beton artifisial. Teknik-teknik elektrokimia dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme proteksi atau untuk mengamati korosi baja tulangan di dalam beton, di antaranya melalui pengukuran potensial korosi dan pengukuran laju korosi dengan cara polarisasi. Pengukuran potensial korosi tidak memberikan informasi laju korosi, melainkan hanya memberikan gambaran apakah baja tulangan tersebut berada di daerah pasif, terkorosi sedikit ataupun berada di daerah aktif.

Pengukuran polarisasi katodik-anodik (potensiodinamik) merupakan metode yang umum digunakan untuk mempelajari mekanisme inhibisi inhibitor, akan tetapi pengujiannya bersifat merusak dan membutuhkan benda uji relatif banyak serta waktu yang cukup lama. *Electrochemical impedance spectroscopy (EIS)* telah digunakan untuk mempelajari mekanisme korosi baja dalam larutan pori beton artifisial sebagai fungsi waktu. Pengukuran dengan metoda *EIS* dapat menginterpretasikan terjadinya proses korosi elektrokimia baja dalam larutan pori beton artifisial sebagai rangkaian

listrik ekivalen terdiri dari R (tahanan), C (kapasitor) dan CPE (*Constant Phase Element*).

METODE PENELITIAN

1. Larutan Uji

Larutan uji yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

- Larutan pori beton artifisial berupa larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ jenuh.
- Lingkungan beton yang terkarbonasi dan terkontaminasi ion klorida dengan $\text{pH}=9$ diwakili
- oleh larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ jenuh yang ditambah 11,54 gram NaCl per liter larutan (Hansson, *et.al.*, 1999) dan 20 gram NaHCO_3 per liter larutan.
- Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ jenuh ditambah 11,54 gram NaCl per liter larutan (Hansson, *et.al.*, 1999) dan per liter larutan (Hansson, *et.al.*, 1999) dan 20 gram NaHCO_3 per liter larutan serta ditambah inhibitor Na_3PO_4 sebanyak 50 ppm

2. Rangkaian Alat

Spesimen uji dipasang sebagai elektroda kerj (*working electrode*) pada sel uji. Elektroda acuan (*reference electrode*) yang digunakan adalah kalomel *saturated calomel electrode* dan kawat platina digunakan sebagai elektroda bantu (*auxiliary electrode*).

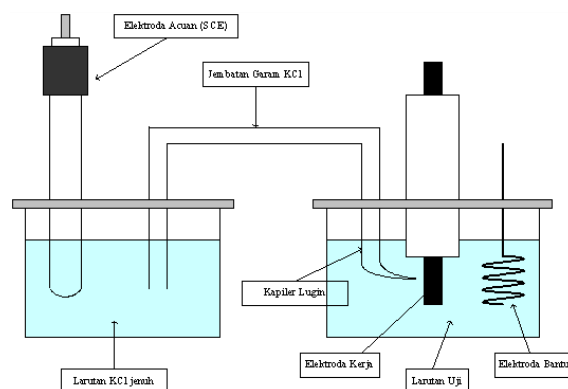
3. Percobaan

Percobaan dilakukan dalam dua tahap yaitu:

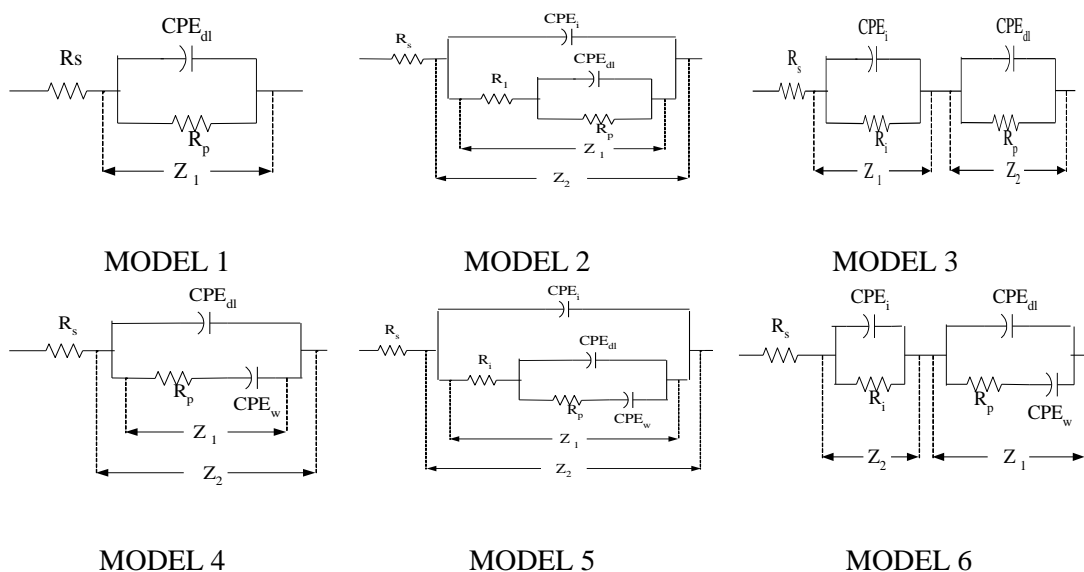
- Percobaan pendahuluan untuk menentukan konsentrasi optimum inhibitor yang mampu mempasifkan baja dalam larutan pori beton terkontaminasi, menggunakan metoda polarisasi potensiodinamik.
- Uji perendaman baja tulangan dalam berbagai larutan uji dengan waktu bervariasi 1, 5, 15 dan 30 hari.

