SKRIPSI

UJI EFEKTIFITAS INHIBITOR NATRIUM NITRIT DAN PROTEKSI KATODIK SEBAGAI PENGENDALI KOROSI LOGAM PADA PIPA PDAM

Oleh :

SIGIT ARISMAN
00.26.008

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2005

SKRIPSI

UJI EFEKTIFITAS INHIBITOR NATRIUM NITRIT DAN PROTEKSI KATODIK SEBAGAI PENGENDALI KOROSI LOGAM PADA PIPA PGAM

Oleh :

BISIT ARISMAN
00.25.008

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2006

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

UJI EFEKTIFITAS INHIBITOR NATRIUM NITRIT DAN PROTEKSI KATODIK SEBAGAI PENGENDALI KOROSI LOGAM PADA SISTEM PERPIPAAN PDAM

Oleh :

SIGIT ARISMAN
00.26.008

Menyetujui
Tim Pembimbing

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Prof. Ir. Wahyono Hadi, MSc. PhD	**Evy Hendriarianti, ST. MMT**
NIP . 130806286	**NIP. P. 1030300382**

Mengetahui
Ketua Jurusan/Prodi Teknik Lingkungan

Sudiro, ST. MT
NIP. Y. 1039900327

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

UJI EFEKTIFITAS INHIBITOR NATRIUM NITRIT DAN PROTEKSI KATODIK SEBAGAI PENGENDALI KOROSI LOGAM PADA SISTEM PERPIPAAN PDAM

Oleh :

SIGIT ARISMAN
00.26.008

TELAH DIPERTAHANKAN DI HADAPAN DEWAN PENGUJI PADA UJIAN KOMPREHENSIP SKRIPSI JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN JENJANG STRATA SATU (S-1), DAN DITERIMA UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT GUNA MEMPEROLEH GELAR SARJANA TEKNIK PADA TANGGAL 19 SEPTEMBER 2005.

MENGETAHUI
PANITIA UJIAN KOMPREHENSIP SKRIPSI

Ketua	**Sekretaris**
Ir. Agustina Nurul Hidayati, MTP.	**Sudiro, ST. MT**
NIP. Y. 103 900 214	**NIP. Y. 103 990 0327**
Penguji I	**Penguji II**
Sudiro, ST. MT	**Candra Dwiratna, ST. MT**
NIP. Y. 103 990 0327	**NIP. P. 103 000 0349**

SEGALA PUJI SYUKUR AKU UCAPKAN KEPADA ALLAH S.W.T. PEMILIK ALAM SEMESTA PEMILIK ROH DAN RAGAKU PEMILIK SEMANGAT DAN KEMAPUANKU TANPA RIDHO MU HAMBAMU INI TIDAK AKAN BISA MENIKMATI NAFAS DAN KESEMPATAN HIDUP YANG ENGKAU BERIKAN YA ALLAH TUNTUN LAH AKU UNTUK BISA MENSYUKURI NIKMAT YANG ENGKAU BERIKAN

BAPAK DAN IBU YANG TELAH MEMBERIKAN CINTA DAN KASIH SAYANGNYA HINGGA AKU BISA TERLAHIR DI DUNIA TERIMA KASIH SIGIT HATURKAN. SEMANGATKU ADA DI TELAPAK KAKI KALIAN BERDUA. TUJUAN KU MELANGKAH SEJAUH INI ADALAH KEBAHAGIAN KALIAN. BAPAK IBU KUPERSEMBAHKAN SALAH SATU KEBERHASILANKU INI BUAT KALIAN SEMOGA INI DAPAT MEMBUAT KALIAN BANGGA, HANYA ITU YANG DAPAT MEMBAKAR SEMANGATKU

M' EKA N DE' YOGI KEDUA SAUDARAKU YANG SANGAT AKU SAYANGI. TERIMA KASIH BUAT PERHATIAN DAN KASIH SAYANGNYA. BUAT M' EKA BELAJARLAH DARI KEGAGALAN N CEPET LULUS YA BIAR KITA WISUDA BARENG N NIKAH BARENG HE...HE...BUAT DE' OGI RAJIN BELAJAR BIAR BISA MENERBANGKAN SALAH SATU BURUNG BERMESIN DI LANGIT INDONESIA.

BUAT LINDA SESEORANG YANG DI BERIKAN KESEMPATAN TUHAN UNTUK AKU CINTAI DAN KASIHI. TERIMA KASIH BUAT SEGALANYA DIRIMU LAYAKNYA ORANG TUAKU DISAAT AKU JAUH DARI MEREKA, DIRIMU MEMBERIKAN KASIH SAYANG DAN PERHATIAN YANG DAPAT MEMBAKAR SEMANGATKU DISAAT AKU TERPURUK. DIRIMU MENGENALKAN DIRIKU ARTI DARI MENCINTAI DAN MEMILIKI. TERIMA KASIH ATAS PELAJARAN HIDUP YANG DIRIMU BERIKAN, ITU SEMUA ADALAH PETUNJUK TUHAN UNTUK KITA AGAR BISA MENDAPATKAN KEBAHAGIAN YANG LEBIH DARI HARI KEMARIN

BUAT KEDUA KAKEKKU ALM. H. L. SENENG DAN ALM. H. MUHAMMAD TERIMA KASIH ATAS DUKUNGAN DAN DO'A NYA, WALAUPUN KALIAN JAUH DI SANA SIGIT TAHU KAKEK AKAN TETAP BISA MELIHATKU MELANGKAH DAN BERIKANLAH AKU SEMANGAT KALIAN.

BUAT SAUDARAKU DUDY (CODOT), RIZAL (ZAKE') CEPETAN LULUS BIAR KITA BISA JALAN N PUNKY ABEEES, AKU KANGEN GODAIN ORANG BARENG KALIAN. BUAT ADEK-ADEKKU RANTY(CEPETAN CARI COWOK SEBELUM HARGA COWOK DI NAIKKAN)-GHITA (CAPAS)-ADHIT(KAPAN MAEN PS..)-LIA(CEPET LULUS YA)-EMA(JANGAN PACARAN AJA)-DINA-DONI-DENI(SEMANGAT)-RIDA-

OPIK-OFAL-AYAK (KE 4 ADEKKU YANG PALING KECIL CEPET BESAR YA).

BUAT ORANG TUAKU DI MALANG, BAPAK N IBU SUGENG DI BATU, BAPAK DAN IBU DI BLITAR, BAPAK DAN IBU DARI KETAPANG. TERIMA KASIH ATAS DO'A DAN BIMBINGANNYA. TERIMA KASIH PULA MAU MEMBERIKAN SIGIT KEPERCAYAAN UNTUK JADI ANAK KALIAN WALAUPUN TERKADANG SIGIT SUKA BERCANDA TAPI DI DALAM HATI INI SIGIT BISA SERIOUS. (BAND KALE...)

BUAT TEMEN SESAMA PEJUANG TANGGUH, LALU OJO NGUMBE TOK-AZIS THE MEAN SEMANGATMU MEMBAKAR KETIAK KITA-DEWI KETEGANGANMU SAAT KOMPRE ASIK JUGA MOGA U DAPET PENGAMEN YANG LEBIH BAIK-SARI CEPET BESAR YA-IYAN BERLATIH TERUS SUATU SAAT KAMU BISA MENGALAHKAN KU-TRIYAS KONTROL BERAT BADAN-AGNEE CEPET NIKAH YA-MINAR CAH YO KAMI ADA SELALU (DI RUMAH MASING-MASING LAGI HE..HE..)-R WIEN KAMU ADALAH TEMEN PERANG KENTUT TERBAIK. M' ELLY N M' LEHA KALIAN BERDUA MERUPAKAN KAKAK TINGKATKU DAH ITU AJA!!!

BUAT DIAT BOTAX THANK YO FOR EVERYTHINK NTAR LEK KON WES TUKU PS 4 KASI KABAR YO. BUAT JUSTIN N TONY BO SEMANGAT YO. RYAN N BINI MOGA LANGGENG TRUS. BUAT YEYE (AYEP N YANTHE) THANKS BANGET KALIAN ADA WAKTU KETIKA SIGIT TERPURUK. BUAT GOIS N IRA CAH YO. BUAT DE' VIVIN (LEK DINO RABU GINA) RAJIN BERLATIH ACTING.

BUAT ANGKATAN '00 (NOCENG) BERSAMA KALIAN AKU SANGAT HAPPY FUN.....ENJOY ABEEES WALAUPUN AKU UDAH GA ADA DI SAMPING KALIAN, KALIAN TETEP SEMANGAT (EMANG SIGIT PENTING BANGET GITO LHO...), SIGIT AKAN MERASA KEHILANGAN TEMEN-TEMEN TERBAIK SEPANJANG SEJARAH KEMAHASISWAANKU.

BUAT DOSEN-DOSEN TL KALIAN ADALAH ORANG TUA KAMI SELAIN MEMBIMBING KAMI, KALIAN JUGA TELAH BERBAGI ILMU, PENGALAMAN, DAN PERHATIAN SELAYAKNYA ORANG TUA KAMI SENDIRI. TERIMA KASIH SIGIT HATURKAN KEPADA MEREKA PAHLAWAN TANPA TANDA JASA.

BUAT TEMEN YANG LAEN, WAWAN, POPY SETAN, WILDAN PETERPAN, NOI, IKA, DEVI, INDRA, TOPIK POTONG JENGGOT DONK, PUTU N ALL SING ONO NEK TL POKOE " SEMANGAT "

BY SIGIT SEORANG .....

ABSTRAKSI

Arisman, S., Hadi, W., Hendriarianti, E., 2005., *"UJI EFEKTIFITAS INHIBITOR NATRIUM NITRIT DAN PROTEKSI KATODIK SEBAGAI PENGENDALI KOROSI LOGAM PADA SISTEM PERPIPAAN PDAM"*., Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.

Korosi yang terjadi pada pipa yang terbuat dari logamdapat dipengaruhi oleh karakteristik logamnya sendiri atau karakteristik lingkungan disekitarnya. Adanya korosi ini dapat menyebabkan kerugian-kerugian antara : penurunan debit, menurunnya kualitas air yang dialirkan dan terjadinya kerusakan pada pipa. Diantara beberapa metode perlindungan terhadap korosi terdapat metode pengubahan lingkungan dengan penambahan bahan kimia tertentu yang disebut inhibitor dan metode proteksi katodik anoda tumbal.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektifitas perlindungan korosi dengan menggunakan inhibitor natrium nitrit dan proteksi katodik anoda tumbal. Penelitian dilakukan secara batch denga memvariasikan konsentrasi inhibitor masing-masing adalah 100 ppm, 250 ppm, 400 ppm, 550 ppm, dan memvariasikan waktu perendaman 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Pada metode perlindungan korosi dengan proteksi katodik digunakan alumunium sebagai anoda tumbal. Penelitian dilakukan secara batch dengan memvariasikan waktu perendaman alumunium 24 jam, 48 jam dan 72 jam.

Dari hasil penelitian diperoleh efisiensi perlindungan korosi terbaik yaitu pada konsentrasi inhibitor 400 ppm dan waktu perendaman 24 jam sebesar 64,66 %. Sedangkan pada perlindungan korosi dengan proteksi katodik anoda tumbal diperoleh efisiensi perlindungan korosi terbaik pada waktu perendaman alumunium 72 jam sebesar 86,32%.

Dari kedua metode perlindungan korosi diperoleh metode perlindungan dengan proteksi katodik lebih efektif dibandingkan dengan penggunaan inhibitor.

Kata kunci : Inhibitor $NaNO_2$, korosi dan proteksi katodik, anoda alumunium, korosi pipa besi.

ABSTRAKSI

Korosi yang terjadi pada pipa yang terbuat dari logamdapat dipengaruhi oleh karakteristik logamnya sendiri atau karakteristik lingkungan disekitarnya. Adanya korosi ini dapat menyebabkan kerugian-kerugian antara : penurunan debit, menurunnya kualitas air yang dialirkan dan terjadinya kerusakan pada pipa. Disatara beberapa metode pertindungan terhadap korosi terdapat metode pengubahan lingkungan dengan penambahan bahan kimia tertentu yang disebut inhibitor dan metode proteksi katodik anoda tumbal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetji efektifitas pertindungan korosi dengan mengguunakan inhibitor natrium nitrit dan proteksi katodik anoda tumbal. Penelitian dilakukan secara batch dengan memvariasikan konsentrasi inhibitor nitrit-nitrit sebesar 100 ppm, 250 ppm, 400 ppm, 550 ppm, dan memvariasikan waktu perendaman 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Pada metode pertindungan korosi dengan proteksi katodik digunakan aluminium sebagai anoda tumbal. Penelitian dilakukan secara batch dengan memvariasikan waktu perendaman aluminium 24 jam, 48 jam dan 72 jam.

Dari hasil penelitian diperoleh efisiensi pertindungan korosi terbesar yaitu pada konsentrasi inhibitor 400 ppm dan waktu perendaman 24 jam sebesar 64,66 %. Sedangkan pada pertindungan korosi dengan proteksi katodik anoda tumbal diperoleh efisiensi pertindungan korosi terbesar pada waktu perendaman aluminium 72 jam sebesar 86,32%.

Dari kedua metode pertindungan korosi diperoleh metode pertindungan dengan proteksi katodik lebih efektif dibandingkan dengan penggunaan inhibitor.

Kata kunci : Inhibitor $NaNO_2$, korosi dan proteksi katodik anoda aluminium, korosi pipa besi.

ABSTRACT

Arisman, S., Hadi, W., Hendriarianti, E., 2005., *" The Affectivity Test Of Nitride Natrium Inhibitor And Catodic Protection As A Controller For Metal Corrosion At Pipeline At PDAM "*., The Last Duty of Subfaculty Environment Technique., Faculty Of Technicque Faculty and Planning From Intitut Teknologi Nasional Malang.

Corrosion that occurred at pipe that made of metal could be affected the characteristic of the metal it self and the characteristic of environment around them. The corrosion could make some lost namely : decreasing of debit, water quality that flow and the damage at pipe. Some method to protect from corrosion is changing the environment using special chemical addition that called inhibitor and method of agent anode catodic protection.

This research aimed to test the affectivity of corrosion protection using nitride natrium inhibitor and agent anode catodic protection. This research be done using batch method by variation of inhibitor concentration namely at 100 ppm, 250 ppm, 450 ppm, 550 ppm and using different submerge time namely 24 hours, 48 hours and 72 hours. Nitride natrium inhibitor use alumunium as anode agent. This research be done using batch method by variation of submerge time to alumunium namely 24 hours, 48 hours and 72 hours.

The research result show that the best corruption protection come from inhibitor concentration 400 ppm and submerge time is 24 hours namely 64,66 %. And the corrosion protection using agent anode catodic protection will have the most efficient corrosion at submerge 72 hours namely 86,32 %.

From the two method the catodic protection more efficient in protecting pipe than inhibitor.

Keyword : inhibitor $NaNO_2$, corrosion and catodic protection, alumunium anode, pipeline corrosion.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah Nya sehingga saya dapat menyelesaikan laporan Skripsi yang berjudul ***"UJI EFEKTIFITAS INHIBITOR NATRIUM NITRIT DAN PROTEKSI KATODIK SEBAGAI PENGENDALI KOROSI LOGAM PADA SISTEM PERPIPAAN PDAM"*** tepat pada waktunya. Laporan ini merupakan persyaratan jenjang Strata 1 (S1) di ITN Malang pada Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Jurusan Teknik Lingkungan. Laporan Skripsi ini tersusun berkat dukungan serta bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan yang baik ini penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Uun Ismaun dan Bq. Sukarni, selaku orang tua yang selalu memberikan dukungan doa dan restu tanpa itu semua saya tidak akan dapat berhasil seperti ini.
2. Bapak Prof. Ir. Wahyono Hadi. MSc. PhD, selaku Dosen Pembimbing I.
3. Ibu Evy Hendriarianti. ST. MMT, selaku Dosen Pembimbing II.
4. Ibu Anis Artiani .ST, selaku Kepala Laboratorium Lingkungan ITN Malang.
5. Pak Darwin, selaku asisten Laboratorium Kimia Universitas Brawijaya Malang.
6. Ibu Ir. A. Nurul Hidayati. MTP selaku Dekan FTSP ITN Malang.
7. Bapak Sudiro .ST. MT selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
8. Bapak DR. Ir. Hery Setyobudiarso .MSi, Ibu Candra Dwiratna ST. MT, Ibu Tuani Lidiawati .ST. MT, Bapak Hardianto .ST, selaku dosen Teknik Lingkungan ITN Malang.
9. Semua rekan-rekan 2000 yang sangat kompak baik senang walaupun duka, terima kasih buat dukungan dan masukannya.

Kami sadar bahwa laporan Skripsi ini tentu masih ada kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan baik dari segi isi maupun susunannya, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun sehingga penyusun dapat meningkatkan kemampuan dalam penyusunan laporan berikutnya.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah Nya sehingga saya dapat menyelesaikan laporan Skripsi yang berjudul "**LAY ERERTIFITAS AMBIRTOA ANTRAEW NITRIT DAN PROTEKSI KATODA SEBAGAI PENCEGAHAN KOROSI LOGAM PADA SISTEM PERPIPAAN PDAM**" tepat pada waktunya. Laporan ini merupakan persyaratan lepiang Strata 1 (S1) di ITN Malang pada Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Jurusan Teknik Lingkungan. Laporan Skripsi ini tersusun berkat dukungan serta bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan yang baik ini penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ucu Ismaun dan Ibu Sukarni, selaku orang tua yang selalu membberikan dukungan doa dan rasa tanpa itu semua saya tidak akan dapat berhasil seperti ini.
2. Bapak Prof. Ir. Widjyono Hadi, MSc, PhD, selaku Dosen Pembimbing I.
3. Ibu Evy Hendriarianti, ST, MMT, selaku Dosen Pembimbing II.
4. Ibu Anis Artiani, ST, selaku Kepala Laboratorium Lingkungan ITN Malang.
5. Pak Darwin, selaku selaku Laboratorium Kimia Universitas Brawijaya Malang.
6. Ibu Ir. A. Nurul Hidayati, MTP selaku Dekan FTSP ITN Malang.
7. Bapak Sudiro, ST, MT selaku Kepala Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
8. Bapak DR. Ir. Hery Setyobudiarso, MSi, Ibu Candra Dewiriana ST, MT, Ibu Tuani Lidiawati, ST, MT, Bapak Handiano, ST, selaku dosen Teknik Lingkungan ITN Malang.
9. Semua rekan-rekan 2000 yang sangat kompak baik senang walupun duka, terima kasih buat dukungan dan masukannya.

Kami sadar bahwa laporan Skripsi ini tentu masih ada kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan baik dari segi isi maupun susunannya, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun sehingga penyusun dapat meningkatkan kemampuan dalam penyusunan laporan berikutnya.

Atas saran dan kritik dari semua pihak sekali lagi penyusun mengucapkan banyak terima kasih. Akhirnya penyusun berharap agar laporan ini dapat bermanfaat khususnya bagi penyusun dan bagi para pembaca pada umumnya untuk menambah wawasan serta pengetahuan.

Malang, September 2005

Penyusun

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR LAMPIRAN

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Air merupakan unsur yang sangat penting bagi kehidupan dan kelangsungan hidup makhluk hidup di muka bumi. Untuk aliran dimana sumber airnya belum tercemar (alami), sumber air tersebut dapat langsung dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari dan dimanfaatkan sebagai air minum dengan terlebih dahulu dilakukan pemanasan.

Kebutuhan air bersih akan meningkat seiring dengan meningkatnya pendidikan, taraf hidup dan sosial ekonomi masyarakat. Langkah yang ditempuh unuk mendapatkan air bersih tersebut adalah dengan sistem perpipaan yang digunakan untuk mengalirkan air dari sumber air alami maupun dari tempat pengolahan air minum atau PDAM. Pendistribusian air bersih ke konsumen dimaksudkan agar konsumen bisa mendapatkan air minum dengan mudah tanpa harus mengambil langsung dari sumber. Akan tetapi pada sistem perpipaan yang pada umumnya terbuat dari logam sering ditemukan kebocoran yang dapat menyebabkan terjadinya kehilangan air sia-sia *(water losses)*. Kebocoran pada pipa air bersih PDAM dapat disebabkan oleh korosi (karat) yang menyerang logam.

Korosi dapat terjadi apabila logam berinteraksi dengan lingkungan yang agresif. Lingkungan agresif dapat dipengaruhi oleh perbedaan temperatur, pH, dan oksigen (aerasi diferensial). Selain itu bahan kimia yang digunakan sebagai desinfektan, kecepatan aliran dapat juga dijadikan penyebab terjadinya korosi. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghambat atau mengurangi laju korosi antara lain :

1. Modifikasi rancangan,
2. Modifikasi lingkungan,
3. Pemberian lapisan pelindung,

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. LATAR BELAKANG

Air merupakan unsur yang sangat penting bagi kehidupan dan kelangsungan hidup makhluk hidup di muka bumi. Untuk aliran dimana sumber airnya belum tercemar (alami), sumber air tersebut dapat langsung dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari dan dimanfaatkan sebagai air minum dengan terlebih dahulu dilakukan pemanasan.

Kebutuhan air bersih akan meningkat seiring dengan meningkatnya pendidikan, taraf hidup dan sosial ekonomi masyarakat. Langkah yang ditempuh untuk mendapatkan air bersih tersebut adalah dengan sistem perpipaan yang digunakan untuk mengalirkan air dari sumber ke alami maupun dari tempat pengolahan air minum atau PDAM. Pendistribusian air bersih ke konsumen dimaksudkan agar konsumen bisa mendapatkan air minum dengan mudah tanpa harus mengambil langsung dari sumber. Akan tetapi pada sistem perpipaan yang pada umumnya terbuat dari logam sering ditemukan kebocoran yang dapat mengebabkan terjadinya kehilangan air sia-sia (*water losses*). Kebocoran pada pipa air bersih PDAM dapat disebabkan oleh korosi (karat) yang mengganggu logam.

Korosi dapat terjadi apabila logam berinteraksi dengan lingkungan yang agresif. Lingkungan agresif dapat dipengaruhi oleh perbedaan temperatur, pH, dan oksigen (aerasi diferensial). Selain itu bahan kimia yang digunakan sebagai desinfektan, kecepatan aliran dapat juga dijadikan penyebab terjadinya korosi. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghambat atau mengurangi laju korosi antara lain :

1. Modifikasi rancangan.
2. Modifikasi lingkungan.
3. Pemberian lapisan pelindung.

4. Pemilihan bahan,
5. Proteksi katodik dan anodik.

Pada penelitian ini saya menggunakan dua metode yaitu modifikasi lingkungan dengan penambahan inhibitor natrium nitrit dan dengan proteksi katodik menggunakan anoda alumunium.

Inhibitor adalah suatu zat kimia yang apabila ditambahkan dalam konsentrasi yang relatif kecil ke lingkungan akan menurunkan serangan korosi terhadap logam secara efektif dengan cara mengubah kehantaran elektrolit, memperkuat selaput pasif pada permukaan logam dan mengubah pH. Pemilihan jenis inhibitor berdasarkan mekanisme penghambatan laju korosi dimana inhibitor dapat digolongkan menjadi tiga bagian, yaitu inhibitor adsorbsi, anodik dan katodik. Untuk inhibitor natrium nitrit termasuk dalam golongan inhibitor anodik. Inhibitor anodik meningkatkan polarisasi anoda melalui reaksi dengan ion-ion logam yang terkorosi untuk menghasilkan selaput-selaput pasif tipis atau lapisan-lapisan garam yang kemudian menyelimuti anoda. Kelebihan dari inhibitor jenis ini yaitu lebih efisien daripada inhibitor katodik, ini dikarenakan bila konsentrasi yang ditambahkan di atas harga kritisnya akan mereduksi laju korosi lebih besar dibandingkan dengan inhibitor katodik dalam konsentrasi yang sama. Untuk logam dan baja kedua jenis inhibitor ini penting, yang satu membutuhkan oksigen terlarut untuk menjadi efektif, misalnya molibdat, silikat, fosfat dan borat; sedangkan yang lain memang merupakan agen pengoksidasi, misalnya kromat, nitrit dan nitrat.

Sedangkan proteksi katodik adalah proses pengalihan serangan korosi dari katoda ke anoda. Ada 2 metode yang dapat digunakan sebagai proteksi katodik, yaitu metode anoda tumbal (sacrificial anode) dan metode arus terpasang. Untuk penelitian ini digunakan metode anoda tumbal. Dalam proteksi katodik dengan menggunakan metode anoda tumbal, logam yang diproteksi diatur agar berperan sebagai katoda dalam suatu sel korosi seperti gambar 2.1 dan pasangan yang ditempelkan adalah logam lain yang memiliki potensial yang lebih negatif sehingga

4. Pemilihan bahan.
5. Proteksi katodik dan anodik.

Pada penelitian ini saya menggunakan dua metode yaitu modifikasi lingkungan dengan penambahan inhibitor natrium nitrit dan dengan proteksi katodik menggunakan anoda aluminium.

Inhibitor adalah suatu zat kimia yang apabila ditambahkan dalam konsentrasi yang relatif kecil ke lingkungan akan mencurunkan serangan korosi terhadap logam secara efektif dengan cara mengubah kelakuatan elektrolit, memperkuat sclapan pasif pada permukaan logam dan mengubah pH. Pemilihan jenis inhibitor berdasarkan mekanisme pengbambatan laju korosi dimana inhibitor dapat digolongkan menjadi tiga bagian, yaitu inhibitor adsorbsi, anodik dan katodik. Untuk inhibitor natrium nitrit termasuk dalam golongan inhibitor anodik. Inhibitor anodik menimgkatkan polarisasi anoda melalui reaksi dengan ion-ion logam yang terkorosi untuk mengbasilkan sclapun-sclapun pasif tipis atau lapisan-lapisan garam yang kemudian menyelimuti anoda. Kelebihan dari inhibitor jenis ini yaitu lebih efisien dariprada inhibitor katodik, ini dikarenakan bila konsentrasi yang ditambahkan di atas harga kritisnya akan mereduksi laju korosi lebih besar dibandingkan dengan inhibitor katodik dalam konsentrasi yang sama. Untuk logam dan baja kedua jenis inhibitor ini penting, yang satu membutuhkan oksigen terlarut untuk menjadi efektif, misalnya molibdat, silikat, fosfat dan borat; sedangkan yang lain memang memrpakan agen pengoksidasi, misalnya kromat, nitrit dan nitrat.

