

STUDI UPAYA PENINGKATAN UMUR PAKAI KONSTRUKSI BANGUNAN MELALUI PENGHAMBATAN KOROSI BAJA TULANGAN BETON DENGAN MENGGUNAKAN INHIBITOR KOROSI

Elfida Moralista^Δ, Zaenal^Δ, dan Chusharini Chamid^Δ

Dosen Tetap Fakultas Teknik Unisba Program Studi Teknik Pertambangan

Abstract

The rebar in concrete discovered by corrosion, specially at concrete structures which is exposed in damage environment. One of the effort to overcome corrosion of rebar in concrete is added corrosion inhibitor into concrete pore solution. The corrosion inhibitor will boost up potential of rebar into passive area of steel so that will be form passive layer which was protective at the surface of and can degrade to corrosion rate of rebar.

Pursuant to data result of rebar corrosion potential measurement in so many artificial concrete pore solution during 11 week of immersion, $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ inhibitor can boost up potential of rebar by till 96 mV. While scanty $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ inhibitor boost up potential of rebar till - 349 mV.

Pursuant to data result of rebar corrosion rate measurement in so many artificial concrete pore solution during 11 week of immersion, $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ inhibitor can degrade to corrosion rate of rebar is equal to 0,0523 mm / year. While $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ inhibitor only degrading to corrosion rate of rebar till 0,0831 mm / year.

Pursuant to corrosion potential and corrosion rate data, the research comes into a conclusion that $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ inhibitor is more effective from $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ in inhibiting the rebar in the test solutions at least up to 11 week of immersion. $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ inhibitor 60 gpl is better compared to 30 gpl in inhibiting the rebar in artificial concrete pore solution during 11 week of immersion.

Keywords : Rebar, corrosion, inhibitor.

1. PENDAHULUAN

1.1' Latar Belakang Masalah

Beton dan mortar semen memberikan proteksi korosi yang sangat baik terhadap baja tulangan beton. Lingkungan dengan alkalinitas yang tinggi (pH = 13 – 13,5) di dalam beton dapat mempasivasi baja tulangan dengan membentuk selaput oksida ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dan $\gamma\text{-Fe}_3\text{O}_4$) atau hidroksida ($\gamma\text{-FeOOH}$) yang protektif di permukaan baja tulangan beton. Walaupun demikian, baja-baja tulangan yang dipasang di dalam beton didapati terkorosi, khususnya pada struktur-struktur beton yang terpapar dalam lingkungan yang merusak.

Kenyataan ini didapati akibat turunnya kemampuan beton memproteksi baja tulangan yang dipicu oleh penetrasi gas-gas dari atmosfer yang bersifat asam seperti gas karbondioksida dan/atau terpenetrasinya ion-ion agresif seperti ion klorida ke dalam beton. Gas CO_2 yang larut dalam larutan pori beton akan bereaksi dengan ion kalsium membentuk endapan CaCO_3 dan menurunkan pH larutan pori beton (proses karbonasi)

sedemikian sehingga baja-baja tulangan akan terkorosi secara aktif. Selain gas CO_2 , kehadiran ion-ion agresif, seperti ion klorida, juga dapat merusak selaput pasif yang terbentuk pada permukaan baja tulangan beton.

Usaha-usaha telah dilakukan untuk menanggulangi korosi yang terjadi pada baja tulangan beton. Beberapa diantaranya adalah dengan menggunakan inhibitor korosi, pelapisan epoksi pada permukaan baja, penggunaan membran yang tidak tembus air, atau penggunaan baja tulangan galvanis. Penambahan inhibitor korosi ke dalam larutan pori beton akan menaikkan potensial baja tulangan ke dalam daerah pasif baja sehingga akan terbentuk selaput pasif yang protektif pada permukaannya. Inhibitor korosi adalah suatu zat kimia yang dapat menurunkan laju korosi suatu logam.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi di lapangan, maka masalah teknis yang sering dijumpai adalah berkurangnya umur pakai suatu konstruksi bangunan

akibat terkorosinya baja tulangan beton bangunan tersebut. Baja tulangan beton akan semakin cepat terkorosi bila terpapar pada lingkungan yang korosif. Salah satu alternatif untuk memproteksi baja tulangan beton adalah dengan menambahkan inhibitor korosi pada saat pengecoran beton, sehingga baja tulangan tersebut tidak terkorosi karena dapat membentuk selaput pasif protektif pada permukaannya (Gambar 2.1).

