



TUGAS AKHIR - MO141326

**STUDI KASUS PERBANDINGAN DUA METODE
PERLINDUNGAN KOROSI PADA PIPA PENYALUR GAS
PT.PGN BATU AMPAR BATAM**

JULIO IMAN NUGROHO

NRP. 4312 100 090

Dosen Pembimbing

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D

Dirta Marina, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016



FINAL PROJECT - MO141326

**COMPARATIVE CASE STUDY OF TWO METHOD OF
CORROSION PROTECTION OF GAS PIPELINE PT.PGN
BATU AMPAR-BATAM**

JULIO IMAN NUGROHO

NRP. 4312 100 090

Supervisors

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D

Dirta Marina, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2016

STUDI KASUS PERBANDINGAN DUA METODE PERLINDUNGAN KOROSI PADA PIPA PENYALUR GAS PT.PGN BATU AMPAR BATAM

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

JULIO IMAN NUGROHO

NRP : 4312100090

Disetujui oleh :

1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.



(Pembimbing 1)

2. Dirta Marina Chamelia, S.T., M.T.



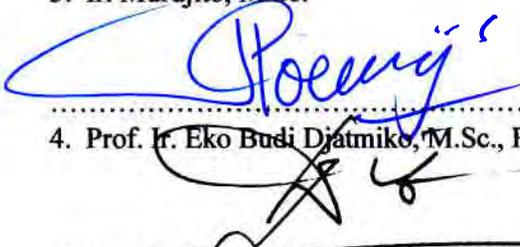
(Pembimbing 2)

3. Ir. Murdjito, M.Sc.



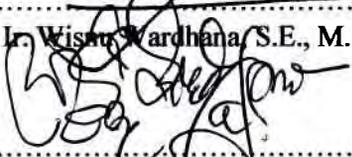
(Penguji 1)

4. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.



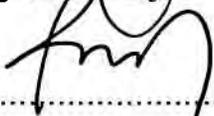
(Penguji 2)

5. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D.



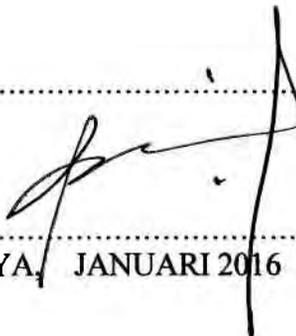
(Penguji 3)

6. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.



(Penguji 4)

7. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.



(Penguji 5)

SURABAYA, JANUARI 2016

STUDI KASUS PERBANDINGAN DUA METODE PERLINDUNGAN KOROSI PADA PIPA PENYALUR GAS PT.PGN BATU AMPAR BATAM

Nama Mahasiswa : Julio Iman Nugroho
NRP : 4312100090
Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D
Dirta Marina, S.T., M.T.

ABSTRAK

Korosi merupakan sebuah proses pengrusakan yang akan dihadapi pada struktur jenis apapun yang berbahan dasar logam, dimana apabila tidak dikendalikan dan diperhatikan secara serius maka akan menyebabkan kerusakan yang fatal pada struktur logam, khususnya pada jaringan perpipaan penyalur gas yang berbahan dasar baja. Korosi memang tidak dapat dicegah atau dihentikan sama sekali, melainkan dapat dikendalikan atau setidaknya dihambat lajunya. Adapun terdapat berbagai macam metode perlindungan struktur logam dari korosi, yaitu diantaranya dengan menggunakan lapisan pelindung (*Coating*), lalu juga bisa dengan menggunakan proteksi katodik yaitu dengan cara menjadikan struktur logam sebagai katoda yang dilindungi. Terdapat dua jenis metode proteksi katodik yaitu metode *Impressed Current* dan metode *Sacrificial Anode*. Pada tugas akhir yang saya kerjakan ini, saya membandingkan kedua metode proteksi tersebut dari segi teknis maupun ekonomi, untuk mengetahui resiko teknis dan besar biaya masing-masing metode proteksi katodik tersebut untuk mengetahui metode mana yang paling tepat untuk digunakan pada pipa penyalur gas PT.PGN Batu Ampar-Batam. Setelah melakukan analisa, didapatkan metode yang paling tepat yaitu *Sacrificial Anode*, dikarenakan tidak memiliki resiko masalah kelistrikan arus pendek (korsleting listrik) serta untuk total biaya yang dibutuhkan lebih murah dibandingkan dengan *Impressed Current*, yaitu berselisih \$11147. Setelah didapatkan bahwa metode yang paling tepat adalah *Sacrificial Anode*, dilakukanlah perbandingan variasi dimensi dan material anodanya agar diketahui dampaknya saat sistem proteksi katodik berjalan.

Kata Kunci: Korosi, Proteksi Katodik, *Impressed Current*, *Sacrificial Anode*.

COMPARATIVE CASE STUDY OF TWO METHOD OF CORROSION PROTECTION OF GAS PIPELINE PT.PGN BATU AMPAR BATAM

Student's Name : **Julio Iman Nugroho**
Reg. Number : **4312100090**
Department : **Ocean Engineering, Faculty of Marine Tech., ITS**
Supervisors : **Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D**
Dirta Marina, S.T., M.T.

ABSTRACT

Corrosion is a process of destruction that will be encountered on any type of structure that is made of metal, which if not controlled and be taken seriously, it will cause fatal damage to the metal structure, particularly in the gas distributor pipeline-based steel. Corrosion indeed can not be prevented or stopped altogether, but can be controlled or at least inhibited its speed. As there are various methods of corrosion protection of metal structures, some of them by using a protective layer (Coating), and also by using cathodic protection that is by making the metal structure as a cathode that is protected. There are two types of cathodic protection method is a method Impressed Current and Sacrificial Anode method. At the end of the task I was doing this, I compared the two methods of protection is technically and economically, to determine the technical risks and the costs of each of the cathodic protection method to determine which method is most appropriate for use on a gas pipeline PT.PGN Batu Ampar-Batam. After analysis, it was found that the most appropriate method Sacrificial Anode because it does not have the risk of electrical short circuit problem and total cost required for cheaper compared with Impressed Current, has a difference of \$11147. After having found that the most appropriate method is Sacrificial Anode, the comparison of variation of dimensions and materials of anode must be perform in order to know the impact while the cathodic protection system is currently running.

Keywords: Corrosion, Cathodic Protection, Impressed Current, Sacrificial Anode.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, tuhan yang maha kuasa, yang dengan kuasa dan rahmatnya saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam saya curahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW. Alhamdulillah pada akhirnya Tugas Akhir ini dapat saya susun dengan baik dan selesai tepat waktu. Adapun Tugas Akhir yang saya kerjakan berjudul **“STUDI KASUS PERBANDINGAN DUA METODE PERLINDUNGAN KOROSI PADA PIPA PENYALUR GAS PT.PGN BATU AMPAR BATAM”**.

Tugas Akhir ini saya dedikasikan kepada semua pihak yang telah turut dalam membantu saya secara langsung maupun tidak langsung, baik secara moril maupun materil. Adapun Tugas Akhir ini saya kerjakan dan susun dengan tujuan guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Sebagai seorang hamba Allah SWT, saya pun sadar bahwa masih banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan pada penyusunan Tugas Akhir ini. Dengan segala kerendahan hati, saya mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun. Saya juga berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya.

Kesempurnaan hanya milik Allah SWT, dan segala kesalahan dan kekurangan datangnya dari manusia termasuk Penulis.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Surabaya, Januari 2016

Julio Iman Nugroho

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini, Penulis pun menyadari dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini banyak pihak yang turut memberikan bantuan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tanpa bantuan mereka, penulis tidak akan sanggup untuk menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini. Penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam membantu penulis, diantaranya:

1. Kedua Orang Tua dari Penulis, Ibu dan Bapak yang selalu mendoakan Penulis agar selalu diberi kelancaran dalam melaksanakan segala kegiatan, termasuk dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. Terimakasih atas segala yang telah diberikan, baik itu dalam bentuk doa, moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah S-1 nya dengan baik.
2. Bapak Herman Pratikno S.T., M.T., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan saran dan bimbingan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Dirta Marina S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan banyak masukan, saran serta beberapa data yang dibutuhkan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh jajaran Direksi beserta karyawan PT. Marindotech, terutama Bapak Rony Dwi Cahyono, S.T (Teknik Kelautan ITS 1999), dan Mas Fadillah R S.T (Teknik Kelautan ITS 2008) selaku pembimbing kerja praktik penulis yang telah memberikan kesempatan kerja, bimbingan dan pembelajaran kepada penulis, serta memberi kebutuhan data untuk Tugas Akhir penulis ini.
5. Bapak Wira Yudha N S.T dan mas Rahmat Riski S.T yang turut membantu penulis dalam memperoleh data untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D., selaku dosen wali penulis, yang telah memberikan bimbingannya selama penulis kuliah.
7. Seluruh dosen dan karyawan Tata Usaha Jurusan Teknik Kelautan ITS yang telah berpartisipasi dalam memberikan segala bantuan.
8. Seluruh teman-teman Varuna P52-L30 yang telah banyak membantu penulis selama masa perkuliahan berlangsung, baik secara langsung maupun tidak langsung.

9. Keseluruhan warga Jurusan Teknik Kelautan ITS yang juga turut membantu penulis dan tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Surabaya, Januari 2016

Julio Iman Nugroho

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Cover Page	ii
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	iv
Abstract	v
Kata Pengantar	vi
Ucapan Terima Kasih	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Gambar	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori	9
2.2.1 Definisi dari Korosi.....	9
2.2.2 Macam Tipe Korosi.....	10
2.2.3 Faktor-Faktor Korosi.....	14
2.2.4 Metode-Metode Perlindungan atas Korosi.....	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1 Diagram Alir.....	33
3.2 Metode Penelitian	34

BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Analisa Awal.....	37
4.1.1 Data Properties Pipa.....	37
4.2 Analisa Teknis Metode <i>Impressed Current Cathodic Protection</i>	38
4.2.1 Tahap Desain <i>Impressed Current</i>	38
4.2.2 Tahap Instalasi <i>Impressed Current</i>	43
4.2.3 Tahap Operasional & Inspeksi <i>Impressed Current</i>	47
4.3 Analisa Teknis Metode <i>Sacrificial Anode Cathodic Protection</i>	48
4.3.1 Tahap Desain <i>Sacrificial Anode</i>	48
4.3.2 Tahap Instalasi <i>Sacrificial Anode</i>	55
4.3.3 Tahap Operasional & Inspeksi <i>Sacrificial Anode</i>	56
4.4 Analisa Ekonomis Metode <i>Impressed Current Cathodic Protection</i> ..	57
4.5 Analisa Ekonomis Metode <i>Sacrificial Anode Cathodic Protection</i> ...	59
4.6 Perbandingan Segi Teknis dan Hasil Perhitungan Ekonomis.....	60
4.6.1 Perbandingan Segi Teknis.....	60
4.6.2 Perbandingan Segi Ekonomi.....	62
4.7 Perbandingan Variasi Dimensi dan Material Anoda.....	63
4.7.1 Kelebihan dan Kekurangan Masing-Masing Anoda.....	71
BAB 5 KESIMPULAN SERTA SARAN	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Derajat Keasaman.....	15
Tabel 2.2 Tingkat Resistifitas.....	17
Tabel 2.3 Perbandingan Sifat Anoda.....	28
Tabel 4.1 Kriteria Penerimaan Potensial.....	48
Tabel 4.2 Perhitungan Biaya Peralatan ICCP.....	57
Tabel 4.3 Perhitungan Biaya Instalasi ICCP.....	57
Tabel 4.4 Perhitungan Biaya Operasional & Inspeksi ICCP Selama 20 Tahun.....	58
Tabel 4.5 Perhitungan Biaya Peralatan SACP	59
Tabel 4.6 Perhitungan Biaya Instalasi SACP	59
Tabel 4.7 Perhitungan Biaya Operasional & Inspeksi SACP Selama 20 Tahun.....	59
Tabel 4.8 Perhitungan Desain SACP Anoda Magnesium 1.....	63
Tabel 4.9 Perhitungan Desain SACP Anoda Magnesium 2.....	64
Tabel 4.10 Perhitungan Desain SACP Anoda Magnesium 2 dengan jarak dan jumlah anoda sama dengan Magnesium 1.....	65
Tabel 4.11 Perhitungan Desain SACP Anoda Magnesium 3.....	65
Tabel 4.12 Perhitungan Desain SACP Anoda Magnesium 3 dengan jarak dan jumlah anoda sama dengan Magnesium 1.....	66
Tabel 4.13 Perhitungan Desain SACP Anoda Alumunium.....	67
Tabel 4.14 Perhitungan Desain SACP Anoda Alumunium dengan jarak dan jumlah anoda sama dengan Magnesium 1.....	67
Tabel 4.15 Perhitungan Desain SACP Anoda Zinc.....	68
Tabel 4.16 Perhitungan Desain SACP Anoda Zinc dengan jarak dan jumlah anoda sama dengan Magnesium 1.....	68
Tabel 4.17 Perbandingan variasi dimensi & material anoda SACP.....	69
Tabel 4.18 Perbandingan variasi anoda SACP dengan tinjauan anoda Mg 1	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Galvanic Corrosion</i>	10
Gambar 2.2 <i>Stress Corrosion Cracking</i>	11
Gambar 2.3 <i>Errosion Corrosion</i>	12
Gambar 2.4 <i>Selective Leaching</i>	12
Gambar 2.5 <i>Uniform Corrosion</i>	13
Gambar 2.6 <i>Crevice Corrosion</i>	13
Gambar 2.7 <i>Pitting Corrosion</i>	14
Gambar 2.8 Ilustrasi Konsep Proteksi Katodik.....	20
Gambar 2.9 Ilustrasi Gambar <i>Impressed Current</i>	21
Gambar 2.10 Ilustrasi Gambar <i>Sacrificial Anode</i>	26
Gambar 3.1 Diagram alir Metodologi.....	33
Gambar 4.1 Pipa penyalur gas PT.PGN Batam saat Instalasi.....	37

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Kebutuhan energi di dunia semakin meningkat dari tahun ke tahun dengan pasti. Terutama energi yang bersumber dari minyak bumi dan gas bumi. Banyak dari kalangan peneliti dan ilmuwan berlomba-lomba untuk berinovasi dalam menemukan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan seperti tenaga panas bumi (*Geothermal Energy*), tenaga surya, tenaga arus laut dan air terjun, namun tetap saja kebutuhan energi di dunia ini sangat bergantung pada minyak bumi dan gas bumi, dikarenakan sumber energi dari minyak dan gas bumi dinilai lebih murah serta lebih efektif dibandingkan dengan energi-energi terbarukan yang banyak sedang dikembangkan, walaupun penggunaan energi-energi terbarukan dianggap jauh lebih ramah lingkungan. Jadinya, energi yang bersumber dari minyak bumi dan gas bumi tetap memegang peranan yang paling penting bagi kebutuhan energi seluruh umat manusia hingga saat ini.

Di dalam dunia perminyakan dan gas bumi, sistem perpipaan (*Pipeline*) merupakan sarana transportasi fluida yang dianggap paling efektif dan aman. Terdapat beberapa macam fluida yang bisa dialirkan melalui pipa diantaranya air, minyak bumi dan juga gas bumi. Jalur pipa tersebut meyalurkan suatu fluida (baik minyak bumi maupun gas bumi) dari suatu tempat ke tempat lainnya yang akan dituju. Pendistribusian minyak bumi dan gas bumi dengan menggunakan sistem perpipaan (*Pipeline*) dapat dilakukan baik di daratan/ tanah (*onshore*) maupun di lautan lepas (*offshore*).

Pipa yang digunakan untuk pendistribusian minyak bumi dan gas bumi umumnya terbuat dari logam. Pipa logam tersebut akan terkena kontak langsung dengan lingkungan sekitarnya, apabila berada di darat dan terkubur maka akan terkontak dengan tanah, dan apabila berada di lautan lepas serta terendam, maka akan terkontak dengan air laut yang memiliki kadar garam yang tinggi. Kontak

pipa dengan lingkungan tempatnya tersebut menimbulkan masalah baru, yaitu korosi yang dapat terjadi pada pipa logam penyalur minyak ataupun gas bumi tersebut. Korosi adalah kerusakan material khususnya logam secara umum akibat reaksi dengan lingkungan sekitarnya. Definisi lainnya yaitu, korosi merupakan penurunan kualitas yang disebabkan oleh reaksi kimia bahan logam dengan unsur-unsur lain yang terdapat di alam atau lingkungan tempat pipa berada (Sidiq, 2013).

Masalah korosi yang terjadi pada jaringan sistem perpipaan sangat membutuhkan perhatian yang khusus, dikarenakan dampak dari adanya proses korosi pada suatu struktur khususnya pada jaringan sistem perpipaan adalah banyaknya kerugian ekonomis dan teknis yang timbul. Sebagai contoh dari kerugian teknis tersebut adalah menurunnya *fatigue life* serta *tensile strength*, berkurangnya sifat mekanis material, hingga dapat menyebabkan kebocoran pada pipa penyalur apabila korosi dibiarkan begitu saja tanpa dicegah. Berdasarkan data statistik, terdapat gambaran secara global bahwa biaya yang perlu dikeluarkan akibat korosi bisa mencapai sekitar 40% dari total dari biaya operasi serta perawatan per tahunnya (Putra, 2013).

Dalam menghambat terjadinya korosi pada struktur logam khususnya pipa logam, terdapat beberapa cara diantaranya dengan pemilihan material yang baik dan tepat, penggunaan lapisan pelindung (*coating*) dan penggunaan proteksi katodik (*cathodic protection*) untuk melindungi struktur logam dari korosi.

Adapun terdapat dua metode proteksi katodik dalam melindungi dan mengendalikan korosi pada sebuah konstruksi khususnya pada jaringan perpipaan, diantaranya metode *impressed current* dan metode *sacrificial anode* (Alam, 2011). Dari kedua metode tersebut dapat dibandingkan metode mana yang paling tepat dari segi teknis dan ekonomi dalam memproteksi sebuah struktur dari korosi, khususnya struktur pipa.

Perusahaan Gas Negara (PT.PGN) merupakan badan usaha milik Negara kesatuan Republik Indonesia yang bergerak pada bidang energi , khususnya pada sumber energi yang berasal dari gas bumi, untuk memenuhi kebutuhan energi warga Negara Indonesia. Terdapat cabang ataupun penempatan PT.PGN di berbagai wilayah di Indonesia, contohnya PT.PGN yang berlokasi di Batu Ampar-Batam. Pada PT.PGN yang berlokasi Batu Ampar-Batam, terdapat pipa penyalur gas bumi yang bertujuan untuk pendistribusian gas bumi di daerah sekitar. Untuk melindungi pipa penyalur gas dari korosi, PT.PGN Batu Ampar – Batam menggunakan lapisan pelindung (*coating*) dan proteksi katodik pada pipanya. Tujuan dari studi dan analisa ini adalah mendapatkan gambaran mengenai metode proteksi katodik manakah diantara metode *Impressed Current* atau metode *Sacrificial Anode* yang lebih tepat untuk digunakan pada pipa penyalur gas milik PT. PGN Batu Ampar – Batam. Setelah didapatkan metode mana yang paling tepat, dilakukanlah perbandingan variasi dimensi dan material pada anoda yang digunakan untuk mengetahui dampaknya selama sistem proteksi katodik berjalan

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang menjadi bahan kajian dalam tugas akhir ini antara lain :

1. Bagaimanakah perbandingan dari segi teknis dari kedua metode perlindungan korosi proteksi katodik yaitu metode *impressed current* dan *sacrificial anode*?
2. Berapa besar selisih biaya yang diperlukan untuk membangun proteksi katodik pada pipa penyalur gas PT PGN Batu Ampar Batam dengan metode *impressed current* dan *sacrificial anode* setelah melakukan perhitungan desain?
3. Apakah metode yang paling tepat untuk digunakan dalam pengendalian dan perlindungan korosi pada pipa penyalur gas PT PGN Batu Ampar Batam?
4. Apakah dampak dari variasi dimensi dan material anoda dari metode proteksi katodik yang akan digunakan?

1.3 TUJUAN

Tujuan dari tugas akhir ini antara lain :

1. Mengetahui perbandingan dari segi teknis dari masing-masing metode perlindungan korosi.
2. Mengetahui besar masing-masing biaya yang diperlukan untuk membangun proteksi katodik pada pipa penyalur gas PT PGN Batu Ampar Batam dengan metode *impressed current* dan *sacrificial anode* setelah melakukan perhitungan desainnya.
3. Untuk mengetahui metode mana yang paling tepat untuk digunakan dalam pengendalian dan perlindungan pipa penyalur gas PT PGN Batu Ampar Batam dari korosi.
4. Untuk mengetahui dampak dari variasi dimensi dan material anoda pada proteksi katodik yang akan digunakan.

1.4 MANFAAT

1. Dapat meminimalkan dan menghambat proses korosi pada pipa penyalur gas.
2. Mengetahui metode yang paling tepat melalui analisa segi teknis dan perbandingan secara ekonomis dalam perlindungan pipa dari korosi.
3. Mengetahui dampak dari variasi dimensi dan material anoda pada proteksi katodik yang akan digunakan.
4. Menambah pengetahuan kita tentang korosi, khususnya pada pipa.

1.5 BATASAN MASALAH

Batasan Masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penulis hanya membahas 2 metode pencegahan dan perlindungan pipa dari korosi yaitu metode arus tanding (*Impressed current*) dan metode anoda korban (*Sacrificial Anode*)
2. Data yang dipergunakan dalam studi kasus adalah data pipa yang sudah terpasang.

3. Data yang dipergunakan adalah data pipa milik PT.PGN Batu Ampar-Batam.
4. Keadaan pipa yang dianalisa dalam kondisi terkubur (*Burried*).
5. Perancangan umur desain untuk 20 tahun.
6. Setelah melakukan analisa teknis dan ekonomi, hasil akhir yang penulis ambil yaitu metode proteksi katodik yang memiliki resiko teknis lebih rendah dan memiliki total biaya yang lebih murah dalam pembangunannya.
7. Dalam perhitungan biaya, penulis menggunakan satuan mata uang US\$ dengan asumsi 1 US\$ adalah sama dengan Rp.13.000.

1.6 SISTEMATIKA LAPORAN/BUKU TUGAS AKHIR

Sistematika Penulisan Tugas Akhir meliputi :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir, manfaat yang diperoleh, ruang lingkup penelitian untuk membatasi analisa yang dilakukan dalam tugas akhir, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis berpedoman pada beberapa penelitian tentang metode perlindungan korosi pada jaringan pipa yaitu metode *Impressed Current* dan metode *Sacrificial Anode*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang alur pengerjaan tugas akhir ini dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang disusun secara sistematis .

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang pengolahan data yang diperoleh yaitu data teknis dan juga data ekonomis. Langkah pertama yang dilakukan yaitu melakukan analisa teknis yang meliputi tahap desain, instalasi lalu tahap operasional dan inspeksinya. Lalu kemudian dilanjutkan dengan ekonomis yang meliputi analisa dan perhitungan biaya mulai dari peralatan yang dibutuhkan, instalasi dan kemudian tahap operasional serta inspeksinya. Adapun setelah didapatkan metode proteksi yang paling tepat, dilakukanlah perhitungan desain proteksi katodik dengan variasi dimensi dan material anodanya.