Sedangkan proteksi katodik adalah proses pengadilan serangan korosi dari katoda ke anoda. Ada 2 metode yang dapat digunakan sebagai proteksi katodik, yaitu metode anoda tumbal (sacrificial anode) dan metode arus terpasang. Untuk penelitian ini digunakan metode anoda tumbal. Dalam proteksi katodik dengan menggunakan metode anoda tumbal, logam yang diproteksi diatur agar berperan sebagai katoda dalam suatu sel korosi seperti gambar 2.1 dan pasangan yang ditempelkan adalah logam lain yang memiliki potensial yang lebih negatif sehingga

berperan sebagai anoda. Kelebihan metode ini dibandingkan dengan metode yang lain, yaitu sistem ini relatif mudah dan sederhana karena anoda dapat dipasang dalam berbagai aplikasi dan konfigurasi, sistem ini juga tidak tergantung energi dari luar. Selain itu dari segi umur penggunaan. metode ini cukup tahan lama sekitar 5 sampai 10 tahun. Tetapi pada metode ini anoda yang dipakai harus selalu dimonitor dan diganti apabila sudah habis terkorosi, karena mempunyai umur terbatas.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Penelitian ini membahas permasalahan korosi yang terjadi pada pipa PDAM. Adapun permasalahan tersebut adalah :

1. Bagaimanakah kemampuan inhibitor natrium nitrit dan proteksi katodik dalam mengendalikan laju korosi pada pipa PDAM ?
2. Seberapa besar efektifitas inhibitor natrium nitrit dalam mengendalikan laju korosi ?
3. Seberapa besar efektifitas proteksi katodik dalam mengendalikan laju korosi ?

1.3. TUJUAN

Adapun tujuan dari penyusunan laporan ini adalah:

1. Mengetahui kemampuan inhibitor natrium nitrit dan proteksi katodik dengan alumunium sebagai anoda terhadap laju korosi pada pipa PDAM.
2. Mengetahui efektifitas inhibitor natrium nitrit dalam menghambat laju korosi pada pipa PDAM.
3. Mengetahui efektifitas proteksi katodik dalam menghambat laju korosi pada pipa PDAM.

berperan sebagai anoda. Kelebihan metode ini dibandingkan dengan metode yang lain, yaitu sistem ini relatif mudah dan sederhana karena anoda dapat dipasang dalam berbagai aplikasi dan konfigurasi. sistem ini juga tidak terganggu oleh air dan laut. Selain itu dari segi umur penggunaan, metode ini cukup tahan lama sekitar 5 sampai 10 tahun. Tetapi pada metode ini anode yang dipakai harus selalu dimonitor dan diganti apabila sudah habis terkorosi. karena mempunyai umur terbatas.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Penelitian ini membahas permasalahan korosi yang terjadi pada pipa PDAM. Adapun permasalahan tersebut adalah :

1. Bagaimanakah kemampuan inhibitor natrium nitrit dan protokol katodik dalam mengendalikan laju korosi pada pipa PDAM ?
2. Seberapa besar efektifitas inhibitor natrium nitrit dalam mengendalikan laju korosi ?
3. Seberapa besar efektifitas protokol katodik dalam mengendalikan laju korosi ?

1.3. TUJUAN

Adapun tujuan dari penyusunan laporan ini adalah:

1. Mengetahui kemampuan inhibitor natrium nitrit dan protokol katodik dengan aluminium sebagai anoda terhadap laju korosi pada pipa PDAM.
2. Mengetahui efektifitas inhibitor natrium nitrit dalam mengendalikan laju korosi pada pipa PDAM.
3. Mengetahui efektifitas protokol katodik dalam mengendalikan laju korosi pada pipa PDAM.

1.4. RUANG LINGKUP

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan batasan-batasan masalah :

1. Penelitian dilakukan dengan skala laboratorium.
2. Sampel yang digunakan adalah besi.
3. Variasi penambahan konsentrasi inhibitor natrium nitrit : 0 ppm, 100 ppm, 250 ppm, 400 ppm dan 550 ppm.
4. Variasi waktu perendaman dengan menggunakan inhibitor natrium nitrit, yaitu : 24 jam, 48 jam dan 72 jam.
5. Variasi waktu perendaman dengan menggunakan anoda tumbal alumunium, yaitu : 24 jam, 48 jam dan 72 jam.

1.4. RUANG LINGKUP

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan batasan-batasan masalah :

1. Penelitian dilakukan dengan skala laboratorium.
2. Sampel yang digunakan adalah besi.
3. Variasi penambahan konsentrasi inhibitor natrium nitrit : 0 ppm, 100 ppm, 250 ppm, 400 ppm dan 550 ppm.
4. Variasi waktu perendaman dengan menggunakan inhibitor natrium nitrit, yaitu : 24 jam, 48 jam dan 72 jam.
5. Variasi waktu perendaman dengan menggunakan anoda umpal aluminium, yaitu : 24 jam, 48 jam dan 72 jam.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM

Sistem perpipaan pada PDAM selalu kontak langsung baik dengan lingkungan maupun dengan bahan kimia (klor) yang mempunyai sifat-sifat tertentu, sehingga memungkinkan terjadi reaksi antara pipa baja dengan lingkungan dan bahan kimia sebagai penyebab korosi.

2.2. JENIS PIPA

Pipa yang diperlukan untuk mengalirkan air baku dari sumber ke reservoir maupun dari reservoir ke konsumen memiliki bentuk penampang lingkaran. Pipa tersebut dapat terbuat dari bahan sebagai berikut :

1. Besi tuang *(cast iron)*
2. Besi yang digalvanisir *(galvanized iron)*
3. Ductile Cast Iron
4. Beton
5. Tembaga
6. Asbes (Asbeston Cement)
7. Baja
8. Plastik (PVC)

Berikut ini diuraikan jenis pipa yang digunakan :

- **Pipa besi tuang (Cast Iron Pipe)**

  Pipa besi tuang telah digunakan sejak ± 200 tahun yang lalu. Panjang dari suatu bagian adalah 4m dan 6m. Pipa ini biasa dicelupkan dalam larutan kimia untuk perlindungan terhadap karat dan untuk memperbaiki mutu hidroliknya. Umur pipa ini bisa mencapai 100 tahun. Mempunyai sifat kuat, tahan korosi dan biasanya digunakan debagai pipa pembawa, pipa induk juga digunakan untuk daerah yang tanahnya korosif.

- **Pipa besi yang digalvanisir (Galvanized Iron Pipe)**

  Pipa jenis ini sering digunakan sebagai pipa distribusi, bahannya terbuat dari pipa baja yang dilapisi seng. Umur dari pipa jenis ini mencapai 7-10 tahun.

  Keuntungan penggunaan pipa jenis ini adalah :

  - bahan pipa cukup kuat
  - mudah diulir untuk sambungan
  - bahannya cukup ringan

  sedangkan kerugian pada pipa jenis ini adalah :

  - mudah mengalami korosi
  - kurang tahan terhadap bahan kimia.

- **Pipa plastik (PVC)**

  Pipa plastik yang telah dikenal sebagai pipa PVC *(Poly Vinyl Chloride)* di pasaran dengan berbagai merk. Panjang pipa 4m dan 6m dengan ukuran diameter pipa mulai 0,5" (12,7mm)-14" (355,6mm). Umur pipa PVC dapat mencapai 75 tahun. Pipa PVC mempunyai sifat tahan korosi, harganya cukup murah, dan tidak tahan panas maupun tekanan dari luar. Oleh karena itu tidak di pasang di udara terbuka. Pipa PVC yang sesuai dengan kebutuhan sarana air minum diperoleh dalam tiga kelas seperti yang terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kelas pipa PVC yang dikenal di Indonesia dengan pabrik pembuatnya

Kelas			Tekanan Kerja (m)
Paralon	**Rucika**	**Wavin**	
AV	AW	II	100
AZ	D	III	80

Sumber : PDAM Kota Malang

- **Asbeston Cement (AC) Pipe**

  Mempunyai sifat tahan korosi, lebih ringan daripada pipa Cast Iron dan mudah dikerjakan pemotongnnya, penyambungan maupun pemasangan ke rumah. Biasa digunakan sebagai pipa pembawa, pipa induk, dan pipa distribusi. Pipa AC yang dipakai di Indonesia dibagi dalam empat kelas

pembagiannya menurut kekuatan tekan kerjanya, seperti yang tertera pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kelas Kekuatan Pipa Asbes Semen

Kelas	Tekan Uji (m)	Tekan Kerja Maks (m)
15	153	76
20	204	102
25	255	127
30	305	152

Sumber : PDAM Kota Malang

- **Pipa Baja**

Pipa baja terbuat dari baja lunak, saat ini banyak ragam pipa di pasaran. Untuk pipa baja karbon (*carbon steel pipe*) terbuat dari campuran baja dan karbon dengan ukuran diameter 1/2" hingga 10" dan kekuatan tekan 50 kg/cm^2 hingga 90 kg/cm^2. Sedang untuk diameter yang lebih besar lagi digunakan jenis *spiral welded pipe* dengan diameter 12"-60" (300 mm-1500 mm). Umur pipa dapat mencapai 50 tahun.

Keuntungan penggunaan pipa jenis ini adalah :

- Ringan dan mudah diangkat
- Pipa tersedia dalam berbagai ukuran panjang
- Pemasangan dan penyambungan rumah
- Pipa tahan karat

Sedangkan kerugian pada pipa jenis ini adalah :

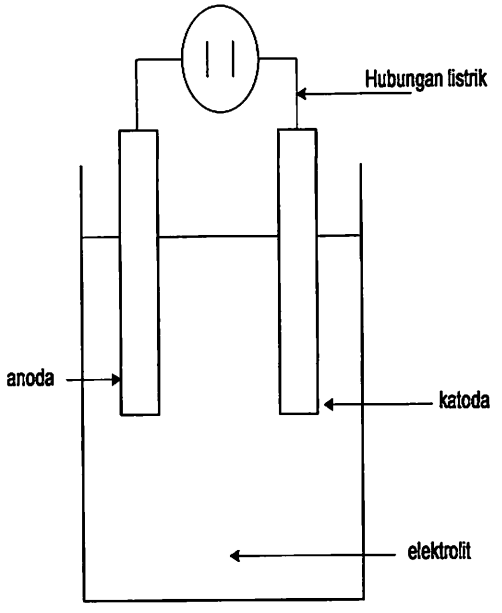
- Pipa berat sehingga biaya pengangkutan mahal

2.3. PENGERTIAN KOROSI

Korosi merupakan kerusakan ilmiah yang terjadi pada setiap subtansi di hampir setiap lingkungannya. Definisi korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Lingkungan yang dimaksud dapat berupa udara, air, tanah atau lingkungan yang khas seperti bahan-bahan kimia, minyak bumi dan lain sebagainya. Logam terkorosi pada suatu lingkungan dengan suatu mekanisme elektrokimia yang terdiri dari korosi basah maupun korosi kering (temperatur tinggi).

A. Korosi Basah

Biasanya kita dapat mengenali daerah-daerah pada permukaan logam yang terkorosi tempat reaksi-reaksi anoda dan katoda masing-masing berlangsung, dan daerah-daerah ini disebut anoda dan katoda. Ada beberapa hal yang menyebabkan anoda dan katoda terdapat di permukaan logam. Untuk itu kita dapat mengganti sistem dengan anoda dan katoda tunggal yang berada dalam suatu sistem korosi basah sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Sel Korosi Basah

Empat komponen penting pada korosi basah adalah :

a. Anoda

Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut, yang disebut juga reaksi anoda. Reaksi ini bisa saja menghalangi pelarutan logam yang lebih lanjut sehingga korosi terhenti dan permukaan logam mengalami pemasifan.

$$M \longrightarrow M^{n+} + n \,.\, e^-$$

Dengan banyak elektron yang diambil dari masing-masing atom oleh valensi logam bersangkutan. Umumnya, n = 1,2, atau 3.

b. Katoda

Katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Dua reaksi yang umum terjadi pada katoda, tergantung pH larutan bersangkutan adalah :

1. pH < 7 ; $H^+ + e^- \longrightarrow H$ (atom)

   $2H \longrightarrow H_2$ (gas)

2. pH ≥ 7; $2H_2O + O_2 + 4e^- \longrightarrow 4OH^-$

c. Elektrolit

Istilah ini digunakan pada larutan yang bersifat sebagai penghantar listrik, misalnya air garam (NaCl). Air sangat murni biasanya dianggap bukan elektrolit, karena pH-nya 7 atau netral.

d. Hubungan Listrik

Antara anoda dan katoda harus terdapat kontak listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir. Dengan sistem ini, korosi bisa terjadi pada anoda jika antara anoda dan katoda terdapat selisih energi bebas. Persamaan yang dirumuskan oleh Farady menyatakan kerja yang dilakukan (perubahan energi bebas pada korosi) menurut beda potensial dan muatan yang dipindahkan :

$$\Delta G = E - zF$$

Dimana :

F = Muatan yang dipindahkan oleh suatu mol elektron dengan harga 96,494 Coulomb/mol.

E = Potensial yang diukur (volt)

Z = Selisih energi bebas atau banyaknya elektron yang dipindahkan dalam korosi. Tanda (-) menunjukkan bahwa elektron bermuatan negatif.

ΔG = Selisih energi bebas

Apabila rangkaian antara elektroda-elektroda dalam keadaan tertutup, potensial menggerakkan arus yang tidak lain adalah elektron-elektron yang dihasilkan oleh reaksi.

Semua reaksi korosi dilingkungan air dapat dianggap tidak berbeda dengan contoh sel korosi basah tersebut. Penghilangan salah satu dari ke empat komponen sel basah korosi akan menghentikan reaksi korosi.

B. Korosi Kering (Temperatur Tinggi)

Korosi pada permukaan logam dapat terjadi meskipun elektrolit cair tidak ada, karena itu proses tersebut disebut korosi kering. Proses korosi kering yang paling nyata adalah reaksi logam dengan oksigen di udara. Walaupun nitrogen menjadi unsur utama membentuk udara, perannya tidak penting ketika logam dipanaskan di udara, karena pengaruh oksigen lebih dominan.

Oksigen mudah bereaksi dengan kebanyakan logam, meskipun energi thermal yang dibutuhkan untuk menghasilkan laju oksidasi sangat bervariasi untuk logam-logam yang berbeda pada temperatur yang sama. Pada temperatur yang tinggi, laju oksidasi logam-logam meningkat.

2.3.1. Mekanisme Proses Korosi

Korosi merupakan suatu reaksi elektrokimia, sehingga usaha-usaha untuk memahami korosi sering dilakukan dengan menggunakan pengetahuan elektrokimia.

Dilihat dari segi elekrokimia, korosi merupakan reaksi oksidasi logam menjadi kationnya disertai dengan pelepasan elektron, yang akan digunakan untuk mereduksi suatu zat aktif yang ada di lingkungannya. Suatu reaksi korosi terdiri dari reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Reaksi oksidasi disebut juga reaksi anodik sedangkan reaksi reduksi disebut juga reaksi katodik. Selama serangan korosi berlangsung reaksi anodik selalu merupakan oksidasi dari suatu logam menjadi kationnya. Apabila logam yang terkorosi dinyatakan sebagai M, reaksi anodik korosi adalah sebagai berikut :

Apabila rangkaian antara elektroda-elektroda dalam keadaan terbuka, potensial menggerakkan arus yang tidak lain adalah elektron-elektron yang dihasilkan oleh reaksi.

Semua reaksi korosi dilingkungan air dapat dianggap tidak berbeda dengan contoh sel korosi basah tersebut. Penghilangan salah satu dari ke empat komponen sel basah korosi akan menghentikan reaksi korosi.

B. Korosi Kering (Temperature Tinggi)

Korosi pada permukaan logam dapat terjadi meskipun elektrolit cair tidak ada. Karena itu proses tersebut disebut korosi kering. Proses korosi kering yang paling nyata adalah reaksi logam dengan oksigen di udara. Walaupun nitrogen merupakan unsur utama membentuk udara, perannya tidak penting karena logam dipanaskan di udara, karena pengaruh oksigen lebih dominan.

Oksigen mudah bereaksi dengan kebanyakan logam. meskipun energi thermal yang dibutuhkan untuk mengubahkan laju oksidasi sangat bervariasi untuk logam-logam yang berbeda pada temperatur yang sama. Pada temperatur yang tinggi, laju oksidasi logam-logam meningkat.

2.3.1. Mekanisme Proses Korosi

Korosi merupakan suatu reaksi elektrokimia, sehingga usaha-usaha untuk mencahani korosi sering dilakukan dengan menggunakan pengetahuan elektrokimia.

Dilihat dari segi elektrokimia, korosi merupakan reaksi oksidasi logam menjadi kationnya disertai dengan pelepasan elektron, yang akan digunakan untuk mereduksi suatu zat "akif" yang ada di lingkungannya. Suatu reaksi korosi terdiri dari reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Reaksi oksidasi disebut juga reaksi anodik sedangkan reaksi reduksi disebut juga reaksi katodik. Selama serangan korosi berlangsung reaksi anodik selalu merupakan oksidasi dari suatu logam menjadi kationnya. Apabila logam yang terkorosi dinyatakan sebagai M, reaksi anodik korosi adalah sebagai berikut :

$$M \longrightarrow M^{n+} + n \cdot e^-$$

Harga n tergantung dari sifat logam. Sementara reaksi katodik yang terjadi adalah reaksi reduksi. Reaksi reduksi ini menyebabkan unsur yang bereaksi menjadi bermuatan lebih rendah. Seringkali reaksi reduksi ini merupakan pemicu dari timbulnya reaksi anodik. Contoh reaksi reduksi yang terjadi adalah terionisasinya oksigen dalam air yang menyebabkan terjadinya pemindahan elektron dari logam sehingga mengawali terjadinya proses korosi.

Dalam lingkungan yang netral atau basa, reaksi ionisasi oksigen ini dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow 4OH^- \quad \text{.....(2.1)}$$

Reaksi katodik yang terjadi tergantung dari suasana lingkungannya. Dalam suasana asam, reaksi katodik lain yang mungkin terjadi adalah:

$$H^+ + e^- \longrightarrow \tfrac{1}{2}\, H_2 \quad \text{.....(2.2)}$$

Sistem air PDAM biasanya mempunyai lingkungan yang bersuasana netral atau basa lemah, sehingga reaksi utama yang terjadi dalam proses korosi pada pipa baja PDAM adalah reaksi (2.1) dan (2.2) yang diikuti oleh reaksi pembentukan $Fe(OH)_3$ sebagai berikut :

$$Fe^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Fe\,(OH)_2 \quad \text{.....(2.3)}$$

Reaksi diatas akan berlangsung apabila logam mengalami kontak dengan air yang mengandung oksigen terlarut.

2.3.2. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Laju Korosi

Terjadinya proses korosi pada logam dapat menimbulkan penambahan atau pengurangan dari logam yang terkorosi. Dan pada umumnya dipengaruhi oleh faktor-faktor antara lain :

1. Temperatur

Laju korosi akan meningkat sejalan dengan meningkatnya suhu pada sebuah sistem korosi. Hal ini sejalan dengan kinetika reaksi kimia lainnya yang meningkat sebanding dengan peningkatan suhu.

2. **Waktu**

   Laju korosi belum tentu tetap atau konstan, terdapat kemungkinan terjadinya proses korosi dengan laju korosi awal yang tinggi dan laju korosi tahap berikutnya lambat.

3. **Perbedaan oksigen (aerasi diferensial)**

   Suatu permukaan yang satu bagiannya teraerasi akan terkorosi dibandingkan bagian lain yang tidak teraerasi jika dihubungkan secara elektrik melalui elektrolit.

4. **Perbedaan konsentrasi**

   Seperti halnya pengaruh dari perbedaan aerasi, jika terjadi perbedaan konsentrasi atau pH, korosi akan berlangsung pada daerah yang mempunyai konsentrasi lebih besar.

5. **Perbedaan potensial**

   Jika terdapat perbedaan potensial pada lingkungan yang sama, misalnya antara seng dan baja maka logam yang lebih negatif pada deret galvanik yaitu seng akan terkorosi dan melindungi baja dari bahaya korosi.

6. **Kondisi permukaan**

   Kebersihan permukaan, kehadiran lapisan film pada permukaan dan kehadiran benda asing dapat menimbulkan pengaruh yang kuat pada laju korosi.

7. **Erosi**

   Erosi itu sendiri bukanlah korosi, tetapi akan menyebabkan lapisan pelindung (lapisan film) pada permukaan logam menjadi rusak sehingga menyebabkan terbukanya peluang terjadinya korosi pada logam tersebut.

8. **Perlakuan panas (Heat treatment)**

   Heat treatment yang dimaksud disini adalah perlakuan panas yang diberikan kepada logam pada saat pembentukannya.

   Sifat korosif dari logam dan paduannya dapat sangat dipengaruhi oleh sejarah terbentuknya logam atau paduannya tersebut.

9. **Sifat fisik, kimia dan biologis lingkungan**

Dalam penelitian korosi dilakukan pada lingkungan air. Oleh karena itu sifat-sifat fisik, kimia dan biologis dari air yang berpengaruh terhadap laju korosi dan efek yang ditimbulkan.

Tabel 2.3. Pengaruh sifat-sifat fisik air terhadap laju korosi dalam pipa baja PDAM.

Faktor	Efek
Temperatur	➢ Peningkatan suhu mempercepat laju korosi ➢ Peningkatan suhu mempengaruhi pembentukan lapisan pelindung ➢ Peningkatan suhu dapat mengubah perilaku korosi
Laju alir	➢ Laju alir tinggi mempercepat pembentukan lapisan pelindung tetapi juga menggerus lapisan pelindung serta mempertinggi kadar oksigen terlarut dalam air ➢ Laju alir rendah dapat menyebabkan *pitting corrosion*

Sumber : Corrosion Inhibitor by C.C Nathan (NACE)

Tabel 2.4. Pengaruh sifat-sifat bahan kimia dan biologis air terhadap laju korosi dalam pipa baja PDAM.

Faktor	Efek
pH	➢ pH rendah meningkatkan laju korosi ➢ pH tinggi dapat membentuk lapisan pelindung dan menurunkan laju korosi
Alkalinitas	➢ Membantu membentuk lapisan pelindung $CaCO_3$ dan pengendalian pH sehingga laju korosi berkurang
Oksigen terlarut	➢ Meningkatkan laju korosi
Sisa klor	➢ Meningkatkan laju korosi
Total padatan terlarut	➢ Mempertinggi konduktifitas dan laju korosi
Kesadahan	➢ Mengurangi laju korosi
Klorida dan sulfat	➢ Meningkatkan laju korosi
Hidrogen sulfida	➢ Meningkatkan laju korosi
Silikat dan fosfat	➢ Membentuk lapisan pelindung
Bahan-bahan organik	➢ Mengurangi laju korosi

Sumber : Corrosion Inhibitor by C.C Nathan (NACE)

2.3.3. Jenis-Jenis Korosi

Menurut jenisnya korosi dapat dibedakan menjadi 8 (delapan) jenis, sebagai berikut :

1. **Korosi Permukaan (Uniform Corrosion)**

Bentuk umum yang paling banyak dijumpai adalah perusakan merata. Kejadian ini biasanya ditandai oleh reaksi kimia atau elektro

kimia yang berlangsung secara merata di seluruh permukaan yang terlihat. Logam yang mengalami perusakan jenis ini, lambat laun akan terjadi penipisan dan akhirnya akan kehilangan daya gunanya. Sebagai contoh misalnya, sepotong logam di dalam larutan H_2SO_4 akan terlarut secara merata di segenap permukaannya dengan laju pelarutan yang seragam.

Kerusakan akibat korosi merata dapat dikendalikan dengan beberapa cara, antara lain :

a. Penggunaan logam tahan korosi,
b. Lapisan pelindung,
c. Proteksi anodik dan katodik,
d. Inhibitor.

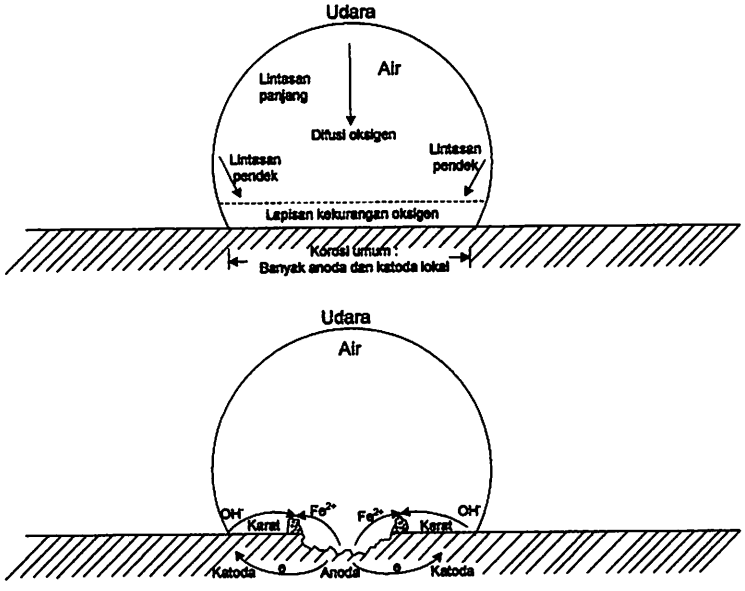
2. Korosi Sumuran (Pitting Corrosion)

Korosi sumuran adalah salah satu bentuk penyerangan korosi yang terlokalisir dan menghasilkan lubang pada logam. Korosi jenis ini sangat merusak peralatan, karena menimbulkan lubang-lubang pada logam yang terserang korosi. Apabila tidak terjadi lubang-lubang minimal dapat terjadi pitting. Sedangkan *(pitting)* itu sendiri seringkali sulit untuk dideteksi, karena sumuran *(pits)* yang dihasilkan oleh produk korosi ini sangat kecil dan jumlah serta kedalaman *(pits)* bervariasi sehingga sangat sulit untuk dievaluasi. Umumnya diameter lubang ini relatif kecil dan tumbuh mengikuti arah gravitasi.

Pada korosi jenis ini, kerusakan dimulai dengan adanya cacat/goresan, struktur/komposisi yang tidak homogen dipermukaan logam. Selain itu perbedaan konsentrasi oksigen (aerasi diferensial) dan ion-ion logam juga dapat menimbulkan korosi sumuran ini. Biasanya korosi ini banyak terjadi pada logam yang berbeda di lingkungan yang mengandung khlorida atau sulfida.

Korosi jenis ini dapat dikendalikan dengan cara, sebagai berikut :

a. Penggunaan logam tahan korosi sumur,
b. Permukaan logam diperhalus, dan
c. Inhibitor.