Untuk mengetahui mekanisme korosi baja dalam larutan pori beton artifisial dengan dan tanpa kontaminasi, serta efektivitas inhibisi korosi oleh inhibitor, telah dilakukan pengukuran *EIS* terhadap sampel baja tulangan dalam setiap larutan uji pada perioda perendaman tertentu.

Pengukuran *EIS* dilakukan pada potensial korosi dengan amplitudo potensial bolak-balik 10 mV (*ASTM G106*) dari frekuensi 5000 Hz hingga 0,01 Hz dan 10 titik per dekade. Hasil pengukuran *EIS* digambarkan sebagai kurva hubungan antara impedansi riil (Z_{riil}) dan impedansi imajiner (Z_{imajiner}) atau kurva *Nyquist* serta kurva-kurva hubungan antara Z dan sudut fasa (ϕ) terhadap frekuensi (kurva-kurva *Bode*). Paket program *Fitting Zview* dari *Scribner Associates* digunakan untuk mencocokkan kurva Z hasil pengukuran dengan kurva Z hasil simulasi model rangkaian listrik ekivalen seperti pada gambar 2 (Alekseev, *et. al.*, 1993; Bard and Faulkner, 1980).



Gambar 1. Rangkaian Alat Percobaan



Gambar 2. Model-model rangkaian listrik ekivalen dengan kondisi antar muka logam-larutan

Keterangan gambar 2 adalah sebagai berikut:

- Model 1 : Korosi baja tulangan yang terkendali oleh laju reaksi perpindahan muatan. Kondisi ini sering ditemui pada saat awal baja tulangan dicelupkan ke dalam larutan, pada saat selaput pasif atau produk korosi lainnya belum terbentuk pada permukaan logam.
- Model 2 : Menggambarkan sistim korosi dengan selaput pasif yang terbentuk tidak sempurna dan masih dapat tembus oleh larutan.
- Model 3 : Menggambarkan sistim korosi dengan selaput pasif yang terbentuk merata pada permukaan baja.
- Model 4 : Menggambarkan baja terkorosi aktif dan terkendali oleh proses perpindahan massa.
- Model 5 : Menggambarkan selaput pasif yang terbentuk tidak merata pada seluruh permukaan dan menunjukkan adanya proses perpindahan massa.
- Model 6 : Menggambarkan selain selaput pasif yang terbentuk merata pada permukaan baja, akan tetapi selaput pasif yang terbentuk ini masih berpori (kurang rapat) sehingga terjadi difusi elektrolit hingga mencapai permukaan baja dan laju korosi menjadi terkendali oleh perpindahan massa.

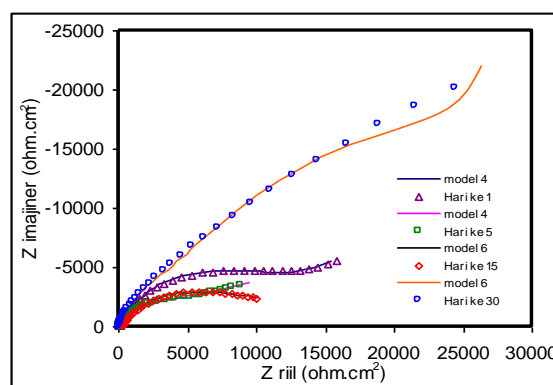
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Baja Tulangan dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ jenuh (larutan pori beton artifisial).