Pada penelitian ini, inhibitor korosi akan ditambahkan ke dalam larutan pori beton artifisial (*simulated pore solutions*/SPS) dengan variabel pH dan adanya ion agresif seperti ion klorida. Untuk penelitian tahap selanjutnya, mungkin dapat dilakukan penambahan inhibitor korosi langsung pada saat pengecoran beton. Oleh karena itu, studi untuk mengetahui jenis inhibitor dan konsentrasi inhibitor yang efektif dalam mencegah korosi atau menurunkan laju korosi pada baja tulangan beton perlu untuk dilakukan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah melakukan studi pendahuluan di laboratorium untuk mendapatkan jenis inhibitor korosi dan konsentrasi inhibitor korosi yang efektif dalam mencegah korosi atau menurunkan laju korosi baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial (*simulated pore solutions*/SPS). Diharapkan hasil dari studi di laboratorium ini dapat diaplikasikan di lapangan, dengan cara menambahkan inhibitor korosi pada saat dilakukan pengecoran beton, dalam upaya meningkatkan umur pakai suatu konstruksi bangunan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat hasil penelitian ini adalah akan diperoleh data dan informasi mengenai jenis inhibitor korosi dan konsentrasi inhibitor korosi yang efektif untuk mengendalikan korosi baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial (*simulated pore solutions*/SPS). Diharapkan informasi yang diperoleh dapat diterapkan di lapangan sehingga dapat meningkatkan umur pakai suatu konstruksi bangunan.

1.5 Metoda Penelitian

1. Studi literatur tentang metoda pengendalian korosi baja tulangan beton.
2. Pembuatan spesimen baja tulangan beton dan larutan pori beton artifisial.

3. Pembuatan larutan inhibitor korosi dengan konsentrasi bervariasi.
4. Pemaparan spesimen baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial tanpa dan dengan penambahan inhibitor korosi.
5. Pengukuran pH larutan uji dan potensial baja tulangan beton selama waktu pemaparan.
6. Pengukuran laju korosi spesimen baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial tanpa dan dengan penambahan *inhibitor* korosi.
7. Analisis laju korosi spesimen baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial tanpa dan dengan penambahan *inhibitor* korosi.
8. Pelaporan dan presentasi laporan akhir.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi Baja Tulangan Dalam Beton

Korosi adalah degradasi logam akibat berinteraksi dengan lingkungan. Akibat berinteraksi dengan lingkungannya :

- logam menipis, berlubang, terjadi peretakan
- sifat mekanik berubah, kegagalan tiba-tiba struktur
- sifat fisik berubah
- penampilan menjadi lebih buruk.

Beberapa cara untuk mengendalikan korosi baja (Fe) adalah dengan :

- menaikkan pH lingkungan
- penambahan inhibitor (pasivator)
- penghilangan oksigen terlarut dalam lingkungan
- proteksi katodik
- proteksi anodik
- pembentukan paduan logam.

Terdapat beberapa teknik pengukuran yang digunakan untuk memonitor korosi baja tulangan di dalam lingkungan beton, diantaranya adalah pengukuran potensial korosi, pengukuran tahanan jenis (*resistivity*) beton dan pengukuran laju korosi dengan tahanan polarisasi. Pengukuran potensial korosi hanya memberikan gambaran apakah baja tulangan berada di daerah pasif, terkorosi sedikit atau aktif terkorosi (bersifat kualitatif), tidak memberikan informasi mengenai laju korosi sebenarnya. ASTM C867 pada Tabel II-1 memberikan interpretasi mengenai kondisi korosi baja tulangan pada pengukuran potensial korosi baja di dalam beton.

Tabel II-1 Kriteria ASTM untuk kondisi korosi baja tulangan dalam beton.

Potensial baja tulangan Vs			Resiko Korosi
Cu/CuSO ₄ (mV)	SHE (mV)	Kalomel (mV)	
E > -200	> +116	> -126	Rendah (resiko korosi 10%)
-200 < E < -350	+116 < E < -34	-126 < E < -276	Resiko korosi sedang
E < -350	E < -34	E < -276	Tinggi (resiko korosi <100%)
E < -500	E < -184	E < -426	Sangat Tinggi