BAB V KESIMPULAN SERTA SARAN

Bab ini berisi tentang uraian singkat dari hasil yang diperoleh selama melakukan analisa dan perhitungan. Uraian ini diharapkan dapat menjawab rumusan masalah yang ada di Bab 1. Bab ini juga berisikan saran yang bertujuan untuk adanya perbaikan pada penelitian sejenis yang akan datang.

BAB VI DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi – referensi yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Jaringan sistem perpipaan (*Pipeline*) dapat didefinisikan sebagai bentangan pipa yang memiliki jarak yang panjang, dimana pipa tersebut dapat menjadi media transportasi dari fluida, baik itu dalam keadaan cair, campuran dari cair-padat dan dalam bentuk gas. Pada umumnya, jaringan pipa terdiri dari pipa yang terhubung dengan *valve*, pompa, dan alat kontrol serta berbagai peralatan pendukungnya untuk beroperasi (Liu, 2003). Jaringan sistem perpipaan (*Pipeline*) digunakan untuk pengembangan sumber daya alam yaitu minyak bumi dan gas bumi, diantaranya sebagai pipa pengeksport (transportasi), pengarah aliran untuk mentransfer sebuah produk dari sebuah platform menuju jalur ekspor (jalur yang dituju), injeksi air dan bahan-bahan kimia, lalu penghubung transfer produk antar platform itu sendiri (Bai, 2001). Adapun menurut (Liu, 2003) terdapat beberapa keuntungan dalam penggunaan pipa sebagai alat transportasi fluida (minyak bumi dan gas bumi), yaitu diantaranya :

1. Dinilai jauh lebih ekonomis dalam berbagai situasi, dikarenakan pipa dapat mengangkut fluida dalam medan yang tidak dapat dijangkau oleh alat transportasi lainnya, contohnya yaitu rawa-rawa. Adapun dalam kondisi yang normal, pipa dapat mengantarkan fluida (baik cair maupun gas) dengan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan menggunakan truk dan kereta pengangkut.
2. Konsumsi energi yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan moda transportasi lainnya, yang dimana dalam proses nya membutuhkan bahan bakar yang tidak sedikit contohnya truk dan kereta di daratan dan kapal tanker di lautan.

3. Lebih ramah lingkungan, Hal ini terutama dikarenakan adanya fakta bahwa jaringan pipa bawah tanah tidak menimbulkan masalah lingkungan sebesar truk dan kereta api, seperti polusi udara, kebisingan, kemacetan lalu lintas di jalan raya dan di perlintasan kereta api, dan membunuh dengan menabrak hewan yang tersesat di jalan raya dan rel kereta api. Adapun pipa penyalur minyak memang dapat mencemari tanah dan sungai ketika bocor atau pecah. Namun, jauh lebih banyak tumpahan yang akan terjadi jika truk dan kereta yang mengangkut minyak mengalami kecelakaan.

Dinilai jauh lebih ekonomis dibandingkan moda transportasi lainnya, serta menggunakan konsumsi energi yang rendah dan lebih ramah lingkungan dalam penggunaannya, pipa penyalur minyak bumi dan gas bumi yang terbuat dari logam mempunyai masalah yang akan dihadapi yaitu korosi.

Secara garis besar, korosi pada pipa khususnya terbagi dalam dua bagian yaitu korosi eksternal (terjadi pada bagian permukaan dari sistem perpipaan, baik yang kontak dengan udara bebas maupun dengan permukaan tanah, yang diakibatkan adanya kandungan zat asam pada udara dari tanah) dan korosi internal (akibat adanya kandungan CO_2 dan H_2S pada minyak bumi yang mengalir di dalam pipa, dan apabila terjadi kontak dengan air, maka akan membentuk asam yang menyebabkan korosi). (Halimahtuddahlia, 2003). Di dalam Industri perminyakan dan gas bumi sendiri, korosi juga merupakan salah satu faktor terpenting yang tidak dapat diabaikan. Dengan beberapa hal yang mempengaruhinya seperti komposisi kimia pada minyak dan gas bumi, tekanan dan suhu pada operasi maupun desain, kadar ion karbonat serta kadar air (Qohar, 2012).

Pencegahan serta penanggulangan dan pengurangan dampak korosi sangat perlu dilakukan, baik dengan melakukan penelitian mengenai metode-metode pencegahan dan pengendalian korosi yang baru serta mencari tahu metode mana yang paling tepat dan efektif dari metode-metode yang sudah ada. Adapun terdapat

beberapa metode dalam melindungi dan mengendalikan korosi pada sebuah konstruksi khususnya pada jaringan perpipaan, diantaranya adalah proteksi katodik. Terdapat dua jenis metode proteksi katodik yang umum digunakan yaitu metode *Impressed Current* dan metode *Sacrificial Anode* (Alam, 2011).

Adapun, kedua metode tersebut akan dibandingkan efisiensi maupun efektifitasnya, ditinjau dari analisa segi teknis dan perbandingan dari segi ekonomis. Tujuan dari perbandingan tersebut adalah agar nantinya, kita dapat menentukan metode mana yang paling efisien dan efektif serta dapat menekan biaya produksi hingga biaya perawatan, sehingga mendapatkan hasil yang optimal dari segi ekonomisnya. Sebelumnya, terdapat penelitian yang membandingkan efektifitas antara metode perlindungan korosi *Impressed Current* dan metode *Sacrificial Anode* pada struktur jacket (Zainab, 2011), dan perlu dilakukan pula perbandingan kedua metode tersebut pada perlindungan korosi pada pipa penyalur gas.

Dalam mendesain proteksi katodik (pengendalian korosi menggunakan anoda, dimana struktur berperan sebagai katoda) untuk melindungi struktur pipa, DNV RP B 401. 2010. "Cathodic Protection Design" dan *Peabody's Control Of Pipeline Corrosion 2nd Edition* dapat dijadikan sumber dan acuan yang baik. Adapun hal yang harus diperhatikan adalah arus proteksi dan jumlah anoda yang akan dipergunakan. Jika berlebihan maka biaya yang akan dikeluarkan akan sangat banyak, namun apa bila kurang dari seharusnya maka struktur pipa tidak akan terproteksi dengan baik dan akan mengalami korosi.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Definisi dari Korosi

Korosi merupakan kerusakan atau degradasi suatu material akibat reaksi antara suatu material dengan berbagai zat yang ada di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak diinginkan (Roberge, 1999). Pada umumnya, korosi

juga biasa disebut dengan perkaratan. Contoh korosi yang paling lazim dan sering ditemukan ialah perkaratan pada besi. Korosi sendiri tidak hanya terjadi pada logam, tapi non logam juga dapat mengalami korosi yang dapat digolongkan sebagai korosi non logam. Korosi juga dapat didefinisikan sebagai proses elektrokimia yang terjadi pada logam maupun logam campuran yang disebabkan adanya elektrolit (baik asam, garam ataupun mineral yang merupakan penghantar listrik(konduktor)). Reaksi elektrokimia tersebut melibatkan perpindahan elektron-elektron. Perpindahan elektron adalah hasil dari reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Proses oksidasi terjadi pada anode (reaksi anodik) yang melepaskan elektron sedangkan pada proses reduksi katoda (reaksi katodik) yang menerima elektron (Halimahtuddahlia, 2003). Korosi dapat berlangsung apabila terdapat komponen yaitu anoda, katoda, konduktor elektrik dan elektrolit.

2.2.2 Macam Tipe Korosi

Tipe korosi dapat dibedakan menjadi beberapa tipe dan tipe-tipe tersebut adalah :

1. Korosi Galvanis (*Galvanic Corrosion*)

Merupakan korosi yang terjadi karena terdapat hubungan antara dua logam yang berada dalam suatu elektrolit yang disambung dengan sebuah konduktor, dimana terdapat perbedaan potensial antara keduanya.



Gambar 2.1 *Galvanic Corrosion* (Sumber : Wikipedia, 2015)

2. Korosi Tegangan-Retak (*Stress Corrosion Cracking*)

Merupakan korosi yang berbentuk retak-retakan, terbentuk pada permukaan logam dan menjalar ke dalam. Korosi ini banyak terjadi pada logam-logam yang banyak mendapat tekanan. Penyebabnya adalah kombinasi dari tegangan tarik dengan lingkungan yang korosif sehingga membuat kondisi struktur logam menjadi lemah.



Gambar 2.2 *Stress Corrosion Cracking* (Sumber : met-tech.com, 2015)

3. Korosi Erosi (*Erosion Corrosion*)

Merupakan korosi yang terjadi akibat tercegahnya pembentukan film/lapisan luar pelindung struktur yang disebabkan oleh kecepatan alir fluida yang tinggi, contohnya yang terjadi pada *elbow* pipa penyalur fluida, karena kecepatan fluida yang membentur lekukan pipa secara kontinu maka terjadilah pengikisan.



Gambar 2.3 *Errosion Corrosion* (Sumber : copper.org, 2015)

4. *Selective Leaching*

Korosi ini terkait dengan terlepasnya satu elemen dari Campuran logam. Contohnya adalah *desinfication* yang melepaskan zinc dari paduan tembaga ataupun paduan kuningan.



Gambar 2.4 *Selective Leaching* (Sumber : cdcorrosion.com, 2015)

5. Korosi Seragam (*Uniform Corrosion*)

Merupakan korosi yang terjadi pada permukaan struktur logam yang berbentuk pengikisan permukaan logam secara menyeluruh dan merata sehingga menyebabkan ketebalan logam berkurang. Adapun biasanya terjadi pada peralatan-peralatan atau struktur logam di tempat terbuka dan lembab. Contohnya permukaan luar pipa baja.



Gambar 2.5 *Uniform Corrosion* (Sumber : tomson.com, 2015)

6. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

Merupakan korosi yang terjadi di sela-sela suatu struktur, sambungan suatu struktur yang posisinya bertindih, sekrup-sekrup dan paku keling yang terbentuk oleh kotoran-kotoran yang mengendap diantara celah tersebut.



Gambar 2.6 *Crevice Corrosion* (Sumber : ssina.com, 2015)

7. *Pitting Corrosion*

Merupakan korosi yang berbentuk lubang-lubang di permukaan logam karena hancurnya film (lapisan luar) dari proteksi logam yang disebabkan oleh laju korosi yang berbeda antara satu tempat dengan tempat yang lainnya pada permukaan sebuah struktur logam. (Halimahtuddahlia, 2003).



Gambar 2.7 *Pitting Corrosion* (Sumber : metallurgist.com, 2015)

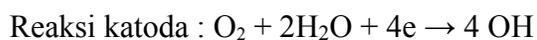
2.2.3 Faktor-Faktor Korosi

Adapun, faktor-faktor yang mempengaruhi cepat lambatnya proses korosi antara lain yaitu:

1. Faktor Gas Terlarut

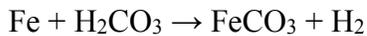
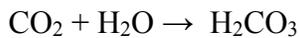
- Oksigen (O_2)

Terdapatnya oksigen yang terlarut akan menyebabkan oksidasi pada logam yang menjadi ion logam yang merupakan tahap kecil yang mengawali korosi. Adapun reaksi korosi (contoh pada besi) karena adanya kelarutan oksigen adalah :



- Karbondioksida (CO₂)

Apabila karbondioksida dilarutkan ke dalam air, akan terbentuk asam karbonat (H₂CO₂) yang dapat menurunkan kadar pH air yang secara otomatis meningkatkan korosifitasnya, umumnya bentuk korosinya berupa *pitting corrosion* yang secara umum reaksinya yaitu :



2. Faktor Temperatur

Pada umumnya peningkatan temperatur akan meningkatkan laju reaksi kimia, dimana apabila yang terjadi adalah reaksi korosi, maka korosi akan semakin cepat terjadi.