Gambar 2.2. Korosi Sumur

Sumber : Trethewey K R, Korosi Untuk mahasiswa

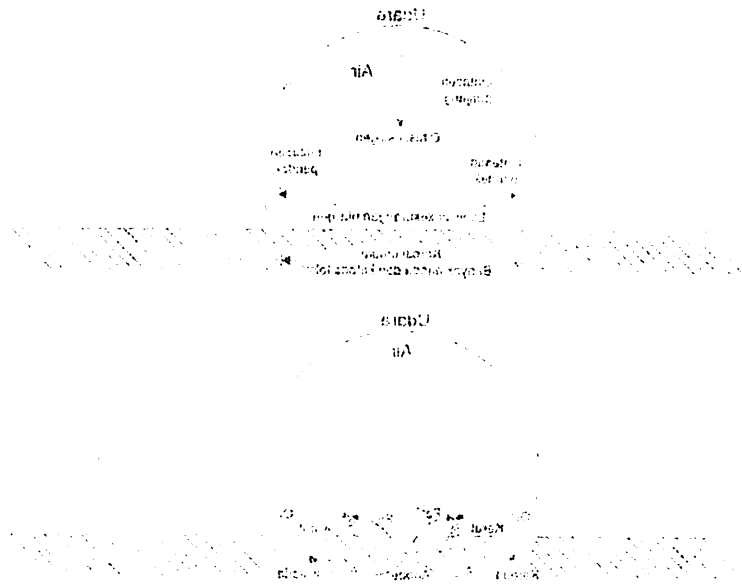
3. **Korosi Celah (Crevice Corrosion)**

Korosi celah adalah bentuk korosi elektrokimia yang dapat terjadi pada suatu celah dan di bawah permukaan yang tersembunyi pada permukaan logam yang berada dalam lingkungan korosif. Korosi celah pada suatu konstruksi banyak terjadi di bawah paku keling, baut dan sebagainya. Korosi jenis ini banyak terjadi pada berbagai sistem paduan seperti baja tahan karat dan titanium, alumunium dan paduan tembaga.

Pada dasarnya korosi ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi oksigen antara daerah celah dan sekitarnya. Pada bagian yang langsung berhubungan dengan udara mempunyai konsentrasi oksigen yang tinggi dan bagian ini bersifat katodik. Sedangkan konsentrasi dibagian celah adalah rendah. Bagian ini bersifat anodik sehingga akan mengalami korosi.

Korosi jenis ini dapat dikendalikan dengan cara sebagai berikut:

a. Menghindarkan terbentuknya celah-celah dalam suatu konstruksi,
b. Penggunaan gasket yang baik,



Gambar 2.2. Korosi Sumur

Sumber : Trethewey & R. Korosi Untuk mahasiswa

3. **Korosi Celah (Crevice Corrosion)**

Korosi celah adalah bentuk korosi elektrokimia yang dapat terjadi pada suatu celah dan di bawah permukaan yang terkembunyi pada permukaan logam yang berada dalam lingkungan korosif. Korosi celah pada suatu konstruksi banyak terjadi di bawah paku keling, baut dan sebagainya. Korosi jenis ini banyak terjadi pada berbagai sistem paduan seperti baja tahan karat dan titanium, aluminium dan paduan tembaga.

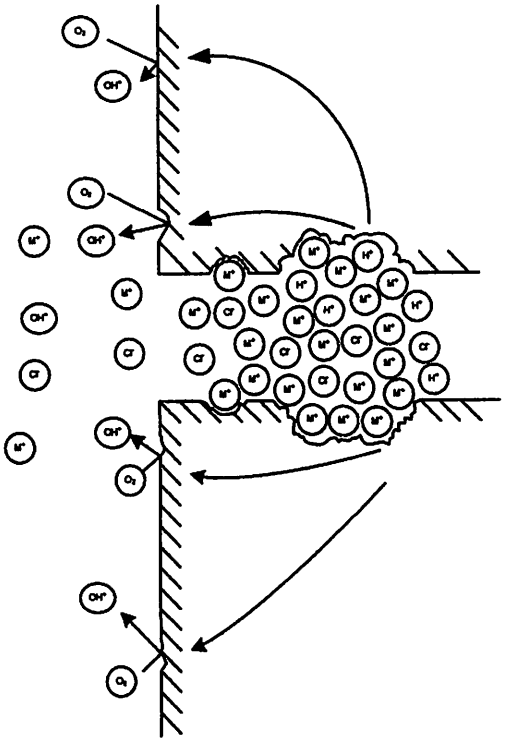
Pada dasarnya korosi ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi oksigen antara daerah celah dan sekitarnya. Pada bagian yang langsung berhubungan dengan udara mempunyai konsentrasi oksigen yang tinggi dan bagian ini bersifat katodik. Sedangkan konsentrasi dibagian celah adalah rendah. Bagian ini bersifat anodik sehingga alam mengalami korosi.

Korosi jenis ini dapat dikendalikan dengan cara sebagai berikut:

a. Menghindarkan terbentuknya celah-celah dalam suatu konstruksi.
b. Penggunaan gasket yang baik.

c. Pembersihan karat yang baik,

d. Desain yang tepat.



Gambar 2.3. Korosi Celah

Sumber : Trethewey K R, Korosi Untuk mahasiswa

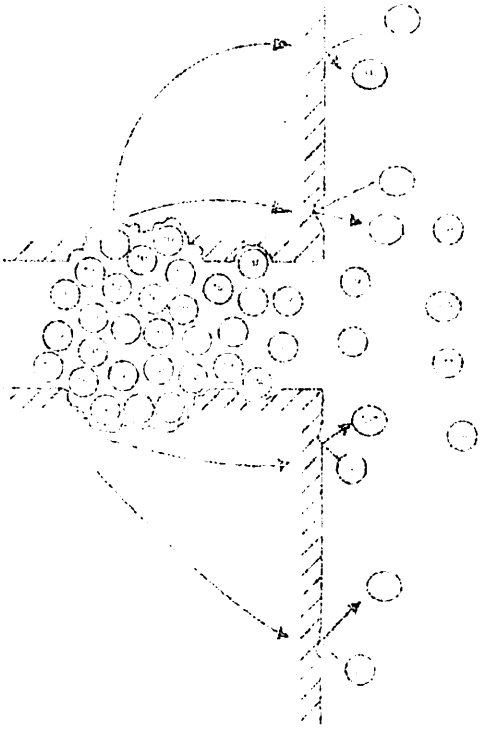
4. Korosi Batas Butir (Intergranular Corrosion)

Korosi batas butir adalah salah satu jenis korosi yang menyerang pada atau yang berdekatan dengan batas butir dari suatu paduan. Dalam kondisi biasa, logam-logam yang terserang korosi secara uniform, daerah batas butir akan lebih reaktif jika dibandingkan dengan daerah yang lain. Dengan kondisi yang lain, daerah batas butir dapat dibuat sangat reaktif, hal inilah yang disebut dengan korosi batas butir.

Akibat dari korosi jenis ini adalah sangat fatal pada logam paduan karena kekuatannya akan sangat jauh berkurang dari pada kondisi logam pada awalnya. Contoh yang paling popular pada korosi batas butir adalah pada baja tahan karat yang mendapat pemanasan 550 ^{0}C – 850 ^{0}C. Pada rentang pemanasan tersebut akan terjadi penguraian karbon yang selanjutnya akan bereaksi dengan khrom. Reaksi ini akan menghasilkan senyawa yaitu khrom karbida ($Cr_{23}C_6$). Karena energi

c. Pembersihan kerak yang baik

d. Ketahanan yang tepat.



Gambar 2.3. Korosi celah

Sumber : Trethewey K.R. Korosi untuk mahasiswa

4. Korosi Batas Butir (Intergranular Corrosion)

Korosi batas butir adalah salah satu jenis korosi yang menyerang pada atau yang berdekatan dengan batas butir dari suatu paduan. Dalam kondisi tertentu, logam-logam yang tersering korosi secara uniform, daerah batas butir akan lebih reaktif jika dibandingkan dengan daerah yang lain. Dengan kondisi yang lain, daerah batas butir dapat dibuat sangat reaktif, hal inilah yang disebut dengan korosi batas butir.

Akibat dari korosi jenis ini adalah sangat fatal pada logam paduan karena kekuatannya akan sangat jauh berkurang dari pada kondisi logam pada awalnya. Contoh yang paling popular pada korosi batas butir adalah pada baja tahan karat yang mendapat pemanasan 550 ^{0}C – 850 ^{0}C. Pada rentang pemanasan tersebut akan terjadi pengumpulan karbon yang selanjutnya akan bereaksi dengan kromium. Reaksi ini akan menghasilkan senyawa yaitu kromium karbida ($Cr_{23}C_6$). Karena energi

pada batas butir besar, maka senyawa khrom karbida ini terjadi pada batas butir dan membentuk presipitat (endapan).

Akibat dari hal tersebut maka di sekitar batas butir akan kekurangan khrom bebas, sehingga akibat selanjutnya apabila kondisi ini kontak langsung dengan media yang korosif, maka akan terjadi korosi yang untuk selanjutnya disebut dengan korosi batas butir. Sehubungan dengan hal tersebut di atas, maka perlu diwaspadai pengelasan yang dilakukan pada baja tahan karat austenitik 304, karena hal ini akan menyebabkan terjadinya kasus yang sama yaitu terjadinya korosi batas butir.

Korosi jenis ini dapat dihindari dengan cara sebagai berikut :

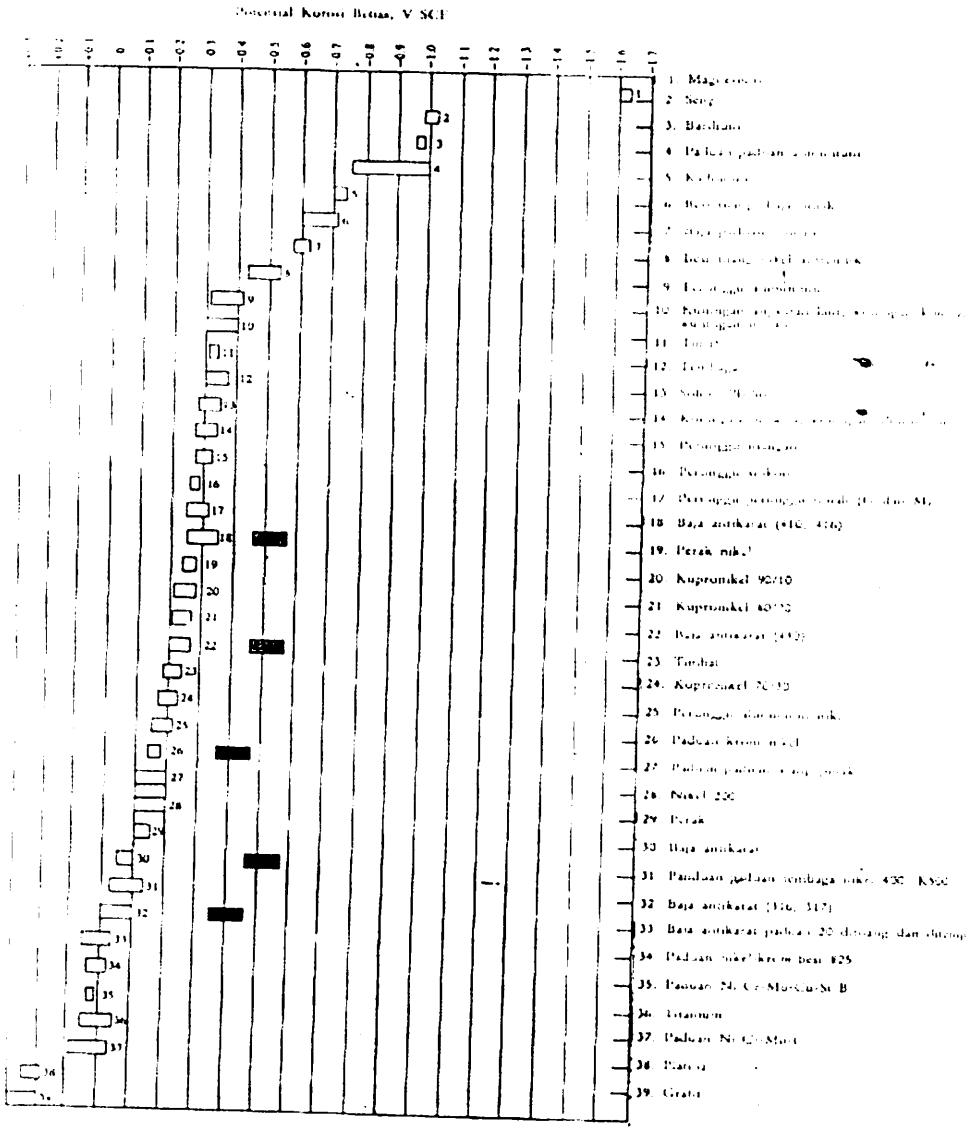
a. Pemanasan yang dilakukan pada temperatur dingin kemudian didinginkan cepat ke dalam air, hal ini mengakibatkan atom karbon tidak sempat bereaksi dengan khrom namun akan melarut kembali menjadi larutan padat,
b. Penambahan unsur-unsur lain pada baja tahan karat, seperti colombium dan titanium agar tidak terbentuk senyawa khrom karbida,
c. Mengurangi unsur karbon serendah mungkin, hal ini dimaksudkan agar karbon tidak cukup untuk bereaksi dengan unsur khrom.

5. Korosi Galvanis (Galvanik Corrosion)

Korosi galvanis dapat terjadi karena adanya dua logam yang berbeda dalam suatu lingkungan dan saling berhubungan. Diantara kedua logam tersebut akan terjadi tegangan listrik, sehingga logam yang lebih mudah teroksidasi akan menjadi anoda, sedangkan logam yang lain akan menjadi katoda, akibatnya pada daerah anoda akan terjadi pelarutan.

Pada kondisi galvanis ini, logam yang kurang mulia akan jauh lebih cepat terserang korosi, sedangkan pada logam yang lebih mulia akan terlindung dari serangan korosi. Contoh dari kasus ini dapat dilihat pada baja yang mengalami perlakuan galvanis, yaitu baja yang dilapisi seng, dimana seng akan mengelupas untuk melindungi baja,

karena kedudukan baja sesuai dengan deret volta lebih mulia jika dibandingkan dengan seng.



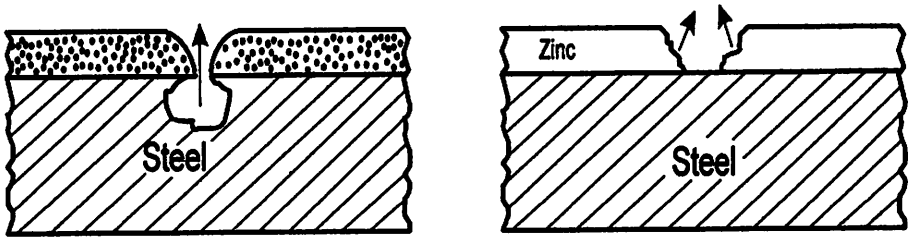
Tabel 2.5. Seri Galvanik Logam Dan Paduan
Sumber : Trethewey K R, Korosi Untuk mahasiswa

Untuk menghindari terjadinya korosi galvanis ini maka harus dihindarkan penggunaan dua logam yang berbeda pada suatu kodisi yang sama dan keduanya saling berhubungan.

karena kelunduk'an bija sesari dengan dicet yoita lebih mulia jika dibandingkan dengan sang.

Tabel 2.5. Seri Galvanik Logam dan Paduan
Sumber : Trethewey K. R, Korosi Untuk mahasiswa

Untuk menghindari terjadinya korosi galvanis ini maka harus dihindarkan penggunaan dua logam yang berbeda pada suatu lokasi yang sama dan kedunya saling berhubungan.



Gambar 2.4. Korosi galvanis
Sumber : Trethewey K R, Korosi Untuk mahasiswa

6. **Korosi Selektif (Selective Corrosion)**

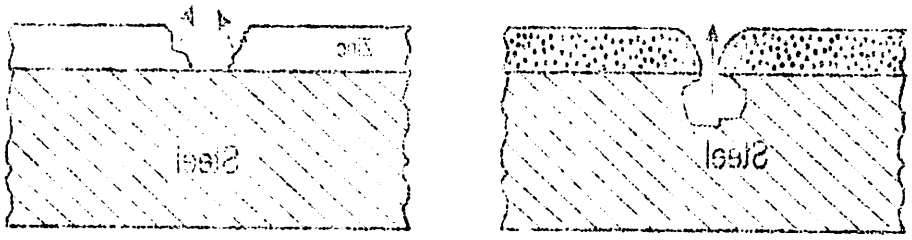
Korosi jenis ini dapat terjadi apabila salah satu komponen unsur atau fasa dalam suatu paduan terkorosi. Contoh pipa besi cor yang terpendam dalam tanah, dalam waktu yang lama maka yang terkorosi adalah bagian logamnya. Proses yang sama juga terjadi pada paduan tembaga yaitu hilangnya elemen-elemen pemadu nikel timah dan khrom.

Untuk menghindari terjadinya korosi selektif dapat dilakukan dengan mengurangi kandungan seng (85% Cu – 15% Zn). Kemungkinan lain adalah dengan mengubah lingkungan korosif atau menggunakan proteksi katodik.

7. **Korosi Tegangan (Stess Corrosion Cracking)**

Korosi tegangan yang terjadi pada suatu logam disebabkan oleh pengaruh kombinasi dari tegangan tarik dan lingkungan korosif yang bereaksi dengan logam tersebut.

Selama berlangsung proses *(stress corrosion cracking)* biasanya pada logam yang terserang korosi terdapat lekuk yang sangat kecil sekali dan selanjutnya merambat sangat cepat sampai logam tersebut rusak. Tegangan yang mengakibatkan *(stress corrosion cracking)* dapat juga berupa tegangan sisa yang disebabkan oleh perlakuan panas pada saat pembentukan logam, terjadinya transformasi fase selama perlakuan panas, pendinginan, dan pengelasan. Sebagai contoh, baja tahan karat mengalami crack (retak) pada lingkungan khlorida tetapi tidak terjadi pada lingkungan amonia. Namun pada kuningan (paduan Cu-Zn), crack dapat terjadi pada lingkuan amonia tetapi tidak dapat terjadi pada lingkungan khlorida.



Gambar 2.4. Korosi galvanis
Sumber : Fontana, M.G. Korosi (Jurnal mekanisme

6. **Korosi Selektif (Selective Corrosion)**

Korosi jenis ini dapat terjadi apabila salah satu komponen unsur atau fasa dalam suatu paduan terkorosi. Contoh pipa besi cor yang terpendam dalam tanah, dalam waktu yang lama maka yang terkorosi adalah bagian logamnya. Proses yang sama juga terjadi pada paduan tembaga yang bilangnya dengan-dengan pomadu nikel tinggi dan kromm.

Untuk mengindari terjadinya korosi selektif dapat dilakukan dengan mengurangi kandungan seng (35% Cu - 15% Zn). Kemungkinan lain adalah dengan mengubah lingkungan korosif atau menggunakan proteksi katodik.

7. **Korosi Tegangan (Stress Corrosion Cracking)**

Korosi tegangan yang terjadi pada suatu logam disebabkan oleh pengaruh kombinasi dari tegangan tarik dan lingkungan korosif yang bereaksi dengan logam tersebut.

Sekama berlangsung proses (stress corrosion cracking) disamping pada logam yang terserang korosi terdapat lekuk yang sangat kecil sekali dan selanjutnya merambat sangat cepat sampai logam tersebut rusak. Logamnya yang mengalibatkan (stress corrosion cracking) dapat juga berupa logamnya sisa yang disebabkan oleh perlakuan panas pada saat pembentukan logam, terjadinya transformasi fase selama perlakuan panas, pendinginan, dan pengelasan. Sebagai contoh, bila tabung kaca mengalami crack (retak) pada lingkungan klorida tetapi tidak terjadi pada lingkungan amonia. Kuningan pada kuningan (paduan Cu-Zn), crack dapat terjadi pada lingkungan amonia tetapi tidak dapat terjadi pada lingkungan klorida.

Mekanisme korosi tegangan tidak selengkapnya dapat dipahami karena lingkungan dan masing-masing paduan yang terkorosi mekanismenya berbeda-beda. Mekanisme korosi tegangan yang paling banyak, pertama-tama adalah adanya crack awal dan kemudian merambat.

8. Korosi Erosi (Erosion Corrosion)

Korosi ini diakibatkan oleh terjadinya gabungan perusakan korosi dengan pengikisan atau erosi logam oleh aliran fluida. Apabila terdapat suatu aliran fluida dengan cepat yang mengenai permukaan logam, maka akan mengikis lapisan tipis oksida, sehingga lapisan pelindung tersebut akan rontok dan proses korosi akan berlangsung lebih cepat. Pengikisan ini akan lebih cepat jika pada larutan tersebut mengandung partikel abrasif.

Korosi ini dapat dengan mudah dikenali, karena nampak pada permukaan logam, misalnya berupa lubang-lubang atau ketidak rataan permukaan, sumuran dan kerusakan permukaan lainnya yang biasanya terjadi adalah searah dengan laju aliran fluida.

2.3.4. Pengendalian Korosi

Korosi telah didefinisikan sebagai penurunan mutu logam oleh reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Di kebanyakan situasi praktis serangan ini tidak dapat dicegah, kita hanya dapat berupaya untuk mengendalikan sehingga struktur atau komponen tersebut mempunyai masa pakai lebih panjang. Setiap komponen mengalami tiga tahapan utama : perancangan, pembuatan dan pemakaian. Pengendalian korosi memainkan peranan penting dalam setiap tahapan tadi. Pengendalian bisa dilakukan dengan berbagai cara tetapi yang paling penting adalah :

a) Modifikasi rancangan
b) Modifikasi lingkungan
c) Pemberian lapisan pelindung
d) Pemilihan bahan
e) Proteksi katodik atau anodik
f) Penggunaan Inhibitor

2.3.4.1. Pengendalian Dengan Menggunakan Inhibitor

Inhibitor adalah suatu zat kimia yang apabila ditambahkan atau dimasukkan dalam jumlah tertentu ke dalam suatu zat koroden (lingkungan yang korosif) dapat secara efektif memperlambat atau mengurangi laju korosi yang ada. Bila ditinjau dari reaksi yang dihambatnya, inhibitor dibagi menjadi inhibitor anodik dan katodik sedangkan bila ditinjau berdasarkan mekanisme penghambatannya ada beberapa klasifikasi yang diusulkan oleh *Kurita* dan *Wallace* adalah sebagai berikut :

- **Passivation Inhibitor**

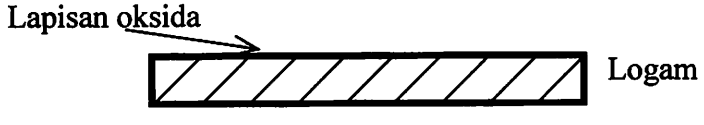
  Merupakan inhibitor pembentuk lapisan oksida , inhibitor jenis ini sering digunakan dan lebih efektif. Pada penelitian ini kami menggunakan salah satu jenis passivation inhibitor yaitu Inhibitor Nitrit (NO_2).

  Inhibitor ini dalam larutan berfungsi sebagai "Oxidizing Agent" yang akan menghasilkan suatu lapisan yang tipis di daerah anodik. Dan akan bereaksi cepat dengan ion Fe seperti yang terlihat pada persamaan reaksi sebagai berikut ini :

  $$2Fe^{2+} + 2OH^- + 2NO_2^- \longrightarrow 2NO + Fe_2O_3 + H_2O$$

  Reaksi tersebut di atas akan menghambat kerusakan pada baja, dimana ion Fe akan membentuk lapisan film menjadi Fe_2O_3 pada area yang aktif sehingga logam akan tertutup oleh lapisan yang dibentuk. ***(Aswatch V. 1980).***

  Conoby dan Swain mencatat bahwa pada umumnya konsentrasi nitrit yang diinginkan adalah 300 sampai 500 mg/lt dibawah kondisi optimum ***(C.C Nathan 1973.)***



Gambar 2.5. Lapisan oksida pada logam

- **Katodik Inhibitor**

  Pelambatan karat *(inhibition)* dengan menurunkan laju korosi ke arah katoda. Inhibitor bereaksi dengan ion hidroksil untuk mengendapkan senyawa-senyawa yang tidak dapat larut ke permukaan katoda sehingga O_2 tidak dapat masuk.

  Contoh : garam-garam Zn, Ca, Mg, Natrium sulfit.

- **Organik Inhibitor**

  Disebut juga inhibitor pembentuk film teradsorpsi, karena senyawa-senyawa ini menimbulkan *protective film* dari molekul-molekul yang teradsorpsi pada permukaan baja. Konsentrasi inhibitor pada medium ini adalah kritis karena permukaan baja tertutup rata ***(Philips A. Swatcher 1972).***

2.4. INHIBITOR NATRIUM NITRIT

Di dalam pembakaran NO terjadi perpaduan antara nitrogen dan oksigen di dalam udara. Setelah didinginkan pada suhu kamar, NO teroksidasi menjadi NO_2, kemudian absorbsi NO_2 dalam air menjadi 30% asam nitrit dengan reaksi :

$$3\ NO_2 + H_2O \longrightarrow 2HNO_3 + NO$$

Residu gas antara NO_2 dan NO dicuci dengan menggunakan soda ash. Antara NO_2 dan NO adalah absorbsi dan natrium nitrit terbentuk dalam larutan :

$$Na_2CO_3 + NO_2 + NO \longrightarrow 2NaNO_2 + CO_2$$

Total NO yang diproduksi pada pembakaran, antara 83,3% didalamnya terdapat 30% asam nitrit, 14,7% natrium nitrit dan 2% gas hilang.

2.4.1. Inhibitor Natrium Nitrit

Natrium nitrit adalah jenis inhibitor pasivator dan termasuk inhibitor yang ramah lingkungan karena nitrit tidak termasuk logam berat. Kemampuan inhibitor nitrit dapat digolongkan sangat baik karena nitrit dapat terdegradasi oleh mikroorganisme yang terdapat dalam air.

Untuk penggunaan bagian dalam pada pipa, takaran normal antara 15 sampai 60 mg. Apabila takaran berlebih harus segera dicuci, dapat

menyebabkan sakit perut dan pusing. Percobaan dengan menggunakan ayam 100 ppm adalah toleransi ketahanan dalam air minum. Jika range natrium nitrit antara 50-200 ppm dalam air minum dapat menyebabkan pertumbuhan ayam menurun.

Selain itu nitrit juga digunakan untuk mengeringkan daging contohnya, mikroorganisme di dalam daging melemah dengan gas nitrogen dan dengan tidak merusak komposisi natrium, jadi pada proses akhir praktis tidak ada residu nitrit yang tertinggal dalam daging atau nilai yang tertinggal rendah sekali dibandingkan dengan batas toleransi antara 100 mg $NaNO_2$ kg berat per hari.