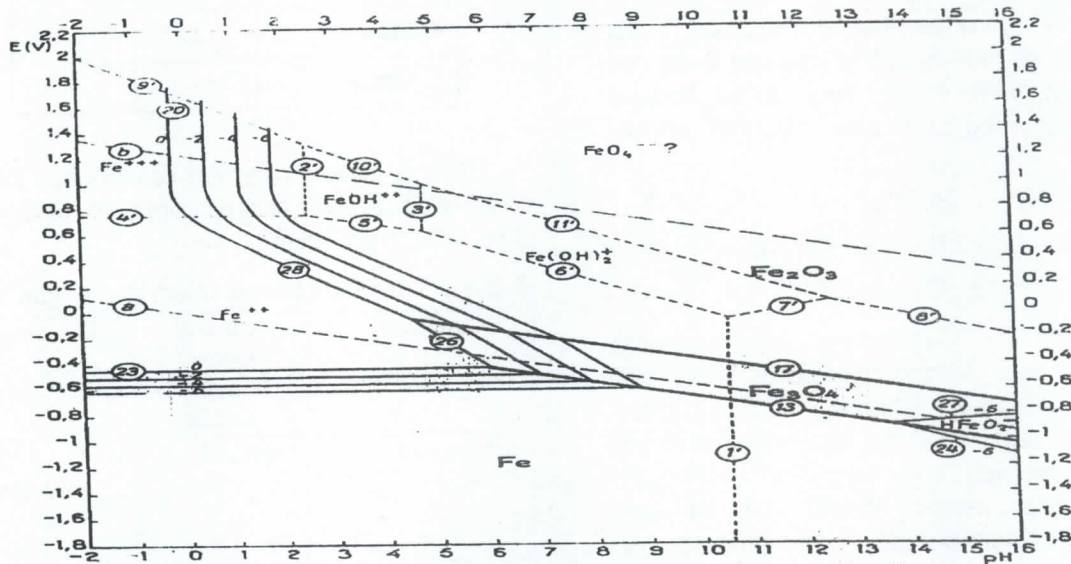
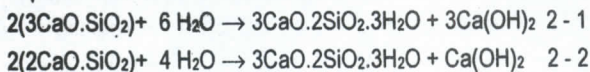


FIG. 4 Potential-pH equilibrium diagram for the system iron-water, at 25°C (considering as solid substances only Fe, Fe₂O₃ and Fe₃O₄).

Gambar 2.1 Diagram Potensial – pH Sistem Fe – H₂O

Pada saat semen *Portland* mengalami hidrasi, senyawa-senyawa kalsium silikat bereaksi dengan air menghasilkan produk kalsium hidroksida [Ca(OH)₂] dan 3CaO.2SiO₂.3H₂O menurut reaksi berikut :



Setelah beberapa hari mengalami hidrasi, larutan pori beton mengandung ion hidroksida dengan konsentrasi yang relatif tinggi yang berkesetimbangan dengan Ca(OH)₂. Konsentrasi ion OH⁻ dapat mencapai 0,5 hingga 1 M. Selain itu terdapat juga ion-ion alkali yang berasal dari semen *Portland* yang mengandung K₂O dan Na₂O sekitar 0,1% sehingga harga pH larutan pori beton pada kondisi ini berkisar antara 13 hingga 13,5. Apabila baja tulangan kontak dengan larutan pori beton yang mempunyai alkalinitas tinggi ini, maka selaput pasif yang stabil akan terbentuk pada permukaan baja tulangan karena potensial korosinya berada di daerah pasif (Gambar 2.1). Potensial korosi pada kondisi ini berkisar antara -200 hingga 200 mV vs SCE (*saturated calomel electrode*).

Dua senyawa oksida yang terbentuk pada permukaan baja tulangan dalam larutan pori ini adalah Fe(OH)₂ dan γ-FeOOH. Kedua oksida ini stabil di dalam lingkungan beton asalkan di dalam lingkungan tersebut tidak terdapat ion klorida. Pembentukan selaput pasif ini berlangsung melalui persamaan reaksi berikut:



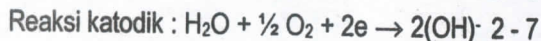
Selaput pasif Fe(OH)₂ dan γ-FeOOH yang terbentuk akan menghalangi atom-atom Fe yang terdapat dibawahnya untuk teroksidasi lebih lanjut.

Kestabilan selaput pasif tersebut akan terganggu jika ion klorida terpenetrasi melalui selimut beton dan mencapai permukaan baja tulangan. Dalam larutan pori yang mengandung ion klorida, selaput pasif γ-FeOOH lebih stabil dari Fe(OH)₂ sehingga ion klorida akan menyerang tempat-tempat dimana selaput Fe(OH)₂ belum teroksidasi menjadi γ-FeOOH. Potensial korosi rata-rata yang terukur pada kondisi ini berkisar antara -500 mV hingga -200 mV vs SCE. Reaksi ion klorida

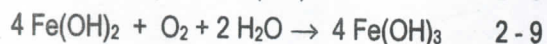
dengan $\text{Fe}(\text{OH})_2$ membentuk senyawa kompleks yang larut diberikan berikut ini:



Sebagai akibatnya, baja yang semula terdapat di bawah selaput pasif $\text{Fe}(\text{OH})_2$ akan terpapar ke dalam larutan pori dan terkorosi menurut persamaan berikut:



Jika ion Fe^{2+} yang terbentuk larut ke dalam larutan pori beton, maka retakan dan terlepasnya beton dari baja tulangan tidak terjadi. Akan tetapi terdapat beberapa tahap yang harus dilalui oleh Fe^{2+} sebagai berikut:



Ferri oksida (Fe_2O_3) mempunyai volume dua kali volume baja, jika terhidrasi membentuk $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ maka akan mengembang dan menjadi porous, akibatnya volume produk korosi bertambah dua hingga sepuluh kali volume baja yang dikonsumsi pada antarmuka baja dengan beton. Hal ini akan menghasilkan peretakan beton dan lepasnya baja tulangan.

