

385606 / H / 10



RSM

620.112.23

Wid

S-1
2009

TUGAS AKHIR (*Metallurgy*) - RM1582

Studi Eksperimental Pengaruh Inhibitor Terhadap Korosi Baja Tulangan Di Lingkungan Khlorida Melalui Metode Dipercepat

GUNANTO WIDYASAPUTRA
NRP. 2104 100 062

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. HC Kis Agustin, DEA

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2009

PERPUSSTAKAAN	
T	
di terima	10-8-2009
diterima Dari	H
no. Induk	405



FINAL PROJECT (*Metallurgy*) - RM1582

**EKSPERIMENTAL STUDY THE EFFECT OF
INHIBITOR ON REINFORCING STEEL
CORROSION AT CHLORIDE ENVIRONMENT BY
FORCED METHOD**

GUNANTO WIDYASAPUTRA
NRP. 2104 100 062

Lecturer

Dr. Ir. HC Kis Agustin, DEA

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2009

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH INHIBITOR
TERHADAP KOROSI BAJA TULANGAN DI
LINGKUNGAN KHLORIDA MELALUI METODE
DIPERCEPAT**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

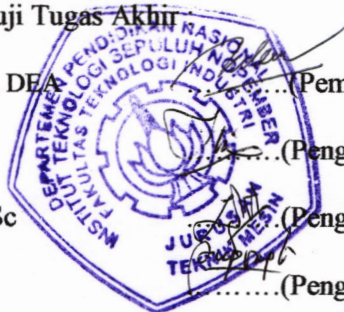
GUNANTO WIDYASAPUTRA

Nrp. 2104 100 062

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Dr. Ir. HC. Kis Agustin, DEA(Pembimbing)
2. Dr. Ir. Soeharto, DEA(Penguji I)
3. Ir. Hari Subiyanto, MSc(Penguji II)
4. Ir. Suprpti(Penguji III)

**SURABAYA
AGUSTUS, 2009**



“Studi Eksperimental Pengaruh Inhibitor Terhadap Korosi Baja Tulangan Di Lingkungan Khlorida Melalui Metode Dipercepat”

Nama Mahasiswa : GUNANTO WIDYASAPUTRA
NRP : 2104 100 062
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. HC KIS AGUSTIN, DEA

ABSTRAK

Beton bertulang merupakan material yang sering digunakan untuk bangunan. Korosi baja tulangan pada beton bertulang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur beton itu sendiri, sehingga dari segi ekonomi sangat merugikan. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem perlindungan pada tulangan terhadap serangan korosi. Salah satu proteksi korosi pada beton bertulang adalah dengan penambahan inhibitor.

Pada penelitian ini dipelajari pengaruh pemberian inhibitor dan metodenya terhadap korosi beton bertulang. Spesimen yang digunakan adalah beton yang mempunyai rasio air-semen (w/c ratio) 0,5. Beton berbentuk silinder pejal berukuran panjang 120 mm dan diameter 50,8 mm (2 inch). Baja profil berdiameter 9,5 mm dan panjang 120 mm dipilih sebagai tulangan beton. Pengkondisian ialah perendaman spesimen beton bertulang di larutan NaCl 12,5 % dengan memberikan arus sebesar 5 mA. Digunakan dua metode pemberian inhibitor yaitu sebelum pengkondisian dan setelah pengkondisian selama 10 hari. Pengkondisian lanjutan dilakukan selama 60 hari. Monitoring korosi pada baja tulangan yang digunakan ialah half-cell potensial dan resistivity beton.

Spesimen yang diberi Inhibitor dengan cara preventif (awal sebelum pengkondisian korosi) dan korektif (diberi setelah 10 hari pengkondisian), mempunyai kecenderungan korosi lebih rendah dibandingkan dengan spesimen tanpa diberi inhibitor. Metode pemberian inhibitor dengan preventif mempunyai kecenderungan korosi lebih rendah dibandingkan dengan korektif.



Kata kunci : Korosi beton bertulang, inhibitor, half-cell potensial, resistivity beton

Nama Mahasiswa : GUNAWATI WIDYASAPUTRA
NPM : 2104100082
Jurusan : Teknik Mesin FT-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Hc. KIS AGESTIN, DEA

ABSTRAK

Untuk melindungi struktur beton bertulang dari korosi, perlu dilakukan perawatan yang tepat. Salah satu cara untuk melindungi struktur beton bertulang adalah dengan menggunakan inhibitor.

Pada penelitian ini digunakan prosedur pembuatan sediaan dan metode uji terhadap beton bertulang. Penelitian yang dilakukan adalah beton yang mengandung 1% inhibitor, 2% dan 3%. Beton tersebut diukur pada permukaan yang 150 mm dan diameter 50 mm. Hasilnya menunjukkan bahwa resistansi beton bertulang dengan menggunakan inhibitor 1% dan 2% lebih tinggi dibandingkan dengan beton bertulang yang tidak menggunakan inhibitor. Hal ini menunjukkan bahwa metode penelitian ini dapat digunakan untuk melindungi struktur beton bertulang dari korosi.

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan inhibitor terhadap resistansi beton bertulang. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan inhibitor dapat meningkatkan resistansi beton bertulang terhadap korosi.



Keywords: Reinforced concrete corrosion inhibitor half-cell

“Experimental Study the Effect of Inhibitor on Reinforcing Steel Corrosion at Chloride environment by Forced Method”

Name : GUNANTO WIDYASAPUTRA
NRP : 2104 100 062
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Supervisor : Dr. Ir. HC KIS AGUSTIN, DEA

ABSTRACT

Reinforced concrete material is often used for building. Corrosion of reinforcing steel in concrete can cause damage to the concrete structure itself, so in terms of the economy, it is very harmful. Therefore a protection system is required to protect the reinforcing steel from corrosion attack. One of the corrosion protection in concrete is the addition of inhibitor.

In this research the effect of inhibitor addition and its addition method on concrete corrosion is studied. The Specimens that used are concrete with water-cement ratio (w/c ratio) of 0.5. The Concrete has cylindrical shape with 120 mm in length and 50.8 mm in diameter (2 inch). Steel with 9.5 mm in diameter and 120 mm in length is selected as concrete reinforcement. Treatment is done by soaking reinforced concrete specimens in 12.5% NaCl solution with an electric current of 5 mA. Two methods of inhibitor addition are used, the first one is before treatment and second one is after 10 days of treatment. For the second method after addition of inhibitor the treatment is continued for 60 days. Reinforced concrete corrosion monitored by its half-cell potential and concrete resistivity.

Specimens that were given a preventive Inhibitor method (before the beginning of corrosion treatment) and corrective (given after 10 days of corrosion treatment), have a lower tendency to corrode than the specimens without inhibitor. The preventive method specimens have a lower tendency to corrode than the corrective method specimens.

Keywords: Reinforced concrete corrosion, inhibitor, half-cell potential, concrete resistivity

"Experimental Study the Effect of Preventive Inhibitor Method on Corrosion of Reinforced Concrete in Chloride Environment by Forced Method"

Name : GI KANTO WIDYASAPUTRA
NRP : 2104100602
Department : Mechanical Engineering FT-ITS
Supervisor : Dr. Ir. H.C. KIS AGESTYA, DEA

ABSTRACT

Reinforced concrete material is often used for building. Corrosion of reinforcing steel in concrete can cause damage to the concrete structure itself, so in terms of the economy, it is very harmful. To create a protection system is required to protect the reinforcing steel from corrosion attack. One of the corrosion protection in concrete is the addition of inhibitor.

In this research the effect of inhibitor addition and its addition method on concrete corrosion is studied. The specimens that used are concrete with water-cement ratio (w/c ratio) of 0.5. The concrete has cylindrical shape with 120 mm in length and 50.8 mm in diameter. (2 inch) steel with 2 mm in diameter and 120 mm in length is placed as concrete reinforcement. Treatment is done by soaking reinforced concrete specimen in 12.5% NaCl solution with an electric current of 2 mA. Two methods of inhibitor addition are used, the first one is before treatment and second one is after 10 days of treatment. For the second method after addition of inhibitor, the treatment is continued for 60 days. Reinforced concrete corrosion monitored by its half-cell potential and concrete resistivity.

Specimens that were given a preventive inhibitor method (before the beginning of corrosion treatment) and corrective (given after 10 days of corrosion treatment) have a lower tendency to corrode than the specimens without inhibitor. The preventive method specimens have a lower tendency to corrode than the corrective method specimens.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas rahmat dan karunia Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai persyaratan akademis untuk mendapat gelar Sarjana Teknik, pada bidang studi Metalurgi, jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas akhir ini tidak mungkin terlaksana dengan baik tanpa adanya bantuan dan kerjasama semua pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tuaku, beserta kakak-kakakku maswawan, mbak rina dan maswid tercinta yang selalu penuh perhatian dan telah membantu dengan sepuh hati.
2. Ibu Dr. Ir. HC Kis Agustin, DEA selaku pembimbing Tugas Akhir yang banyak memberikan bimbingan dan saran.
3. Bapak Dr. Ing. Herman Sasongko selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan dosen wali.
4. Bapak dan Ibu Dosen selaku staf pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu dan wawasan.
5. Karyawan lab Metalurgi yang telah membantu dalam penggunaan fasilitas, terutama buat Pak Budi, Pak Gatot, Pak Ndag, Pak Mantri, mas dafik, dan mbak sri.
6. Pak Wirawan teman satu tim yang telah meminjamkan seluruh alat test corrosion demi kelancaran TA-ku ini.
7. Bagus Cahyo Utomo (BCL) sebagai teman diskusi korosi dan selalu membantu dalam pengambilan data.
8. Hasan ash-shiddiqi dan andy arief (melon) sebagai teman diskusi tentang korosi pada beton bertulang
9. Rekan-rekan seperjuangan M-47 khususnya anak Lab Metalurgi yang selalu bisa diajak bertukar pikiran.

10. Semua pihak yang telah terlibat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak mungkin disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu, penulis mengharapkan adanya penyempurnaan lebih lanjut oleh pihak yang berkepentingan agar Tugas Akhir ini bisa lebih dikembangkan.

Surabaya, Agustus 2009

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	i
Abstrak	v
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah dan Asumsi.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Beton Bertulang.....	3
2.2 Penetrasi Media Korosi Dalam Beton Ke Baja Tulangan.....	6
2.3 Korosi Pada Baja Tulangan Dalam Beton	7
2.3.1. Depassivasi Akibat Ion Klorida.....	11
2.4. Kontrol Korosi.....	13
2.4.1. Inhibitor Korosi.....	13
2.4.1.1. Inhibitor Anodik.....	15
2.4.1.2. Inhibitor Katodik.....	16
2.5. Pengukuran Korosi Baja Tulangan.....	16
2.5.1. Half-Cell Potential.....	17
2.5.2. Tahanan (Resistivity) Beton.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Diagram Alir Percobaan.....	21
3.2 Persiapan Material.....	23
3.2.1. Beton Bertulang.....	23
3.2.2. Inhibitor.....	23
3.3. Pembuatan Spesimen Beton Bertulang.....	24
3.4. Pemberian Inhibitor	25

3.5. Uji Korosi Dengan Pemberian Arus Paksa.....	25
3.6. Monitoring Korosi	26
3.6.1. Pengukuran Potensial Dengan <i>Half-Cell Potential</i>	26
3.6.2. Pengukuran Tahanan Beton	32
BAB IV DATA DAN ANALISA DATA	37
4.1. Pengamatan Visual.....	37
4.1.1. Sebelum pembongkaran beton.....	37
4.1.2. Saat Pembongkaran Beton.....	44
4.1.3. Pengamatan baja tulangan setelah pembersihan produk korosi.....	46
4.2. Test korosi.....	50
4.2.1. Resistivitas beton.....	50
4.2.2. Half-cell.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1. Kesimpulan.....	55
5.2. Saran	55
Daftar Pustaka	xii
Lampiran 1	
Lampiran 2	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Proses terbentuknya beton [13].....	3
Gambar 2.2. Tahapan pengerjaan beton [13].....	4
Gambar 2.3. Model Korosi Pada Baja Tulangan [1].....	8
Gambar 2.4. Aliran Arus Elektronik Selama Proses Korosi [1].....	9
Gambar 2.5. Ilustrasi Mekanisme Korosi Pada Baja Tulangan [7].....	10
Gambar 2.6. Hubungan antara konsentrasi ion khlorida dengan tingkat pH pada pori [1].....	12
Gambar 2.7. Pengaruh inhibitor pada diagram laju potensial-korosi. (A) Inhibitor anodik; (B) Inhibitor katodik; I_0 , laju korosi tanpa inhibitor; I_i , laju korosi dengan inhibitor [1].....	14
Gambar 2.8. Pengaruh kandungan calcium nitrite dan rasio w/c terhadap korosi baja tulangan [1].....	15
Gambar 2.9. Pengukuran <i>half-cell potential</i> pada beton bertulang.....	17
Gambar 2.10. Pengukuran resistivity dengan <i>four-probe resistivity meter</i> atau <i>Werner probe</i> (ASTM G 57-95a).....	19
Gambar 3.1. Diagram Alir Percobaan).....	22
Gambar 3.2. Dimensi spesimen beton bertulang (mm).....	25
Gambar 3.3. Skema uji korosi dengan pemberian arus paksa.....	26
Gambar 3.4. Pengukuran <i>half-cell potential</i> pada beton bertulang.....	27
Gambar 3.5. Pengukuran tahanan dengan <i>four-probe resistivity meter</i> atau <i>Werner probe</i> (ASTM G 57-95a).....	33

Gambar 4.1. Pengamatan visual setelah pembongkaran.....	45
Gambar 4.2. Lokasi pemotongan pada spesimen terhadap katoda.....	48
Gambar 4.3. Daerah baja tulangan (sisi menghadap dan membelakangi katoda).....	50
Gambar 4.4. Trend resistivitas beton.....	51
Gambar 4.5. Trend pengukuran half-cell.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Petunjuk interpretasi hasil half-cell (sesuai ASTM C 876-91).....	18
Tabel 2.2. Interpretasi hasil pengukuran <i>resistivity</i> beton..	19
Tabel 3.1. Data pengukuran potensial (mV) dengan lama perendaman 30 hari.....	28
Tabel 3.2. Data pengukuran potensial (mV) dengan lama perendaman 60 hari.....	30
Tabel 3.3. Data pengukuran tahanan (ohm) dengan lama perendaman 30 hari.....	34
Tabel 3.4. Data pengukuran tahanan (ohm) dengan lama perendaman 60 hari.....	34
Tabel 4.1 Pengamatan visual spesimen selama 60 hari pengkondisian.....	38
Tabel 4.2 Foto makro baja tulangan setelah pengkondisian selama 30 hari.....	46
Tabel 4.3 Foto makro baja tulangan setelah pengkondisian selama 60 hari.....	47
Tabel 4.4 Foto penampang baja tulangan setelah pengkondisian selama 30 hari.....	48
Tabel 4.5 Foto penampang baja tulangan setelah pengkondisian selama 60 hari.....	49

DAFTAR TABEL

18	Tabel 2.1. Petunjuk interpretasi hasil half-cell (sesuai ASTM C 876-91).....
19	Tabel 2.2. Interpretasi hasil pengukuran resistivitas beton.....
20	Tabel 2.3. Data pengukuran potensial (mV) dengan lama perawatan 30 hari.....
20	Tabel 2.4. Data pengukuran potensial (mV) dengan lama perawatan 60 hari.....
21	Tabel 2.5. Data pengukuran tahanan (ohm) dengan lama perawatan 30 hari.....
21	Tabel 2.6. Data pengukuran tahanan (ohm) dengan lama perawatan 60 hari.....
22	Tabel 2.7. Perbandingan visual specimen selama 60 hari perawatan.....
23	Tabel 2.8. Foto makro hasil integram setelah pengkondisian.....
24	Tabel 2.9. Foto makro hasil integram setelah pengkondisian selama 30 hari.....
24	Tabel 2.10. Foto pemampang data tahanan setelah pengkondisian selama 60 hari.....
25	Tabel 2.11. Foto pemampang data tahanan setelah pengkondisian selama 30 hari.....
25	Tabel 2.12. Foto pemampang data tahanan setelah pengkondisian selama 60 hari.....

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

Latar Belakang

Beton bertulang adalah material konstruksi yang relatif baru yang telah dikembangkan dan digunakan secara luas pada abad ke -20. Kombinasi antara beton dan baja tulangan merupakan kombinasi yang optimal tidak hanya karena sifat mekanisnya tapi juga ditinjau dari unjuk kerjanya dalam waktu jangka panjang [1]. Beton merupakan material yang relatif kuat terhadap gaya kompresi, tetapi lemah terhadap gaya tarik. Untuk memperoleh struktur bangunan yang dapat menerima gaya tarik, maka beton diperkuat dengan baja tulangan [9].

Struktur beton bertulang tidak dapat terlepas dari pengaruh korosi, khususnya bila digunakan di daerah dengan pengaruh lingkungan yang cukup agresif, misalnya digunakan di pantai dan laut. Korosi pada beton bertulang pada umumnya dapat menimbulkan pengaruh pada pelayanan struktur (*serviceability*), misalnya retak, *spalling*, *staining*. Namun bila tidak dilakukan perbaikan (*repair*), maka tidak menutup kemungkinan korosi dapat menimbulkan keruntuhan struktur.

Timbulnya masalah korosi pada struktur beton bertulang diakibatkan rendahnya kualitas pengerjaan beton, yang akan memungkinkan sumber penyebab korosi (misalnya chlorida dalam lingkungan air laut) untuk masuk kedalam beton. Apabila tersedia air dan oksigen yang cukup maka akan terjadi proses korosi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi antara lain tahanan (*resistivity*), temperatur, kelembaban, dan mikrostruktur dari beton. Secara umum dengan mengontrol faktor-faktor tersebut pada tingkatan aman, korosi pada baja tulangan dan kerusakan beton dapat diminimalkan. Salah satu cara dari itu dilakukan proteksi korosi dengan penambahan inhibitor pada beton bertulang.



Perumusan Masalah

Pada penelitian ini yang menjadi permasalahan adalah seberapa besar pengaruh penambahan inhibitor pada beton bertulang terhadap korosi baja tulangan.

Tujuan Penelitian

Mengetahui pengaruh penambahan inhibitor pada beton bertulang terhadap korosi baja tulangan.

Batasan Masalah dan Asumsi

Batasan masalah dan asumsi dalam penelitian ini adalah:

- Komposisi penyusun beton (semen, air, agregate halus dan kasar) pada masing-masing spesimen diasumsikan sama.
- Beton bertulang diasumsikan tidak terdapat retak (*crack*).

Manfaat Penelitian

Manfaatnya ialah sebagai acuan aplikasi inhibitor untuk proteksi korosi beton bertulang dari korosi.

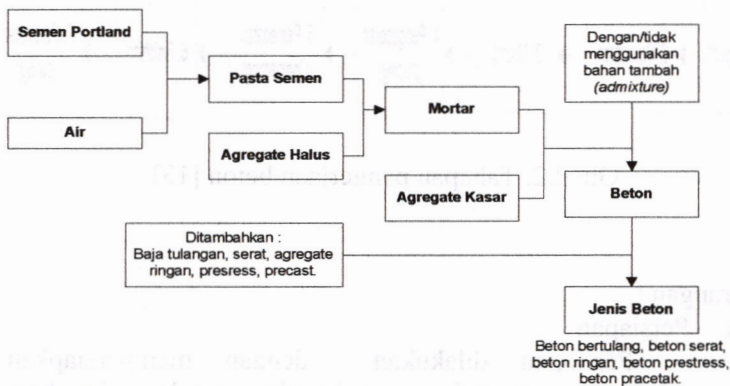
BAB II

DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Bertulang

Beton adalah istilah umum untuk bongkahan tiruan yang dibuat dari semen, pasir dan pecahan batu atau material sejenis sebagai *agregat* kasar atau halus. Bahan-bahan yang dicampur dengan air ini membentuk massa plastis yang akan berubah menjadi material padat yang keras, dimana proses tersebut disebut hidrasi. Penerapannya pada struktur, tegangan tarik merupakan hal yang harus diperhatikan. Untuk keperluan ini baja tulangan dimasukkan pada beton saat pengecoran sehingga membentuk material komposit yang dikenal dengan beton bertulang [4].