3. Faktor pH

Nilai pH yang netral adalah 7, sedangkan nilai pH < 7 memiliki sifat asam dan korosif, lalu untuk pH > 7 memiliki sifat basa yang juga korosif. Untuk sifat pada besi, terjadi laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Sedangkan laju korosi akan naik pada pH < 7 dan pada pH > 13.

Tabel 2.1 Derajat Keasaman

Derajat Keasaman	Ph	Sifat Korosifitas
Ekstrim	< 4,5	Sangat Korosif
Sangat Kuat	4,5 - 5,0	Korosif
Kuat	5,0 - 5,5	Korosif Sedang
Medium	5,5 - 6,0	Netral
Ringan	6,0 - 6,5	
Netral	6,5 - 7,3	
Basa Ringan	7,3 - 7,8	Tidak Korosif
Basa Medium	7,8 - 8,4	
Basa Kuat	8,4 - 9,0	Korosif Basa
Basa Sangat Kuat	> 9,0	

Sumber : (Ibrahim, 2012)

4. Faktor Bakteri Pereduksi atau *Sulfat Reducing Bacteria* (SRB)

Terdapatnya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas H₂S, adapun apabila gas tersebut terjadi kontak dengan logam akan menyebabkan korosi terjadi.

5. Faktor Padatan Terlarut

- Klorida (Cl)

Klorida umumnya ditemukan dalam campuran minyak-air pada konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan proses korosi. Adapun proses korosi dapat juga disebabkan oleh naiknya konduktivitas larutan garam, dimana larutan garam yang semakin konduktif maka laju korosinya juga akan semakin tinggi.

- Sulfat (SO₄)

Ion sulfat umumnya terdapat dalam minyak. Adapun dalam air, ion sulfat juga dapat ditemukan dalam konsentrasi yang tinggi dan sifatnya kontaminan, dan dengan bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfida yang bersifat korosif. (Halimahtuddahlia, 2003).

6. Resistivitas tanah

Tahanan tanah atau resistivitas tanah juga menentukan laju korosi, adapun semakin besar tahanan dari tanah, maka makin kecil korosifitasnya. Berikut tabel dari klasifikasi korosi dilihat dari Resistivitas tanah :

Tabel 2.2 Tingkat Resistifitas

Resistifitas , (ohm-cm)	Tingkat korosifitas
< 500	Sangat korosif
500 – 2000	Korosif
2000 – 5000	Korosif sedang
5000 – 10.000	Kurang korosif
> 10.000	Tidak korosif

Sumber : (Ibrahim, 2012)

7. Material Kontruksi

Material yang akan digunakan untuk menyusun suatu kontruksi akan sangat berpengaruh terhadap laju korosinya. Maka dari itu pemilihan dari material kontruksi harus disesuaikan dengan kondisi lingkungannya.

8. Bentuk Kontruksi

Bentuk dari kontruksi juga berpengaruh pada laju korosi, namun sebagian orang banyak yang kurang memperhatikannya. Contohnya yaitu, apabila lengkungan pipa didesain dengan sudut yang kaku maka akan jauh lebih cepat mengalami korosi yang disebabkan oleh aliran yang mengalir di dalamnya, dibandingkan dengan lengkungan pipa yang didesain dengan bentuk yang *streamline*.

2.2.4 Metode-Metode Perlindungan atas Korosi

I. Lapisan Pelindung Material (*Coating*)

Dalam melindungi sebuah struktur logam dari proses korosi, salah satu cara atau metode yang digunakan yaitu adalah dengan menggunakan lapisan pelindung yang biasa disebut dengan *Coating*. *Coating* merupakan sebuah lapisan yang dapat dibuat dari beberapa material yaitu plastik, cat, maupun beton, yang berfungsi

untuk melindungi permukaan struktur logam (misalnya pipa baja) dari kontak langsung dengan lingkungan yang biasanya merupakan elektrolit.

Adapun penggunaan *Coating* pada sebuah struktur logam memiliki tujuan untuk melapisi dan memproteksi struktur logam seperti pipa contohnya, agar terpisah atau tidak secara langsung terjadi kontak antara struktur pipa yang pada umumnya terbuat dari baja dengan medianya yang bisa berupa air maupun tanah.

Sebagai syarat *Coating* bisa dianggap baik dan efektif dalam memisahkan struktur logam dengan lingkungannya yang berupa air dan tanah adalah yaitu (Soegiono, 2007) :

- *Coating* memiliki daya rekat yang kuat terhadap struktur selama umur struktur tersebut berlangsung
- Mudah dalam pengaplikasiannya
- Memiliki Kelenturan / Fleksibilitas yang baik (Untuk yang berbahan plastik)
- Memiliki ketahanan terhadap penetrasi partikel pasir/ media (air,tanah) tempat struktur berada
- Stabil secara kimia maupun fisiknya
- Memiliki ketahanan listrik yang baik
- Anti Bakterial
- Mudah dalam melakukan perbaikannya apabila sudah waktunya diperbaiki

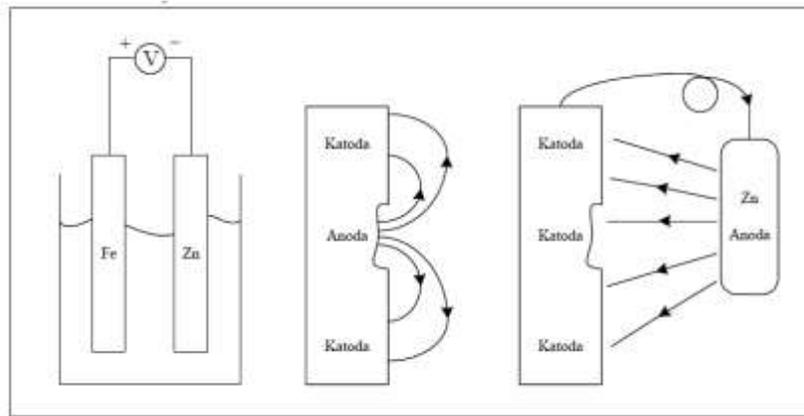
Sedangkan, syarat lapisan *Coating* yang baik menurut Standart NACE RP-0169 (2002) tidak jauh berbeda yaitu :

- Efektif dalam mencegah penguapan, yang dalam artian lapisan *Coating* harus mampu untuk menahan penguapan fluida (baik air, minyak, maupun gas bumi) yang biasanya dialirkan oleh struktur pipa baja, agar titik-titik air yang merupakan sumber penyebab korosi tidak timbul pada permukaan pipa baja
- Baik pemasangan maupun perawatannya menggunakan metode yang tidak memiliki dampak buruk bagi material konstruksi/struktur

- Bersifat sebagai isolator atau penyekat listrik yang baik dan efektif, dengan demikian diharapkan supaya tidak terdapat kontak dengan aliran listrik dari media/lingkungannya ke permukaan struktur logam (pipa) yang dilindungi
- Aplikasinya pada permukaan struktur logam yaitu pipa misalnya tidak menimbulkan kerusakan, hal ini dikarenakan kerusakan yang mungkin akan terjadi pada permukaan struktur harus dicegah sebaik mungkin
- Memiliki kemampuan untuk mencegah keberadaan celah-celah kecil pada permukaan struktur yang berpotensi menyebabkan korosi
- Lapisan *Coating* yang merupakan isolator juga harus mampu mempertahankan tahanan listrik nya secara konstan dalam jangka waktu umur pemakaiannya
- Memiliki sifat adhesif yang baik pada permukaan struktur khususnya pipa, yang berarti lapisan *Coating* memiliki kemampuan untuk melekat dengan kuat pada permukaan struktur pipa, sehingga tidak mudah terkelupas dalam jangka waktu yang lama.

II. Proteksi Katodik

Proteksi Katodik (*Cathodic protection*) merupakan suatu metode perlindungan struktur yang terbuat dari logam dari proses korosi. Apabila korosi terjadi, proteksi katodik dapat digunakan untuk dalam upaya mencegah proses korosi atau setidaknya menghambat laju dari korosi pada struktur logam yang akan dilindungi. Walaupun begitu, proteksi katodik hanya dapat menghambat proses korosi tetapi tidak dapat mengembalikan material yang telah terkorosi sebelumnya. Konsep dasarnya, korosi merupakan proses elektrokimia dimana reaksi elektrokimia terjadi lewat pertukaran elektron, sedangkan proses pertukaran elektron yang terjadi dapat dicegah oleh proteksi katodik. Sistem pada proteksi katodik memiliki prinsip pencegahan korosi atau perlindungan logam dari korosi dengan cara menjadikan logam yang akan dilindungi sebagai katoda, sehingga logam tersebut akan menerima elektron dari anoda yang sengaja disediakan.



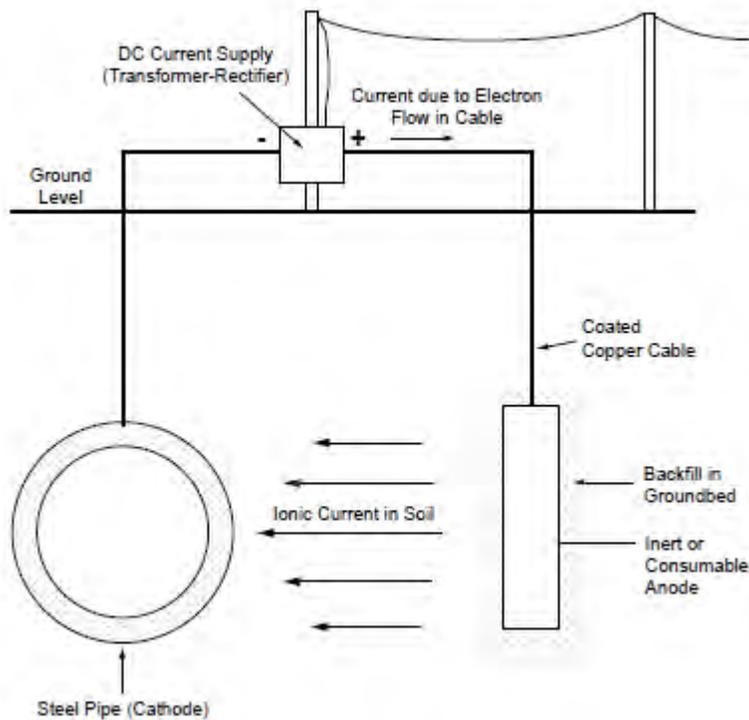
Gambar 2.8

Ilustrasi Konsep Proteksi Katodik (Trethewey, 1991)

Dalam sistem proteksi katodik, proses korosi akan terjadi pada anoda sedangkan diupayakan untuk katodanya terbebas dari korosi. Umumnya logam adalah anoda namun pada sistem proteksi katodik logam difungsikan sebagai katoda sehingga terlindung dari korosi. Konsep ini terjadi dengan mengalirkan elektron dengan arus listrik yang lebih tinggi dari yang dihasilkan oleh reaksi korosi pada anoda (Alam, 2011). Adapun terdapat dua dari metode pengendali korosi yang menggunakan konsep proteksi katodik yaitu metode *Impressed Current* dan metode *Sacrificial Anode*.

1. *Impressed Current* Cathodic Protection :

Metode ini menggunakan arus listrik disuplai dari sumber tenaga eksternal yaitu rectifier atau dengan motor listrik yang menghasilkan arus searah, yang ditampung di dalam aki terlebih dulu untuk memperoleh arus listrik yang baik. Arus listrik dari sumber tersebut kemudian dialirkan melalui kabel, lalu diteruskan ke anoda yang terkubur maupun terendam dalam elektrolit.