Pengaruh ion-ion klorida dalam merusak selaput pasif pada permukaan baja tulangan dalam larutan pori merupakan dua proses yang saling berkompetisi yaitu proses stabilisasi dan perbaikan selaput pasif oleh ion OH^- dan proses perusakan selaput pasif oleh ion Cl^- . Jika proses stabilisasi dan perbaikan selaput pasif lebih dominan, maka korosi tidak akan terjadi, dan sebaliknya, jika proses perusakan selaput pasif lebih dominan maka korosi akan terjadi.

2.2 Inhibitor Korosi di Dalam Beton

Meskipun inhibitor korosi telah berhasil digunakan untuk mengatasi korosi yang terjadi pada pipa-pipa minyak dan gas, tangki, reaktor, dan lain-lain, penggunaannya di dalam lingkungan beton masih terbatas dan baru dipelajari secara mendalam pada akhir-akhir ini. Inhibitor korosi yang ideal untuk keperluan struktur beton bertulang didefinisikan sebagai suatu senyawa kimia yang jika ditambahkan dalam jumlah yang kecil ke dalam campuran beton dapat mencegah korosi pada tulangan dan tidak mempunyai efek-efek yang merugikan terhadap sifat tekan beton, kekuatan lekatan baja tulangan, waktu curing dan pencampuran.

Secara umum inhibitor dapat dibedakan menjadi inhibitor anodik, inhibitor katodik, dan inhibitor campuran. Pengaruh inhibitor terhadap potensial korosi dan rapat arus korosi dapat dilihat pada (Tabel II-2).

Tabel II-2 Pengaruh inhibitor korosi terhadap potensial (E_{kor}) dan rapat arus korosi (i_{kor})

Tipe Inhibitor	E_{kor}	i_{kor}
Anodik	↑	↓
Katodik	↓	↓
Campuran	-	↓

Resume tentang pengaruh penambahan inhibitor korosi ke dalam beton hasil penelitian beberapa peneliti dapat dilihat pada Tabel II-3.

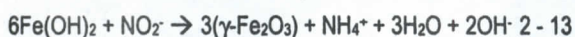
Tabel II-3 Inhibitor korosi dalam lingkungan beton

Inhibitor	Ketahanan korosi terhadap klorida	Keterangan
Natrium nitrit (NaNO_2)	Lebih baik	<ul style="list-style-type: none"> Mengurangi kekuatan tekan Tidak mahal
Natrium benzoat	Tidak berubah	Mengurangi kekuatan tekan
Kalium kromat	Tidak berubah	Mengurangi kekuatan tekan
Stannous Klorida	Hasil-hasil penelitian masih bertentangan	<ul style="list-style-type: none"> Kelarutan tidak memadai Meningkatkan kekuatan tekan Mahal
Stannous Tin (SnII)	Lebih baik	-
Asam karboksilat	Lebih baik	Mempengaruhi waktu curing
$\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$	Lebih baik	-
Inhibitor korosi organik (campuran amino dan ester)	Lebih baik	Mengurangi kekuatan tekan <10%
Disodium β -glycerophosphate	Lebih baik	-
Kalsium Nitrit ($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$)	Lebih baik	<ul style="list-style-type: none"> Meningkatkan kuat tekan Dapat bertindak sebagai aselerator meningkatkan shrnkage

Dari tabel tersebut terlihat bahwa inhibitor kalsium nitrit merupakan inhibitor yang layak digunakan pada saat ini untuk mengatasi korosi yang terjadi pada baja tulangan di dalam lingkungan beton. Perkiraan penggunaan inhibitor nitrit untuk jangka waktu 50 - 100 tahun juga telah dipelajari oleh Berke dan Hicks dari hasil prediksi selama 6 – 8 tahun penelitian. Akan tetapi perkiraan penggunaan inhibitor untuk jangka waktu ini harus ditinjau ulang karena ion nitrit akan keluar dari beton (*leaching*) seiring dengan bertambahnya waktu. Collins juga menemukan bahwa inhibitor kalsium nitrit merupakan inhibitor yang paling efektif digunakan pada perlakuan kimia (*chemical treatment*) beton yang terkontaminasi klorida.

2.2.1 Kalsium Nitrit

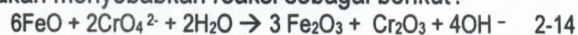
Kalsium nitrit $[Ca(NO_2)_2]$ merupakan inhibitor inorganik dan cara kerjanya dalam menghambat korosi termasuk ke dalam inhibitor anodik. Penambahan inhibitor kalsium nitrit ke dalam lingkungan beton akan menggantikan fungsi oksigen pada persamaan reaksi (2-4) untuk membentuk $\gamma-Fe_2O_3$ yang stabil melalui reaksi berikut :



Selaput pasif $\gamma-Fe_2O_3$ yang terbentuk hanya beberapa nanometer tebalnya, sehingga jumlah inhibitor yang terpakai sangat kecil dan memungkinkan pemakaian inhibitor untuk jangka waktu yang lama. Hal ini diperkuat oleh El-Jazairi yang mendapatkan bahwa inhibitor nitrit masih terdapat dalam konsentrasi yang tinggi setelah 8 tahun pemakaian.