Hasil pencocokan kurva *Nyquist* (Gambar 3) menunjukkan bahwa korosi baja dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ jenuh pada awalnya dapat diinterpretasikan dengan rangkaian listrik model 4, kemudian berubah menjadi model 6 sejak 15 hari perendaman.

Perubahan model ini menggambarkan bahwa baja tulangan dalam larutan pori beton artifisial mula-mula terkorosi aktif dengan laju terkendali oleh perpindahan massa kemudian menjadi

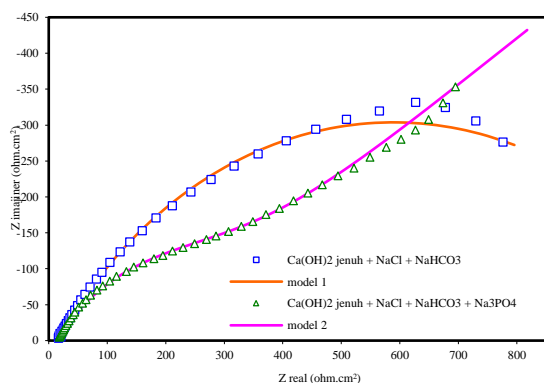
pasif. Laju korosi baja dalam keadaan pasif tetap terkendali oleh perpindahan massa.



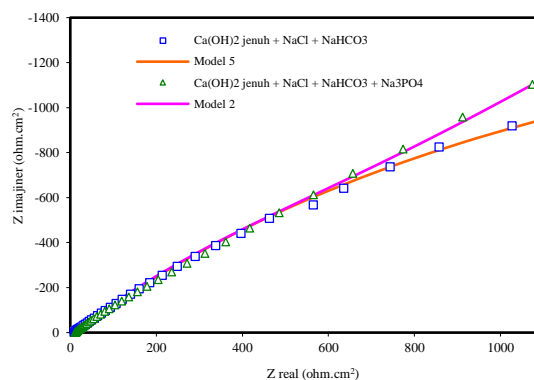
Gambar 3. Perubahan bentuk kurva *Nyquist* impedansi baja dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ jenuh dengan waktu perendaman

2. Pengaruh Penambahan Inhibitor Terhadap Karakteristik Korosi Baja Tulangan Pada Setiap Waktu Perendaman

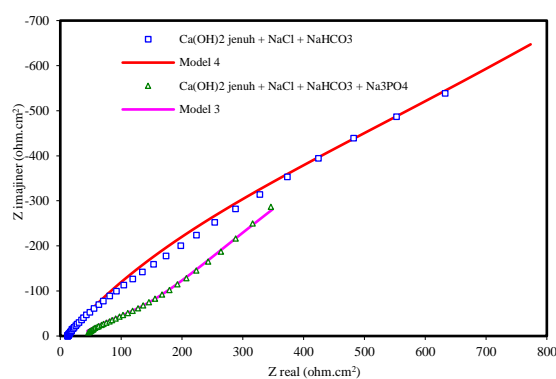
Pada hari pertama perendaman (gambar 4), korosi baja tulangan dalam larutan pori beton artifisial terkontaminasi diinterpretasikan oleh model 1 yang menggambarkan bahwa baja terkorosi aktif dengan laju terkendali oleh perpindahan muatan karena lapisan pelindung belum terbentuk pada permukaan baja. Setelah penambahan inhibitor natrium fosfat terjadi perubahan model menjadi model 2 di mana lapisan pelindung telah terbentuk meskipun tidak merata pada seluruh permukaan baja tulangan sehingga pada bagian tertentu larutan uji dapat mencapai permukaan baja tulangan, mengakibatkan baja terkorosi aktif. Berdasarkan hasil pengukuran tahanan polarisasi (R_p) sistem dengan inhibitor natrium fosfat sebesar $5.000 \Omega \cdot \text{cm}^2$, efektivitas inhibisi natrium fosfat pada hari pertama perendaman mencapai 89,80%.