Proses awal terjadinya beton bermula dari proses hidrasi yaitu pencampuran semen dan air menjadi pasta semen. Penambahan agregat halus pada pasta semen akan membentuk mortar. Jika ditambahkan agregat kasar maka akan menghasilkan beton. Jenis beton akan ditentukan dari penambahan material lain, misalnya bila ditambahkan baja tulangan akan terbentuk beton bertulang. Proses terbentuknya beton dapat dilihat pada gambar 2.1.

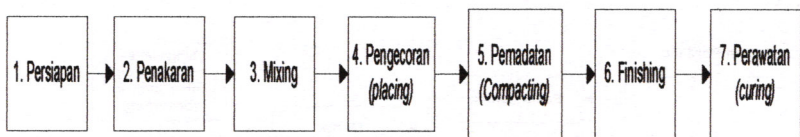


Gb. 2.1. Proses terbentuknya beton [13]

Semen portland terdiri dari kombinasi beberapa elemen $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ dan $4 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Jika semen bereaksi dengan air maka salah satu reaksi hidrasinya adalah $2(3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{Ca}(\text{OH})_2 + 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Reaksi hidrasi ini menyebabkan beton memiliki pH antara 12-13 yang membuat baja tulangan akan mengalami passivasi oleh lapisan oksida (Fe_2O_3) yang protektif terhadap korosi [7].

Agregate kasar dapat diperoleh dari gravel silika atau pecahan batu sedangkan pasir silika biasanya digunakan sebagai *aggregate* halus. *Agregate* pada beton berpengaruh terhadap *workability*, berat, modulus elastisitas, dan stabilitas dimensi. Disisi lain, banyak sifat penting dari beton yang dapat ditingkatkan dengan menambahkan material khusus kedalam campuran beton. Material ini biasa disebut *admixture* yang sekarang digunakan secara luas oleh industri beton [12].

Tahapan pengerjaan beton di lapangan dapat dilihat pada gambar 2.2. yaitu meliputi persiapan, penakaran, pengadukan (*mixing*), pengecoran (*placing*), pemadatan (*vibrating*), *finishing* dan perawatan (*curing*) [13].



Gb. 2.2. Tahapan pengerjaan beton [13]

Keterangan :

a. Persiapan

Persiapan dilakukan dengan mempersiapkan peralatan pengadukan, pembersihan cetakan dan baja tulangan dari kotoran.

b. Penakaran

Penakaran bahan-bahan penyusun beton sesuai standar perancangan SK. SNI-03-2834-1993 (tata cara pembuatan campuran beton normal) yang terdapat pada lampiran.

c. Pengadukan (*mixing*)

Setelah didapatkan komposisi yang direncanakan untuk kuat tekan tertentu, proses selanjutnya adalah pengadukan (*mixing*) bahan-bahan beton. Pengadukan dapat dilakukan secara manual bila volume adukan kurang dari 10 m^3 atau dengan mesin bila lebih dari 10 m^3 .

d. Pengecoran (*placing*)

Pengecoran dilakukan perlahan-lahan dengan pengaturan kecepatan penuangan agar campuran beton selalu dalam keadaan plastis dan dapat mengalir ke rongga diantara baja tulangan.

e. Pemadatan (*compacting*)

Proses pemadatan dilakukan untuk menghilangkan rongga udara pada beton segar. Bertambahnya kandungan udara pada beton dapat menyebabkan kekuatan beton berkurang. Alat yang digunakan pada proses pemadatan bisa berupa alat getar internal, yaitu berupa tongkat yang digerakkan mesin, dan alat getar eksternal, yaitu alat getar yang menggetarkan *form work* sehingga beton bergetar dan memadat.

f. Pekerjaan akhir (*finishing*)

Tahap *finishing* pada pengerjaan beton dimaksudkan untuk mendapatkan permukaan beton yang

rata dan mulus dengan menggunakan alat ruskam, jidar dan peralatan perata lainnya.

g. Perawatan beton (*curing*)

Tahapan penting dari pengerjaan beton ini adalah perawatan beton (*curing*) yang bertujuan agar proses hidrasi tidak mengalami gangguan. Perawatan beton selain bertujuan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi juga untuk memperbaiki kedekatan terhadap air, ketahanan aus serta stabilitas dari dimensi struktur. Perawatan dapat dilakukan dengan pembasahan (*wet cured*) atau *air cured*. Masa perawatan dilakukan minimal selama 7 hari tetapi pada kondisi praktis di lapangan dilakukan perawatan selama 28 hari.

2.2. Penetrasi Media Korosi Ke Baja Tulangan Dalam Beton

Media agresive penyebab korosi dapat berwujud gas atau cair. Media korosi tersebut bertransportasi kedalam beton menuju baja tulangan dengan berbagai mekanisme yaitu permeasi, difusi, absorpsi, *capillary suction*, dan kombinasi dari beberapa mekanisme tersebut [6].

a. Difusi

Faktor utama korosi baja tulangan pada beton adalah adanya kemampuan ion-ion penyebab korosi untuk berpenetrasi kedalam beton. Ion klorida berdifusi kedalam beton akibat adanya perbedaan konsentrasi ion klorida pada permukaan dan didalam beton. Kemampuan penetrasi ion klorida dapat digunakan sebagai parameter kualitas beton terhadap kemampuan menahan korosi. Koefisien Difusi gas kedalam beton lebih besar dibanding dengan ion klorida. Koefisien difusi oksigen berada pada rentang $0,1 \times 10^{-8}$ sampai dengan $10 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$. Harga tertentu dari koefisien difusi

secara umum bergantung pada pori struktur. Menurut Tuuti [1], koefisien difusi untuk karbondioksida dan oksigen adalah sama.

b. Permeasi

Permeasi adalah aliran cairan atau gas kedalam beton akibat adanya *pressure head*.

c. Capillary Suction

Capillary suction adalah transportasi cairan kedalam pori beton karena adanya tegangan permukaan (*surface tension*) pada kapiler. Transport dari cairan dipengaruhi oleh viskositas (Ns/m^2), densitas (kg/m^3), dan tegangan permukaan (N/m).

2.3. Korosi Pada Baja Tulangan Dalam Beton

Terdapat dua penyebab utama kerusakan beton bertulang yaitu reaksi kimia yang melibatkan komponen beton dan *physical action*. Reaksi kimia merupakan reaksi alami misalnya reaksi antara pasta semen dengan bahan kimia dari luar, kontaminasi air yang agresive atau hujan asam. Sedangkan *physical action* yang menyebabkan perusakan beton antara lain abrasi atau erosi, retak (*crack*) akibat stress thermal, *overload*, *impact*, *structural settlement* atau oleh kejadian yang tiba-tiba (ledakan, vibrasi, kebakaran) [11].

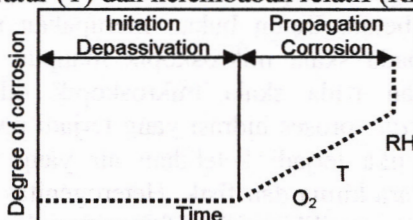
Ketika menganalisa proses korosi yang terjadi pada baja tulangan dalam beton. Beton bukan merupakan material yang homogen baik pada skala mikroskopik maupun makroskopik. Ketidakhomogenan pada skala mikroskopik dihasilkan oleh penggunaan *agregate*, proses hidrasi yang terjadi pada saat seting beton, terutama jika terjadi kelebihan air yang menghasilkan heterogenitas secara kimia dan fisik. Heterogenitas tersebut akan membuat beton memiliki sifat-sifat yang berbeda seperti

difusivitas ion klorida dan oksigen. Pada skala makroskopik, ketidakhomogenan terjadi karena adanya gradien temperatur, proses pengecoran dan fabrikasi dari semen [10].

Ketebalan selimut yang cukup pada beton dapat menjadi penghalang terjadinya korosi, baik penghalang kimia maupun fisik (*chemical and physical barrier*). Penghalang kimia adalah tingkat kebasaaan dari beton yaitu sekitar pH 13 yang membuat dan menjaga lapisan proteksi pada permukaan baja tulangan. Sedangkan penghalang fisik adalah densitas dan impermeabilitas dari selimut beton yang dapat menghalangi ion klorida dan oksigen berdifusi menuju tulangan [1].

Korosi baja tulangan dapat terjadi jika penghalang kimia sudah tidak efektif lagi dalam menjaga pH beton agar tetap basa. Jika hal ini terjadi, lapisan pasif yang protektif menjadi tidak stabil dan inisiasi korosi mulai terjadi. Jika inisiasi korosi sudah terjadi, laju korosi akan dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya ketersediaan oksigen pada area katoda dan kehadiran air di surface baja tulangan yang berfungsi sebagai elektrolit bagi pergerakan ion.

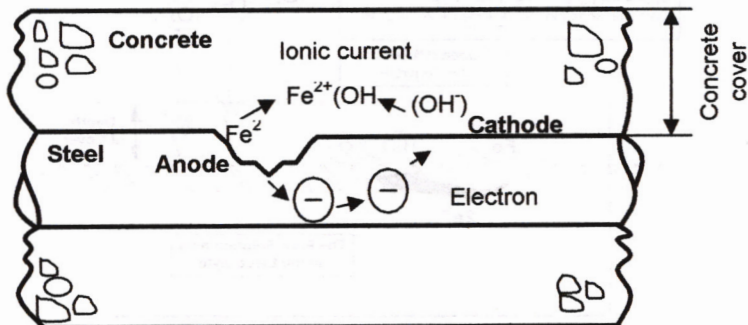
Gambar 2.3. menunjukkan model korosi pada baja tulangan yang terdiri dari dua tahap yaitu inisiasi dan propagasi (*propagation*). Inisiasi terjadi sebagai akibat dari penetrasi ion klorida ke dalam pori beton menuju ke baja tulangan dan penurunan pH karena karbonasi (CO_2). Tahap propagasi adalah tahapan dimana laju korosi dipengaruhi oleh ketersediaan oksigen (O_2), tahanan elektrik beton (Ohm), kondisi lingkungan yang meliputi temperatur (T) dan kelembaban relatif (RH) dari beton.



Gambar 2.3. Model Korosi Pada Baja Tulangan [1].

Korosi pada baja tulangan adalah proses elektrokimia dimana reaksi kimia dan aliran arus listrik terlibat didalamnya. Pada reaksi kimia melibatkan dua reaksi, yaitu reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Secara umum terdapat empat syarat yang harus dipenuhi agar korosi basah pada baja tulangan dapat terjadi, yaitu adanya anoda tempat terjadinya reaksi oksidasi, katoda tempat terjadinya reaksi reduksi, elektrolit yang merupakan cairan penghantar arus ionik (*ionic current*) dan konduktor berupa suatu material atau logam sebagai penghantar arus elektronik dari anoda ke katoda (atau sebaliknya).

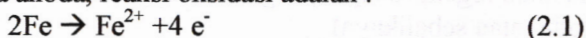
Pada gambar 2.4. terlihat bahwa reaksi oksidasi di anoda, atom Fe terionisasi menjadi Fe^{2+} yang terlarut di larutan pada pori sekitar besi. Elektron mengalir melalui metal dari sisi anoda ke katoda yang mempunyai potensial reduksi lebih tinggi. Di sisi katoda terjadi reaksi reduksi O_2 di media basa. elektron yang diterima di katoda berkombinasi dengan oksigen dan air terlarut membentuk ion hidroksida (OH^-). Jumlah elektron yang diterima pada sisi katoda harus sama dengan jumlah elektron yang disumbangkan dari sisi anoda agar korosi dapat berjalan. Jadi setiap mol oksigen terlarut yang bereaksi di katoda, dua atom Fe harus terionisasi. Kehilangan logam di sisi anoda akan berlanjut hanya jika ada reaksi katoda yang berperan sebagai penampung (*sink*) elektron yang diproduksi di sisi anoda.



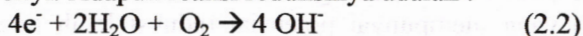
Gambar 2.4. Aliran Arus Elektronik Selama Proses Korosi [1].

Arus listrik di dalam logam adalah hasil dari aliran elektron dari anoda ke katoda akibat adanya perbedaan potensial. Di sisi luar baja tulangan, arus listrik melalui elektrolit pada pori beton dibawa oleh pergerakan ion-ion bermuatan. Ion hidroksida bermuatan negatif bergerak dari katoda menuju anoda dan ion Fe yang bermuatan positif bergerak dari anoda ke katoda. Secara umum mekanisme korosi pada beton bertulang adalah sebagai berikut :

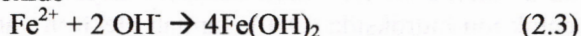
- a. Pada anoda, reaksi oksidasi adalah :



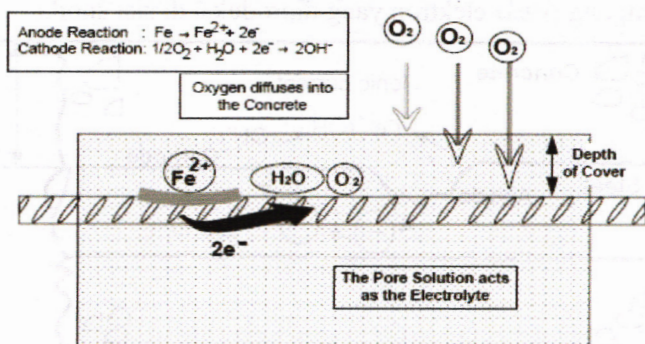
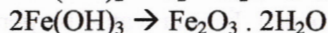
- b. Elektron tersebut bermigrasi ke katoda dimana mereka berkombinasi dengan oxygen dan air membentuk ion hydroxyl. Adapun reaksi reduksinya adalah :



- c. Ion Hydroxyl dengan ion ferrous membentuk ferrous hydroxide



- d. Dengan hadirnya air (*water*) dan oksigen, ferrous hydroxide teroksidasi membentuk Fe_2O_3 yang merupakan produk korosi



Gambar 2.5. Ilustrasi Mekanisme Korosi Pada Baja Tulangan [7]

Produk korosi yang dihasilkan dapat menempati volume tiga hingga sampai enam kali dari volume awal baja tulangan . Peningkatan volume ini menyebabkan tegangan pada beton yang mengakibatkan retak, mengelupas (*delamination*) dan *spalling*. Hal ini akan mempercepat proses korosi dengan adanya jalan bagi ion khlorida untuk mencapai baja tulangan.

2.3.1 Depassivasi Akibat Ion Khlorida

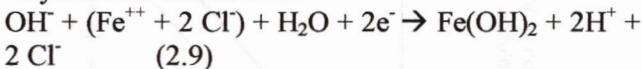
Mekanisme depassivasi akibat serangan ion khlorida berlangsung dengan cara menyerang lapisan pasif baja tulangan. Mekanisme ini tidak menurunkan pH secara keseluruhan. Khlorida berperan sebagai katalis terhadap korosi ketika terdapat konsentrasi yang cukup pada permukaan baja akan merusak baja tulangan tersebut.. Khlorida tidak dikonsumsi pada proses tetapi membantu untuk merusak lapisan pasif oksida pada baja dan membuat proses korosi berjalan cepat [2].

Secara umum mekanisme korosi karena adanya ion khlorida (tanpa oxygen pada anoda), adalah sebagai berikut [14].

- a. Pada anoda, besi bereaksi dengan ion khlorida membentuk intermediate larutan *iron-chloride* kompleks.



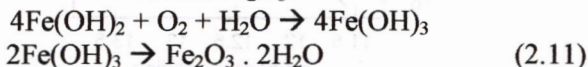
- b. *Iron-chloride* kompleks akan bereaksi dengan ion hydroxyl dan air membentuk



- c. Ion hydrogen kemudian dengan elektron membentuk gas hydrogen.



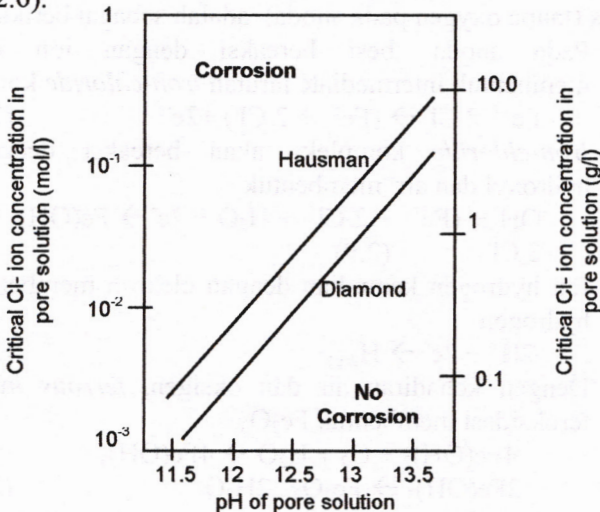
- d. Dengan kehadiran air dan oksigen, *ferrous hydroxide* teroksidasi membentuk Fe_2O_3 .



Secara umum terdapat dua sumber ion khlorida yaitu dari internal dan eksternal. Pada sumber internal, ion khlorida berasal

dari material beton seperti semen, agregat dan air. Beberapa *admixture* seperti *calcium chlorides* juga mengandung ion klorida. Ion klorida dari sumber eksternal berasal dari air laut dan *deicing salt* (bahan kimia untuk mencairkan salju yang diaplikasikan pada jalan atau jembatan).

Pengaruh ion klorida dalam proses korosi, bahkan pada pH tinggi, dapat dilihat sebagai sebuah fungsi dari keseimbangan dua proses yang saling berkompetisi, yaitu proses stabilisasi penetrasi ion OH^- dan ion Cl^- ke dalam pori beton menuju baja tulangan. Konsentrasi ion klorida harus melebihi nilai ambangnya sebelum melakukan perusakan baja tulangan (proses korosi). Nilai ambang konsentrasi ion klorida merupakan fungsi dari pH. Pada basis pengukuran pada larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Hausman menyatakan nilai ambang konsentrasi ion klorida sekitar 0,6 kali dari konsentrasi OH^- , sementara Diamond menyatakan ambang konsentrasi ion klorida sekitar 0,3 kali dari konsentrasi OH^- (gambar 2.6).



Gambar 2.6. Hubungan antara konsentrasi ion klorida dengan tingkat pH pada pori [1].

Untuk kondisi di lapangan diperbolehkan, digunakan terminologi prosentase kandungan khlorida per berat kandungan semen. Pada umumnya spesifikasi dan rekomendasi batasan kandungan khlorida adalah $< 0,2\%$ dari kandungan semen dalam beton.

2.4. Kontrol Korosi

Ketika struktur bangunan berada pada kondisi lingkungan yang korosif, proteksi korosi dibutuhkan untuk memperpanjang umur layannya. Proteksi korosi tersebut dapat berupa strategi yang pasif dan atau aktif. Pemilihan beton dengan kualitas tinggi yang dihasilkan dengan penambahan admixture (fly-ash, silica fume, slag), penggunaan baja tulangan yang dicoating (*epoxy-coated, galvanized*) merupakan contoh strategi pasif dalam memperlambat proses korosi. Sedangkan Strategi aktif dalam mengontrol korosi antara lain dengan menggunakan proteksi katodik [1].

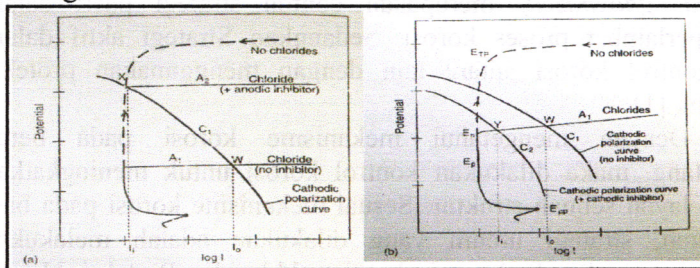
Dengan mengetahui mekanisme korosi pada beton bertulang, maka dilakukan kontrol korosi untuk meningkatkan umur layan sebuah struktur. Sesuai mekanisme korosi pada baja tulangan, strategi umum yang dilakukan adalah melakukan kontrol terhadap karbonasi dan ion khlorida. Proteksi khusus untuk lingkungan korosif dengan tingkat ion khlorida yang tinggi dengan cara pemilihan beton mutu tinggi, pemakaian inhibitor, coating pada baja tulangan dan proteksi katodik.