2.2.2 Natrium Dikromat

Natrium dikromat merupakan inhibitor inorganik dan cara kerjanya dalam menghambat korosi juga termasuk ke dalam inhibitor anodik (pasivator). Penambahan inhibitor natrium dikromat ke dalam lingkungan beton yang menggunakan baja tulangan akan menyebabkan reaksi sebagai berikut :



Pasivasi dengan kromat dapat mencegah reaksi antara baja tulangan beton dengan kalsium hidroksida dalam beton dan karena potensial korosinya meningkat, evolusi gas hidrogen dapat dihindari.

2.3 Pengukuran Laju Korosi

Pengukuran laju korosi dapat dilakukan dengan dua metoda :

- Metoda fisika (metoda kehilangan berat dan metoda probe tahanan listrik)
- Metoda elektrokimia (polarisasi Tafel dan tahanan polarisasi).

Tujuan dilakukannya pengukuran laju korosi adalah :

- untuk mengevaluasi ketahanan suatu material dalam lingkungan tertentu
- untuk memilih material yang sesuai untuk pemakaian dalam suatu lingkungan tertentu
- untuk menentukan umur pakai suatu peralatan atau struktur
- untuk mempelajari pengaruh kondisi lingkungan terhadap perilaku korosi suatu material (misal pH, temperatur, penambahan inhibitor, dll).

Pada penelitian ini pengukuran laju korosi dilakukan dengan metoda kehilangan berat. Metoda ini dapat dilakukan di laboratorium maupun di lapangan. Tahap-tahap pengukuran laju korosi dengan metoda kehilangan berat adalah sebagai berikut :

1. Persiapan spesimen :

- Spesimen dibuat dalam bentuk "kupon"
- Diabrasi hingga 1200 grit
- Dicuci dengan air, dikeringkan, dan diukur luas permukaannya
- Ditimbang dengan ketelitian hingga 0,1 mg.
- Dibilas dengan alkohol dan langsung dipaparkan dalam lingkungan yang diuji coba (larutan pori beton artifisial).

2. Pemaparan spesimen :

- Spesimen dipaparkan pada lingkungan uji coba (larutan pori beton artifisial) selama waktu tertentu
- Setelah dipaparkan selama waktu tertentu, spesimen diangkat
- Permukaan spesimen diamati apakah korosinya merata atau setempat
- Produk korosinya dibersihkan (mekanik dan kimia/pickling)
- Spesimen ditimbang

3. Perhitungan laju korosi :

$$\text{Laju korosi (mm/tahun)} = \underline{87,6 W}$$

D A T

Keterangan : W = kehilangan berat (mg)

- D = densitas material (gr/cm³)
 A = luas permukaan kupon yang terpapar (cm²)
 T = lamanya pemaparan (jam)

4. Analisis laju korosi sebelum dan setelah ditambahkan inhibitor dalam beberapa larutan pori beton artifisial (*simulated pore solutions*).

3. PROSEDUR DAN HASIL PENELITIAN

3.1 Persiapan Spesimen Uji

Spesimen baja tulangan beton dengan diameter $\pm 0,6$ cm dan panjang $\pm 1,2$ cm diabrasi hingga 1200 grit, diukur luas permukaannya, kemudian dicuci menggunakan *ultrasonic cleaner* selama ± 1 menit, dibilas dengan aquades, lalu dikeringkan.

3.2 Pembuatan Larutan Uji (Larutan Pori Beton Artifisial)

Larutan jenuh Ca(OH)₂ dipersiapkan dengan menambahkan Ca(OH)₂ p.a. yang diproduksi oleh Merck dalam bentuk bubuk secara berlebihan (hingga jenuh) ke dalam gelas kimia plastik yang berisi aquades yang diaduk. Larutan yang jenuh Ca(OH)₂ disaring dengan menggunakan kertas saring. Larutan hasil saringan dimasukkan sebanyak 900 mL ke dalam sel uji. Untuk meyakinkan bahwa Ca(OH)₂ tetap jenuh, ke dalam larutan tersebut ditambahkan 2 gram bubuk Ca(OH)₂. Dengan cara yang sama dipersiapkan larutan Ca(OH)₂ jenuh yang ditambahkan inhibitor kalsium nitrit dan inhibitor natrium dikromat.

