



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL184384

**PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI KATODIK
ARUS PAKSA PADA PIPA BAJA API 5L GRADE B
DENGAN VARIASI JENIS BACKFILL
MENGUNAKAN SUMBER ARUS LISTRIK
BATERAI DAN RECTIFIER**

BAYU MUHAMMAD AJI
NRP 0251134000021

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 2019



TUGAS AKHIR - TL184384

**PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI KATODIK
ARUS PAKSA PADA PIPA BAJA API 5L GRADE B
DENGAN VARIASI JENIS BACKFILL
MENGUNAKAN SUMBER ARUS LISTRIK
BATERAI DAN RECTIFIER**

**BAYU MUHAMMAD AJI
NRP 0251134000021**

**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 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL184384

**DESIGN OF IMPRESSED CURRENT CATHODIC
PROTECTION IN API 5L GRADE B STEEL PIPES
IN VARIATION OF BACKFILL TYPES USING
BATTERY AND RECTIFIER ELECTRIC CURRENT
SOURCES**

**BAYU MUHAMMAD AJI
NRP 0251134000021**

Advisors

Tubagus Noor Rohmannudin, ST., M.Sc.

Lukman Noerochim, ST., M.Sc, Eng., Ph.D.

MATERIAL ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI KATODIK ARUS
PAKSA PADA PIPA BAJA API 5L GRADE B
DENGAN VARIASI JENIS BACKFILL MENGGUNAKAN
SUMBER ARUS LISTRIK BATERAI DAN RECTIFIER**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Korosi dan Kegagalan
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

BAYU MUHAMMAD AJI
NRP. 0251134000021

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Tubagus Noor R. ST., M.Sc (Pembimbing I)
2. Lukman N, ST., M.Sc., Eng, Ph.D (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI KATODIK ARUS
PAKSA PADA PIPA BAJA API 5L GRADE B
DENGAN VARIASI JENIS BACKFILL MENGGUNAKAN
SUMBER ARUS LISTRIK BATERAI**

Nama : Bayu Muhammad Aji
NRP : 0251134000021
Departemen : Teknik Material
Dosen pembimbing : Tubagus Noor R. ST., M.Sc,
Co-pembimbing : Lukman Noerochim. ST., M.Sc,
Eng. Ph.D.

Abstrak

Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) adalah salah satu cara untuk melindungi suatu material dari korosi. Tujuan dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh jenis backfill terhadap arus proteksi dengan coal coke breeze backfill, graphite backfill dan chemical backfill pada perancangan sistem proteksi katodik arus paksa pada baja pipa API 5L grade B dengan menggunakan sumber arus listrik rectifier dan baterai. Penanaman proteksi katodik arus paksa dilakukan selama 15 hari di lingkungan tanah Departemen Teknik Material FTI-ITS. Pada perancangan sistem proteksi katodik arus paksa menggunakan rectifier ditambahkan alat khusus berupa potensio meter dan pada perancangan sistem proteksi katodik menggunakan baterai ditambahkan alat khusus berupa buck converter dc-dc step down agar arus proteksi dapat terbaca. Dari hasil penelitian ini didapati nilai arus yang dihasilkan menggunakan rectifier pada coal coke breeze backfill sebesar 0,8 mA, pada graphite backfill 0,083 mA dan pada chemical backfill sebesar 0,67 mA. Hal ini menunjukkan bahwa resistivitas coal coke breeze backfill lebih rendah dibandingkan backfill lainnya karena menghasilkan arus proteksi yang tinggi terhadap anoda sehingga katoda lebih terlindungi. Kemudian didapati nilai arus yang dihasilkan menggunakan baterai pada coal coke breeze backfill sebesar 0,782 mA, pada graphite backfill 0,096 mA dan pada chemical backfill sebesar

0,65 mA. Arus listrik yang dihasilkan dari baterai mendekati arus listrik yang dihasilkan rectifier. Hal ini menunjukkan bahwa baterai dapat digunakan menggantikan rectifier sebagai sumber arus listrik pada perlindungan katodik arus paksa.

Kata kunci : ICCP, Backfill, Baterai

DESIGN OF IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION IN API 5L GRADE B STEEL PIPES IN VARIATION OF BACKFILL TYPES USING BATTERY AND RECTIFIER ELECTRIC CURRENT SOURCES

Student Name : Bayu Muhammad Aji
NRP : 0251134000021
Departement : Material Engineering
Advisor lecturer : Tubagus Noor R. ST., M.Sc.
Co-advisor : Lukman Noerochim. ST., M.Sc, Eng. Ph.D.

Abstract

Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) is one way to protect a material from corrosion. The purpose of this study was to determine the effect of the type of backfill on coal breeze backfill protection flow, graphite backfill and chemical backfill on the design of forced current cathodic protection systems on API 5L grade B steel pipes using a rectifier and battery electric current source. Cultivation of forced current cathodic protection is carried out for 15 days in the soil environment of the FTI-ITS Material Engineering Department. In the design of the cathodic protection system the forced current using a rectifier was added a special tool in the form of a potentiometer and in the design of a cathodic protection system using a battery added a special tool in the form of a buck down step dc dc converter so that the protection current can be read. From the results of this study it was found that the current value generated using rectifiers in backfill coke breeze coal was 0.8 mA, in graphite backfill 0.083 mA and in chemical backfill was 0.67 mA. This shows that the lower coke breeze backfill coal resistivity is compared to other backfills because it produces a high protection current against the anode so the cathode is more protected. Then it was found that the current value generated using the battery in Breeze Breeze Backfill coal was 0.782 mA, in graphite backfill it was 0.096 mA and in the chemical backfill it was 0.65 mA. Electric current generated from the battery

approaches the electric current produced by the rectifier. This shows that the battery can be used to replace the rectifier as an electric current source for forced current cathodic protection.

Key Words : ICCP, Backfill, Batrrey

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 Jenis Backfill Menggunakan Sumber Arus Listrik Baterai dan Rectifier”**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi mata kuliah tugas akhir yang menjadi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana 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 FTI – ITS.
4. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc., Departemen Teknik Material FTI – ITS.selaku dosen wali penulis selama berkuliah.
5. 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.

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.

Surabaya, 16 Juli 2019
Penulis,

Bayu Muhammad Aji
0251134000021

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 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TUJUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Korosi.....	5
2.2 Elektrokimia.....	6
2.3 Sel Galvanik.....	7
2.4 Faktor Lingkungan Penyebab Korosi.....	8
2.5 Diagram <i>Pourbaix</i>	15
2.6 Proteksi Katodik.....	18
2.7 <i>Sacrificial Anode Cathodic Protection (SACP)</i>	19
2.8 <i>Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)</i>	21
2.9 Elektroda <i>Reference</i>	23
2.10 Baterai	25
2.11 Rectifier.....	28
2.12 <i>Backfill</i> pada Proteksi Katodik.....	29
2.13 Penelitian Sebelumnya	30
BAB 3 METODOLOGI	33
3.1 Diagram Alir Penelitian	33
3.2 Bahan Penelitian	34
3.3 Alat Penelitian.....	34
3.4 Langkah Penelitian.....	34

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Perhitungan Desain Proteksi	41
4.2 Perhitungan Arus dan Potensial	46
4.3 Hasil Proteksi	56
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	67
BIODATA PENULIS	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sel Galvanik.....	8
Gambar 2.2	Pengaruh Oksigen Terhadap Laju Korosi.....	9
Gambar 2.3	Pengaruh Temperatur Terhadap Laju Korosi.....	10
Gambar 2.4	Kurva Concentration of Corrosive Terhadap Laju Korosi.....	12
Gambar2.5	Pourbaix Diagram dari Baja Dalam Air pada Temperatur 25°C.....	16
Gambar 2.6	<i>Pourbaix</i> Diagram Fe.....	17
Gambar 2.7	Skema dari SACP	21
Gambar 2.8	Skema dari ICCP.....	23
Gambar 2.9	Standart Hydrogen Reference Electrode (SHE).....	24
Gambar 2.10	Pengujian Menggunakan Elektroda Reference.....	24
Gambar 2.11	Saturated Calomel Reference Electrode	25
Gambar 2.12	Elektroda Referen Perak/Perak Klorida.....	25
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 3.2	<i>Buck Converter Step Down Dc-Dc</i> dan Potensio Meter.....	37
Gambar 3.3	Desain Proteksi Katodik Arus Paksa Menggunakan Backfill	38
Gambar 3.4	Anoda yang Dilapisi <i>Backfill</i>	38
Gambar 4.1	Grafik Tegangan Tanah yang Terukur.....	45
Gamabr 4.2	Grafik Arus Tanah yang Terukur.....	46
Gambar 4.3	Grafik Resistivitas Tanah yang Terukur	46
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Arus Penggunaan Rectifier dan Baterai pada <i>Backfill Coal</i> <i>Coke Breeze</i>	51
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Potensial Proteksi Penggunaan Rectifier dan Baterai pada <i>Backfill Coal Coke Breeze</i>	52
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Arus Penggunaan Rectifier dan Baterai pada <i>Backfill Graphite</i>	53

Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Potensial Proteksi Penggunaan Rectifier dan Baterai pada <i>Backfill Graphite</i>	53
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Arus Penggunaan Rectifier dan Baterai pada <i>Backfill Chemical</i>	53
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Potensial Proteksi Penggunaan Rectifier dan Baterai pada <i>Backfill Chemical</i>	53
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Arus Setiap <i>Backfill</i> Menggunakan Rectifier	55
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Arus Setiap <i>Backfill</i> Menggunakan Baterai	56
Gambar 4.12	Keadaan Pipa API 5L Setelah Mengalami Proteksi Menggunakan <i>Coal Coke Breeze Backfill</i>	57
Gambar 4.13	Keadaan Pipa API 5L Setelah Mengalami Proteksi Menggunakan <i>Graphite Backfill</i>	58
Gambar 4.14	Keadaan Pipa API 5L Setelah Mengalami Proteksi Menggunakan <i>Chemical Backfill</i>	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengaruh Resistivitas Tanah Terhadap Laju Korosi	13
Tabel 2.2 Laju Pengausan Sistem ICCP	22

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peralatan sehari-hari ataupun peralatan industri sebgaiian besar terbuat dari bahan logam. Peralatan dari logam mudah sekali mengalami korosi. Korosi adalah penurunan kualitas sebuah logam akibat bereaksi dengan lingkungan sekitarnya. Kerugian yang timbul akibat korosi sangat merugikan karena dapat menyebabkan kerusakan pada material dan biaya perawatan yang dibutuhkan untuk melindungi dari korosi tidak sedikit. Pengendalian terhadap korosi sangat dibutuhkan untuk memperkecil korosi yang terjadi pada sebuah material. Dalam pipa industri terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan korosi diantaranya adalah aliran pada pipa, lingkungan sekitar pipa dan material yang digunakan sebagai pipa.

Pada sebuah pipa yang ditanam didalam tanah untuk kebutuhan industri akan mengalami kontak dengan lingkungan sekitarnya. Kelembaban tanah, unsur yang dikandung dalam tanah, temperatur tanah dan kandungan air yang berbeda-beda akan menyebabkan resistivitas yang berbeda-beda juga. Hal ini akan mempengaruhi kecepatan korosi pada pipa yang ditanam dibawah tanah.

Penyebab korosi pada pipa yang ditanam dibawah tanah dapat ditangani dengan beberapa metode untuk mengurangi laju korosi pada pipa. Metode yang digunakan antara lain adalah melakukan pelapisan pada material, memberikan inhibitor, insulasi, menggunakan proteksi katodik dan *cladding*. Perlindungan pipa yang ditanam didalam tanah tidak hanya menggunakan satu metode perlindungan namun beberapa perlindungan agar pipa tidak mudah rusak karena korosi. Pada bagian luar pipa dapat dilakukan pelapisan agar melindungi permukaan material. Kemudian pipa dalam tanah dapat dilindungi dengan metode perlindungan katoda.

Penggunaan pelapisan atau yang biasa disebut dengan *coating* tidak dapat melindungi secara menyeluruh terhadap korosi yang terjadi pada sebuah material sehingga dibutuhkan proteksi katodik. Prinsip dasar dari proteksi katodik adalah menekan rekasi anodik yang tidak diinginkan dengan penerapan arus yang berlawanan. Terdapat dua jenis proteksi katodik antara lain yaitu metode *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) dan *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP). Prinsip dari metode SACP atau yang biasa disebut anoda tumbal yaitu menambahkan logam yang bersifat anoda atau memiliki potensial yang lebih kecil dari logam yang ingin dilindungi. Kelebihan dari proteksi ini adalah tidak membutuhkan energi yang besar namun anoda yang dibutuhkan akan bertambah jika struktur yang dilindungi bertambah dan anoda harus diganti ketika sudah habis. Sedangkan prinsip kerja dari ICCP atau yang biasa disebut arus paksa yaitu mengalirkan arus listrik ke anoda inert untuk melindungi logam. Kelebihan dari metode arus paksa yaitu anoda yang dikorbankan habis lebih lama karena menggunakan anoda *inert* dan arus proteksi yang diberikan dapat diatur sesuai kebutuhan.

Pada tugas akhir ini akan membahas sistem proteksi katodik arus paksa yang disimulasikan pada pipa baja API 5L grade B dengan variasi jenis *backfill* yang melapisi anoda. Sedangkan katoda yang digunakan yaitu pipa baja API 5 L grade B dan anoda berupa grafit.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh jenis *backfill* terhadap kebutuhan arus proteksi pada pipa baja API 5L dengan dengan rectifier ?
2. Bagaimana pengaruh jenis *backfill* terhadap kebutuhan arus proteksi pada pipa baja API 5L dengan baterai ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut

1. Menganalisa pengaruh jenis *backfill* terhadap kebutuhan arus proteksi pada pipa baja API 5L dengan rectifier
2. Menganalisa pengaruh jenis *backfill* terhadap kebutuhan arus proteksi pada pipa baja API 5L dengan baterai

1.4 Batasan Masalah

Batasan ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

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

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan akan membawa manfaat yaitu memberikan informasi tentang jenis *backfill* yang efektif untuk perancangan proteksi katodik arus paksa terutama untuk mengetahui arus yang dibutuhkan untuk melindungi pipa baja API 5 L grade B dilingkungan tanah.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Korosi

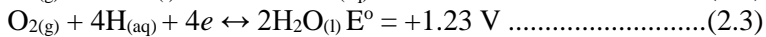
Korosi adalah penurunan kualitas suatu logam baik dalam penurunan kualitas dari segi visual ataupun penurunan berat logam tersebut akibat dari reaksi dengan lingkungan. Pada dasarnya yang menjadi penyebab dari korosi adalah sebuah fenomena alami dari sebuah bentuk metalik dimana logam akan kembali ke alam dan membentuk mineral asal dalam bentuk yang stabil. Korosi dapat menjadi penyebab kegagalan dari struktur yang berakibat pada penurunan kinerja ataupun kerugian dalam segi perawatan yang mahal. Contoh dari korosi adalah pengarat pada baja.

Korosi diklasifikasikan dalam dua tipe yaitu korosi temperatur rendah dan korosi temperature tinggi. Pada korosi temperatur rendah terdapat cairan yang menyebabkan korosi dan terjadi reaksi elektrokimia pada logam yang terkorosi. Sedangkan pada korosi temperatur tinggi disebabkan oleh kondisi yang kering dan gas. Biasanya korosi ini terjadi pada baja yang digunakan pada *furnace*. Pada tugas akhir ini akan membahas mengenai korosi yang terjadi pada temperatur rendah.

Proses korosi terjadi melalui reaksi redoks, dimana terdapat dua reaksi yaitu oksidasi dan reduksi. Pada reaksi oksidasi akan terjadi pelepasan elektron oleh material yang bersifat anodik. Pada reaksi reduksi terjadi pemakaian elektron oleh material yang bersifat katodik. Peristiwa yang sering dialami adalah korosi pada logam oleh lingkungannya atau air dan udara. Logam mengalami oksidasi sedangkan oksigen mengalami reduksi. Ketika terkorosi, logam akan membentuk oksida dan karbonat. Rumus kimia dari karat besi ini adalah Besi yang terkorosi bertindak sebagai anoda yang akan teroksidasi. Sedangkan oksigen bertindak sebagai katoda akan tereduksi. Berikut adalah reaksi terjadinya korosi pada besi yang ditunjukkan pada Persamaan 2.1.



Elektron dibebaskan dari anoda akan mengalir ke katoda dan kemudian oksigen akan tereduksi yang ditunjukkan pada Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.3.