2.4.1. Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi untuk logam pada beton adalah sebuah *chemical substance* yang dapat memperlambat korosi pada logam tanpa menurunkan konsentrasi dari *corrosive agents*. Definisi ini diambil dari ISO 8044-89 (*Corrosion of Metals and Alloys-Vocabulary*) untuk meningkatkan ketahanan dari penetrasi khlorida.

Inhibitor korosi dapat berpengaruh pada reaksi anoda, katoda atau keduanya. Karena reaksi anoda dan katoda adalah reaksi yang setimbang maka penurunan pada salah satu sisi atau

keduanya, akan menghasilkan penurunan pada laju korosi. Gambar 2.7 mengilustrasikan pengaruh dari jenis inhibitor anoda dan katoda dengan asumsi konsentrasi klorida yang tidak berubah. Untuk gambar 2.7a ketika inhibitor anodik tidak diaplikasikan, kurva anoda (A_1) dan katoda (C_1) berpotongan pada titik W. Pada kondisi ini korosi pitting sedang terjadi dan laju korosinya adalah I_0 . Penambahan inhibitor anoda (kurva A_2) membantu pembentukan lapisan pasif yang akan menaikkan potensial proteksi E_p , sehingga kurva anodik dan katodik sekarang berpotongan pada titik X. *Current density* akan berkurang dari I_0 menjadi I_i , sehingga laju korosinya juga berkurang.



Gb. 2.7. Pengaruh inhibitor pada diagram laju potensial-korosi.

(A) Inhibitor anodik;

(B) Inhibitor katodik; I_0 , laju korosi tanpa inhibitor;

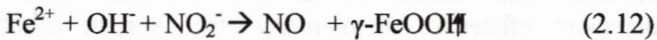
I_i , laju korosi dengan inhibitor [1].

Kurva C_2 pada gambar 2.7b adalah kurva penambahan inhibitor katodik (tanpa disertai penambahan inhibitor anodik). Perpotongannya dengan kurva anodik (A_1) terjadi pada titik Y. Meskipun laju korosi menurun, namun korosi pitting masih terjadi karena potensial tetap lebih positif dari E_p . Sebagai hasilnya inhibitor katodik biasanya kurang efektif bila dibandingkan dengan inhibitor anodik. Contoh inhibitor katodik adalah sodium dan potassium nitrites yang sangat baik untuk

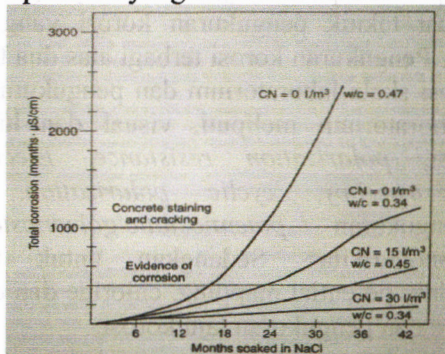
inhibitor korosi tetapi berdampak terhadap penurunan kekuatan beton.

2.4.1.1. Inhibitor Anodik

Anodik inhibitor yang paling umum digunakan adalah *calcium nitrite* (CN). Mekanisme proteksi korosinya adalah dengan membuat lapisan pasif lebih stabil. Nitrite akan ikut bereaksi dengan ion *ferrous* (Fe^{2+}) dan lebih lanjut menghasilkan *ferric oxide* yang lebih stabil.



Ion klorida dan nitrite berkompetisi pada lapisan film yang tidak sempurna (*flaw*) untuk ion ferrous yang sama. Konsentrasi relatif dari ion klorida dan nitrite akan menentukan reaksi mana yang terjadi. Ketika konsentrasi ion klorida tinggi (rasio $[Cl^-]/[NO_2^-]$ dan atau $[Cl^-]/[OH^-]$ yang tinggi), probabilitas Cl^- bereaksi dengan ion ferrous semakin tinggi. Dari sini terbentuk konsep rasio proteksi dari $[Cl^-]/[NO_2^-]$. Rasionya berada pada rentang 1 sampai 1,5 tergantung dari kandungan klorida. Gambar 2.8 memperlihatkan pengaruh rasio w/c (*water of cement*) dan kandungan calcium nitrite (CN) pada korosi baja tulangan pada spesimen yang direndam dalam larutan NaCl.



Gb. 2.8. Pengaruh kandungan calcium nitrite dan rasio w/c terhadap korosi baja tulangan [1].

2.4.1.2. Inhibitor Katodik

Inhibitor katodik memberikan proteksi dengan jalan beradsorpsi pada permukaan baja dan berfungsi sebagai penghalang untuk mengurangi kandungan oksigen yang merupakan salah satu komponen reaksi katodik pada baja tulangan.

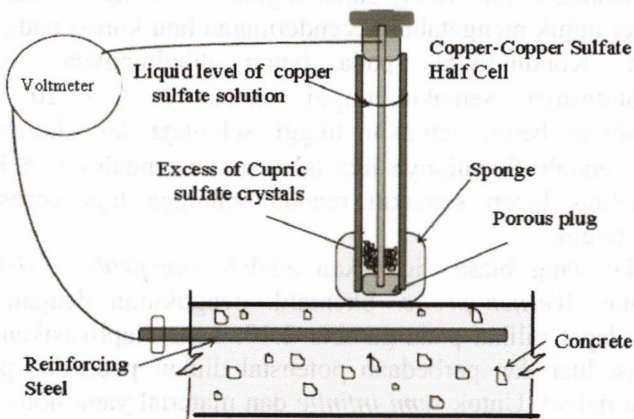
Korosi katodik merupakan faktor pembatas laju korosi, hanya penurunan signifikan pada reaksi katodik yang mampu menurunkan laju korosi akibat ion klorida. Jadi untuk mendapatkan efisiensi dalam mengontrol korosi, dibutuhkan kandungan inhibitor katodik yang cukup tinggi. Inhibitor katodik seperti amines, phosphates, zincates dan phosphonates, dibutuhkan dalam jumlah yang banyak untuk mendapatkan proteksi korosi.

2.5. Pengukuran Korosi Baja Tulangan

Pengukuran korosi digunakan untuk menentukan laju korosi atau mekanisme korosi. Pengukuran tersebut dapat berupa hal yang sederhana seperti observasi visual, atau menggunakan alat electrochemical. Secara umum terdapat banyak teknik pengukuran korosi yang digunakan pada studi korosi. Bentuk beton yang *opaque* dan posisi baja tulangan yang tidak mudah diambil, membuat teknik pengukuran korosi yang digunakan menjadi terbatas. Pengukuran korosi terbagi atas dua bagian yaitu pengukuran korosi skala laboratorium dan pengukuran lapangan. Untuk skala laboratorium meliputi, visual dan hilang berat, potensial korosi, *polarization resistance*, *Electrochemical impedance spectroscopy*, *cyclic polarization*, *macrocell technique*, pengukuran *potentiostatic/galvanostatic*, dan pengukuran konduktivitas. Sedangkan untuk pengukuran lapangan antara lain potential mapping, chloride dan *carbonation test*, *analysis core* dan pengukuran laju korosi.

2.5.1. Half-Cell Potential

Pengukuran potensial korosi merepresentasikan potensial pada baja tulangan dalam kondisi equilibrium. Potensial tersebut dapat diukur dengan membandingkan perbedaan potensial antara baja tulangan dengan elektroda referensi (*cooper-cooper sulphate*). Metode pengukuran dan peralatannya mengikuti ASTM C 876 (*Half-Cell Potentials of uncoated Reinforcing Steel in Concrete*). Rangkaian peralatan pengukuran *half-cell potential* dapat dilihat pada gambar 2.9 dibawah ini.



Gb. 2.9. Pengukuran *half-cell potential* pada beton bertulang

Pada pengukurannya, elektroda referensi diletakkan pada permukaan beton pada beberapa titik. Hasil pembacaan potensial dapat dilihat langsung pada voltmeter. Interpretasi hasil pengukuran sesuai dengan standard ASTM C 876, dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2.1. Petunjuk interpretasi hasil half-cell (sesuai ASTM C 876-91)

E_{corr} (Cu/CuSO ₄)	Probability of Corrosion
> -0.20 V	greater than 90% probability of no corrosion
-0.35 to -0.20 V	corrosion activity uncertain
< -0.35 V	greater than 90% probability of active corrosion

2.5.2. Tahanan (*Resistivity*) Beton

Tahanan beton (ohm) dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk mengetahui kecenderungan laju korosi pada baja tulangan. Konduktivitas pada beton dihubungkan dengan permeabilitasnya. Semakin tinggi tahanan ($> 20 \text{ K}\Omega$), permeabilitas beton semakin tinggi sehingga laju korosinya menjadi rendah. Sebaliknya jika tahanan rendah ($< 5 \text{ K}\Omega$), permeabilitas beton semakin rendah sehingga laju korosinya menjadi tinggi.

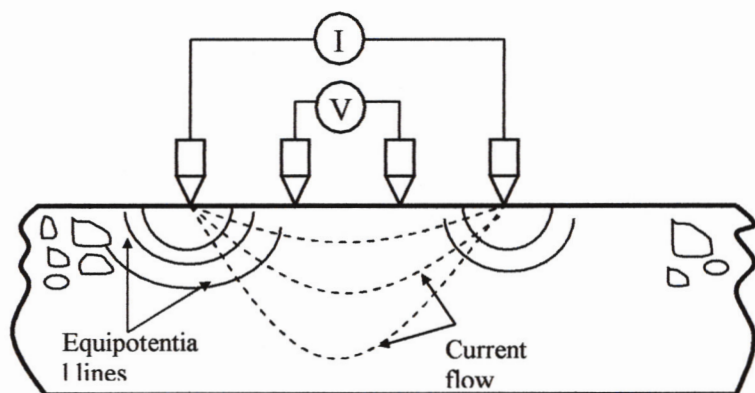
Alat yang biasa digunakan adalah *four-probe resistivity* meter atau *Werner probe*. Skematik pengukuran dengan alat tersebut dapat dilihat pada gambar 2.10. Arus diaplikasikan dua probe sisi luar dan perbedaan potensial diukur pada dua probe pada sisi dalam. Untuk *semi infinite* dan material yang homogen, tahanan beton ρ adalah :

$$\rho = 2\pi a \frac{V}{I} \quad (2.13)$$

dimana a = jarak antar elektroda

I = Arus yang diaplikasikan pada probe sisi luar (*ampere*)

V = Tegangan yang diukur sepanjang probe sisi dalam (*Volt*)



Gb. 2.10. Pengukuran resistivity dengan *four-probe resistivity meter* atau *Werner probe* (ASTM G 57-95a)

Interpretasi pengukuran dengan menggunakan *four-probe resistivity* didapat dari data empiris percobaan Langford dan Broofield (1987) yang ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 2.2. Interpretasi hasil pengukuran *resistivity* beton

Resistivity ($K\Omega.cm$)	Interpretation
> 20	Low corrosion rate
10 – 20	Low to moderate corrosion rate
5 – 10	High corrosion rate
< 5	Very high corrosion rate

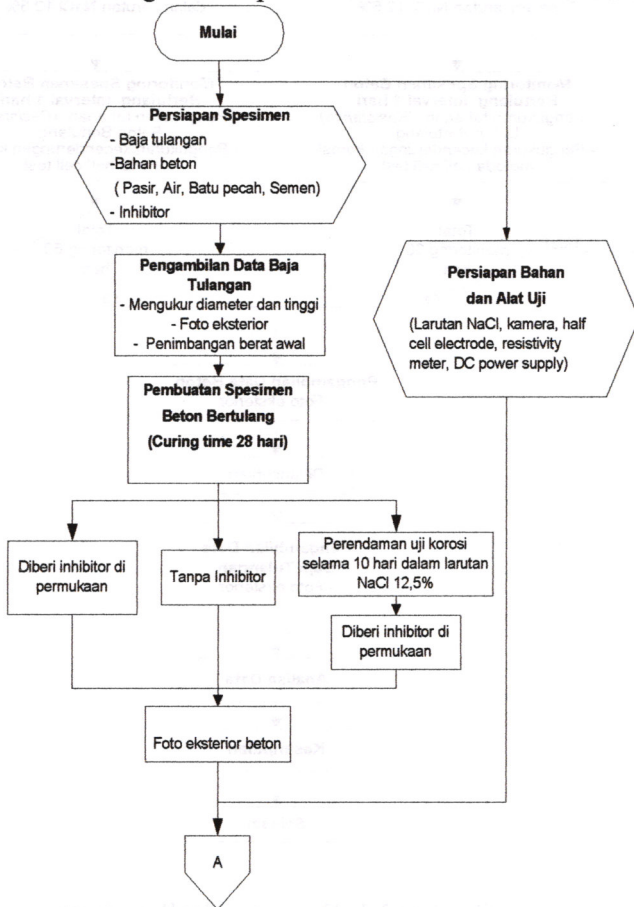


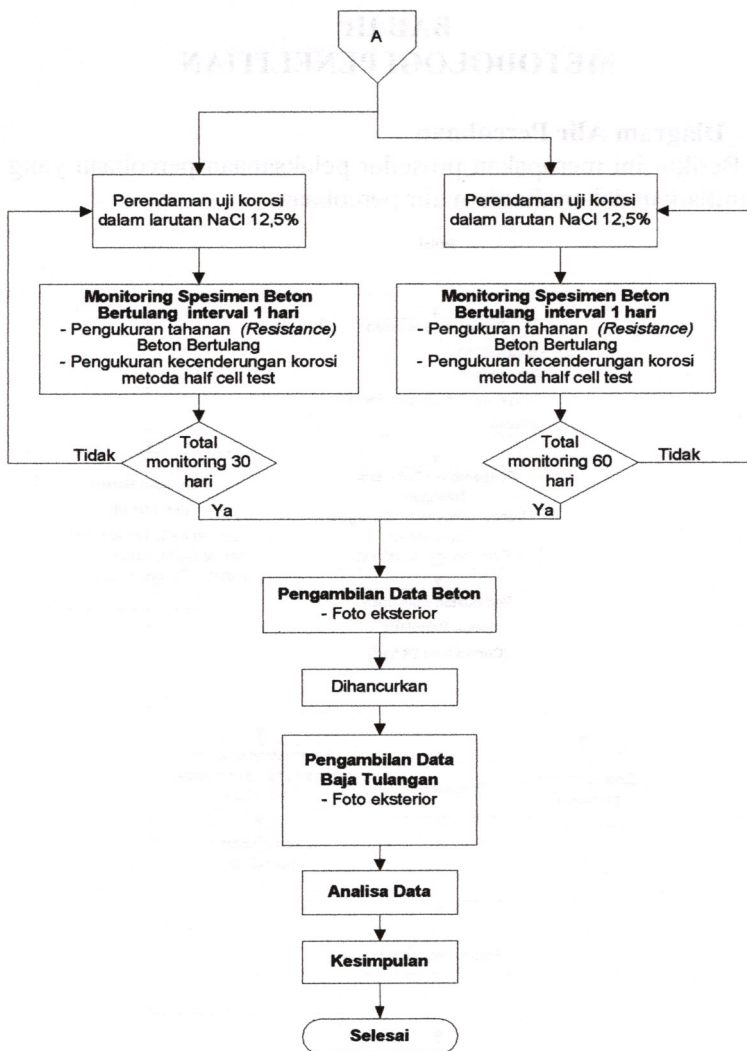
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Percobaan

Berikut ini merupakan prosedur pelaksanaan percobaan yang digambarkan dalam diagram alir percobaan.





Gambar 3.1. Diagram Alir Percobaan

3.2. Persiapan Material

3.2.1. Beton bertulang

Beton direncanakan dengan standar perancangan SK. SNI-03-2834-1993 (tata cara pembuatan campuran beton normal), yang digunakan untuk membuat beton tanpa menggunakan bahan tambahan. Adapun spesifikasi beton yang digunakan pada percobaan kali ini adalah sebagai berikut :

- Rasio W/C : 0,5 (perbandingan antara berat air bebas, *water*, dan berat semen dalam beton, *cement*).
- Tipe Semen : Portland tipe I (sesuai ASTM C150, semen untuk penggunaan umum tanpa persyaratan khusus yang digunakan untuk bangunan).
- Perbandingan pembuatan beton dengan banyak bahan tiap 1 m^3 adalah :

Semen	: 513 Kg
Agregat halus (pasir)	: 656 Kg
Agregat Kasar (batu pecah)	: 1026 Kg
Air	: 205 Kg
- Dimensi Beton
 - Bentuk : Silinder pejal
 - Panjang : 120 mm
 - Diameter : 50,8 mm (2 inch)
 - Keterangan : Cetakan terbuat dari PVC diameter 2 inch
- Dimensi baja tulangan
 - Tipe : Polos
 - Diameter : 9,5 mm (sesuai ASTM 615, No. Bar 3)
 - Panjang : 120 mm

3.2.2. Inhibitor

Jenis inhibitor Tyfo® CIS (*Volatile Corrosion Inhibitor*).

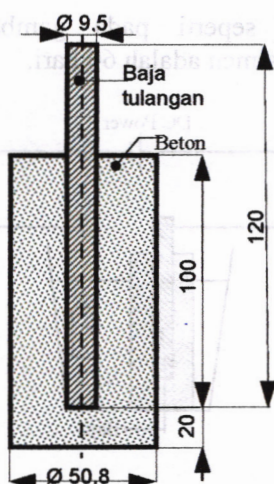
Saat pemakaian inhibitor Tyfo CIS akan berpenetrasi ke dalam beton yang selanjutnya akan berubah dari fase cair menjadi fase gas. Pada aplikasinya jenis inhibitor ini mempunyai 2 lapis

(layer). Ketika layer 1 diaplikasikan, inhibitor akan berpenetrasi ke dalam beton dan terdistribusi secara merata menuju baja tulangan untuk membuat lapisan pasif. Setelah 1 jam pemberian layer 1 selanjutnya diberi layer 2, inhibitor diharapkan berpenetrasi ke dalam beton yang akan mengontrol PH, mengisi celah (*void*) pada beton dan menghambat penetrasi air yang berasal dari kelembaban (*moisture*) lingkungan. Seluruh waktu pengeringan layer 1 dan 2 adalah 13 jam.

3.3. Pembuatan Spesimen Beton Bertulang

Pembuatan spesimen beton bertulang ini dilakukan dengan beberapa tahap sebagai berikut :

1. Bahan-bahan pembuat beton, yaitu: Semen, batu pecah dan pasir ditimbang sesuai rancangan campuran.
2. Bahan-bahan pembuat beton dimasukkan satu persatu kedalam molen pengaduk yang sebelumnya dibasahi air dengan urutan: pasir, semen, dan kerikil sambil molen dijalankan. Setelah tercampur homogen, air dimasukkan ke dalam molen.
3. PVC sebagai cetakan diolesi oli bagian dalamnya agar beton mudah dilepas.
4. Campuran no. 2 dimasukkan kedalam PVC 1/3 bagian sambil ditusuk-tusuk dan dipukul-pukul sampingnya, supaya tidak ada udara yang terjebak didalam cetakan.
5. Baja tulangan ditahan ditengah dan campuran no. 2 dimasukkan sehingga cetakan terisi semua.



Gambar 3.2. Dimensi spesimen beton bertulang (mm)

Pada beton bertulang yang telah jadi dilakukan perawatan (*curing time*) selama 28 hari.