3.3 Pengujian

Perendaman spesimen uji dilakukan selama 11 minggu dalam larutan-larutan uji yang diperlihatkan pada Tabel III-1. Pengukuran potensial korosi dilakukan dengan menggunakan sel uji. Kawat baja dan kalomel (*saturated calomel electrode*) digunakan sebagai elektroda bantu (*auxiliary electrode*) dan elektroda acuan (*reference electrode*). Untuk mengurangi gangguan-gangguan medan listrik lingkungan yang dapat mempengaruhi pengujian maka pengukuran dilakukan dalam sangkar Faraday (*Faraday cage*). Pengukuran dilakukan pada temperatur kamar dan sel uji terbuka ke atmosfer laboratorium dengan menggunakan PC-3 card dari Gamry Instrument yang dijalankan dengan menggunakan paket program CMS100 (program utama) dan DC105 (program untuk pengukuran korosi dengan arus searah).

3.4 Potensial Korosi

Potensial korosi baja tulangan beton dalam larutan uji pH 13 berkisar antara -184 mV hingga 149 mV vs SCE dan lebih tinggi dibandingkan dengan potensial korosi baja tulangan beton dalam larutan uji lainnya (Tabel III-2). Penambahan inhibitor Ca(NO₂)₂ 30 gpl dan 60 gpl ke dalam larutan uji menaikkan potensial korosi baja tulangan dari -546 mV hingga -238 mV vs SCE menjadi -322 mV hingga 96 mV vs SCE. Dari kenaikan potensial korosi ini maka inhibitor Ca(NO₂)₂ termasuk dalam inhibitor anodik (Tabel II-4). Berbeda dengan inhibitor Ca(NO₂)₂, penambahan inhibitor Na₂Cr₂O₇ hanya sedikit menaikkan potensial korosi baja tulangan beton. Kenaikan potensial korosi yang terukur berkisar antara -564 mV hingga -349 mV vs SCE. Oleh karena itu, inhibitor Na₂Cr₂O₇ juga termasuk dalam inhibitor anodik (pasivator).

Tabel III-1. Luas Spesimen Baja Tulangan Beton Serta Komposisi Larutan Uji

No. Sampel	pH	Inhibitor Ca(NO ₂) ₂ (gpl)	Inhibitor Na ₂ Cr ₂ O ₇ (ppm)	Luas spesimen (cm ²)	Berat Awal Spesimen (mg)
1.	10	-	-	2,5434	2244,6
2.	13	-	-	2,4822	2225,8
3.	10	30	-	2,5240	2228,6
4.	13	30	-	2,5186	2242,5
5.	10	60	-	2,4975	2247,8
6.	13	60	-	2,4864	2218,0
7.	10	-	30	2,5082	2231,6
8.	13	-	30	2,4920	2240,8
9.	10	-	60	2,5147	2232,1
10.	13	-	60	2,4936	2227,0

3.5 Pengukuran Laju Korosi dengan Metoda Kehilangan Berat

Spesimen baja tulangan beton dipaparkan dalam berbagai larutan pori beton artifisial setelah berat awal dan dimensi luasnya ditentukan. Setelah 11 minggu, spesimen baja tulangan beton diangkat dari larutan pori beton artifisial kemudian ditimbang berat akhirnya setelah dibersihkan dari produk korosinya. Kehilangan berat yang paling besar terjadi pada baja tulangan beton yang dipaparkan dalam larutan pori beton artifisial pH = 10 dan tanpa inhibitor, yaitu sebesar 118,4 mg. Sedangkan kehilangan berat baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial pH = 13 dan tanpa inhibitor hanya sebesar 64,8 mg. Kehilangan berat baja tulangan beton dalam larutan pori beton

4. PEMBAHASAN

4.1 Larutan Pori Beton Artifisial pH = 13

Potensial korosi baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial pH = 13 tanpa inhibitor maupun yang ditambahkan inhibitor $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ 30 dan 60 gpl, lebih tinggi bila dibandingkan dengan potensial korosi baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial lainnya. Hal ini menunjukkan kemampuan inhibitor $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ lebih baik bila dibandingkan dengan inhibitor $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dalam hal pembentukan selaput pasif protektif sehingga dapat menurunkan laju korosi baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial.

Dalam larutan pori beton artifisial pH = 13 dan tanpa inhibitor, laju korosi baja tulangan beton lebih rendah bila dibandingkan dengan laju korosi baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial pH = 10 tanpa inhibitor maupun yang ditambahkan inhibitor $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ (30 dan 60 gpl) dan $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (30 dan 60 ppm), yaitu sebesar 0,1572 mm/tahun. Hal ini disebabkan karena dalam larutan pori beton artifisial pH = 13, baja tulangan beton berada dalam kondisi pasif dengan terbentuknya selaput pasif protektif pada permukaan baja tulangan beton. Penambahan inhibitor $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ (30 dan 60 gpl) dan $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (30 dan 60 ppm) ke dalam larutan pori beton artifisial pH = 13 menyebabkan selaput pasif protektif yang terbentuk akan semakin tebal dan merata sehingga menurunkan laju korosi baja tulangan beton, yaitu berkisar antara 0,0523 hingga 0,1363 mm/tahun (Gambar 4.2).

