



TUGAS AKHIR - TL141584

**PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI KATODIK
ARUS PAKSA PADA PIPA BAJA API 5L GRADE B
DENGAN KEDALAMAN TANAH YANG BERBEDA
DAN VARIASI JARAK ANODA**

**RAHADIAN EKA PAKSHI HARTONO PUTRA
NRP. 0251144000049**

**Dosen Pembimbing
Tubagus Noor Rohmannudin ST., M.Sc.
Lukman Noerochim ST., M.Sc, Eng., Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



TUGAS AKHIR - TL 141584

**PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI KATODIK
ARUS PAKSA PADA PIPA BAJA API 5L GRADE B
DENGAN VARIASI KEDALAMAN PIPA DAN
JARAK ANODA DENGAN KATODA**

**RAHADIAN EKA PAKSHI HARTONO PUTRA
NRP. 0251144000049**

**Dosen Pembimbing
Tubagus Noor R. S.T., M.Sc.
Lukman Noerochiem, S.T., MSc. Eng. Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**



FINAL PROJECT - TL 141584

**DESIGN OF IMPRESSED CURRENT CATHODIC
PROTECTION ON STEEL PIPES API 5L GRADE B
IN VARIOUS DEPT OF PIPE AND DISTANCE OF
ANODE AGAINST KATODE**

**RAHADIAN EKA PAKSHI HARTONO PUTRA
NRP. 02511440000099**

Advisor

Tubagus Noor R. S.T., M.Sc.

Dr. Lukman Noerochiem, S.T., MSc.Eng

**DEPARTMENT OF MATERIAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**

**PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI KATODIK
ARUS PAKSA PADA PIPA BAJA API 5L GRADE B
DENGAN VARIASI KEDALAMAN PIPA DAN JARAK
ANODA DENGAN KATODA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik**

Pada

Bidang Studi Material Inovatif

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Rahadian Eka Pakshi Hartono Putra

NRP. 02511440000049

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir :

1. Tubagus Noor R. ST., M.Sc. (Pembimbing 1)

2. Lukman N, ST., M.Sc. Eng, Ph.D. (Pembimbing 2)



PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI KATODIK ARUS PAKSA PADA PIPA BAJA API 5L GRADE B DENGAN VARIASI KEDALAMAN PIPA DAN JARAK ANODA DENGAN KATODA

Nama : Rahadian Eka Pakshi Hartono Putra
NRP : 02511440000 049
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi FTI - ITS
Dosen Pembimbing : Tubagus Noor R. ST., M.Sc.
Lukman Noerochim, ST., M.Sc. Eng,
Ph.D.

ABSTRAK

Metode ICCP (Impressed Current Cathodic protection) merupakan salah satu metode dalam perlindungan terhadap pipa baja dari serangan korosi. ICCP ini digunakan karena mudah dalam mengatur arus proteksi yang dibutuhkan oleh pipa baja. Penelitian ini menggunakan pipa baja API 5L grade B dan anoda grafit. Proteksi katodik arus paksa digunakan untuk memproteksi pipa baja API 5L grade B dengan kedalaman tanah yang berbeda sebesar 30cm dan 150cm di bawah permukaan tanah. Kedalaman tanah ini berpengaruh pada pada resistivitas tanah. Lokasi penanaman pipa di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI - ITS. Selain itu juga diberikan variasi berupa jarak anoda sebesar 50cm, 100cm, 150cm, dari katoda. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pada kedalaman tanah 30cm didapatkan rata – rata kebutuhan arus proteksi sebesar; 5.05 mA untuk variasi jarak anoda dengan katoda 50cm, 5.58 mA untuk variasi jarak anoda dengan katoda 100cm, 5.806 mA untuk variasi jarak anoda dengan katoda 150cm. Sedangkan pada kedalaman tanah 100cm didapatkan rata – rata keperluan arus proteksi sebesar; 6.316 mA untuk jarak anoda dengan katoda 50cm, 6.563 mA untuk jarak antara anoda dengan

katoda 100cm, 6.85 mA untuk jarak anoda dengan katoda 150cm. Hasil penelitian membuktikan bahwa kedalaman tanah dan jarak anoda dengan katoda, mempengaruhi kebutuhan arus proteksi.

Kata Kunci : *Impressed Current Cathodic Protection*, Kedalaman tanah, jarak anoda dan katoda

DESIGN OF IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION ON STEEL PIPES API 5L GRADE B IN VARIOUS DEPTH OF PIPE AND DISTANCE OF ANODE AGAINST KATODE

Name : Rahadian Eka Pakshi Hartono Putra
NRP : 02511440000 049
Departement : Teknik Material dan Metalurgi FTI - ITS
Advisors Lecture : Tubagus Noor R. ST., M.Sc.
Lukman Noerochim, ST., M.Sc. Eng,
Ph.D.

ABSTRACK

ICCP (Impressed current cathodic protection) is one of corrosion protection method to protect a steel pipe from corrosion. ICCP commonly uses due to it's easy to controlling the protection current which required for steel pipe. In this research, we are using a steel pipe API 5L Grade B and a grafit as an anode. Impressed Current Cathodic Protection used to protect API 5L Grade B pipe steel which buried in different depth, 30cm and 100cm below the surface. This number provide a different resistivity of earth. Burial site located at Departement of Material and Metalurgical Engineering. Variant Distance of anode-katode, 50cm, 100cm, 150cm, also applied as a research variable. The result of this research show us for the depth of buried pipe 30 cm, the average of protection current requirement for 50 cm anode – katode is 5.05 mA, 100 cm distance between anode – katode is 5.58 mA, for distance of anode – katode 150 cm required 5.806 mA. At the depth 100 cm buried pipe require 6.316 mA as protection current average for 50 cm anode – katode, 6.563 mA for 100 cm anode – katode, 6.85 mA for 150 cm anode – katode. This will prove that the dept of soil and the distance of anode-katode will influence the protection current requirement.

Key Words : Impressed Current Cathodic Protection, anode, dept of soil.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkah dan rahmatnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir serta menyusun laporan tugas akhir dengan judul “Perancangan Sistem Proteksi Katodik Arus Paksa Pada Pipa Baja API 5L Grade B Dengan Variasi Kedalaman Pipa Dan Jarak Anoda Dengan Katoda”.

Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi mata kuliah tugas akhir yang menjadi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Departemen Teknik Material dan Metalurgi – Fakultas Teknik Industri – Institut teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik, diantaranya :

1. Kedua orang tua dan adik penulis yang telah memberikan banyak doa, dukungan berupa moriil dan materiil, semangat, kasih sayang, motivasi, kepada penulis.
2. Bapak Tubagus Noor Rochmannudin, S.T., M.Sc. dan Bapak Lukman Noerochiem, S.T., M.Sc., (Eng), Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama dan kedua tugas akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS
4. Tim Dosen Penguji seminar dan siding tugas akhir, serta seluruh bapak dan ibu dosen dan karyawan di lingkungan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan.
5. Abyan Kurnia Hanif, selaku teman tugas akhir yang telah belajar, diskusi, selama pengerjaan tugas akhir.

6. Teman – teman MT16 yang selalu berjuang bersama menjalani masa perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
7. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Perumusan Masalah.....	2
I.3 Tujuan Penelitian.....	3
I.4 Batasan Masalah.....	3
I.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Pengertian Korosi.....	5
II.2 Jenis Korosi.....	6
II.3 Pengendalian Korosi.....	8
II.4 Sel Galvanik.....	10
II.5 ICCP.....	11
II.6 Diagram Pourbaix.....	15
II.7 Tanah.....	16
II.8 Perpindahan Elektron.....	18
II.9 Standar Instalasi ICCP.....	20
II.10 Penelitian Sebelumnya.....	21
BAB III METODOLOGI	
III.1 Diagram Alir.....	25
III.2 Bahan.....	26
III.3 Alat.....	26
III.4 Langkah Penelitian.....	26
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Perancangan Sistem Proteksi Katodik.....	31
IV.2 Pengumpulan Data.....	31

IV.3 Perhitungan Desain.....	32
IV.4 Perhitungan Arus Potensial.....	35
IV.5 Hasil Proteksi.....	47
IV.6 Kebutuhan Proteksi.....	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan.....	61
V.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	xix
LAMPIRAN.....	xx
BIODATA PENULIS.....	xxi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Deret Volta.....	5
Gambar 2.2 Reaksi Galvanik.....	10
Gambar 2.3 Skema ICCP.....	11
Gambar 2.4 Anoda Grafit.....	12
Gambar 2.5 Elektroda referen Cu/CuSO ₄	14
Gambar 2.6 Diagram Pourbaix.....	15
Gambar 2.7 Lapisan Tanah.....	16
Gambar 2.8 Hukum Coulomb.....	19
Gambar 2.9 Sambungan Antara Kabel Dengan Pipa.....	20
Gambar 2.10 Grafik Pengukuran Arus Proteksi.....	22
Gambar 2.11 Grafik Arus Proteksi vs pH.....	23
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	25
Gambar 3.2 Pengujian Resistivitas Tanah.....	28
Gambar 3.3 Hambatan pada Rangkaian Wenner	29
Gambar 3.4 Perancangan Sistem Proteksi Katodik.....	29
Gambar 4.1 Buck Converter.....	36
Gambar 4.2 Grafik Perhitungan Arus Kedalaman 30cm.....	40
Gambar 4.3 Grafik Perhitungan Arus Kedalaman 100cm.....	45
Gambar 4.4 Pipa dengan kedalaman tanah 30 cm dan jarak Anoda 50 cm	47
Gambar 4.5 Keadaan permukaan pipa setelah diberikan proteksi ICCP	47
Gambar 4.6 Pipa dengan kedalaman tanah 30 cm dan jarak Anoda 100 cm	48
Gambar 4.7 Keadaan permukaan pipa setelah diberikan proteksi ICCP	49
Gambar 4.8 Pipa dengan kedalaman tanah 30 cm dan jarak anoda Anoda 150 cm	50
Gambar 4.9 Keadaan permukaan pipa setelah diberikan proteksi ICCP	50
Gambar 4.10 Pipa dengan kedalaman tanah 100 cm dan jarak anoda 50 cm	51

Gambar 4.11 Keadaan permukaan pipa setelah diberikan proteksi ICCP	52
Gambar 4.12 Pipa dengan kedalaman tanah 100 cm dan jarak anoda 100 cm	53
Gambar 4.13 Keadaan permukaan pipa setelah diberikan proteksi ICCP	53
Gambar 4.14 Pipa dengan kedalaman tanah 100 cm dan jarak anoda 150 cm	54
Gambar 4.15 Keadaan permukaan pipa setelah diberikan proteksi ICCP	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Anoda Grafit.....	13
Tabel 2.2 Komposisi Pipa Baja API 5L Grade B.....	13
Tabel 2.3 Elektroda Reference.....	14
Tabel 2.4 Resistivitas.....	18
Tabel 4.1 Presentase Komposisi Pipa Baja API 5L Grade B.....	31
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Arus Proteksi Pipa Kedalaman Tanah 30cm dengan Jarak Anoda 50cm.....	37
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Arus Proteksi Pipa Kedalaman Tanah 30cm dengan Jarak Anoda 100cm.....	38
Tabel 4.4 Hasil pengukuran Arus Proteksi Pipa Kedalaman Tanah 30cm dengan Jarak Anoda 150cm.....	39
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Arus Proteksi Pipa Kedalaman Tanah 100cm dengan Jarak Anoda 50cm.....	42
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Arus Proteksi Pipa Kedalaman Tanah 100cm dengan Jarak Anoda 100cm.....	43
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Arus Proteksi Pipa Kedalaman Tanah 100cm dengan Jarak Anoda 150cm.....	44

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Korosi merupakan suatu hal yang wajar terjadi terutama pada logam. Korosi adalah peristiwa penurunan kualitas material akibat bereaksi dengan lingkungannya. Pada industri minyak dan gas bumi, korosi masih menjadi suatu sorotan penting mengingat dampak yang diberikan akibat dari adanya korosi tersebut. Kerusakan atau kegagalan material akibat korosi tentunya menimbulkan kerugian yang tidak sedikit. Pengendalian korosi sangat diperlukan, khususnya pada sistem perpipaan industri yang sangat berpotensi untuk terjadi korosi. Faktor fluida yang mengalir dalam pipa, faktor media atau lingkungan di sekitar pipa, faktor seleksi material juga mempengaruhi laju korosi dalam pipa.

Dalam aplikasi pengeboran minyak, untuk dapat mengambil mineral yang ada di perut bumi. Kedalaman tanah tersebut tentunya melewati beberapa lapisan struktur tanah yang tentunya memiliki kelembaban, temperatur, kandungan unsur, kandungan air, struktur yang berbeda – beda dan mengakibatkan perbedaan resistivitas tanah. Ketika resistivitas berbeda maka laju korosi terhadap pipa juga berbeda.