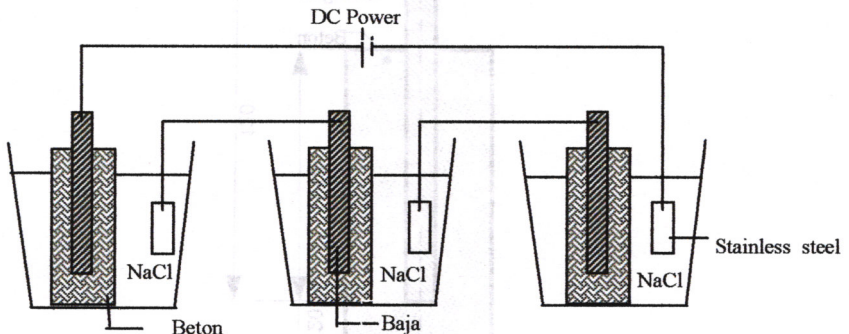
3.4. Pemberian Inhibitor

Untuk mempelajari efektivitas pengaruh metode aplikasi inhibitor ke beton maka pemberian pada permukaan beton dilakukan dengan 2 cara yaitu : diberikan sebelum dilakukan pengkondisian (*preventif*) dan diberikan setelah 10 hari pengkondisian (*korektif*).

3.5 Uji Korosi dengan Pemberian Arus Paksa

Rangkaian percobaan korosi dengan metode dipercepat (*galvanostatic*) ditunjukkan pada gambar 3.3. Beton bertulang direndam pada larutan NaCl 12,5 % dengan penambahan arus paksa pada baja tulangan. *DC power supply* dan spesimen dihubungkan secara seri dengan diberikan arus densitas konstan sebesar 5mA, kutub positif dari *DC power supply* dihubungkan pada baja tulangan sebagai anoda, sedangkan kutub negatif dihubungkan pada stainless steel sebagai katoda. Rangkaian

tersebut disusun seperti pada gambar 3.3. Total waktu pengkondisian spesimen adalah 60 hari.

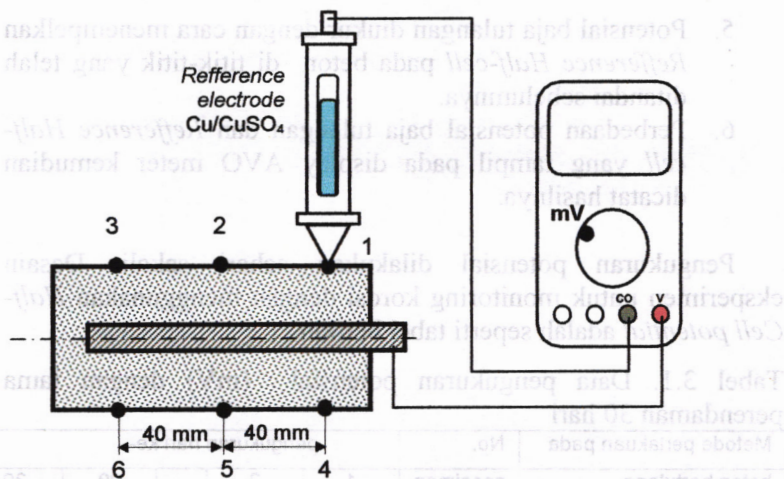


Gambar 3.3. Skema uji korosi dengan pemberian arus paksa.

3.6. Monitoring Korosi

3.6.1 Pengukuran potensial dengan *Half-Cell Potential*

Pengukuran potensial dengan menggunakan *Half-Cell Potential* ini dilakukan untuk mengetahui kecenderungan terjadinya korosi pada baja tulangan. Metode pengukuran dan peralatannya mengikuti ASTM C 876 (*Half-Cell Potentials of uncoated Reinforcing Steel in Concrete*). Rangkaian peralatan pengukuran *half-cell potential* dapat dilihat pada gambar 3.4. dibawah ini.



Gb. 3.4. Pengukuran *half-cell potential* pada beton bertulang

Peralatan :

- *Refference Half-cell* Cu/CuSO₄ merk *McMiller* model RE-5C
- AVO merk *FLUKE*
- Power Supply Dc 40 V – 5 A dengan *current regulator*.

Urutan Pelaksanaan :

1. Spesimen beton bertulang berukuran \varnothing 50,8 mm x 120 mm diberi tanda pada beton sebagai tempat pengukuran *half cell* seperti gambar 3.4.
2. Power supply sebagai pemercepat korosi dimatikan, lalu kabel dilepas dari baja tulangan dan spesimen dikeluarkan dari ember berisi NaCl 12,5%.
3. *Refference Half-cell* Cu/CuSO₄ dan AVO meter disiapkan untuk pengukuran.
4. *Refference Half-cell* dihubungkan dengan AVO meter pada kutub positif dan baja tulangan pada kutub negatif. Selector AVO diatur pada posisi mV.

5. Potensial baja tulangan diukur dengan cara menempelkan *Reference Half-cell* pada beton di titik-titik yang telah ditandai sebelumnya.
6. Perbedaan potensial baja tulangan dan *Reference Half-cell* yang tampil pada display AVO meter kemudian dicatat hasilnya.

Pengukuran potensial dilakukan sehari sekali. Desain eksperimen untuk monitoring korosi dengan menggunakan *Half-Cell potential* adalah seperti tabel berikut :

Tabel 3.1. Data pengukuran potensial (mV) dengan lama perendaman 30 hari

Metode perlakuan pada	No.	pengukuran hari ke-				
beton bertulang	spesimen	1	2	...	29	30
Tanpa inhibitor	1 ⁽¹⁾	V ₁₁₁₁	V ₁₁₂₁		V ₁₁₂₉₁	V ₁₁₃₀₁
		V ₁₁₁₂	V ₁₁₂₂		V ₁₁₂₉₂	V ₁₁₃₀₂
		V ₁₁₁₃	V ₁₁₂₃		V ₁₁₂₉₃	V ₁₁₃₀₃
		V ₁₁₁₄	V ₁₁₂₄		V ₁₁₂₉₄	V ₁₁₃₀₄
		V ₁₁₁₅	V ₁₁₂₅		V ₁₁₂₉₅	V ₁₁₃₀₅
		V ₁₁₁₆	V ₁₁₂₆		V ₁₁₂₉₆	V ₁₁₃₀₆
	1 ⁽²⁾	V ₁₂₁₁	V ₁₂₂₁		V ₁₂₂₉₁	V ₁₂₃₀₁
		V ₁₂₁₂	V ₁₂₂₂		V ₁₂₂₉₂	V ₁₂₃₀₂
		V ₁₂₁₃	V ₁₂₂₃		V ₁₂₂₉₃	V ₁₂₃₀₃
		V ₁₂₁₄	V ₁₂₂₄		V ₁₂₂₉₄	V ₁₂₃₀₄
		V ₁₂₁₅	V ₁₂₂₅		V ₁₂₂₉₅	V ₁₂₃₀₅
		V ₁₂₁₆	V ₁₂₂₆		V ₁₂₂₉₆	V ₁₂₃₀₆
	1 ⁽³⁾	V ₁₂₁₁	V ₁₃₂₁		V ₁₃₂₉₁	V ₁₃₃₀₁
		V ₁₂₁₂	V ₁₃₂₂		V ₁₃₂₉₂	V ₁₃₃₀₂
		V ₁₂₁₃	V ₁₃₂₃		V ₁₃₂₉₃	V ₁₃₃₀₃
		V ₁₂₁₄	V ₁₃₂₄		V ₁₃₂₉₄	V ₁₃₃₀₄
		V ₁₂₁₅	V ₁₃₂₅		V ₁₃₂₉₅	V ₁₃₃₀₅

		V ₁₂₁₆	V ₁₃₂₆		V ₁₃₂₉₆	V ₁₃₃₀₆
Diberi inhibitor sebelum Perendaman	2 ⁽¹⁾	V ₂₁₁₁	V ₂₁₂₁		V ₂₁₂₉₁	V ₂₁₃₀₁
		V ₂₁₁₂	V ₂₁₂₂		V ₂₁₂₉₂	V ₂₁₃₀₂
		V ₂₁₁₃	V ₂₁₂₃		V ₂₁₂₉₃	V ₂₁₃₀₃
		V ₂₁₁₄	V ₂₁₂₄		V ₂₁₂₉₄	V ₂₁₃₀₄
		V ₂₁₁₅	V ₂₁₂₅		V ₂₁₂₉₅	V ₂₁₃₀₅
		V ₂₁₁₆	V ₂₁₂₆		V ₂₁₂₉₆	V ₂₁₃₀₆
	2 ⁽²⁾	V ₂₂₁₁	V ₂₂₂₁		V ₂₂₂₉₁	V ₂₂₃₀₁
		V ₂₂₁₂	V ₂₂₂₂		V ₂₂₂₉₂	V ₂₂₃₀₂
		V ₂₂₁₃	V ₂₂₂₃		V ₂₂₂₉₃	V ₂₂₃₀₃
		V ₂₂₁₄	V ₂₂₂₄		V ₂₂₂₉₄	V ₂₂₃₀₄
		V ₂₂₁₅	V ₂₂₂₅		V ₂₂₂₉₅	V ₂₂₃₀₅
		V ₂₂₁₆	V ₂₂₂₆		V ₂₂₂₉₆	V ₂₁₃₀₆
	2 ⁽³⁾	V ₂₂₁₁	V ₂₃₂₁		V ₂₃₂₉₁	V ₂₃₃₀₁
		V ₂₂₁₂	V ₂₃₂₂		V ₂₃₂₉₂	V ₂₃₃₀₂
		V ₂₂₁₃	V ₂₃₂₃		V ₂₃₂₉₃	V ₂₃₃₀₃
		V ₂₂₁₄	V ₂₃₂₄		V ₂₃₂₉₄	V ₂₃₃₀₄
		V ₂₂₁₅	V ₂₃₂₅		V ₂₃₂₉₅	V ₂₃₃₀₅
		V ₂₂₁₆	V ₂₃₂₆		V ₂₃₂₉₆	V ₂₃₃₀₆
diberi inhibitor setelah direndam 10 hari	3 ⁽¹⁾	V ₃₁₁₁	V ₃₁₂₁		V ₃₁₂₉₁	V ₃₁₃₀₁
		V ₃₁₁₂	V ₃₁₂₂		V ₃₁₂₉₂	V ₃₁₃₀₂
		V ₃₁₁₃	V ₃₁₂₃		V ₃₁₂₉₃	V ₃₁₃₀₃
		V ₃₁₁₄	V ₃₁₂₄		V ₃₁₂₉₄	V ₃₁₃₀₄
		V ₃₁₁₅	V ₃₁₂₅		V ₃₁₂₉₅	V ₃₁₃₀₅
		V ₃₁₁₆	V ₃₁₂₆		V ₃₁₂₉₆	V ₃₁₃₀₆
	3 ⁽²⁾	V ₃₂₁₁	V ₃₂₂₁		V ₃₂₂₉₁	V ₃₂₃₀₁
		V ₃₂₁₂	V ₃₂₂₂		V ₃₂₂₉₂	V ₃₂₃₀₂
		V ₃₂₁₃	V ₃₂₂₃		V ₃₂₂₉₃	V ₃₂₃₀₃
		V ₃₂₁₄	V ₃₂₂₄		V ₃₂₂₉₄	V ₃₂₃₀₄
		V ₃₂₁₅	V ₃₂₂₅		V ₃₂₂₉₅	V ₃₂₃₀₅
					V ₃₂₂₉₆	V ₃₂₃₀₆

		V ₃₂₁₆	V ₃₂₂₆		V ₃₂₂₉₆	V ₃₁₃₀₆
		V ₃₂₁₁	V ₃₃₂₁		V ₃₃₂₉₁	V ₃₃₃₀₁
		V ₃₂₁₂	V ₃₃₂₂		V ₃₃₂₉₂	V ₃₃₃₀₂
	3 ⁽³⁾	V ₃₂₁₃	V ₃₃₂₃		V ₃₃₂₉₃	V ₃₃₃₀₃
		V ₃₂₁₄	V ₃₃₂₄		V ₃₃₂₉₄	V ₃₃₃₀₄
		V ₃₂₁₅	V ₃₃₂₅		V ₃₃₂₉₅	V ₃₃₃₀₅
		V ₃₂₁₆	V ₃₃₂₆		V ₃₃₂₉₆	V ₃₃₃₀₆

Tabel 3.2. Data pengukuran potensial (mV) dengan lama perendaman 60 hari

Metode perlakuan pada	No.	pengukuran hari ke-				
beton bertulang	spesimen	1	2	...	59	60
Tanpa inhibitor	1 ⁽⁴⁾	V ₁₄₁₁	V ₁₄₂₁		V ₁₄₅₉₁	V ₁₄₆₀₁
		V ₁₄₁₂	V ₁₄₂₂		V ₁₄₅₉₂	V ₁₄₆₀₂
		V ₁₄₁₃	V ₁₄₂₃		V ₁₄₅₉₃	V ₁₄₆₀₃
		V ₁₄₁₄	V ₁₄₂₄		V ₁₄₅₉₄	V ₁₄₆₀₄
		V ₁₄₁₅	V ₁₄₂₅		V ₁₄₅₉₅	V ₁₄₆₀₅
		V ₁₄₁₆	V ₁₄₂₆		V ₁₄₅₉₆	V ₁₄₆₀₆
	1 ⁽⁵⁾	V ₁₅₁₁	V ₁₅₂₁		V ₁₅₅₉₁	V ₁₅₆₀₁
		V ₁₅₁₂	V ₁₅₂₂		V ₁₅₅₉₂	V ₁₅₆₀₂
		V ₁₅₁₃	V ₁₅₂₃		V ₁₅₅₉₃	V ₁₅₆₀₃
		V ₁₅₁₄	V ₁₅₂₄		V ₁₅₅₉₄	V ₁₅₆₀₄
		V ₁₅₁₅	V ₁₅₂₅		V ₁₅₅₉₅	V ₁₅₆₀₅
		V ₁₅₁₆	V ₁₅₂₆		V ₁₅₅₉₆	V ₁₅₆₀₆
	1 ⁽⁶⁾	V ₁₆₁₁	V ₁₆₂₁		V ₁₆₅₉₁	V ₁₆₆₀₁
		V ₁₆₁₂	V ₁₆₂₂		V ₁₆₅₉₂	V ₁₆₆₀₂
		V ₁₆₁₃	V ₁₆₂₃		V ₁₆₅₉₃	V ₁₆₆₀₃
		V ₁₆₁₄	V ₁₆₂₄		V ₁₆₅₉₄	V ₁₆₆₀₄
		V ₁₆₁₅	V ₁₆₂₅		V ₁₆₅₉₅	V ₁₆₆₀₅
		V ₁₆₁₆	V ₁₆₂₆		V ₁₆₅₉₆	V ₁₆₆₀₆

Diberi inhibitor sebelum Perendaman	2 ⁽⁴⁾	V ₂₄₁₁	V ₂₄₂₁	V ₂₄₅₉₁	V ₂₄₆₀₁
		V ₂₄₁₂	V ₂₄₂₂	V ₂₄₅₉₂	V ₂₄₆₀₂
		V ₂₄₁₃	V ₂₄₂₃	V ₂₄₅₉₃	V ₂₄₆₀₃
		V ₂₄₁₄	V ₂₄₂₄	V ₂₄₅₉₄	V ₂₄₆₀₄
		V ₂₄₁₅	V ₂₄₂₅	V ₂₄₅₉₅	V ₂₄₆₀₅
		V ₂₄₁₆	V ₂₄₂₆	V ₂₄₅₉₆	V ₂₄₆₀₆
	2 ⁽⁵⁾	V ₂₅₁₁	V ₂₅₂₁	V ₂₅₅₉₁	V ₂₅₆₀₁
		V ₂₅₁₂	V ₂₅₂₂	V ₂₅₅₉₂	V ₂₅₆₀₂
		V ₂₅₁₃	V ₂₅₂₃	V ₂₅₅₉₃	V ₂₅₆₀₃
		V ₂₅₁₄	V ₂₅₂₄	V ₂₅₅₉₄	V ₂₅₆₀₄
		V ₂₅₁₅	V ₂₅₂₅	V ₂₅₅₉₅	V ₂₅₆₀₅
		V ₂₅₁₆	V ₂₅₂₆	V ₂₅₅₉₆	V ₂₅₆₀₆
	2 ⁽⁶⁾	V ₂₆₁₁	V ₂₆₂₁	V ₂₆₅₉₁	V ₂₆₆₀₁
		V ₂₆₁₂	V ₂₆₂₂	V ₂₆₅₉₂	V ₂₆₆₀₂
		V ₂₆₁₃	V ₂₆₂₃	V ₂₆₅₉₃	V ₂₆₆₀₃
		V ₂₆₁₄	V ₂₆₂₄	V ₂₆₅₉₄	V ₂₆₆₀₄
V ₂₆₁₅		V ₂₆₂₅	V ₂₆₅₉₅	V ₂₆₆₀₅	
V ₂₆₁₆		V ₂₆₂₆	V ₂₆₅₉₆	V ₂₆₆₀₆	
diberi inhibitor setelah Direndam 10 hari	3 ⁽⁴⁾	V ₃₄₁₁	V ₃₄₂₁	V ₃₄₅₉₁	V ₃₄₆₀₁
		V ₃₄₁₂	V ₃₄₂₂	V ₃₄₅₉₂	V ₃₄₆₀₂
		V ₃₄₁₃	V ₃₄₂₃	V ₃₄₅₉₃	V ₃₄₆₀₃
		V ₃₄₁₄	V ₃₄₂₄	V ₃₄₅₉₄	V ₃₄₆₀₄
		V ₃₄₁₅	V ₃₄₂₅	V ₃₄₅₉₅	V ₃₄₆₀₅
		V ₃₄₁₆	V ₃₄₂₆	V ₃₄₅₉₆	V ₃₄₆₀₆
	3 ⁽⁵⁾	V ₃₅₁₁	V ₃₅₂₁	V ₃₅₅₉₁	V ₃₅₆₀₁
		V ₃₅₁₂	V ₃₅₂₂	V ₃₅₅₉₂	V ₃₅₆₀₂
		V ₃₅₁₃	V ₃₅₂₃	V ₃₅₅₉₃	V ₃₅₆₀₃
		V ₃₅₁₄	V ₃₅₂₄	V ₃₅₅₉₄	V ₃₅₆₀₄
		V ₃₅₁₅	V ₃₅₂₅	V ₃₅₅₉₅	V ₃₅₆₀₅
		V ₃₅₁₆	V ₃₅₂₆	V ₃₅₅₉₆	V ₃₅₆₀₆

		V ₃₆₁₁	V ₃₆₂₁		V ₃₆₅₉₁	V ₃₆₆₀₁
		V ₃₆₁₂	V ₃₆₂₂		V ₃₆₅₉₂	V ₃₆₆₀₂
	3 ⁽⁶⁾	V ₃₆₁₃	V ₃₆₂₃		V ₃₆₅₉₃	V ₃₆₆₀₃
		V ₃₆₁₄	V ₃₆₂₄		V ₃₆₅₉₄	V ₃₆₆₀₄
		V ₃₆₁₅	V ₃₆₂₅		V ₃₆₅₉₅	V ₃₆₆₀₅
		V ₃₆₁₆	V ₃₆₂₆		V ₃₆₅₉₆	V ₃₆₆₀₆

Keterangan :

V_{abcd} Dimana : V = Data pengukuran potensial (mV) pada baja tulangan

a = Spesimen yang ke-

b = Replika yang ke-

c = Pengukuran yang ke-

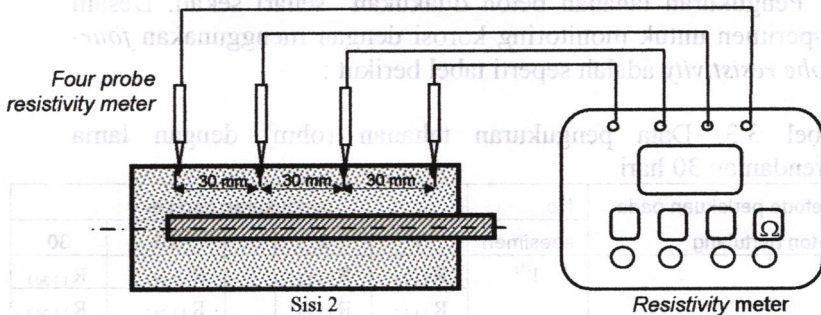
d = pengukuran di titik ke-

Contoh :

V₁₂₁₃ = Pengukuran potensial pada spesimen 1, replika ke-2 pengukuran yang ke-1 dititik 3.