Peristiwa korosi merupakan proses elektrokimia, reaksi yang terjadi pada katoda berupa reaksi reduksi dan reaksi pada anoda berupa reaksi oksidasi. Pada reaksi elektrokimia unsur yang memiliki potensial yang lebih tinggi berperan sebagai katoda dan unsur yang memiliki potensial yang lebih rendah akan berperan sebagai anoda. Besar kecilnya potensial dapat dilihat dari deret volta. Deret elektrokimia atau deret volta merupakan urutan logam-logam berdasarkan kenaikan potensial elektroda standarnya. Umumnya deret volta yang sering dipakai yaitu : Zn, Ni, Sn, Ca, Li, Ba, Na, K, Mg, Fe, Mn, Pb, Al (H), Hg, Au, Cu, Ag, Pt. Pada deret volta, unsur logam dengan potensial elektroda lebih negative ditempatkan di bagian kiri, sedangkan unsur dengan potensial elektroda yang lebih positif ditempatkan di bagian kanan. Semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka logam semakin reaktif (semakin mudah melepas elektron) dan logam merupakan reduktor yang semakin kuat (semakin mudah mengalami oksidasi). Sebaliknya, semakin ke kanan kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka logam semakin kurang reaktif (semakin sulit melepas elektron) dan logam merupakan oksidator yang semakin kuat (semakin mudah mengalami reduksi) (Dogra, 1990).

Pada dasarnya korosi adalah peristiwa alami yang terjadi pada logam. Korosi akan terjadi dan tidak dapat dihindari namun peristiwa korosi dapat diperlambat sehingga dapat memperpanjang umur pemakaian dari suatu material (Fontana, 1987).

2.2 Elektrokimia

Elektrokimia mempelajari semua reaksi kimia yang disebabkan oleh energi listrik serta semua reaksi kimia yang menghasilkan listrik. Namun sel elektrokimia sering didefinisikan

sebagai sel yang menghasilkan energi listrik akibat reaksi kimia dalam sel tersebut, seperti sel galvanik atau sel volta. Sel elektrokimia dapat didefinisikan sebagai suatu sistem yang terdiri dari dua elektroda yang terpisah minimal oleh satu macam fasa elektrolit. Umumnya diantara kedua elektroda dalam sel elektrokimia terdapat perbedaan potensial yang terukur. Sel galvanik dan sel elektrolisis adalah contoh dari fenomena elektrokimia.

Terdapat dua prinsip kerja elektrokimia yaitu sel melakukan kerja dengan melepaskan energi secara spontan dan sel yang melakukan kerja dengan menyerap energi dari sumber listrik untuk menggerakkan reaksi non spontan. Sel elektrokimia melepas atau menyerap energi selalu melibatkan perpindahan elektron-elektron dari satu senyawa ke senyawa lain dalam reaksi oksidasi dan reaksi reduksi (Day & Underwood, 1998).

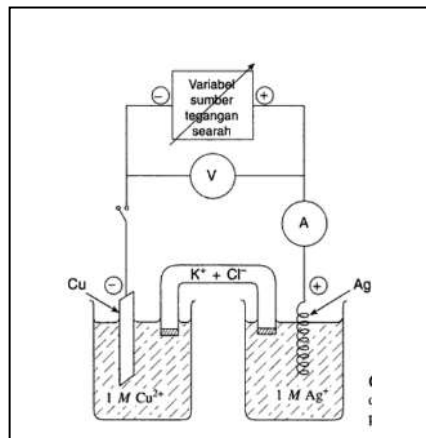
2.3 Sel Galvanik

Sel galvanik terdiri dari dua buah elektroda dan elektrolit. Elektroda ini dihubungkan oleh penghantar yang dapat mengangkut elektron ke dalam sel maupun keluar sel. Elektroda ada yang terlibat langsung dalam reaksi sel, namun ada pula yang tidak pula yang tidak berperan dalam reaksi sel yang disebut dengan elektroda inert. Reaksi kimia berlangsung dipermukaan elektroda. Anoda adalah elektroda dimana terjadi reaksi oksidasi, sedangkan elektroda dimana terjadi reaksi reduksi adalah katoda.

Setiap elektroda dan elektrolit dapat bereaksi membentuk setengah sel. Reaksi elektroda adalah setengah reaksi yang terjadi pada setengah sel. Setengah sel reaksi adalah reaksi yang memperlihatkan kehilangan elektron atau reaksi yang memperlihatkan perolehan elektron (Fontana, 1987).

Pada Gambar 2.1 menunjukkan contoh pengaplikasian dari sel galvanik. Pada gambar tersebut lingkaran A dan V berturut-turut mewakili ampermeter dan voltmeter. Ketika tegangan diatur hingga 0,46 V atau saklar ditutup, ampermeter akan menunjukkan bahwa arus listrik tidak ada karena sumber tegangan dan sel

galvaniknya, yang dihubungkan berlawanan, tepat saling menyeimbangkan, keduanya tidak dapat mengirimkan elektron-elektron melalui sel lainnya. Jika tegangan diatur hingga 0,46 V, arus listrik akan dapat diamatai, elektron akan mengalir dari elektroda tembaga melalui rangkaian luar dan masuk ke dalam elektroda perak, reaksi selnya bergerak secara spontan dari kiri ke kanan, Ag^+ direduksi menjadi Ag dan Cu dioksidasi menjadi Cu^{2+} (Day & Underwood, 1998).



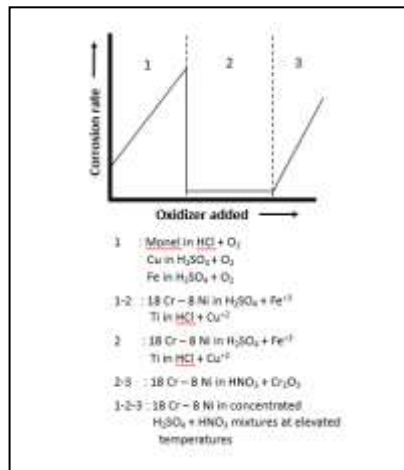
Gambar 2.1 Sel Galvanik (Day & Underwood, 1998)

2.4 Faktor Lingkungan Penyebab Korosi

Terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan laju korosi semakin meningkat disuatu lingkungan antara lain :

1. Kandungan Oksigen

Konsentrasi oksigen sangat berpengaruh terhadap laju korosi. Konsentrasi oksigen akan menurun terhadap kedalaman tanah. Oksigen berperan dalam reaksi reduksi untuk menghasilkan ion-ion hidroksil. Ion-ion akan berinteraksi dengan ion logam yang teroksidasi dalam proses korosi. Efek dari oksidasi diperlihatkan pada Gambar 2.2 dibawah ini.



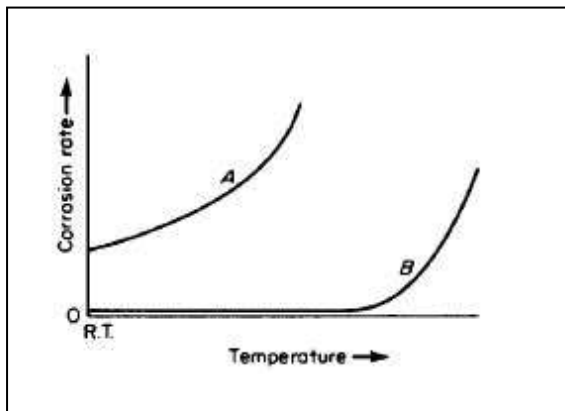
Gambar 2.2 Pengaruh Oksigen Terhadap Laju Korosi
(Fontana, 1987)

Pada logam yang menunjukkan transisi aktif-pasif, pasiviti didapatkan jika oksidasi ditambahkan pada jumlah yang cukup atau kekuatan oksidasi yang cukup kuat. Penambahan laju korosi dengan bertambahnya oksidasi sesuai pada daerah 1 merupakan karakteristik dari monel dan tembaga pada lingkungan asam yang mengandung oksigen. Pertambahan laju korosi, diikuti dengan pengurangan drastis, dan laju korosi tergantung oleh konsentrasi tersebut merupakan contoh dari logam aktif-pasif seperti 18Cr-8Ni stainless steel dan titanium.

Jika suatu logam aktif-pasif awalnya pasif dalam medium korosif, pertambahan oksidasi agent tidak berefek apapun terhadap laju korosi. Perilaku pada daerah 2 dan 3 merupakan hasil saat metal yang awalnya pada keadaan pasif, terkena oleh suatu oksidasi yang sangat kuat dan membuat transisi ke daerah transpassive. Tingkah laku seperti itu merupakan contoh dari stainless steel saat terkena oksidasi agent yang kuat seperti kromat ditambahkan pada media korosi (Fontana, 1987).

2. Temperatur

Kenaikkan temperatur menyebabkan kenaikan kecepatan laju krosi oleh kurva itu, temperatur harus dikondisikan serendah mungkin relatif terhadap kondisi yang ada, Temperatur menaikkan laju dari semua reaksi kimia. Pada kurva B, efek temperatur hampir diabaikan dan ternyata semakin tinggi temperature pada titik tertentu kan menyebabkan laju korosi meningkat secara drastis. Kurva 18Cr-8Ni di dalam HNO_3 maka akan menaikkan kekuatan oksidasi. Ketika temperatur rendah atau sedang *stainless steel* sedang berada pada daerah pasif atau transpasif. Korosi akan meningkat secara cepat dengan meningkatnya temperatur. Pada Gambar 2.3 ditunjukkan pengaruh temperature terhadap laju korosi (Sulistijono, 1999).



Gambar 2.3 Pengaruh Temperatur Terhadap Laju Korosi
(Fontana, 1987)

3. *pH* (Power of Hydrogen)

Asam atau *acid* adalah substansi yang memberikan ion hidrogen. Karena hal ini, saat asam dilarutkan ke dalam air, keseimbangan antara ion hidrogen dan ion hidroksida menjadi terbalik. Sekarang ada lebih banyak ion hidrogen daripada ion hidroksida dalam larutan tersebut. Oleh karena itu larutan ini disebut asam. Basa atau alkali adalah substansi yang menerima ion

hidrogen. Saat basa dilarutkan ke dalam air, keseimbangan antara ion hidrogen dan ion hidroksida menjadi bertukar ke arah sebaliknya. Dikarenakan sifat basa menyerap ion hidrogen, hasilnya merupakan suatu larutan yang memiliki lebih banyak ion hidroksida ketimbang ion hidrogen. Larutan seperti ini disebut bersifat basa atau alkali. pH adalah ukuran konsentrasi ion hidrogen dari larutan. Pengukuran pH (*Power of Hidrogen*) akan mengungkapkan jika larutan bersifat asam atau alkali (atau basa).

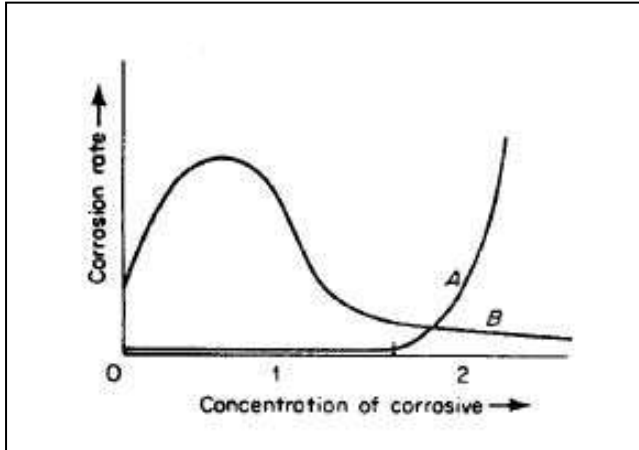
Nilai pH larutan elektrolit atau media korosi merupakan salah satu factor yang penting dan harus diperhatikan untuk melindungi logam tersebut. Ketika pH larutan semakin tinggi maka laju korosi juga akan maksimal dan kemudian akan turun. Pada larutan dengan konsentrasi tinggi sebenarnya terjadi lapisan pasif pada logam tersebut bahkan ketika konsentrasi semakin tinggi makan akan mencapai daerah imun dimana logam tidak dapat terjadi korosi.

Nilai pH larutan adalah salah satu parameter yang sangat vital dalam mekanisme korosi dalam suatu material tertentu. Nilai pH akan juga menyebabkan perubahan daerah reaksi dalam diagram *pourbaix* dimana apabila pH lebih tinggi dari 11 satuan pH dalam permulaan reaksi, maka permukaan dari material tersebut akan memebentuk lapisan pasif dengan kriteria tertentu. Lapisan pasif akan terbentuk sejalan dengan waktu (Roberge, 2008).

4. Efek *Corrosive Concentration*

Kurba efek dari konsentrasi terhadap korosi diperlihatkan pada Gambar 2.4. Pada kurva A, bagian 1. Banyak material yang mengalami pasivasi berpengaruh pada konsentrasi terhadap laju korosi. Material lain ada yang seperti material tersbut tetapi laju korosi-nya meningkat cepat seiring dengan penambahan konsentrasi (kurva A, bagian 1-2), contohnya Pb Pb-Sulfat, dimana membentuk film pelindung pada konsentrasi rendah dari asam sulfat, larut dalam konsentrat asam sulfat. Pada kurva B, jika konsentrasi ditingkatkan maka laju korosi juga meningkat. Hal ini karena jumlah ion hidrogen aktif meningkat seiring meningkatnya konsentrasi asam. Ketika konsentrasi asam terus ditambah, laju korosi akan maksimum dan kemudian berkurang. Pada konsentrasi

asam yang sangat tinggi, ionasi berkurang. Karena hal tersebut, banyak asam seperti *sulfuric*, *asetik*, *hidrofluor* dan lainnya sebenarnya *inert* ketika dalam keadaan murni (Sulistijono, 1999).



Gambar 2.4 Kurva Concentration of Corrosive Terhadap Laju Korosi (Fontana, 1987)

5. Resistivitas

Resistivitas telah digunakan sebagai indikator utama terhadap korosi pada tanah. Saat transfer ion bereaksi dengan korosi pada tanah, resistivitas tanah yang tinggi akan memperlambat reaksi korosi. Resistivitas tanah berkurang dengan meningkatnya kandungan air dan konsentrasi ion. Resistivitas tanah memiliki pengaruh yang kuat terhadap laju korosi. Tingkat kekerasan korosi pada tanah berdasarkan resistivitas tanah dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Pengaruh Resistivitas Tanah Terhadap Laju Korosifitas (Mulyono, 2017)

Soil Resistivity (Ohm cm)	Corrosivity Rating
>20.000	Essentially non Corrosive
10.000-20.000	Mildly Corrosive
5.000-10.000	Moderately Corrosive
3.000-5.000	Corrosive
1.000-3.000	Highly Corrosive
<1.000	Extremely Corrosive

Pada umumnya, resistivitas tinggi (diukur dalam ohm-cm) akan menunjukkan laju korosi yang rendah. Resistivitas tanah meningkat dari beberapa faktor, contohnya tanah dengan partikel halus memiliki resistivitas rendah sehingga memudahkan terjadinya reaksi korosi. Namun resistivitas tanah bukan satu-satunya parameter yang menyebabkan kerusakan korosi. Resistivitas tanah yang tinggi tidak menjamin keberadaan korosi.

Konduktivitas tanah merupakan hal yang penting sebagai bukti mekanisme elektrokimia yang dapat digunakan untuk kontrol laju korosi. Konduktivitas yang tinggi akan mengakibatkan laju korosi yang tinggi. Konduktivitas tanah merupakan hal penting untuk *stray-current corrosion*.

Keasaman tanah menjadi bagian dari terbentuknya asam karbonat dari karbon dioksida akibat aktivitas biologi dan air. Selain itu, keasaman tanah juga disebabkan oleh perubahan cuaca, jenis mineral tanah, hilangnya kebasaaan atau elemen asli akibat leaching, terbentuknya keasaman organik dan inorganik akibat aktivitas mikrobiologi, pengeluaran akar, polusi terhadap tanah khususnya limbah industri (Mulyono, 2017).

6. Kelembaban Tanah

Air merupakan elektrolit yang memicu reaksi elektrokimia sehingga menyebabkan korosi. Perbedaan tersebut disebabkan oleh

aliran air jenuh dan tidak jenuh pada tanah yang berhubungan dengan pergerakan air dari daerah yang basah menuju daerah yang kering. Kejenuhan air tergantung dari ukuran dan distribusi pori, tekstur, struktur, dan bahan organik.

Korosi pada tanah atau soil corrosion adalah jenis korosi aqueous dengan mekanisme elektrokimia. Namun kondisi pada tanah dapat menggeser atmosferik menjadi keadaan immersed tergantung dari kepadatan tanah dan kadar kristal air (moisture content). Walaupun mekanismenya merupakan elektrokimia, banyak karakteristik tanah yang akan meningkatkan korosifitas seperti hujan, iklim maupun reaksi pada tanah tersebut.

Pada tanah, air dibutuhkan untuk ionisasi untuk oksidasi pada permukaan logam. Air juga dibutuhkan untuk ionisasi elektrolit tanah, untuk melengkapi sirkulasi aliran arus pada aktivitas korosi. Dengan demikian, air mempunyai pengaruh dalam terjadinya korosi pada tanah.