Gambar 2.9

Ilustrasi Gambar *Impressed Current* (Sumber : Roberge, 1999)

Jenis anoda yang digunakan pada *Impressed Current* terbuat dari material non aktif (inert) contohnya seperti *mixed metal oxide*, timbal, baja, *high silicon cast iron*, timah, platinum atau grafit yang berfungsi sebagai sumber elektron dan tidak terserang korosi.

Anoda yang digunakan dalam sistem *Impressed Current*, harus mempunyai elektroda dengan potensial yang tinggi supaya dapat melindungi area yang luas dengan anoda yang kecil. Untuk mendapatkan hasil yang optimal pada lingkungan yang memiliki resistivitas rendah dapat digunakan anoda berjenis platinum atau *mixed metal oxide*, seperti yang diketahui bahwa platinum berada pada urutan dibawah emas dalam deret volta sebagai logam dengan potensial tinggi.

Adapun tahapan perhitungan untuk mendesain proteksi katodik *Impressed Current* adalah :

1. Menghitung luas permukaan pipa yang diproteksi : Dengan menggunakan rumus :

$$SA = \pi \times D \times L \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan :

D = Diameter luar pipa (m)

L = Panjang pipa (m)

$\pi = 3.14$

SA = Luas permukaan (Surface Area) pipa yang diproteksi (m²)

(Sumber : Laporan Inspeksi untuk Sertifikasi Pipa PT.PGN Batam 2015)

2. Menghitung kebutuhan arus proteksi : Hal yang harus diperhatikan dalam menghitung arus proteksi yaitu kerapatan arus. Kerapatan arus memberi pengukuran terhadap kebutuhan arus katodik untuk mempertahankan proteksi selama umur yang didesain. Kerapatan arus juga digunakan untuk menghitung kebutuhan arus yang nantinya akan menentukan jumlah anoda yang dibutuhkan.

Dengan menggunakan rumus :

$$Ip = SA \times C_d \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan :

C_d = Kerapatan arus atau *Current Density* (mA/m²)

SA = Luas permukaan (Surface Area) pipa yang diproteksi (m²)

Ip = Kebutuhan arus proteksi (A)

(Sumber : Laporan Inspeksi untuk Sertifikasi Pipa PT.PGN Batam 2015)

3. Menghitung besar Kapasitas arus transformer rectifier (Itr) : Diperlukan perhitungan untuk mengetahui seberapa besar kapasitas arus rectifier. Dengan menggunakan rumus :

$$I_{tr} = I_p \times S_f \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan :

I_p = Kebutuhan arus proteksi (A)

S_f = Safety Factor

I_{tr} = Kapasitas arus transformer rectifier (A)

(Sumber : Laporan Inspeksi untuk Sertifikasi Pipa PT.PGN Batam 2015)

4. Menghitung Berat Anoda (W) : Diperlukan perhitungan untuk mengetahui berat dari anoda yang akan dipergunakan untuk memproteksi pipa. Dengan menggunakan rumus :

$$W = \frac{Y \times C \times I_{tr}}{U} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan :

Y = Umur anoda (Tahun)

I_{tr} = Kapasitas arus transformer rectifier (A)

C = Konsumsi Anoda (Kg/ A Tahun)

U = Faktor guna / *Utility factor*

W = Berat Anoda (Kg)

(Sumber : Laporan Inspeksi untuk Sertifikasi Pipa PT.PGN Batam 2015)

5. Jumlah Anoda (N) : Untuk mendesain proteksi katodik dengan metode *Impressed Current*, menentukan jumlah anoda yang akan dipergunakan merupakan salah satu langkah yang paling penting, dikarenakan apabila anoda yang digunakan kurang dari yang semestinya, maka struktur pipa tidak akan terproteksi secara optimal, sedangkan apabila berlebihan maka jumlah biaya yang akan dikeluarkan akan mahal.

Dengan menggunakan rumus :

$$N = \frac{W}{w} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dengan :

W = Berat Anoda (Kg)

w = Berat per Anoda (Kg)

N = Jumlah Anoda

(Sumber : Laporan Inspeksi untuk Sertifikasi Pipa PT.PGN Batam 2015)

6. Menghitung ketahanan pada beberapa anodes groundbed :

Dengan menggunakan rumus :

$$R_v = \frac{0.00521\rho}{NL} \left(2.3 \log \frac{8L}{d} - 1 + \frac{2L}{S} (2.3 \log 0.656N) \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan :

Rv = Tahanan vertical anoda terhadap tanah (ohm)

ρ = Tahanan tanah atau bumi (ohm cm)

L = Panjang anoda (ft)

d = Diameter anoda (ft)

N = Jumlah anoda

S = Spasi anoda (ft)

(Sumber : *Control of Pipeline Corrosion by Peabody Second Edition* dalam Laporan Inspeksi untuk Sertifikasi Pipa PT.PGN Batam 2015)

7. Menghitung Nilai Tegangan DC *Transformer Rectifier* : Dengan menggunakan rumus :

$$V_{DC} = I_{tr} (R_v + R_c) + Back_{emf} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan :

I_{tr} = Kapasitas arus transformer rectifier (A)

R_{cable} (R_c) = Tahanan kabel (ohm)

R_v = Tahanan Anoda (ohm)

B_{emf} = Tegangan Balik (*Back Electric Motive Force*) (V)

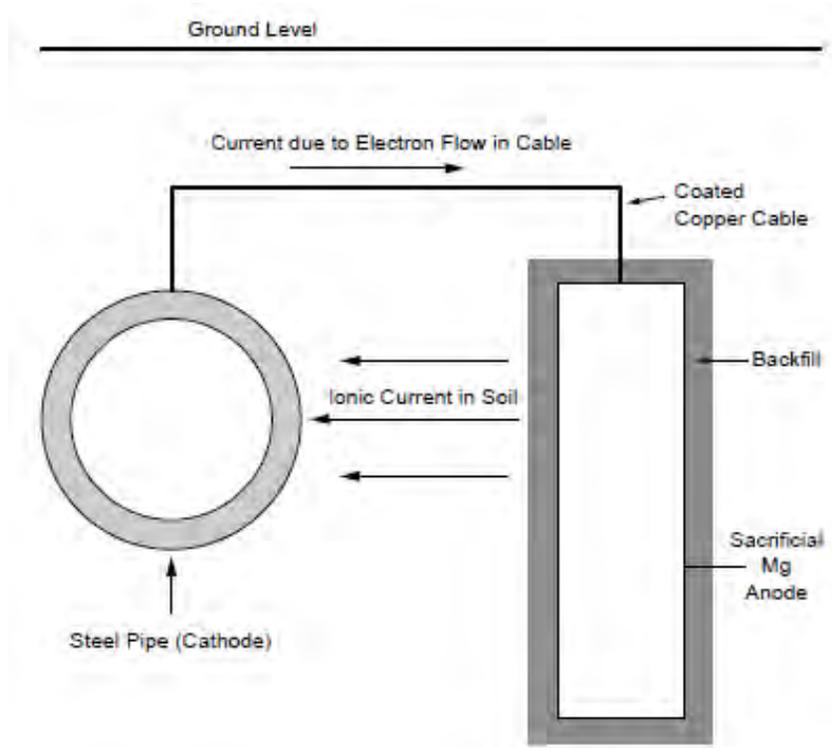
V_{DC} = Tegangan DC *Transformer Rectifier* (V)

(Sumber : Laporan Inspeksi untuk Sertifikasi Pipa PT.PGN Batam 2015)

2. *Sacrificial Anode* Cathodic Protection :

Menggunakan konsep sel galvanik, yaitu menghubungkan dua logam yang berbeda potensial dengan penghubung konduktor serta berada di dalam media elektrolit, seperti seng yang terhubung pada baja. Dengan mengorbankan logam yang memiliki potensial lebih negatif dari baja (Sebagai katoda) untuk diserang, elektron akan melewatinya pada baja. Cara ini dinamakan sebagai metode anoda korban, karena logam yang diserang adalah logam yang dikorbankan (Sebagai anoda) dengan tujuan untuk melindungi baja tersebut dari korosi.

Arus listrik bersumber dari terjadinya proses korosi pada sumber arus listrik (Anoda) yang berbahan dasar logam aktif contohnya seperti magnesium, seng dan aluminium yang mempunyai potensial yang lebih negatif daripada struktur logam yang akan dilindungi (Katoda) misalnya baja. Perbedaan potensial elektron ini membuat daya tarik elektron bebas negatif yang lebih besar dari daya tarik ion-ion pada struktur logam yang akan dilindungi. Peristiwa ini mengakibatkan sumber arus listrik (Anoda) tersebut akan mengalami proses korosi dan sebaliknya struktur logam yang akan terlindungi korosi (Alam, 2011).



Gambar 2.10

Ilustrasi Gambar *Sacrificial Anode* (Sumber : Roberge, 1999)

Pada deret volta, dapat diperoleh logam aktif yang memiliki potensi sebagai anoda yang baik yaitu seng, aluminium, serta magnesium yang umum digunakan pada praktek proteksi katodik. Adapun terdapat tiga jenis anoda yang biasa digunakan sebagai anoda pada proteksi katodik metode *Sacrificial Anode* :

- Paduan Magnesium (Mg) :

Anoda magnesium sangat aktif dan memberikan output arus yang tinggi. Untuk alasan ini, anoda magnesium dapat memberikan perlindungan katodik dengan menggunakan jumlah anoda yang minimum. Karena sifatnya, anoda magnesium biasanya tidak digunakan untuk desain-umur panjang. Untuk perlindungan struktur atau bagian pipa dikubur di dalam tanah, anoda magnesium terkubur di dalam tanah yang jaraknya berdekatan dengan struktur dan langsung terhubung dengan struktur. Anoda ini membutuhkan tanah yang lembab dengan resistivitas <5000 ohm-cm

untuk beroperasi dengan baik. Anoda ini memang sangat cocok digunakan untuk instalasi tanah.

Anoda magnesium telanjang dapat digunakan untuk kondisi terbenam, tertimbun lumpur, atau instalasi terkubur daerah daratan (*onshore*). Anoda paduan magnesium tersedia dalam berbagai tingkat kadar magnesium untuk kinerja yang berbeda-beda.

- Paduan Aluminium (Al) :

Jenis anoda aluminium umumnya cocok untuk digunakan pada pipa bawah laut serta pada struktur lepas pantai dan anoda ini memberikan kinerja yang sangat baik dalam lingkungan bawah laut. Penggunaan utamanya yaitu sebagai anoda model gelang (*Bracelet anode*) pada pipa bawah laut, di mana penggunaannya merupakan penghematan biaya awal hingga 60% lebih hemat dibandingkan dengan biaya awal penggunaan anoda seng model gelang karena kapasitas arusnya yang lebih tinggi.

- Paduan Seng (Zn) :

Anoda seng biasa digunakan dalam lingkungan air laut untuk perlindungan kapal laut. Karena kapasitas arusnya yang lebih rendah dan biaya yang lebih tinggi, anoda seng biasanya tidak dianjurkan untuk pipa bawah laut atau struktur lepas pantai. (Bahadori, 2014).