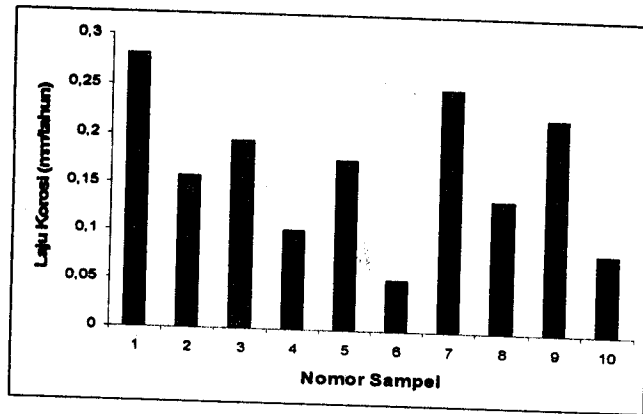
4.2 Larutan Pori Beton Artifisial pH = 10

Berdasarkan pengukuran potensial korosi baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial pH = 10 tanpa inhibitor adalah yang paling rendah bila dibandingkan dengan potensial korosi baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial lainnya. Hal ini menunjukkan, dalam larutan pori beton artifisial pH = 10 tanpa inhibitor baja tulangan beton paling aktif terkorosi.

Berdasarkan data laju korosi baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial pH = 10 tanpa inhibitor adalah yang paling tinggi bila dibandingkan dengan laju korosi baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial pH = 10 dengan penambahan inhibitor $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ (30 dan 60 gpl) dan $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (30 dan 60 ppm), yaitu sebesar 0,2804 mm/tahun. Hal ini disebabkan karena dalam larutan pori beton artifisial pH = 10 tanpa inhibitor, baja tulangan beton berada dalam kondisi aktif terkorosi. Sedangkan penambahan inhibitor $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ (30 dan 60 gpl) dan $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (30 dan 60 ppm) ke dalam larutan pori beton artifisial pH = 10 menyebabkan terbentuknya selaput pasif protektif pada permukaan baja tulangan beton sehingga dapat menurunkan laju korosi baja tulangan beton, yaitu berkisar antara 0,1765 hingga 0,2502 mm/tahun (Gambar 4.2).

Tabel III-2 Potensial Korosi Baja Tulangan Beton sebagai Fungsi Waktu untuk Tiap-tiap Larutan Uji

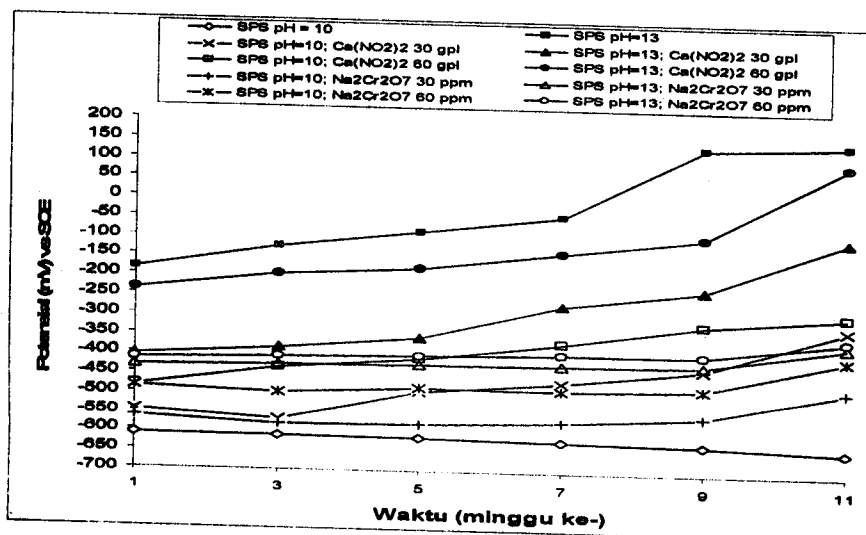
No.	pH	Inhibitor $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ (gpl)	Inhibitor $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (ppm)	Potensial (mV) vs SCE					
				Minggu ke-					
				1	3	5	7	9	11
1.	10	-	-	-608	-612	-614	-619	-624	-638
2.	13	-	-	-184	-127	-85	-43	138	149
3.	10	30	-	-546	-568	-493	-465	-428	-322
4.	13	30	-	-404	-384	-357	-271	-226	-97
5.	10	60	-	-482	-434	-409	-366	-316	-288
6.	13	60	-	-238	-198	-179	-137	-94	96
7.	10	-	30	-564	-582	-579	-568	-552	-478
8.	13	-	30	-432	-428	-425	-422	-416	-364
9.	10	-	60	-484	-497	-482	-485	-478	-396
10.	13	-	60	-415	-408	-402	-395	-392	-349