Kelembaban tanah sangat penting terhadap mekanisme korosi, contohnya tanah yang mengandung pasir kering akan lebih tahan korosi dibandingkan tanah yang mengandung tanah liat basah. Tipe Kelembaban tanah antara lain

- 1 *Free ground water*

Air berada pada kedalaman tertentu, bervariasi dari beberapa meter hingga ratusan meter tergantung pembentukan geologi. Hanya sebagian kecil logam yang digunakan pada kondisi bawah tanah (*underground*) digunakan pada kondisi lingkungan air. Korosi pada kondisi ini adalah korosi lingkungan aqueous.

- 2 *Gravitational water*

Air masuk ke dalam tanah melalui permukaan dari hujan atau sumber lain bergerak ke bawah. Air gravitasi ini akan mengalir dengan kecepatan tertentu dipengaruhi struktur fisik meliputi pori-pori tanah pada berbagai daerah. Pada umumnya, air gravitasi ini tersaring dengan cepat hingga ke tingkat air tanah permanen.

3 *Capillary water*

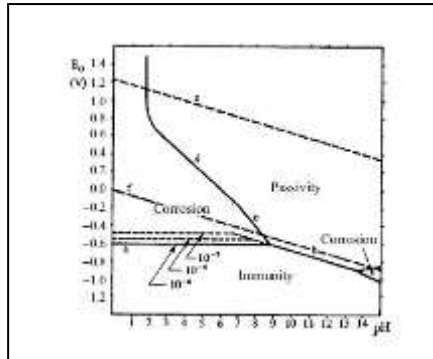
Kebanyakan tanah terdiri dari beberapa jumlah air pada ruang kapiler pada partikel lumpur dan tanah liat. Jumlah actual air tersebut dipengaruhi jenis tanah dan kondisi cuaca. Kelembaban kapiler tersebut merupakan penyimpanan air pada tanah yang akan di kirim kepada binatang maupun tumbuhan yang hidup di alamnya.

Pergerakan air dalam tanah dapat di ukur dengan mekanisme gravitasi, aksi kapilaritas, tekanan osmosis, dan interaksi elektrostatis dengan partikel tanah. Kapasitas pengikatan kelembaban dari tanah (*Moisture-holding capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mengikat air yang ada dalam (Mulyono, 2017).

2.5 Diagram *Pourbaix*

pH adalah variable penting dalam larutan, dan *pH* mempengaruhi kesetimbangan potensial dari sebagian besar reaksi yang dapat terjadi. Marcel Pourbaix menurunkan dan menampilkan potensial *pH* diagram, biasa disebut diagram kesetimbangan atau paling sering disebut *pourbaix* diagram. Diagram ini menjadi penting untuk mengilustrasikan kemungkinan-kemungkinan korosi. Adapun kegunaan dari diagram *pourbaix* adalah:

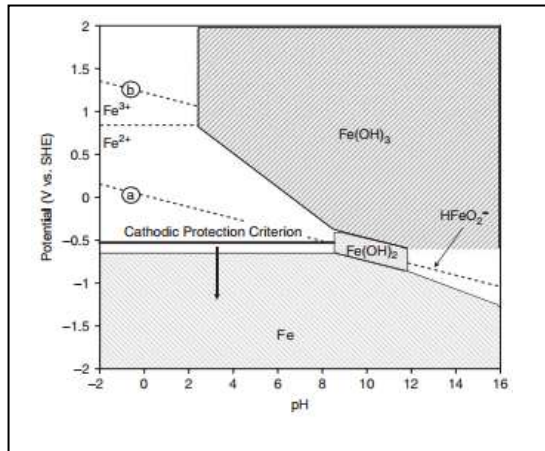
1. Untuk menunjukkan arah dari berbagai reaksi pada *pH* dan potensial tertentu.
2. Untuk memperkirakan produk korosi pada *pH* dan potensial tertentu
3. Untuk menunjukkan lingkungan *pH* dan potensial tertentu untuk mengurangi atau mencegah korosi.



Gambar 2.5 Pourbaix Diagram dari Baja Dalam Air Pada Temperatur 25°C (Bardal, 2003)

Pada Gambar 2.5 diperlihatkan diagram pourbaix dari baja dalam air pada temperatur 25°C. Validitas dari diagram ini hanya terbatas pada reaksi antara logam murni, air murni, dan spesies yang bisa terbentuk dari itu. Impuritas kecil dan *alloying* dalam logam dan zat terlarut dalam air tidak terlalu mempengaruhi diagram, tetapi pada kasus tertentu dapat mempengaruhi.

Dalam mengkaji korosi baja karbon dalam lingkungan asam asetat-ion asetat, pada pekerjaan ini diagram potensial-pH baja karbon (besi)-larutan buffer asam asetat-ion asetat disusun berdasarkan data potensiodinamik secara eksperimen. Kelebihan dari pemetaan ini adalah dapat diperoleh gambaran eksperimental mengenai karakteristik elektrokimiawi suatu baja karbon dalam lingkungan larutan asam asetat-ion asetat (Bardal, 2003).



Gambar 2.6 Pourbaix Diagram Fe (Roberge, 1999)

Gambar 2.6 merupakan diagram *pourbaix* yang membahas kelakuan korosi dan terjadinya pasifasi pada sistem terkait, karena proses korosi seringkali terjadi dalam keadaan tidak setimbang dan pada kondisi tidak standar. Garis-garis dalam diagram Pourbaix menunjukkan kondisi kesetimbangan, yaitu, di mana kegiatan yang sama, untuk spesies pada setiap sisi garis itu. Di kedua sisi dari garis, salah satu bentuk spesies sebaliknya akan dikatakan dominan. Dalam rangka untuk menarik posisi garis dengan persamaan Nernst, aktivitas spesies kimia pada kesetimbangan harus didefinisikan. Biasanya, aktivitas spesies yang diperkirakan sebagai sama dengan konsentrasi (untuk spesies larut) atau tekanan parsial (untuk gas). Nilai yang sama harus digunakan untuk semua spesies hadir dalam sistem. Selain itu, perubahan temperatur dan konsentrasi ion terlarut dalam larutan akan menggeser garis keseimbangan sesuai dengan persamaan Nernst. Diagram juga tidak mengambil efek kinetik memperhitungkan, yang berarti bahwa spesies ditampilkan sebagai stabil mungkin tidak bereaksi terhadap tingkat yang signifikan dalam praktek. Sebuah diagram Pourbaix disederhanakan menunjukkan wilayah imunitas, korosi

dan pasif bukan spesies yang stabil. Mereka dengan demikian memberikan panduan untuk stabilitas logam tertentu dalam lingkungan tertentu. Imunitas berarti bahwa logam tidak diserang, sedangkan korosi menunjukkan bahwa serangan umum akan terjadi. Namun pada pemetaan ini, diagram potensial- pH tidak dapat mencakup seluruh daerah pH , karena terbatas oleh trayek rentang pH sistem buffer. Walaupun demikian, rentang pH 3,22-9,03 adalah salah satu daerah pH penting dalam kajian korosi baja karbon, karena daerah itu meliputi sebagian besar daerah peralihan korosi aktif ke keadaan pasif (Roberge, 1999).

2.6 Proteksi Katodik

Korosi terjadi di mana (positif) arus saat ini dari logam untuk elektrolit pada anoda. Tujuan dari proteksi katodik adalah memaksa permukaan struktur untuk bertindak sebagai katoda. Itu artinya arus akan masuk pada titik-titik ini ke struktur, bukannya pergi dari tempat itu. Arus langsung mengalir dari titik anodik ke dalam perjalanan tanah melalui tanah (elektrolit) ke daerah katodik. Merancang Sistem proteksi katodik melibatkan berbagai langkah. Ada dua cara struktur dibuat positif:

1. Dengan menggunakan anoda korban di mana saat ini dihasilkan karena potensi (Galvanis) perbedaan antara bahan anoda dan bahan struktur. Bahan anoda aktif dan berkarat, sedangkan strukturnya katodik dalam kaitannya dengan anoda dan dilindungi dari korosi. Anoda terbuat dari aluminium, seng, magnesium, atau beberapa paduan terkontrol dekat yang paling cocok untuk lingkungan tertentu.
2. Dalam sistem saat ini terkesan sumber eksternal digunakan untuk mengesankan arus positif pada struktur untuk membuatnya katodik di tanah. Tekungan tanah anoda tidak tergantung sebagai sumber energi listrik. Sebaliknya, sebuah sumber eksternal daya arus langsung terhubung antara struktur yang harus dilindungi dan *ground bed*. Sumber daya beragam dan dipilih berdasarkan

ketersediaan dan kesesuaian mereka dengan kondisi dan biaya.

Ada sejumlah teknik untuk memverifikasi apakah sistem itu kerja.

1. Pengukuran struktur terhadap potensi lingkungan.
2. Uji kupon dan pengukuran penurunan berat badan.
3. Perubahan potensial antara saat ini diterapkan dan ketika saat ini tidak diterapkan (Singh,2014).

2.7 Sacrificial Anode Cathodic Protection (SACP)

Proteksi katodik yang menggunakan metode anoda korban (*sacrificial anode*) merupakan aplikasi yang sederhana dari sel korosi logam. Ketika pipeline baja dihubungkan secara elektrik ke logam yang kurang mulia dalam deret *Volta/electromotive force series* (EMF), dan keduanya berada pada sebuah elektrolit konduktif (seperti tanah), logam yang aktif akan terkorosi dan mengeluarkan arus dalam proses tersebut. Pipa yang terlapis dengan baik akan memerlukan arus proteksi yang kecil (Yulianto, 2008).

Sistem anoda korban secara umum digunakan untuk melindungi struktur dimana kebutuhan arus proteksinya kecil dan resistivitas tanah rendah. Di samping itu sistem ini juga digunakan untuk keperluan dan kondisi yang lebih spesifik seperti.

1. Untuk memproteksi struktur dimana sumber listrik tidak tersedia.
2. Memproteksi struktur yang kebutuhan arusnya relative kecil, yang jika ditinjau dari segi ekonomi akan lebih menguntungkan dibandingkan dengan sistem arus tanding.
3. Memproteksi pada daerah *hot spot* yang tidak dilapis, misalnya pada daerah dimana ada indikasi aktifitas korosi yang cukup tinggi.
4. Untuk mensuplemen sistem arus tanding, jika dipandang arus proteksi yang ada kurang memadai. Ini biasanya terjadi pada daerah yang resistivitas tanahnya rendah seperti daerah rawa.

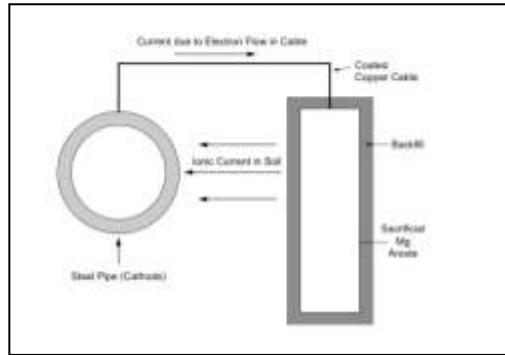
5. Untuk mengurangi efek interferensi yang disebabkan oleh sistem arus tanding atau sumber arus searah lainnya.
6. Untuk memproteksi pipa yang dilapisi dengan baik, sehingga kebutuhan arus proteksi relatif kecil.
7. Untuk memperoteksi sementara selama kontruksi pipa hingga sistem arus tanding terpasang.
8. Untuk memperoteksi pipa bawah laut, yang biasanya menggunakan bracelet anode dengan cara ditempelkan pada pipa yang di lapisi.

Ada beberapa keuntungan yang diperoleh jika menggunakan sistem anoda korban diantaranya:

1. Tidak memerlukan arus tambahan dari luar, karena arus proteksi berasal dari anodanya itu sendiri.
2. Pemasangan dilapangan relatif lebih sederhana.
3. Perawatannya mudah.
4. Ditinjau dari segi biaya, sistem ini lebih murah disbanding sistem arus tanding.
5. Kemungkinan menimbulkan efek interferensi kecil.
6. Kebutuhan material untuk sitem anoda korban relatif sedikit yaitu anoda, kabel dan *test box*.

Kelemahan proteksi katodik dengan anoda korban dibandingkan dengan sistem arus tanding adalah *driving voltage* dari sistem ini relatif rendah karena arus proteksi hanya terjadi dari reaksi galvanis material itu sendiri sehingga sistem ini hanya dapat digunakan untuk memproteksi struktur yang arus proteksinya relatif kecil dan resistivitas lingkungan rendah. Karena kondisi yang demikian itu, sistem ini akan menjadi kurang ekonomis jika dipakai unguak keperluan memproteksi struktur yang relatif besar. Pada Gambar 2.7 diperlihatkan skema dari proteksi katodik anoda korban.

Kemampuan untuk mengontrol variabel efek arus sesaat terhadap struktur yang diproteksi relatif kecil (Peabody, 2001).



Gambar 2.7 Skema dari SACP (Roberge, 1999)

2.8 Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)

Perlindungan katodik juga dapat diterapkan dengan menghubungkan logam yang akan dilindungi menggunakan sumber arus searah (DC) ketika anoda tambahan terhubung ke terminal positif. Dalam ICCP tidak perlu lagi anoda aktif didalam sistem yang digunakan. Pada dasarnya ada tiga jenis anoda yaitu inert atau anoda yang tidak dapat dikonsumsi, anoda yang dapat dikonsumsi dan Konsumsi anoda. Logam tersebut secara efektif terpolarisasi ke potensi negatif yang tinggi sehingga membuatnya kebal terhadap korosi. Jenis-jenis anoda yang dipakai untuk penggunaan sistem ICCP dapat dilihat pada Tabel 2.2 (Chattoraj, 1995).

Sistem ini bekerja dengan cara pemberian arus melalui sumber eksternal sehingga metode ini disebut metode impressed current. Kelebihan sistem *Imressed Current*

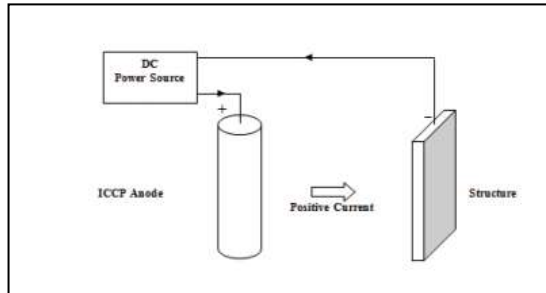
1. Memiliki driving force yang besar, sehingga dapat digunakan untuk struktur yang besar.
2. *Uncoated*, yang berada dalam lingkungan resistivitas yang tinggi, hanya memerlukan beberapa anoda.
3. Relatif lebih sedikit dibandingkan metode anoda korban.

4. Selain itu dengan metode arus tanding ini dapat diatur jika ada perubahan kondisi lingkungan dan coating.
Adapun kekurangan dari sistem *Impressed Current*
 1. Arus baru berfungsi melindungi kalau dapat mengalir pada benda yang akan dilindungi.
 2. Arus harus dapat mengalir melalui penghantar (misalnya, air, atau tanah basah). Arus tidak akan mengalir di udara maupun tanah/ pasir yang kering
 3. Hubungan arus tidak boleh terbalik, Apabila pemasangan hubungan positif pada struktur yang dilindungi dan negatif pada ground bed, maka struktur justru akan berkorosi lebih cepat dari pada tanpa dilindungi (Supomo, 1995).

Tabel 2.2 Laju Pengausan Sistem ICCP (Supomo, 1995)

Material anoda	Aplikasi khusus	Typical Loss (Lb/A.Y)
Scrap steel	Tanah ,air tawar/laut	20
Alumunium	Tanah ,air tawar/laut	10-12
Grafit	Tanah ,air tawar	0,25-5.0
High Silicone iron	Tanah ,air tawar/laut	0,25-5.0
Timah	Laut	0.1-0.25
Platinum titanium	Laut	-

Pada Gambar 2.8 diperlihatkan skema dari proteksi katodik arus paksa atau yang biasa disebut ICCP.



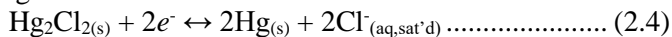
Gambar 2.8 Skema dari ICCP (Roberge, 1999)

2.9 Elektroda *Reference*

Elektroda hidrogen merupakan yang paling bisa diterima secara universal sebagai standart primer terhadap semua elektroda. Pada penentuan potensial elektroda digunakan elektroda *reference* yang sudah diketahui potensial elektroda mengacu pada SHE. Pada pengujian nanti akan didapatkan potensial elektroda logam yang baru (M) mengacu pada potensial elektroda *reference* (ref).

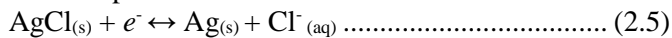
Pada umumnya SHE pada Gambar 2.9 adalah elektroda referen yang digunakan dalam menentukan potensial elektroda, tetapi elektroda *reference* ini tidak umum digunakan dalam laboratorium. Selain menggunakan elektroda hidrogen, elektroda referen lainnya lebih banyak digunakan dalam laboratorium.