3.6.2. Pengukuran tahanan beton

tahanan beton ini juga digunakan untuk mengetahui kecenderungan terjadinya korosi pada baja tulangan. Alat yang biasa digunakan adalah *four-probe resistivity meter* atau *Werner probe*. Skematik pengukuran dengan alat tersebut dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gb. 3.5. Pengukuran tahanan dengan *four-probe resistivity meter* atau *Werner probe* (ASTM G 57-95a)

Peralatan :

- *Resistivity meter* merk Metrater 2 BBC Metrawatt
- *Four probe resistivity* yang dibuat sendiri dari menggabungkan 4 probe AVO meter

Urutan Pelaksanaan:

1. Spesimen beton bertulang berukuran $\text{Ø } 50,8 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ diberi tanda pada beton sebanyak 4 buah di 2 sisi dengan jarak antar tanda 3 cm, dengan membuat lubang kecil dengan paku dengan kedalaman 0,2 cm sebagai tempat *Four probe resistivity*.
2. Power supply sebagai pemercepat korosi dimatikan dan kabel dilepas dari baja tulangan. Kemudian spesimen dikeluarkan dari ember.
3. *Resistivity meter* dan *four probe resistivity* disiapkan untuk pengukuran.
4. Tahanan beton diukur dengan cara menempelkan *probe* pada beton sesuai tanda yang telah dibuat sebelumnya.
5. Nilai *resistivity* diatur secara manual hingga penunjukan jarum pada display berada di tengah-tengah dan hasilnya dicatat pada lembar data.

Pengukuran tahanan beton dilakukan sehari sekali. Desain eksperimen untuk monitoring korosi dengan menggunakan *four-probe resistivity* adalah seperti tabel berikut :

Tabel 3.3. Data pengukuran tahanan (ohm) dengan lama perendaman 30 hari

Metode perlakuan pada beton bertulang	No. spesimen	pengukuran hari ke-				
		1	2	...	29	30
Tanpa inhibitor	1 ⁽¹⁾	R ₁₁₁₁	R ₁₁₂₁		R ₁₁₂₉₁	R ₁₁₃₀₁
		R ₁₁₁₂	R ₁₁₂₂		R ₁₁₂₉₂	R ₁₁₃₀₂
	1 ⁽²⁾	R ₁₂₁₁	R ₁₂₂₁		R ₁₂₂₉₁	R ₁₂₃₀₁
		R ₁₂₁₂	R ₁₂₂₂		R ₁₂₂₉₂	R ₁₂₃₀₂
	1 ⁽³⁾	R ₁₃₁₁	R ₁₃₂₁		R ₁₃₂₉₁	R ₁₃₃₀₁
		R ₁₃₁₂	R ₁₃₂₂		R ₁₃₂₉₂	R ₁₃₃₀₂
Diberi inhibitor sebelum Perendaman	2 ⁽¹⁾	R ₂₁₁₁	R ₂₁₂₁		R ₂₁₂₉₁	R ₂₁₃₀₁
		R ₂₁₁₂	R ₂₁₂₂		R ₂₁₂₉₂	R ₂₁₃₀₂
	2 ⁽²⁾	R ₂₂₁₁	R ₂₂₂₁		R ₂₂₂₉₁	R ₂₂₃₀₁
		R ₂₂₁₂	R ₂₂₂₂		R ₂₂₂₉₂	R ₂₂₃₀₂
	2 ⁽³⁾	R ₂₃₁₁	R ₂₃₂₁		R ₂₃₂₉₁	R ₂₃₃₀₁
		R ₂₃₁₂	R ₂₃₂₂		R ₂₃₂₉₂	R ₂₃₃₀₂
Diberi inhibitor setelah perendaman 10 hari	3 ⁽¹⁾	R ₃₁₁₁	R ₃₁₂₁		R ₃₁₂₉₁	R ₃₁₃₀₁
		R ₃₁₁₂	R ₃₁₂₂		R ₃₁₂₉₂	R ₃₁₃₀₂
	3 ⁽²⁾	R ₃₂₁₁	R ₃₂₂₁		R ₃₂₂₉₁	R ₃₂₃₀₁
		R ₃₂₁₂	R ₃₂₂₂		R ₃₂₂₉₂	R ₃₂₃₀₂
	3 ⁽³⁾	R ₃₃₁₁	R ₃₃₂₁		R ₃₃₂₉₁	R ₃₃₃₀₁
		R ₃₃₁₂	R ₃₃₂₂		R ₃₃₂₉₂	R ₃₃₃₀₂

Tabel 3.4. Data pengukuran tahanan (ohm) dengan lama perendaman 60 hari

Metode perlakuan pada beton bertulang	No. spesimen	pengukuran hari ke-				
		1	2	...	59	60
Tanpa inhibitor	1 ⁽⁴⁾	R ₁₄₁₁	R ₁₄₂₁		R ₁₄₅₉₁	R ₁₄₆₀₁
		R ₁₄₁₂	R ₁₄₂₂		R ₁₄₅₉₂	R ₁₄₆₀₂
	1 ⁽⁵⁾	R ₁₅₁₁	R ₁₅₂₁		R ₁₅₅₉₁	R ₁₅₆₀₁
		R ₁₅₁₂	R ₁₅₂₂		R ₁₅₅₉₂	R ₁₅₆₀₂
	1 ⁽⁶⁾	R ₁₆₁₁	R ₁₆₂₁		R ₁₆₅₉₁	R ₁₆₆₀₁
		R ₁₆₁₂	R ₁₆₂₂		R ₁₆₅₉₂	R ₁₆₆₀₂

Diberi inhibitor sebelum Perendaman	2 ⁽⁴⁾	R ₁₆₁₂	R ₁₆₂₂		R ₁₆₅₉₂	R ₁₆₆₀₂
		R ₂₄₁₁	R ₂₄₂₁		R ₂₄₅₉₁	R ₂₄₆₀₁
		R ₂₄₁₂	R ₂₄₂₂		R ₂₄₅₉₂	R ₂₄₆₀₂
	2 ⁽⁵⁾	R ₂₅₁₁	R ₂₅₂₁		R ₂₅₅₉₁	R ₂₅₆₀₁
		R ₂₅₁₂	R ₂₅₂₂		R ₂₅₅₉₂	R ₂₅₆₀₂
		R ₂₆₁₁	R ₂₆₂₁		R ₂₆₅₉₁	R ₂₆₆₀₁
Diberi inhibitor setelah perendaman 10 hari	3 ⁽⁴⁾	R ₃₄₁₁	R ₃₄₂₁		R ₃₄₅₉₁	R ₃₄₆₀₁
		R ₃₄₁₂	R ₃₄₂₂		R ₃₄₅₉₂	R ₃₄₆₀₂
	3 ⁽⁵⁾	R ₃₅₁₁	R ₃₅₂₁		R ₃₅₅₉₁	R ₃₅₆₀₁
		R ₃₅₁₂	R ₃₅₂₂		R ₃₅₅₉₂	R ₃₅₆₀₂
	3 ⁽⁶⁾	R ₃₆₁₁	R ₃₆₂₁		R ₃₆₅₉₁	R ₃₆₆₀₁
		R ₃₆₁₂	R ₃₆₂₂		R ₃₆₅₉₂	R ₃₆₆₀₂

Keterangan :

R_{abcd} Dimana R= Data pengukuran tahanan beton (ohm)

a = Spesimen yang ke-

b = Replika yang ke-

c = Pengukuran yang ke-

d = pengukuran di titik ke-

Contoh:

R₃₆₂₁ = Pengukuran tahanan beton pada spesimen 3, replika ke-6
pengukuran yang ke-2 dititik 1.

Keterangan
 R 1-1 : Dimensi R - Data pengujian tabung beton (ohm)


Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV DATA DAN ANALISA DATA





4.1. Pengamatan Visual

4.1.1. Sebelum pembongkaran beton

Pengamatan visual (makro) dilakukan selama 60 hari pengkondisian dan setelah beton dibongkar pada hari ke-30 dan 60. Adapun hasil pengamatannya adalah pada tabel 4.1 s/d 4.5 :

No.	Gambar	Keterangan	Catatan
1		Pengamatan visual makro sebelum pembongkaran beton	Tidak terdapat retakan yang signifikan.
2		Pengamatan visual makro setelah 30 hari pengkondisian	Terdapat retakan halus yang mulai muncul.
3		Pengamatan visual makro setelah 60 hari pengkondisian	Retakan semakin lebar dan banyak.

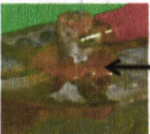


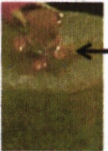
Tabel 4.1. Pengamatan visual spesimen selama 60 hari pengkondisian

No	Item Pengamatan	Spesimen (II-10)			
		(II) Tanpa pemberian inhibitor	Pengkondisian awal 10 hari, pemberian inhibitor dan pengkondisian dilanjutkan		(I) Pemberian inhibitor sebelum pengkondisian
			Sebelum pemberian inhibitor	Setelah pemberian inhibitor	
1	Bagian baja tulangan yang tereks- pose udara 	<ul style="list-style-type: none"> Hari ke-1, pada baja tulangan terdapat beberapa bagian permukaan terjadi korosi berwarna oranye.  <ul style="list-style-type: none"> Hari ke-4, pada baja tulangan korosi yang terjadi mulai merata berwarna oranye. Hari ke-6, pada baja tulangan terkorosi (warna oranye) sudah merata. Spesimen beton dibersihkan, kemudian diberi inhibitor dan dilanjutkan pengamatan setelah pemberian inhibitor. 	<ul style="list-style-type: none"> Hari ke-1, pada baja tulangan bagian atas terjadi korosi berwarna oranye.  <ul style="list-style-type: none"> Hari ke-4, pada baja tulangan korosi yang terjadi mulai merata berwarna oranye. Hari ke-6, pada baja tulangan terkorosi (warna oranye) sudah merata. Spesimen beton dibersihkan, kemudian diberi inhibitor dan dilanjutkan pengamatan setelah pemberian inhibitor. 	<ul style="list-style-type: none"> Hari ke-1, seluruh permukaan baja tulangan berwarna oranye (terkorosi). 	<ul style="list-style-type: none"> Hari ke-1, pada baja tulangan dibagian samping terjadi korosi berwarna oranye.  <ul style="list-style-type: none"> Hari ke-4, proses korosi pada baja tulangan hampir terjadi diseluruh permukaan. Hari ke-6, proses korosi terus berlanjut sehingga menutupi seluruh permukaan baja tulangan.








Lanjutan Tabel 4.1

No	Item Pengamatan	Spesimen			
		(T1)	(TI-10)		(I)
		Tanpa pemberian inhibitor	Pengkondisian awal 10 hari, pemberian inhibitor dan pengkondisian dilanjutkan		Pemberian inhibitor sebelum pengkondisian
		Sebelum pemberian inhibitor	Setelah pemberian inhibitor		
2	Elektrolit (NaCl)	<ul style="list-style-type: none"> Hari ke-1, Elektrolit berwarna bening. Hari ke-11, elektrolit disekeliling beton berubah warna kecoklatan. Hari ke-15, elektrolit disekeliling beton berwarna tambah coklat. Hari ke-20, elektrolit diganti dengan yang baru. Fenomena yang relatif sama seperti pada hari ke-1 s/d hari ke-19 Hari ke-40, elektrolit diganti dengan yang baru. Fenomena yang relatif sama seperti pada hari ke-1 s/d hari ke-19 	<ul style="list-style-type: none"> Hari ke-10, Elektrolit disekeliling beton mulai berubah warna kecoklatan. Elektrolit diganti dengan yang baru. Spesimen beton dibersihkan, kemudian diberi inhibitor dan dilanjutkan pengamatan setelah pemberian inhibitor. 	<ul style="list-style-type: none"> Hari ke-12, Elektrolit disekeliling beton berubah warna kecoklatan. Hari ke-16, elektrolit disekeliling beton berwarna tambah coklat. Hari ke-20, penggantian elektrolit dengan yang baru. Fenomena yang relatif sama seperti pada hari ke-1 s/d hari ke-19 Hari ke-40, penggantian elektrolit dengan yang baru. Fenomena yang relatif sama seperti pada hari ke-1 s/d hari ke-19 	<ul style="list-style-type: none"> Hari ke-13, Elektrolit disekeliling beton berubah warna kecoklatan. Antara hari ke-16 dan 17, elektrolit disekeliling beton berwarna tambah coklat.

Lanjutan tabel 4.1

No	Item Pengamatan	Spesimen			
		(II) Tanpa pemberian inhibitor	(II-10) Pengkondisian awal 10 hari, pemberian inhibitor dan pengkondisian dilanjutkan		(I) Pemberian inhibitor sebelum pengkondisian
			Sebelum pemberian inhibitor	Setelah pemberian inhibitor	
3	Cairan yang keluar di bagian atas antarmuka beton dan baja  ← cairan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hari ke-3, spesimen mengeluarkan cairan kecoklatan dari bagian atas antarmuka beton dan baja dengan jumlah banyak.  ← cairan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hari ke-3, spesimen mengeluarkan cairan kecoklatan bagian atas antarmuka beton dan baja dengan jumlah sedikit.  ← cairan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hari ke-4, spesimen mengeluarkan cairan kecoklatan dari bagian atas antarmuka beton dan baja seperti sebelum pemberian inhibitor.  ← cairan	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hari ke-8, cairan yang dikeluarkan dengan jumlah tetap dan warna bertambah keruh. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hari ke-10 cairan tetap keluar dengan jumlah semakin banyak dari sebelumnya. ▪ Spesimen beton dibersihkan, kemudian diberi inhibitor dan dilanjutkan pengamatan setelah pemberian inhibitor. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hari ke-7, cairan tetap keluar dengan jumlah lebih banyak dan warna bertambah keruh. 		

Lanjutan tabel 4.1

No	Item Pengamatan	Spesimen			
		(II) Tanpa pemberian inhibitor	(TI-10) Pengkondisian awal 10 hari, pemberian inhibitor dan pengkondisian dilanjutkan		(I) Pemberian inhibitor sebelum pengkondisian
			Sebelum pemberian inhibitor	Setelah pemberian inhibitor	
4	Eksterior beton	 <ul style="list-style-type: none"> • Hari ke-1, di bagian yang tidak terendam larutan NaCl, beton berwarna abu-abu sedangkan pada bagian yang terendam larutan NaCl berwarna abu-abu sedikit gelap. • Hari ke-2, semua bagian beton berwarna abu-abu sedikit gelap. • Hari ke-4, eksterior beton di beberapa bagian berwarna coklat kemerahan terutama pada bagian atas beton. <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 5px;">Tidak terendam</div>  </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="margin-right: 5px;">Terendam</div>  </div>	 <ul style="list-style-type: none"> • Hari ke-1, eksterior beton di bagian yang tidak terendam larutan NaCl masih berwarna putih salju seperti gambar diatas, sedangkan bagian yang terendam larutan NaCl berwarna coklat kemerahan. • Hari ke-2, eksterior beton berubah warna menjadi coklat kemerahan. 	 <ul style="list-style-type: none"> • Hari ke-1, di bagian yang tidak terendam larutan NaCl, beton masih berwarna putih salju seperti gambar diatas, sedangkan bagian yang terendam larutan NaCl berwarna abu-abu sedikit gelap. • Hari ke-2, semua bagian beton berubah warna menjadi abu-abu sedikit gelap. • Hari ke-4, eksterior beton di beberapa bagian sedikit berwarna coklat kemerahan (parsial). 	

Lanjutan 4.1

No	Item Pengamatan	Spesimen			
		(T1)	(T1-10)		(I)
		Tanpa pemberian inhibitor	Pengkondisian awal 10 hari, pemberian inhibitor dan pengkondisian dilanjutkan		Pemberian inhibitor sebelum pengkondisian
		Sebelum pemberian inhibitor	Setelah pemberian inhibitor		
		<ul style="list-style-type: none"> Hari ke-10, eksterior beton berubah warna menjadi coklat kemerahan.  <ul style="list-style-type: none"> Hari ke-17, pada spesimen muncul endapan coklat kemerahan.  <ul style="list-style-type: none"> Hari ke-22, warna eksterior beton menjadi coklat tua kemerahan seperti gambar diatas. 	<p>Hari ke-10, Spesimen beton dibersihkan, kemudian diberi inhibitor dan dilanjutkan pengamatan setelah pemberian inhibitor.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Hari ke-5, pada spesimen muncul endapan coklat kemerahan  <ul style="list-style-type: none"> Hari ke-10, warna eksterior beton menjadi coklat tua kemerahan seperti gambar diatas. 	<ul style="list-style-type: none"> Hari ke-5, spesimen muncul endapan coklat kemerahan.  <ul style="list-style-type: none"> Hari ke-10, eksterior beton berubah warna menjadi coklat kemerahan.  <ul style="list-style-type: none"> Hari ke-25, warna eksterior beton menjadi coklat tua kemerahan. 

Pembahasan

Pada hari pertama elektrolit berwarna bening, setelah hari ke-11 elektrolit berubah warna menjadi kecoklatan disekeliling beton. Hari ke-15 elektrolit disekeliling beton bertambah coklat. Hal yang mempengaruhinya adalah karena kontaminasi dari air bercampur produk korosi (berwarna coklat kemerahan) yang berasal dari dalam beton. Perubahan warna ini terjadi juga setelah dilakukan penggantian elektrolit pada hari ke-20

Uap air yang berubah menjadi embun dan menempel di baja tulangan yang terekspose di udara menyebabkan terjadi korosi merata (*general corrosion*). korosi ini terjadi karena adanya aspek metalurgi, yaitu baja tersebut terdapat perbedaan potensial yang menyebabkan sebagian bersifat anodik dan sebagian lainnya bersifat katodik. Kondisi dimana adanya anoda dan katoda terhubung secara elektrolit dan elektronik, maka korosi terjadi. Saat proses korosi merata terjadi, pada baja tersebut berubah warna dari abu-abu menjadi oranye. Proses ini terus berlanjut sampai baja tulangan yang terekspose di udara seluruhnya berwarna oranye.

Pada bagian atap eksterior beton terlihat warna coklat kemerahan yang muncul dari antarmuka beton baja. Cairan ini muncul diakibatkan kontaminasi dari cairan elektrolit bercampur produk korosi menuju permukaan atas (sisi aksial) beton. Cairan pada spesimen TI muncul bersamaan dengan cairan pada spesimen TI-10 saat sebelum pemberian inhibitor. Dengan pemberian inhibitor pada spesimen TI-10 cairan muncul lebih lama dibandingkan dengan sebelumnya. Sedangkan pada spesimen I cairan tersebut muncul lebih lama dibandingkan dengan yang lainnya dikarenakan inhibitor memperkecil pori beton sehingga menghambat elektrolit keluar menuju keatas.

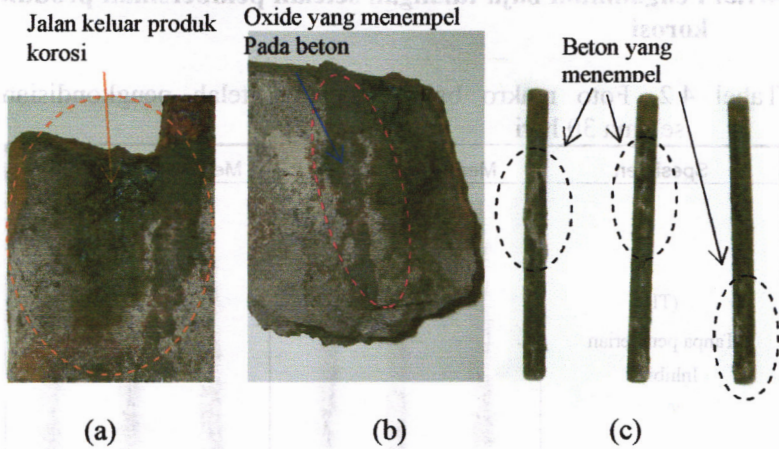
Pada bagian dinding eksterior beton yang tidak terendam elektrolit berwarna abu-abu pada hari-1. hari ke-2 berubah warna menjadi abu-abu sedikit gelap karena elektrolit sudah berdifusi

pada seluruh permukaan beton. Pada hari ke-10 berwarna coklat kemerahan disebabkan cairan yang berada di atas meluber sehingga mengubah warna dinding eksterior beton yang tidak terendam.