Beberapa pengendalian korosi dapat diterapkan untuk mengurangi laju korosi pada pipa, seperti; menggunakan *inhibitor*, *coating* atau pelapisan, insulasi, sistem proteksi katodik, *cladding*. Umumnya perlindungan utama untuk bagian dalam pipa menggunakan *cladding* dan *inhibitor*. *Cladding* merupakan *metal coating* yang digunakan untuk melapisi bagian dalam pipa. Material *cladding* biasanya *alloy 625*, *alloy 825*, 316L (JWS, Clad and Steel Pipe). *Inhibitor* diinjeksikan ke dalam fluida untuk perlindungan sekunder bagian dalam pipa. Perlindungan bagian luar pipa dapat menggunakan *coating* atau pelapisan. Namun dalam kondisi real, *coating* tidak dapat seratus persen memproteksi seluruh sistem perpipaan. Oleh karena itu dibutuhkan *secondary*



protection seperti katodik proteksi agar perlindungan pipa terhadap korosi lebih maksimal.

Proteksi katodik merupakan salah satu pengendalian korosi pada permukaan logam. Prinsip katodik proteksi hampir sama dengan korosi galvanik, logam yang memiliki potensial yang lebih kecil akan lebih mudah terkorosi. Sistem proteksi katodik dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu sistem proteksi katodik anoda tumbal (SACP) dan sistem proteksi katodik arus paksa (ICCP). Penggunaan sistem proteksi katodik anoda tumbal efektif untuk memproteksi struktur yang membutuhkan arus proteksinya kecil dan resistivitas tanah rendah. Tetapi sangat tidak efektif untuk memproteksi struktur yang relative besar. Sistem proteksi katodik arus paksa umumnya digunakan untuk memproteksi struktur yang relative besar dan lebih efisien dibandingkan dengan proteksi katodik anoda tumbal.

Proteksi katodik arus paksa merupakan sistem perlindungan logam dengan menggunakan sumber arus DC dari luar sistem. Kutub positif sumber arus DC dihubungkan dengan anoda, sedangkan kutub negatif sumber arus DC dihubungkan dengan logam atau katoda yang akan dilindungi dari korosi. Saat ini proteksi katodik arus paksa sering digunakan karena memiliki beberapa kelebihan seperti mudah mengontrol arus proteksi, mudah mendeteksi kerusakan pada sistem proteksi, dan dapat digunakan pada berbagai macam katoda dan lingkungan yang berbeda. (Tito, 2002)

Tugas akhir ini akan membahas sistem proteksi katodik arus paksa yang disimulasikan pada perbedaan kedalaman tanah dengan variasi jarak anoda. Katoda yang digunakan yaitu pipa baja API 5L dan anoda berupa grafit.

I.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh kedalaman pipa terhadap kebutuhan arus proteksi pada pipa baja API 5L?



-
2. Bagaimana pengaruh variasi jarak anoda dengan katoda terhadap kebutuhan arus proteksi pada pipa baja API 5L?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa pengaruh kedalaman pipa terhadap kebutuhan arus proteksi pada pipa baja API 5L
2. Menganalisa pengaruh variasi jarak anoda dengan katoda terhadap kebutuhan arus proteksi pada pipa baja API 5L

I.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian, ditetapkan batasan-batasan masalah pada penelitian sebagai berikut :

1. Pipa Baja yang digunakan merupakan pipa baja API 5L grade B
2. Pipa baja API 5L dianggap homogen
3. Pipa tertanam pada tempat Departemen Teknik Material FTI-ITS
4. Hambatan jenis tembaga dianggap homogen
5. Temperature dalam tanah dianggap konstan

I.5 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

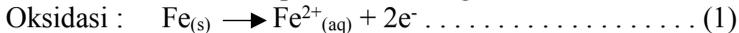
1. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan informasi pengaruh kedalam tanah dan jarak anoda terhadap laju korosi pada pipa
2. Mendapatkan rancangan yang efektif dalam perancangan proteksi katodik arus paksa yang dapat dijadikan referensi pada lingkungan industri minyak dan gas bumi.
3. Mempelajari mekanisme proteksi katodik arus paksa dengan variasi kedalam tanah dan jarak anoda grafit dengan katoda pipa baja API 5L dalam industri minyak dan gas bumi.



BAB I PENDAHULUAN



Reaksi reduksi oksidasi dapat dilihat sebagai berikut :



Elektron akan berpindah dari Fe yang memiliki potensial lebih kecil menuju H dengan potensial yang lebih besar. Perpindahan elektron tersebut yang mengakibatkan penurunan massa dari material tersebut. Ketika sebuah material tersebut mengalami penurunan massa, maka dapat dikatakan material tersebut mengalami korosi.

Dalam dunia industri, korosi merupakan suatu hal yang wajar terjadi dan perlu penanganan khusus. Ada 4 faktor utama yang menyebabkan korosi, yaitu :

1. Adanya kontak logam
2. Lingkungan atau elektrolit
3. Katoda dan anoda
4. Adanya beda potensial

Korosi merupakan peristiwa alam yang tidak dapat dihindari. Peristiwakorosi tidak dapat dicegah maupun atau dihentikan. Akan tetapi laju korosi dapat diperlambat sehingga umur dari material lebih lama. (Fontana, 1987)

II.2 Jenis Korosi

Dalam dunia dalam dunia industri, korosi merupakan suatu hal yang wajar terjadi dan perlu penanganan khusus, terutama pada sistem perpipaan. Adapun berikut ini jenis-jenis korosi yang terjadi di duna industri khususnya sistem perpipaan :

1. Uniform Corrosion

Uniform corrosion merupakan korosi yang terjadi akibat reaksi kimia dengan lingkungan. Jenis korosi ini paling sering terjadi di Industri maupun kehidupan sehari-hari. Korosi ini biasanya terjadi pada permukaan logam secara merata.

2. Pitting Corrosion

Pitting corrosion adalah korosi lokal dari permukaan logam yang dibatasi pada satu titik atau area kecil dan membentuk



rongga ke dalam material. *Pitting corrosion* merupakan salah satu bentuk yang paling merusak diantara semua jenis korosi. *Pitting corrosion* disebabkan oleh komposisi material yang tidak homogen. Biasa terjadi pada lingkungan yang sangat korosif, seperti mengandung senyawa klorida. Senyawa oksida sangat korosif, juga dapat merusak lapisan pasif. *Pitting corrosion* juga dapat terjadi akibat permukaan material yang kasar.

3. *Galvanize Corrosion*

Galvanize Corrosion adalah korosi yang terjadi akibat adanya 2 logam yang berbeda potensial berada dalam satu elektrolit. Logam yang potensialnya lebih tinggi berperan sebagai katoda dan yang lebih rendah berperan sebagai anoda. Arus mengalir dari katoda menuju anoda, dan sebaliknya elektron bergerak dari anoda menuju katoda. Logam dengan potensial yang lebih kecil akan terkorosi.

4. *Errosion Corrosion*

Korosi yang terjadi karena terkena erosi fluida. Korosi ini paling sering terjadi pada sistem perpipaan dan propeller. Aliran fluida yang keras dapat mengikis permukaan material pipa.

5. *Crevice Corrosion*

Crevice corrosion merupakan korosi lokal yang terjadi pada celah antara 2 material, baik logam dengan logam, maupun logam dengan non logam. *Crevice corrosion* terjadi ketika kadar oksigen di dalam celah antara 2 material ini berbeda dengan kadar oksigen di permukaan material, hal ini mengakibatkan adanya beda potensial. Perbedaan oksidasi ini yang menyebabkan celah antara 2 material tersebut terkorosi.

6. *Microbiology Corrosion*

Microbiology corrosion merupakan korosi yang terjadi akibat mikroba mikroorganisme yang menempel pada logam kemudian mereduksi sulfat menjadi sulfid dengan nilai pH 1. Dengan keadaan yang asam ini akan sangat mempermudah untuk terjadinya korosi.



7. *Stress Corrosion Cracking*

Stress Corrosion Cracking, atau disingkat SCC merupakan korosi yang terjadi akibat perubahan butir pada material karena diberi beban tarik. Logam yang diberikan perlakuan khusus, seperti stress, bending, memiliki butir yang tidak stabil. Butir logam yang tidak stabil ini sangat mudah bereaksi dengan lingkungan sehingga rentan terkorosi. SCC juga merupakan sebuah *crack initiation* dari kegagalan material.

8. *Corrosion Under Insulation*

Corrosion under insulation merupakan korosi yang terjadi akibat adanya cacat pada proses pelapisan, terperangkapnya udara saat pelapisan pipa mengakibatkan adanya porositas yang pada lapisan pelapis. Porositas tersebut yang menyebabkan adanya beda potensial sehingga memungkinkan untuk terjadi korosi.

II.3 Pengendalian Korosi

Dalam dunia industri, korosi sudah menjadi sorotan yang penting mengingat dampak yang ditimbulkan oleh korosi sangat merugikan. Oleh karena itu penanganan terhadap korosi perlu diadakan. Ada beberapa cara untuk pengendalian korosi, seperti :

1. *Inhibitor*

Inhibitor merupakan salah satu pencegahan korosi dengan menambahkan suatu zat dalam jumlah sedikit yang dapat mengurangi laju korosi. Inhibitor korosi dapat melekat pada permukaan logam dan membentuk lapisan pasif (pasifasi) yang membentuk penghalang terhadap agen penyebab korosi. Inhibitor bekerja untuk mengurangi laju korosi dengan berbagai cara, seperti :

- Memodifikasi polarisasi katodik dan anodik
- Mengurangi pergerakan ion menuju ke permukaan logam
- Meningkatkan tahanan di permukaan logam

Efisiensi inhibitor juga dipengaruhi oleh konsentrasi inhibitor. Semakin tinggi konsentrasi inhibitor, efisiensi inhibitor juga semakin bagus. Inhibitor digunakan untuk memproteksi bagian dalam pipa. Diinjeksikan dalam jumlah yang sedikit kedalam



fluida yang mengalir dalam pipa. Inhibitor akan meningkatkan tahanan di permukaan bagian dalam pipa. Bisa juga sebagai racun agar bakteri-bakteri yang terdapat fluida mati, dan mencegah terjadinya microorganism *corrosion*. Ada beberapa jenis inhibitor, diantaranya ada yang organik dan inhibitor kimia.

2. Cladding

Cladding merupakan salah satu cara untuk memproteksi bagian dalam pipa dengan memberikan lapisan *coating* berupa logam paduan (*alloy*). material yang biasanya digunakan untuk cladding adalah *alloy 625*, *alloy 825*, *316L*. Metode ini merupakan kombinasi baja karbon atau paduan baja karbon rendah dengan stainless steel atau paduan baja karbon tinggi untuk meningkatkan resistivitas korosi pada pipa.

3. Proteksi Katodik

Proteksi katodik merupakan salah satu pengendalian korosi pada permukaan logam. Prinsip katodik proteksi hampir sama dengan galvanis, logam yang memiliki potensial yang lebih kecil akan lebih mudah terkorosi. Karena adanya beda potensial tersebut sehingga ada logam yang berperan sebagai katoda (potensial lebih besar) dan anoda (potensial yang lebih kecil). Elektron berpindah dari anoda menuju katoda, sebaliknya arus mengalir dari katoda menuju anoda. Dalam prinsip katodik proteksi terdapat dua jenis yaitu; ICCP dan SACP.

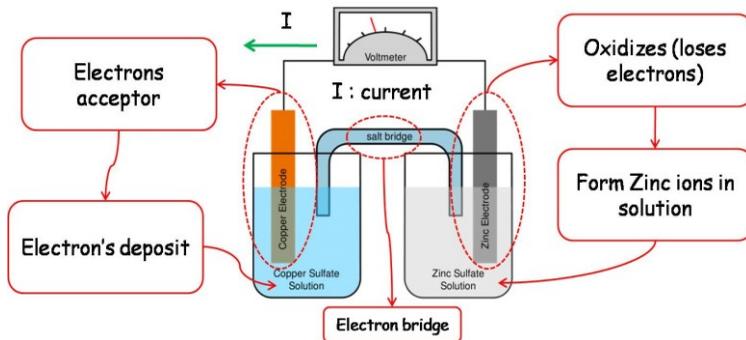
4. *Coating*

Coating merupakan salah satu metode untuk mengendalikan korosi dengan cara melapisi logam tersebut sehingga tidak terjadi kontak dengan lingkungan. Pada perpipaan coating merupakan perlindungan utama dalam pengendalian korosi. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menerapkan coating pada logam untuk proteksi korosi. karena coating yang tidak sempurna atau cacat akan mengakibatkan korosi lokal yang berbahaya seperti *pitting corrosion*



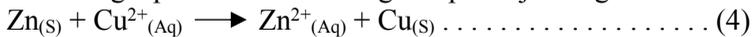
II.4 Sel Galvanik

Sel galvanik atau sel volta merupakan suatu sel elektrokimia yang terdiri atas dua buah elektroda yang dapat menghasilkan energi listrik akibat terjadinya redoks secara spontan pada kedua elektroda tersebut dimana reaksi tersebut mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Perlu dipahami, anoda dan katoda merupakan elektroda dengan polaritas yang berlawanan, anoda sebagai elektroda bermuatan negative, sedangkan katoda sebagai elektroda yang bermuatan positif. Anoda melepas elektron dan mengalami oksidasi yaitu sebagai reduktor, katoda mengikat elektron dan mengalami reduksi yaitu sebagai oksidator.