Setengah reaksi dari SCE :



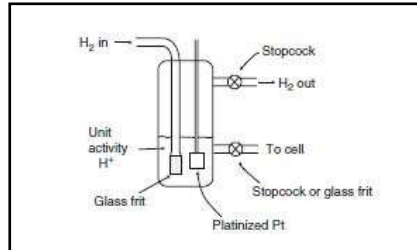
Potensial elektroda dalam kondisi 25°C adalah $E = +0,242$ V. Reaksi dari elektroda ini dapat dilihat pada Persamaan 2.4.

Potensial *reference* lainnya yang luas digunakan adalah elektroda *reference* perak-perak klorida, dan setengah reaksinya diperlihatkan pada Persamaan 2.5.

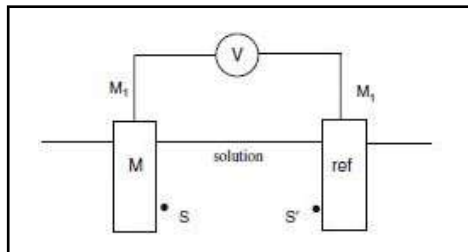


Pada bentuk umumnya, elektroda perak-perak klorida mengandung AgCl padat yang dilapisi paa kawat perak dicelupkan

di alam larutan 4M KCl ditambah AgCl. Potensial elektroda pada kondisi 25°C adalah $E = +0,222 \text{ V}$. (McCafferty, 2010)

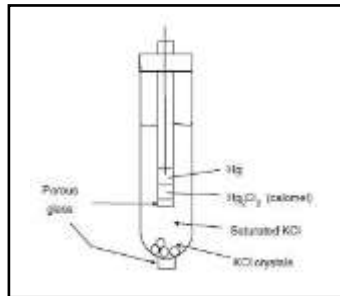


Gambar 2.9 Standart Hydrogen Reference Electrode (SHE)
(McCafferty, 2010)

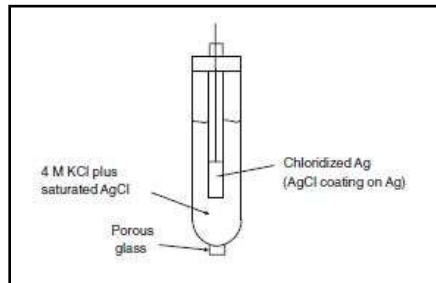


Gambar 2.10 Pengujian Menggunakan Elektroda Reference
(McCafferty, 2010)

Pada Gambar 2.10 diperlihatkan cara kerja dari sebuah elektroda reference dalam mengukur beda potensial. Kemudian pada Gambar 2.12 diperlihatkan salah satu elektroda reference yaitu elektroda perak/perak klorida yang sering digunakan dalam pengukuran beda potensial. Saturated Calomel Electrode (SCE) yang diperlihatkan pada Gambar 2.11 yang pada umumnya digunakan pada larutan klorin.



Gambar 2.11 Saturated Calomel Reference Electrode
(McCafferty, 2010)



Gambar 2.12 Elektroda Reference Perak/Perak Klorida
(McCafferty, 2010)

2.10 Baterai

Baterai atau akkumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversible (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia reversibel adalah didalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda - elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan

didalam sel. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia (Chamma, 2015).

Terdapat 2 jenis baterai berdasarkan pada proses yang terjadi, yaitu.

1. *Primary battery*

Baterai yang hanya dapat digunakan sekali saja dan dibuang. Material elektrodanya tidak dapat berkebalikan arah ketika dilepaskan.

2. *Secondary battery*

Baterai yang dapat digunakan dan diisi ulang beberapa kali, proses kimia yang terjadi di dalam baterai ada reversibel, dan bahan aktif dapat kembali ke kondisi semula dengan pengisian sel.

Baterai sekunder sendiri terdapat banyak jenisnya di pasaran, antara lain.

1. Baterai ion litium (Li-ion atau LIB)

Di dalam baterai ini, ion litium bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan, dan kembali saat diisi ulang. Baterai Li-ion memakai senyawa litium interkalasi sebagai bahan elektrodanya, berbeda dengan litium metalik yang dipakai di baterai litium non-isi ulang. Baterai ion litium umumnya dijumpai pada barangbarang elektronik konsumen. Baterai ini merupakan jenis baterai isi ulang yang paling populer untuk peralatan elektronik portabel, karena memiliki salah satu kepadatan energi terbaik, tanpa efek memori dan mengalami kehilangan isi yang lambat saat tidak digunakan. Selain digunakan pada peralatan elektronik konsumen, LIB juga sering digunakan oleh industri militer, kendaraan listrik, dan dirgantara. Sejumlah penelitian berusaha memperbaiki teknologi LIB tradisional, berfokus pada kepadatan energi, daya tahan, biaya, dan keselamatan intrinsik.

2. Baterai Lithium Polymer (Li-Po)

Hampir sama dengan baterai Li- Ion akan tetapi baterai Li-Po tidak menggunakan cairan sebagai elektrolit melainkan menggunakan elektrolit polimer kering yang berbentuk

seperti lapisan plastik film tipis. Lapisan film ini disusun berlapis-lapis diantara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion. Dengan metode ini baterai LiPo dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran. Diluar dari kelebihan arsitektur baterai LiPo, terdapat juga kekurangan yaitu lemahnya aliran pertukaran ion yang terjadi melalui elektrolit polimer kering. Hal ini menyebabkan penurunan pada charging dan discharging rate. Masalah ini sebenarnya bisa diatasi dengan memanaskan baterai sehingga menyebabkan pertukaran ion menjadi lebih cepat, namun metode ini dianggap tidak dapat untuk diaplikasikan pada keadaan sehari hari.

3. Baterai Lead Acid (Accu)

Baterai Lead Acid atau biasa disebut aki merupakan salah satu jenis baterai yang menggunakan asam timbal (lead acid) sebagai bahan kimianya. Secara umum terdapat dua jenis baterai leadacid, yaitu : (a). *Starting Battery*, dan (b). *Deep Cycle Battery*.

4. Baterai Nickel-Metal Hydride (Ni-MH)

Baterai jenis ini dibuat engan komponen yang lebih terjangkau dan ramah lingkungan. Baterai Ni-MH menggunakan ion hidrogen untuk menyimpan energi, tidak seperti baterai lithium ion yang menggunakan ion lithium. Baterai Ni-MH terdiri dari campuran nikel dan logam lain seperti titanium. Baterai ini biasanya mengandung pula komponen logam lain seperti mangan, aluminium, kobalt, zirconium, dan vanadium. Logamlogam tersebut pada umumnya berfungsi sebagai penangkap ion hidrogen yang dilepaskan untuk memastikan tidak mencapai fase gas.

Banyaknya jenis baterai sekunder yang ada dipasaran maka diperlukan kajian untuk mendapatkan jenis baterai terbaik dan sesuai dengan kebutuhan untuk mobil listrik. Menurut Albright, (2012) dalam penelitiannya mengenai perbandingan antara Lead Acid dan Lithium-Ion dalam aplikasi penyimpanan stasionari menyebutkan bahwa pada saat ini baterai Lithium-Ion merupakan

baterai yang lebih baik untuk digunakan dalam berbagai situasi, khususnya pada iklim panas, meskipun memiliki biaya awal yang lebih tinggi. Selain itu, baterai Lithium-Ion memiliki efisiensi yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan baterai Lead Acid.

Menurut Fendy, (2012) dalam penelitiannya tentang karakteristik Baterai Lithium-Polymer menyebutkan bahwa baterai jenis Lithium-Polymer memiliki standar yang lebih baik bila dibandingkan dengan baterai NiMH seperti memiliki massa yang lebih ringan dan tersedia dalam berbagai macam bentuk, memiliki kapasitas penyimpanan energi listrik yang besar, serta memiliki tingkat discharge rate energi yang tinggi. Menurut Suppo, (2014) dalam jurnalnya mengenai perbandingan antara baterai LithiumIon dengan Baterai Nickel-Metal Hydrade menjelaskan bahwa baterai Li-on merupakan pilihan terbaik apabila dilihat dari segi massa baterai karena memiliki massa yang ringan. Sedangkan apabila dilihat dari segi keamanan dan ekonomi baterai Ni-MH merupakan pilihan yang terbaik.

2.11 Rectifier

Teori Umum Penyearah (Rectifier) adalah alat yang digunakan untuk mengubah sumber arus bolak-balik (Alternating Curent) menjadi sinyal sumber arus searah (Direct Curent). Tujuan dari penggunaan rectifier yang teregulasi adalah untuk mendapatkan tegangan keluaran yang konstan bila ada perubahan arus beban ataupun inputan (AC) yang jelek sekalipun, serta batterai sebagai penyimpanan tenaga listrik bila tegangan (AC) *cutover*. Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah diode yang dikonfigursikan secara forward bias. Dalam sebuah power supply tegangan rendah, sebelum tegangan AC tersebut di ubah menjadi tegangan DC maka tegangan AC tersebut perlu di turunkan menggunakan transformator stepdown. Ada 3 bagian utama dalam penyearah gelombang pada suatu power supply yaitu, penurun tegangan (transformer) (Thowil, 2015).

Terdapat beberapa jenis rectifier yang dapat digunakan untuk menyearahkan arus yaitu.

1. Rectifier satu fasa

Rectifier 1 fasa adalah rectifier yang rangkaian inputnya menggunakan AC suplai 1 fasa. Rectifier jenis inilah yang dipergunakan pada gardu yang ada di peralatan SCADATEL. Rectifier akan bekerja apabila diberikan tegangan sekitar 220 VAC. Tegangan tersebut dihasilkan dan tegangan pada SKTM (20kV) yang diturunkan melalui trafo distribusi menjadi 220VAC dengan cara penyambungan fasa (R/S/T) ke N (netral) kemudian disearahkan menggunakan rectifier menjadi 48 sehingga beban dapat dicatu.

2. Rectifier tiga fasa

Rectifier 3 fasa adalah rectifier yang rangkaian inputnya menggunakan AC suplai 3 fasa (380 VAC). Agar dapat menghasilkan tegangan sebesar 380 VAC, maka proses penyambungannya yaitu dengan konfigurasi fasa ke fasa (R-S/ R-T/ T-R), sehingga rectifier 3 fasa ini dapat bekerja. Hanya saja rectifier 3 fasa tidak dipergunakan pada jaringan SCADATEL.

Sumber AC baik 1 fasa maupun 3 fasa masuk melalui terminal input rectifier itu ke trafo step-down dan tegangan 220V / 380V menjadi tegangan DC 48V dengan sedikit *ripple*. Sehingga untuk memperbaiki *ripple* / gelombang DC yang terjadi diperlukan suatu rangkaian penyaring (filter) yang dipasang sebelum ke terminal *output*.

2.12 Backfill pada Proteksi Katodik

Backfill adalah bahan ditempatkan dalam lubang untuk mengisi ruang di sekitar anoda, melampiaskan pipa, dan komponen yang terkubur dari sistem perlindungan katodik. Keuntungan penggunaan *backfill* salah satunya adalah menyeragamkan lingkungan untuk perlindungan katodik dan mengefiseinsikan penggunaan anoda. Dengan adanya *backfill* anoda tidak mengalami kontak langsung dengan lingkungan sehingga anoda terisolasi. *Backfill* yang biasanya digunakan terbagi menjadi dua yaitu *chemical backfill* dan *carbonaceous backfill* (Brady,2016).

1. *Chemical Backfill*

Backfill ini biasanya digunakan untuk perlindungan katodik SACP (anoda korban). Campuran dari *backfill* ini terdiri dari 75% bubuk gipsum terhidrasi (kalsium sulfat), 20 % tanah bentonit dan 5 % natrium sulfat. Bentonit menyerap, membuat kontak yang baik antara tanah dan anoda serta mengurangi *groundbed resistance*. Pada tanah yang memiliki kadar air yang rendah campuran *backfill* yang digunakan yaitu 75% bentonit dan 25 % gipsum. Pada anoda zinc *backfill* yang cocok adalah *molding plaster* 50 % dan 50 % bentonit.

2. *Carbonaceous Backfill*

Pada perlindungan katodik ICCP (arus paksa) *backfill* yang digunakan berbahan karbon. Bahan yang biasanya digunakan *backfill* adalah *coke breeze*, *natural graphite* dan *calcined petroleum coke*. Pemberian *backfill* ini bertujuan untuk mengurangi *groundbed resistance* dan mengurangi reaksi oksidasi pada permukaan.

2.13 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Rahadian Eka dengan judul penelitian “Perancangan Sistsm Proteksi Katodik Arus Paksa Pada Pipa Baja API 5L Grade B Dengan Kedalaman Tanah yang Berbeda dan Variasi Jarak Anoda”. Pada penelitian sebelumnya katoda yang digunakan adalah baja API 5L Grade B dan anoda grafit. Penelitian ini dilakukan pada kedalaman tanah yang berbeda yaitu 30 cm dan 150 cm. Kemudian pada penelitian ini dilakukan dengan perbedaan jarak anoda yaitu 50 cm, 100 cm dan 150 cm dari katoda. Pada penelitian sebelumnya dilakukan preparasi sampal pipa baja dan melakukan perhitungan desain proteksi. Setelah itu dilakukan pengukuran resistivitas tanah. Kemudian dilakukan intalasi pipa baja API 5L grade B sesuai dengan standar. Acuan standar yang digunakan dalam penelitian sebelumnya antara lain :

1. DnV RP-B401 *Cathodic Protection Design*

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

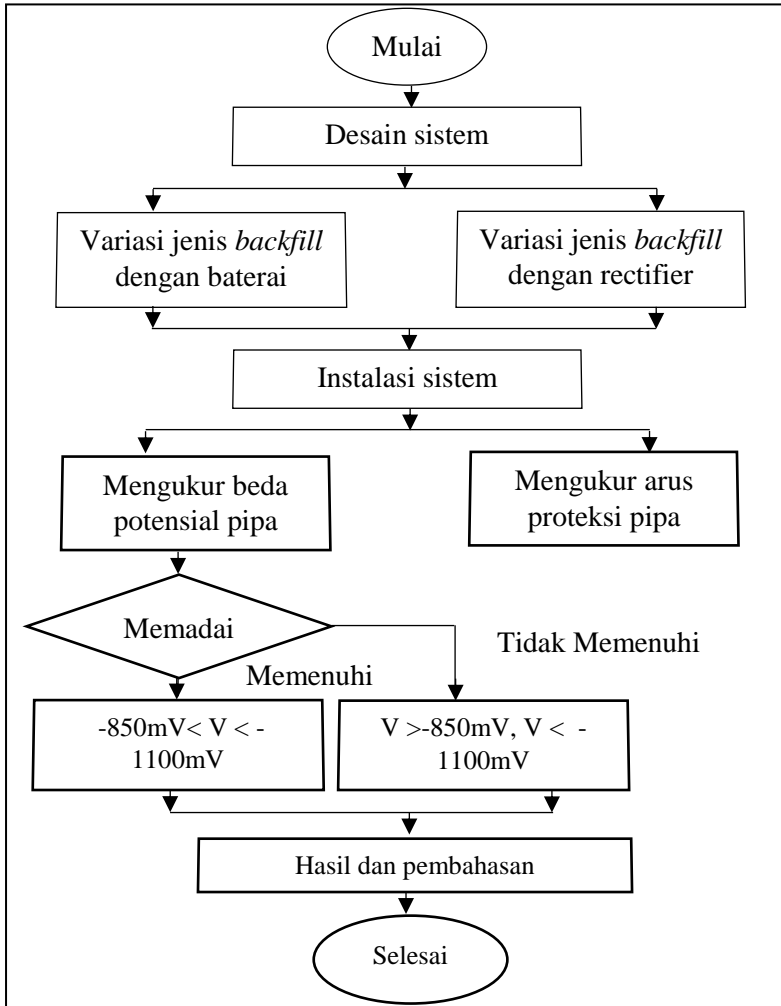
Sebelum pipa diproteksi menggunakan proteksi katodik arus paksa, dilakukan pengukuran potensial pipa ke tanah dengan menggunakan elektroda reference. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui potensial pipa sebelum diproteksi. Dari penelitian ini ingin diketahui arus proteksi dari masing-masing pipa yang diproteksi.