Pada bagian dinding eksterior beton yang terendam elektrolit mengeluarkan endapan yang berasal dari dalam beton. Elektrolit yang telah menembus ke dalam pori beton dan mengenai baja, maka akan bereaksi sehingga menghasilkan produk korosi. Elektrolit bercampur produk korosi ini tidak dapat keluar melalui antarmuka beton dan baja menuju ke atas sehingga mencari jalan keluar lain yaitu kembali melalui pori beton menjadi endapan. Endapan pada spesimen I keluar lebih dahulu dibandingkan dengan yang lainnya. Pada spesimen TI dan TI-10 endapan keluar hampir bersamaan. Selain endapan muncul dari dalam beton, endapan juga muncul pada batas elektrolit di beton. Endapan ini muncul karena ketidakmampuan elektrolit bercampur dengan produk korosi untuk naik lagi sehingga keluar pada batas elektrolit di beton.

4.1.2. Saat pembongkaran beton

Pembongkaran beton dilakukan pada hari ke-30 dan 60. Pada waktu pembongkaran terlihat warna kehitaman pada beton didekat baja tulangan (gambar 4.1a) yang merupakan jalan keluar produk korosi pada baja tulangan. Pada sisi antarmuka beton dan baja, terlihat warna coklat kehitaman yang merata sepanjang beton (gambar 4.1b) yaitu menempelnya oxide pada beton saat pembongkaran.



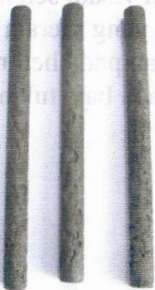
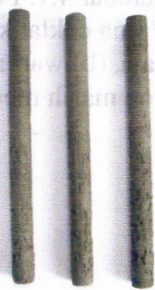




Gambar 4.1. Pengamatan visual setelah pembongkaran :


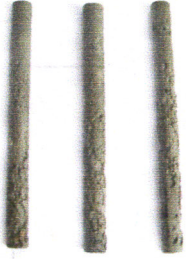

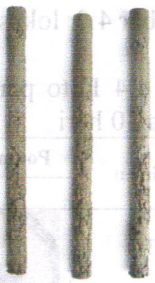


- (a).Warna coklat kehitaman yang merata pada antarmuka beton dan baja, (b).warna kehitaman pada beton didekat baja tulangan
- (c).Beton masih menempel pada baja tulangan saat pembongkaran

4.1.3. Pengamatan baja tulangan setelah pembersihan produk korosi

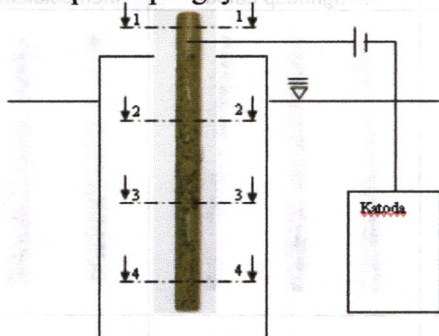
Tabel 4.2. Foto makro baja tulangan setelah pengkondisian selama 30 hari

Spesimen	Menghadap katoda	Membelakangi katoda
(II) Tanpa pemberian Inhibitor		
(II-10) Pengkondisian awal 10 hari, pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan		
(I) pemberian inhibitor Sebelum pengkondisian		

Tabel 4.3. Foto makro baja tulangan setelah pengkondisian selama 60 hari

Spesimen	Menghadap katoda	Membelakangi katoda
<p>(II) Tanpa pemberian Inhibitor</p>		
<p>(II-10) Pengkondisian awal 10 hari, pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan</p>		
<p>(I) pemberian inhibitor Sebelum pengkondisian</p>		

Untuk mengetahui daerah korosi yang terjadi pada ketiga spesimen, maka baja tulangan dipotong menjadi empat bagian agar dapat dilihat penampangnya.

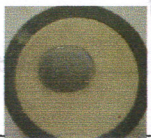
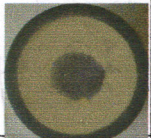
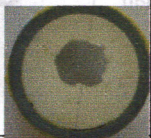
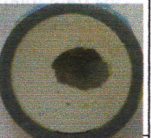

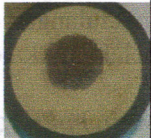
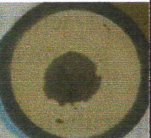

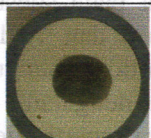

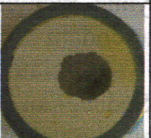



Gambar 4.2 lokasi pemotongan pada spesimen terhadap katoda

Tabel 4.4 Foto penampang baja tulangan setelah pengkondisian selama 30 hari

Spesimen	Potongan 1-1	Potongan 2-2	Potongan 3-3	Potongan 4-4
	Sisi membelakangi katoda			
(TI) Tanpa pemberian inhibitor				
(TI-10) Pengkondisian awal 10 hari, pemberian inhibitor dan pengkondisian dilanjutkan				
(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengkondisian				
	Sisi menghadap katoda			

Tabel 4.5 Foto penampang baja tulangan setelah pengkondisian selama 60 hari

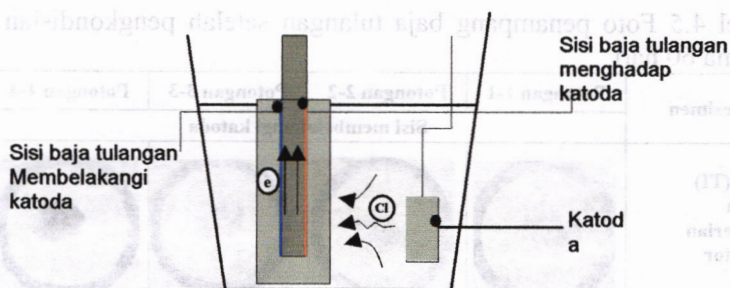
Spesimen	Potongan 1-1	Potongan 2-2	Potongan 3-3	Potongan 4-4
	Sisi membelakangi katoda			
(TI) Tanpa pemberian inhibitor				
(TI-10) Pengkondisian awal 10 hari, pemberian inhibitor dan pengkondisian dilanjutkan				
(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengkondisian				
	Sisi menghadap katoda			

Berdasarkan foto makro dan penampang baja tulangan maka dilakukan analisa terhadap daerah korosi yang terjadi.

a. Distribusi *pitting* pada baja tulangan

Secara umum baik spesimen TI, TI-10, I mengalami distribusi *pitting* yang merata pada sisi baja tulangan yang menghadap katoda dibanding sisi yang membelakanginya (tabel 4.2 dan 4.3). Hal ini disebabkan karena penempatan katoda hanya pada salah satu sisi spesimen saja, sehingga aliran elektron akibat adanya arus pemercepat hanya pada sisi tersebut. Akibatnya ion klorida masuk pada sisi yang sama sehingga menimbulkan serangan *pitting* yang parah.





Gambar 4.3. Daerah baja tulangan (sisi menghadap dan membelakangi katoda)

b. Tingkat keparahan (*severity*) pitting

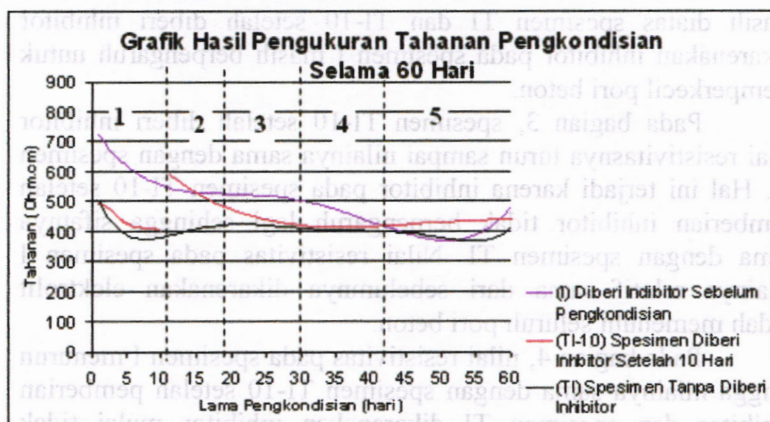
Pitting yang mengumpul dijumpai pada spesimen bagian bawah yang terendam elektrolit (bagian 3 dan 4) dibandingkan pada bagian 2 yang relatif merata namun tidak mengumpul (tabel 4.4 dan 4.5). Sedangkan bagian 1 hanya mengalami *atmospheric corrosion* karena kontaknya dengan udara seperti dijelaskan pada sub bab 4.1.

Pada gambar penampang (tabel 4.4 dan 4.5) terlihat bahwa pitting yang dialami spesimen TI dan TI-10 relatif lebih parah dilihat dari hilangnya berat baja tulangan. Karakter pitting yang terjadi adalah merata dan tidak mengumpul. Sedangkan pada spesimen I karakter pitting yang terjadi tidak merata dan mengumpul sehingga pitting relatif tidak parah.

4.2. Test korosi

4.2.1. Resistivitas beton

Resistivitas beton selama 60 hari yang diambil dengan interval 1 hari terlihat dibawah ini. Adapun data lengkap pengukurannya dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.4. Trend resistivitas beton

Untuk mempermudah analisa resistivitas beton, maka grafik dibagi menjadi 5 bagian. Adapun analisisnya adalah sebagai berikut :

Pada bagian 1, nilai resistivitas beton dari spesimen TI-10 sebelum pemberian inhibitor nilainya sama dengan spesimen TI sebesar 500 ohm.cm, sedangkan pada spesimen I nilainya paling tinggi dibandingkan dengan yang lainnya sebesar 725 ohm.cm, kemudian ketiga nilainya relatif turun hingga di hari ke-10 dikarenakan mulai masuknya elektrolit ke dalam pori beton sehingga menurunkan resistivitas spesimen tersebut.

Pada bagian 2, spesimen TI-10 setelah 10 hari pengkondisian, dibersihkan kemudian diberi inhibitor sehingga meningkatkan nilai resistivity sebesar 22% dari sebelumnya. Hal ini terjadi karena inhibitor dapat memperkecil pori-pori beton sehingga elektrolit sulit masuk ke dalam pori beton. Nilai resistivitas di spesimen TI meningkat dikarenakan adanya proses hidrasi pada beton. Proses hidrasi ini adalah proses reaksi semen dan agregat dengan air yang menghasilkan pori beton lebih kecil dari semula. Pada spesimen I nilai resistivitas turun tapi nilainya

masih diatas spesimen TI dan TI-10 setelah diberi inhibitor dikarenakan inhibitor pada spesimen I masih berpengaruh untuk memperkecil pori beton.

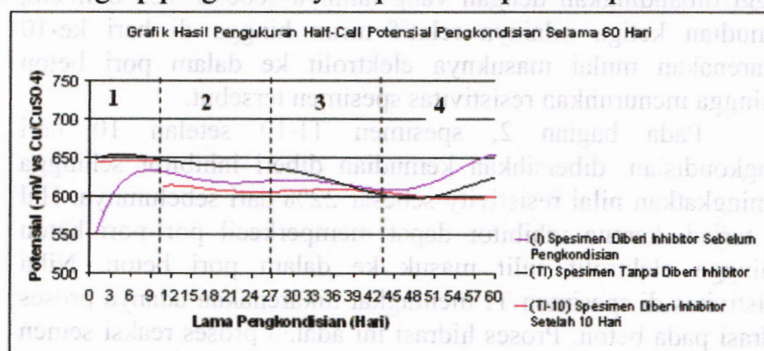
Pada bagian 3, spesimen TI-10 setelah diberi inhibitor nilai resistivitasnya turun sampai nilainya sama dengan spesimen TI. Hal ini terjadi karena inhibitor pada spesimen TI-10 setelah pemberian inhibitor tidak berpengaruh lagi sehingga sifatnya sama dengan spesimen TI. Nilai resistivitas pada spesimen I nilainya relatif sama dari sebelumnya dikarenakan elektrolit sudah memenuhi seluruh pori beton.

Pada bagian 4, nilai resistivitas pada spesimen I menurun hingga nilainya sama dengan spesimen TI-10 setelah pemberian inhibitor dan spesimen TI dikarenakan inhibitor mulai tidak berpengaruh lagi sehingga sifatnya sama dengan yang lainnya.

Pada bagian 5, nilai resistivitas untuk 3 spesimen tidak dapat kita tentukan yang mana lebih besar karena untuk ketiga spesimen diasumsikan sama.

4.2.2. Half cell

Gambar dibawah ini adalah grafik dari pengukuran *half cell* selama 60 hari yang diambil dengan interval 1 hari. Adapun data lengkap pengukurannya dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.5. Trend pengukuran *half cell*

Berdasarkan kriteria ASTM C 876, potensial korosi pada ketiga spesimen tergolong sangat tinggi (*severe*) yaitu diatas -500 mV vs Cu/CuSO₄. Hal ini disebabkan karena tes menggunakan metode dipercepat dengan menggunakan pemberian arus densitas $150 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ dan ketebalan selimut beton yang relatif tipis (20,65 mm). Untuk mempermudah analisa potensial korosi, maka grafik dibagi menjadi 4 bagian. Adapun analisisnya adalah sebagai berikut :

Pada Bagian 1, spesimen TI dan TI-10 sebelum diberi inhibitor mempunyai nilai potensial yang hampir sama. Pada spesimen I nilai potensialnya paling rendah dibandingkan dengan yang lainnya, kemudian nilainya meningkat dikarenakan proses korosi pada baja semakin meningkat. Dari ketiga nilai potensial tersebut dapat kita ketahui bahwa kecenderungan terkorosi dari terbesar ialah spesimen TI, TI-10, dan I.

Pada bagian 2, nilai potensial pada spesimen TI-10 setelah diberi inhibitor menurun dari sebelumnya. Hal ini terjadi karena inhibitor menurunkan kecenderungan korosi dari spesimen tersebut. ketiga spesimen memasuki daerah pasif, dimana kecenderungan korosi menurun dari keadaan semula.

Pada bagian 3 ini juga daerah pasif. Pada grafik terlihat bahwa spesimen TI mengalami penurunan lebih banyak dibandingkan dengan bagian ke-2. Penurunan potensial tersebut disebabkan lapisan oxide yang sudah merata pada permukaan baja tulangan.

Pada bagian ke-4, ketiga spesimen memasuki daerah transpasif dimana kecenderungan korosi mulai meningkat lagi. Untuk ketiga spesimen tidak dapat kita tentukan potensial mana yang lebih besar dikarenakan inhibitor pada spesimen I dan TI-10 setelah diberi inhibitor tidak berpengaruh lagi seperti dijelaskan pada sebelumnya.

Berdasarkan literatur ASTM C 876 potensial korosi pada ketiga spesimen tergolong sangat tinggi ($\text{current} > 300 \mu\text{V}$ vs Cu/Cu^{2+}). Hal ini disebabkan karena tes menggunakan metode dipotensial dengan menggunakan potensial arus densitas $150 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ dan potensial selunit beton yang relatif tipis (20.65 mm). Link memperoleh analisis potensial korosi maka grafik yang menjadi 4 bagian. Adapun analisisnya adalah sebagai berikut :

Pada Bagian 1, spesimen I dan II-10 sebelum diberi inhibitor mempunyai nilai potensial yang hampir sama. Pada spesimen 1 nilai potensialnya paling rendah dibandingkan dengan yang lainnya. Kemudian nilainya meningkat dikarenakan proses korosi pada baja semakin meningkat. Dan ketiga nilai potensial tersebut dapat kita ketahui bahwa kecenderungan terkorosi dari terdapat dalam spesimen II, II-10, dan I.

Pada bagian 2, nilai potensial pada spesimen II-10 setelah diberi inhibitor sangat rendah. Hal ini terjadi karena inhibitor tersebut memiliki kemampuan untuk dapat spesimen tersebut. Ketiga spesimen memiliki data yang berbeda-beda. Kecenderungan korosi menurun dan keadaan semakin stabil.

Pada bagian 3 ini juga dapat kita lihat grafik terlihat bahwa spesimen II mengalami penurunan lebih banyak dibandingkan dengan bagian ke-2. Peruntukan potensial tersebut disebabkan karena oksida yang sudah terakumulasi pada permukaan baja.

Pada bagian ke-4 ketiga spesimen memiliki data yang berbeda-beda. Kecenderungan korosi mulai meningkat lagi. Untuk ketiga spesimen tidak dapat kita tentukan potensial mana yang lebih besar dikarenakan inhibitor pada spesimen I dan II-10 setelah diberi inhibitor tidak berpengaruh lagi seperti dijabarkan pada sebelumnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sisi baja tulangan yang menghadap katoda lebih banyak terserang korosi dibandingkan dengan bagian yang lain. Bentuk korosi yang terjadi ialah korosi pitting. Pada spesimen tanpa diberi inhibitor (TI) dan spesimen diberi inhibitor setelah 10 hari (TI-10) *pitting* yang terjadi merata dan tidak mengumpul sedangkan pada spesimen diberi inhibitor sebelum pengkondisian (I) *pitting* yang terjadi cenderung mengumpul dan tidak merata.
2. Pengaruh inhibitor yang berada pada beton bertulang hanya bertahan sampai hari ke-43. Hal ini ditunjukkan dengan nilai resistivitas dan half-cell pada spesimen yang diberi inhibitor yang hampir sama dengan spesimen TI.
3. Semua baja tulangan pada beton bertulang baik yang diberi inhibitor maupun tanpa diberi inhibitor terjadi korosi, tetapi tingkat korosi yang terjadi berbeda-beda. Urutan tingkat korosi dari yang terparah yaitu spesimen Tanpa diberi inhibitor (TI), diberi inhibitor setelah 10 hari (TI-10) , dan diberi inhibitor sebelum pengkondisian (I).
4. Metode pemberian inhibitor diawal sebelum pengkondisian lebih efektif dibandingkan dengan setelah 10 hari pengkondisian. Hal ini ditunjukkan dengan nilai resistivitas dari spesimen TI-10 harganya sama dengan spesimen TI lebih dahulu dibandingkan dengan spesimen I.

5.2. Saran

Berikut saran-saran yang dapat diberikan untuk menunjang pengembangan penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Penelitian strategi proteksi korosi penggunaan coating pada baja tulangan.
2. Penggunaan katoda dengan geometri yang menjamin diffusi ion khlorida dapat berjalan dari segala arah.