Gambar 2.2 Reaksi Sel Galvanik

Gambar di atas menjelaskan jika pada anoda, logam Zn melepas elektron dan menjadi Zn^{2+} yang larut. Dan pada katoda, ion Cu^{2+} akan menangkap elektron dan mengendap menjadi logam Cu.



Reaksi total tersebut dapat diketahui, masa logam Zn berkurang setelah reaksi, dan masa logam Cu bertambah.

Sel galvanik terdiri dari beberapa unsur yang memiliki peran dan fungsinya masing – masing, sebagai berikut ;

1. Voltmeter
2. Jembatan Garam
3. Anoda

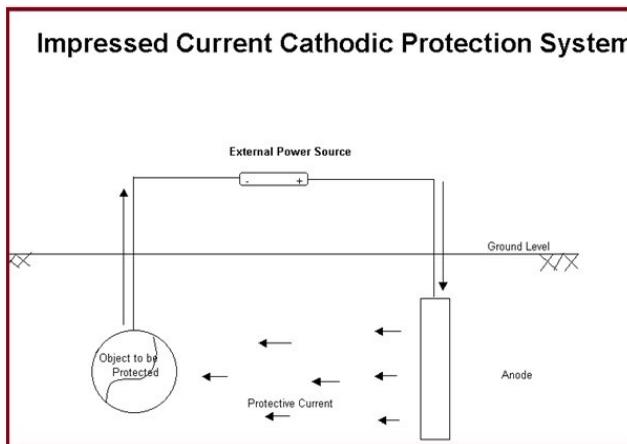


4. Katoda
5. Elektrolit

Dalam kehidupan sehari – hari, aplikasi sel galvanic dapat kita temukan pada penggunaan baterai dan aki. (Oxtoby, 2001)

II. 5 ICCP

Impressed Current Cathodic Protection merupakan salah satu cara perlindungan terhadap korosi dengan menggunakan sistem proteksi katodik yang menggunakan sumber arus listrik dari luar untuk menggerakkan elektron dari anoda menuju katoda. Pada sistem proteksi katodik arus paksa anoda bersifat inert, hal ini menandakan anoda sukar bereaksi dengan lingkungan sehingga anoda tidak dapat melepaskan elektron. Sumber arus listrik yang digunakan untuk memberikan elektron kepada katoda berasal dari *rectivire*. Kutub positif sumber arus DC dihubungkan dengan anoda sedangkan kutub negative di hubungkan dengan material pipa. Setelah diberi voltase, elektron akan bergerak dari anoda menuju material pipa sehingga pipa terproteksi.



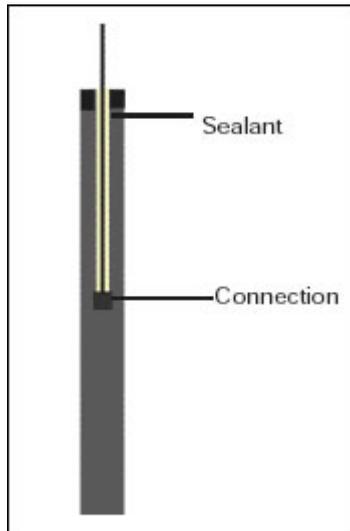
Gambar 2.3 Skema ICCP

Anoda adalah elektroda negatif, yang berupa logam maupun penghantar listrik lainnya yang pada sel elektrokimia yang terpolarisasi jika arus listrik mengalir ke dalamnya. Anoda yang



digunakan pada rangkaian ICCP bersifat *inert*, contohnya; Ag (*Argentum*), Pt (*Platina*), Au (*Gold*). Namun dapat juga berupa material komposit, polimer komposit yang sifatnya stabil di lingkungan. Bentuk dan ukurannya bermacam – macam, bisa berbentuk kawat, tabung, kubus, lempengan, dan piringan. Kriteria anoda yang ideal untuk digunakan dalam rangkaian proteksi katodik sebagai berikut (Shreir dan Hayfield, 1994):

1. Laju konsumsi yang rendah
2. Tingkat polarisasi yang rendah
3. Konduktivitas listrik yang tinggi
4. Kemudahan dalam instalasi
5. Tahan terhadap abrasi dan erosi
6. Mudah dibentuk
7. Biaya yang rendah



Gambar 2.4 Anoda Grafit

Anoda yang digunakan pada tugas akhir ini berupa grafit. Berikut merupakan spesifikasi dari anoda grafit.

BAB II LANDASAN TEORI



Tabel 2.1 Spesifikasi Anoda Grafit

Spesifikasi	Keterangan
Kategori	Impregnated Epoxy Resin (H)
Model	M120H
Bentuk	Tubular
Komposisi	98.8% Carbon, 0.2% ash
Dimensi	Panjang = 10cm, diameter = 3 cm.

Pipa baja yang digunakan dalam tugas akhir adalah pipa baja API 5L grade B, dimana merupakan *Welded Low Carbon Pipes* dengan komposisi sebagai berikut.

Tabel 2.1 Komposisi Pipa Baja API 5L Grade B

No	Kadungan	Kadar (%)
1	C	0.22
2	Mn	1.4
3	S	0.015
4	Ti	0.04
5	Ni	0.15
6	V	0.15
7	P	0.025

Pipa yang tertanam didalam tanah harus memiliki potensial sebesar -850 V sampai -1100 V agar terhindar dari korosi. *Elektroda reference* merupakan elektroda acuan yang



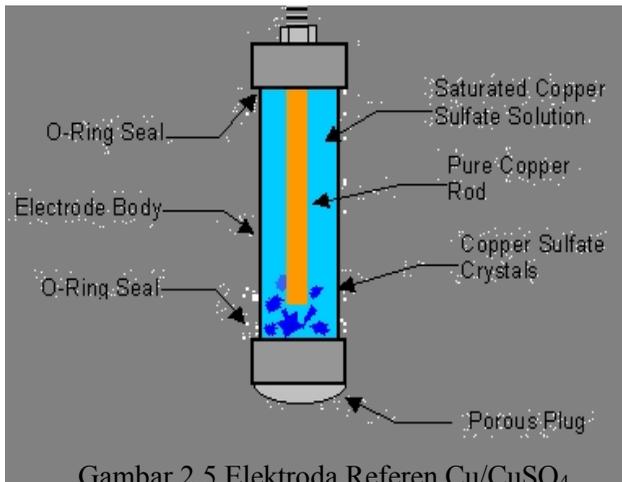
digunakan dalam metode ICCP untuk mengetahui potensial dari logam pipa.

Electrode reference adalah suatu elektroda yang mempunyai potensial elektroda stabil dan diketahui nilainya. Berikut merupakan data tentang *elektroda reference*.

Tabel 2.2 Elektroda Reference (Pambudi, 2016)

Elektrode Reference	Lingkungan Aerob	Lingkungan Anaerob
Cu/CuSO ₄	-0.85 V	-0.95 V
Ag/AgCl Air Laut	-0.80 V	-0.90 V
Ag/AgCl Jenuh	-0.75 V	-0.85 V
Zn Air Laut	+0.25 V	+0.15 V

Elektroda referen tersebut merupakan elektroda referen yang umum digunakan untuk mengukur potensial proteksi. Adapun elektroda referen lainnya seperti; Saturated Calomel Electrode, Standart Hydrogen Electrode, Palladium-Hydrogen Electrode, Dynamic Hydrogen Electrode, Normal Hydrogen Electrode.



BAB II LANDASAN TEORI

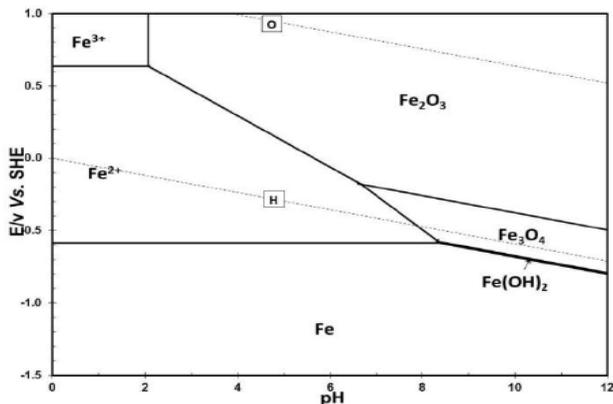


Elektroda reference yang digunakan berupa Cu/CuSO_4 karena media penanaman pipa berupa tanah.

II. 6 Diagram Pourbaix

Diagram Pourbaix adalah diagram yang dapat menunjukkan suatu reaksi korosi yang terjadi secara termodinamika, atau dapat dikenal juga dengan diagram kesetimbangan E-pH. Diagram ini disusun berdasarkan kesetimbangan termodinamika antara logam dengan air dan dapat menunjukkan kestabilan dari beberapa fasa secara termodinamika. Diagram ini sangat berguna untuk memprediksi reaksi dan produk korosi dari suatu material pada lingkungan dengan derajat keasaman tertentu. Namun, diagram ini tidak dapat menyajikan informasi untuk laju korosi dari material tersebut. Dalam suatu diagram pourbaix, keadaan suatu logam terbagi 3, yaitu:

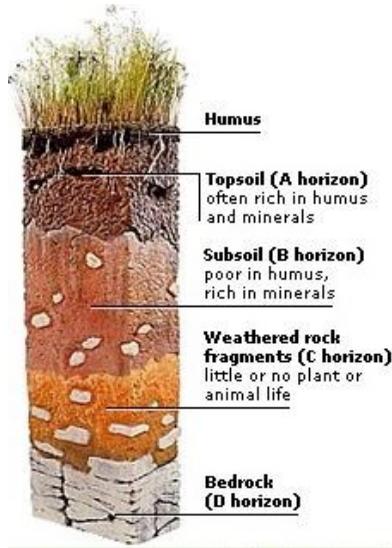
1. *Imun*. Daerah dimana logam berada dalam keadaan aman dan terlindungi dari peristiwa korosi.
2. *Passive*. Daerah dimana logam akan membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan dan terlindungi dari peristiwa korosi.
3. *Corrosion*. Daerah dimana logam akan mengalami peristiwa korosi



Gambar 2.6 Diagram Pourbaix (Jing Ning, 2014)



II.7 Tanah



Gambar 2.7 Lapisan Tanah

Tanah merupakan salah satu elemen yang ada di dunia. Pada dasarnya tanah mengandung sangat banyak unsur, dari organik (pelapukan dari tumbuhan, zat sisa makhluk hidup, dll) maupun non organik, contohnya metal, air, dll. Setiap lapisan tanah memiliki unsur-unsur yang berbeda. Lapisan-lapisan tanah memiliki jenis tanah yang berbeda, begitu pula dengan struktur batuanannya.

Lapisan tanah secara horizontal dapat dibagi menjadi beberapa bagian. Bagian paling atas merupakan tanah humus, kemudian dibawahnya merupakan lapisan tanah atas (Topsoil), kemudian lapisan eluviation, lapisan tanah tengah (Subsoil), lapisan tanah bawah (Regolith), Lapisan batuan induk.

1. Humus

Merupakan lapisan tanah yang paling banyak memiliki unsur hara, unsur organik sehingga membuat lapisan tanah ini



menjadi subur. Lapisan tanah humus merupakan lapisan tanah yang paling subur diantara lapisan-lapisan tanah lainnya. Pada lapisan tanah ini air sangat mudah untuk menyerap ke dalam tanah sehingga kandungan air pada bagian tanah ini cukup melimpah.

2. Topsoil

Topsoil merupakan lapisan tanah atas yang biasanya menjadi tempat berkembangnya akar tanaman. Lapisan tanah atas berwarna gelap kehitam-hitaman dan memiliki kedalaman antara 10cm – 30cm. Pada lapisan ini masih kaya akan unsur – unsur organik.

3. Lapisan Eluviation

Lapisan eluvial merupakan lapisan tanah berupa pasir dan lumpur. Lapisan tanah ini berwarna cerah. Lapisan tanah ini mengandung sedikit mineral.

4. Lapisan Subsoil

Merupakan lapisan tanah yang terdiri dari tanah liat (clay) dan endapan mineral seperti besi, aluminium oksida, calcium karbonat, dll. Lapisan ini juga disebut lapisan illuvial. Lapisan tanah ini lebih berwarna cerah kemerahan.

5. Lapisan Regolith

Lapisan tanah ini lebih padat dari pada lapisan tanah yang berada di atasnya. Lapisan regolith terdiri dari batuan yang sebagiannya telah lapuk. Lapisan tanah ini memiliki ketebalan sekitar 50cm – 60cm.

6. Lapisan Batuan Induk

Lapisan batuan induk merupakan lapisan paling bawah dari lapisan kerak bumi. Lapisan ini terdiri dari batuan yang keras.

Dari lapisan-lapisan tanah di atas, terdapat banyak perbedaan pada setiap lapisannya. Mulai dari kandungan unsur, dan penyusun tanahnya. Kandungan unsur dalam tanah dapat mempengaruhi pH tanah sehingga sangat berpengaruh terhadap laju korosi pipa yang tertanam pada tanah tersebut. Kadar air setiap lapisan tanah juga berbeda-beda, sehingga kelembaban tiap lapisan tanah berbeda. Kelembaban dan pH tanah yang tidak dapat ditebak tiap kedalaman



tanah mengakibatkan resistivitas tanah yang berbeda. Resistivitas ini yang mempengaruhi laju korosi pada pipa yang ditanam. Setiap jenis tanah memiliki resistivitas yang berbeda beda, seperti tabel berikut.