Besarnya arus listrik yang dapat diberikan oleh anoda dapat menentukan tingkat proteksi. Prinsipnya, semakin besar arus listrik yang dihasilkan anoda, semakin tinggi tingkat proteksinya. Pemilihan jenis anoda dipengaruhi oleh lingkungan/media tempat beradanya struktur yang akan diproteksi serta tegangan dorongnya (*driving voltage*). Berikut adalah tabel perbandingan sifat dari anoda Mg, Zn, dan Al :

Tabel 2.3 Perbandingan Sifat Anoda

Sifat	Anoda Mg	Anoda Zn	Anoda Al
Massa Jenis (Kg/dm ³)	1,7	7,5	2,7
Potensial (-V)	1,5 - 1,7	1,05	1,1
Tegangan Dorong (V)	0,6 - 0,8	0,25	0,25
Kapasitas (AH/Kg)	1200	780	2700
Efisiensi (%)	50	95	50 - 95

Sumber (Sulistijono, 1999)

Adapun tahapan perhitungan untuk mendesain proteksi katodik *Sacrificial Anode* adalah :

1. Menghitung luas permukaan pipa yang diproteksi : Dengan menggunakan rumus :

$$A = \pi \times D \times L \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan :

D = Diameter luar pipa (m)

L = Panjang pipa (m)

$\pi = 3.14$

A = Luas permukaan pipa yang diproteksi (m²)

2. Menghitung kebutuhan arus proteksi : Hal yang harus diperhatikan dalam menghitung arus proteksi yaitu kerapatan arus. Kerapatan arus memberi pengukuran terhadap kebutuhan arus katodik untuk mempertahankan proteksi selama umur yang didesain. Kerapatan arus juga digunakan untuk menghitung kebutuhan arus yang nantinya akan menentukan jumlah anoda yang dibutuhkan.

Dengan menggunakan rumus :

$$I_p = SA \times i_c \times fc \dots \dots \dots (2.9)$$

Dengan :

i_c = Kerapatan arus atau *Current Density* dari logam yang akan dilindungi (mA/m²)

fc = Faktor *breakdown Coating*

SA = Luas permukaan (Surface Area) pipa yang diproteksi (m²)

Ip = Kebutuhan arus proteksi total (A)

(Sumber : DNV RP B401 2010)

3. Menghitung kebutuhan berat anoda total Selama waktu desain :

Dengan menggunakan rumus :

$$W_o = \frac{(I_p \times t \times 8760)}{K \times u} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan :

Wo = Berat anoda total selama waktu desain (Kg)

Ip = Kebutuhan arus proteksi total (A)

t = Waktu proteksi (Tahun)

K = Kapasitas anoda (Ah/Kg)

u = Faktor guna (Utility Factor) (0.8)

1 Tahun = 8760 Jam

(Sumber : DNV RP B401 2010)

4. Menghitung jumlah anoda : Dengan Menggunakan rumus :

$$n = \frac{W_o}{w} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan :

n = Jumlah anoda

w = Berat per anoda (Kg)

Wo = Berat anoda total selama waktu desain (Kg)

5. Menghitung jarak pemasangan antar anoda : Dengan menggunakan rumus :

$$S = \frac{L}{n} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dengan :

S = Jarak pemasangan antar anoda (m)

n = Jumlah anoda

L = Panjang pipa yang akan diproteksi (m)

6. Menghitung kebutuhan arus proteksi untuk jarak S : Dengan menggunakan rumus :

$$I_s = \pi \times D \times S \times I_c \times fc \dots \dots \dots (2.13)$$

Dengan :

Is = Kebutuhan arus proteksi untuk jarak S (A)

D = Diameter luar total pipa (m)

S = Jarak pemasangan antar anoda (m)

fc = Faktor *breakdown Coating*

i_c = Kerapatan arus atau *Current Density* dari logam yang akan dilindungi (mA/m²)

(Sumber : DNV RP F103 2010)

7. Menghitung resistansi groundbed anoda : Dengan menggunakan rumus :

$$R_a = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \left(\ln \frac{4L}{r} - 1 \right) \dots \dots \dots (2.14)$$

Dengan :

Ra = Resistansi anoda yang dipasang secara horizontal (ohm)

ρ = Tahanan tanah (ohm cm)

l = Panjang anoda (cm)

$r = \frac{1}{2}$ Diameter anoda (cm)

(Sumber : DNV RP B401 2010)

8. Menghitung kapasitas arus keluaran anoda :

Dengan menggunakan rumus :

$$I_a = \frac{\Delta V}{R_a} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dengan :

$\Delta V = Driving\ voltage =$ Potensial anoda – minimal potensial proteksi (V)

$R_a =$ Resistansi anoda yang dipasang secara horizontal (ohm)

$I_a =$ kapasitas arus keluaran anoda (A)

(Sumber : DNV RP B401 2010)

9. Menghitung umur anoda :

Dengan menggunakan rumus :

$$Y = \frac{W_o \times K \times u}{I_p \times 8760} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dengan :

$W_o =$ Berat anoda total selama waktu desain (Kg)

$K =$ Kapasitas anoda (Ah/Kg)

$u =$ Faktor guna (Utility Factor)

$I_p =$ Kebutuhan arus proteksi total (A)

$Y =$ Umur anoda (tahun)

(Sumber : DNV RP B401 2010)

10. Menghitung perbandingan keperluan arus proteksi untuk jarak S dengan kapasitas arus keluaran anoda : Dengan menggunakan rumus :

$$I_s \leq I_a \dots \dots \dots (2.17)$$

Dengan :

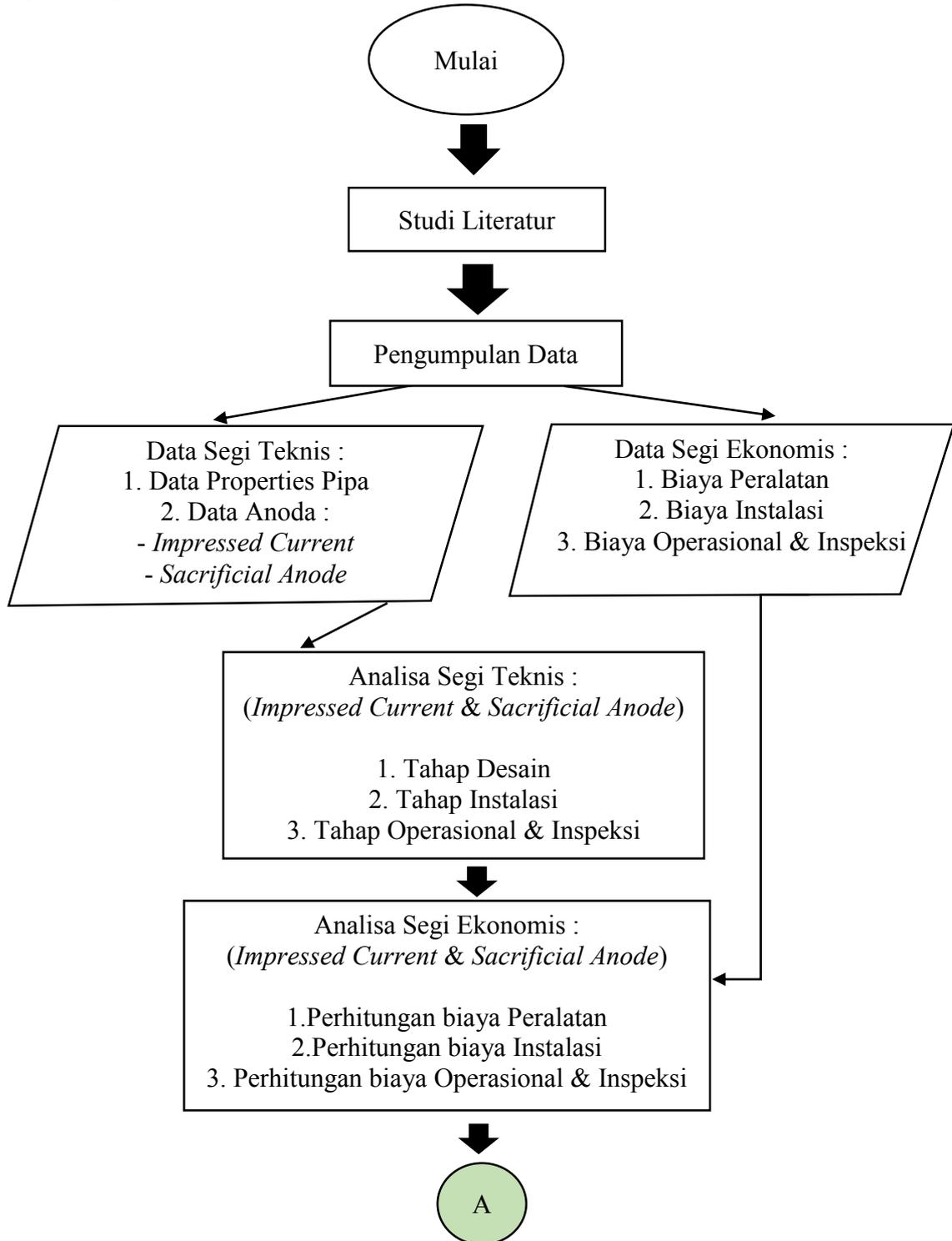
I_a = kapasitas arus keluaran anoda (A)

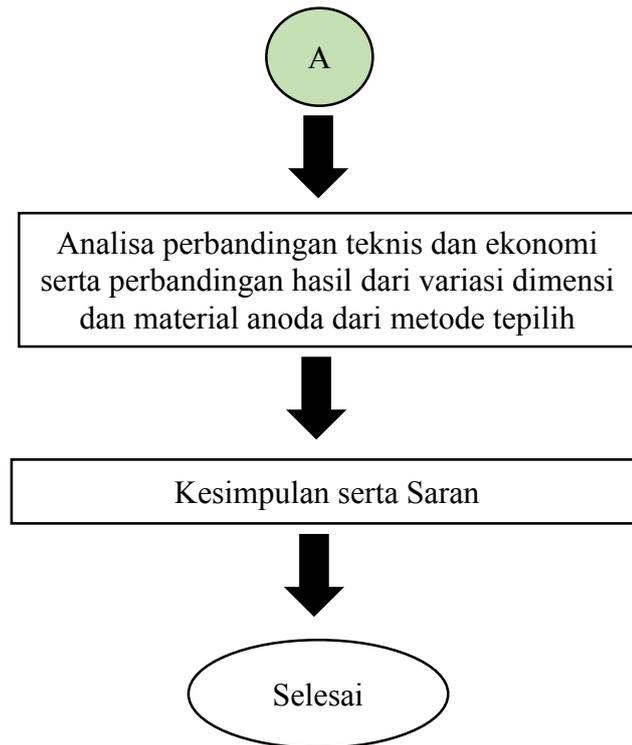
I_s = Kebutuhan arus proteksi untuk jarak S (A)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR

Adapun urutan pengerjaan atau diagram alir dalam penelitian serta penulisan laporan tugas akhir ini yaitu :





Gambar 3.1 Diagram alir Metodologi

3.2 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini ada beberapa tahapan, dimana tahapan-tahapan merupakan langkah penjelasan dari diagram alir diatas. Adapun langkah-langkahnya antara lain:

1. Studi literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan referensi dari makalah-makalah ilmiah dan buku-buku sejauh mungkin yang relevan untuk mendapatkan gambaran dan pemahaman terhadap materi. Referensi yang digunakan yaitu :

- Teori – teori tentang korosi :
 - a. Definisi dari korosi
 - b. Tipe – tipe korosi
 - c. Faktor yang mempengaruhi korosi
 - d. Konsep dari pengendalian korosi

- Teori – teori tentang proteksi katodik :
 - a. Definisi proteksi katodik
 - b. Mekanisme kerja proteksi katodik
 - c. Tipe – tipe proteksi katodik

- Teori – teori tentang *Impressed Current* :
 - a. Mekanisme dan prinsip kerja *Impressed Current*
 - b. Jenis anoda yang digunakan pada metode *Impressed Current*
 - c. Komponen pendukung pada metode *Impressed Current*

- Teori – teori tentang *Sacrificial Anode* :
 - a. Mekanisme dan prinsip kerja *sacrificial anode*
 - b. Jenis anoda yang digunakan pada metode *sacrificial anode*
 - c. Komponen pendukung pada metode *sacrificial anode*

- Teori – teori tentang Pembahasan Desain *Impressed Current* dan *Sacrificial Anode* pada Jaringan Pipa :
 - a. Jenis serta bahan dari anoda
 - b. Besar dari kapasitas arus

- Teori – teori tentang Pembahasan analisa Metode *Impressed Current* dan *Sacrificial Anode* pada Jaringan Pipa :
 - a. Analisa tahap desain
 - b. Analisa tahap instalasi
 - c. Analisa tahap operasional & inspeksi

- 2. Pengumpulan data : Adapun data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data material dari pipa dan data anoda yang mencakup ketebalan dan diameter pipa, panjang pipa, berat anoda, jenis anoda, resistivitas tanah dan sebagainya.