LAMPIRAN 1

TABEL DATA PENGUJIAN

Tabel A. Data Resistivitas Beton

Pengukuran resistivity dengan lama perendaman 30 hari

Metode perlakuan pada beton bertulang	No. spesimen	Hari ke-													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
(Ti) Tanpa pemberian inhibitor	13	167	158	117	106	108	108	104	110	109	113	113	120	114	
		146	123	98	90	89	89	89	92	92	99	98	98	96	
	14	235	281	235	206	209	199	179	192	188	199	199	201	186	
		220	225	222	196	203	199	179	197	195	189	190	213	185	
	15	156	147	149	141	140	147	138	152	140	143	149	166	160	
		150	135	132	121	124	130	128	132	130	133	136	165	163	
(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengkondisian	7	230	192	176	136	132	127	126	138	149	153	163	194	188	
		295	219	198	144	145	134	132	143	144	150	168	174	163	
	8	206	195	176	136	136	126	125	135	140	144	149	159	160	
		434	371	218	175	205	194	185	208	206	220	235	277	251	
	9	432	423	300	110	188	207	195	216	221	234	234	297	296	
		450	400	305	105	116	118	116	126	128	130	135	140	139	
(Ti-10) Pengkondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan	Sebelum Pemberian inhibitor	1	149	148	147	134	137	140	135	144	130	123			
			319	325	337	304	285	274	254	278	250	225			
		2	144	144	145	146	145	140	150	149	147	148			
	126		126	127	119	121	125	130	129	123	118				
	3	126	128	129	125	119	128	129	127	126	125				
		135	130	129	125	131	131	133	131	136	146				
	Setelah Pemberian inhibitor	1	135	192	164	150	137	137	133	132	120	142	122	119	100
			139	145	150	346	342	320	310	325	310	324	220	197	167
		2	199	175	139	129	134	132	119	138	141	144	131	134	137
			198	750	119	113	115	116	101	118	119	116	107	106	107
		3	213	174	137	110	110	104	102	115	109	111	121	116	109
			200	180	150	130	132	126	120	130	128	126	136	131	125

Metode perlakuan pada beton bertulang	No.		Hari ke-													
	spesimen		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
(TI) Tanpa pemberian inhibitor	13		116	114	116	118	121	117	128	125	125	121	122	123	120	
			96	94	103	99	97	98	102	100	101	100	96	93	90	
	14		192	209	206	203	204	195	194	193	194	199	194	193	200	
			193	209	196	200	203	205	197	204	210	213	192	193	183	
	15		161	167	158	166	165	153	167	163	162	153	156	163	167	
			152	156	152	157	152	152	163	162	166	156	158	153	158	
(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengkondisian	7		184	190	204	203	222	221	228	216	216	209	206	203	178	
			169	186	176	186	194	193	183	180	176	175	178	175	168	
	8		167	149	183	189	218	223	211	211	213	214	186	158	159	
			240	270	259	281	278	295	288	273	269	264	255	288	229	
	9		296	319	362	341	369	374	357	331	345	347	299	264	210	
			136	149	142	147	149	152	152	151	152	146	135	114	115	
(TI-10) Pengkondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan	Sebelum Pemberian inhibitor	1														
		2														
		3														
	Setelah Pemberian inhibitor	1		113	115	116	121	126	116	118						
				172	173	176	188	197	193	169						
		2		132	136	134	134	152	143	133						
				108	113	113	114	130	119	113						
		3		117	121	121	113	143	129	121						
				127	129	125	121	140	139	125						

Metode perlakuan pada beton bertulang	No. spesimen	Hari ke-			
		27	28	29	30
(TI) Tanpa pemberian inhibitor	13	125	121	115	140
		103	94	94	104
	14	203	203	181	258
		196	195	185	238
	15	171	175	159	252
		184	186	183	230
(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengkondisian	7	188	186	180	267
		222	222	191	250
	8	154	156	162	162
		218	217	182	226
	9	238	230	221	293
		121	123	127	150
(TI-10) Pengkondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan	Sebelum Pemberian inhibitor	1			
		2			
		3			
	Setelah Pemberian inhibitor	1			
		2			
		3			

Pengukuran resistivity dengan lama perendaman 60 hari

Metode perlakuan pada beton bertulang		No. spesimen	Hari ke-												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(Ti) Tanpa pemberian inhibitor	16	194	167	154	145	140	136	131	142	140	143	146	154	150	
		211	171	166	133	125	129	117	130	132	134	138	141	138	
	17	189	176	124	107	110	109	108	118	114	115	120	127	120	
		164	134	121	110	114	115	110	118	119	116	121	127	124	
	18	105	95	89	79	81	82	76	82	77	79	80	82	81	
		105	92	84	79	81	80	77	81	76	81	80	80	80	
(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengkondisian	10	430	403	150	136	140	148	126	147	148	149	143	140	138	
		326	317	160	216	239	227	222	225	250	261	258	250	253	
	11	237	244	210	187	179	203	183	198	187	188	188	187	189	
		219	184	160	127	138	136	133	128	131	129	136	138	135	
	12	277	282	289	147	169	156	125	168	205	192	190	188	186	
		209	172	274	156	180	266	125	144	134	136	136	138	135	
(Ti-10) Pengkondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan	Sebelum Pemberian inhibitor	4	178	189	189	174	165	171	175	184	186	189			
			128	129	129	112	120	121	122	126	125	125			
		5	269	243	242	184	166	156	149	140	138	137			
			219	189	182	196	182	185	155	166	163	158			
		6	189	186	184	171	162	162	159	149	149	149			
			219	216	210	199	199	197	194	179	180	189			
	Setelah Pemberian inhibitor	4	164	167	203	212	193	179	163	172	168	166	179	169	162
			190	160	141	120	120	116	110	118	89	108	129	123	121
		5	167	167	200	270	174	260	260	274	260	264	126	119	113
			186	186	214	188	194	194	196	224	192	214	152	156	163
		6	199	185	210	210	192	187	163	182	170	161	145	143	132
			194	186	206	222	216	215	195	214	198	186	196	190	185

Metode perlakuan pada beton bertulang		No. spesimen	Hari ke-												
			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
(Ti) Tanpa pemberian inhibitor	16	149	148	152	154	154	150	155	156	160	148	145	138	156	
		137	146	144	148	140	144	145	140	137	148	145	134	137	
	17	119	124	122	122	165	129	125	126	128	124	124	128	127	
		129	130	127	129	134	127	130	131	133	134	135	137	137	
	18	80	83	81	80	81	81	80	80	80	80	81	80	80	
		79	80	81	79	80	79	78	79	78	83	82	78	78	
	(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengkondisian	10	136	151	122	140	169	179	170	171	177	190	186	123	135
			256	263	254	276	193	198	211	211	203	203	210	213	230
		11	191	204	194	205	187	176	180	175	169	170	166	156	168
134			142	133	127	138	139	139	135	136	130	126	117	114	
12		184	272	200	267	164	200	200	203	197	197	200	199	162	
		134	144	140	143	150	156	145	143	131	124	120	117	92	
(Ti-10) Pengkondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan		Sebelum Pemberian inhibitor	4												
			5												
			6												
	Setelah Pemberian inhibitor	4	157	166	165	170	190	186	159	160	167	172	184	188	199
			115	120	113	114	140	124	128	130	130	131	134	135	137
		5	113	138	125	120	140	131	117	119	123	120	114	119	117
			155	138	143	134	166	134	140	140	143	142	137	153	145
		6	138	136	126	160	166	141	140	138	137	121	116	120	132
			180	206	183	129	203	187	176	176	183	185	186	183	208

Metode perlakuan pada beton bertulang		No. spesimen	Hari ke-														
			27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39		
(TI) Tanpa pemberian inhibitor		16	157	156	144	190	187	153	156	165	164	178	173	174	155		
			143	143	144	162	160	138	144	148	151	156	168	163	172		
		17	136	135	132	159	146	128	130	142	146	156	157	141	142		
			136	135	128	160	149	129	133	147	144	158	158	156	153		
		18	84	84	84	99	90	80	83	87	90	92	93	96	89		
			77	75	72	87	83	74	79	88	92	90	83	94	89		
(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengkondisian		10	134	121	108	120	122	90	86	80	85	86	93	106	98		
			223	222	223	230	219	182	196	214	194	190	223	242	206		
		11	168	169	156	207	178	168	168	156	166	173	166	194	178		
			117	113	104	125	112	98	96	96	96	101	106	112	106		
		12	137	127	123	147	138	122	126	133	133	133	126	136	128		
			90	92	93	85	85	86	88	89	90	93	92	89	88		
(TI-10) Pengkondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan		Sebelum Pemberian inhibitor		4													
				5													
				6													
		Setelah Pemberian inhibitor		4	184	173	174	177	190	159	156	198	208	196	248	210	210
					135	130	124	127	140	135	130	141	150	154	168	153	147
				5	110	106	97	100	108	83	86	90	96	84	108	100	100
					133	129	131	139	136	122	126	129	136	128	142	130	115
				6	124	114	115	118	108	108	100	100	106	98	112	100	85
					199	194	192	188	215	168	184	186	186	186	232	207	202

Metode perlakuan pada beton bertulang		No. spesimen	Hari ke-													
			40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
(TI) Tanpa pemberian inhibitor		16	142	145	144	136	117	167	169	170	173	140	127	119	112	
			155	155	170	160	153	187	187	187	197	187	175	165	158	
		17	128	150	154	147	131	147	148	165	181	139	135	131	130	
			137	140	154	146	138	152	152	161	121	119	110	108		
		18	85	86	84	86	82	82	85	90	91	81	83	80	77	
			85	89	96	86	85	88	85	93	92	93	92	81	80	
(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengkondisian		10	114	108	108	96	94	116	110	101	101	102	107	102	104	
			194	230	258	217	187	250	243	233	240	272	258	242	179	
		11	167	187	173	165	148	173	180	184	186	197	178	164	179	
			107	107	109	109	105	125	125	126	131	139	128	122	100	
		12	132	127	133	139	117	227	135	132	135	139	128	118	104	
			72	85	87	73	76	91	93	92	100	109	100	107	73	
(TI-10) Pengkondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan		Sebelum Pemberian inhibitor		4												
				5												
				6												
		Setelah Pemberian inhibitor		4	193	185	172	179	183	190	188	180	177	194	218	
					126	125	120	125	126	120	124	123	121	132	147	
				5	101	100	100	100	100	100	103	109	109	99	117	120
					100	100	110	110	115	112	117	117	117	121	124	
				6	90	87	88	89	95	94	97	97	97	99	107	
					215	200	193	203	217	195	208	204	205	200	221	

Metode perakuan pada beton bertulang		No. spesimen	Hari ke-						
			53	54	55	56	57	58	59
(TI) Tanpa pemberian inhibitor	16	116	116	115	114	112	132	131	130
		160	174	175	164	174	198	195	190
	17	126	124	123	127	125	140	142	141
		110	113	111	105	95	120	120	119
	18	78	78	76	75	76	80	80	79
		79	78	78	77	75	86	85	91
(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengkondisian	10	106	110	113	117	115	118	125	130
		180	183	182	195	195	198	203	219
	11	172	159	155	156	182	182	182	174
		100	100	101	106	102	110	113	110
	12	113	116	115	116	122	123	125	129
		74	76	74	76	88	100	100	100
(TI-10) Pengkondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan	Sebelum Pemberian inhibitor	4							
		5							
		6							
	Setelah Pemberian inhibitor	4							
		5							
		6							

Tabel B. Data nilai *Half-Cell*

pengukuran potensial (mV) dengan lama perendaman 30 hari

Metode perlakuan pada beton bertulang	No. spesimen	Hari ke-												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(Ti) Tanpa pemberian inhibitor	13	589	629	645	610	648	627	641	633	656	636	640	630	642
		586	633	642	605	644	624	644	632	657	635	635	628	639
		581	635	640	603	643	623	637	629	656	633	630	624	635
		573	820	644	610	647	628	677	634	656	638	639	629	640
		567	829	643	601	640	629	674	629	657	630	634	625	632
		561	829	641	605	643	622	671	631	658	633	638	624	635
	14	560	710	634	605	655	657	648	646	669	641	642	629	637
		550	713	632	600	651	650	640	641	666	636	640	624	628
		545	720	636	600	649	647	638	626	664	630	639	615	639
		569	624	635	607	654	658	674	639	648	641	640	650	631
		577	629	635	603	646	651	654	635	642	636	637	680	628
		570	628	636	602	643	638	648	629	637	631	632	679	627
	15	700	779	667	621	629	636	678	642	661	647	643	636	639
		700	772	659	625	621	626	670	636	659	642	640	630	634
		697	708	654	609	615	616	663	633	658	640	639	624	628
		700	689	659	621	622	637	803	642	658	645	646	634	639
		702	682	660	613	620	631	805	634	654	639	635	627	634
		696	678	656	610	617	629	794	633	658	639	630	627	632
(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengkondisian	7	455	640	606	594	631	629	647	608	654	622	615	613	620
		621	633	603	583	624	622	647	597	653	617	610	596	608
		613	631	602	581	622	622	650	598	652	615	608	594	612
		548	635	603	596	633	630	650	605	651	620	611	615	620
		615	633	605	582	623	624	648	596	649	615	605	598	615
		607	627	599	582	623	624	646	598	652	616	601	595	611
	8	390	590	596	591	623	614	639	624	651	635	625	630	630
		585	621	601	580	618	610	641	614	653	625	618	607	628
		585	620	602	575	611	608	641	608	647	615	610	597	614
		367	486	523	578	620	605	635	580	659	623	620	527	628
		601	621	599	592	618	616	643	577	653	620	614	606	620
		578	617	593	587	615	613	642	572	653	612	615	601	619
9	402	430	610	597	636	610	648	633	649	644	630	605	617	
	590	657	658	590	626	608	648	632	650	643	622	604	617	
	590	657	655	587	625	611	645	631	655	645	621	602	616	

(TI-10) Pengkondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan	Sebelum Pemberian inhibitor	1	412	566	655	600	634	622	651	637	667	634	635	614	623
			606	638	654	591	626	613	648	633	655	630	620	604	621
			601	637	650	584	621	614	643	630	650	628	619	655	615
		666	767	669	640	650	625	651	627	658	621				
		681	763	677	652	645	620	647	617	654	616				
		668	758	675	641	638	622	639	613	653	612				
		691	781	671	599	638	548	641	618	654	617				
		683	772	675	595	637	551	639	614	654	615				
		676	770	674	595	633	561	635	613	654	612				
		673	819	665	603	636	611	644	627	657	633				
		655	802	644	596	632	609	642	621	654	619				
		655	794	650	592	624	610	636	618	649	615				
		651	784	650	594	636	642	644	620	663	633				
		670	773	653	586	634	640	642	618	660	629				
		661	768	657	584	633	638	638	614	655	623				
	3	663	642	647	610	655	623	583	645	662	637				
		650	633	641	600	651	612	575	637	659	630				
		646	602	640	599	650	625	570	636	660	636				
		719	745	646	651	645	636	573	634	723	642				
		717	748	642	647	641	631	567	628	722	640				
		755	750	640	646	639	627	566	626	660	637				
	Setelah Pemberian inhibitor	1	586	600	628	630	619	632	542	634	625	587	625	622	595
			582	595	627	627	614	626	536	627	624	586	621	620	581
			568	585	621	618	607	617	538	619	622	573	620	621	593
		563	578	606	624	628	624	570	634	621	548	634	618	607	
		559	577	607	623	624	620	543	630	620	547	624	615	603	
		555	575	605	620	623	616	546	621	619	548	619	614	590	
2		549	603	628	630	577	631	596	633	630	524	627	622	602	
		566	586	622	631	578	627	594	631	628	524	623	624	592	
		565	575	623	623	579	623	580	624	629	518	616	623	592	
575		609	628	633	632	631	546	619	628	621	627	621	592		
574		582	627	636	629	628	542	618	624	618	623	620	594		
565		580	625	637	626	623	541	613	622	610	620	620	590		
3	545	599	611	623	620	613	567	638	634	560	596	595	603		
	544	580	603	619	615	608	523	634	631	543	591	590	618		
	546	576	604	619	614	607	549	631	630	539	589	587	618		
	530	575	607	635	620	601	565	616	633	567	596	586	624		
	526	550	606	632	617	616	559	614	628	558	593	586	621		
	526	563	602	629	616	612	562	610	625	543	591	586	618		

Metode perlakuan pada beton bertulang	No. spesimen	Hari ke-												
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
(Ti) Tanpa pemberian inhibitor	13	679	649	639	642	684	539	649	630	617	642	635	637	632
		680	647	638	640	682	571	645	625	615	640	630	638	631
		676	643	636	637	677	598	662	620	608	636	633	635	627
		655	639	641	643	680	557	667	619	609	647	632	639	627
		654	635	638	642	676	576	665	620	600	645	639	630	618
		637	633	636	638	673	545	658	625	595	643	637	632	622
	14	641	642	676	645	669	539	667	631	609	646	642	640	647
		636	652	671	640	663	574	660	635	607	641	642	637	642
		630	648	667	634	644	586	653	634	601	635	639	636	641
		638	664	662	662	663	557	655	639	634	645	638	637	651
		627	661	653	656	656	576	651	635	632	638	641	633	644
		622	654	652	649	651	545	642	630	630	632	643	630	640
	15	689	642	637	635	678	642	640	629	593	633	634	633	622
		688	639	629	634	673	639	632	625	594	630	632	627	618
		683	635	628	630	629	636	632	620	588	627	630	623	617
		648	642	635	634	636	638	640	625	595	634	635	630	620
		643	646	633	632	634	639	638	624	594	630	631	626	618
		640	636	631	631	633	636	635	623	595	628	630	628	620
(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengondisian	7	616	630	621	630	636	610	650	606	560	587	599	600	618
		605	629	613	626	629	568	644	605	558	576	595	585	609
		604	618	638	612	627	607	634	600	546	576	590	583	608
		637	580	617	621	636	612	616	598	556	605	600	610	617
		631	580	612	614	628	616	614	590	550	600	597	600	612
		558	579	607	611	620	608	610	600	543	605	596	610	611
	8	655	612	657	605	635	627	643	588	561	630	625	590	638
		645	608	633	615	627	645	637	596	549	625	624	584	632
		634	603	628	609	613	623	622	610	537	615	620	582	616
		646	623	625	614	621	630	631	611	555	628	623	587	627
		633	611	618	614	615	643	621	612	545	628	621	588	623
		632	611	616	613	614	639	620	600	543	625	620	586	623
	9	632	626	617	617	634	565	627	615	562	598	600	582	621
		631	628	614	623	640	574	633	610	562	600	594	581	601
		634	628	613	623	642	587	633	601	572	601	592	581	604
		638	668	625	623	649	560	619	609	583	605	603	586	605
		636	658	619	618	639	601	616	599	583	604	597	582	613
		636	595	612	614	634	584	612	595	579	598	596	577	608

(TI-10) Pengondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengondisian dilanjutkan	Sebelum Pemberian inhibitor	1																					
			2	1																			
					3	1																	
							647	576	603	613	625	614	605										
							638	560	592	599	609	602	595										
							636	550	587	595	612	600	593										
		Setelah Pemberian inhibitor	1	623	568	596	569	647	612	625													
					615	552	582	553	637	605	620												
					615	550	584	548	634	602	620												
				2	619	560	573	549	616	613	678												
						616	547	568	544	607	607	675											
						616	546	567	541	606	624	674											
						618	550	568	535	598	612	622											
						616	535	565	531	596	610	623											
						617	534	567	529	594	607	619											
					3	625	552	553	548	586	619	626											
							618	560	546	541	580	608	622										
							618	568	570	537	585	608	621										
			624	550		567	547	591	609	624													
			620	574		562	540	583	610	625													
			617	586		573	538	579	611	623													

Metode perlakuan pada beton bertulang	No. spesimen	Hari ke-			
		27	28	29	30
(T1) Tanpa pemberian inhibitor	13	666	634	650	662
		665	630	654	657
		663	625	648	650
		666	630	649	659
		665	620	645	655
	14	666	622	650	653
		680	645	638	625
		673	638	628	641
		671	635	630	643
		679	647	640	621
	15	673	638	632	611
		672	635	622	609
		627	576	620	638
		619	566	618	615
		622	564	618	617
(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengkondisian	7	629	575	628	581
		624	59	615	576
		626	583	620	578
		628	567	570	568
		616	556	560	597
	8	614	551	580	590
		605	565	570	614
		601	556	559	605
		600	553	560	601
		679	607	610	626
	9	674	570	600	615
		665	604	600	605
		644	578	614	629
		621	571	610	624
		617	568	608	626
	618	576	574	597	
	619	579	580	593	
	619	574	580	594	
	628	581	586	605	
	621	578	585	603	
		616	572	587	612