Dari penelitian sebelumnya didapatkan bahwa arus proteksi yang dibutuhkan akan meningkat ketika kedalaman tanah semakin dalam. Kemudian semakin jauh anoda dari katoda maka kebutuhan arus proteksi semakin besar

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada perancangan proteksi katodik arus paksa pada pipa baja API 5L grade B dengan variasi anoda *backfill* yaitu :

Pipa baja API 5L grade B

1. Anoda grafit
2. *Coal coke breeze backfill*
3. *Petroleum coke breeze backfill*
4. *Chemical backfill*

3.3 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada perancangan proteksi katodik arus paksa pada pipa API 5L grade B dengan variasi anoda *backfill* yaitu :

1. Transformator rectifier
2. *Electroda Reference Cu/CuSO₄*
3. Multitester
4. Kabel tembaga
5. Baterai

3.4 Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian perancangan katodik arus paksa pada pipa baja API 5L grade B dengan variasi anoda *backfill*, sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data
 2. Menetapkan kriteria desain
Perancangan sistem proteksi katodik menerapkan kriteria sebagai berikut :
 - 1) Limit positif potensial : -850 mV
 - 2) Limit negatif potensial : -1100 mV
 - 3) *Electrode reference Cu/CuSO₄*
 3. Standart desain pengujian
Standart yang digunakan dalam perancangan sistem proteksi katodik ini mengacu pada :
 - 1) DnV RP-B401 *Cathodic Protection Design*
-

-
- 2) ASTM G-57 *Field Measurement of Soil Resistivity Using The Wenner Four – Electrode Method*
 - 3) Technical Memorandum No. MERL-2012-40 *Guidelines for Field Instalation of Corrosion Monitoring and Cathodic Protection System*
 4. Menyiapkan anoda
Berikut adalah spesifikasi dari material pipa yang dijadikan sebagai katoda.
Material pipa : *Low Carbon Steel*
Jenis pipa : API 5L Grade B
Panjang pipa : 0,5 meter
Diameter Luar : 0,0761 meter
Diameter Dalam : 0,0703
Kedalaman Tanah : 0,3 meter
 5. Menyiapkan pipa baja API 5L
Komposisi kandungan katoda yang akan digunakan tugas akhir ini terlebih dahulu dilakukan pengujian *optical emission spectroscopy*.
 6. Menghitung desain proteksi katodik arus paksa
 - 1) Luas permukaan pipa (A_p)
 $A_p = \pi D t$
 A_p = Luas permukaan pipa
 π = 3.14
 D = Diameter pipa
 T = Panjang pipa
 - 2) 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
 - 3) Kebutuhan arus proteksi (I_p)
 $I_p = A_p C_d I$
 I_p = Kebutuhan arus proteksi
 A_p = Luas permukaan yang akan diproteksi
-

Cd = Rapat arus pipa tanpa *coating*

I = Toleransi 20%

4) Arus keluaran anoda (Ip)

IE = Aa Cd_a

IE = Keluaran arus anoda

Aa = Luas permukaan anoda

Cd_a = Rapat arus anoda

7. 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.

- 1) Menancapkan empat pin tembaga ke dalam tanah dalam satu garis lurus dengan jarak antar pin tembaga harus sama. Empat buah pin tembaga tersebut juga harus tertanam dengan kedalaman yang sama.
 - 2) Menghubungkan dua pin terluar dengan sumber pensuplai arus. Dua pin dibagian dalam dihubungkan dengan multimeter untuk mengukur resistivitas tanah.
 - 3) Dua terluar merupakan elektroda arus, sedangkan dua pin pada bagian dalam merupakan elektroda potensidal yang mengukur penurunan potensial yang mengukur penurunan potensial karena adanya hambatan dari elektrolit.
 - 4) Mengukur nilai hambatan secara langsung menggunakan persamaan.

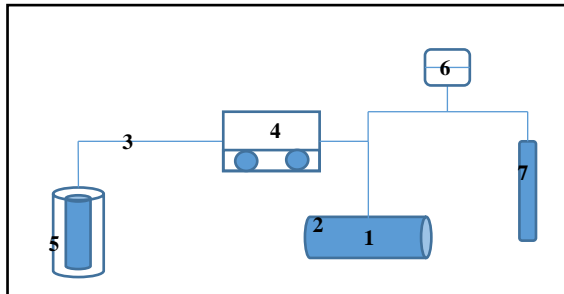
$$\rho = 2 \pi a R$$

ρ = Resistivitas tanah (ohm.m)
 a = Jarak antar pin (m)
 R = Hambatan (ohm)
8. Memasang sistem ICCP didalam tanah

- 1) Instalasi dilakukan dengan variasi *backfill* menggunakan rectifier pada pipa baja API 5L grade B yang berbeda yaitu; tanpa *backfill*, *coal coke breeze backfill*, *backfill* dan *backfill* selama 15 hari. Pada percobaan menggunakan rectifier, hasil arus dapat dibaca pada rectifier namun tidak dapat ditampilkan secara detail oleh rectifier. Sehingga rangkaian ditambahkan potensio meter untuk mengatur tegangan yang masuk dari rectifier lebih mendetail dan dihubungkan dengan multimeter sehingga arus yang masuk dapat diketahui.
- 2) Instalasi dilakukan dengan variasi *backfill* menggunakan baterai pada pipa baja API 5L grade B yang berbeda yaitu; tanpa *backfill*, *coal coke breeze backfill*, *backfill* dan *backfill* selama 15 hari. Pada percobaan menggunakan baterai, karena baterai yang digunakan tidak memiliki alat untuk mengatur tegangan yang diinginkan maka baterai ditambahkan *buck converter step down dc-dc* untuk mengatur tegangan yang masuk sekaligus memperkecil tegangan dari baterai agar tidak terjadi kelebihan tegangan pada rangkaian proteksi katodik. Pada Gambar 3.2 diperlihatkan *buck converter* dan potensiometer



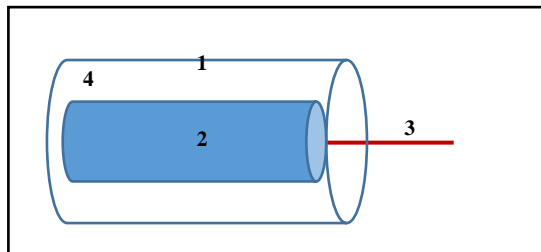
Gambar 3.2 *Buck Converter Step Down Dc-Dc* dan Potensio Meter



Gambar 3.3 Desain Proteksi Katodik Arus Paksa Menggunakan Backfill

Keterangan pada Gambar 3.3.

1. Pipa baja API 5L grade B
2. Anoda grafit
3. Kabel tembaga
4. Rectifier atau baterai
5. *Backfill*
6. *Multitester*
7. Elektroda *reference* / CuSO_4



Gambar 3.4 Anoda yang Dilapisi Backfill

Keterangan pada Gambar 3.4.

1. Katung katun
2. Anoda grafit
3. Kabel tembaga
4. *Backfill*

-
9. Mengukur beda potensial awal pada katoda
Sebelum dilakukan pengujian potensial proteksi, dilakukan pengukuran potensial pipa awal sebelum diberi arus proteksi, dimana potensial pipa awal sebesar -566 mv.
 10. Mengukur arus proteksi pada katoda
Setelah desain proteksi ditanam didalam tanah kemudian arus dialirkan dari rectifier atau baterai. Kemudian arus yang mengalir diukur untuk mengetahui arus proteksi yang mengalir kedalam katoda.
 11. Mengukur beda potensial proteksi pada katoda
Mengukur arus proteksi pada instalasi pipa dalam rentang potensial proteksi yaitu sekitar -850mV sampai -1100 mV.
 12. Analisa Hasil
Menganalisa arus proteksi dan beda potensial pada pipa baja API 5L grade B menggunakan arus dari rectifier dan baterai.
 13. Kesimpulan
Menyimpulkan arus proteksi yang dibutuhkan dan potensial proteksi yang teukur pada pipa baja API 5L grade B menggunakan arus dari rectifier dan baterai.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Desain Proteksi

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 :

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan pipa (Ap)} \\ \text{Ap} &= \pi D t \\ &= 3,14 \times 0,0761 \times 0,5 \\ &= 0.12 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Keterangan

$$\begin{aligned} \text{Ap} &= \text{Luas permukaan pipa} \\ \pi &= 3,14 \\ D &= \text{Diameter pipa} \\ T &= \text{Panjang pipa} \end{aligned}$$

2. Luas permukaan yang akan diproteksi

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.

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan anoda} \\ \text{Aa} &= (\pi D t) + 2 (\pi D) \\ &= (3,14 \times 3 \times 5) + 2 (3,14 \times 3) \\ &= 0.19 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Keterangan

$$\begin{aligned} \text{Aa} &= \text{Luas permukaan anoda} \\ \pi &= 3.14 \end{aligned}$$

D = Diameter anoda

T = Panjang anoda

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/m^2 (IEEE-ERCSA). Kebutuhan arus proteksi pipa dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

Kebutuhan arus proteksi

$$\begin{aligned} I_p &= A_p C_d 1,2 \\ &= x 20 x 1,2 \\ &= 2,88 \text{ mA} \end{aligned}$$

Keterangan

I_p = Kebutuhan arus proteksi

A_p = Luas permukaan yang akan diproteksi

C_d = Rapat arus pipa tanpa coating

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 $2.5 - 10 \text{ A/m}^2$. Keluaran arus anoda dapat dihitung dengan cara sebagai berikut

Arus keluaran anoda (I_p)

$$\begin{aligned} IE &= A_a C_{d_a} \\ &= 0.19 x 6.5 \\ &= 1.235 \end{aligned}$$

Keterangan

IE = Keluaran arus anoda

A_a = Luas permukaan anoda

C_{d_a} = Rapat arus anoda

5. Resistivitas Tanah

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 *Standart 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 0,3 m. Jarak 0,3 m dikarenakan kondisi kedalaman untuk menanam pipa yaitu 0,3 m dan dalam standart ASTM G57 *Standart Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using The Wenner Four - Electrode Method* jarak pin untuk pengukuran resistivitas disesuaikan dengan kedalaman pipa yang akan ditanam. Pengukuran resistivitas tanah yang diukur dalam tugas akhir ini dilakukan selama 23 hari pengukuran terbagi dalam 18 pengukuran dengan kondisi kering dan 5 pengukuran dengan kondisi basah. perhitungan resistivitas tanah dapat diurai sebagai berikut :

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

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

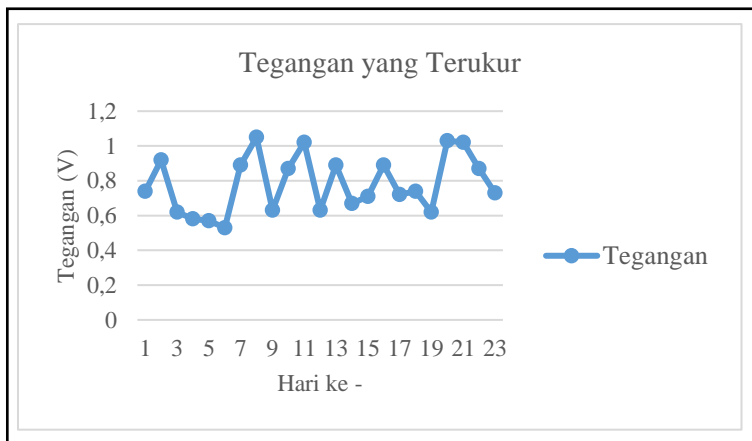
Pada pengukuran resistivitas pada tanah pada hari pertama didapati arus listrik yang mengalir yaitu 0,35 A, tegangan 0,74 V terlihat dari grafik pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2, hambatan 2,11 ohm dan didapati resistivitas 3,98 ohm.m. Kemudian pada hari kedua arus listrik dan tegangan bernilai 0,92 A dan 0,42 sehingga hambatan dan resistivitas 2,19 ohm dan 4,13 ohm.m. Kemudian pada hari ketiga arus dan tegangan turun kembali. Jarak nilai kenaikan arus dan tegangan dari hari pertama hingga hari ke-11 berada di rata-rata nilai 0,37 A dan 0,77 V sehingga rata-rata hambatan dan resistivitas tanah yang didapatkan bernilai 2,04 ohm dan 3,83 ohm.m dengan kondisi tanah yang kering. Pada hari ke-

12 arus yang diterukur mengalami kenaikan yaitu dari 0,51 A menjadi 0,92 A dan tegangan yang terukur turun dari 1,02 V menjadi 0,63 V sehingga hambatan yang terukur turun dari 2 ohm menjadi 0,68 ohm. Resistivitas pada hari ke-12 mengalami penurunan dari 3,77 ohm.m pada hari ke-11 menjadi 1,29 ohm.m. Pada kondisi basah didapati bahwa resistivitas tanah akan menurun sehingga konduktivitas pada tanah naik dan hal ini dibuktikan dengan kenaikan arus yang ada pada hari ke-12 hingga hari ke-16. Arus yang terukur pada kondisi tanah basah dari hari ke-12 hingga hari ke-15 naik dengan rata-rata 0,88 A. Hari ke-16 arus mengalami penurunan dari 0,81 A pada hari ke-15 menjadi 0,62 A, hal ini dikarenakan kondisi tanah mulai kering dan tidak basah. Sehingga resistivitas kembali naik pada hari ke-16 yaitu dari 1,65 ohm.m pada hari ke-15 menjadi 2,7 ohm.m. Setelah hari ke-16 kondisi tanah menjadi kering dan arus mengalami penurunan dari 0,62 A menjadi 0,51 A pada hari ke-17 dan tegangan juga turun dari 0,89 V pada hari ke-16 menjadi 0,72 V pada hari ke-17. Hambatan yang terukur juga mengalami penurunan namun tidak terlalu besar yaitu 1,44 ohm pada hari ke-16 menjadi 1,41 ohm pada hari ke-17. Namun resistivitas tanah tidak mengalami kenaikan yaitu dari 2,7 ohm.m pada hari ke-16 menjadi 2,66 ohm.m hal ini dikarenakan kondisi tanah mulai kering pada hari ke-16. Pada hari ke-17 hingga hari ke-23 kondisi tanah kering dan nilai rata-rata yang terukur yaitu 0,81 A pada arus, 0,42 V pada tegangan, 1,97 ohm pada hambatan dan resistivitas tanah yang terukur yaitu 3,72 ohm.m.

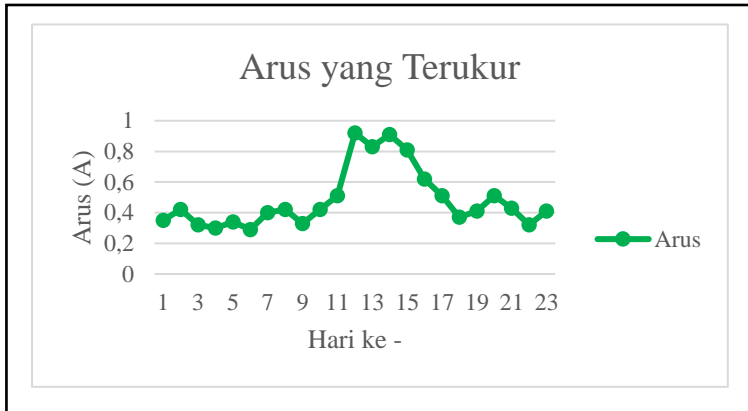
Pada pengukuran resistivitas tanah arus paling besar yang terukur yaitu pada hari ke-12 yaitu 0,92 A pada kondisi tanah basah, kemudian hambatan paling besar yang terukur yaitu 2,72 ohm pada hari ke-22 pada kondisi pada tanah basah, Resistivitas tanah paling besar yang terukur yaitu 5,12 ohm.m pada hari ke-22 dengan kondisi tanah kering. Arus yang paling kecil yang terukur yaitu 0,29 A pada hari ke-6 pada kondisi tanah kering, kemudian hambatan terkecil yang terukur yaitu 0,68 ohm pada hari ke-12 pada kondisi tanah basah dan resistivitas tanah paling kecil yang

terukur yaitu 1,29 ohm.m pada hari ke-12 dengan kondisi tanah basah. Grafik resistivitas tanah dapat dilihat pada Gambar 4.3.

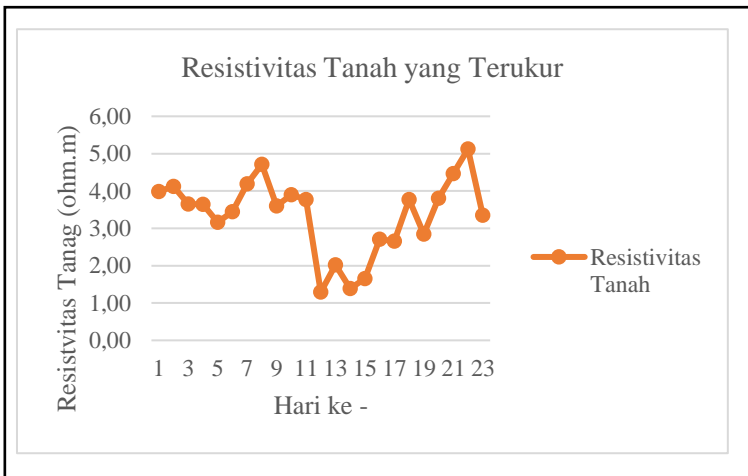
Resistivitas sering digunakan sebagai indikator luas korosifitas tanah. Karena aliran arus ionik dikaitkan dengan reaksi korosi tanah, resistivitas tanah yang tinggi dapat dibidang memperlambat reaksi korosi. Resistivitas tanah pada umumnya menurun seiring dengan meningkatnya kadar air dan konsentrasi spesies ionik. Resistensi tanah sama sekali bukan satu-satunya parameter yang mempengaruhi risiko kerusakan korosi. Variasi resistivitas tanah sepanjang pipa sangat tidak diinginkan, karena ini akan menyebabkan pembentukan sel korosi makro. Oleh karena itu, untuk struktur seperti jaringan pipa, manfaat klasifikasi potensi korosi berdasarkan nilai absolut resistivitas tanah sangat dibutuhkan (Putra, 2017).