Gambar 4.2 Laju Korosi Baja Tulangan Beton dalam Berbagai Larutan Uji

Tabel III-3. Berat Awal, Berat Akhir dan Laju Korosi Spesimen Baja Tulangan Beton Serta Komposisi Larutan Uji

No	pH	Inhibitor Ca(NO ₂) ₂ (gpl)	Inhibitor Na ₂ Cr ₂ O ₇ (ppm)	Berat Awal Spesimen (mg)	Berat Akhir Spesimen (mg)	Selisih Berat (mg)	Laju Korosi (mm/th)
1.	10	-	-	2244,6	2126,2	118,4	0,2804
2.	13	-	-	2225,8	2161,0	64,8	0,1572
3.	10	30	-	2228,6	2147,0	81,6	0,1947
4.	13	30	-	2242,5	2199,7	42,8	0,1023
5.	10	60	-	2247,8	2174,6	73,2	0,1765
6.	13	60	-	2218,0	2196,4	21,6	0,0523
7.	10	-	30	2231,6	2127,4	104,2	0,2502
8.	13	-	30	2240,8	2184,4	56,4	0,1363
9.	10	-	60	2232,1	2139,5	92,6	0,2218
10.	13	-	60	2227,0	2192,6	34,4	0,0831



Gambar 4.1 Potensial Korosi Baja Tulangan Beton sebagai Fungsi Waktu untuk Tiap-tiap Larutan Uji

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari serangkaian percobaan dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Berdasarkan data hasil pengukuran potensial korosi baja tulangan beton dalam berbagai larutan pori beton artifisial selama 11 minggu perendaman, inhibitor $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ mampu menaikkan potensial baja tulangan beton secara signifikan hingga 96 mV. Sedangkan inhibitor $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ hanya sedikit menaikkan potensial baja tulangan beton hingga -349 mV.
2. Berdasarkan pengukuran laju korosi baja tulangan beton dalam berbagai larutan pori beton artifisial selama 11 minggu perendaman, inhibitor $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ mampu menurunkan laju korosi baja tulangan beton secara signifikan, yaitu sebesar 0,0523 mm/tahun. Sedangkan inhibitor $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ hanya menurunkan laju korosi baja tulangan beton hingga 0,0831 mm/tahun.
3. Berdasarkan data potensial korosi dan laju korosi, inhibitor $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ lebih baik jika dibandingkan dengan inhibitor $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dalam menginhibisi korosi baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial selama 11 minggu perendaman.
4. Konsentrasi inhibitor $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ sebesar 60 gpl lebih baik dibandingkan dengan konsentrasi 30 gpl dalam hal menginhibisi korosi baja tulangan beton dalam larutan pori beton artifisial selama 11 minggu perendaman.

5.2 Saran

Berikut ini adalah studi-studi yang disarankan:

1. Mempelajari pengaruh waktu yang lebih lama terhadap efektivitas inhibitor $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ dan inhibitor $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dalam menginhibisi baja tulangan beton.

2. Mempelajari pengaruh penambahan inhibitor $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ dan inhibitor $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ terhadap perubahan sifat-sifat fisik dan mekanik beton.
3. Pada kenyataannya korosi yang terjadi pada baja tulangan beton tidak merata di seluruh permukaan. Sebagai contoh korosi yang diakibatkan oleh ion klorida. Klorida akan lebih cepat masuk ke dalam beton dan mencapai permukaan baja tulangan melalui retakan-retakan beton. Retakan-retakan ini tidak merata diseluruh permukaan sehingga klorida akan terkonsentrasi pada tempat tertentu yang membentuk korosi setempat (*localized corrosion*). Oleh karenanya perlu dipelajari mekanisme inhibisi untuk baja tulangan beton yang mengalami korosi setempat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alecksev, S.N. 1993. *Durability of Reinforced Concrete in Aggressive Media*. Balkema Publisher.
- Bentur, A., Diamond, S., and Berke, N.S. 1997. *Steel Corrosion in Concrete*. E & FN SPON.
- Berke, N.S., et.al. 1993. *Corrosion of Steel in Cracked Concrete*. Corrosion, Vol.49, No.11.
- Fontana, M.G. 1987. *Corrosion Engineering*. McGraw-Hill.
- Jones, D.A. 1992. *Corrosion*. MacMillan.
- Rozenfeld, I.L. 1981. *Corrosion Inhibitors*. McGraw-Hill Inc.
- Roberge, P. 1999. *Handbook of Corrosion Engineering*. McGraw-Hill Inc.
- Sastri, V.S. 1998. *Corrosion Inhibitors Principles and Applications*. John Wiley & Sons Ltd.