Tabel 2.3 Resistivitas (Lighning and Surge Technology Handbook)

Type of Soil or Water	Resistivity Ωm
Sea Water	2
Clay	40
Ground water or spring water	50
Clay and sand mixture	100
Shale, Slate, Sandstone, etc	120
Peat, Loam, and Mud	150
Lake water	250
Sand	2000
Moraine gravel	3000
Ridge Gravel	15000
Solid Granit	25000
Ice	100000

Resistivitas merupakan kemampuan dalam menghambat arus listrik. Semakin tinggi resistivitas, dapat menghambat laju korosi. Namun semakin kecil resistivitas maka mempercepat laju korosi.

II.8 Perpindahan Elektron

Dalam struktur atom terdiri dari proton, elektron, dan neutron. Proton dan neutron berada pada inti atom dengan elektron bergerak mengelilinginya. Elektron dapat berpindah karena adanya energi yang mengikat atau melepas elektron. Perpindahan elektron merupakan hasil dari reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Reaksi oksidasi diindikasikan dengan peningkatan valensi sedangkan reaksi reduksi diindikasikan dengan penurunan valensi (Bunga, 2008). Contohnya;

BAB II LANDASAN TEORI



Perpindahan elektron sangat dipengaruhi oleh; beda potensial, konsentrasi, jenis larutan, temperatur, dan jarak. Jarak dapat mempengaruhi besar kecilnya energi yang dibutuhkan elektron untuk dapat berpindah. Hal ini berkaitan dengan hukum Coulomb, dimana gaya coulomb juga bergantung pada jarak antara 2 elektroda

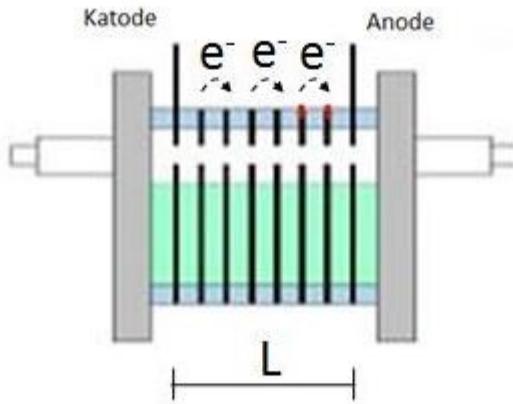
$$F = K q_1 q_2/r^2 \text{ (Hukum Coulomb) } \dots\dots\dots (1)$$

F = Gaya Coulomb

K = Konstanta ($9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$)

q = muatan

r = jarak antar muatan.



Gambar 2.8 Hukum Coulomb (Adhes, 2017)

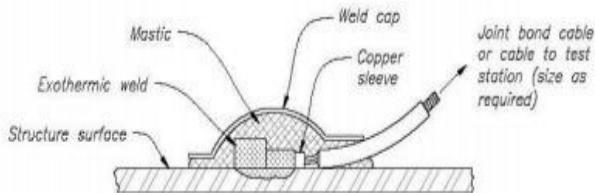
Dengan pembagiannya berupa jarak maka semakin besar jarak, gaya coulomb akan semakin kecil, sehingga untuk bisa memindahkan elektron diperlukan energi yang besar. Jika jarak antar elektroda kecil maka energi yang dibutuhkan sedikit, jarak



yang besar antar elektroda memerlukan energi yang besar. (Ayu, 2009).

II.9 Standar Instalasi ICCP

Instalasi ICCP menggunakan standar Technical Memorandum No. MERL-2012-40 Guidelines for Field Instalation of *Corrosion* Monitoring and Cathodic Protection System. Struktur ICCP membutuhkan suplai arus secara kontinu. Suplai arus dapat tetap terjaga jika rangkaian ICCP dapat diisolasi secara total secara elektrik. Sambungan antar kabel dengan pipa, kabel dengan anoda merupakan salah satu hal yang sangat riskan jika pada saat instalasi tidak dilakukan dengan benar. Sambungan kabel pada pipa harus tersambung dengan sempurna, permukaan pipa yang ingin disambungkan dengan kabel harus dibersihkan melalui proses grinding terlebih dahulu. Merobek insulasi pada salah satu ujung kabel yang akan disambungkan pada pipa. Penyambungan antara kabel dengan pipa menggunakan *metallurgical weld* atau yang setara. Kemudian pada bagian lasan diberikan coating



Gambar 2.9 Sambungan antara kabel dengan pipa (MERL-2012-40)

Kemudian sambungan antar anoda dengan kabel hampir sama dengan pipa. Anoda dilubangi, untuk dijadikan socket kabel. Ujung kebel disobek, agar bagian tembaga dapat tersambung dengan anoda. Kabel disambungkan dengan anoda kemudial direkatkan



menggunakan lem dexton. Perlu di pastikan jika pada bagian sambungan antara kabel dan anoda tidak dapat dimasuki air.

II.10 Penelitian Sebelumnya

II.10.1 Penelitian Perancangan Proteksi Arus Paksa Pada Pipa Baja API 5L Dengan Coating dan Tanpa Coating di Dalam Tanah

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rizal Pambudi menggunakan pipa baja API 5L grade B dengan anoda berupa grafit. Anoda grafit dipilih karena memiliki laju konsumsi yang rendah dan tergolong kedalam logam yang inert. Pipa tersebut ditanam pada media tanah. Dalam penelitian dilakukan juga pelapisan pada pipa berupa pelapisan menggunakan cat *epoxy*, coating wrapping berbahan dasar aspal. Pengukuran resistivitas tanah menggunakan ASTM G57 Standar Method for Field Measurement of Soil Resistivity, metode *Wenner Four-Electrode* dengan alat-alat seperti copper rod dan aki, transformator rectifire sebagai sumber arus. Media tanah tidak diberikan perlakuan tertentu dalam penelitian tersebut. Perancangan proteksi katodik arus paksa menggunakan acuan standar yang sudah ada, seperti :

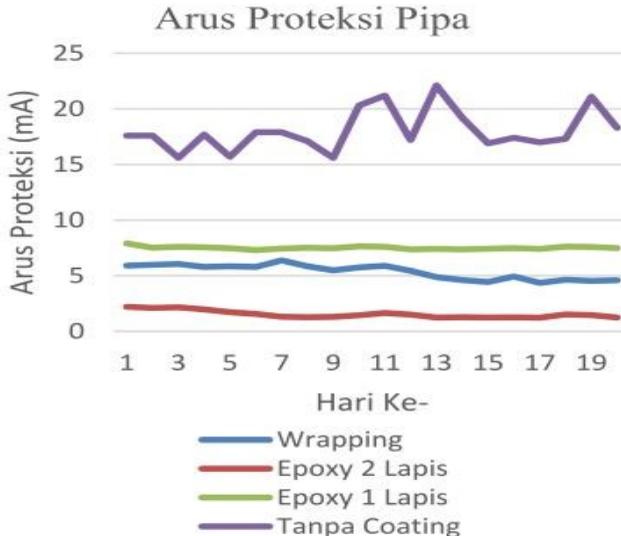
1. NACE Standart SP-0169-2013 Control of External *Corrosion* of Underground of Submerged Metalic Piping System
2. NACE Standart RP-0286-97 Electrical Isolation of Cathodically Protected Pipelines
3. DNV-RP-B401 Cathodic Protection Design
4. A.W. Peabody, Control of Pipeline *Corrosion* (Second Edition), NACE International The *Corrosion* Society.

Sebelum pipa diproteksi menggunakan proteksi katodik arus paksa, dilakukan pengukuran potensial pipa ke tanah dengan menggunakan elektroda reference. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui potensial pipa sebelum diproteksi.

Hasil dari penelitian tersebut, didapatkan sebuah grafik pengukuran arus proteksi. Dari hari pertama sampai hari ke-20 arus



proteksi pipa menggunakan coating cenderung stabil, berbeda dengan pipa tanpa coating.



Gambar 2.10 Grafik Pengukuran Arus Proteksi

Dari grafik di atas dapat diketahui jika pipa dengan coating epoxy 2 lapis membutuhkan arus proteksi yang paling kecil dibandingkan yang lain. Dengan kebutuhan arus proteksi yang paling besar yaitu pipa tanpa coating. Pipa dengan wrapping membutuhkan arus lebih sedikit ketimbang pipa dengan lapisan coating epoxy 1 lapis. Hal ini menunjukkan coating wrapping lebih efisien dari coating epoxy.

Dari hasil penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan jika ketebalan coating sangat berpengaruh pada kebutuhan arus proteksi, pada pipa yang diberikan coating epoxy 2 lapis memerlukan arus proteksi yang kecil, sementara pipa yang tidak diberi coating memerlukan arus proteksi yang besar. Nilai resistivitas tanah juga berpengaruh akan besar kecilnya arus proteksi yang digunakan untuk memproteksi pipa, saat resistivitas

BAB II LANDASAN TEORI

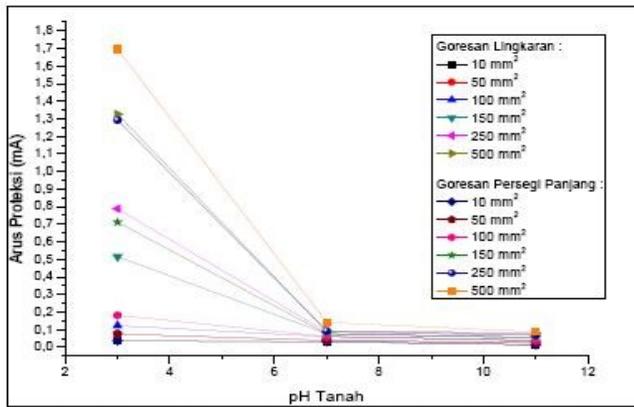


tanah menurun kondisi tanah menjadi lembab sehingga memerlukan arus proteksi yang lebih besar, sementara saat resistivitas tanah meningkat atau kelembaban tanah berkurang arus proteksi yang diperlukan akan menurun.

II.10.2 Pengaruh pH Tanah dan Variasi Cacat Gores Lapis Lindung Terhadap Kebutuhan Arus Proteksi Sistem Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) pada Baja AISI 1045

Penelitian lainnya dilakukan oleh Faris Putra Ardiansyah, menggunakan baja AISI 1045. Anoda yang digunakan berupa grafit tipe Impregnated Epoxy Resin (H), lapisan coating yang digunakan adalah zinc chromate, dan epoxy filler dengan tambahan hardener. Pada baja AISI 1045 diberikan variasi cacat gores dengan pengaruh pH tanah. Untuk mengatur pH dalam tanah ditambahkan HCL yang dicampur dengan aquades untuk menghasilkan konsentrasi asam, dan diberikan NaOH untuk mengubah pH tanah menjadi basa. Untuk variasi cacat gores ada 2 bentuk goresan yang dibuat yaitu berbentuk bulat dan kotak dengan luas masing – masing cacat goresan yang berbeda. 2 baja AISI 1045 tidak diberikan coating sama sekali.

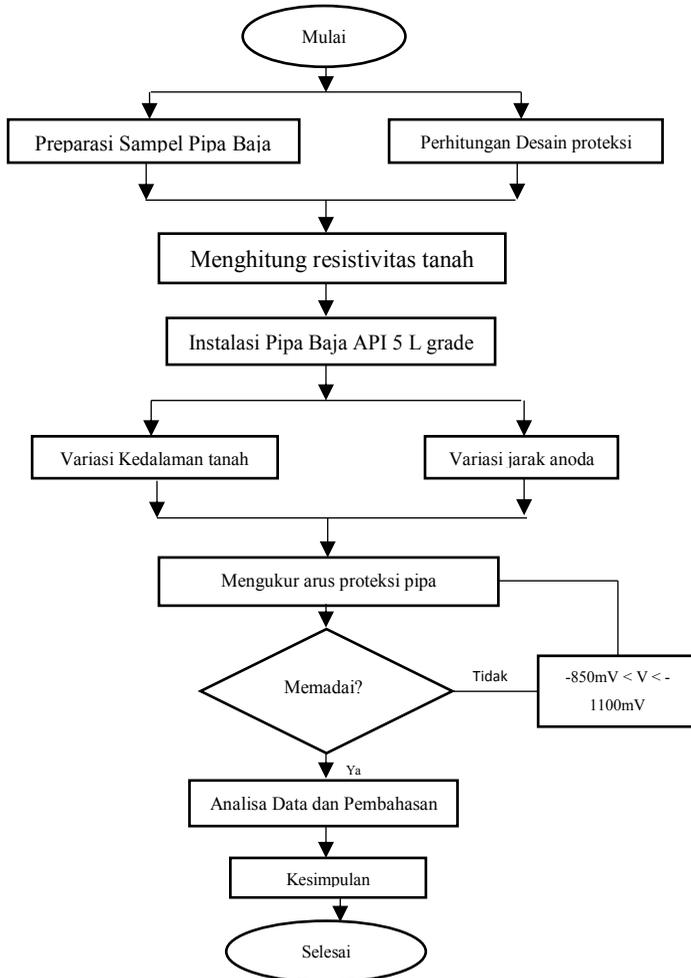
Hasil dari penelitian tersebut, didapatkan sebuah grafik hubungan antara arus proteksi (vertikal) dan pH (horizontal). Pengujian dilakukan selama 7 hari.