<p>(TI-10) Pengkondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan</p>	<p>Sebelum Pemberian inhibitor</p>	<p>1</p>											
		<p>2</p>											
	<p>3</p>												
	<p>Setelah Pemberian inhibitor</p>	<p>1</p>											
<p>2</p>													
<p>3</p>													

pengukuran potensial (mV) dengan lama perendaman 60 hari

Metode perlakuan pada beton bertulang	No. spesimen	Hari ke-												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(I) Tanpa pemberian inhibitor	16	650	684	666	617	626	660	628	642	663	648	672	680	641
		610	695	657	612	621	655	623	637	661	642	666	679	637
		593	682	654	609	617	653	634	636	660	639	656	680	634
		754	761	665	626	626	660	755	641	660	649	677	640	637
		750	759	658	621	619	655	795	638	658	640	669	637	631
		743	753	652	629	619	653	794	637	655	643	668	630	631
	17	620	734	664	618	629	658	734	657	688	652	650	644	648
		617	739	660	611	620	666	727	652	678	649	644	638	641
		617	738	658	609	619	647	715	650	676	649	643	638	637
		624	764	662	615	624	659	658	657	668	653	652	645	645
		631	760	659	611	619	655	661	654	666	649	648	638	641
		625	754	657	608	618	653	644	651	664	645	648	635	636
	18	625	682	660	636	621	617	661	653	664	651	659	648	648
		623	680	658	634	621	613	660	652	663	652	650	644	646
		623	679	656	631	619	643	659	650	663	649	645	640	643
		627	657	660	647	622	656	661	654	662	651	657	647	651
		626	655	659	646	621	653	661	654	664	651	653	641	649
		625	651	656	644	620	653	660	652	663	649	651	639	647
	10	485	667	629	602	637	600	652	644	661	642	640	642	653
		565	673	643	586	620	587	647	630	660	630	639	629	637
		563	674	647	584	617	585	642	627	658	628	635	622	639
		369	318	626	618	572	552	638	610	618	616	634	614	628
		552	617	633	584	624	591	647	634	660	636	632	623	630
		553	617	647	578	624	586	644	630	596	631	630	615	628
11		455	564	571	583	623	585	595	631	657	649	651	686	664
		585	666	657	588	627	590	597	636	661	641	643	629	660
		574	668	658	588	627	591	596	637	600	643	640	628	659
		567	605	641	596	625	600	575	639	659	646	659	636	642
		566	669	656	588	618	596	570	634	657	641	646	627	633
		566	670	658	593	626	601	573	639	661	642	649	627	635
12	276	399	563	495	522	504	535	609	601	601	638	608	656	
	550	684	659	600	621	586	599	635	657	639	637	629	674	
	552	685	660	597	619	584	564	634	658	639	632	624	671	
	293	480	644	593	639	595	565	629	658	648	640	646	641	
	548	650	657	591	645	589	561	631	645	643	632	632	633	
	552	650	655	584	640	582	556	628	652	636	631	623	624	

(TI-10) Pengkondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan	Sebelum Pemberian inhibitor	4	755	653	645	600	632	634	661	635	660	642			
			711	685	642	598	618	628	657	631	658	636			
		706	684	638	596	613	626	652	624	656	636				
		715	685	648	608	614	632	669	638	661	636				
		712	687	642	605	622	625	655	631	655	643				
		707	684	639	601	615	626	647	627	653	638				
		634	679	651	612	640	636	778	648	649	636				
		622	673	649	609	640	634	786	650	652	637				
		610	670	648	609	640	633	793	652	654	639				
		628	670	647	614	649	649	630	643	654	639				
		630	675	649	612	646	649	691	643	654	639				
		618	673	648	607	640	648	674	642	652	638				
		615	655	660	610	636	648	664	650	660	642				
		611	660	653	604	635	647	638	646	656	640				
	605	662	651	604	636	648	554	646	657	639					
	629	680	654	606	631	635	546	649	656	641					
	623	681	650	604	626	631	546	645	655	639					
	601	681	649	606	627	626	547	644	656	638					
	620	606	606	605	638	640	566	640	635	570	596	610	627		
	622	605	604	603	636	635	563	639	632	565	604	602	626		
	623	600	596	602	632	632	561	655	632	558	599	605	624		
	644	610	570	615	641	622	618	643	633	564	605	608	627		
	642	605	564	612	631	628	617	640	632	558	601	605	622		
	638	605	566	609	632	602	579	655	633	573	597	604	621		
	645	640	644	634	647	644	621	627	628	608	604	609	632		
	645	639	641	631	645	640	611	624	625	610	600	614	625		
	647	639	640	628	645	634	608	618	622	600	595	618	624		
	651	642	641	637	645	642	621	618	625	640	606	608	633		
644	640	645	636	640	639	618	643	623	636	603	605	628			
644	639	640	633	638	635	614	639	620	579	597	602	625			
643	642	644	638	636	641	596	643	632	627	632	629	593			
647	636	641	634	631	634	609	639	628	634	624	624	589			
647	635	642	635	629	637	586	636	624	633	619	624	587			
648	639	639	635	627	642	614	634	629	624	624	630	625			
645	637	640	634	624	638	617	630	625	624	619	624	621			
646	636	641	634	623	635	613	628	624	622	614	625	618			

Metode perlakuan pada beton bertulang	No. spesimen	Hari ke-												
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
(TI) Tanpa pemberian inhibitor	16	726	649	639	663	670	649	656	658	654	658	639	630	645
		723	642	635	665	662	687	653	650	645	653	639	626	639
		721	639	633	659	656	647	642	646	641	646	634	624	641
		736	680	636	637	637	635	661	651	648	633	644	630	627
		734	673	635	634	632	649	658	646	639	629	638	627	625
	736	671	630	632	632	646	654	642	638	626	632	628	626	
	652	647	639	649	656	596	650	649	661	648	624	608	637	
	649	650	639	647	637	642	645	647	665	641	615	603	627	
	646	652	634	644	632	638	643	641	661	637	615	608	630	
	653	644	644	635	637	634	647	635	629	643	622	614	638	
	650	639	638	634	635	639	645	632	626	640	620	610	632	
	647	637	632	627	634	633	639	627	624	637	618	607	632	
17	653	650	645	669	649	673	679	661	633	661	650	639	668	
	654	649	646	669	647	665	680	660	638	662	649	640	668	
	652	647	644	667	646	652	675	659	635	659	647	638	668	
	658	650	648	648	646	637	649	640	679	642	654	640	663	
	655	651	647	648	644	640	648	639	633	643	651	634	655	
18	659	649	642	646	646	636	645	635	640	638	642	637	658	
	648	674	638	669	655	567	640	641	635	631	629	624	621	
	643	665	627	663	641	653	628	633	622	620	624	616	610	
	641	660	619	653	636	527	623	632	621	616	621	618	610	
	625	630	624	648	635	537	634	636	629	630	627	622	618	
(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengondisian	10	645	640	632	646	627	539	633	629	624	624	623	619	614
		643	634	621	637	623	556	626	627	621	620	621	618	613
		655	658	643	643	645	617	667	656	631	650	666	673	628
		649	653	639	638	638	544	664	653	630	637	658	669	624
		649	653	638	638	639	594	660	650	628	639	654	670	623
	11	656	643	643	642	643	577	660	658	630	645	660	630	627
		644	638	634	637	638	533	658	652	633	639	659	627	619
		650	642	634	637	636	546	654	651	630	636	655	628	624
		634	635	635	619	673	520	640	632	624	645	632	627	623
		648	640	633	627	676	540	655	633	624	642	633	624	625
	12	647	637	624	624	673	564	651	631	622	639	622	622	620
		655	643	641	632	648	584	640	634	655	641	635	625	621
648		638	632	643	639	581	636	628	651	636	631	623	621	
640		631	624	618	631	552	627	634	644	625	632	618	614	

(TI-10) Pengkondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan	Sebelum Pemberian inhibitor	4														
		5														
		6														
	Setelah Pemberian inhibitor	4	621	684	573	535	591	613	551	590	581	599	632	641	645	
			616	646	567	526	581	602	658	598	574	586	630	636	642	
			616	621	561	524	580	597	655	597	571	586	629	635	642	
			615	617	565	533	582	607	654	598	576	598	632	619	643	
		5	612	609	559	523	573	598	645	600	566	587	626	612	639	
			616	614	562	524	571	598	649	601	569	586	627	613	639	
597			630	581	543	594	617	627	625	593	592	646	636	635		
591			620	566	531	582	604	620	619	584	588	641	630	628		
6		590	622	562	528	583	603	620	618	581	587	640	629	624		
		602	633	578	532	595	616	634	621	591	584	646	633	631		
		593	626	571	528	587	611	629	620	584	586	642	630	626		
		591	624	569	526	580	609	626	621	581	589	639	627	624		
6		621	619	560	525	591	608	626	626	573	614	620	624	610		
		615	611	550	510	574	593	616	618	572	611	623	619	605		
		615	614	588	513	578	596	616	618	573	613	622	617	604		
		616	625	601	517	585	628	625	629	580	615	640	624	607		
	620	621	598	512	582	624	622	628	576	616	637	621	605			
	617	619	593	511	580	622	621	620	574	611	636	619	602			

Metode perlakuan pada beton bertulang	No. spesimen	Hari ke-												
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
(Ti) Tanpa pemberian inhibitor	16	623	608	629	601	608	624	628	638	661	663	624	610	597
		620	600	618	602	596	615	608	632	650	655	616	608	593
		618	600	622	601	596	615	622	636	661	658	616	607	596
		631	606	628	622	610	622	602	644	629	638	626	613	599
		624	600	621	611	602	620	607	640	623	635	622	610	591
	624	605	623	605	602	618	604	640	624	633	619	607	593	
	17	627	626	659	615	629	663	637	667	663	653	660	576	628
		617	620	643	602	617	656	631	656	656	649	663	576	614
		620	618	641	603	622	658	630	662	650	648	663	580	618
		630	596	647	615	628	662	638	664	662	654	665	624	625
		624	589	641	606	621	658	632	657	655	649	657	620	603
	18	626	585	639	603	623	656	630	658	653	648	657	618	604
		657	634	663	645	657	626	620	636	634	645	634	621	628
		658	632	673	613	652	624	617	634	629	644	630	617	614
		658	630	670	633	648	623	618	632	630	642	628	614	620
		662	633	668	589	648	634	624	638	631	644	632	620	625
	10	657	629	666	575	636	625	631	632	629	638	622	611	609
		660	630	669	575	639	629	625	632	630	642	626	612	605
		646	613	621	609	648	646	629	581	609	645	623	628	645
		635	597	616	592	630	630	628	579	592	637	612	608	637
		634	591	615	591	625	627	622	567	591	636	610	604	630
		649	588	622	635	608	626	630	582	635	648	620	611	648
		646	583	618	632	600	616	624	572	630	649	616	615	640
		646	577	619	630	595	614	623	569	630	650	613	611	638
635		620	677	631	632	625	629	583	631	642	654	681	642	
632		614	667	630	624	619	621	578	630	641	680	678	641	
11	631	612	665	626	618	618	620	577	629	641	679	678	637	
	634	621	675	620	625	624	630	580	620	640	683	684	640	
	626	614	668	615	612	616	627	579	615	639	677	676	639	
	629	609	667	624	614	617	621	576	624	642	678	676	641	
	672	608	686	681	618	634	642	606	618	642	628	617	642	
12	669	596	673	678	608	630	641	598	608	644	628	608	644	
	667	591	670	669	604	625	639	595	604	645	625	609	645	
	672	600	683	627	613	634	644	604	613	650	637	620	653	
	670	593	674	617	605	628	629	600	605	644	634	610	644	
	664	587	668	612	595	619	623	590	595	640	627	604	640	

<p>(TI-10) Pengkondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan</p>	<p>Sebelum Pemberian inhibitor</p>	4															
		5															
		6															
	<p>Setelah Pemberian inhibitor</p>	<p>4</p>	630	632	593	635	645	585	599	606	565	606	612	598	574		
			636	630	591	632	638	580	588	605	563	602	608	590	562		
			632	628	638	630	637	565	586	591	562	600	605	589	556		
			631	630	639	625	643	586	591	596	580	604	614	592	573		
		<p>5</p>	628	627	636	623	643	581	589	593	580	659	612	585	562		
			623	624	634	622	642	578	588	590	560	600	610	586	557		
628			611	578	598	602	602	594	603	607	595	615	580	625			
622			605	577	592	602	600	587	604	595	585	614	580	616			
623			604	577	591	603	599	586	600	590	582	613	578	606			
635			614	588	594	621	605	594	605	591	590	609	568	622			
629			605	582	591	614	602	585	597	585	584	607	601	615			
<p>6</p>	628	605	582	590	614	602	585	592	584	581	611	597	609				
	618	606	579	573	608	600	564	588	577	577	602	586	581				
	613	598	573	566	600	593	560	584	571	571	596	590	571				
	612	595	571	562	595	590	554	579	567	569	591	582	562				
	622	606	580	572	606	601	562	589	576	575	603	587	584				
	615	602	576	567	603	596	561	580	572	570	598	582	573				
	613	598	573	565	600	594	561	576	571	571	596	574	565				

Metode perlakuan pada beton bertulang	No. spesimen	Hari ke-													
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
(Ti) Tanpa pemberian inhibitor	16	610	578	574	620	595	585	600	586	605	606	603	588	597	
		604	571	568	603	591	577	599	579	604	605	600	585	595	
		606	569	565	599	589	577	593	579	602	603	594	582	593	
		614	581	569	605	596	593	613	582	623	606	603	596	613	
		610	576	565	604	593	593	609	576	620	603	601	587	610	
		606	595	563	602	591	590	608	580	621	601	602	584	610	
	17	597	628	587	622	624	615	610	593	608	610	592	582	610	
		593	608	576	617	619	613	608	585	601	608	586	574	618	
		595	622	576	620	618	605	599	582	603	609	585	570	612	
		598	602	577	625	623	605	615	620	608	606	592	581	609	
		595	607	575	621	619	602	601	611	602	612	580	576	616	
		593	604	574	620	618	605	597	612	601	611	589	574	616	
	18	600	613	567	601	600	578	580	580	629	607	617	587	613	
		598	611	583	604	588	570	571	575	622	607	613	583	611	
		596	608	572	604	586	568	574	570	616	610	607	575	598	
		602	615	619	616	590	572	596	585	624	617	621	591	595	
		591	607	609	607	583	566	583	576	615	612	613	575	588	
		596	607	612	611	585	567	590	560	616	611	614	576	602	
	(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengkondisian	10	596	583	553	597	590	552	593	593	610	621	576	617	630
			579	560	537	579	563	540	576	576	605	603	647	580	604
			572	552	530	574	554	532	560	565	602	575	644	584	636
			594	555	567	590	577	554	554	581	590	619	663	644	641
			584	542	556	585	564	543	546	570	588	611	656	619	636
			589	536	539	580	558	540	545	565	585	607	653	608	641
11		648	615	635	691	700	645	650	689	609	678	676	639	631	
		640	606	625	687	691	635	635	680	598	673	675	609	634	
		648	601	623	685	684	633	633	677	597	669	674	600	628	
		650	615	627	691	695	642	645	680	604	674	687	628	624	
		643	603	620	683	686	632	640	674	601	669	682	603	634	
		641	607	618	681	683	630	641	672	600	667	683	590	623	
12	613	587	573	612	600	565	619	582	619	642	607	606	624		
	604	571	561	602	594	554	610	576	609	630	598	583	605		
	602	561	555	600	584	551	601	576	608	626	599	576	598		
	613	584	571	613	602	566	623	586	616	636	614	609	619		
	602	565	558	601	589	557	620	576	608	625	605	585	601		
	594	558	550	595	582	550	614	575	602	614	598	565	591		

(TI-10) Pengkondisian awal 10 hari, Pemberian Inhibitor dan Pengkondisian dilanjutkan	Sebelum Pemberian inhibitor	4																		
		5																		
		6																		
		4	614	610	563	598	606	632	643	639	606	603	560							
		5	609	608	561	594	601	629	639	636	600	601	540							
		6	606	606	559	596	600	627	639	634	598	600	543							
	Setelah Pemberian inhibitor	4	616	611	563	590	605	620	641	640	606	609	564							
		5	610	605	562	593	600	622	639	640	601	605	550							
		6	606	605	557	591	595	621	639	636	597	606	550							
		4	632	625	573	595	626	622	653	609	638	630	610							
		5	629	624	566	594	615	623	651	600	639	631	605							
		6	626	623	563	593	612	621	651	591	639	629	602							
		4	626	629	567	599	616	630	654	609	643	633	602							
		5	623	619	563	596	609	626	654	600	642	626	599							
		6	623	620	558	593	607	625	654	596	643	628	603							
		4	589	609	583	600	568	590	613	583	591	599	593							
		5	588	591	583	594	571	590	613	580	580	591	588							
		6	585	593	579	594	570	586	610	572	587	595	581							
4	597	604	572	609	591	591	612	576	592	597	588									
5	591	590	573	591	594	590	614	571	591	597	585									
6	587	589	571	598	590	587	612	566	589	593	582									

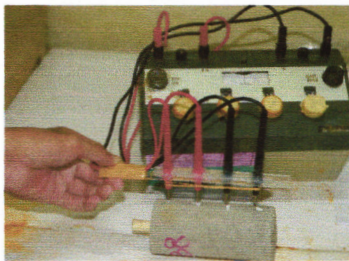
Metode perlakuan pada beton bertulang	No. spesimen	Hari ke-								
		53	54	55	56	57	58	59	60	
(Ti) Tanpa pemberian inhibitor	16	620	609	595	632	629	666	581	624	
		603	610	591	628	627	666	577	624	
		599	606	589	622	622	661	573	621	
		608	614	600	630	629	663	579	627	
		599	609	593	630	626	663	574	625	
		602	609	591	630	626	662	572	624	
	17	626	595	628	643	640	625	633	621	
		622	568	608	639	637	624	629	620	
		619	595	622	639	636	620	623	619	
		625	565	602	645	640	624	633	625	
		620	561	606	641	638	622	631	622	
		618	581	604	640	636	623	628	621	
	18	613	578	619	616	627	626	610	621	
		611	571	604	617	623	622	606	606	
		609	574	604	612	616	619	604	604	
		615	596	616	623	625	625	618	610	
		607	588	612	617	617	620	611	607	
		602	590	611	617	616	618	615	607	
	(I) Pemberian Inhibitor Sebelum Pengkondisian	10	627	675	653	641	658	767	809	606
			615	622	648	630	645	770	808	618
			615	614	644	623	636	771	811	723
			629	654	655	637	661	769	805	724
			620	644	642	626	651	769	807	724
			622	635	644	623	648	769	808	724
11		635	606	612	704	653	670	583	610	
		609	597	610	701	650	674	576	610	
		625	600	608	699	648	675	565	608	
		630	605	619	701	651	678	584	630	
		625	593	615	697	644	680	565	625	
		626	590	614	699	644	683	553	626	
12		629	615	619	660	599	678	574	601	
		623	615	618	596	590	674	561	594	
		621	610	612	593	586	672	557	588	
		628	625	623	605	597	677	586	603	
		623	603	621	595	588	672	575	593	
		622	594	620	586	580	670	558	590	

(Ti) Tanpa pemberian inhibitor
 (I) Pemberian inhibitor sebelum pengkondisian

LAMPIRAN 2

FOTO- FOTO PENELITIAN





(a)



(b)



(c)

Gambar 1. Peralatan dan rangkaian percobaan korosi metoda dipercepat

- (a) Pengambilan data resistivitas beton, (b) Pengambilan data *half cell*,
(c) Instalasi percobaan

TENTANG PENULIS



Gunanto Widyasaputra – lahir 17 Juni 1985 di Kota Pahlawan Surabaya adalah anak keempat dari pasangan Suparman, BA dan Darmanik. Mulai mengenyam pendidikan di SDN Penjaringan Sari II Surabaya (1991-1997), SLTP Negeri 23 Surabaya (1997-2000), SMU Negeri 16 Surabaya (2000-2003), dan kemudian melanjutkan ke Perguruan Tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya pada tahun 2004 dan mengambil jurusan yang diimpikan sejak kecil, yaitu jurusan Teknik Mesin-FTI ITS dengan NRP 2104.100.062. Di jurusan Teknik Mesin penulis memilih Bidang Studi Metallurgy. Penulis memiliki hobi membuat aquascape. Semasa kuliah, Penulis dikenal aktif dalam kegiatan kemahasiswaan seperti Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM). Penulis juga aktif sebagai grader laboratorium metalurgi. Keinginan untuk mengamalkan ilmu yang didapat selama kuliah, mendorong penulis untuk mengambil topik tugas akhir “Studi Eksperimental Pengaruh Inhibitor Terhadap Korosi Baja Tulangan Di Lingkungan Khlorida Melalui Metode Dipercepat” yang telah diselesaikan pada tanggal 7 Agustus 2009.