Gambar 4.1 Grafik Tegangan Tanah yang Terukur



Gambar 4.2 Grafik Arus Tanah yang Terukur



Gambar 4.3 Grafik Resistivitas Tanah yang Terukur

4.2 Perhitungan Arus dan Potensial

Pengujian terhadap arus dan potensial proteksi dilakukan untuk mengetahui berapa besar tegangan dan arus yang dikeluarkan oleh rectifier untuk dapat memproteksi pipa. Pipa

dapat terindikasi terproteksi jika memiliki nilai potensial berada pada rentang diantara -850 mV sampai -1100 mV. 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 dibenamkan ke dalam tanah sehingga potensial pipa dapat diukur menggunakan multimeter.

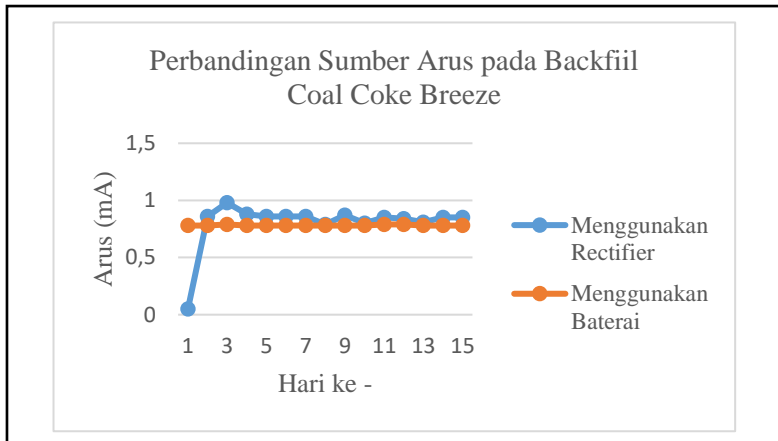
Sementara untuk membaca arus proteksi, multimeter dihubungkan kepada katoda dan kutub positif pada multimeter. Ketika pipa sudah masuk ke dalam range potensial proteksi, dapat dilakukan pengukuran arus proteksi untuk mengetahui berapa besar arus yang dikeluarkan oleh rectifier dan baterai untuk memproteksi pipa. Pengujian ini dilakukan selama 15 hari dan dikontrol setiap harinya. Pengontrolan dilakukan dengan cara mengatur tegangan yang keluar dari rectifier dan baterai untuk memproteksi pipa sehingga tidak terjadi overproteksi, dan kurang terproteksi serta membandingkan arus yang dihasilkan dari rectifier dengan baterai.

1. Pengukuran arus dan potensial menggunakan *coal coke breeze backfill*

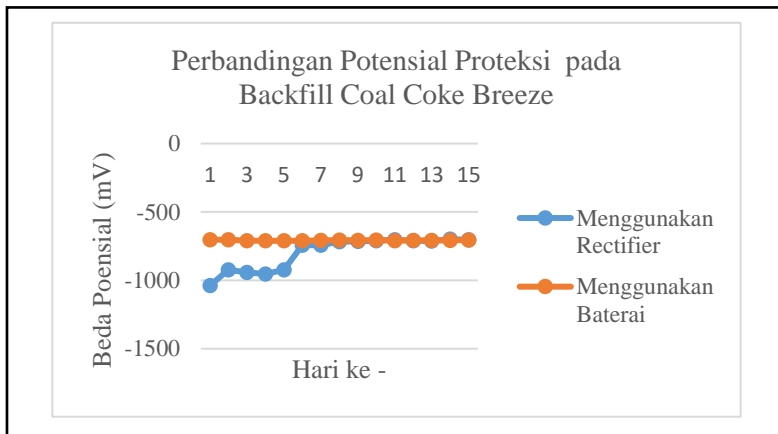
Pada pengukuran arus dan potensial menggunakan *backfill coal coke breeze* menggunakan rectifier dan baterai mendapatkan nilai arus listrik yang paling besar diantara *backfill* yang lain. Arus terkecil dalam pengukuran *coal coke breeze backfill* menggunakan rectifier terjadi pada hari pertama yaitu 0,05 mA dikarenakan rangkaian yang belum stabil namun pada hari pertama didapati potensial proteksi yang paling negatif yaitu -1038 mV. Pada pengukuran dari pertama hingga hari ke lima kondisi tanah basah. Selama lima hari tersebut didapati potensial proteksi yang paling negatif dari lima belas hari pengukuran. Namun pada hari ke enam pada kondisi tanah yang kering potensial proteksi mengalami kenaikan menjadi positif yaitu -743 mV. Hal ini disebabkan karena hambatan pada tanah yang basah lebih kecil dari tanah yang kering

dapat dilihat pada Gambar 4.3. Resistivitas tanah yang kecil menyebabkan mudahnya arus mengalir ke anoda sehingga arus yang mengalir semakin besar dan potensial proteksi semakin kecil. Semakin resistivitasnya kecil semakin konduktif suatu material. Konduktor baik terjadi jika nilai resistivitasnya sangat kecil, berkisar antara 10^{-8} - $1 \Omega\text{m}$, contohnya metal (logam-logam), grafit, dan sulfida. Konduktor sedang terjadi jika nilai resistivitasnya 1 - $10^7 \Omega\text{m}$, contohnya beberapa oksida, ore, dan batuan porous yang mengandung air. Isolator terjadi jika tidak dapat mengalirkan arus listrik dan harga resistivitasnya sangat tinggi, lebih besar dari $10^7 \Omega\text{m}$ (Puji, 2015). Pada Gambar 4.4 arus terbesar terjadi pada hari ke tiga yaitu $0,96 \text{ mA}$ pada kondisi basah dan sedangkan potensial proteksi paling negatif terjadi pada hari pertama yaitu -1038 mV pada kondisi basah.

Pada pengukuran arus dan potensial *coal coke breeze backfill* menggunakan baterai selama 15 hari kondisi tanah kering dapat dilihat Gambar 4.4. Arus dan potensial proteksi menggunakan baterai yang terukur nilainya mendekati arus dan potensial proteksi menggunakan rectifier dapat dilihat pada Gambar 4.5. Penggunaan baterai pada proteksi katodik menggunakan *coal coke breeze backfill* nilainya lebih stabil dibandingkan menggunakan rectifier dilihat dari grafik perbandingan yang ada. Pada pengukuran menggunakan baterai arus terbesar dihasilkan pada hari ke-3, 11 dan 12 yaitu $0,79 \text{ mA}$ sedangkan potensial proteksi yang paling negatif dihasilkan pada hari ke 4, 5 dan 6 yaitu -711 mV .



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Arus Penggunaan Rectifier dan Baterai pada *Backfill Coal Coke Breeze*



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Potensial Proteksi Penggunaan Rectifier dan Baterai pada *Backfill Coal Coke Breeze*

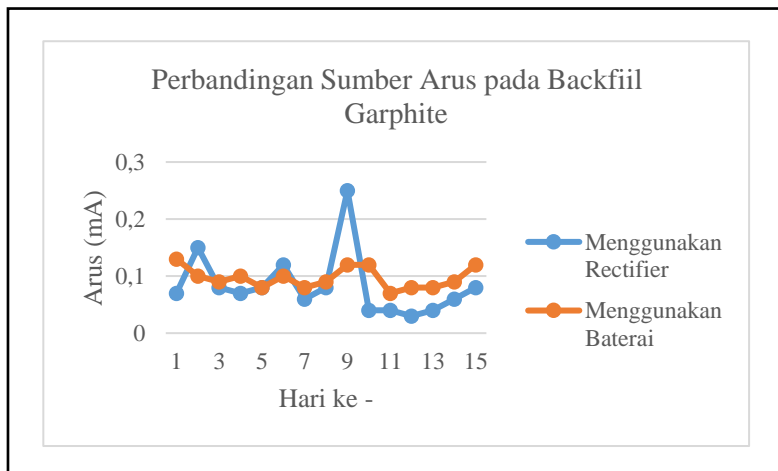
2. Pengukuran arus dan potensial menggunakan *graphite backfill*

Pada hari pertama pengukuran menggunakan rectifier arus yang terukur sebesar 0,07 mA pada kondisi tanah basah dengan tegangan 1,29 V dan potensial proteksi yang terukur yaitu -923 mV. Tegangan yang terukur pada hari pertama sangat kecil dikarenakan pada hari pertama pengukuran rangkaian belum stabil namun pada hari ke-2 tegangan naik menjadi 15,5 V dengan arus 0,15 mA dengan potensial proteksi -923 mV pada kondisi tanah yang basah. Pada hari ke-3 tegangan turun menjadi 13,4 V dengan arus 0,08 mA yang mengalami penurunan dengan beda potensial -943 mV pada kondisi tanah basah. Pada hari ke-5 hingga hari ke-15 nilai arus yang terukur mulai mulai stabil dengan rata-rata 0,083 mA.

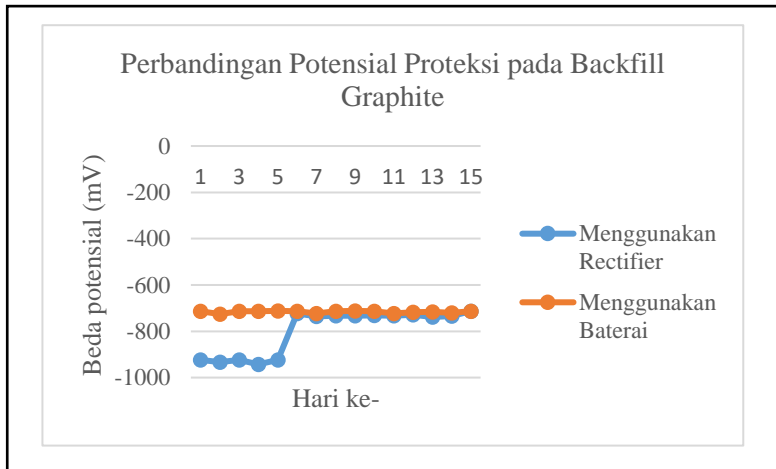
Potensial proteksi pada kondisi basah memiliki nilai yang negatif dibandingkan beda potensial pada kondisi tanah yang kering. Pada hari pertama potensial proteksi yang terukur sebesar -923 mV dan nilainya fluktuatif hingga hari ke-5 dengan rata-rata potensial proteksi hari pertama hingga hari ke-5 sebesar -929 mV. Pada hari ke-6 potensial proteksi menjadi lebih positif yaitu -723 mV dari hari ke-5 dengan potensial proteksi sebesar -924 mV. Hal ini dikarenakan resistivitas tanah yang menurun sehingga arus yang mengalir lebih kecil dan potensial proteksi semakin positif.

Pada pengukuran menggunakan baterai kondisi tanah pada hari pertama hingga hari ke-15 kering. Arus yang mengalir cenderung stabil yaitu memiliki rata-rata 0,096 mA dengan rata-rata potensial proteksi sebesar -716 mV. Pada arus yang terukur antara rectifier dan baterai terlihat lebih stabil menggunakan baterai karena pada hari ke-7 sampai hari ke-9 pada arus yang terukur pada rectifier mengalami naik mengalami kenaikan dan penurunan yang cukup drastis dapat dilihat pada Gambar 4.6. Pada pengukuran potensial proteksi yang terukur pada kondisi tanah yang sama antara rectifier dan baterai potensial proteksi terlihat lebih stabil. Grafik perbandingan potensial dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Graphite merupakan penghantar listrik dan panas yang cukup baik tetapi bersifat rapuh. Sifat daya hantar listrik material dinyatakan dengan konduktivitas, yaitu kebalikan dari resistivitas atau tahanan jenis penghantar. Sifat kelistrikan batuan merupakan karakteristik dari batuan bila dialirkan arus listrik terhadapnya. Nilai konduktivitas listrik bergantung pada fraksi volume serbuk dan kandungan minimum serbuk grafit, dimana serbuk grafit tersebut membentuk jaringan kerja yang bersambung, yang menentukan grafit menjadi konduktif secara elektrik. Faktor-faktor yang mempengaruhi konduktivitas listrik yaitu konduktivitas serbuk, fraksi volume dan karakteristik serbuk seperti: ukuran, bentuk, luas permukaan, distribusi dan orientasi serbuk pengisi (Anika, 2015).



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Arus Penggunaan Rectifier dan Baterai pada *Backfill Graphite*

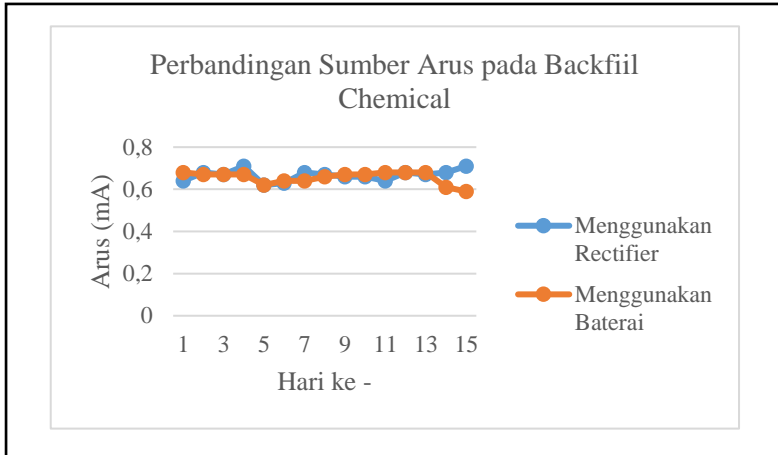


Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Potensial Proteksi Penggunaan Rectifier dan Baterai pada *Backfill Graphite*

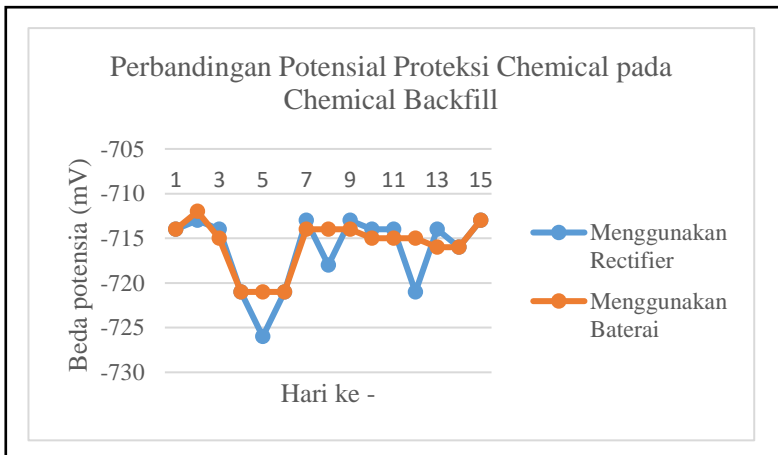
3. Pengukuran arus dan potensial menggunakan *chemical backfill*

Pengukuran arus dan potensial menggunakan *chemical backfill* dilakukan pada kondisi tanah yang kering dan tidak mengalami kondisi yang basah. Hal ini menyebabkan potensial proteksi yang terukur rata-rata bernilai -716 mV menggunakan rectifier dan -715 mV menggunakan baterai dapat dilihat pada Gambar 4.9. Sedangkan potensial proteksi yang paling negatif terjadi pada hari ke-5 yaitu -726 mV menggunakan rectifier dan -721 mV pada hari ke-4, 5 dan 6 menggunakan baterai. Arus yang terukur lebih besar dibandingkan dengan arus yang terukur menggunakan *graphite backfill* dan lebih kecil dari arus yang terukur menggunakan *coal coke breeze backfill*. Arus yang terukur menggunakan rectifier rata-rata bernilai 0,67 mA dan 0,65 mA menggunakan baterai. Sedangkan arus terbesar yang terukur yaitu 0,68 mA menggunakan rectifier dan baterai Pada pengukuran arus menggunakan rectifier dan baterai pada *chemical backfill* grafik

yang dihasilkan menunjukkan jarak yang tidak jauh berbeda dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Arus Penggunaan Rectifier dan Baterai pada *Backfill Chemical*



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Potensial Proteksi Penggunaan Rectifier dan Baterai pada *Backfill Chemical*

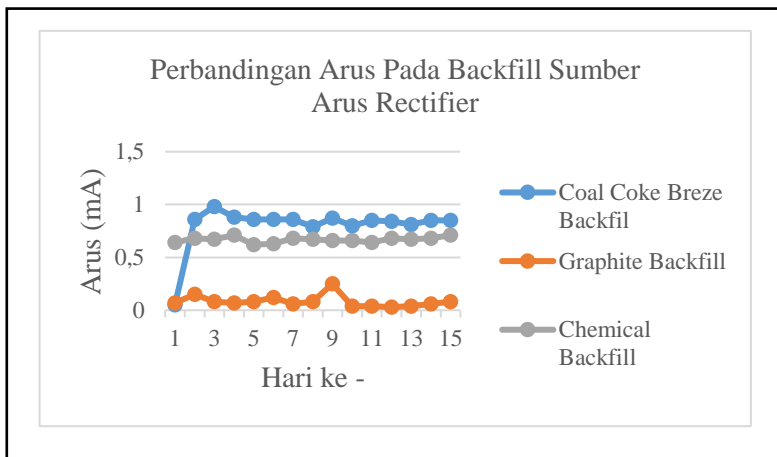
Mineral lempung memiliki sifat resistivitas yang relatif rendah. Secara spasial sifat resistivitas lempung lebih besar secara vertikal dibanding secara horizontal. Hasil pengukuran nilai resistivitas lempung pada umumnya menghasilkan nilai kisaran antara 1 hingga 100 Ωm . Beberapa hasil penelitian memberikan kisaran nilai resistivitas mineral lempung yang lebih rendah yaitu antara 1 hingga 50 Ωm serta kisaran nilai resistivitas yang lebih tinggi yaitu antara 1 hingga 150 Ωm . Sifat resistivitas yang rendah pada mineral lempung pada dasarnya disebabkan oleh dua hal yaitu kandungan ion pada mineral lempung dan terjadinya polarisasi membran. Pada dasarnya mineral lempung memiliki muatan listrik yang negatif. Muatan listrik yang negatif merupakan pengaruh dari interaksi antar ion penyusun mineral lempung. Interaksi antar ion penyusun mineral lempung menyebabkan terjadinya polarisasi. Besar kecilnya muatan yang terkandung dalam lempung dipengaruhi oleh ion penyusun, bentuk, dan struktur dari lempung. Polarisasi membran adalah terjadinya akumulasi ion pada mineral lempung akibat diaplikasikannya medan listrik pada mineral lempung. Aplikasi medan listrik dilakukan dengan injeksi arus listrik ke bawah permukaan Bumi (geolistrik). Butiran mineral lempung yang sangat halus dan bermuatan listrik menarik serta menjebak ion-ion saat medan listrik diaplikasikan. Akumulasi ion yang terjebak menyebabkan bertambahnya muatan listrik pada lempung sehingga beda potensial dari medan listrik yang diaplikasikan berkurang. Berkurangnya beda potensial menyebabkan berkurangnya nilai resistivitas (Kurniawan, 2014).