Gambar 2.11 Grafik Arus Proteksi vs pH

BAB III METODOLOGI

III.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir



III.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada perancangan proteksi katodik arus paksa pada pipa baja API 5L grade B dengan kedalaman tanah yang berbeda dan variasi jarak anoda yaitu :

1. Pipa baja API 5L grade B
2. Anoda grafit

III.3 Alat

Peralatan yang digunakan pada perancangan proteksi katodik arus paksa pada pipa baja API 5L grade B dengan kedalaman tanah yang berbeda dengan variasi jarak anoda yaitu :

1. Transformator *rectivire*
2. *Electroda Reference* Cu/CuSO₄
3. Multitester
4. Kabel Tembaga

III.4 Langkah Penelitian

Langkah – langkah penelitian perancangan proteksi katodik arus paksa pada pipa baja API 5L grade B dengan kedalaman tanah yang berbeda dengan variasi jarak anoda, sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data
2. Menyiapkan anoda
3. Preparasi pipa API 5L
4. Menghitung desain proteksi katodik arus paksa

- Luas Permukaan Pipa (A_p)

$$A_p = \pi D t$$

A_p = Luas permukaan pipa

π = 3.14

D = Diameter pipa

T = Panjang pipa



- Luas Permukaan Anoda (A_a)

$$A_a = (\pi D t) + 2(\pi D)$$

A_a = Luas permukaan anoda

π = 3.14

D = Diameter anoda

T = Panjang anoda

- Kebutuhan Arus Proteksi

$$I_p = A_p Cd \cdot 1.2$$

I_p = kebutuhan arus proteksi

A_p = luas permukaan yang akan diproteksi

Cd = rapat arus pipa tanpa coating

1.2 = toleransi 20%

- Arus Keluaran Anoda

$$I_E = A_a Cd_a$$

I_E = keluaran arus anoda

A_a = luas permukaan anoda

Cd_a = rapat arus anoda

- Anoda dengan dimensi 3cm x 10cm mencukupi untuk memproteksi rangkaian karena $I_p < I_E$

5. Menghitung resistivitas tanah

Pengukuran resistivitas tanah mengikuti standart ASTM G57 *Standart Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using The Wenner Four – Electrode Method*. Pengukuran resistivitas tanah membutuhkan peralatan sebagai berikut :

- Sumber arus, dapat berupa sel aki, baterai, *rectivire*, dll
- Kabel tembaga, untuk menghubungkan 4 buah pin tembaga
- 4 buah pin tembaga
- Multitester

Berikut ini merupakan langkah – langkah pengukuran resistivitas tanah menggunakan standar ASTM G57 *Standart*



Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using The Wenner Four – Electrode Method :

- Menancapkan empat pin tembaga ke dalam tanah dalam satu garis lurus dengan jarak antar pin tembaga harus sama. 4 buah pin tembaga tersebut juga harus tertanam dengan kedalaman yang sama.
- Kemudian hubungkan 2 pin terluar dengan sumber pensuplai arus. Dan 2 pin di bagian dalam dihubungkan dengan multimeter untuk mengukur resistivitas tanah.
- 2 pin terluar merupakan elektroda arus, sedangkan 2 pin pada bagian dalam merupakan elektroda potensial yang mengukur penurunan potensial karena adanya hambatan dari elektrolit.
- Mengukur nilai hambatan secara langsung menggunakan persamaan;

$$\rho = 2 \pi a R$$

ρ = Resistivitas Tanah (ohm.m)

a = Jarak antar pin (m)

R = Hambatan (ohm)



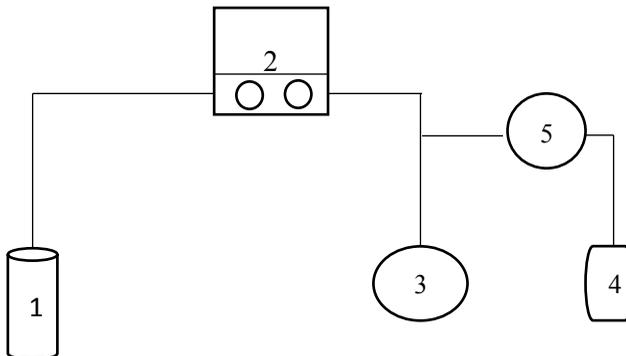
Gambar 3.2 Pengujian Resistivitas Tanah



Gambar 3.3 Nilai Hambatan pada Rangkaian *Wenner Four – Electrode Method*

6. Instalasi Pipa API 5L

- Instalasi dilakukan dengan kedalaman pipa yang berbeda yaitu; kedalaman 30cm, dan 150cm dari permukaan tanah
- Instalasi pipa tanpa proteksi katodik dengan kedalaman pipa yang berbeda yaitu; 30cm, dan 150cm dari permukaan
- Instalasi anoda dengan variasi jarak 50cm, 100cm, 150cm dari pipa baja API 5L grade B



Gambar 3.2 Perancangan Sistem Proteksi Katodik



-
- Keterangan :
 - 1 = Anoda Grafit
 - 2 = *Rectivire*
 - 3 = Katoda (pipa baja API 5L grade B)
 - 4 = Elektroda referen (Cu//CuSO₄)
 - 5 = Multitester
 - 6 Mengukur arus proteksi
Mengukur arus proteksi pada instalasi pipa apakah sudah masuk ke dalam rentang potensial proteksi yaitu sekitar -850mV sampai -1100mV.
 - 7 Analisa hasil
Menganalisa hasil pengujian tegangan proteksi dan pengujian potensiostat. Menganalisa seberapa besar arus yang dibutuhkan untuk memproteksi pipa baja API 5L grade B dalam kedalaman tanah 30cm dengan jarak anoda dari 50cm, 100cm, 150cm. Dan dalam kedalaman tanah 150cm dengan jarak anoda dari 50cm, 100cm, 150cm.
 - 8 Kesimpulan
Sistem proteksi katodik arus paksa pada pipa baja API 5L Grade B dinyatakan berhasil apabila potensial pipa sudah memasuki rentang potensial proteksi yang sudah ditentukan dan tidak terjadi kegagalan pada material.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

IV.1 Perancangan Sistem Proteksi

1. Kriteria sistem

Perancangan system proteksi katodik pada desain dilakukan dengan menerapkan kriteria seperti berikut :

- Limit positif : -850 mV
- Limit negative : -1100 mV

2. Standar desain perancangan

Standar yang digunakan pada desain system proteksi katodik arus paksa, mengacu kepada :

- DNV RP-B401
“*Cathodic Protection Design*”
- ASTM G-57
“*Field Measurement of Soil Resistivity Using The Wenner Four – Electrode Method*”
- Technical Memorandum No. MERL-2012-40
“*Guidelines for Field Instalation of Corrosion Monitoring and Cathodic Protection System*”

IV.2 Pengumpulan Data

1. Data material

Berikut adalah data spesifikasi dari material yang pipa sebagai katoda :

Material Pipa : *Low Carbon Steel*
Jenis Pipa : API 5L Grade B
Panjang Pipa : 1 meter
Diameter luar : 0.071 meter
Kedalaman Tanam : 0.3 meter dan 1 meter

Tabel 4.1 Persentase Komposisi Pipa Baja API 5L Grade B

C (max)	Mn (max)	P (max)	S (max)	Ti (max)	V (max)	Ni (max)
0.22	1.2	0.025	0.015	0.04	0.15	0.15



2. Data anoda

Pada desain system proteksi katodik arus paksa ini menggunakan grafit sebagai anoda. Anoda grafit menjadi pilihan karena harga yang relative murah, bersifat semi inert yang sukar bereaksi dengan lingkungan, nilai consumption rate yang rendah sehingga dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama. Berikut adalah spesifikasi anoda yang digunakan :

Jenis Anoda	: <i>Carbon Graphite</i>
Bentuk	: Tubular
Diameter	: 3 cm
Panjang	: 10 cm
Consumption rate	: 0.1 – 1.0 kgA ⁻¹ y ⁻¹

IV.3 Perhitungan Desain

Perhitungan desain dilakukan untuk mengetahui kebutuhan arus proteksi pipa, dimensi anoda yang sesuai agar dapat mensuplai arus menuju katoda sehingga pipa berhasil terproteksi.

1. Luas permukaan yang akan diproteksi

Pada penanaman pipa di dalam tanah, luas permukaan yang akan dilindungi merupakan luas permukaan pipa yang mengalami kontak langsung dengan tanah. Perhitungan luas permukaan pipa dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

Luas permukaan yang akan dilindungi

$$\begin{aligned}
 A_p &= \pi D t \\
 &= 3.14 \times 7.1 \times 100 \\
 &= 2229.4 \text{ cm}^2 \\
 &= 0.223 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Dengan

$$\begin{aligned}
 A_p &= \text{Luas permukaan pipa} \\
 \pi &= 3.14 \\
 D &= \text{Diameter pipa} \\
 T &= \text{Panjang pipa}
 \end{aligned}$$



2. Luas permukaan anoda

Dalam proteksi katodik arus paksa, luas permukaan anoda sangat mempengaruhi keluaran arus anoda. Semakin besar luas permukaan anoda, keluaran arus semakin besar sehingga akan menimbulkan pemborosan. Luas permukaan anoda yang dihitung merupakan luas total dari sebuah anoda, dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

Luas permukaan anoda

$$\begin{aligned}A_a &= (\pi D t) + 2(\pi D) \\ &= (3.14 \times 3 \times 10) + 2(3.14 \times 3) \\ &= 0.011 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Dengan

$$\begin{aligned}A_a &= \text{Luas permukaan anoda} \\ \pi &= 3.14 \\ D &= \text{Diameter anoda} \\ T &= \text{Panjang anoda}\end{aligned}$$

3. Kebutuhan arus proteksi

Kebutuhan arus proteksi merupakan arus minimal yang dibutuhkan untuk melindungi pipa. Kebutuhan arus proteksi melibatkan rapat arus dari pipa, dimana rapat arus pipa tanpa coating sebesar 20 mA/m² (IEEE-ERCSA). Kebutuhan arus proteksi pipa dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

Kebutuhan arus proteksi

$$\begin{aligned}I_p &= A_p C_d 1.2 \\ &= 0.223 \times 20 \times 1.2 \\ &= 5.352 \text{ mA}\end{aligned}$$

Dengan

$$\begin{aligned}I_p &= \text{kebutuhan arus proteksi} \\ A_p &= \text{luas permukaan yang akan diproteksi} \\ C_d &= \text{rapat arus pipa tanpa coating}\end{aligned}$$



1.2 = toleransi 20%

4. Keluaran arus anoda

Keluaran arus anoda merupakan arus yang mampu dikeluarkan oleh anoda, hal ini berkaitan dengan luas anoda yang digunakan dan jenis anoda. anoda yang digunakan berupa anoda grafit. Selain grafit, dapat menggunakan anoda *high silicon cast iron*, platina, *platinized titanium*, atau beberapa material lainnya yang memiliki potensial lebih besar dari material yang akan diproteksi. Anoda grafit sendiri memiliki rapat arus maksimal sebesar 2.5 - 10 A/m². Keluaran arus anoda dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

Keluaran arus anoda

$$\begin{aligned} I_E &= A_a C_{d_a} \\ &= 0.011 \cdot 6.25 \\ &= 68 \text{ mA} \end{aligned}$$

Dengan

$$\begin{aligned} I_E &= \text{keluaran arus anoda} \\ A_a &= \text{luas permukaan anoda} \\ C_{d_a} &= \text{rapat arus anoda} \end{aligned}$$

5. Resistivitas Tanah

Resistivitas tanah merupakan kemampuan tanah untuk menghantarkan aliran listrik. Nilai resistivitas tanah menunjukkan besar kecilnya hambatan yang terjadi di dalam tanah. Semakin kecil resistivitas tanah, semakin besar daya hantar listrik. Begitu juga sebaliknya semakin besar resistivitas tanah daya hantar listrik tanah semakin menurun. Resistivitas tanah dapat dihitung menggunakan standard ASTM G57 *Standard Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using The Wenner Four – Electrode Method*. Perhitungan resistivitas tanah diperlukan peralatan berupa 4 pin tembaga, sumber arus, multimeter. Pada instalasi 4 pin tembaga, jarak antara pin tembaga sebesar 2.3m. perhitungan resistivitas tanah dapat diurai sebagai berikut;



Resistivitas Tanah

$$\begin{aligned}\rho &= 2 \pi a R \\ &= 2 \cdot 3.14 \cdot 2.3 \cdot 3.6 \\ &= 51.99 \text{ ohm.m}\end{aligned}$$

ρ = Resistivitas Tanah (ohm.m)
 a = Jarak antar pin (m)
 R = Hambatan (ohm)

IV.4 Perhitungan Arus Potensial

Pengujian terhadap arus dan potensial proteksi dilakukan untuk mengetahui berapa besar tegangan dan arus yang dikeluarkan oleh *rectivire* untuk dapat memproteksi pipa. Pipa dapat terindikasi terproteksi jika memiliki nilai potensial berada pada rentang diantara -850mV sampai -1100mV. Sebelum dilakukan pengujian potensial proteksi, dilakukan pengukuran potensial pipa awal sebelum diberi arus proteksi, dimana potensial pipa awal sebesar -697mV. Untuk mengetahui potensial pipa menggunakan elektroda Cu/CuSO₄ sebagai elektroda acuan. Pengujian dilakukan dengan merangkai sebuah system ICCP dengan elektroda acuan dihubungkan dengan multimeter, kemudian dihubungkan dengan katoda berupa pipa yang ingin di proteksi. Elektroda Cu/CuSO₄ ditenamkan ke dalam tanah sehingga potensial pipa dapat diukur menggunakan multimeter.