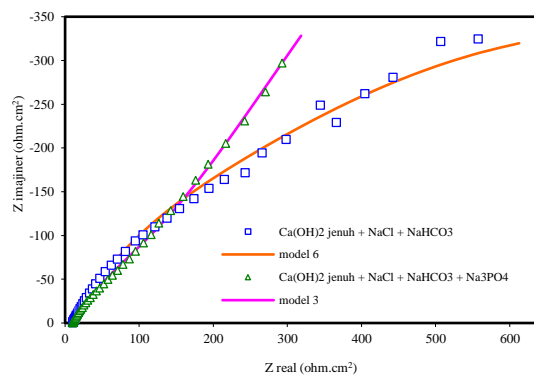
Gambar 4. Perubahan bentuk kurva Nyquist impedansi baja dalam larutan Ca(OH)_2 jenuh + NaCl + NaHCO₃ + Na₃PO₄ pada hari pertama perendaman



Gambar 5. Perubahan bentuk kurva Nyquist impedansi baja dalam larutan Ca(OH)_2 jenuh + NaCl + NaHCO₃ + Na₃PO₄ pada hari ke-5 perendaman



Gambar 6. Perubahan bentuk kurva Nyquist impedansi baja dalam larutan Ca(OH)_2 jenuh + NaCl + NaHCO₃ + Na₃PO₄ pada hari ke-15 perendaman



Gambar 7. Perubahan bentuk kurva Nyquist impedansi baja dalam larutan Ca(OH)_2 jenuh + NaCl + NaHCO₃ + Na₃PO₄ pada hari ke-30 perendaman

Tabel 1. Harga komponen rangkaian listrik ekivalen hasil pencocokan model

Larutan	Hari	Model	R_s	R_p	R_i	CPE_i	α_i	CPE_{dl}	α_{dl}	CPE_w	α_w	efisiensi
A	1	4	29,5	5.500	-	-	-	0,00011	0,78	0,001011	0,4443	-
	5	4	25,99	6.300	-	-	-	0,0000903	0,91	0,00049	0,258	-
	15	6	110,6	4.100	2.800	0,0002642	0,74	0,00111	0,53	0,0012	0,1	-
	30	6	21,5	17.000	2.600	0,000162	0,82	0,0002909	0,9	0,0015	0,99	-
B	1	1	6,795	510	-	-	-	0,0058	0,658	-	-	-
	5	5	4,995	300	2.100	0,006276	0,62	0,08	0,639	0,006	0,5	-
	15	4	5,864	520	-	-	-	0,006689	0,62	0,008354	0,49956	-
	30	6	5,149	545	58,6	0,0150928	0,134	0,011957	0,589	0,299	0,5	-
C	1	2	8,395	5.000	175	0,000996	0,63404450	0,0070999	0,6399	-	-	89,80%
	5	2	5,5	4.000	1.500	0,0055	0,64	0,01	0,89	-	-	92,50%
	15	3	15	5.500	2.000	0,03131	0,72	0,01	0,9	-	-	90,55%
	30	3	4,994	9.800	2.185	0,03431	0,889	0,018072	0,9672	-	-	94,44%

Keterangan:

A: Larutan $Ca(OH)_2$ jenuh

B: Larutan $Ca(OH)_2$ jenuh + NaCl

C: Larutan $Ca(OH)_2$ jenuh + NaCl+ $NaHCO_3$ + 50 ppm Na_3PO_4

Pada hari ke-5 perendaman (gambar 5), korosi baja tulangan dalam larutan pori beton artifisial terkontaminasi diinterpretasikan oleh rangkaian listrik model 5 yang menggambarkan bahwa lapisan pelindung yang terbentuk tidak merata pada seluruh permukaan baja tulangan sehingga larutan uji dapat mencapai permukaan baja tulangan dan mengakibatkan baja terkorosi aktif dengan laju terkendali oleh difusi. Setelah penambahan inhibitor natrium fosfat terjadi perubahan model menjadi model 2 di mana lapisan pelindung yang terbentuk tidak merata sehingga pada bagian tertentu larutan uji dapat mencapai permukaan baja tulangan dan mengakibatkan baja terkorosi aktif. Harga tahanan polarisasi (R_p) baja tulangan dalam larutan pori beton artifisial terkontaminasi adalah $300 \Omega.cm^2$, setelah penambahan inhibitor natrium fosfat meningkatkan harga tahanan polarisasi (R_p) menjadi $4.000 \Omega.cm^2$ sehingga

efektivitas inhibisi natrium fosfat pada hari ke 5 perendaman mencapai 92,50%.

Setelah perendaman selama 15 hari (gambar 6), korosi baja tulangan dalam larutan pori beton artifisial terkontaminasi dapat diinterpretasikan oleh model 4 yang menggambarkan kerusakan lapisan pelindung dan perubahan kondisi larutan uji sehingga baja terkorosi aktif dengan laju terkendali oleh perpindahan massa. Penambahan inhibitor natrium fosfat menyebabkan model berubah menjadi model 3 di mana lapisan pelindung telah terbentuk secara sempurna dan merata sehingga baja tulangan akan terlindung dari korosi. Harga tahanan polarisasi (R_p) baja tulangan dalam larutan pori beton artifisial terkontaminasi adalah $520 \Omega.cm^2$. Penambahan natrium fosfat meningkatkan tahanan polarisasi (R_p) menjadi $5.500 \Omega.cm^2$. Dengan demikian efektivitas inhibisi natrium fosfat pada hari ke 15 perendaman mencapai 90,55%.