3. Analisa dari segi teknis :
 - a. Tahap desain
 - b. Tahap instalasi
 - c. Tahap operasional & inspeksi

4. Analisa dari segi ekonomis :
 - a. Perhitungan biaya peralatan
 - b. Perhitungan biaya instalasi
 - c. Perhitungan biaya operasional & inspeksi

5. Variasi Dimensi dan Material Anoda dari metode yang dianggap paling tepat.

6. Kesimpulan & saran : berisikan jawaban dari perumusan masalah dan tujuan dari penelitian.

7. Penyelesaian Laporan : dilakukan setelah mendapat hasil analisa dan kesimpulan.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 ANALISA AWAL

Pada tugas akhir yang saya kerjakan, saya akan membahas dua metode perlindungan dan pengendali korosi pada pipa penyalur gas bawah tanah (*Burried*) milik PT. PGN Batu Ampar Batam, dua metode tersebut adalah *Impressed Current* dan *Sacrificial Anode*. Setelah diketahui bahwa resistivitas tanah daerah Batu Ampar Batam yaitu 360 ohm cm, maka dapat digolongkan bahwa tanah daerah tersebut tergolong sangat korosif, maka dari itu perlu dilakukan analisa untuk mencari metode proteksi katodik yang paling tepat dalam melindungi pipa penyalur gas dari korosi.

4.1.1 Data Properties Pipa

Adapun data yang dipergunakan dalam analisa ini adalah data pipa penyalur gas bawah tanah (*Burried*) milik PT. PGN Batu Ampar Batam:



Gambar 4.1 Pipa penyalur gas PT.PGN Batam saat Instalasi
(Sumber : Data Perusahaan Inspeksi)

• Data Properties Pipa PT.PGN Batu Ampar Batam :

1. Jenis pipa : baja api 5l grade b sch 40
2. Panjang pipa : 6341 m & 2428 m & 2012 m => total = 10781 m
3. Jenis coating : 3 layer polyetilene (wrapping tapes)
4. Diameter luar : 10,75 inch = 0,27 m & 8,625 inch = 0,21 m & 6,625 inch = 0,17 m
5. Tebal dinding : 9,271 mm & 8,1788 mm
6. Tahanan tanah : 360 ohm cm
7. Kedalaman pipa : 1 m

4.2 Analisa Teknis Metode *Impressed Current Cathodic Protection*

Analisa teknis merupakan peninjauan suatu system dari segi teknis. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan metode *Impressed Current* dalam menjalankan kinerjanya. Adapun tahapan dalam analisa teknis metode *Impressed Current* diawali dengan tahap desain yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lingkungan. Lalu dilanjutkan dengan tahap instalasi atau pemasangan. Setelah itu yang tidak kalah penting yaitu tahap operasional serta inspeksi. Karena suatu system proteksi katodik tanpa proses inspeski tidak akan berjalan baik serta efektif dan bisa terbengkalai.

4.2.1 Tahap Desain *Impressed Current*

Untuk mencegah korosi pada pipa penyalur gas bawah tanah (*Burried*) dapat dilakukan dengan membangun proteksi katodik, dimana dalam proteksi katodik, pipa dijadikan sebagai katoda dan terdapat anoda yang dijadikan sasaran dari proses korosinya. Adapun salah satu jenis dari proteksi katodik adalah metode *Impressed Current*. Tahap – tahap desain yang digunakan dalam tugas akhir ini mengacu pada laporan inspeksi Pipa PT.PGN Batu Ampar Batam yang dilakukan oleh perusahaan Inspeksi Teknis tempat saya kerja praktek yaitu PT. Marindotech. Tahap – tahap desain :

1. Menghitung luas permukaan pipa yang diproteksi : Dengan menggunakan rumus :

$$SA = \pi \times D \times L \dots \dots \dots (4.1)$$

Dengan :

D = Diameter luar pipa (m) = 10,75 inch & 8,625 inch & 6,625 inch

L = Panjang pipa (m) = 6341 m & 2428 m & 2012 m

$\pi = 3,14$

SA = Luas permukaan (Surface Area) pipa yang diproteksi (m²)

(Sumber : Laporan Inspeksi untuk Sertifikasi Pipa PT.PGN Batam 2015)

$$\begin{aligned} SA &= (3,14 \times 10,75 \times 0,0254 \times 6341) + (3,14 \times 8,625 \times 0,0254 \times 2428) + \\ &\quad (3,14 \times 6,625 \times 0,0254 \times 2012) \\ &= 5436,63 + 1670,21 + 1063,12 \\ &= 8169,94 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung kebutuhan arus proteksi : Hal yang harus diperhatikan dalam menghitung arus proteksi yaitu kerapatan arus. Kerapatan arus memberi pengukuran terhadap kebutuhan arus katodik untuk mempertahankan proteksi selama umur yang didesain. Kerapatan arus juga digunakan untuk menghitung kebutuhan arus yang nantinya akan menentukan jumlah anoda yang dibutuhkan.

Dengan menggunakan rumus :

$$I_p = SA \times C_d \dots \dots \dots (4.2)$$

Dengan :

C_d = Kerapatan arus atau *Current Density* (mA/m²) = 20 mA/m² dengan factor *breakdown coating* 2% = 20 mA/m² x 2% = 0,4 mA/m²

SA = Luas permukaan (Surface Area) pipa yang diproteksi (m²) = 8169,94 m²

I_p = Kebutuhan arus proteksi (A)

(Sumber : Laporan Inspeksi untuk Sertifikasi Pipa PT.PGN Batam 2015)

$$I_p = 8169,94 \times 0,4 = 3267,97 \text{ mA} = 3,27 \text{ A}$$

3. Menghitung besar Kapasitas arus *transformer rectifier* (I_{tr}) : Diperlukan perhitungan untuk mengetahui seberapa besar kapasitas arus rectifier. Dengan menggunakan rumus :

$$I_{tr} = I_p \times S_f \dots \dots \dots (4.3)$$

Dengan :

$$I_p = \text{Kebutuhan arus proteksi (A)} = 3,27 \text{ A}$$

$$S_f = \text{Safety Factor} = 125\%$$

$$I_{tr} = \text{Kapasitas arus } \textit{transformer rectifier} \text{ (A)}$$

(Sumber : Laporan Inspeksi untuk Sertifikasi Pipa PT.PGN Batam 2015)

$$I_{tr} = 3,27 \times 125\% = 4,086 \text{ A}$$

4. Menghitung Berat Anoda (W) : Diperlukan perhitungan untuk mengetahui berat dari anoda yang akan dipergunakan untuk memproteksi pipa. Dengan menggunakan rumus :

$$W = \frac{Y \times C \times I_{tr}}{U} \dots \dots \dots (4.4)$$

Dengan :

$$Y = \text{Umur anoda (Tahun)} = 20 \text{ Tahun}$$

$$I_{tr} = \text{Kapasitas arus } \textit{transformer rectifier} \text{ (A)} = 4,086 \text{ A}$$

$$C = \text{Konsumsi Anoda (Kg/ A Tahun)} = 0,34 \text{ Kg / A Tahun}$$

$$U = \text{Faktor guna / } \textit{Utility factor} = 0,8$$

$$W = \text{Berat Anoda (Kg)}$$

(Sumber : Laporan Inspeksi untuk Sertifikasi Pipa PT.PGN Batam 2015)

$$W = \frac{20 \times 0,34 \times 4,086}{0,8} = \frac{27,78}{0,8} = 34,73 \text{ Kg}$$

5. Jumlah Anoda (N) : Untuk mendesain proteksi katodik dengan metode *Impressed Current*, menentukan jumlah anoda yang akan dipergunakan merupakan salah satu langkah yang paling penting, dikarenakan apabila anoda yang digunakan kurang dari yang semestinya, maka struktur pipa tidak akan terproteksi secara optimal, sedangkan apabila berlebihan maka jumlah biaya yang akan dikeluarkan akan mahal dan akan kelebihan proteksi.

Dengan menggunakan rumus :

$$N = \frac{W}{w} \dots \dots \dots (4.5)$$

Dengan :

W = Berat Anoda (Kg) = 34,73 Kg

w = Berat per Anoda (Kg) = 23 Kg

N = Jumlah Anoda

$$N = \frac{34,73}{23} = 1,51 \approx 2 \text{ Buah}$$

6. Menghitung ketahanan pada beberapa *anodes groundbed* :

Dengan menggunakan rumus :

$$R_v = \frac{0.00521\rho}{NL} \left(2.3 \log \frac{8L}{d} - 1 + \frac{2L}{S} (2.3 \log 0.656N) \right) \dots \dots \dots (4.6)$$

Dengan :

Rv = Tahanan groundbed vertical anoda terhadap tanah (ohm)

ρ = Tahanan tanah atau bumi (ohm cm) = 360 ohm cm

L = Panjang anoda (ft) = 5 ft

d = Diameter anoda (ft) = 0,17 ft

N = Jumlah anoda = 2

S = Spasi anoda (ft) = 16,5 ft

(Sumber : *Control of Pipeline Corrosion by Peabody Second Edition* dalam Laporan Inspeksi untuk Sertifikasi Pipa PT.PGN Batam 2015)

$$R_v = \frac{0,00521 \times 360}{2 \times 5} \left(2,3 \log \frac{8 \times 5}{0,17} - 1 + \frac{2 \times 5}{16,5} (2,3 \log(0,656 \times 2)) \right)$$

$$R_v = \frac{1,875}{10} \left(2,3 \log \frac{40}{0,17} - 1 + \frac{10}{16,5} (2,3 \log(1,312)) \right)$$

$$R_v = 0,1875 (2,3 \log(235,29) - 1 + 0,606 (2,3 \times 0,118))$$

$$R_v = 0,1875 (2,3 \times 2,37 - 1 + 0,1644)$$

$$R_v = 0,1875 (5,451 - 1 + 0,1644)$$

$$R_v = 0,1875 \times 4,615 = 0,865 \text{ Ohm}$$

7. Menghitung Nilai Tegangan DC *Transformer Rectifier* : Dengan menggunakan rumus :

$$V_{DC} = I_{tr} (R_v + R_c) + Back_{emf} \dots \dots \dots (4.7)$$

Dengan :

I_{tr} = Kapasitas arus *transformer rectifier* (A) = 4,086 A

R cable (R_c) = Tahanan kabel (ohm) = 0,2752 ohm

R_v = Tahanan Anoda (ohm) = 0,865 ohm

B_{emf} = Tegangan Balik (*Back Electric Motive Force*) (V) = 2,5 V

V_{DC} = Tegangan DC *Transformer Rectifier* (V)

(Sumber : Laporan Inspeksi untuk Sertifikasi Pipa PT.PGN Batam 2015)

$$V_{DC} = 4,086 (0,865 + 0,2752) + 2,5$$

$$V_{DC} = 4,086 (1,14) + 2,5$$

$$V_{DC} = 4,65 + 2,5 = 7,16 V$$

4.2.2 Tahap Instalasi *Impressed Current*

Setelah melakukan perhitungan desain system proteksi katodik dengan metode *Impressed Current*, didapatlah jumlah anoda yang dibutuhkan untuk memproteksi struktur pipa secara keseluruhan yaitu 2 buah anoda untuk memproteksi pipa sepanjang 10.781 m. Adapun anoda yang akan dipasang adalah anoda MMO (*Mixed Metal Oxide*) yang berbentuk turbular dengan panjang anoda 1,524 m dan diameternya 0,052 m dengan desain umur 20 tahun.