2.4.2. Penggunaan

Natrium nitrit adalah pewarna diazo buatan pabrik, susunan nitroso dan organik lainnya. Juga digunakan sebagai inhibitor pada korosi, pengobatan, photografi, pencuci serat alam, cat dan untuk percetakan pada tekstil. Juga digunakan untuk mewarnai daging. Pada pencampuran natrium nitrit dalam cairan, natrium nitrit digunakan dalam pemanasan logam dan paduan logam. Penyampuran natrium nitrit cair dan nitrat digunakan pada pemanasan sedang.

2.5. PROTEKSI KATODIK

Proteksi katodik merupakan salah satu metode yang digunakan dalam mengendalikan laju korosi pada logam. Prinsip dari metode proteksi katodik yaitu memilih suatu bahan yang bila kita gandengkan dengan logam yang ingin kita lindungi dari serangan korosi akan menjadi tumbal, atau dengan kata lain korosi akan menyerang bahan yang kita gunakan sebagai tumbal dan logam yang ingin kita lindungi tidak diserang oleh korosi.

Aplikasi yang efektif dari proteksi katodik dapat memberikan perlindungan menyeluruh bagi semua area yang kontak langsung dengan media elektrolit. Walaupun demikian, proteksi katodik tidak menghilangkan semua korosi pada pipa, tetapi mengurangi kecepatan laju korosi. Kombinasi dari *coating* (pelapisan) dan proteksi katodik

mengebahkan sakit perut dan pusing. Percobaan dengan menggunakan ayam 100 ppm adalah toleransi ketinggian dalam air minum. Jika range nitrium nitrit antara 50-200 ppm dalam air minum dapat mengebabkan pertumbuhan ayam terganggu.

Selain itu nitrit juga digunakan untuk mengoringkan daging contohnya, mikroorganisme di dalam daging mereaksi dengan gas nitrogen dan dengan tidak meresak komposisi nutrium, jadi pada proses akhir praktis tidak ada residu nitrit yang tertinggal dalam daging atau nilai yang tertinggal rendah sekali dibandingkan dengan batas toleransi antara 100 mg $NaNO_2$ kg berat per hari.

2.4.2. Penggunaan

Natrium nitrit adalah pewarna dinto bantan pabrik, sistem nitrosa dan organik lainnya. Juga digunakan sebagai inhibitor pada korosi, pengobatan, photografi, pencucci serat alam, cat dan untuk perecetakan pada tekstil. Juga digunakan untuk mewarnai daging. Pada pencampuran natrium nitrit dalam cairan, natrium nitrit digunakan dalam permanasan logam dan paduan logam. Pengumpuran natrium nitrit cair dan nitrat digunakan pada permanasan sedang.

2.5. PROTEKSI KATODIK

Proteksi katodik merupakan salah satu metode yang digunakan dalam mengendalikan laju korosi pada logam. Prinsip dari metode proteksi katodik yaitu memilih suatu bahan yang bila kita gandengkan dengan logam yang ingin kita lindungi dari serangan korosi akan menjadi tumbal, atau dengan kata lain korosi akan mengerang bahan yang kita gunakan sebagai tumbal dan logam yang ingin kita lindungi tidak disserang oleh korosi.

Aplikasi yang efektif dari proteksi katodik dapat membentuk perlindungan menyeluruh bagi semua area yang kontak langsung dengan media elektrolit. Walaupun demikian, proteksi katodik tidak menghilangkan semua korosi pada pipa, tetapi mengurangi kecepatan laju korosi. Kombinasi dari coating (polapisan) dan proteksi katodik

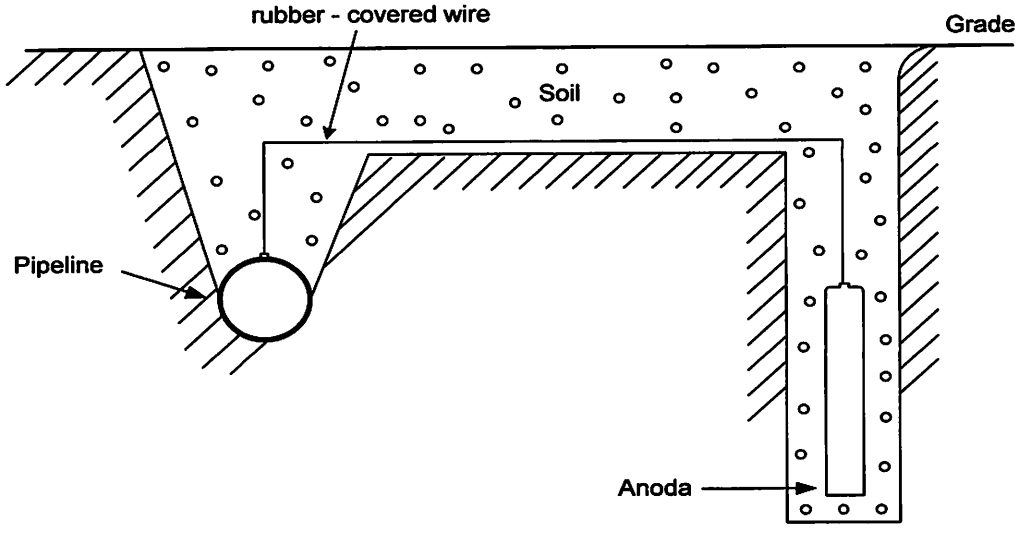
dapat memberikan perlindungan yang paling ekonomis, sehingga merupakan pilihan efektif bagi pipa yang ditanam atau yang terendam dalam air. Untuk pipa telanjang ataupun yang mempunyai *coating* kurang sempurna, proteksi katodik seringkali merupakan satu-satunya alternatif yang harus dipakai untuk perlindungan pipa. Ada dua macam metode pada proteksi katodik, yang dibedakan menurut sumber arusnya seperti yang akan dibahas berikutnya :

1. Metode anoda tumbal *(sacrificial anode method),*
2. Metode arus terpasang *(impressed current method).*

2.5.1. Metode Anoda Tumbal *(sacrificial anode method)*

Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion. Suatu sistem perlindungan logam dengan menggunakan logam lain yang lebih elektro-negatifan dari pada logam yang dilindungi, dan dalam prosesnya akan menimbulkan hubungan sirkuit aliran listrik.

Proteksi katodik menggunakan arus langsung dari anoda bantu untuk mencegah atau menghalangi korosi logam yang bertindak sebagai katoda dalam media yang menyebabkan korosi. Korosi akan semakin berkurang, apabila potensial dibuat lebih negatif karena logam yang dalam sel korosi basah berfungsi sebagai katoda yang tidak mengalami korosi.



Gambar 2.6. Aplikasi dari metode anoda korban
Sumber : Uhlig and Revice, 1985

Spesifikasi anoda

Pada metode *sacrificial anode,* anoda yang digunakan biasa disebut anoda galvanik yaitu : Zinc (Zinnode), Magnesium (Magnode) dan Alumunium (Alanode).

Tabel 2.6 Anoda Galvanik

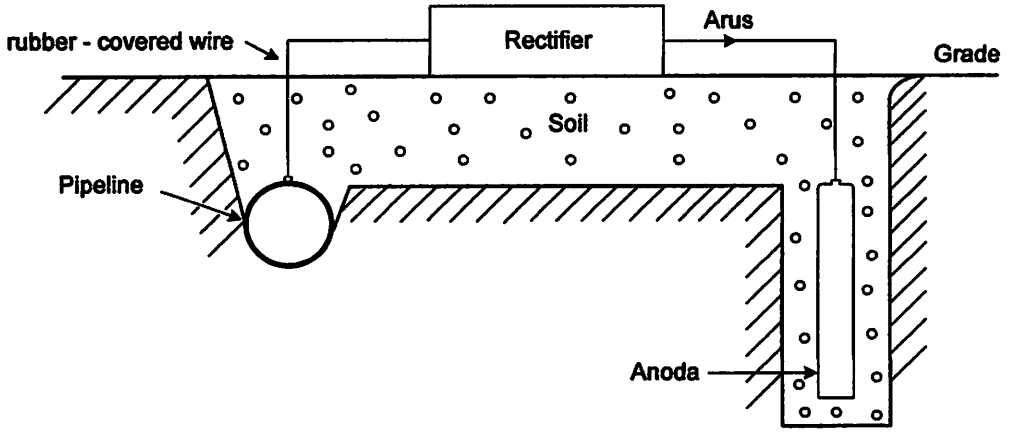
Spesifikasi	Zinnode	Magnode	Alanode
Spesifik grafity	7,11	1,82	2,77
Potensial anode (Volt)	1,12	1,8	1,2
Effisiensi arus (%)	95	50	90
Kapasitas arus (A . jam/Kg)	780	1100	2600

Sumber : Beasur, Cathodic Protection, The Nippon Corrosion Engineering (dikutip dari Laporan Skripsi Satyasari, A, 2003)

2.5.2. Metode arus terpasang *(impressed current method)*

Pada dasarnya penerapan proteksi katodik dengan metode arus terpasang tidak berbeda jauh dengan metode anoda tumbal. Perbedaannya terletak pada sumber arus yang digunakan. Pada metode *sacrificial anode* arus yang digunakan untuk memproteksi pipa berasal dari anoda itu sendiri, tetapi pada metode *impressed current* arus yang digunakan untuk memproteksi pipa berasal dari sumber lain atau rectifier, dimana anoda yang dihubungkan dengan rectifier berfungsi sebagai media untuk mentransfer arus yang berasal dari pipa.

Sumber arus yang digunakan pada metode *impressed current* dapat berasal dari : baterai, generator dan transformer-rectifier. Sedangkan arus yang dikeluarkan oleh sumber arus tersebut dapat diatur sesuai dengan besarnya arus yang dibutuhkan untuk memproteksi pipa.



Gambar 2.7. Aplikasi Dari Metode Arus Terpasang
Sumber : Uhlig and Revice, 1985

Spesifikasi anoda

Pada metode sacrificial anode, anoda yang digunakan biasa disebut anoda galvanik yaitu : Zinc (Zinanode), Magnesium (Magnode) dan Aluminium (Alanode).

Tabel 2.6 Anoda Galvanik

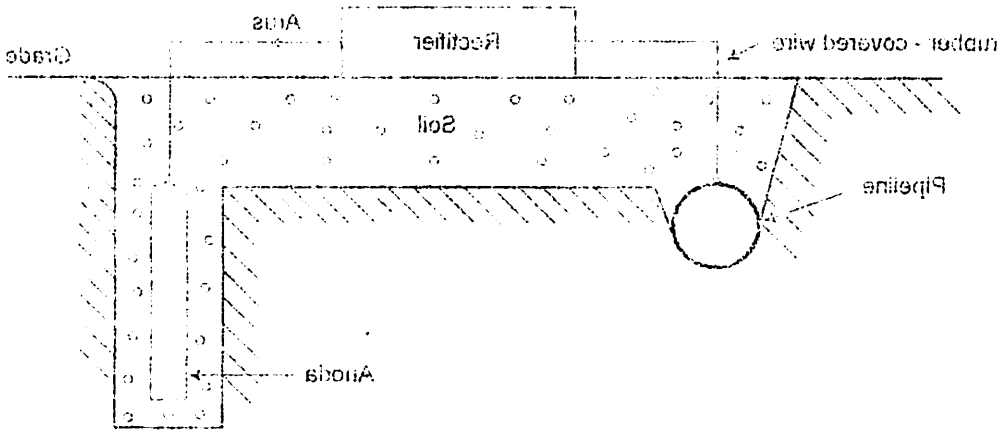
Spesifikasi	Zinanode	Magnode	Alanode
Spesifik gravity	7.11	1.85	2.77
Potensial anode (Volt)	1.12	1.8	1.2
Efisiensi arus (%)	95	50	90
Kapasitas arus (A . jam/kg)	780	1100	2600

Sumber : Roman, Cathodic Protection, The Typum Corrosion Engineering (diterjemahkan oleh Jaspron Sitipsi Satyawan, A. 2003)

2.5.2. Metode arus terpaksa (impressed current method)

Pada dasarnya pencegahan proteksi katodik dengan metode arus terpaksa tidak berbeda jauh dengan metode anoda tumbal. Perbedaannya terletak pada sumber arus yang digunakan. Pada metode sacrificial anode arus yang digunakan untuk memproteksi pipa berasal dari anoda itu sendiri, tetapi pada metode impressed current arus yang digunakan untuk memproteksi pipa berasal dari sumber lain atau rectifier, dimana anoda yang dihubungkan dengan rectifier berfungsi sebagai media untuk mentransfer arus yang berasal dari pipa.

Sumber arus yang digunakan pada metode impressed current dapat berasal dari : baterai, generator dan transformer-rectifier. Sedangkan arus yang dikeluarkan oleh sumber arus tersebut dapat diatur sesuai dengan besarnya arus yang dibutuhkan untuk memproteksi pipa.



Gambar 2.7. Aplikasi Dari Metode Arus Terpaksa
Sumber : Uhlig and Revie, 1985

Spesifikasi anoda

Pada metode *impressed current*, anoda yang digunakan akan lebih lama habisnya dibandingkan dengan anoda galvanik yang digunakan pada metode *sacrificial anode*. Oleh sebab itu anoda ini disebut anoda permanen. Ada empat jenis anoda permanen yaitu : Hihg Sikicon Cast Iron, Graphite, Platinized Titanium dan Lead Silver Alloy.

Arus yang dibutuhkan untuk proses proteksi dengan metode *impressed current* dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini :

$$I_t = \frac{id}{1000} . \pi . Dp . Lp$$

dimana : I_t = Total arus untuk proteksi katodik (Ampere)

id = Rapat arus dalam pipa (mA/ft^2)

= 2 mA/ft^2 ⟶ pipa terbuka

= 0,2 mA/ft^2 ⟶ pipa tercoating biasa

= 0,005 mA/ft^2 ⟶ pipa tercoating dengan baik

Dp = diameter luar pipa (ft)

Lp = panjang pipa (ft)

Rumus–rumus yang dapat dipergunakan dalam perhitungan untuk perencanaan proteksi katodik dengan metode anoda korban adalah sebagai berikut :

a. Berat total anoda

$$W_t = \frac{Y.It.8760}{Ca} kg$$

dimana : Y = disain umur pipa (th)

I_t = total arus yang dibutuhkan untuk proteksi (Ampere)

8760 = jumlah jam dalam setahun

Ca = kapasitas anoda (ampere . jam/kg)

b. Jumlah anoda

$$N = \frac{Wt}{Wa}$$

Dimana : Wt = total berat anoda (kg)

Wa = berat tiap anoda

c. Jarak penanaman antar anoda

$$X(m) = \frac{Lp}{2N}$$

dimana : Lp = panjang pipa (m)

N = jumlah anoda (unit)

Ini berarti bahwa jarak dari ujung pipa terhadap anoda pertama dan terakhir adalah x, sedangkan jarak anoda pertama terhadap anoda berikutnya adalah 2x.

Secara umum pemasangan anoda pada pipa untuk metode anoda korban adalah sebagai berikut :

Anoda dapat ditanam secara vertikal ataupun horizontal. Dalam kebanyakan kasus, anoda tidak boleh ditanam lebih dalam daripada kedalaman pipa. Untuk keadaan tanah kering, kedalaman tambahan dapat meningkatkan performance anoda dengan pencapaian tanah yang resivitasnya lebih rendah. Membasahkan anoda dengan kira-kira 5 galon air setelah instalasi akan lebih cepat mengaktifkan anoda dalam menyediakan arus yang diperlukan.

2.6 Analisa Data

Analisa data dimaksudkan untuk mengolah data yang didapat selama penelitian, yang ditampilkan dalam bentuk data yang mudah dilihat dan dipahami. Pengolahan data dilakukan dengan bantuan software aplikasi *Microsoft Excel* untuk ditampilkan dalam bentuk tabulasi dan grafik, sehingga dapat ditentukan kondisi optimum dari tiap variasi yang dilakukan dalam penelitian. Selain itu dilakukan analisa statistik *Analysis of variance* (ANOVA) untuk memudahkan pengambilan kesimpulan.

2.7 Desain Eksperimen

Eksperimen merupakan suatu usaha untuk mengungkapkan kebenaran atau membuktikan suatu hipotesis. Eksperimen didefinisikan sebagai suatu studi yang mempelajari pengaruh manipulasi variabel-variabel bebas terhadap variabel-variabel tak bebas. Sedangkan untuk

design experiment sendiri dapat dijabarkan sebagai langkah-langkah lengkap yang perlu diambil sebelum eksperimen dilakukan agar dapat diperoleh suatu data sehingga didapatkan suatu analisis yang obyektif dan juga kesimpulan yang berlaku untuk suatu permasalahan yang sedang dibahas.

Ada tiga langkah yang harus dilakukan dalam design experiment, yaitu antara lain :

a. *Eksperimen*

   Pada tahap ini mula-mula dilakukan perumusan masalah, pemilihan variabel respon atau variabel tak bebas, penentuan faktor yang akan divariasi dan pemilihan level dari tiap-tiap faktor tersebut.

b. *Desain*

   Tahap kedua merupakan tahap utama yang berupa penentuan jumlah pengamatan yang akan dilakukan, penetapan urutan pelaksanaan ekspeimen, pemilihan metode randomisasi yang dipakai, penyusunan model matematis dan penentuan hipotesis yang akan diuji.

c. *Analisis*

   Tahap ini merupakan kelanjutan dari tahap sebelumnya yang berisi pengumpulan dan pengolahan data, perhitungan uji statistik dan interpretasi hasil eksperimen.

Dalam melakukan design experimen perlu diperhatikan jenis kasus yang akan dianalisa sehingga metode design experiment yang digunakan sesuai dengan kasus yang akan dianalisa. Adapun metode design experiment adalah sebagai berikut :

1. *Eksperiment Faktor Tunggal*

   Metode ini digunakan untuk suatu kasus dimana faktor yang akan dianalisa hanya satu (hanya satu faktor yang berubah). Analisis dilakukan hanya untuk menyelidiki apakah terdapat perbedaan yang berarti mengenai efek-efek tiap taraf atau tidak.

2. *Eksperimen Faktorial*

Metode ini merupakan suatu metode eksperimen yang semua (hampir semua) taraf sebuah faktor tertentu dikombinasikan atau disilangkan dengan semua (hampir semua) taraf tiap faktor lainnya yang ada dalam eksperimen tersebut. Eksperimen faktorial ini dibedakan atas banyaknya taraf dari tiap faktor yang diamati dan sering dinamakan dengan desain faktorial n, dimana n menunjukkan jumlah taraf yang digunakan dan k adalah jumlah faktor yang ada. Apabila terdapat k buah faktor dengan tiap faktor bertaraf tiga, maka bentuk eksperimen yang digunakan adalah design experiment faktorial 3^k. Untuk eksperimen yang menggunakan empat buah faktor dengan masing-masing faktor memiliki taraf tiga buah, maka dapat dinyatakan sebagai eksperimen faktorial 3^4.

2.8 Hipotesis Statistik

Sebelum melakukan analisa statistik dari data-data yang telah didapatkan, terlebih dahulu ditentukan dugaan/hipotesis awal atau hipotesis nol dari suatu analisa. Hipotesis nol merupakan suatu hipotesa yang diharapkan akan ditolak kebenarannya. Hipotesis nol merupakan suatu hipotesa yang diharapkan akan ditolak kebenarannya. Hipotesis nol (H_0) sering juga disebut dengan hipotesis statistik (Waluyo, 2001). Sedangkan hipotesis dengan harapan kebenarannya akan diterima disebut dengan hipotesis alternatif atau hipotesis teoritis (H_1). Dinamakan hipotesis teoritis karena hipotesis/dugaan tersebut didasarkan pada teori yang mendukung hipotesis tersebut, sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0 dan H_1 selalu berlawanan.

2.9 Analisis Varian (ANOVA)

Analisis data dengan ANOVA akan ditinjau dari desain dengan sebuah observasi dari tiap unit eksperimen dalam desain ANOVA faktor tunggal, faktor yang diamati hanya satu dan akan dilihat pengaruhnya terhadap parameter terukurnya. Model ANOVA pada desain faktorial tidak jauh berbeda dengan ANOVA pada desain faktor tunggal. Perbedaannya

hanya terletak dari banyaknya faktor yang digunakan dalam desain tersebut.

Kesimpulan yang didapat dari ANOVA ini dapat dilihat berdasarkan model yang digunakan. Ada dua model dalam penentuan kesimpulan ini yaitu : (Sudjana, 1994).

a. Model Tetap

   Dalam model tetap, hipotesis nol (H_o) yang digunakan adalah bahwa tidak terdapat perbedaan di antara efek-efek k buah perlakuan yang terdapat dalam eksperimen. Hipotesis nol dalam model ini dirumuskan:

   $H_o : \tau_I = 0$ untuk I = 1,2,3 ..... K

   Jika H_o benar, maka KT yang berasal dari kekeliruan dan KT yang berasal dari antar pelakukan merupakan taksiran untuk σ_ε^2, maka perbandingan yang ditentukan oleh :

   F = P / E = (KT antar pelakuan / KT kekeliruan eksperimen).

   Akan berdistribusi F dengan dk pembeling $v_1 = (k - 1)$ dan dk penyebut adalah $v_2 = \Sigma(n_i - 1)$. Jika harga F lebih besar dari $F_{\alpha(v1,\ v2)}$, dengan α merupakan taraf signifikan, maka hipotesis nol ditolak. Kesimpulannya adalah bahwa terdapat perbedaan diantara efek k buah perlakuan.

b. Hipotesis nol dalam model ini adalah tidak terdapat efek-efek semua perlakuan di dalam populasi dimana sebuah sampel telah diambil sebanyak k perlakuan. Hipotesis nol ditulis sebagai $H_o : \sigma_t^2 = 0$. Cara pengujian model ini sama dengan model tetap, hanya saja kesimpulan dari model ini berlaku untuk populasi perlakuan berdasarkan sebuah sampel yang terdiri dari k perlakuan yang diambil dari populasi tersebut.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1. TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Lingkungan ITN Malang, yang dilaksanakan pada bulan Mei- juni 2005.

3.2. VARIABEL PENELITIAN

3.2.1. Variabel Terikat

- Konsentrasi Fe terlarut.

3.2.2. Variabel Bebas

- Konsentrasi natrium nitrit : 0 ppm, 100 ppm, 250 ppm, 400 ppm dan 500 ppm.
- Waktu perendaman dengan menggunakan inhibitor natrium nitrit : 24 jam, 48 jam dan 72 jam.
- Waktu perendaman menggunakan proteksi katodik dengan anoda alumunium : 24 jam, 48 jam dan 72 jam.

3.2.3. Variabel Tetap

a. Penelitian I (Penggunaan Inhibitor $NaNO_2$)

- Pipa besi
- Mempersiapkan natrium klorida sebagai larutan elektrolit.
- Natrium nitrit (NO_2) sebagai inhibitor.

b. Penelitian II (Metode Proteksi Katodik)

- Pipa besi
- Pipa alumunium sebagai anoda pada metode proteksi katodik.
- Mempersiapkan natrium klorida sebagai larutan elektrolit.

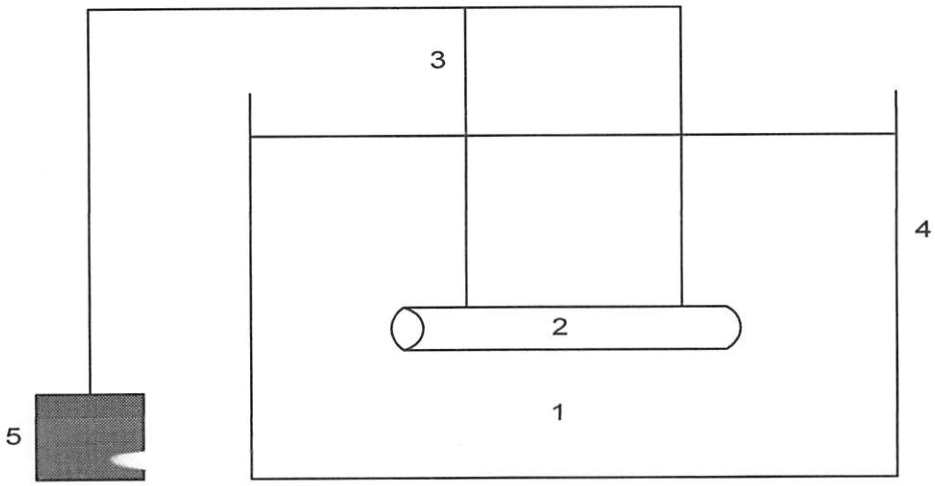
3.3. RANCANGAN PERCOBAAN

3.3.1. Spesifikasi Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 2 model kolam, yaitu kolam pertama digunakan pada penelitian I (penggunaan inhibitor) dengan ukuran kolam panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 17 cm. Untuk kolam kedua digunakan untuk penelitian II (metode proteksi katodik) dengan ukuran kolam panjang 17 cm, lebar 17 cm, dan tinggi 20 cm. Pada kolam pertama dilengkapi dengan statip yang digunakan untuk menggantung benda uji pada saat perendaman.

3.3.2. Gambar Susunan Alat

a. <u>Penelitian I</u>



Gambar 3.1 Rangkaian alat menggunakan inhibitor

Keterangan :

1. Elektrolit
2. Benda uji (Fe)
3. Benang nilon
4. Kolam reaksi
5. Tiang penyangga (statip)

- Mempersiapkan larutan natrium nitrit sebagai inhibitor sesuai dengan konsentrasi yang dibutuhkan.
- Mempersiapkan alumunium sebagai anoda pada metode proteksi katodik.

3.4.2.2. Tahap Penelitian

A. Penelitian I (dengan menggunakan larutan inhibitor)

- Benda uji (pipa besi) digosok dengan kertas gosok sampai guratan-guratan pada benda uji hilang.
- Benda uji (pipa besi) dicuci dengan alkohol 98 % dan dikeringkan.
- Larutan elektrolit dimasukkan ke dalam kolam reaksi.
- Larutan inhibitor dimasukkan ke dalam kolam reaksi sesuai dengan konsentrasi yang ditentukan.
- Benda uji (pipa besi) yang telah diikat dengan benang nilon direndam ke dalam kolam reaksi yang telah berisi larutan elektrolit dan larutan inhibitor,
- Konsentrasi Fe terlarut dianalisa.

B. Penelitian II (dengan menggunakan alumunium sebagai anoda pada proteksi katodik)

- Benda uji alumunium (anoda) dan pipa besi (katoda) digosok dengan kertas gosok sampai guratan-guratan pada benda uji hilang.
- Benda uji alumunium (anoda) dan pipa besi (katoda) dicuci dengan alkohol 98 % dan dikeringkan.
- Larutan elektrolit dimasukkan kedalam kolam reaksi.
- Kedua benda uji (alumunium dan besi) dihubungkan dengan kabel yang telah dihubungkan dengan konduktor. Kemudian direndam ke dalam kolam reaksi yang telah berisi larutan elektrolit.
- Konsentrasi Fe terlarut dianalisa.