Untuk mengetahui tegangan yang dikeluarkan *rectivire*, sebenarnya dapat dibaca langsung dari display *rectivire*. Namun *rectivire* yang digunakan tidak dapat memberikan secara detail tegangan yang diberikan untuk memproteksi pipa, sehingga diperlukan multimeter untuk membaca tegangan yang dikeluarkan oleh *rectivire*. Proses pemberian tegangan juga tidak dapat disupply secara detail, dikarenakan *rectivire* hanya mampu mensupply tegangan tertentu. Untuk mengatasi ini, dapat menggunakan sebuah buck converter untuk mengatur tegangan yang dikeluarkan oleh *rectivire*.



Gambar 4.1 Buck Converter

Sementara untuk membaca arus proteksi, multimeter dihubungkan kepada katoda dan kutub positif pada multimeter. Ketika pipa sudah masuk ke dalam range potensial proteksi, baru dapat dilakukan pengukuran arus proteksi untuk mengetahui berapa besar arus yang dikeluarkan oleh *rectivire* untuk memproteksi pipa. Pengujian ini dilakukan selama 20 hari dan dikontrol setiap harinya. Pengontrolan dilakukan dengan cara mengatur tegangan yang keluar dari *rectivire* untuk memproteksi pipa sehingga tidak terjadi overproteksi, dan kurang terproteksi.



Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Arus Proteksi Pipa Kedalaman Tanah 30cm dengan Jarak Anoda 50cm

Hari ke-	Arus (mA)	Voltase (V)	Potensial (mV)
1	2.4	2.22	-890
2	1.6	1.89	-870
3	2.2	2.08	-870
4	5.4	3.4	-950
5	5.2	3.28	-940
6	5.2	3.27	-940
7	5.8	3.53	-950
8	5.2	3.28	-940
9	5.1	3.26	-940
10	6	3.59	-950
11	4.4	3	-920
12	5.2	3.28	-940
13	8	4.34	-1030
14	5.2	3.34	-940
15	5.8	3.55	-950
16	5.9	3.57	-950
17	5.2	3.31	-940
18	5.7	3.5	-950
19	3.5	2.67	-910
20	4.7	3.11	-920
21	4.9	3.2	-920
22	5	3.22	-920
23	5.2	3.32	-920
24	5.3	3.37	-930
25	5.3	3.3	-930
26	5.7	3.56	-950
27	5.4	3.44	-940
28	5.4	3.42	-940
29	5.7	3.53	-950
30	6	3.61	-960



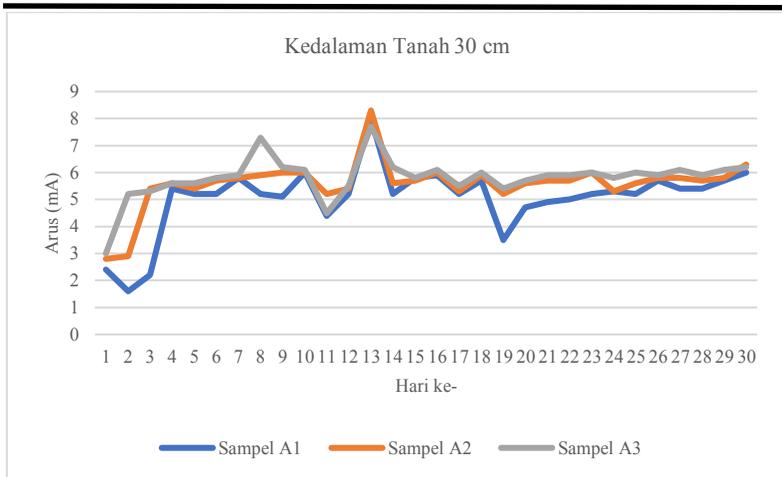
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Arus Proteksi Pipa Kedalaman Tanah 30cm dengan Jarak Anoda 100cm

Hari ke-	Arus (mA)	Voltase (V)	Potensial (mV)
1	2.8	2.4	-890
2	2.9	2.4	-890
3	5.4	3.4	-960
4	5.6	3.48	-960
5	5.4	3.35	-960
6	5.7	3.5	-960
7	5.8	3.56	-960
8	5.9	3.58	-960
9	6	3.65	-980
10	6	3.63	-970
11	5.2	3.23	-920
12	5.4	3.4	-960
13	8.3	4.42	-1044
14	5.6	3.46	-960
15	5.7	3.53	-970
16	6	3.64	-980
17	5.3	3.4	-960
18	5.9	3.62	-960
19	5.2	3.2	-920
20	5.6	3.47	-960
21	5.7	3.52	-960
22	5.7	3.5	-950
23	6	3.59	-960
24	5.3	3.4	-950
25	5.6	3.47	-950
26	5.8	3.56	-950
27	6	3.58	-950
28	5.9	3.53	-950
29	6.1	3.56	-950
30	6.2	3.68	-960



Tabel 4.4 Hasil pengukuran Arus Proteksi Pipa Kedalaman Tanah 30cm dengan Jarak Anoda 150cm

Hari ke-	Arus (mA)	Voltase (V)	Potensial (mV)
1	3	2.45	-880
2	5.2	3.23	-930
3	5.3	3.4	-960
4	5.6	3.47	-960
5	5.6	3.5	-950
6	5.8	3.57	-960
7	5.9	3.63	-960
8	7.3	4	-990
9	6.2	3.68	-960
10	6.1	3.65	-960
11	4.5	3.1	-930
12	5.5	3.44	-950
13	7.7	4.2	-1023
14	6.2	3.69	-970
15	5.8	3.55	-960
16	6.1	3.67	-970
17	5.5	3.46	-960
18	6	3.65	-960
19	5.4	3.32	-930
20	5.7	3.5	-960
21	5.9	3.55	-950
22	5.9	3.57	-950
23	6	3.6	-960
24	5.8	3.56	-960
25	6	3.59	-960
26	5.9	3.58	-950
27	6.1	3.61	-960
28	5.9	3.57	-960
29	6.1	3.64	-960
30	6.2	3.66	-960



Gambar 4.2 Grafik Perhitungan Arus Kedalaman 30cm

Dari tabel pengujian arus di atas, pada kedalaman tanah 30cm dengan jarak antara anoda dan katoda 50cm didapat rata – rata arus sebesar 5.05 mA. Pada variasi jarak anoda 100cm, rata – rata arus yang diperlukan untuk memproteksi pipa sebesar 5.58 mA. Pada variasi jarak 150cm, didapatkan rata – rata arus sebesar 5.806 mA. Dari hasil pengujian arus yang dilakukan, dapat diketahui jika jarak anoda mempengaruhi kebutuhan arus proteksi pada pipa. Semakin besar jarak antara anoda dan katoda, rata – rata kebutuhan arus proteksi semakin besar. Dapat dibandingkan dari data di atas jika pada kedalaman tanah 30cm dengan jarak anoda terhadap katoda yang bervariasi meningkat, seiring dengan meningkatnya jarak antara anoda dengan katoda.

Pada hari pertama saat penanaman pipa, ketiga pipa membutuhkan arus proteksi yang berbeda, jarak anoda 50cm memerlukan 2.4mA, jarak anoda 100cm memerlukan 2.7mA, dan jarak anoda 150cm memerlukan 3mA. Dari hasil pengujian arus di hari pertama ini menunjukkan bahwa dengan semakin kecil jarak anoda dengan katoda, membutuhkan arus proteksi yang lebih kecil ketimbang jarak anoda – katoda yang lebih besar. Peningkatan kebutuhan yang paling besar terjadi pada hari ke 13 dimana

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



peningkatan kebutuhan arus pada sampel A1 mencapai 2.8mA, pada sampel A2 peningkatan kebutuhan arus proteksi mencapai 2.9mA. Sedangkan pada sampel A3 kebutuhan arus proteksi meningkat sebesar 2.2mA. Peningkatan kebutuhan arus proteksi ini disebabkan oleh keadaan lingkungan, dan keadaan tanah yang basah akibat hujan sehingga menurunkan resistivitas tanah. Resistivitas tanah yang rendah sehingga diperlukan arus yang lebih besar untuk memproteksi pipa. Perubahan kebutuhan arus proteksi selama 30 hari pengujian mengalami perubahan yang relative stabil. Hasil yang stabil ini menunjukkan jika laju korosi pada pipa berkurang yang menandakan pipa tersebut terproteksi.



Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Arus Proteksi Pipa Kedalaman Tanah 100cm dengan Jarak Anoda 50cm

Hari ke-	Arus (mA)	Voltase (V)	Potensial (mV)
1	3.3	2.6	-880
2	5.4	3.33	-930
3	5.7	3.54	-950
4	5.6	3.5	-950
5	8.5	4.5	-1050
6	6.6	3.83	-970
7	8.1	4.4	-1044
8	8.4	4.53	-1050
9	6.2	3.73	-960
10	6.2	3.71	-960
11	5.1	3.3	-950
12	6	3.65	-960
13	9.7	5.2	-1010
14	5.9	3.6	-970
15	5.7	3.55	-950
16	6.1	3.72	-970
17	5.7	3.55	-960
18	6	4.68	-960
19	5.4	3.33	-930
20	5.9	3.62	-950
21	6.4	3.64	-950
22	6.5	3.68	-960
23	9.6	5.12	-1011
24	6.2	3.6	-970
25	5.7	3.54	-950
26	6.1	3.61	-960
27	5.8	3.57	-950
28	5.4	3.5	-950
29	6.1	3.6	-950
30	6.2	3.63	-960



Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Arus Proteksi Pipa Kedalaman Tanah 100cm dengan Jarak Anoda 100cm

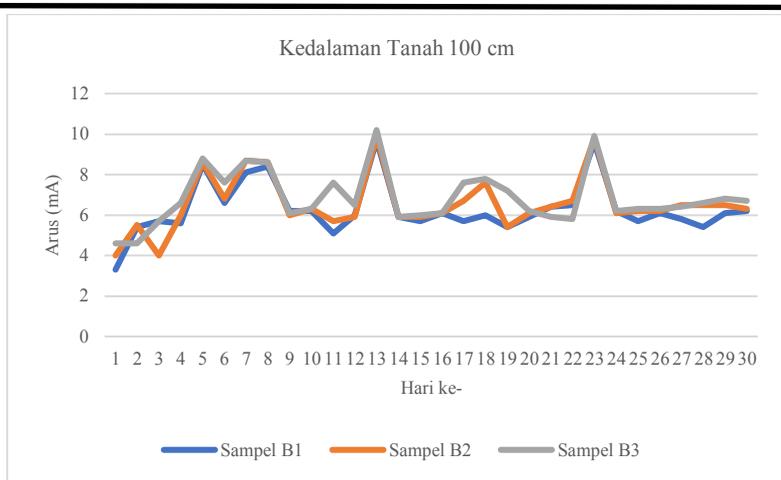
Hari ke-	Arus (mA)	Voltase (V)	Potensial (mV)
1	4	2.94	-900
2	5.5	3.4	-930
3	4	2.9	-890
4	6	3.7	-960
5	8.6	4.6	-1065
6	6.8	3.9	-970
7	8.7	4.54	-1032
8	8.6	4.6	-1050
9	6	3.66	-950
10	6.3	3.75	-960
11	5.7	3.53	-940
12	5.9	3.66	-960
13	9.9	5.34	-1010
14	5.9	3.62	-970
15	5.9	3.6	-950
16	6.1	3.7	-960
17	6.7	3.89	-980
18	7.6	4.1	-1010
19	5.4	3.35	-930
20	6.1	3.67	-960
21	6.4	3.65	-960
22	6.7	3.7	-970
23	9.8	5.21	-990
24	6.1	3.6	-970
25	6.2	3.61	-970
26	6.2	3.63	-960
27	6.5	3.65	-960
28	6.5	3.66	-960
29	6.5	3.66	-960
30	6.3	3.63	-960



Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Arus Proteksi Pipa Kedalaman Tanah 100cm dengan Jarak Anoda 150cm

Hari ke-	Arus (mA)	Voltase (V)	Potensial (mV)
1	4.6	3.15	-910
2	4.6	3.16	-910
3	5.7	3.58	-950
4	6.6	3.86	-980
5	8.8	4.74	-1060
6	7.6	4.08	-1010
7	8.7	4.56	-1030
8	8.6	4.6	-1040
9	6.1	3.68	-970
10	6.3	3.77	-980
11	7.6	4.14	-1015
12	6.5	3.8	-980
13	10.2	5.52	-1012
14	5.9	3.63	-960
15	6	3.67	-970
16	6.1	3.7	-970
17	7.6	4.1	-1010
18	7.8	4.2	-1023
19	7.2	3.93	-990
20	6.2	3.74	-980
21	5.9	3.62	-960
22	5.8	3.59	-960
23	9.9	5.26	-1000
24	6.2	3.6	-960
25	6.3	3.62	-960
26	6.3	3.64	-960
27	6.4	3.65	-960
28	6.6	3.68	-960
29	6.8	3.73	-970
30	6.7	3.7	-960

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.3 Grafik Perhitungan Arus Kedalaman 100cm

Dari data pengujian arus di atas pada kedalaman tanah 100cm dengan jarak antara anoda dengan katoda 50cm, didapatkan rata – rata arus proteksi sebesar 6.316 mA. Pada jarak anoda 100cm, rata – rata kebutuhan arus proteksi sebesar 6.563 mA. Sedangkan pada rangkaian ICCP dengan variasi jarak anoda 150cm kedalaman tanah 100cm didapatkan rata – rata arus proteksi sebesar 6.853 mA. Dari hasil pengujian arus yang dilakukan dapat dianalisa jika hasil yang didapatkan relatif sama dengan kedalaman tanah 30cm. Dimana dengan bertambahnya jarak anoda, kebutuhan arus proteksi semakin besar.