4. Perbandingan arus pada penggunaan backfill menggunakan rectifier dan baterai

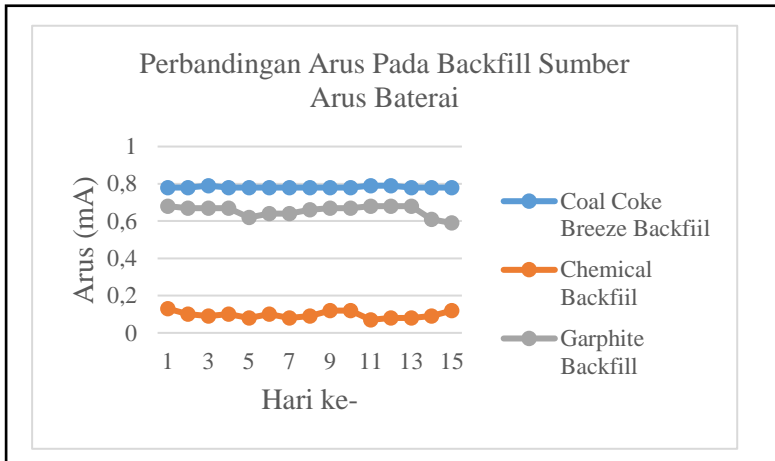
Penggunaan *backfill* dalam proteksi katodik dapat menyebabkan perbedaan arus yang dihasilkan dari rangkaian. Pada *coal coke breeze backfill* menghasilkan arus yang lebih besar daripada *backfill* lainnya. Pada *coal coke breeze backfill* dihasilkan arus 0,8 mA pada rectifier sedangkan pada baterai dihasilkan arus

0,79 mA. Hasil pengukuran terbesar kedua dihasilkan oleh *chemical backfill*. Pada *chemical backfill* dihasilkan arus sebesar 0,67 mA pada rectifier dan 0,65 mA pada baterai. Pada *graphite backfill* dihasilkan arus yang paling kecil yaitu 0,083 mA pada rectifier dan 0,096 mA pada baterai. Grafik perbandingan ini dapat dilihat pada Gambar 4.10 untuk variasi *backfill* menggunakan rectifier dan pada Gambar 4.11 untuk variasi *backfill* menggunakan baterai.

Perbedaan arus yang dihasilkan ini disebabkan oleh resistivitas *backfill* yang berbeda-beda. Resistivitas merupakan faktor penting yang mempengaruhi laju korosi terutama pada media tanah. Pada tanah dengan resistivitas yang tinggi, maka tingkat korosifitas dari tanah tersebut akan rendah dan sebaliknya pada tanah yang resistivitasnya rendah, maka tingkat korosifitas tanahnya tinggi (Reza, 2009). *Backfill* dengan resistivitasnya rendah akan menghasilkan arus yang lebih tinggi dan sebaliknya *backfill* dengan resistivitas yang besar akan menghasilkan arus yang lebih kecil.



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Arus Setiap *Backfill* Menggunakan Rectifier



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Arus Setiap *Backfill* Menggunakan Rectifier

4.3 Hasil Proteksi

Setelah melakukan proteksi katodik selama 15 hari pipa baja API 5L grade B yang ditanam dengan berbagai jenis *backfill* sedalam 0,3 m diamati perubahan yang terjadi pada pipa baja API 5L grade B, Pada pengamatan secara keseluruhan pipa tidak mengalami kerusakan yang cukup parah namun kondisi pipa dengan *backfill* menghasilkan kondisi yang beragam. Pada pipa yang dilapisi oleh *coal coke breeze backfill* korosi yang terjadi dipermukaan pipa lebih sedikit dibandingkan dengan *backfill* lainnya terdapat pada Gambar 4.12. Hal ini disebabkan arus yang dialirkan semakin besar sehingga elektron makin besar mengalir ke anoda. Pada pipa yang diberikan *backfill coal coke breeze* terdapat beberapa titik korosi *uniform* yang berwarna kecoklatan dan merusak *coating premier* pada pipa tersebut.

1. Hasil Proteksi menggunakan *coal coke breeze backfill*



Gambar 4.12 Keadaan Pipa API 5L Setelah Mengalami Proteksi Menggunakan *Coal Coke Breeze Backfill*

Pada hasil proteksi menggunakan *coal coke breeze backfill* terlihat pipa yang ditanam beberapa titik korosi yang merusak lapisan premier pada pipa. Hal ini terlihat pada area yang berwarna kecokelatan. Namun area yang berwarna coklat tersebut tidak membuat pipa berlubang. Pipa yang dilindungi menggunakan *coal coke breeze backfill* arus yang dihasilkan lebih besar sehingga elektron yang mengalir ke anoda lebih besar sehingga lapisan pipa lebih terlindungi karena arus yang mengalir ke pipa. Pipa yang dilindungi menggunakan *coal coke breeze backfill* titik korosi lebih sedikit daripada pipa lainnya yang dilindungi menggunakan *backfill* lainnya. Hasil proteksi pada pipa menggunakan *coal coke breeze backfill* dapat dilihat pada Gambar 4.12.

2. Hasil Proteksi menggunakan *graphite backfill*

Pada hasil proteksi pipa menggunakan *graphite backfill* lebih banyak titik korosi dan terlihat area korosi yang lebih besar. Lapisan premier pada pipa rusak dan terdapat area kecokelatan

yang terdapat pada pipa. Namun pipa masih dapat digunakan. Arus yang dihasilkan ketika menggunakan *graphite backfill* lebih kecil dibandingkan dengan arus lainnya. Karena arus yang dihasilkan kecil maka elektron yang mengalir dari katoda ke anoda lebih kecil sehingga pipa kurang terproteksi dibandingkan menggunakan arus yang lebih besar. Hasil proteksi pada pipa menggunakan *graphite backfill* dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Keadaan Pipa API 5L Setelah Mengalami Proteksi Menggunakan *Graphite Backfill*

3. Hasil Proteksi menggunakan *chemical backfill*

Pada hasil pipa yang digunakan menggunakan *chemical backfill* didapatkan titik korosi pada lapisan premier pada pipa. Arus yang mengalir pada pipa menggunakan *chemical backfill* lebih kecil dibandingkan arus yang mengalir menggunakan *coal coke breeze backfill*. Sehingga titik korosi lebih banyak. Namun pipa masih dapat digunakan dan tidak mengalami kerusakan yang cukup parah. Hasil proteksi pada pipa Menggunakan *Chemical Backfill* dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Keadaan Pipa API 5L Setelah Mengalami Proteksi Menggunakan *Chemical Backfill*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari perancangan proteksi katodik arus paksa variasi jenis *backfill* menggunakan sumber arus rectifier dan baterai yaitu.

1. Nilai arus yang dihasilkan menggunakan rectifier pada *coal coke breeze backfill* sebesar 0,8 mA, pada *graphite backfill* 0,083 mA dan pada *chemical backfill* sebesar 0,67 mA. Hal ini menunjukkan bahwa resistivitas *coal coke breeze backfill* lebih rendah dibandingkan *backfill* lainnya.
2. Nilai arus yang dihasilkan menggunakan baterai pada *coal coke breeze backfill* sebesar 0,782 mA, pada *graphite backfill* 0,096 mA dan pada *chemical backfill* sebesar 0,65 mA. Arus listrik yang dihasilkan dari baterai mendekati arus listrik yang dihasilkan rectifier. Hal ini menunjukkan bahwa baterai dapat digunakan menggantikan rectifier sebagai sumber arus listrik pada perlindungan katodik arus paksa.

5.2 Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan untuk meningkatkan atau mengembangkan penelitian berikutnya yaitu.

1. *Backfill* yang akan digunakan terlebih dahulu dicari tau atau diukur resistivitasnya.
2. Pada pengujian baterai dapat diuji hingga baterai lemah sehingga dapat diketahui kestabilan arus yang dihasilkan ketika baterai akan habis.
3. Dapat dilakukan pembuatan instrumen alternatif dari baterai sebagai sumber arus pada proteksi katodik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

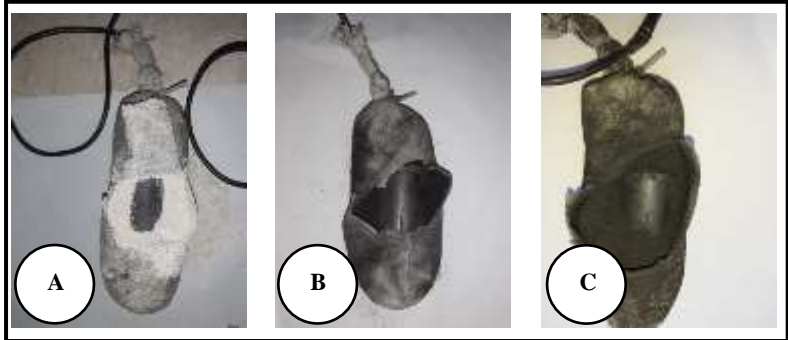
- API 5L (2004). **Spesification for Pipe Line.**
- ASTM. (2001). **United States of America Patent No. G57 Standard Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four - Electrode Method**
- Technical Memorandum No. MERL-2012-40. 2012. **Guidelinesfor Field Instalation of Corrosion Monitoring and Cathodic Protection System.** US Departement of the Interior Protect America's Natural Resource and Heritage; United State Of America.
- Afif, Muhammad Thowil. 2015. **Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik – Review.** Malang : Univeritas Brawijaya. Vol 6, No.2 95-99
- Albright, Greg. 2012. **A comparative of Lead Acid to Lithium-Ion in Stationary Storage Applications.** New York: All Cell Technologies LLC.
- Anika, Fitri. 2015. "Pengaruh Variasi Penambahan Serbuk Grafit Dalam Pasir Terhadap Konduktivitas Listrik Beton K-350". **Pillar of Physics**, Vol.6. 57-64
- Chamma, Bukry. 2015. **Perancangan Alat Pengisi Baterai Lead Acid Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535.** Medan: Universitas Sumatera Utara
- Chattoraj, Indranil. 2008. **Fundamentals of Corrosion and Its Prevention.** Jamshedpur: National Metallurgical Laboratory
- Christian, Fendy. 2012. **Mengenal Baterai Lithium Polymer (LiPo)** Jakarta: Universitas Gunadarma.
- Day, R.A, dan A.L. Underwood. 1998. **Kimia Analisa Kuantitatif.** Jakarta : Erlangga.
- Eka, Rahadian. 2018.**Perancangan Sistem Proteksi Katodik Arus Paksa Pada Pipa Baja Api 5l Grade B DenganVariasi Kedalaman Pipa dan Jarak Anoda**

-
- Dengan Katoda.** Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya
- Einar Bardal. 2003. **Corrosion and Protection.** Springer
- Fontana, Mars G. 1987. **Corrosion Engineering, International Student Edition, 3th Edition.** Mc, Graw Hill International :Singapore
- Kiswara, Reza. 2009. **Pengaruh Resistivitas Tanah Terhadap Pengukuran Potensial Baja dengan Multimeter Digital dan Mikrokontroler.** Universitas Indonesia : Jakarta
- Kurniawan, Alva. 2014. "Sifat Resistivitas Rendah Mineral Lempung".**Masyarakat Ilmu Bumi Indonesia, Vol 1/E-2**
- Mc Cafferty. 2010. *Introduction to Corrosion Science.*Springer
- Mulyono, P. R. (2017). **Perancangan Sistem Proteksi Katodik Anoda Tumbal Pada Pipa Baja API 5L Grade B Dengan Variasi Jumlah Coating Yang Dipasang Didalam Tanah.** Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Peabody, A. (2001). **Control Of Pipeline Corrosion, Second Edition.**Texas: NACE Internasional.
- Pertiwi,Puji Kumala. 2015. **Uji Konduktivitas Listrik pada CaCO₃ dan Arang Kayu dengan Metode Four Point Probe.** Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya. 5 : 1-5
- Putra, Reza. 2017. **Pengaruh Variasi Kedalaman Elektroda Dan Resistivitas Tanah Dalam Memprediksi Potensi Korosi Dengan Metoda Wenner.**Universitas Malikussaleh : Aceh
- Roberge, Pierre R. 1999. **Handbook of Corrosion Engineering.** New York : Mc Graw-Hill Book Company.
- Singh, Ramesh.2014.**Corrosion Control for Offshore Structures : Cathodic Protection and High-Efficiency Coating.**Texas : Gulf Professional Publishing
-

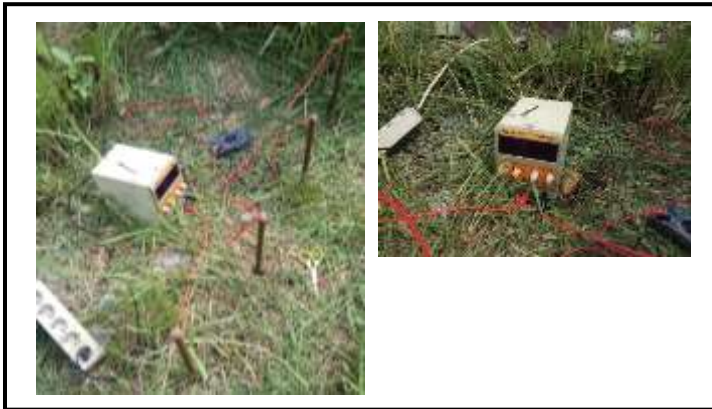
-
- Sulistijono.1999. **Diktat Kuliah Korosi**. Surabaya : Departemen Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- SUPPO. 2014. **NiMH Battery vs Li-On Battery**. China: Union Suppo Battery.
- Supomo,H. 1995. **Diktat Kuliah Korosi**.Surabaya: JurusanTeknik Perkapalan
- Yulianto, Wijayanti Eka. 2018, "Analisis Perbandingan Ekonomis Pengendalian Korosi Dengan Menggunakan Metode ICCP (Impressed Current Cathodic Protection) dan SACP (Sacrificial Anode Cathodic Protection) pada Proyek Pipeline Gas Transmisi Gresik-Semarang". **Proceeding 3rd Conference of Piping Engineering and its Application**. Program Studi D4 Teknik Perpipaan – Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
- Zachary A. Brady. 2016. **Testing Aggregate Backfill For Corrosion Potential**. United State Of America : University of Kansas