Setelah perendaman selama 30 hari (gambar 7), korosi baja tulangan dalam larutan pori beton artifisial terkontaminasi dapat diinterpretasikan oleh model 6 yang menggambarkan bahwa lapisan pelindung yang terbentuk merata pada permukaan baja tulangan, akan tetapi lapisan pelindung yang terbentuk ini masih berpori (kurang rapat) sehingga terjadi difusi elektrolit hingga mencapai permukaan baja tulangan dan laju korosi terkendali oleh perpindahan massa. Penambahan inhibitor natrium fosfat menyebabkan model berubah menjadi model 3 di mana lapisan pelindung yang protektif telah terbentuk secara sempurna dan merata sehingga baja tulangan akan terlindung dari korosi. Harga tahanan polarisasi (R_p) baja tulangan dalam larutan pori beton artifisial terkontaminasi adalah $545 \Omega \cdot \text{cm}^2$. Penambahan inhibitor natrium fosfat meningkatkan harga tahanan polarisasi (R_p) menjadi $9.800 \Omega \cdot \text{cm}^2$ sehingga efektivitas inhibisi natrium fosfat pada hari ke 30 perendaman mencapai 94,44.

KESIMPULAN

Dari pengamatan hasil serangkaian percobaan pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pasivasi baja tulangan dalam larutan pori beton yang berlangsung lambat, akan gagal bila larutan pori beton terkontaminasi garam-garam klorida dan bikarbonat.
2. Inhibitor anodik natrium fosfat mampu membentuk lapisan pelindung yang rapat dan merata di permukaan baja tetapi dengan konsentrasi 50 ppm belum berhasil menetralkan pengaruh negatif kontaminan terhadap pasivasi baja tulangan.
3. Efisiensi inhibisi inhibitor natrium fosfat dapat mencapai 94,44%.

DAFTAR PUSTAKA

- Alekseev S.N., et. Al., (1993), “*Durability of Reinforced Concrete in Aggressive Media*”, Balkema Publishers.
- Bard A.J., Faulkner L.R., (1980), “*Electrochemical Methods Fundamentals and Application*”, John Willey & Sons.
- Bentur A., Diamond S., and Berke N.S., (1997), “*Steel Corrosion in Concrete*”, E & FN Spon.
- Brian B. Hope, John A. Page, Alan K.C.Ip., (1986), “Corrosion Rates of Steel in Concrete”, *Cement and Concrete Research*, vol. 16, No. 5.
- Buffenbarger K. Julie, (July 1998), “*Durability of Concrete Structure*”, Concrete Technology Update.
- David A., Schnarch, (1999), “Investigation of Steel Reinforcement Corrosion Protection by Chemical Admixture in Repaired Structural Concrete”, *Steel Reinforcement Corrosion Protection*, April 20.
- Evans U.R., (1948), “*Metallic Corrosion, Passivity and Protection*”, Edward Arnold, hal.593.
- Fliss J., et. Al., (1998), “Interpretation of Impedance Data for Reinforcing Steel in Alkaline Solution Containing Chlorides and Acetates”, *Electrochemical Acta*, vol. 43, No. 2.
- Goni S., Andrade C., (1990), “Synthetic Concrete Pore Solution Chemistry and Rebar Rate in the Presence of Chloride”, *Cement and Concrete Research*, vol. 20, hal. 525-539.
- Hansson C.M., et. al., (1999), “Corrosion Inhibitors in Concrete-Part 1: the Principles”, *Cement and Concrete Research*, vol. 28, No. 12.
- Rozenfeld I.L., (1981), “*Corrosion Inhibitor*”, Mc Graw-Hill.
- Zulfiadi Zulhan, (2000), “Studi Mekanisme Inhibisi Inhibitor Kalsium Nitrit dan Silika Ferrogard-901 dalam Larutan Pori Beton Artifisial yang Mengandung Ion Klorida dengan Electrochemical Impedance Spectroscopy”, *Tesis Magister*, Teknik Pertambangan, ITB, Bandung, Indonesia.