- Mempersiapkan larutan natrium nitrit sebagai inhibitor sesuai dengan konsentrasi yang ditentukan.
- Mempersiapkan aluminium sebagai anoda pada metode proteksi katodik.

3.4.2.2. Tahap Penelitian

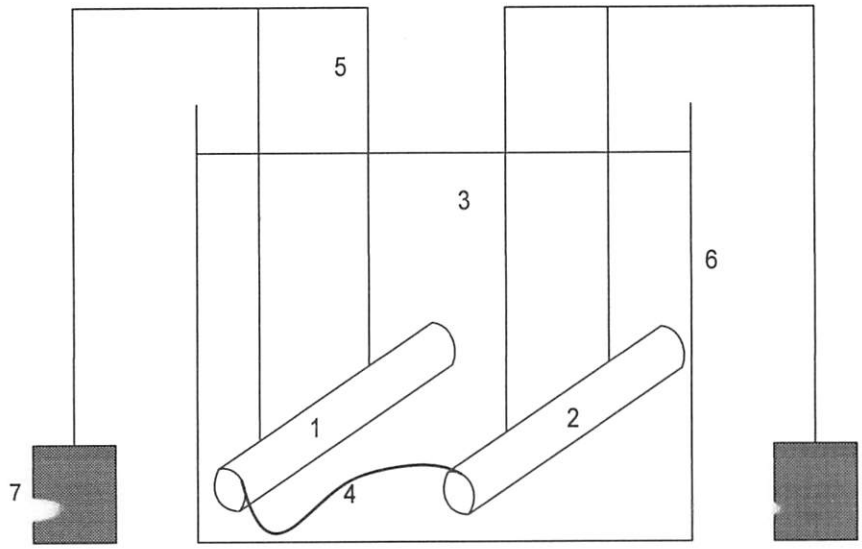
A. Penelitian I (dengan menggunakan larutan inhibitor)

- Benda uji (pipa besi) digosok dengan kertas gosok sampai gurat-gurat pada benda uji hilang.
- Benda uji (pipa besi) dicuci dengan alkohol 98 % dan dikeringkan.
- Larutan elektrolit dimasukkan ke dalam kolam reaksi
- Larutan inhibitor dimasukkan ke dalam kolam reaksi sesuai dengan konsentrasi yang ditentukan.
- Benda uji (pipa besi) yang telah diikat dengan benang nilon direndam ke dalam kolam reaksi yang telah berisi larutan elektrolit dan larutan inhibitor.
- Konsentrasi Fe terlarut dianalisa.

B. Penelitian II (dengan menggunakan aluminium sebagai anoda pada proteksi katodik)

- Benda uji aluminium (anoda) dan pipa besi (katoda) digosok dengan kertas gosok sampai gurat-gurat pada benda uji hilang.
- Benda uji aluminium (anoda) dan pipa besi (katoda) dicuci dengan alkohol 98 % dan dikeringkan.
- Larutan elektrolit dimasukkan kedalam kolam reaksi.
- Kedua benda uji (aluminium dan besi) dihubungkan dengan kabel yang telah dihubungkan dengan kondultor. Kemudian direndam ke dalam kolam reaksi yang telah berisi larutan elektrolit.
- Konsentrasi Fe terlarut dianalisa.

b. Penelitian II



Gambar 3.2 Rangkaian alat menggunakan proteksi katodik

Keterangan :

1. Anoda alumunium
2. Katoda (Fe)
3. Elektrolit
4. Kabel
5. Benang nilon
6. Kolam reaksi
7. Tiang penyangga (statip)

3.4. CARA KERJA

3.4.1. Analisa Pendahuluan

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi Fe awal jika di rendam di dalam elektrolit tanpa metode perlindungan.

3.4.2. Pelaksanaan Percobaan

3.4.2.1. Tahap Persiapan

- Mempersiapkan benda uji (pipa besi) dengan ukuran 2 x 7 cm.
- Mempersiapkan benang nilon 1m.
- Mempersiapkan kolam reaksi 5 buah dan 2 buah statip.
- Mempersiapkan larutan NaCl sebagai larutan elektrolit.

3.5. METODE PENELITIAN

3.5.1. Metode Analisa

Untuk mengetahui besar konsentrasi Fe digunakan spektrofotometer dengan pambacaan panjang gelombang 400 nm.

3.5.2. Metode Statistik

Untuk mengetahui perbedaan perlakuan pada setiap variasinya dilakukan uji anova, korelasi dan regresi.

3.6. KERANGKA PENELITIAN

Ide Tugas Akhir

- Terjadi kerusakan pipa PDAM yang salah satunya disebabkan oleh proses korosi.
- Penggunaan inhibitor dapat dijadikan metode perlindungan korosi.
- Metode proteksi katodik dengan *Sacrificial anode* menggunakan alumunium dapat dijadikan alternatif perlindungan.

↓

Studi Literatur

- Mekanisme proses korosi.
- Inhibitor.
- Proteksi katodik

↓

Persiapan Alat dan Bahan :

Peralatan :

- Beaker glass, kolam reaksi, statip, benang nilon, kertas gosok, pipet, pipa besi, pipa alumunium, kabel, dll.

Bahan :

- Aquades
- NaCl sebagai larutan elektrolit
- Natrium Nitrit sebagai inhibitor.

↓

Pelaksanaan Penelitian :

- Perendaman pipa besi dengan inhibitor dan tanpa inhibitor
- Perendaman pipa besi dan pipa alumunium, pada waktu 24 jam, 48 jam, dan 72 jam diambil sampel kemudian dianalisa Fe yang terlarut.

↓

Analisa data hasil dan pembahasan

↓

Kesimpulan

BAB IV
ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. ANALISA HASIL

4.1.1. Konsentrasi Fe Terlarut dengan Inhibitor Natrium Nitrit ($NaNO_2$)

Berdasarkan hasil penelitian konsentrasi Fe terlarut yang dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Brawijaya Malang, didapat data konsentrasi Fe terlarut yang telah diujikan dengan memvariasikan waktu perendaman 24 jam, 48 jam, 72 jam dan konsentrasi inhibitor 100 ppm, 250 ppm, 400 ppm, 550 ppm dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Konsentrasi Fe Terlarut Tanpa Dan Dengan Inhibitor $NaNO_2$

Waktu Perendaman (jam)	Konsentrasi $NaNO_2$ (ppm)	Konsentrasi Fe Terlarut (ppm)	Efisiensi Perlindungan Korosi Dengan Inhibitor ($NaNO_2$) (%)
24	0	1,87	0
	100	1,4	25,13
	250	1,11	40,64
	400	0,91	51,33
	550	0,97	48,12
48	0	2,83	0
	100	1,97	30,38
	250	1,32	53,35
	400	1	64,66
	550	1,1	61,13
72	0	3,78	0
	100	2,87	24,07
	250	2,21	41,53
	400	1,93	48,94
	550	2	47,1

(Sumber : Hasil Penelitian)

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. ANALISA HASIL

4.1.1. Konsentrasi Fe Terlarut dengan Inhibitor Natrium Nitrit ($NaNO_2$)

Berdasarkan hasil penelitian konsentrasi Fe terlarut yang dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Brawijaya Malang, didapat data konsentrasi Fe terlarut yang telah dirujukan dengan menyesuaikan waktu pencelupan 24 jam, 48 jam, 72 jam dan konsentrasi inhibitor 100 ppm, 250 ppm, 400 ppm, 550 ppm dapat dilihat pada tabel 4.1.

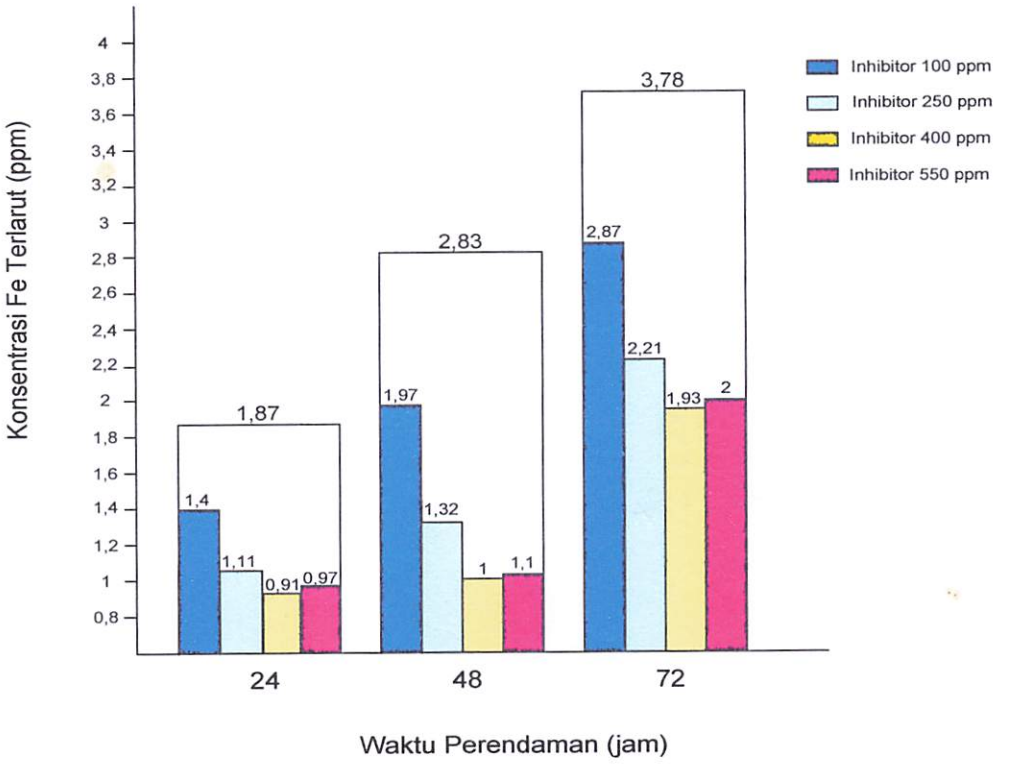
Tabel 4.1. Konsentrasi Fe Terlarut Tanpa Dan Dengan Inhibitor $NaNO_2$

Waktu Pencelupan (jam)	Konsentrasi $NaNO_2$ (ppm)	Konsentrasi Fe terlarut (ppm)	Efisiensi Perlindungan Korosi Dengan Inhibitor ($NaNO_2$) (%)
24	0	1,87	0
	100	1,4	25,13
	250	1,11	40,64
	400	0,91	51,33
	550	0,97	48,12
48	0	2,85	0
	100	1,97	30,88
	250	1,32	53,85
	400	1	64,66
	550	1,1	61,12
72	0	3,78	0
	100	2,87	24,07
	250	2,21	41,53
	400	1,93	48,94
	550	2	47,1

(Sumber : Hasil Penelitian)

4.1.1.1. Analisa Deskriptif

Hasil penelitian ini menunjukkkan bahwa dengan perlakuan memvariasikan waktu perendaman 24 jam, 48 jam, 72 jam dan konsentrasi inhibitor 100 ppm, 250 ppm, 400 ppm, 550 ppm mempunyai kemampuan menurunkan konsentrasi Fe terlarut. Penurunan konsentrasi Fe terlarut melalui pelapisan dengan inhibitor dapat dibuat grafik pada gambar 4.1.

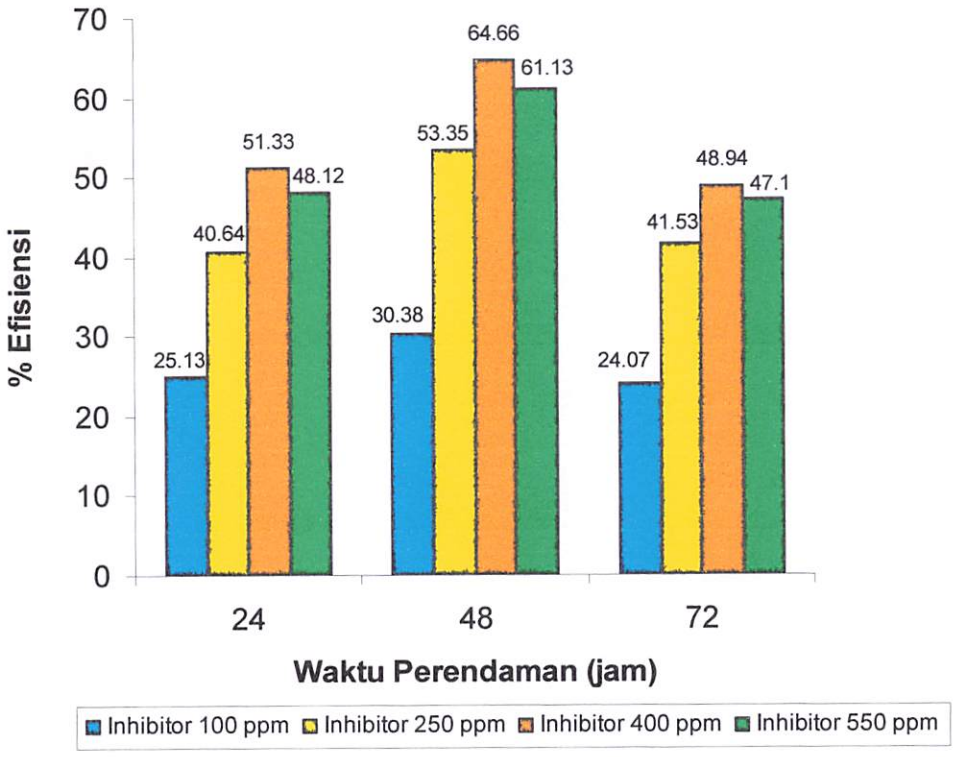


Gambar 4.1. Grafik Konsentrasi Fe Terlarut Dengan Inhibitor $NaNO_2$

Berdasarkan Tabel 4.1 dan grafik 4.1 menunjukkan kemampuan inhibitor $NaNO_2$ dalam mereduksi konsentrasi Fe yang terlarut semakin meningkat seiring dengan semakin besarnya konsentrasi inhibitor $NaNO_2$ yang digunakan, akan tetapi pada konsentrasi inhibitor 550 ppm terdapat kenaikan konsentrasi Fe yang terlarut dibandingkan pada konsentrasi 100 - 400 ppm yang terus mengalami penurunan. Konsentrasi Fe terlarut yang terendah pada waktu perendaman 24 jam konsentrasi inhibitor 400 ppm yaitu sebesar 0,91 ppm dan yang tertinggi dengan waktu perendaman 72 jam konsentrasi inhibitor 100 ppm yaitu sebesar 2,87 ppm.

Sedangkan untuk mengetahui persentase efisiensi perlindungan korosi dengan menggunakan inhibitor $NaNO_2$ dalam melindungi pipa pada tiap variasi digunakan rumus :

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{\text{Konsentrasi Fe tanpa inhibitor} - \text{Konsentrasi Fe dengan inhibitor}}{\text{Konsentrasi Fe tanpa inhibitor}} x\,100\%$$



Gambar 4.2. Grafik % Efisiensi Perlindungan Korosi dengan Inhibitor $NaNO_2$

Berdasarkan tabel 4.1 dan gambar 4.2 menunjukkan bahwa persentase efisiensi perlindungan korosi dengan inhibitor dalam mereduksi konsentrasi Fe terlarut berkisar antara 24,07 % – 64,66 %. Efisiensi perlindungan korosi tertinggi adalah 64,66 % pada konsentrasi 400 ppm dan waktu perendaman 48 jam. Sedangkan efisiensi perlindungan korosi terendah adalah 24,07 % pada konsentrasi 100 ppm dan waktu perendaman 72 jam.

4.1.1.2. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai perlakuan terhadap konsentrasi Fe yang terlarut maka dilakukan analisis dengan menggunakan uji ANOVA (analisa varian). Hasil uji tersebut tersaji dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Uji ANOVA Pengaruh Variasi Perlakuan Terhadap Konsentrasi Fe Terlarut

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Konsentrasi Fe terlarut

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12.646[a]	11	1.150	2935.170	.000
Intercept	88.235	1	88.235	225280.1	.000
Sampel	12.646	11	1.150	2935.170	.000
Error	.009	24	.000		
Total	100.890	36			
Corrected Total	12.655	35			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

Pada tabel 4.2 merupakan hasil uji ANOVA satu faktor. ANOVA satu faktor ini untuk melihat apakah ada perbedaan yang nyata antara konsentrasi Fe terlarut di antara kelompok perlakuan.

Hipotesis:

H_0 = Kedua belas rata-rata perlakuan identik

H_1 = Kedua belas rata-rata perlakuan tidak identik

Keputusan:

Terlihat bahwa F hitung adalah 2935.170 dengan probabilitas 0,000. Karena probabilitas < 0.05, maka H_0 ditolak, atau rata-rata konsentrasi Fe terlarut dalam kedua belas perlakuan tersebut memang berbeda nyata.

Untuk melihat konsentrasi Fe terlarut yang paling besar dan perbedaannya untuk setiap perlakuan digunakan uji Duncan. Perlakuan dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini:

Tabel 4.3. Uji Duncan Konsentrasi Fe Terlarut

Konsentrasi Fe terlarut

Duncan[a,b]

Sampel	N	Subset										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T1K3	3	.9133										
T1K4	3		.9667									
T2K3	3			1.0000								
T2K4	3				1.1000							
T1K2	3				1.1100							
T2K2	3					1.3233						
T1K1	3						1.4000					
T3K3	3							1.9300				
T2K1	3								1.9667			
T3K4	3									2.0000		
T3K2	3										2.2100	
T3K1	3											2.8700
Sig.		1.000	1.000	1.000	.535	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.
b. Alpha = .05.

Keterangan :

- T1K1 = Waktu 24 jam, konsentrasi inhibitor 100 ppm.
- T1K2 = Waktu 24 jam, konsentrasi inhibitor 250 ppm.
- T1K3 = Waktu 24 jam, konsentrasi inhibitor 400 ppm.
- T1K4 = Waktu 24 jam, konsentrasi inhibitor 550 ppm.
- T2K1 = Waktu 48 jam, konsentrasi inhibitor 100 ppm.
- T2K2 = Waktu 48 jam, konsentrasi inhibitor 250 ppm.
- T2K3 = Waktu 48 jam, konsentrasi inhibitor 400 ppm.
- T2K4 = Waktu 48 jam, konsentrasi inhibitor 550 ppm.
- T3K1 = Waktu 72 jam, konsentrasi inhibitor 100 ppm.
- T3K2 = Waktu 72 jam, konsentrasi inhibitor 250 ppm.
- T3K3 = Waktu 72 jam, konsentrasi inhibitor 400 ppm.
- T3K4 = Waktu 72 jam, konsentrasi inhibitor 550 ppm.

Hasil Uji Duncan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata pada seluruh perlakuan dalam mereduksi konsentrasi Fe yang terlarut. Konsentrasi Fe terlarut tertinggi terjadi saat perlakuan T3K1 yaitu pada waktu perendaman 72 jam dan konsentrasi inhibitor 100 ppm dengan Fe terlarut sebesar 2,87 ppm. Sedangkan konsentrasi Fe terlarut terendah terjadi pada saat perlakuan T1K3 yaitu pada waktu perendaman 24 jam dan konsentrasi inhibitor 400 ppm dengan Fe terlarut sebesar 0,91 ppm.

Pada perlakuan T1K2 (waktu perendaman 24 jam dan konsentrasi inhibitor 250 ppm) dan T2K4 (waktu perendaman 48 jam dan konsentrasi inhibitor 550 ppm) terletak dalam satu kelompok (satu subset). Kedua perlakuan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang tidak nyata dalam perubahan konsentrasi Fe terlarut.

4.1.1.3. Analisa Korelasi.

Untuk mengetahui bukti empiris hubungan antara variabel yang diamati, maka kita analisa data dengan menggunakan analisa korelasi. Hasil dari analisa tersebut dapat kita lihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Korelasi antara Konsentrasi Fe Terlarut dengan Waktu Perendaman (Jam) dan Konsentrasi Inhibitor (ppm)

Correlations

		Konsentrasi Fe yang terlarut	Variasi konsentrasi inhibitor	Variasi waktu perendaman
Pearson Correlation	Konsentrasi Fe yang terlarut	1.000	-.459	.795
	Variasi konsentrasi inhibitor	-.459	1.000	.000
	Variasi waktu perendaman	.795	.000	1.000
Sig. (1-tailed)	Konsentrasi Fe yang terlarut	.	.002	.000
	Variasi konsentrasi inhibitor	.002	.	.500
	Variasi waktu perendaman	.000	.500	.
N	Konsentrasi Fe yang terlarut	36	36	36
	Variasi konsentrasi inhibitor	36	36	36
	Variasi waktu perendaman	36	36	36

Dari tabel 4.4 menunjukkan bahwa:

Tingkat hubungan antara variabel dapat diketahui dari koefisien korelasi adalah sebagai berikut :

- Besar hubungan konsentrasi Fe yang terlarut dengan konsentrasi inhibitor adalah -0,459. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang agak lemah (<0,5,Yarnest, 2004), tanda negatif menunjukkan adanya hubungan yang berlawanan arah, yang berarti jika konsentrasi inhibitor yang digunakan semakin tinggi maka konsentrasi Fe yang terlarut akan semakin kecil. Tingkat signifikan konsentrasi Fe yang terlarut dan konsentrasi inhibitor yang digunakan ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0,002 lebih kecil dari 0,05 maka korelasinya nyata (signifikan).
- Besar hubungan konsentrasi Fe yang terlarut dengan waktu perendaman adalah 0,795. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat (>0,5, Yarnest, 2004), sedangkan tanda positif menyatakan hubungan yang searah, yang berarti jika semakin lama waktu perendaman maka konsentrasi Fe yang terlarut semakin meningkat. Tingkat signifikan konsentrasi Fe telarut dan waktu perendaman yang ditunjukan dengan nilai probabilitas (0.000) lebih kecil dari 0.05, maka korelasinya nyata (signifikan).

4.1.1.4. Analisa Regresi

Untuk mengetahui bukti empiris keeratan hubungan antara variabel maka kita analisa data dengan menggunakan analisa regresi. Hasil dari analisa tersebut dapat kita lihat pada tabel-tabel berikut:

Tabel 4.5. Hasil Uji Regresi ANOVA

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	10.674	2	5.337	88.876	.000[a]
	Residual	1.982	33	.060		
	Total	12.655	35			

a. Predictors: (Constant), Variasi waktu perendaman , Variasi konsentrasi inhibitor

b. Dependent Variable: Konsentrasi Fe yang terlarut

Dari uji ANOVA atau F test, didapat F hitung adalah 88.876 dengan tingkat signifikan 0,000. Karena probabilitas 0,000 (lebih kecil dari 0,05), maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksikan konsentrasi Fe yang terlarut.

Tabel 4.6. Persamaan Regresi Konsentrasi Fe Terlarut

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.019	.141		7.206	.000
	Variasi konsentrasi inhibitor	-.244	.037	-.459	-6.667	.000
	Variasi waktu perendaman	.577	.050	.795	11.545	.000

a. Dependent Variable: Konsentrasi Fe yang terlarut

Tabel 4.7. Persamaan R Square

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.918[a]	.843	.834	.24505

a. Predictors: (Constant), Variasi waktu perendaman , Variasi konsentrasi inhibitor

b. Dependent Variable: Konsentrasi Fe yang terlarut

Dari tabel 4.6 dan 4.7 diatas dapat kita ketahui :

1. Persamaan regresi untuk :

   $Y = 1{,}019 - 0{,}244X_1 + 0{,}577X_2$

   Dimana :

   Y : Konsentrasi Fe yang terlarut

   X_1 : Konsentrasi inhibitor

   X_2 : Waktu perendaman.

   Berdasarkan hasil analisa statistik maka nilai R sebesar 0,918 menunjukkan hubungan yang kuat antar variabel konsentrasi Fe yang terlarut dengan variasi konsentrasi inhibitor dan waktu perendaman karena mendekati 1 (Yarnest, 2004). Sedangkan nilai R square (r^2) sebesar 0,843 bisa disebut koefisien determinasi yang dalam hal ini berarti 84,3 %

perubahan konsentrasi Fe yang terlarut dipengaruhi oleh variabel konsentrasi inhibitor dan waktu perendaman. Berdasarkan nilai R dan R square tersebut maka model persamaan regresi di atas dapat diterima. Konstanta sebesar 1,019 menyatakan bahwa jika tidak ada variasi konsentrasi inhibitor dan waktu perendaman maka konsentrasi Fe yang terlarut sebesar 1,019 ppm. Koefisien regresi untuk variasi konsentrasi inhibitor sebesar -0,244 menyatakan bahwa setiap kenaikan konsentrasi inhibitor 1 ppm akan menurunkan konsentrasi Fe yang terlarut sebesar 0,244 ppm. Koefisien regresi untuk waktu perendaman sebesar 0,577 menyatakan bahwa setiap peningkatan waktu perendaman 1 jam akan meningkatkan konsentrasi Fe sebesar 0,577 ppm.

2. Uji t untuk menguji signifikan konstanta dan variabel independent.

   Hipotesa :

   H_0 = koefisien regresi tidak signifikan

   H_1 = koefisien regresi signifikan

   <u>Keputusan :</u>

   a) Dengan membandingkan statistik hitung dengan statistik tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak dan begitu sebaliknya. Statistik t hitung berdasarkan tabel 4.8 adalah 6,667 (konsentrasi inhibitor); 11,545 (waktu perendaman) sedangkan t tabel 2,042. Karena statistik t hitung > statistik t tabel maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

   b) Berdasarkan probabilitas

      - Jika probabilitas > 0.05, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak
      - Jika probabilitas < 0.05, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima

      Keputusan :

      Terlihat bahwa kolom signifikan *(significance)* untuk konsentrasi inhibitor adalah 0.000 atau probabilitas lebih kecil dari 0.05, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima, atau koefisien regresi signifikan, konsentrasi inhibitor benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap konsentrasi Fe yang terlarut. Pada kolom signifikan *(significance)* untuk waktu perendaman adalah 0,000 atau probabilitas

lebih kecil dari 0,05, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima, atau koefisian regresi signifikan terhadap konsentrasi Fe yang terlarut.

4.1.2. Konsentrasi Fe Terlarut dengan Proteksi Katodik

Berdasarkan hasil penelitian konsentrasi Fe terlarut yang dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Brawijaya Malang, didapat data konsentrasi Fe yang terlarut yang telah diujikan dengan memvariasikan waktu perendaman alumunium 24 jam, 48 jam, 72 jam dapat dilihat pada tabel 4.8.