Pada hari pertama penanaman pipa, ketiga pipa membutuhkan arus proteksi yang berbeda – beda. Pipa dengan variasi jarak anoda 50cm pada kedalaman tanah 100cm membutuhkan arus sebesar 3.3 mA. Variasi dengan jarak anoda 100cm, membutuhkan arus sebesar 4 mA. Sedangkan pada variasi jarak anoda – katoda 150cm membutuhkan arus sebesar 4.6 mA. Dari data yang didapat, pengujian arus proteksi pada sampel B1 mengalami peningkatan kebutuhan arus proteksi secara stabil, namun pada hari ke 5, kebutuhan arus proteksi mengalami perubahan yang fluktuatif. Pada hari ke 15 sampai hari ke 22 fluktuatif perubahan arus



proteksi tidak terlalu besar. Hari ke 23 terjadi peningkatan kebutuhan arus sebesar 3.1 mA, kemudian turun dan kebutuhan arus kembali stabil. Pada sampel B2, kebutuhan arus proteksi di hari – hari pertama mengalami perubahan yang fluktuatif dengan rentang perubahan kebutuhan arus yang tidak terlalu besar. Pada hari ke 5 terjadi peningkatan yang signifikan, yaitu sebesar 2.6mA, kemudian perubahan keperluan arus proteksi stabil. Kebutuhan arus proteksi turun pada hari ke 9, dan naik kembali pada hari 13. Pada hari ke 14 kebutuhan arus proteksi turun dan perubahan kebutuhan arus proteksi stabil hingga hari ke 22. Hari ke 23 mengalami peningkatan signifikan, kemudian pada hari ke 24. Hari ke 24 sampai hari ke 30, kebutuhan arus proteksi peningkatan yang stabil. Pada sampel B3, kebutuhan arus proteksi di 4 hari pertama meningkat secara signifikan. Pada hari ke 7 sampai hari ke 10 terjadi penurunan kebutuhan arus proteksi, dan kemudian naik kembali sampai puncaknya pada hari ke 13 dan hari ke 23. Setelah hari ke 13 dan 23, perubahan kebutuhan arus proteksi meningkat stabil.

Peningkatan kebutuhan arus proteksi yang paling tinggi terjadi pada hari ke 13, sampel B1 mengalami peningkatan kebutuhan arus proteksi sebesar 3.7 mA, sampel B2 mengalami perubahan arus proteksi sebesar 4 mA, sedangkan pada sampel B3 mengalami peningkatan paling tinggi pada hari ke 23. Peningkatan kebutuhan arus proteksi pada sampel B3 mencapai 4.1 mA.

Perubahan kebutuhan arus proteksi yang fluktuatif ini terjadi akibat dari kedalaman tanah yang mencapai 100cm dimana pada kedalaman tersebut kondisi tanah sudah berbeda dengan kondisi tanah pada kedalaman 30cm. Pada kedalaman tanah 100cm kondisi tanah sudah mulai berupa tanah liat dan berair. Dengan berbedanya struktur tanah dan adanya air pada media tanam pipa, resistivitas media tentu akan berbeda dengan media tanam pipa pada kedalaman 30cm. keberadaan air dan mulai adanya struktur tanah liat pada kedalaman tanah 100cm ini dapat menurunkan resistivitas tanah sehingga meningkatkan kebutuhan arus proteksi. Keadaan ini sesuai dengan Lightning and Surge Technology Handbook, dengan

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



resistivitas tanah liat sebesar 40 ohm.m dan air tanah sebesar 50 ohm.m.

IV.5 Hasil Proteksi



Gambar 4.4 Pipa dengan kedalaman tanah 30 cm dan jarak anoda 50 cm



Gambar 4.5 Keadaan permukaan pipa setelah diberikan proteksi ICCP



1. Pipa Sampel A1

Sampe A1 merupakan sampel pipa sepanjang 1m yang ditanam pada kedalaman tanah 30cm dengan jarak anoda dengan katoda 50cm. Proteksi korosi yang diberikan untuk memproteksi pipa dari korosi yaitu proteksi katodik arus paksa. Pada gambar 4.5 dapat dilihat jika pada permukaan pipa sampel A1, lapisan permukaan pipa mengalami kerusakan. Permukaan pada pipa sampel A1 terlihat seperti terkelupas dan ada beberapa spot kecil pada permukaan pipa yang sudah mulai terkorosi. Korosi yang terjadi disini berupa *uniform* korosi namun masih dalam bentuk spot – spot kecil. Untuk jenis korosi yang berbahaya, seperti *pitting corrosion* tidak terlihat dan dapat dinyatakan jika kondisi pipa masih baik dan masih layak untuk digunakan.



Gambar 4.6 Pipa dengan kedalaman tanah 30 cm dengan jarak anoda 100 cm



Gambar 4.7 Keadaan permukaan pipa setelah diberikan proteksi ICCP

2. Pipa Sampel A2

Sampel A2 merupakan sampel pipa yang ditanam pada kedalaman tanah 30cm dengan jarak anoda dengan katoda 100cm. Pipa diberikan proteksi katodik arus paksa untuk mengurangi laju korosi pada pipa. Pada gambar 4.7 dapat dilihat jika permukaan pipa terlihat seperti terkelupas dan beberapa bagian pada permukaan pipa mengalami korosi, namun intensitas korosi masih sedikit. korosi yang terjadi berupa *uniform* korosi, indikasi korosi *pitting* tidak terlihat. Pada gambar terlihat sebuah spot korosi yang berukuran sedang, dengan beberapa spot kecil tersebar tidak merata pada permukaan pipa. Tidak adanya jenis korosi yang berbahaya, mengindikasikan bahwa sampel pipa A2 masih layak untuk digunakan.



Gambar 4.8 Pipa dengan kedalaman tanah 30 cm dan jarak anoda 150 cm



Gambar 4.9 Keadaan permukaan pipa setelah di berikan proteksi ICCP

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



3. Pipa Sampel A3

Sampel A3 merupakan pipa yang dikubur pada kedalaman tanah 30cm dengan jarak antara anoda dengan katoda 150cm. Pipa tersebut diberi proteksi katodik arus paksa dengan tujuan untuk memproteksi pipa dari korosi. Pada gambar 4.9 dapat diamati jika pada permukaan pipa terlihat seperti ada lapisan yang terkelupas dan ada beberapa spot korosi berukuran sedang yang tersebar di permukaan pipa. Pada permukaan pipa terlihat 3 spot korosi berukuran sedang, namun tidak mengindikasikan *pitting corrosion*. selain spot korosi berukuran sedang, spot – spot korosi berukuran kecil tersebar pada permukaan pipa sampel A3. Korosi yang terjadi pada pipa sampel A3 merupakan korosi *uniform* yang tidak membahayakan pipa. Pipa sampel A3 masih dalam keadaan baik dan layak untuk digunakan.



Gambar 4.10 Pipa dengan kedalaman tanah 100 cm dan jarak anoda 50 cm



Gambar 4.11 Keadaan permukaan pipa setelah diberikan proteksi ICCP

4. Pipa Sampel B1

Sampel B1 merupakan sebuah pipa yang ditanam pada kedalaman 100cm dengan jarak antara anoda dengan katoda 50cm. pipa sampel B1 diberikan proteksi katodik arus paksa untuk memproteksi pipa dari korosi. Pada gambar 4.11 dapat dilihat pada permukaan pipa mulai terkorosi, dan ada beberapa bagian yang terlihat seperti terkelupas. Spot – spot korosi pada permukaan pipa berukuran sedang, namun tidak mengindikasikan *pitting corrosion*. Persebaran spot – spot korosi pada permukaan pipa hanya pada sebagian permukaan saja, sebagian permukaan pipa masih dalam kondisi baik. Spot korosi yang berukuran kecil yang tersebar pada permukaan pipa sangat sedikit. Setelah diamati, kondisi pipa sampel B1 dapat dinyatakan dalam kondisi yang baik dan masih layak untuk digunakan.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.12 Pipa dengan kedalaman tanah 100 cm dan jarak anoda 100 cm



Gambar 4.13 Keadaan permukaan pipa setelah diberikan proteksi ICCP



5. Pipa Sampel B2

Pipa Sampel B2 merupakan pipa yang ditanam pada kedalaman tanah 100cm dengan jarak anoda 100cm. Pipa sampel B2 diberikan proteksi katodik arus paksa untuk memproteksi pipa dari korosi. Pada Gambar 4.13 dapat diamati pada permukaan pipa masih dalam kondisi baik namun ada beberapa bagian yang terkorosi. Ada beberapa spot korosi yang terlihat pada gambar. Spot – spot korosi pada permukaan pipa sampel B2 berukuran kecil namun memanjang. Korosi yang muncul pada sampel B2 hanya berupa *uniform corrosion*, indikasi jenis korosi yang berbahaya seperti *pitting corrosion* pada permukaan pipa masih belum ada. Pada beberapa bagian pipa tampak ada beberapa spot – spot korosi berukuran kecil sedikit tersebar tidak merata pada permukaan pipa. Secara keseluruhan, kondisi pipa sampel B2 masih dalam keadaan baik dan masih layak untuk digunakan.



Gambar 4.14 Pipa dengan kedalaman tanah 100 cm dan jarak anoda 150 cm



Gambar 4.15 Keadaan permukaan pipa setelah diberikan proteksi ICCP

6. Pipa Sampel B3

Sampel B3 merupakan pipa yang ditanam pada kedalaman 100cm dengan jarak antara anoda dengan katoda 150cm. Pipa sampel B3 diberikan proteksi katodik arus paksa untuk memproteksi pipa dari korosi. Pada gambar 4.15 dapat diamati pada permukaan pipa sampel B3 terdapat spot korosi berukuran sedang yang memanjang dan beberapa spot korosi berukuran kecil. Persebaran spot korosi yang berukuran sedang pada permukaan tidak merata dan memiliki jumlah yang sedikit. Pada sebagian permukaan pipa juga terlihat beberapa spot – spot korosi berukuran kecil tersebar. Namun sebagian permukaan pipa masih memiliki kondisi yang baik. Korosi yang muncul pada permukaan pipa merupakan jenis korosi *uniform*, indikasi jenis *pitting corrosion* tidak muncul. Spot – spot korosi yang tersebar pada permukaan pipa sampel B3 masih dalam kondisi yang bisa ditolelir, dimana



kedalaman spot – spot korosi tidak dapat mengakibatkan pipa mengalami kebocoran. Dengan demikian pipa dapat dikatakan dalam kondisi yang baik dan masih layak untuk digunakan.

7. Visualisasi Keseluruhan

Dari seluruh permukaan pipa yang sudah di visualisasikan, dapat dilihat jika seluruh permukaan pipa dari setiap sampel mengalami korosi, namun permukaan pipa yang paling terpapar korosi adalah pipa dengan kedalaman tanah 100 cm dan jarak antara anoda dengan katoda 100 cm dan 150 cm. Secara visual pada permukaan pipa tersebut terdapat spot – spot korosi *uniform* yang berukuran sedang dan tersebar tidak beraturan di permukaan pipa jika dibandingkan dengan kondisi pipa dengan kedalaman tanah 30 cm dan jarak anoda – katoda 50 cm, 100 cm, 150 cm.