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN



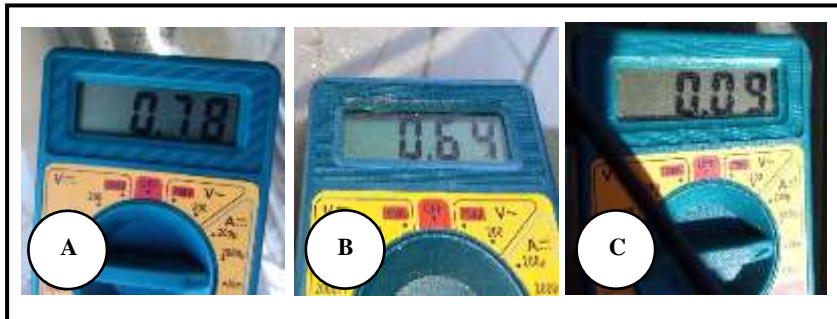
Variasi *backfill* yang digunakan dalam pengujian (a) *chemical backfill* (b) *coal coke breeze backfill* (c) *graphite backfill*



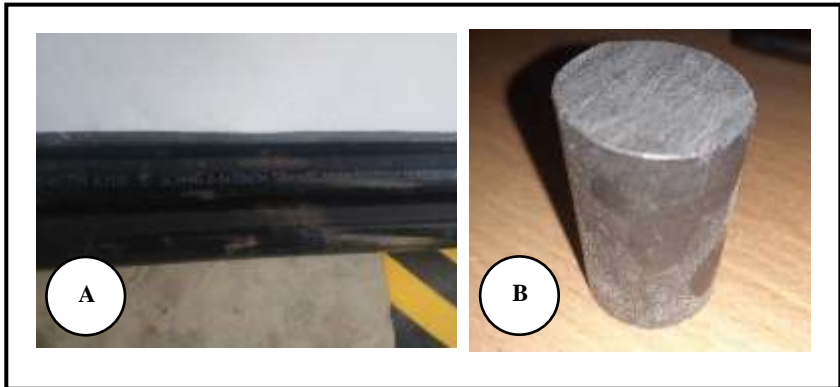
Pengukuran resistivitas tanah yang dilakukan selama 23 hari pengukuran



Pengukuran data potensial awal sebelum diproteksi



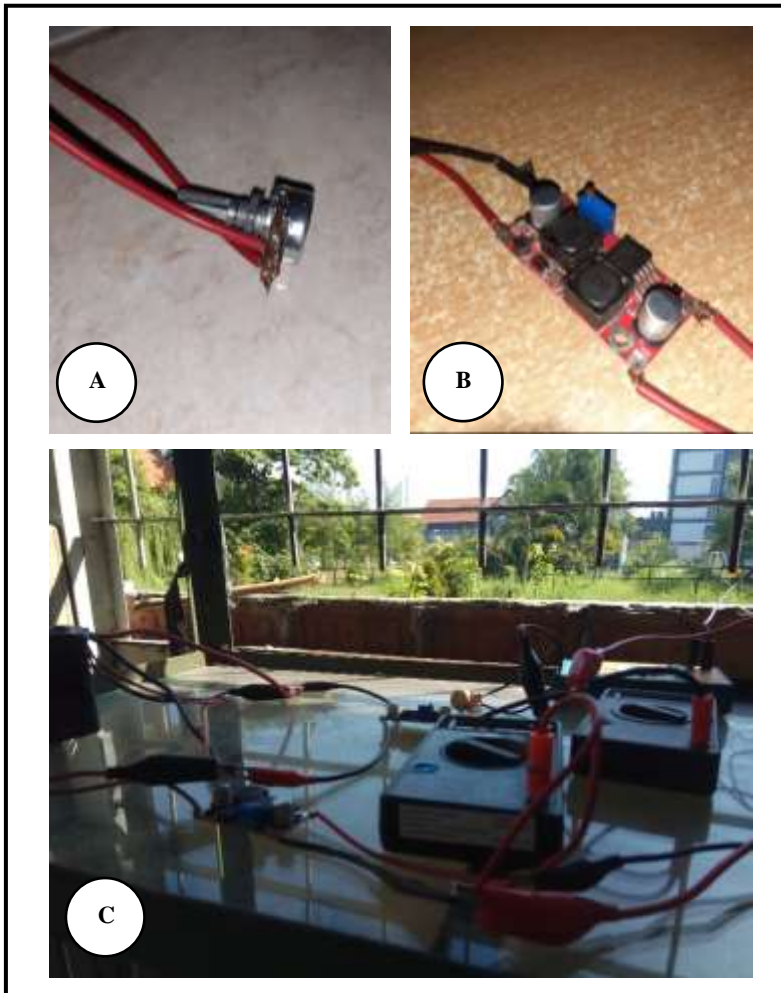
Variasi arus yang dihasilkan dalam pengujian (a) *coal coke breeze backfill* (b) *chemical backfill* (c) *graphite backfill*



Variasi arus yang dihasilkan dalam pengujian (a) pipa baja API 5 L grade B (b) anoda graphite



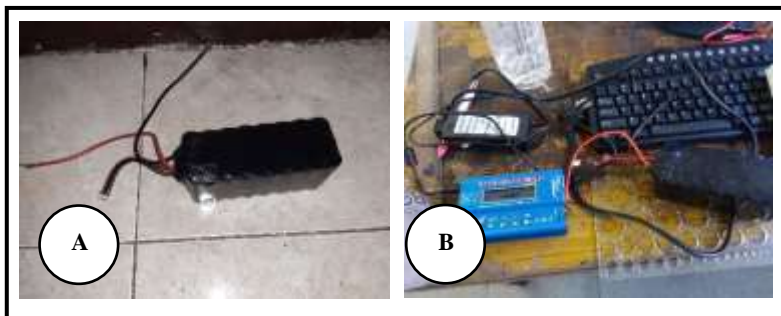
Potensial proteksi yang terukur pada pengujian pada pipa baja API 5L grade B



Pembuatan rangkaian (a) potensio meter (b) *buck converter step down dc-dc* (c) rangkaian proteksi katodik



Pengukuran tegangan pada proteksi katodik (a) pada rangkaian menggunakan rectifier (b) pada rangkaian menggunakan baterai



Penggunaan baterai pada proteksi katodik (a) baterai Li-Po (b) pengisian baterai Li-Po



Hasil proteksi menggunakan *coal coke breeze backfill*



Hasil proteksi menggunakan *graphit backfill*



Hasil proteksi menggunakan *chemical backfill*

Hari	Jarak Elektroda (m)	Tegangan (V)	Arus (A)	Kondisi Tanah	Hambatan (ohm)	Resistivitas (ohm.m)
1	0.3	0.74	0.35	Kering	2.11	3.98
2	0.3	0.92	0.42	Kering	2.19	4.13
3	0.3	0.62	0.32	Kering	1.94	3.65
4	0.3	0.58	0.3	Kering	1.93	3.64
5	0.3	0.57	0.34	Kering	1.68	3.16
6	0.3	0.53	0.29	Kering	1.83	3.44
7	0.3	0.89	0.4	Kering	2.23	4.19
8	0.3	1.05	0.42	Kering	2.50	4.71
9	0.3	0.63	0.33	Kering	1.91	3.60
10	0.3	0.87	0.42	Kering	2.07	3.90
11	0.3	1.02	0.51	Kering	2.00	3.77
12	0.3	0.63	0.92	Basah	0.68	1.29
13	0.3	0.89	0.83	Basah	1.07	2.02
14	0.3	0.67	0.91	Basah	0.74	1.39
15	0.3	0.71	0.81	Basah	0.88	1.65
16	0.3	0.89	0.62	Basah	1.44	2.70
17	0.3	0.72	0.51	Kering	1.41	2.66
18	0.3	0.74	0.37	Kering	2.00	3.77
19	0.3	0.62	0.41	Kering	1.51	2.85
20	0.3	1.03	0.51	Kering	2.02	3.80
21	0.3	1.02	0.43	Kering	2.37	4.47
22	0.3	0.87	0.32	Kering	2.72	5.12
23	0.3	0.73	0.41	Kering	1.78	3.35

Tabel Pengukuran Resistivitas pada Tanah

Hari	Tegangan (V)	Arus (mA)	Beda Potensial (mV)	Kondisi
1	0.19	0.05	-1038	Basah
2	10.08	0.86	-924	Basah
3	10.11	0.98	-943	Basah
4	10.08	0.88	-954	Basah
5	10.09	0.86	-923	Basah
6	10.08	0.86	-743	Kering
7	10.08	0.86	-744	Kering
8	10.2	0.79	-718	Kering
9	10.9	0.87	-714	Kering
10	10.3	0.8	-711	Kering
11	10.9	0.85	-704	Kering
12	10.4	0.84	-711	Kering
13	10.3	0.81	-713	Kering
14	10.9	0.85	-699	Kering
15	11.2	0.85	-702	Kering

Tabel Pengukuran Arus dan Potensial Backfill Coal Coke Breeze Menggunakan Rectifier

Hari	Tegangan (V)	Arus (mA)	Beda Potensial (mV)	Kondisi
1	10.04	0.78	-703	Kering
2	10.1	0.78	-704	Kering
3	10.11	0.79	-710	Kering
4	10.11	0.78	-711	Kering
5	10.11	0.78	-711	Kering
6	10.11	0.78	-711	Kering
7	10.01	0.78	-708	Kering
8	10.01	0.78	-706	Kering
9	10.01	0.78	-708	Kering
10	10.01	0.78	-706	Kering
11	10.04	0.79	-710	Kering
12	10.04	0.79	-708	Kering
13	10.04	0.78	-708	Kering
14	10.11	0.78	-708	Kering
15	10.11	0.78	-706	Kering

Tabel Pengukuran Arus dan Potensial Backfill Coal Coke Breeze Menggunakan Baterai

Hari	Tegangan (V)	Arus (mA)	Beda Potensial (mV)	Kondisi
1	1.29	0.07	-923	Basah
2	15.5	0.15	-934	Basah
3	13.4	0.08	-923	Basah
4	13.2	0.07	-943	Basah
5	13.1	0.08	-924	Basah
6	13.1	0.12	-723	Kering
7	13.2	0.06	-736	Kering
8	13.7	0.08	-733	Kering
9	13.2	0.25	-733	Kering
10	13.7	0.04	-731	Kering
11	13.4	0.04	-733	Kering
12	13.5	0.03	-729	Kering
13	12.7	0.04	-738	Kering
14	13.2	0.06	-734	Kering
15	13.5	0.08	-713	Kering

Tabel 4.5 Pengukuran Arus dan Potensial Backfill Graphite Menggunakan Rectifier

Hari	Tegangan (V)	Arus (mA)	Beda Potensial (mV)	Kondisi
1	13.12	0.13	-713	Kering
2	12.69	0.1	-726	Kering
3	12.69	0.09	-714	Kering
4	12.69	0.1	-713	Kering
5	12.67	0.08	-712	Kering
6	13.13	0.1	-714	Kering
7	12.71	0.08	-723	Kering
8	12.69	0.09	-714	Kering
9	13.1	0.12	-712	Kering
10	12.2	0.12	-713	Kering
11	13.1	0.07	-723	Kering
12	12.68	0.08	-718	Kering
13	12.69	0.08	-716	Kering
14	12.1	0.09	-721	Kering
15	12.67	0.12	-713	Kering

Tabel Pengukuran Arus dan Potensial Backfill Graphite
Menggunakan Baterai

Hari	Tegangan (V)	Arus (mA)	Beda Potensial (mV)	Kondisi
1	12.8	0.64	-714	Kering
2	12.7	0.68	-713	Kering
3	12.7	0.67	-714	Kering
4	12.5	0.71	-721	Kering
5	12.3	0.62	-726	Kering
6	12.8	0.63	-721	Kering
7	12.6	0.68	-713	Kering
8	12.5	0.67	-718	Kering
9	12.7	0.66	-713	Kering
10	12.8	0.66	-714	Kering
11	12.6	0.64	-714	Kering
12	12.3	0.68	-721	Kering
13	12.4	0.67	-714	Kering
14	12.9	0.68	-716	Kering
15	12.5	0.71	-713	Kering

Tabel Pengukuran Arus dan Potensial Backfill Chemical
Menggunakan Rectifier

Hari	Tegangan (V)	Arus (mA)	Beda Potensial (mV)	Kondisi
1	12.6	0.68	-714	Kering
2	12.5	0.67	-712	Kering
3	12.8	0.67	-715	Kering
4	12.4	0.67	-721	Kering
5	12.5	0.62	-721	Kering
6	12.5	0.64	-721	Kering
7	12.3	0.64	-714	Kering
8	12.3	0.66	-714	Kering
9	12.7	0.67	-714	Kering
10	12.7	0.67	-715	Kering
11	12.6	0.68	-715	Kering
12	12.4	0.68	-715	Kering
13	12.4	0.68	-716	Kering
14	12.5	0.61	-716	Kering
15	12.4	0.59	-713	Kering

Tabel Pengukuran Arus dan Potensial Backfill Chemical
Menggunakan Baterai



PT. LOGAMINDO SARIMULIA
IRON AND STEEL FOUNDRY
Telp : (62-31) 8544540 - 41 Fax : (62-31) 8544542
E-mail : Lisa@foundry@gmail.com
www.logamindosarimulia.com



Method: Fe-01-F
Comment: Orientation
Element concentration

7/2/2019 8:55:30 AM

Quality:

Sample Name:

BAJA 1

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.252	0.260	0.385	0.0157	0.0109	0.0167	< 0.0020	0.0081
2	0.233	0.239	0.384	0.0141	0.0103	0.0164	< 0.0020	0.0043
3	0.232	0.227	0.385	0.0122	0.0103	0.0164	< 0.0020	0.0040
< x > (3)	0.239	0.242	0.385	0.0140	0.0105	0.0165	< 0.0020	0.0048
sd	0.0114	0.0168	0.00048	0.0017	0.00032	0.00020	0.00000	0.0011
nd	4.8	9.9	0.1	12.2	3.0	1.2	0.0	22.9

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0074	0.0039	0.0089	< 0.0040	< 0.0010	0.00080	< 0.0100	< 0.0040
2	0.0063	0.0034	0.0075	< 0.0040	< 0.0010	0.00058	< 0.0100	< 0.0040
3	0.0059	0.0031	0.0077	< 0.0040	< 0.0010	0.00074	< 0.0100	< 0.0040
< x > (3)	0.0065	0.0035	0.0078	< 0.0040	< 0.0010	0.00074	< 0.0100	< 0.0040
sd	0.00076	0.00054	0.00016	0.00000	0.00000	0.00006	0.00000	0.00000
nd	11.8	12.8	2.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0

	Sn	Mg	As	Zr	Bi	Ca	Cu	Sb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0050	0.0018	0.0124	< 0.0015	< 0.0030	0.0041	< 0.0030	< 0.0020
2	0.0049	0.0014	0.0122	< 0.0015	< 0.0030	0.0029	< 0.0030	< 0.0020
3	0.0048	0.0013	0.0117	< 0.0015	< 0.0030	0.0026	< 0.0030	< 0.0020
< x > (3)	0.0046	0.0015	0.0121	< 0.0015	< 0.0030	0.0032	< 0.0030	< 0.0020
sd	0.00019	0.00028	0.00033	0.00000	0.00000	0.00077	0.00000	0.00000
nd	3.8	18.8	2.8	0.0	0.0	24.1	0.0	0.0

	Te	B	Zn	La	Fe
	%	%	%	%	%
1	0.0018	0.00091	0.0304	< 0.0010	99.9
2	0.0020	0.00084	0.0343	< 0.0010	99.0
3	0.0021	< 0.00050	> 0.0540	< 0.0010	99.0
< x > (3)	0.0020	0.00076	0.0398	< 0.0010	99.8
sd	0.00015	0.00022	0.0126	0.00000	0.0030
nd	7.8	29.4	31.0	0.0	0.0

Tanda tangan

Hasil Uji Komposisi pada Baja API 5L Grade B

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Bayu Muhammad Aji kelahiran 28 Juni 1995 di Jakarta. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Andi Suhendi dan Neni Meylani. Penulis tinggal di Perumahan Dasana Indah Kabupaten Tangerang Banten. Penulis memulai pendidikan di TK Islam Permata Hati Tangerang kemudian melanjutkan di SD Sunan Bonang Tangerang. Setelah lulus dari SD penulis melanjutkan pendidikan ke SMP Islam Tangerang dan melanjutkan ke

SMA Islam Nurul Fikri Serang Banten. Setelah lulus pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan Teknik Material dan Metalurgi pada tahun 2013. Selama di kampus penulis aktif menjadi anggota dan menjadi ketua Koperasi Mahasiswa Dr. Angka ITS. Penulis juga aktif di Asosiasi Koperasi Mahasiswa Surabaya, Forum Koperasi Mahasiswa Jawa Timur dan Koperasi Pemuda Indonesia. Penulis juga aktif mengikuti kegiatan perlombaan bisnis *plan* dan pernah didanai ketika mengikuti PMW pada tahun 2015 dengan judul “Helquires-Helm Qu Resik, Alat Pencuci Helm Otomatis” dan pernah didanai dalam PKM-Gagasan Tertulis berjudul “Cile-Tun Cilegon Tunnels Terowongan Bawah Laut Untuk Mengatasi Permasalahan Transportasi Penghubung Jawa-Sumatera “ pada tahun 2014.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)