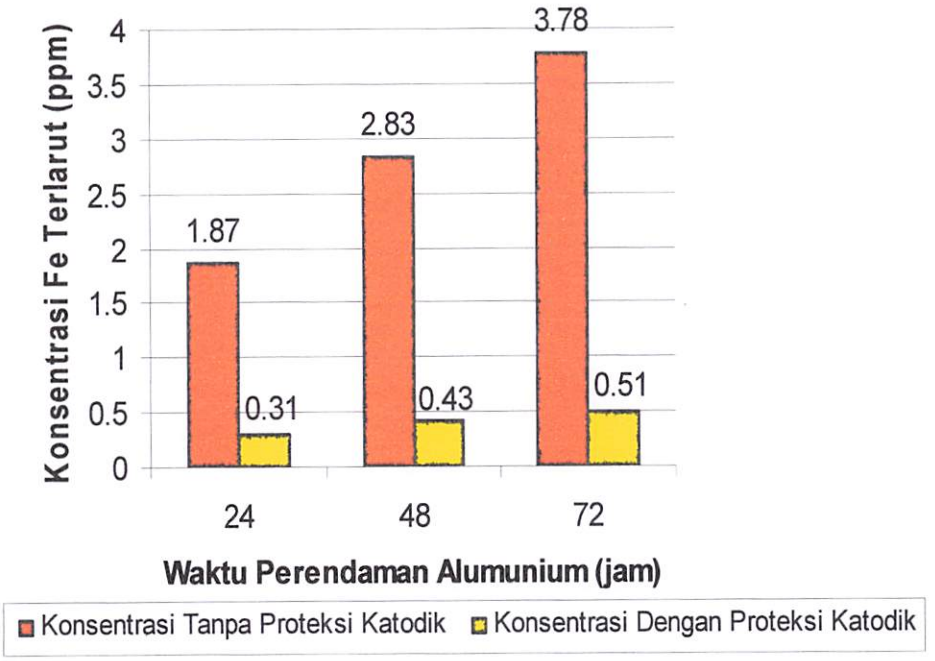
4.8. Tabel Konsentrasi Fe Terlarut Menggunakan Proteksi Katodik

Waktu Perendaman Benda uji (Jam)	Rata-rata Konsentrasi Fe Tanpa Proteksi Katodik (ppm)	Rata-rata Konsentrasi Fe Dengan Proteksi Katodik (ppm)	Efisiensi Perlindungan Korosi Dengan P.K. (%)
24	1,87	0,31	83,42
48	2,77	0,43	84,47
72	3,73	0,51	86,32

(Sumber : Hasil Penelitian)

4.1.2.1. Analisa Deskriptif

Hasil penelitian ini menunjukkkan bahwa dengan menggunakan proteksi katodik sebagai metode perlindungan pipa terhadap korosi mempunyai kemampuan untuk menurunkan konsentrasi Fe terlarut. Konsentrasi Fe yang terlarut setelah diberikan perlindungan dengan proteksi katodik dapat dilihat pada tabel 4.8 dan dapat dibuat grafik seperti pada gambar 4.3.

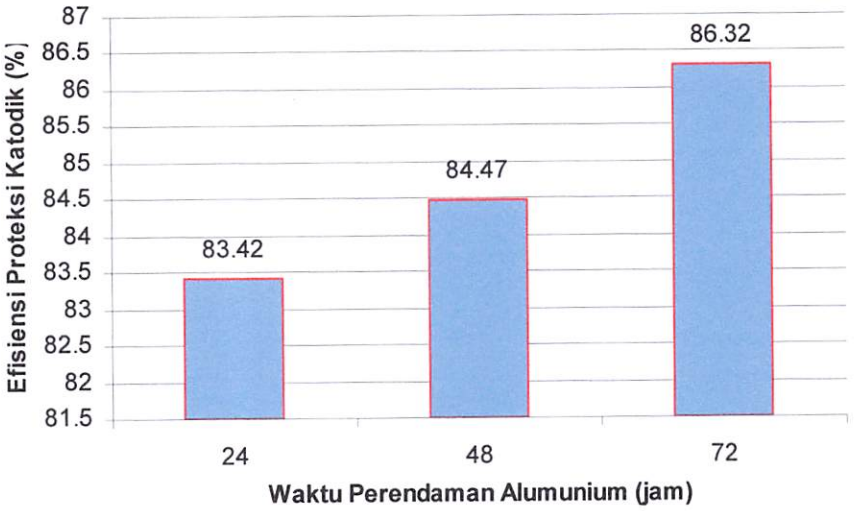


Gambar 4.3. Grafik Konsentrasi Fe Dengan Proteksi Katodik

Berdasarkan Tabel 4.8 dan gambar 4.3 dapat dilihat semakin lama waktu perendaman besi di dalam larutan elektrolit semakin besar pula konsentrasi Fe yang terlarut. Akan tetapi setelah diberikan perlindungan dengan menggunakan alumunium sebagai anoda tumbal, konsentrasi Fe yang terlarut semakin menurun dibandingkan tanpa adanya perlindungan. Konsentrasi Fe terlarut terkecil setelah diberikan perlindungan dengan proteksi katodik terdapat pada waktu perendaman alumunium 24 jam yaitu 0,31 ppm dan konsentrasi Fe terlarut tertinggi terdapat pada waktu perendaman alumunium 72 jam yaitu 0,51 ppm.

Sedangkan untuk mengetahui persentase efisiensi proteksi katodik pada tiap variasi digunakan rumus :

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{\text{Konsentrasi Fe tanpa P.K.} - \text{Konsentrasi Fe dengan P.K.}}{\text{Konsentrasi Fe tanpa P.K.}} x\,100\%$$



Gambar 4.4. Grafik % Efisiensi Perlindungan Korosi dengan Proteksi Katodik

Berdasarkan tabel 4.8 dan gambar 4.4 menunjukkan bahwa efisiensi proteksi katodik dalam mereduksi konsentrasi Fe terlarut berkisar antara 83,42 % – 86,32 %. Efisiensi terbaik adalah 86,32 % pada waktu perendaman alumunium 72 jam. Sedangkan efisiensi terkecil adalah 83,42 % pada waktu perendaman alumunium 24 jam.

4.1.2.2. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh terhadap konsentrasi Fe yang terlarut maka dilakukan analisis dengan menggunakan uji ANOVA (analisa varian). Hasil uji tersebut tersaji dalam tabel 4.9.

Tabel 4.9. Hasil Uji ANOVA Pengaruh Variasi Perlakuan Terhadap Konsentrasi Fe Terlarut dengan Proteksi Katodik

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Konsentrasi Fe terlarut

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Mod	.061[a]	2	.031	212.615	.000
Intercept	1.579	1	1.579	0933.000	.000
uji	.061	2	.031	212.615	.000
Error	.001	6	.000		
Total	1.642	9			
Corrected Tota	.062	8			

a. R Squared = .986 (Adjusted R Squared = .981)

Pada tabel 4.9 merupakan hasil uji ANOVA satu faktor. ANOVA satu faktor ini untuk melihat apakah ada perbedaan yang nyata antara konsentrasi Fe terlarut di antara kelompok perlakuan.

Hipotesis:

H_0 = Kesembilan rata-rata perlakuan identik

H_1 = Kesembilan rata-rata perlakuan tidak identik

Keputusan:

Terlihat bahwa F hitung adalah 212.615 dengan probabilitas 0,000. Karena probabilitas < 0.05, maka H_0 ditolak, atau rata-rata konsentrasi Fe terlarut dalam kesembilan perlakuan tersebut berbeda nyata.

Untuk melihat konsentrasi Fe terlarut yang paling besar dan perbedaannya untuk setiap perlakuan digunakan uji Duncan. Perlakuan dapat dilihat pada tabel 4.10 berikut ini:

Tabel 4.10. Uji Duncan Konsentrasi Fe Terlarut dengan Proteksi Katodik

Konsentrasi Fe terlarut

Duncan [a,b]

uji	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
T1	3	.3100		
T2	3		.4367	
T3	3			.5100
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

Keterangan :

- T1 = Waktu perendaman alumunium 24 jam.
- T2 = Waktu perendaman alumunium 48 jam.
- T3 = Waktu perendaman alumunium 72 jam.

Hasil Uji Duncan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata pada seluruh perlakuan dalam penurunan konsentrasi Fe terlarut. Konsentrasi Fe terlarut tertinggi terjadi pada saat perlakuan T3 yaitu pada waktu perendaman alumunium 72 jam dengan Fe terlarut sebesar 0,51 ppm. Konsentrasi Fe terlarut terendah terjadi pada saat perlakuan T1 yaitu pada waktu perendaman alumunium 24 jam dengan Fe terlarut sebesar 0,31 ppm.

4.1.2.3. Analisa Korelasi.

Untuk mengetahui bukti empiris hubungan antara variabel yang diamati, maka kita analisa data dengan menggunakan analisa korelasi. Hasil dari analisa tersebut dapat kita lihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11. Korelasi antara Konsentrasi Fe Terlarut dengan Waktu Perendaman Alumunium (Jam)

Correlations

		Konsentrasi Fe terlarut	Variasi waktu perendaman alumunium
Pearson Correlation	Konsentrasi Fe terlarut	1.000	.981
	Variasi waktu perendaman alumunium	.981	1.000
Sig. (1-tailed)	Konsentrasi Fe terlarut	.	.000
	Variasi waktu perendaman alumunium	.000	.
N	Konsentrasi Fe terlarut	9	9
	Variasi waktu perendaman alumunium	9	9

Dari tabel 4.11 menunjukkan bahwa:

Tingkat hubungan antara variabel dapat diketahui dari koefisien korelasi yaitu besar hubungan konsentrasi Fe yang terlarut dengan waktu perendaman alumunium adalah 0,981. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat (>0,5,Yarnest, 2004), tanda positif menunjukkan adanya hubungan yang searah, yang berarti jika waktu perendaman alumunium lebih lama maka konsentrasi Fe yang terlarut akan meningkat. Tingkat signifikan konsentrasi Fe yang terlarut dan waktu perendaman alumunium ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0,000 (<0,5,Yarnest, 2004), maka korelasinya nyata (signifikan).

4.1.2.4. Analisa Regresi

Untuk mengetahui bukti empiris keeratan hubungan antara variabel maka kita analisa data dengan menggunakan analisa regresi. Hasil dari analisa tersebut dapat kita lihat pada tabel-tabel berikut:

Tabel 4.12. Hasil Uji Regresi ANOVA

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.060	1	.060	183.495	.000[a]
	Residual	.002	7	.000		
	Total	.062	8			

a. Predictors: (Constant), Variasi waktu perendaman alumunium

b. Dependent Variable: Konsentrasi Fe terlarut

Dari uji ANOVA atau F test, didapat F hitung adalah 183.495 dengan tingkat signifikan 0,000. Karena probabilitas lebih kecil dari 0,05, maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksikan konsentrasi Fe yang terlarut.

Tabel 4.13. Persamaan Regresi Konsentrasi Fe Terlarut

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.219	.016		13.726	.000
	Variasi waktu perendaman alumunium	.100	.007	.981	13.546	.000

a. Dependent Variable: Konsentrasi Fe terlarut

Tabel 4.14. Persamaan R Square

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.981[a]	.963	.958	.01808

a. Predictors: (Constant), Variasi waktu perendaman alumunium

b. Dependent Variable: Konsentrasi Fe terlarut

Dari tabel 4.14 dan 4.15 diatas dapat kita ketahui :

1. Persamaan regresi untuk :

   $Y = 0{,}219 + 0{,}1\ X_1$

   Dimana :

   Y : Konsentrasi Fe terlarut

   X_1 : Waktu perendaman alumunium

   Berdasarkan hasil analisa statistik maka nilai R sebesar 0,981 menunjukkan hubungan yang kuat antara variabel konsentrasi Fe terlarut dengan variasi waktu perendaman alumunium karena mendekati 1 (Yarnest, 2004). Sedangkan nilai R square (r^2) sebesar 0,963 bisa disebut koefisien determinasi yang dalam hal ini berarti 96,3 % konsentrasi Fe yang terlarut dipengaruhi oleh variabel waktu perendaman alumunium. Berdasarkan nilai R dan R square tersebut maka model persamaan regresi di atas dapat diterima. Konstanta sebesar 0,219 menyatakan bahwa jika tidak ada variasi waktu perendaman alumunium, konsentrasi Fe yang terlarut sebesar 0,219 ppm. Koefisien regresi untuk variasi waktu perendaman benda uji sebesar 0,1 menyatakan bahwa setiap penambahan waktu perendaman alumunium 1 jam akan meningkatkan konsentrasi Fe yang terlarut sebesar 0,1 ppm.

2. Uji t untuk menguji signifikan konstanta dan variabel independent.

   Hipotesa :

   H_0 = koefisien regresi tidak signifikan

   H_1 = koefisien regresi signifikan

   <u>Keputusan :</u>

   a. Dengan membandingkan statistik hitung dengan statistik tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak dan begitu sebaliknya. Statistik t hitung berdasarkan tabel 4.14 adalah 13,546 (waktu perendaman alumunium) sedangkan t tabel 2,262. Karena statistik t hitung > statistik t tabel maka H_o ditolak dan H_1 diterima.

b. Berdasarkan probabilitas

- Jika probabilitas > 0.05, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak
- Jika probabilitas < 0.05, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima

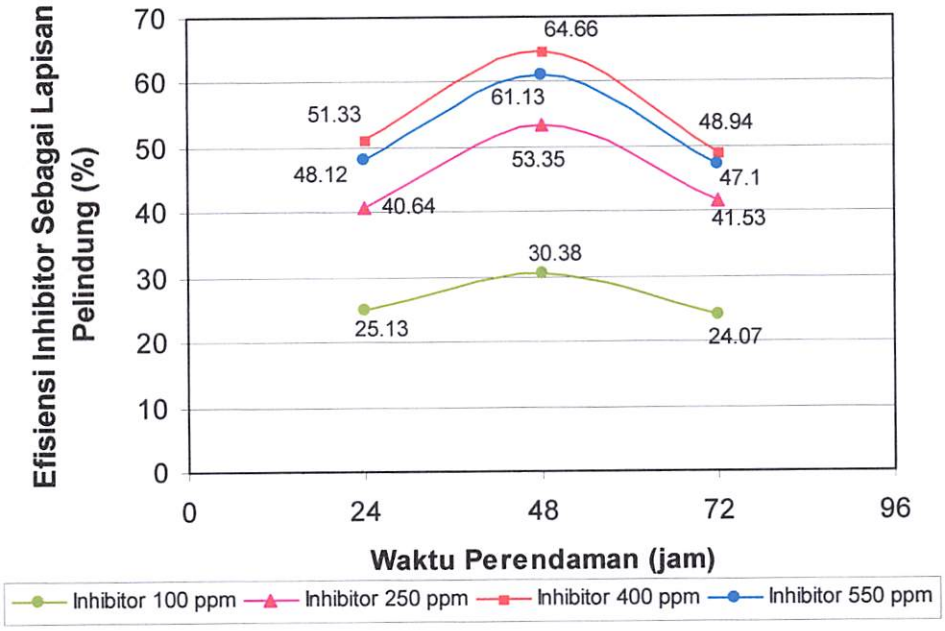
Keputusan :

Terlihat bahwa kolom signifikan *(significance)* untuk waktu perendaman alumunium adalah 0,000 atau probabilitas lebih kecil dari 0,05, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima, atau koefisien regresi signifikan, atau variasi waktu perendaman alumunium berpengaruh secara signifikan terhadap konsentrasi Fe yang terlarut.

4.2. PEMBAHASAN

4.2.1. Efisiensi Perlindungan Korosi Dengan Inhibitor $NaNO_2$

Dari hasil penelitian yang sudah diperoleh, penggunaan inhibitor Natrium Nitrit ($NaNO_2$) sebagai lapisan pelindung pipa dari korosi dan variasi waktu perendaman terbukti dapat menurunkan konsentrasi Fe yang terlarut dibandingkan dengan tanpa menggunakan lapisan inhibitor Natrium Nitrit ($NaNO_2$) dan variasi waktu perendaman. Efisiensi inhibitor natrium nitrit ($NaNO_2$) sebagai lapisan pelindung berkisar antara 24,07 % – 64,66 %. Berdasarkan tabel 4.2 dapat dibuat grafik seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Efisiensi Inhibitor Natrium Nitrit ($NaNO_2$) Sebagai Lapisan Pelindung Pipa

Dari gambar 4.5 menunjukkan bahwa efisiensi perlindungan korosi dengan menggunakan inhibitor tertinggi didapatkan pada penggunaan inhibitor dengan konsentrasi 400 ppm dan waktu perendaman besi 48 jam yaitu sebesar 64,66 %. Sedangkan efisiensi perlindungan korosi dengan menggunakan inhibitor terendah didapat pada penggunaan inhibitor dengan konsentrasi 100 ppm dan waktu perendaman besi 72 jam yaitu sebesar 24,07 %. Dari gambar 4.5 juga dapat diketahui bahwa efisiensi terbesar pada penggunaan inhibitor didapat pada konsentrasi 400 ppm baik dari waktu perendaman besi 24 jam – 72 jam. Hal ini

akan membentuk lapisan film pada permukaan pipa besi sehingga ion - ion dari elektrolit (larutan NaCl) tidak dapat menangkap elektron – elektron dari Fe dan oksigen dari udara tidak dapat bereaksi dengan Fe karena oksigen terhalang oleh lapisan film pada permukaan pipa. Penggunaan inhibitor mencapai titik optimal pada konsentrasi 100 - 400 ppm, namun pada konsentrasi yang lebih tinggi kemampuan inhibitor tidak efektif lagi. Hal ini disebabkan oleh karena inhibitor yang berlebih akan bereaksi dengan lapisan yang sudah terbentuk pada permukaan pipa sehingga lapisan yang terbentuk semakin tipis dan selanjutnya lapisan film tersebut akan rusak *(Dwi Astuti dan Sri Wahyu Murni, 2002).*

Ada 4 proses dasar yang terjadi dalam korosi sebuah logam yaitu (1) reaksi anoda (2) reaksi katoda (3) penghantaran ion melalui elektrolit dan (4) penghantaran elektron melalui logam. Pemberian inhibitor berkepentingan dengan ketiga proses pertama, sedangkan penghantaran elektron melalui logam tidak dipengaruhi oleh elektrolit. Inhibitor ini dalam larutan berfungsi sebagai *"Oxidizing Agent"* yang akan menghasilkan suatu lapisan yang tipis di daerah anodik dan akan bereaksi cepat dengan ion Fe *(C.C Nathan 1973, dikutip dari laporan SKRIPSI Astuti. D, Wahyu. S, 2002).*

Selaput tipis oksida pelindung biasanya terbentuk pada permukaan kebanyakan logam yang kontak dengan udara pada temperatur kamar. Bila logam itu ditaruh di dalam sebuah elektrolit, konsentrasi anion dapat mempengaruhi perilaku elektrolit terhadap selaput pelindung tadi *(Brasher,1969, dikutip dari laporan SKRIPSI Astuti. D, Wahyu. S, 2002).*

Anion-anion inhibitif diadsorbsi ke logam pada bagian-bagian selaput yang lemah. Anion tersebut kemudian merintangi pelarutan anodik logam dan sebagai gantinya memungkinkan pembentukan oksida yang memperkuat selaput pelindung. Walau bagaimanapun, peran inhibitif sebagai anion sangat lemah pada konsentrasi tinggi dan dapat dianggap agresif terhadap selaput oksida. Ion-ion yang paling agresif menyerang permukaan baja lunak ialah ion-ion sulfat, klorida, tiosulfat, sulfite, dan tiosianat *(Brasher,1969, dikutip dari laporan SKRIPSI Astuti. D, Wahyu. S, 2002).*

Inhibitor anodik meningkatkan polarisasi anoda melalui reaksi dengan ion-ion logam yang terkorosi untuk menghasilkan selaput-selaput pasif tipis atau

dalam membentuk lapisan film pada permukaan pipa besi sebingga ion - ion dari elektrolit (larutan NaCl) tidak dapat menangkap elektron - elektron dari Fe dan oksigen dari udara tidak dapat bereaksi dengan Fe karena oksigen terhalang oleh lapisan film pada permukaan pipa. Penggunaan inhibitor mencapai titik optimal pada konsentrasi 100 - 400 ppm, namun pada konsentrasi yang lebih tinggi kemampuan inhibitor tidak efektif lagi. Hal ini disebabkan oleh karena inhibitor yang berlebih akan bereaksi dengan lapisan yang sudah terbentuk pada permukaan pipa sehingga lapisan yang terbentuk semakin tipis dan selanjutnya lapisan film tersebut akan rusak (Dwi Astuti dan Sri Wahyu Mulyani, 2002).

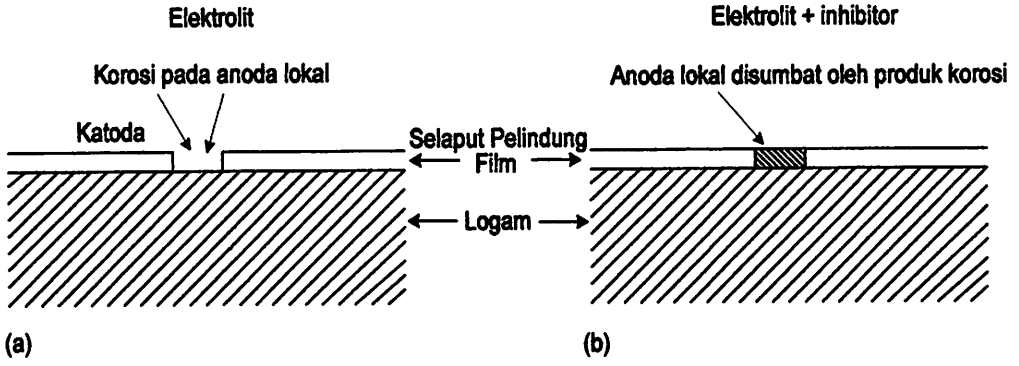
Ada 4 proses dasar yang terjadi dalam korosi sebuah logam yaitu (1) reaksi anoda (2) reaksi katoda (3) pengalirannya ion melalui elektrolit dan (4) pengalirannya elektron melalui logam. Pembentukan inhibitor berkepentingan dengan ketiga proses pertama, sedangkan pengalirannya elektron melalui logam tidak dipengaruhi oleh elektrolit. Inhibitor ini dalam larutan bertindak sebagai "Oxidizing Agent" yang akan mengplasilkan suatu lapisan yang tipis di daerah anodik dan akan bereaksi cepat dengan ion Fe (C.C. Anthon 1975, dikutip dari laporan SKRIPSI Astuti D, Widya S, 2002).

Sebagai tipis oksida pelindung biasanya terbentuk pada permukaan kebanyakan logam yang kontak dengan udara pada temperatur kamar. Hila logam itu dilarut di dalam sebuah elektrolit, konsentrasi anion dapat mempengaruhi perilaku elektrolit terhadap sedapat pelindung tadi (Brasher 1969, dikutip dari laporan SKRIPSI Astuti D, Widya S, 2002).

Anion-anion inhibitif diadsorbsi ke logam pada bagian-bagian sedapat yang lemah. Anion tersebut kemudian menimbangi polarisasi anodik logam dan sebagai gantinya memungkinkan pembentukan oksida yang mempercepat sedapat pelindung. Walau bagaimanapun, pasa inhibitif sebagai anion sangat lemah pada konsentrasi tinggi dan dapat dianggap agresif terhadap sedapat oksida. Ion-ion yang paling agresif merupakan permukaan bila lemah ialah ion-ion sulfat, klorida, tiosulfat, sulfite, dan tiosianat (Brasher 1969, dikutip dari laporan SKRIPSI Astuti D, Widya S, 2002).

Inhibitor anodik meningkatkan polarisasi anoda molalui reaksi dengan ion-ion logam yang terkorosi untuk mengplasilkan sedapat-sedapat pasif tipis atau

lapisan-lapisan garam yang kemudian menyelimuti anoda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.6 sebagai berikut :



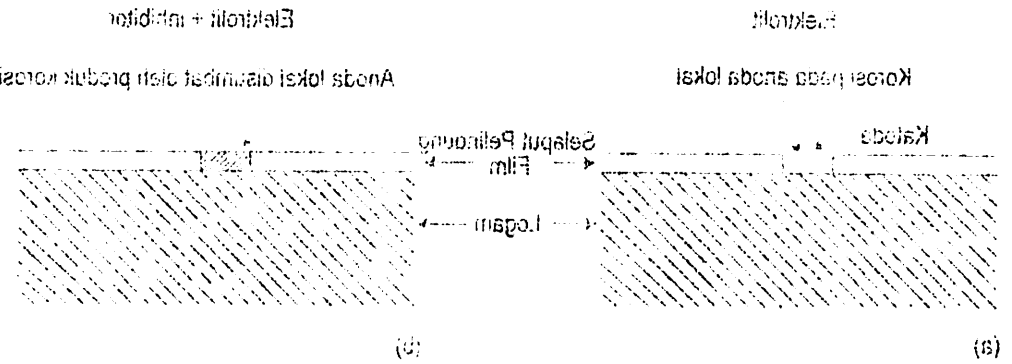
Gambar 4.6 Inhibitor anodik mengendalikan laju korosi ***(Trethewey, 1991)***

Gambar (a) menunjukkan korosi di bagian selaput oksida yang terkelupas. Selaput yang terkelupas bertindak sebagai katoda (karena mempunyai potensial standart yang lebih tinggi daripada logamnya), sedangkan logam yang tertutup sebagai anoda. Gambar (b) menunjukkan anion dalam inhibitor anodik bereaksi dengan ion logam dalam larutan dan menutup bagian yang bersifat anodik.

Pengaruh waktu perendaman terhadap konsentrasi Fe yang terlarut dapat dilihat pada gambar 4.5 dimana pada waktu perendaman 24 - 48 jam kemampuan lapisan film inhibitor melindungi pipa besi dari serangan korosi bekerja efektif. Hal ini terjadi oleh karena pada waktu tersebut lapisan film pada permukaan pipa lebih banyak sehingga lapisan film tersebut sangat efektif dalam menahan keagresifan ion-ion pada elektrolit. Akan tetapi pada waktu perendaman besi 72 jam kemampuan lapisan film inhibitor melindungi pipa besi dari serangan korosi menurun, hal ini terjadi karena ion-ion dari elektrolit secara terus menerus menyerang pada permukaan pipa sehingga lapisan film pada permukaan pipa akan rusak dan fungsi inhibitor sudah tidak efektif *(Dwi Astuti dan Sri Wahyu Murni, 2002).*

Dari uji Duncan terdapat perlakuan yang terletak dalam satu kelompok (satu subset). Kedua perlakuan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang tidak nyata dalam perubahan konsentrasi Fe terlarut. Hal ini dikarenakan kemampuan inhibitor dalam mereduksi konsentrasi Fe yang terlarut pada waktu perendaman 24 jam dan konsentrasi inhibitor 250 ppm lapisan film yang terbentuk semakin tebal sehingga mampu mereduksi konsentrasi Fe yang terlarut. Sedangkan pada waktu perendaman 48 jam dan konsentrasi inhibitor 550 ppm, inhibitor yang

lapisan-lapisan garam yang kemudian menyebabkan anoda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.6 sebagai berikut :



Gambar 4.6 Inhibitor anodik mengendalikan laju korosi (Trethewey, 1991)

Gambar (a) menunjukkan korosi di bagian celupan oksida yang terkelupas. Selapan yang terkelupas berindak sebagai katoda (karena mempunyai potensial standar yang lebih tinggi daripada logamnya), sedangkan logam yang terlindung sebagai anoda. Gambar (b) menunjukkan anion dalam inhibitor anodik bereaksi dengan ion logam dalam larutan dan membentuk bagian yang bersifat anodik.