IV.6 Kebutuhan Arus Proteksi

Pada rangkaian proteksi katodik arus paksa yang diterapkan untuk memproteksi pipa pada media tanah memiliki kebutuhan arus proteksi yang berbeda – beda. Hal ini berkaitan dengan berbagai faktor yang mempengaruhi kebutuhan arus proteksi pada pipa. Faktor – faktor yang mempengaruhi kebutuhan arus proteksi dapat dijabarkan seperti berikut :

1. Media

Media merupakan faktor utama yang mempengaruhi proteksi kebutuhan arus pada rangkaian ICCP. Setiap media memiliki nilai resistivitas yang berbeda – beda. Resistivitas media menunjukkan kemampuan media tersebut untuk dapat menghantarkan listrik. Semakin besar resistivitas media, hambatan pada media tersebut semakin besar sehingga untuk menghantarkan listrik pada media tersebut semakin sulit. Begitu pula sebaliknya, menurunnya nilai resistivitas media, mengakibatkan hambatan untuk menghantarkan listrik pada media tersebut semakin kecil. Nilai resistivitas media juga mempengaruhi laju korosi dimana nilai resistivitas ini berbanding terbalik dengan laju korosi. Laju korosi yang tinggi, disebabkan oleh nilai resistivitas media yang rendah. Contoh



sederhana dari kasus ini adalah besi yang dibiarkan terendam di dalam air, dimana kita tahu jika resistivitas air sangat kecil sehingga besi akan lebih cepat terkorosi dari pada besi yang di biarkan di udara. Hal ini berkaitan dengan perpindahan elektron dari besi menuju lingkungan. Elektron – elektron yang berpindah dari besi menuju lingkungan akan mengurangi masa besi. Dengan adanya pengurangan masa ini, dapat dikatakan jika besi tersebut terdegradasi atau mengalami korosi.

Kandungan air dalam media tanah juga mempengaruhi nilai resistivitas tanah. Banyaknya kandungan air pada media tanah, mengakibatkan tingkat kelembaban meningkat, tentunya menurunkan resistivitas media dan kebutuhan arus untuk memproteksi besi meningkat. Mineral, oksigen, mikroorganisma, temperature media, semua itu dapat mempengaruhi besar kecilnya nilai resistivitas media.

Pada penelitian ini media yang digunakan berupa media tanah dengan variable berupa kedalaman tanah. Pada kedalaman 30cm, struktur tanah masih berupa tanah gambut. Kandungan air, temperature, kandungan oksigen, kandungan mineral pada kedalaman 30cm ini tidak dapat diketahui. Pada kedalaman tanah 100cm, keadaan media sudah mulai berubah dimana struktur tanah sudah mulai berubah menjadi tanah liat dan kandungan air meningkat. Meningkatnya kandungan air ditandai dengan mulai muncul air pada kedalaman tanah 100cm. jika dibandingkan dengan kedalaman tanah 30cm, keadaan media tanah kedalaman 100cm memiliki resistivitas tanah lebih kecil dibandingkan dengan kedalaman tanah 30cm. Pernyataan ini juga dikuatkan dengan hasil pengujian arus proteksi pipa, dengan variasi jarak anoda 50cm membutuhkan rata – rata arus proteksi sebesar; 5.05 mA untuk kedalaman tanah 30cm, dan 6.316 mA untuk kedalaman tanah 100cm. Sedangkan untuk variasi jarak antara anoda dan katoda 100cm membutuhkan rata – rata arus proteksi sebesar; 5.58 mA untuk kedalaman tanah 30cm, dan 6.563 mA untuk kedalaman tanah 100cm. pengaplikasian variasi jarak antara anoda dengan katoda 150cm membutuhkan arus proteksi sebesar; 5.806 mA pada



kedalaman tanah 30cm, dan 6.853 mA untuk kedalaman tanah 100cm.

Dengan demikian, kedalaman media tanam dapat mempengaruhi besar kecilnya kebutuhan arus proteksi untuk memproteksi pipa.

2. Coating

Coating merupakan sebuah metode untuk menghambat laju korosi, dengan cara diberikan lapisan agar permukaan katoda (besi, pipa, dll) tidak mengalami kontak langsung dengan elektrolit. Coating merupakan sebuah proteksi primer terhadap korosi. Dengan pengaplikasian coating pada pipa, akan mengurangi luasan permukaan pipa sehingga arus proteksi yang dibutuhkan untuk melindungi pipa dapat berkurang. Lapisan coating ini juga berperan sebagai penghalang yang memberikan nilai hambatan yang tinggi. Dengan tingginya nilai hambatan pada pipa, akan sulit untuk terjadi reaksi elektrokimia.

Pada penelitian ini, pengaplikasian coating tidak dilakukan. Pipa yang digunakan hanya berupa coating primer standarisasi pipa baja API 5L Grade B. Dengan ketidakadaan lapisan coating pada pipa, kebutuhan arus proteksi pipa pada 2 variabel penelitian dapat dianalisa lebih akurat.

3. Hambatan Kabel Tembaga

Rangkaian proteksi katodik arus paksa memerlukan suplai arus untuk dapat memproteksi pipa dari korosi. Suplai arus dapat dilakukan menggunakan perantara kabel tembaga. Kabel tembaga menjadi perantara dikarenakan tembaga memiliki sifat daya hantar listrik yang baik, dengan hambatan yang kecil. Hambatan pada kabel tembaga dipengaruhi oleh diameter dan panjang kabel. Semakin besar diameter, nilai luasan kabel tembaga akan semakin besar dan akan menurunkan nilai hambatan pada kabel tembaga. Semakin panjang kabel akan meningkatkan nilai hambatan pada kabel tembaga. Untuk menghitung hambatan kabe tembaga dapat menggunakan persamaan :



$$R = \rho \frac{l}{a}$$

R = Hambatan kabel (ohm)

ρ = hambatan jenis kabel (ohm.m)

l = Panjang kabel (m)

a = Luas penampang kabel (m²)

nilai hambatan jenis kabel tembaga adalah 1.68×10^{-8}

Pada Penelitian ini, kabel yang digunakan sebagai menghantar arus berupa kabel tembaga dengan diameter masing – masing kabel sama, namun memiliki panjang yang berbeda – beda. instalasi proteksi katodik arus paksa untuk memproteksi pipa baja API 5L Grade B menggunakan 3 variasi jarak antara anoda dengan katoda yaitu; 50cm, 100cm, dan 150cm. Dengan bertambahnya jarak antara anoda dengan katoda, panjang kabel yang digunakan untuk menghubungkan anoda – *rectivire* – katoda akan semakin panjang dan nilai hambatan akan meningkat. Meningkatnya nilai hambatan akan mempengaruhi kebutuhan arus proteksi. Hasil dari pengujian arus proteksi pada rangkaian ICCP menunjukkan dengan variasi kedalaman 30cm membutuhkan rata – rata kebutuhan arus proteksi 5.05 mA untuk jarak antara anoda dengan katoda 50cm, 5.563 mA untuk jarak antara anoda dengan katoda 100cm, dan 5.806 mA untuk jarak antara anoda dengan katoda 150cm. hasil ini lebih kecil dibandingkan dengan rata – rata kebutuhan arus proteksi pipa yang ditanam pada kedalaman 100cm, dengan hasil pengujian arur proteksi; 6.316 mA untuk jarak antara anoda dengan katoda 50cm, 6.563 mA untuk jarak anoda dengan katoda 100cm, 6.853 mA untuk jarak antara anoda dengan katoda 150cm. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar jarak anoda dengan katoda keperluan arus proteksi semakin besar.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari perancangan system proteksi katodik arus paksa pada pipa baja API 5L Grade B dengan jarak anoda 50cm, 100cm, 150cm pada kedalaman tanah yang berbeda adalah

1. Kedalaman tanah mempengaruhi kebutuhan arus proteksi, semakin dalam kedalaman tanah, maka kebutuhan arus proteksi akan meningkat. Rata – rata kebutuhan arus proteksi pada kedalaman tanah 30cm sebesar 5.47 mA, sedangkan pada kedalaman tanah 100cm, kebutuhan arus proteksi sebesar 6.57 mA.
2. Jarak antara anoda dengan katoda mempengaruhi kebutuhan arus proteksi, semakin besar jarak antara anoda dengan katoda, kebutuhan arus proteksi akan meningkat.

V.2 Saran

Saran yang bisa diberikan oleh penulis setelah proses perancangan system proteksi katodik arus paksa sebagai berikut:

1. *Rectivire* yang digunakan harus dalam kondisi baik dan memiliki kemampuan untuk dapat mengatur keluaran arus dari *rectivire* secara detail, sehingga tidak perlu adanya alat bantu seperti buck converter.



DAFTAR PUSTAKA

- API 5L (2004). Spesification for Pipe Line.
- Ardiansyah, Faris Putra. 2013. Pengaruh pH Tanah dan Variasi Cacat Gores Lapis Lindung Terhadap Kebutuhan Arus Proteksi Sistem Impressed Curent Cathodic Protection (ICCP) pada Baja AISI 1045. Institut Teknologi Sepuluh Nopember; Surabaya.
- ASTM. (2001). United States of America Patent No. G57 Standard Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four - Electrode Method.
- Fontana, Mars G. Corrosion Engineering, International Student Edition, 3th Edition. Mc, Graw Hill International. Singapore; 1987
- Haidir, Andi, dkk. 2017. Analisa Laju Korosi Paduan Aluminium Feronikel Pada pH Basa Dengan Potensiostat. Badan Tenaga Nuklir Nasional; Serpong, Banten.
- Kiswara, Reza. 2009. Pengaruh Resistivitas Tanah Terhadap Pengukuran Potensial Baja dengan Multimeter Digital dan Mikrokontroler. Universitas Indonesia; Jakarta.
- Lightning & Surge Technology. 2012. Earthing Techniques.
- Pambudi, Rizal. 2016. Perancangan Supply Arus Proteksi Sistem Proteksi Katodik Arus Paksa Pada Pipa Baja API 5L Grade B Dengan Variasi Jenis Coating di Dalam Tanah. Institut Teknologi Sepuluh Nopember; Surabaya
- Prameswari, Bunga. 2008. Studi Efektivitas Lapis Galvanis Terhadap Ketahanan Korosi Pipa Baja ASTM A53 di Dalam Tanah (Underground Pipe). Universitas Indonesia; Jakarta.
- Technical Memorandum No. MERL-2012-40. 2012. Guidelines For Field Instalation of Corrosion Monitoring and Cathodic Protection System. US Departement of the Interior Protect

America's Natural Resource and Heritage; United State Of America.

Umiati, Ngurah Ayu Ketut. 2009. Pengujian Kekuatan Dielektrik Minyak Sawit dan Minyak Castrol Menggunakan Elektroda Bola-bola Dengan Variasi Jarak Antar Elektroda dan Temperatur. Universitas Diponegoro; Semarang.

LAMPIRAN

Resistivitas Tanah

Resistivitas Tanah yang diperoleh setelah dihitung dan diuji menggunakan metode Wenner Four – Electrode sebesar 51.99 ohm.m.

Luas Permukaan Yang Dilindungi

Luas Permukaan yang akan dilindungi merupakan luas permukaan pipa baja API 5L Grade B dengan luas 0.223 m².

Luas Permukaan Anoda

Luas permukaan anoda yang digunakan untuk memproteksi pipa pada rangkaian ICCP adalah 0.011 m².

Kebutuhan Arus Proteksi

Kebutuhan arus proteksi untuk memproteksi pipa diperlukan arus sebesar 5.352 mA.

Keluaran Arus Anoda

Arus yang dapat dihasilkan oleh anoda untuk memproteksi pipa dalam rangkaian ICCP sebesar 68 mA.

BIODATA PENULIS



Lahir di Mojokerto pada tanggal 1 Oktober 1996, anak pertama dari dua bersaudara. Penulis memiliki seorang ayah yang bernama Totok Eko Hartono Putro dan ibu bernama Eny Rahayu. Penulis tinggal di sebuah perumahan Graha Pesiapan Asri Pesada Blok H No. 18 kecamatan Kerambitan, Kabupaten Tabanan, Bali. Penulis menghabiskan masa kecil di Bali, dari menginjak pendidikan SD sampai lulus SMA. Pada tahun 2008, penulis telah menyelesaikan pendidikan di SD Islam, sebuah sekolah swasta islam yang berdiri di kota Tabanan. Tahun 2011, penulis menyelesaikan pendidikan di SMPN1 Tabanan kemudian melanjutkan pendidikan ke SMAN 1 Tabanan. Tahun 2014, Penulis berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 1 Tabanan. Sekarang penulis sedang menempuh pendidikan untuk mendapatkan gelar S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, jurusan Teknik Material dan Metalurgi. Pada masa perkuliahan, penulis aktif berorganisasi, tahun 2014 penulis tergabung ke dalam UKM Silat Perisai Diri. Awal tahun 2015, penulis berhasil mendapatkan juara 3 Kategori Putra B Dewasa Tanding versi IPSI Semen Gresik Cup. Tahun 2015 penulis aktif sebagai staff dalam organisasi berbasis Teknik milik HMMT yaitu BSO MTC. Tahun 2016, penulis diangkat menjadi Wakil Direktur BSO MTC HMMT FTI – ITS. Selama perkuliahan penulis juga sering mengikuti pelatihan – pelatihan yang dibuat oleh berbagai organisasi di ITS.