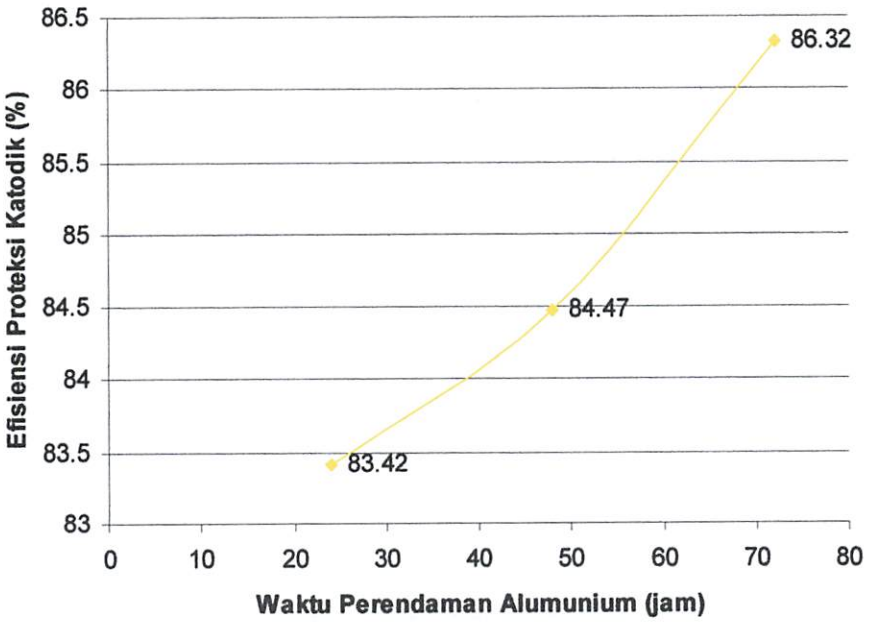
Pengaruh waktu perendaman terhadap konsentrasi Fe yang terlarut dapat dilihat pada gambar 4.5 dimana pada waktu perendaman 24 - 48 jam kemampuan lapisan film inhibitor melindungi pipa besi dari serangan korosi bekerja efektif. Hal ini terjadi oleh karena pada waktu tersebut lapisan film pada permukaan pipa lebih banyak sehingga lapisan film tersebut sangat efektif dalam menahan keagresifan ion-ion pada elektrolit. Akan tetapi pada waktu perendaman besi 72 jam kemampuan lapisan film inhibitor melindungi pipa besi dari serangan korosi menurun. Hal ini terjadi karena ion-ion dari elektrolit secara terus menerus menyerang pada permukaan pipa sehingga lapisan film pada permukaan pipa alam rusak dan fungsi inhibitor sudah tidak efektif (Dwi Jayati dan Sri Rahayu Mawati, 2002).

Dari uji Duncan terdapat perbedaan yang terlihat dalam satu kelompok (satu subset). Kedua perlakuan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang tidak nyata dalam perubahan konsentrasi Fe terlarut. Hal ini dikarenakan kemampuan inhibitor dalam mereduksi konsentrasi Fe yang terlarut pada waktu perendaman 24 jam dan konsentrasi inhibitor 350 ppm lapisan film yang terbentuk sematkin tebal sehingga mampu mereduksi konsentrasi Fe yang terlarut. Sedangkan pada waktu perendaman 48 jam dan konsentrasi inhibitor 550 ppm, inhibitor yang

berlebih akan bereaksi dengan lapisan yang sudah terbentuk pada permukaan pipa sehingga lapisan yang terbentuk semakin tipis. Dari hasil analisa uji korelasi dan regresi terdapat hubungan yang kuat antara konsentrasi Fe yang terlarut dengan variasi konsentrasi inhibitor dan variasi waktu perendaman. Dimana 84,3 % penurunan konsentrasi Fe yang terlarut dipengaruhi oleh variasi konsentrasi inhibitor dan variasi waktu perendaman. Sedangkan sisanya yaitu 15,7 % penurunan konsentrasi Fe yang terlarut dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti elektrolit, jenis inhibitor, oksigen dan lapisan pasif pada besi.

4.2.2. Efisiensi Perlindungan Korosi Dengan Proteksi Katodik

Dari hasil penelitian yang sudah diperoleh, penggunaan proteksi katodik dengan alumunium sebagai anoda tumbal *(sacrificial anode)* sebagai pelindung pipa dari korosi dan variasi waktu perendaman alumunium terbukti dapat menurunkan konsentrasi Fe yang terlarut dibandingkan dengan tanpa menggunakan proteksi katodik. Efisiensi penggunaan proteksi kotodik sebagai perlindungan korosi pada pipa besi berkisar antara 83,41 % – 86,32 %. Berdasarkan tabel 4.2 dapat dibuat grafik seperti pada gambar 4.7.



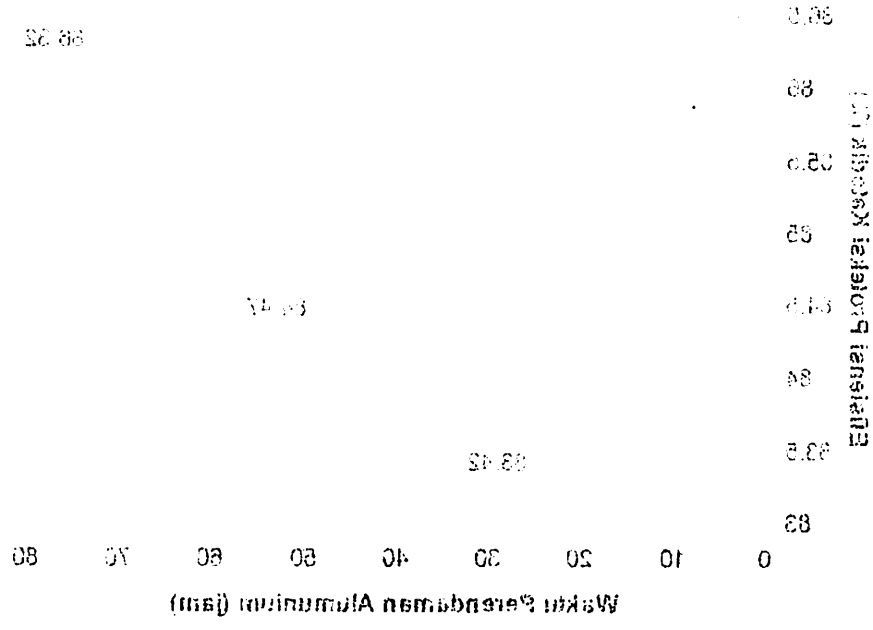
Gambar 4.7. Grafik Efisiensi Perlindungan dengan Proteksi Katodik

Dari gambar 4.7 menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan proteksi katodik tertinggi sebesar 86,32 % yaitu didapatkan pada waktu perendaman

berlebih akan berakibat dengan lapisan yang sudah terbentuk pada permukaan pipa sehingga lapisan yang terbentuk semakin tipis. Dari hasil analisa uji korelasi dan regresi terdapat hubungan yang kuat antara konsentrasi Fe yang terikat dengan variasi konsentrasi inhibitor dan variasi waktu perendaman. Dimana 64,3 % pengaruhnya konsentrasi Fe yang terikat dipengaruhi oleh variasi konsentrasi inhibitor dan variasi waktu perendaman. Sedangkan sisanya yaitu 15,7 % pengaruhnya konsentrasi Fe yang terikat dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti elektrolit, jenis inhibitor, desigen dan lapisan pasif pada besi.

4.2.2. Efisiensi Perlindungan Korosi Dengan Proteksi Katodik

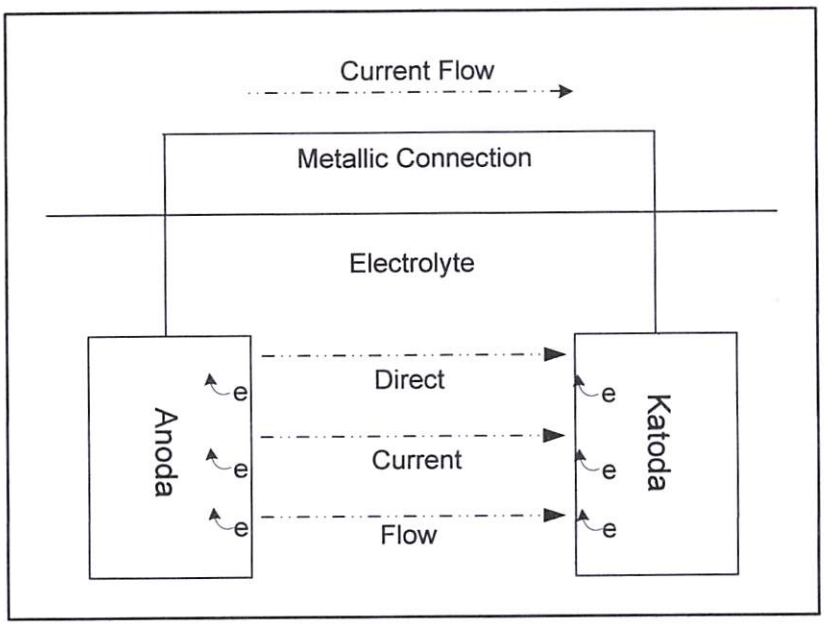
Dari hasil penelitian yang sudah dipersoleh, penggunaan proteksi katodik dengan aluminium sebagai anoda tumbal (sacrificial anode) sebagai pelindung pipa dari korosi dan variasi waktu perendaman aluminium terhadap laju mengurangkan konsentrasi Fe yang terikat dibandingkan dengan tanpa menggunakan proteksi katodik. Efisiensi penggunaan proteksi katodik sebagai perlindungan korosi pada pipa besi berkisar antara 83,41 % – 86,32 %. Berdasarkan tabel 4.2 dapat dibuat grafik seperti pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik Efisiensi Perlindungan dengan Proteksi Katodik

Dari gambar 4.7 menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan proteksi katodik tertinggi sebesar 86,32 % yaitu didapatkan pada waktu perendaman

alumunium 72 jam. Sedangkan efisiensi penggunaan proteksi katodik terendah sebesar 83,41 % yaitu pada waktu perendaman alumunium 24 jam. Dari gambar 4.7 juga dapat diketahui bahwa efisiensi terbesar pada penggunaan proteksi katodik baik dari waktu perendaman alumunium 24 jam sampai dengan 72 jam. Hal ini disebabkan oleh karena dengan adanya alumunium sebagai anoda tumbal maka proses korosi berlangsung pada alumunium selaku anoda sehingga pipa besi tidak terserang oleh korosi. Dengan adanya alumunium sebagai anoda tumbal terjadi penambahan elektron dimana ada arus listrik searah yang mengalir dari lingkungan ke arah pipa sehingga pipa tersebut akan utuh. Alumunium sebagai anoda dan pipa besi sebagai katoda merupakan sel galvanik yang berbeda potensialnya. Elektroda yang memiliki potensial lebih tinggi berperan sebagai katoda dan yang lebih rendah berperan sebagai anoda. Alumunium mengalirkan elektronnya melalui kabel konduktor menuju pipa besi dan bereaksi dengan ion positif pada katoda. Sedangkan alumunium yang telah kehilangan elektronnya menjadi kelebihan muatan positif sehingga ion positif di anoda bereaksi dengan ion-ion negatif pada larutan elektrolit dan akhirnya membentuk produk korosi. Sehingga korosi akan terjadi pada anoda dan katoda akan terproteksi.*(Arum Satyasari,2003)*.



Gambar 4.8. Sel Galvanik dan Mekanisme Korosi. *(www.mesaproduct.com)*

Dari hasil analisa uji korelasi dan regresi terdapat hubungan yang kuat antara konsentrasi Fe yang terlarut dengan variasi waktu perendaman alumunium. Dimana 96,3 % penurunan konsentrasi Fe yang terlarut dipengaruhi oleh variasi waktu perendaman alumunium. Sedangkan sisanya yaitu 3,7 % penurunan konsentrasi Fe yang terlarut dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti elektrolit, jenis anoda, oksigen, arus elektron dan lapisan pasif pada besi.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan skala laboratorium mengenai "Uji Efektifitas Inhibitor Natrium Nitrit Dan Proteksi Katodik Sebagai Pengendali Korosi Logam Pada Sistem Perpipaan PDAM" dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Inhibitor natrium nitrit ($NaNO_2$) dan Proteksi Katodik mampu menekan laju korosi pada pipa besi PDAM.
2. Efektifitas penggunaan inhibitor natrium nitrit ($NaNO_2$) diperoleh pada konsentrasi 400 ppm waktu perendaman 24 jam dengan konsentrasi Fe terlarut sebesar 0,91 ppm, waktu perendaman 48 jam dengan konsentrasi Fe terlarut sebesar 1 ppm dan waktu perendaman 72 jam dengan konsentrasi Fe terlarut sebesar 1,93 ppm
3. Efektifitas penggunaan proteksi katodik dengan alumunium sebagai anoda tumbal didapat pada waktu perendaman alumunium 72 jam dengan konsentrasi Fe terlarut sebesar 0,51 ppm.

5.2 SARAN

Setelah menyimpulkan hasil penelitian dimana masih banyak kekurangan-kekurangan yang dapat dijadikan saran bagi peneliti selanjutnya, saran-saran meliputi :

- Uji perbandingan inhibitor natrium nitrit ($NaNO_2$) dengan inhibitor yang lain, untuk mengetahui inhibitor yang terbaik sebagai lapisan pelindung pipa besi PDAM.
- Untuk proteksi katodik perlu adanya perhitungan untuk mengetahui kebutuhan anoda yang optimal untuk melindungi pipa dari korosi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan skala laboratorium mengenai "Uji Efektifitas Inhibitor Natrium Nitrit Dan Protekti Katodik Sebagai Pengendali Korosi Logam Pada Sistem Perpipaan PDAM" dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Inhibitor natrium nitrit ($NaNO_2$) dan Proteksi Katodik mampu mencegah laju korosi pada pipa besi PDAM.
2. Efektifitas penggunaan inhibitor natrium nitrit ($NaNO_2$) diperoleh pada konsentrasi 400 ppm waktu perendaman 24 jam dengan konsentrasi Fe terlarut sebesar 0,91 ppm, waktu perendaman 48 jam dengan konsentrasi Fe terlarut sebesar 1 ppm dan waktu perendaman 72 jam dengan konsentrasi Fe terlarut sebesar 1,93 ppm
3. Efektifitas penggunaan proteksi katodik dengan aluminium sebagai anoda tumbal didapat pada waktu perendaman aluminium 72 jam dengan konsentrasi Fe terlarut sebesar 0,51 ppm.

5.2 SARAN

Setelah menyimpulkan hasil penelitian dimana masih banyak kekurangan-kekurangan yang dapat dijadikan saran bagi peneliti selanjutnya, saran-saran tersebut :

- Uji perbandingan inhibitor natrium nitrit ($NaNO_2$) dengan inhibitor yang lain, untuk mengetahui inhibitor yang terbaik sebagai lapisan pelindung pipa besi PDAM.
- Untuk proteksi katodik perlu adanya perhitungan untuk mengetahui kebutuhan anoda yang optimal untuk melindungi pipa dari korosi.

DAFTAR PUSTAKA

Alaert, G., Sumestri, S., 1984., ***"Metode Penelitian Air"***., Penerbit Usaha Nasional Surabaya.

Astuti, D., Wahyu, S., 2002., ***"Perbandingan Efektifitas Pemakaian Inhibitor Dengan Proteksi Katodik Dalam Lingkungan Asam Pada Korosi Logam"***., UPN Surabaya.

Atkins, P, W., 1978. ***"Phisical Chemistry"***., Oxford University., Ch 8.

Fontana, M, G., Greene, N, D., 1978., ***"Corosion Engineerin"***., McGraw-Hill.

Fried, I., 1973., ***"The Chemistry of Electroda Processes"***., Academic Press.

Jhon, C., Kenneth, R., Edisi Alih Bahasa Alex Tri Kantjono Widodo., 1991., ***"Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa"***., Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama., Jakarta.

Handana, D., 1996., ***"Study Evaluasi Penerapan Pencegahan Korosi Secara Katodik Pada Pipa Induk Distribusi Di Jalan Rajawali-Jalan Kaparan Surabaya"***., ITS Surabaya.

Rosenberg, J,L., 1980., ***"Theory and Problems of College Chemistry*** "., (6th edn). Schaum`s outline series., New York.

Santoso, S., 2002., ***"SPSS Versi 10.0 Mengolah Data Secara Profersional"***., PT. Elex Competinda, Jakarta.

Satyasari, A., 2003., ***"Komputerisasi Perencanaan Pengendalian Korosi Dengan Metode Proteksi Katodik Pada Pipa Yang Di Tanam Dalam Tanah"***., ITS Surabaya.

Sofianingrum, D., 2001., ***"Study Laju Korosi Baja Karbon Dalam Media Air PAM Tanpa dan Dengan Penambahan Inhibitor"***., ITS Surabaya.

Trethewey, K, R., 1986., ***"The Dezincification of Brasses in Sea Water, Surface Technology"***., Institution Of Corrosion Science and Technology.

Uhlig, H, H., 1985., ***"Corrosion Handbook"***.

www.mesaproduct.com ., tanggal 23 februari 2005., ***"Sel Galvanik dan Mekanisme Korosi"***.

Yarnest, Drs, MM., 2004., ***"Aplikasi Statistik"***., Dioma., Malang.

DAFTAR PUSTAKA

Alaon, O., Sumasari, S., 1984., "Metode Pemelihara Air", Pusat Pusat Sains Nasional Surabaya.

Astuti, D., Widiyo, S., 2002., "Perbandingan Efektifitas Pembakian Inhibitor Dengan Proteksi Katodik Dalam Lingkungan Air Pada Korosi Logam", ITS Surabaya.

Atkins, P. W., 1978, "Physical Chemistry", Oxford University, Ch 8.

Fontana, M. G., Greene, N. D., 1978., "Corrosion Engineering", McGraw-Hill.

Fried, L., 1975., "The Chemistry of Electrode Processes", Academic Press.

Hion, C., Kenneth, R., Idris Alib Bahar, Alex Tri Kantjono Widodo, 1991., "Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa", Pusat PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Handaya, D., 1996., "Study Kinetics Pemerapan Pengguna Korosi Secara Katodik Pada Pipa Induk Distribusi Di Jalan Rajawali-Jalan Kaparan Surabaya", ITS Surabaya.

Rosenberg, H., 1980., "Theory and Problems of College Chemistry", (6th edn), Schaum's outline series, New York.

Sanoso, S., 2002., "SNSS Versi 10.0 Mengolah Data Secara Professional", PT. Elex Computindo, Jakarta.

Sulyasari, A., 2003., "Komputerisasi Pengendalian Pengendalian Korosi Dengan Metode Proteksi Katodik Pada Pipa Yang Di Tanam Dalam Tanah", ITS Surabaya.

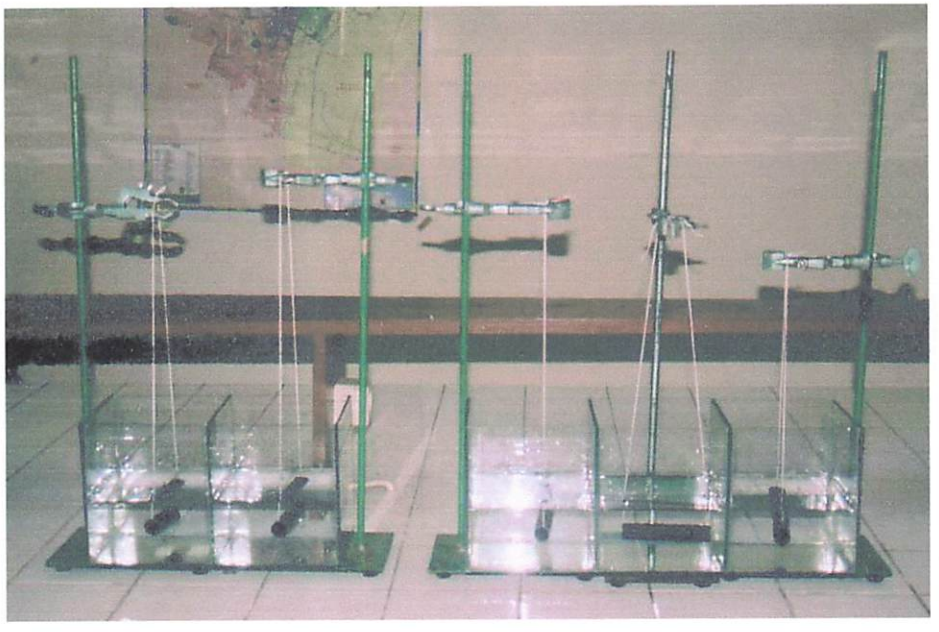
Soliamiryam, D., 2001., "Study Laju Korosi Baja Karbon Dalam Media Air PAM Tanpa dan Dengan Pembambahan Inhibitor", ITS Surabaya.

Trabowy, K. K., 1980., "The Deterioration of Brasses in Sea Water, Surface Technology", Institution Of Corrosion Science and Technology.

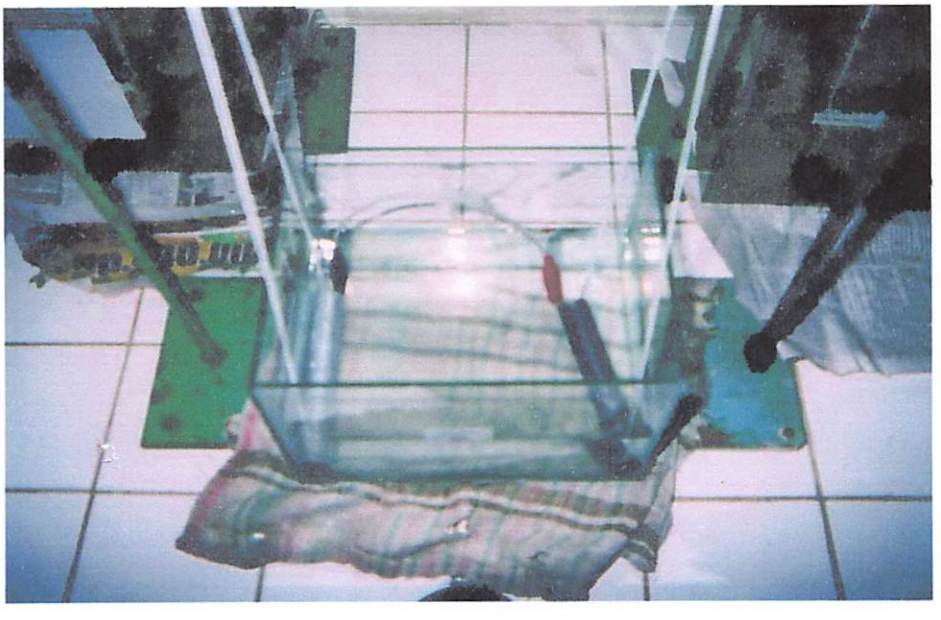
Uhlig, H. H., 1985., "Corrosion Handbook".

., tanggal 23 Februari 2005., "Sejarah Korosi dan Mekanisme Korosi".

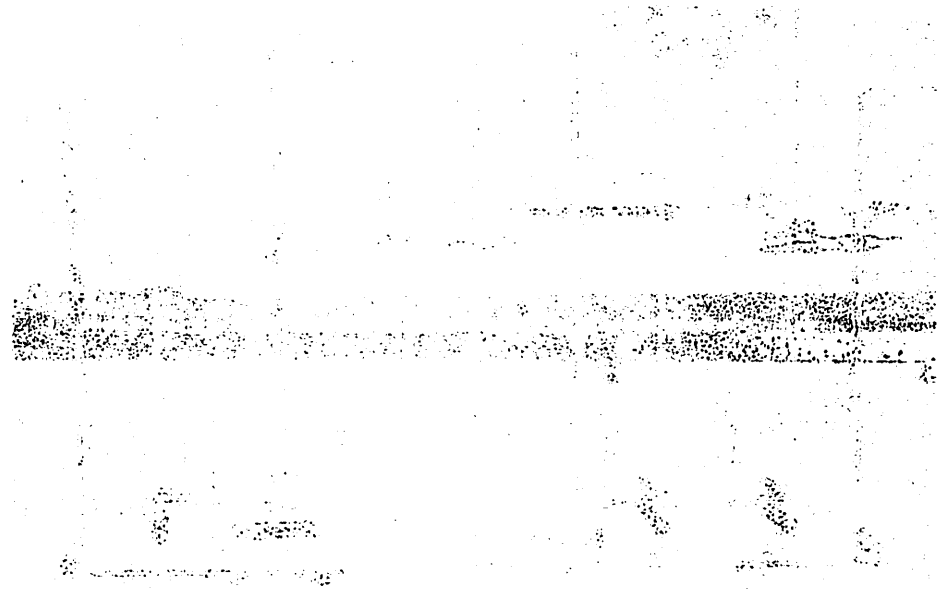
Yamesi, Drs, MM., 2004., "Alpikasi Statistik", Djoma., Malang.



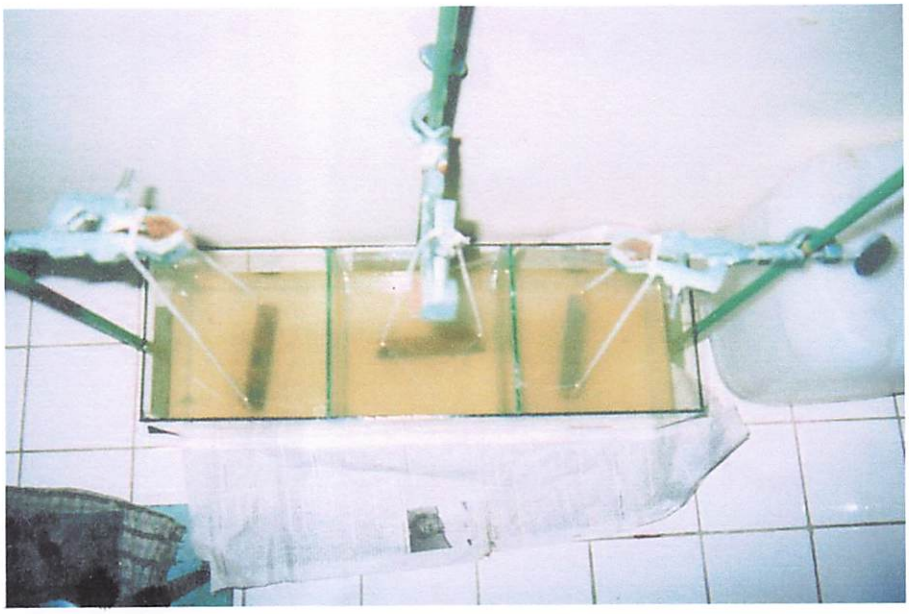
Perlindungan korosi dengan inhibitor



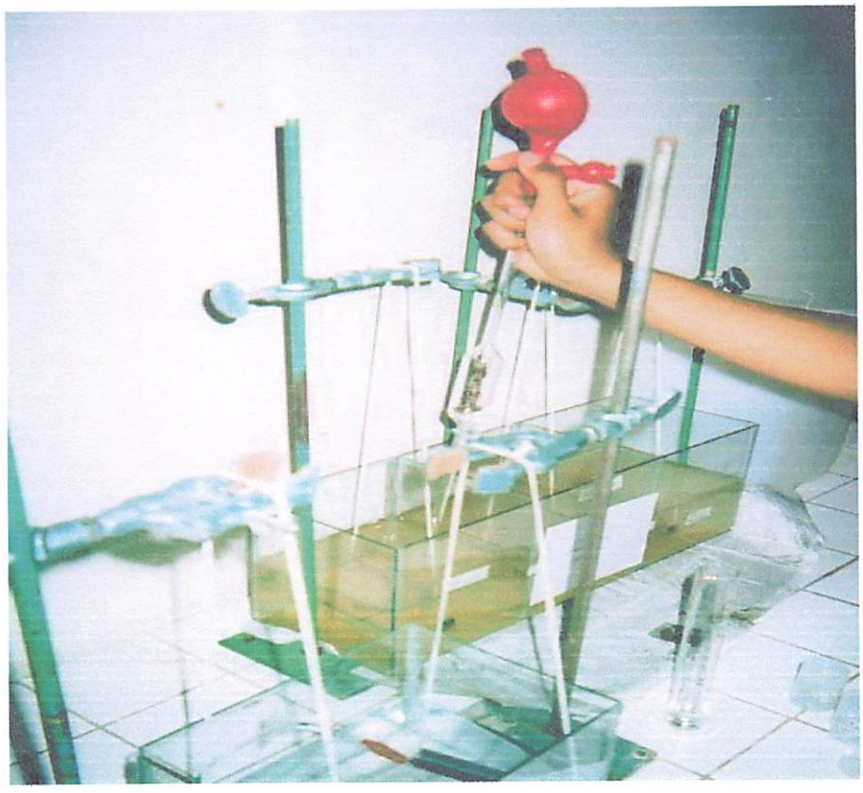
Perlindungan korosi dengan proteksi katodik



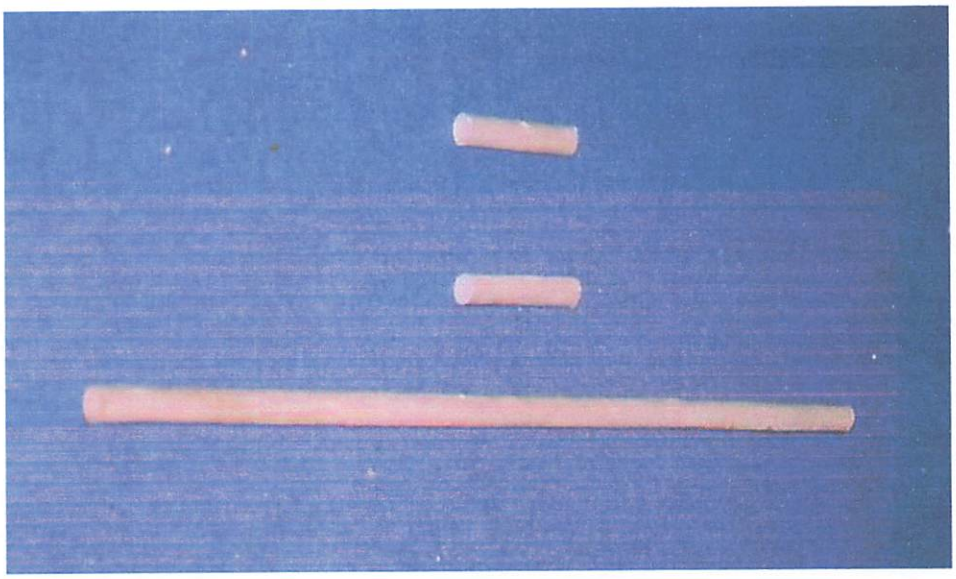
Kolam perendaman dengan elektrolit dan inhibitor



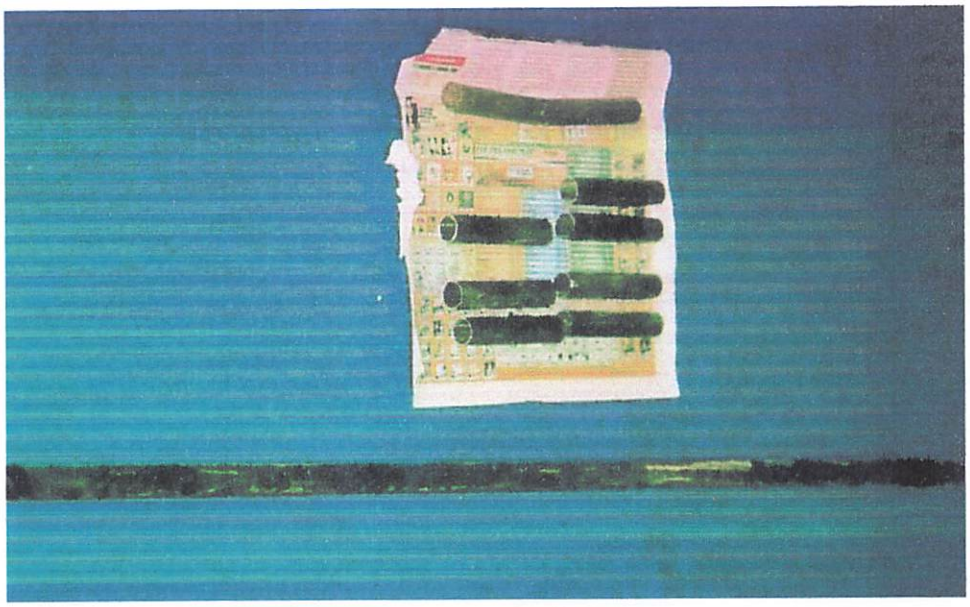
Kolam perendaman dengan elektrolit dan inhibitor



Pengambilan sampel



Jenis anoda alumunium



Pipa besi

LAMPIRAN
PROSEDUR PENELITIAN

PROSEDUR PENELITIAN

1. **PEMBERSIHAN BENDA UJI (BESI DAN ALUMUNIUM).**

   - Besi dan alumunium digosok dengan kertas gosok hingga guratan2 pada besi dan alumunium habis.
   - Besi dan alumunium dibilas dengan alcohol 98 %.
   - Didiamkan hingga kering.

2. **STERILISASI ALAT.**

   - Cuci semua alat hingga bersih dengan air aquades.
   - Dikeringkan.

3. **MEMBUAT LARUTAN INHIBITOR NATRIUM NITRIT ($NaNO_2$)**

   - Konsentrasi 100 ppm :
     - 100 ppm = 100 mg/l = 0,1 g/l x 1 l = 0,1 gr
     - tambahkan aquades 1000 ml.
   - Konsentrasi 250 ppm :
     - 250 ppm = 250 mg/l = 0,25 g/l x 1 l = 0,25 gr
     - tambahkan aquades 1000 ml.
   - Untuk konsentrasi selanjutnya menggunakan 0,4 gr dan 0,55 gr $NaNO_2$ dan semua ditambahkan aquades 1000 ml.

4. **MEMBUAT LARUTAN ELEKTROLIT.**

   - Menyiapkan larutan NaCl 3,5 %
     - NaCl sebanyak 25,23 gr
   - Dilarutkan kedalam 1000 ml aquades.

PROSEDUR PENELITIAN

1. PEMBERSIHAN BENDA UJI (BESI DAN ALUMUNIUM).

- Besi dan aluminium digosok dengan kertas gosok hingga suratanz pada besi dan aluminium habis.
- Besi dan aluminium dibilas dengan alcohol 98 %.
- Dikamkan hingga kering.

2. STERILISASI ALAT.

- Cuci semua alat hingga bersih dengan air aquades.
- Dikeringkan.

3. MEMBUAT LARUTAN INHIBITOR NATRIUM NITRIT ($NaNO_2$)

- Konsentrasi 100 ppm :
  - 100 ppm = 100 mg/l = 0,1 g/l x 1 l = 0,1 g
  - tambahkan aquades 1000 ml.
- Konsentrasi 250 ppm :
  - 250 ppm = 250 mg/l = 0,25 g/l x 1 l = 0,25 g
  - tambahkan aquades 1000 ml.
- Untuk konsentrasi selanjutnya menggunakan 0,4 g dan 0,55 g $NaNO_2$ dan semua ditambahkan aquades 1000 ml.

4. MEMBUAT LARUTAN ELEKTROLIT.

- Menyiapkan larutan NaCl 3,5 %
  - NaCl sebanyak 25,25 g
- Dilarutkan kedalam 1000 ml aquades.

PELAKSANAAN PENELITIAN :

1. Pembersihan benda uji (besi dan alumunium).
2. Sterilisasi alat.
3. Membuat larutan inhibitor natrium nitrit.
4. Membuat larutan elektrolit.
5. Menyiapkan konduktor.
6. Masukkan larutan inhibitor + larutan elektrolit ke dalam 5 buah beaker glas sebanyak 1000 ml / beaker glass.
7. Masukkan larutan elektrolit ke dalam beaker glass sebanyak 1000ml.
8. Masukkan benda uji kedalam 5 buah beaker glass yang telah terisi larutan elektrolit dan larutan inhibitor. (..1..)
9. Masukkan alumunium dan besi yang telah dihubungkan dengan kabel konduktor ke dalam beaker glass yang telah berisi larutan inhibitor + larutan elektrolit. (..2..)
10. Tahap 8 dan 9 didiamkan selama 24 jam, 48 jam dan 72 jam.
11. Pengambilan sampel setiap 24, 48 dan 72 jam.
12. Sampel dianalisa.

PELAKSANAAN PENELITIAN :

1. Pembersihan benda uji (besi dan aluminium).
2. Sterilisasi alat.
3. Membuat larutan inhibitor natrium nitrit.
4. Membuat larutan elektrolit.
5. Menyiapkan konduktor.
6. Masukkan larutan inhibitor + larutan elektrolit ke dalam 5 buah beaker glas sebanyak 1000 ml \ beaker glass.
7. Masukkan larutan elektrolit ke dalam beaker glass sebanyak 1000ml.
8. Masukkan benda uji kedalam 5 buah beaker glass yang telah terisi larutan elektrolit dan larutan inhibitor. (..1..)
9. Masukkan aluminium dan besi yang telah dihubungkan dengan kabel konduktor ke dalam beaker glass yang telah berisi larutan inhibitor + larutan elektrolit. (..2..)
10. Tahap 8 dan 9 didiamkan selama 24 jam, 48 jam dan 72 jam.
11. Pengambilan sampel setiap 24, 48 dan 72 jam.
12. Sampel dianalisa.

LAMPIRAN
DATA HASIL PENELITIAN

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG
FAKULTAS MIPA JURUSAN KIMIA
JL. VETERAN TELP. (0341) 575838

LAPORAN HASIL PENELITIAN

NO : M.051 / RT.5 / T.I / R.O / TT. 150803 / 2005

Nama : Sigit Arisman
Nim : 00.26.008
Jurusan : Teknik Lingkungan
PTN/PTS : ITN Malang
Asal sampel : Lab. Lingkungan ITN Malang

Data hasil analisa

Kode Sampel	Parameter	Kadar		Metode Analisis	
		Hasil	Satuan	Pereaksi	Metode
NaCl 24 jam	Fe	1,87	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
NaCl 24 jam	Fe	1,85	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
NaCl 24 jam	Fe	1,89	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
NaCl 48 jam	Fe	2,84	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
NaCl 48 jam	Fe	2,83	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
NaCl 48 jam	Fe	2,82	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
NaCl 72 jam	Fe	3,78	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
NaCl 72 jam	Fe	3,77	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
NaCl 72 jam	Fe	3,79	ppm	HNO_3	Spektrofotometer

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG
FAKULTAS MIPA JURUSAN KIMIA
JL. VETERAN TELP. (0341) 575838

LAPORAN HASIL PENELITIAN

NO : M.051 / RT.5 / T.I / R.O / TT. 150803 / 2005

Kode Sampel	Waktu Perendaman	Parameter	Kadar		Metode Analisis	
			Hasil	Satuan	Pereaksi	Metode
$NaCl+NaNO_2$ 100 ppm	24 jam	Fe	1,39	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 100 ppm	24 jam	Fe	1,4	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 100 ppm	24 jam	Fe	1,41	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 250 ppm	24 jam	Fe	1,11	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 250 ppm	24 jam	Fe	1,08	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 250 ppm	24 jam	Fe	1,14	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 400 ppm	24 jam	Fe	0,93	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 400 ppm	24 jam	Fe	0,91	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 400 ppm	24 jam	Fe	0,9	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 550 ppm	24 jam	Fe	0,98	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 550 ppm	24 jam	Fe	0,97	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 550 ppm	24 jam	Fe	0,95	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 100 ppm	48 jam	Fe	1,95	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 100 ppm	48 jam	Fe	1,98	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 100 ppm	48 jam	Fe	1,97	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
NaCl+NaNO2 250 ppm	48 jam	Fe	1,34	ppm	HNO3	Spektrofotometer
NaCl+NaNO2 250 ppm	48 jam	Fe	1,3	ppm	HNO3	Spektrofotometer
NaCl+NaNO2 250 ppm	48 jam	Fe	1,32	ppm	HNO3	Spektrofotometer

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG
FAKULTAS MIPA JURUSAN KIMIA
JL. VETERAN TELP. (0341) 575838

LAPORAN HASIL PENELITIAN

NO : M.051 / RT.5 / T.I / R.O / TT. 150803 / 2005

Kode Sampel	Waktu Perendaman	Parameter	Kadar		Metode Analisis	
			Hasil	Satuan	Pereaksi	Metode
$NaCl+NaNO_2$ 400 ppm	48 jam	Fe	0,98	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 400 ppm	48 jam	Fe	1	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 400 ppm	48 jam	Fe	1,02	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 550 ppm	48 jam	Fe	1,08	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 550 ppm	48 jam	Fe	1,1	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 550 ppm	48 jam	Fe	1,12	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 100 ppm	72 jam	Fe	2,87	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 100 ppm	72 jam	Fe	2,85	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 100 ppm	72 jam	Fe	2,89	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 250 ppm	72 jam	Fe	2,22	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 250 ppm	72 jam	Fe	2,2	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 250 ppm	72 jam	Fe	2,21	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 400 ppm	72 jam	Fe	1,95	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
$NaCl+NaNO_2$ 400 ppm	72 jam	Fe	1,93	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
NaCl+NaNO2 400 ppm	72 jam	Fe	1,91	ppm	HNO3	Spektrofotometer
NaCl+NaNO2 550 ppm	72 jam	Fe	1,97	ppm	HNO3	Spektrofotometer
NaCl+NaNO2 550 ppm	72 jam	Fe	2,03	ppm	HNO3	Spektrofotometer
NaCl+NaNO2 550 ppm	72 jam	Fe	2	ppm	HNO3	Spektrofotometer

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG
FAKULTAS MIPA JURUSAN KIMIA
JL. VETERAN TELP. (0341) 575838

LAPORAN HASIL PENELITIAN

NO : M.051 / RT.5 / T.I / R.O / TT. 150803 / 2005

Kode Sampel	Waktu Perendaman	Parameter	Kadar		Metode Analisis	
			Hasil	Satuan	Pereaksi	Metode
Proteksi Katodik	24 jam	Fe	0,30	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
Proteksi Katodik	24 jam	Fe	0,32	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
Proteksi Katodik	24 jam	Fe	0,31	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
Proteksi Katodik	48 jam	Fe	0,42	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
Proteksi Katodik	48 jam	Fe	0,44	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
Proteksi Katodik	48 jam	Fe	0,45	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
Proteksi Katodik	72 jam	Fe	0,51	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
Proteksi Katodik	72 jam	Fe	0,50	ppm	HNO_3	Spektrofotometer
Proteksi Katodik	72 jam	Fe	0,52	ppm	HNO_3	Spektrofotometer

Catatan :

1. Hasil analisa ini adalah nilai rata-rata pengerjaan analisis secara duplo
2. Hasil analisa ini hanya berlaku untuk sampel yang kami terima dengan kondisi sampel saat itu.

Malang, 29 Mei 2005
Mengetahui
Kalab. Kimia Lingkungan

Ketua

Ir. Bambang Ismuyanto, MS
NIP. 131 616 317

Drs. Farid Rahman, S.Si., M.Si
NIP. 132 158 726

LAMPIRAN
ANALISA STATISTIK

ANALISA STATISTIK

PERLINDUNGAN KOROSI DENGAN INHIBITOR

Between-Subjects Factors

		N
Sampel	T1K1	3
	T1K2	3
	T1K3	3
	T1K4	3
	T2K1	3
	T2K2	3
	T2K3	3
	T2K4	3
	T3K1	3
	T3K2	3
	T3K3	3
	T3K4	3

Hasil Uji ANOVA Pengaruh Variasi Perlakuan Terhadap Konsentrasi Fe Terlarut

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Konsentrasi Fe terlarut

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12.646[a]	11	1.150	2935.170	.000
Intercept	88.235	1	88.235	225280.1	.000
Sampel	12.646	11	1.150	2935.170	.000
Error	.009	24	.000		
Total	100.890	36			
Corrected Total	12.655	35			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

Uji Duncan Konsentrasi Fe Terlarut

Konsentrasi Fe terlarut

Duncan[a,b]

Sampel	N	Subset										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T1K3	3	.9133										
T1K4	3		.9667									
T2K3	3			1.0000								
T2K4	3				1.1000							
T1K2	3				1.1100							
T2K2	3					1.3233						
T1K1	3						1.4000					
T3K3	3							1.9300				
T2K1	3								1.9667			
T3K4	3									2.0000		
T3K2	3										2.2100	
T3K1	3											2.8700
Sig.		1.000	1.000	1.000	.535	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

ANALISA STATISTIK

PERLEMBUNGAN KOROSI DINGAN INHIBITOR

Between-Subjects Factors

		N
Sampel	T1K1	3
	T1K2	3
	T1K3	3
	T1K4	3
	T2K1	3
	T2K2	3
	T2K3	3
	T2K4	3
	T3K1	3
	T3K2	3
	T3K3	3
	T3K4	3

Hasil Uji ANOVA Pengaruh Variasi Perlakuan Terhadap Konsentrasi Fe Terlarut

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Konsentrasi Fe terlarut

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12,842[a]	11	1,180	2935,170	.000
Intercept	86,293	1	86,293	225280,1	.000
Sampel	12,842	11	1,180	2935,170	.000
Error	.009	24	.000		
Total	100,340	36			
Corrected Total	12,852	35			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

Uji Duncan Konsentrasi Fe Terlarut

Konsentrasi Fe terlarut

Duncan[a,b]

Sampel	N	Subset											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T1K1	3	.9130										
T1K2	3		.9667									
T2K2	3			1.0000								
T2K4	3				1.0000							
T1K3	3				1.0000							
T2K3	3					1.0333						
T3K2	3						1.0000					
T3K1	3							1.0000				
T3K3	3								1.0667			
T3K4	3									1.0933		
T2K1	3										2.0000	
T2K3	3											2.4000
Sig.		1.000	1.000	1.000	.924	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homog. subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05

Korelasi antara Konsentrasi Fe Terlarut dengan Waktu Perendaman (Jam) dan Konsentrasi Inhibitor (ppm)

Correlations

		Konsentrasi Fe yang terlarut	Variasi konsentrasi inhibitor	Variasi waktu perendaman
Pearson Correlation	Konsentrasi Fe yang terlarut	1.000	-.459	.795
	Variasi konsentrasi inhibitor	-.459	1.000	.000
	Variasi waktu perendaman	.795	.000	1.000
Sig. (1-tailed)	Konsentrasi Fe yang terlarut	.	.002	.000
	Variasi konsentrasi inhibitor	.002	.	.500
	Variasi waktu perendaman	.000	.500	.
N	Konsentrasi Fe yang terlarut	36	36	36
	Variasi konsentrasi inhibitor	36	36	36
	Variasi waktu perendaman	36	36	36

Hasil Uji Regresi ANOVA

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	10.674	2	5.337	88.876	.000[a]
	Residual	1.982	33	.060		
	Total	12.655	35			

a. Predictors: (Constant), Variasi waktu perendaman , Variasi konsentrasi inhibitor

b. Dependent Variable: Konsentrasi Fe yang terlarut

Persamaan Regresi Konsentrasi Fe Terlarut

Coefficients [a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.019	.141		7.206	.000
	Variasi konsentrasi inhibitor	-.244	.037	-.459	-6.667	.000
	Variasi waktu perendaman	.577	.050	.795	11.545	.000

a. Dependent Variable: Konsentrasi Fe yang terlarut

Persamaan R Square

Model Summary [b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.918[a]	.843	.834	.24505

a. Predictors: (Constant), Variasi waktu perendaman , Variasi konsentrasi inhibitor

b. Dependent Variable: Konsentrasi Fe yang terlarut

Korelasi antara Konsentrasi Fe Terlarut dengan Waktu Perendaman (Jam) dan Konsentrasi Inhibitor (ppm)

Correlations

		Konsentrasi Fe yang terlarut	Variasi konsentrasi inhibitor	Variasi waktu perendaman
Pearson Correlation	Konsentrasi Fe yang terlarut	1.000	-.459	.728
	Variasi konsentrasi inhibitor	-.459	1.000	.000
	Variasi waktu perendaman	.728	.000	1.000
Sig. (1-tailed)	Konsentrasi Fe yang terlarut		.002	.000
	Variasi konsentrasi inhibitor	.002	.	.500
	Variasi waktu perendaman	.000	.500	
N	Konsentrasi Fe yang terlarut	36	36	36
	Variasi konsentrasi inhibitor	36	36	36
	Variasi waktu perendaman	36	36	36

Hasil Uji Regresi ANOVA

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	10.674	2	5.337	65.075	.000[a]
	Residual	1.982	33	.060		
	Total	12.655	35			

a. Predictors: (Constant), Variasi waktu perendaman , Variasi konsentrasi inhibitor

b. Dependent Variable: Konsentrasi Fe yang terlarut

Persamaan Regresi Konsentrasi Fe Terlarut

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.015	.141		7.205	.000
	Variasi konsentrasi inhibitor	-.244	.037	-.45	-6.607	.000
	Variasi waktu perendaman	.371	.030	.728	11.945	.000

a. Dependent Variable: Konsentrasi Fe yang terlarut

Persamaan R Square

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.918[a]	.843	.834	.24506

a. Predictors: (Constant), Variasi waktu perendaman , Variasi konsentrasi inhibitor

b. Dependent Variable: Konsentrasi Fe yang terlarut

ANALISA STATISTIK

PERLINDUNGAN KOROSI DENGAN PROTEKSI KATODIK

Between-Subjects Factors

		N
Sampel	T1PK	3
	T2PK	3
	T3PK	3

Hasil Uji ANOVA Pengaruh Variasi Perlakuan Terhadap Konsentrasi Fe Terlarut dengan Proteksi Katodik

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Konsentrasi Fe terlarut

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.061[a]	2	.031	212.615	.000
Intercept	1.579	1	1.579	10933.000	.000
uji	.061	2	.031	212.615	.000
Error	.001	6	.000		
Total	1.642	9			
Corrected Total	.062	8			

a. R Squared = .986 (Adjusted R Squared = .981)

Uji Duncan Konsentrasi Fe Terlarut dengan Proteksi Katodik

Konsentrasi Fe terlarut

Duncan [a,b]

uji	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
T1	3	.3100		
T2	3		.4367	
T3	3			.5100
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

Between Subjects Factors

		N
Sampel	T1PK	3
	T2PK	3
	T3PK	3

Hasil Uji ANOVA Pengaruh Variasi Perlakuan Terhadap Konsentrasi Fe Terlarut dengan Proteksi Katodik

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Konsentrasi Fe terlarut

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.0614[a]	3	.021	212.516	.000
Intercept	1.579	1	1.579	15923.000	.000
sp	.061	2	.031	312.615	.000
Error	.001	6	.000		
Total	1.641	9			
Corrected Total	.062	8			

a. R Squared = .980 (Adjusted R Squared = .981)

Uji Duncan Konsentrasi Fe Terlarut dengan Proteksi Katodik

Konsentrasi Fe terlarut

Duncan[a,b]

sp	N	Subset		
		1	2	3
T1	3	.3100		
T2	3		.4067	
T3	3			.5100
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

Korelasi antara Konsentrasi Fe Terlarut dengan Waktu Perendaman Alumunium (Jam)

Correlations

		Konsentrasi Fe terlarut	Variasi waktu perendaman alumunium
Pearson Correlation	Konsentrasi Fe terlarut	1.000	.981
	Variasi waktu perendaman alumunium	.981	1.000
Sig. (1-tailed)	Konsentrasi Fe terlarut	.	.000
	Variasi waktu perendaman alumunium	.000	.
N	Konsentrasi Fe terlarut	9	9
	Variasi waktu perendaman alumunium	9	9

Hasil Uji Regresi ANOVA

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.060	1	.060	183.495	.000[a]
	Residual	.002	7	.000		
	Total	.062	8			

a. Predictors: (Constant), Variasi waktu perendaman alumunium

b. Dependent Variable: Konsentrasi Fe terlarut

Persamaan Regresi Konsentrasi Fe Terlarut

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.219	.016		13.726	.000
	Variasi waktu perendaman alumunium	.100	.007	.981	13.546	.000

a. Dependent Variable: Konsentrasi Fe terlarut

Persamaan R Square

Model Summary [b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.981[a]	.963	.958	.01808

a. Predictors: (Constant), Variasi waktu perendaman alumunium

b. Dependent Variable: Konsentrasi Fe terlarut