Jenis pemasangan *ground-bed* adalah jenis lubang dangkal. *Groundbed* Anoda dengan Lubang Dangkal dipasang pada lokasi yang ditunjukkan pada gambar proyek yang telah disetujui. Diperlukan lubang yang minimal berdiameter 30 cm dengan kedalaman 4 meter atau sampai pada kedalaman yang sesuai dengan gambar kerja lapangan yang didasarkan pada lapisan tanah. Sekitar 30 cm *coke breeze Backfill* yang bersih harus diisikan ke dalam dasar lubang galian dan dipadatkan dengan merata sebelum penempatan Anoda. Anoda diturunkan dan dipasang di tengah lubang harus dengan menggunakan tali atau peralatan sejenisnya. Saat meakukan penurunan Anoda harus dipastikan bahwa tidak terjadi kerusakan mekanis pada Anoda. Anoda tidak boleh dipegang dengan menggunakan kabel Anodanya.

Untuk penimbunan lubang, harus digunakan *Coke breeze* sampai sekitar 30 cm dari bagian atas Anoda. Adapun sisa bagian lubang yang belum terisi, dapat ditimbun dengan menggunakan tanah di sekitarnya yang bebas dari batuan tajam yang nantinya dapat menyebabkan isolasi kabel menjadi rusak. Sewaktu memadatkan lubang Anoda harus dilakukan dengan hati-hati agar kerusakan dapat dihindari. Semua lubang harus digali dan berada dalam satu garis lurus

dengan interval antar titik tengah 5 meter (Spasi anoda). Jumlah lubang tergantung panjang pipa dan perhitungan desain proteksi katodik. Lubang-lubang tersebut dihubungkan dengan galian sedalam 50 cm dan lebar 30 cm untuk instalasi kabel utama positif. Setelah Anodanya terpasang dan terhubung semua, kabel utama Anoda diletakkan pada bagian tengah galian yang menghubungkan lubang-lubang Anoda. Sambungan kabel Anoda dengan kabel utama harus dibuat dengan menggunakan *split bolt connector*. Sambungan kabel tersebut harus dilapisi dengan *splice kit* tipe Y yang terdiri atas dua bagian cetakan plastik dengan resin *epoxy*.

Setelah menyelesaikan semua sambungan tersebut, galian kemudian ditimbun kembali menggunakan tanah asli dari penggalian sampai rata dengan permukaan tanah asli disekitarnya. Masing masing dari ujung kabel utama positif harus berakhir pada kotak distribusi positif.

Tahap selanjutnya yang dilakukan adalah pemasangan *Transformer Rectifier*. Adapun Lokasi dan jenis pemasangan *transformer rectifier* harus sesuai dengan gambar rencana yang telah mendapat persetujuan dari PT.PGN. Pondasi beton cor wajib dibuat, kemudian *Transformer rectifier* tersebut dipasang diatas beton cor itu dan dikencangkan menggunakan mur serta baut. Konduit (Pelindung kabel dari gangguan eksternal) dan kabel arus AC dan DC harus dipasang pada *Transformer rectifier*. Kemudian semua kabel dicek sambungannya, kabel disambungkan terhadap terminal input dan output. Kabel dari Anoda harus dihubungkan ke terminal positif dan kabel dari struktur pipa yang akan diproteksi dihubungkan ke terminal negative. Langkah selanjutnya yaitu melakukan Sambungan ke Sumber Listrik AC.

Sambungan sumber listrik arus bolak balik (AC) digunakan untuk sistem Arus Tanding yaitu sebagai sumber arus listrik yang dialirkan melalui *transformer rectifier*. Kabel listrik wajib dipasang dari panel distribusi ke *transformer rectifier*, diletakkan dalam galian dengan kedalaman 60 cm. Galian tersebut diisi menggunakan pasir sampai dengan 20 cm dari dasar. Kabel diletakan 10

cm dari dasar. *Concrete tile* pun dipasang di atas pasir tersebut. Kemudian *Cable marker tape* dipasang diantara kabel dan *concrete tile*. Setelah itu galian ditutup dengan tanah. *Concrete tile* dan *cable marker tape* tersebut wajib dipasang sepanjang jalur kabel. Pasang sepatu kabel penyambungan dengan terminal dan *cable gland* untuk kabel yang menempel pada kotak terminal dan kotak panel distribusi. Setelah penyambungan kabel selesai, galian kabel harus ditimbun lagi dengan material galiannya dan penanda rute kabel bawah tanah harus dipasang pada jalur kabelnya. Setelah itu, tahap selanjutnya adalah Pemasangan Panel Distribusi Negatif.

Panel distribusi negatif diperlukan agar arus Proteksi Katodik dapat disesuaikan dan dipantau pada pipa. Setelah tiang penyangga dibangun dan landasan cor beton dipasang, panel distribusi negatif harus dipasang pada tiang penyangga. Lokasi panel distribusi negatif berdekatan dengan *transformer rectifier*. Penanda kabel/*cable tag* wajib diberikan pada semua ujung kabel supaya dapat diidentifikasi ke struktur manakah kabel tersebut tersambung.

Selanjutnya adalah pemasangan Panel Distribusi Positif, dimana panel harus dipasang dengan baik dan benar pada tiang baja Galvanis yang diletakkan pada sebuah landasan beton. Hubungkan kabel utama Anoda pada terminal panel distribusi positif. Lokasi panel distribusi positif berada dekat dengan *ground bed* Anoda. Kemudian dilanjutkan dengan Penyambungan Kabel Anoda. Sebelum dipasang, kabel harus diinspeksi untuk mengetahui bahwa kabel dalam keadaan baik serta sesuai dengan spesifikasinya. Agar dapat dikenali, setiap kabel yang digunakan diberi label atau kode yang jelas serta mengacu pada standar instalasi listrik nasional atau internasional. Penyambungan kabel Anoda ke struktur pipa menggunakan proses las *exothermit* yang memakai serbuk aluminium dan oksida tembaga. Sebelum pengelasan *exothermit* dilakukan, *coating* harus dilepas dengan luas sesuai kebutuhan. Setelah itu permukaan pipa harus dibersihkan dengan sikat kawat. Saat lasan sudah dingin, semua kerak dari proses las harus dibersihkan dan kemudian daerah yang dilas harus di-*coating* kembali dengan menggunakan material *coating* yang sama dengan

aslinya atau paling tidak setara. Penyambungan setiap kabel Anoda ke kabel utama harus menggunakan *split-bolt connector* atau *cable splices connection*. Penyambungan yang sudah selesai dilakukan wajib dilengkapi dengan penggunaan selubung secara sempurna dengan menggunakan *epoxy encapsulated* atau metoda yang setara.

Langkah berikutnya yaitu melakukan penanaman kabel ke dalam tanah. Kabel bawah tanah, conduit, kawat dan penyambung lainnya wajib dikubur pada kedalaman minimal 60 cm di bawah permukaan tanah dengan jarak minimal 30 cm dari struktur bawah tanah lainnya. Apabila kabel melintasi jalan, area parkir atau daerah lain yang terdapat pengaruh mekanis besar, kabel wajib dikubur dengan kedalaman minimal 80 cm serta menggunakan pipa baja Galvanis sebagai selubung.

Penggalian dengan mesin ataupun manual dapat dilakukan untuk galian kabel. Cek terlebih dahulu pada dasar galian tidak ada benda-benda tajam atau lainnya yang memungkinkan merusak isolasi dari kabel. Kabel yang akan ditanam langsung di bawah tanah diulur dari gulungannya dan langsung di masukan ke dalam galian atau selubung kabel, kabel tersebut tidak boleh ditarik dari gulungannya atau diseret ke dalam galian kabel. Kemudian, apabila sambungan kabel telah selesai, saluran ditimbun lagi menggunakan bahan dari galian itu sendiri. Jalur kabel bawah tanah wajib ditandai menggunakan penanda permanen berbahan beton. Setelah itu, tahap selanjutnya adalah pemasangan *Junction Box*.

Junction box yang mempunyai ukuran yang sesuai serta tahan cuaca harus dipasang untuk terminal Anoda dan kabel positif *rectifier*. Koneksi parallel (*Shunt*) wajib dipasang pada setiap sirkuit Anoda dengan tujuan untuk memonitor keluaran arus. Resistor wajib dipasang pada setiap sirkuit Anoda supaya menyeimbangkan arus keluaran dari Anoda. Penyekat (*sealant*) kabel Anoda juga diperlukan guna mencegah terjadinya aliran kapiler antara lapisan insulator dan mungkin juga digunakan untuk mencegah masuknya unsur

bersifat korosif ke *junction box*. Penyekat kabel masuk juga mungkin diperlukan supaya masuknya gas dapat dicegah. Adapun *Junction box* yang terbuat dari bahan logam harus diberi arde atau koneksi pertanahan (*grounding*), (Pedoman Standard konstruksi pipa baja dan polyethylene sistem jaringan pipa distribusi gas bumi dan fasilitas penunjangnya milik PT.PGN, 2009).

4.2.3 Tahap Operasional dan Inspeksi pada metode *Impressed Current*

Keluaran DC (tegangan & arus) panel CPTR (*Cathodic Protection Transformer Rectifier*) disesuaikan secara manual untuk mempertahankan tingkat potensi pipa yang dilindungi. Pemeriksaan rutin dan penyesuaian (jika diperlukan) harus dilakukan dalam rangka untuk mempertahankan sistem bekerja dapat dengan baik. Inspektur perlu melakukan pemeriksaan bawah tanah dan penyesuaiannya. Pengukuran potensi pipa dapat dilakukan pada *Junction Box* dengan menggunakan Tembaga portable / Tembaga Sulfat (Cu/CuSO₄) referensi sel dan multimeter digital.

Pemeriksaan/inspeksi keadaan visual pipa dan pemeriksaan tingkat potensial pipa pada *Junction Box* dilakukan setiap tahunnya (per tahun), sedangkan kondisi panel Transformer Rectifier (DC tegangan output, keluaran arus DC, tegangan AC dan frekuensi) serta kondisi *Junction Box* dilakukan setiap minggu operasi. Pengukuran pertama harus dilakukan pada kedua kabel yaitu kabel Negatif & kabel Positif *Junction Box*, untuk mengetahui sistem ini di bawah perlindungan atau tidak. Pengukuran yang kedua dilakukan untuk semua kabel yang terhubung ke pipa pada *Junction Box* (pipa potensial ON). Dalam tujuan ini, untuk menyelidiki ketika sistem terhubung (ON potensial) akan menunjukkan nilai potensial dalam jangkauan kriteria penerimaan atau tidak sesuai dengan potensi kriteria penerimaan. (SOP PT.Marindotech, 2007)

Adapun kriteria penerimaannya adalah :

Tabel 4.1 Kriteria Penerimaan Potensial

Kondisi dari Baja	Potential (mV vs Cu/CuSO ₄)	
	Minimum (Batas Positif) (V)	Maximum (Batas Negatif) (V)
Korosi Intens	- 500	- 600
Korosi	- 600	- 700
Kurang Terlindungi	- 700	- 800
Perlindungan Katodik	- 800	- 900
Sedikit kelebihan Perlindungan	- 900	- 1000
Peningkatan Kelebihan Perlindungan	- 1000	- 1100
Sangat berlebihan perlindungannya sehingga dapat menyebabkan disbondment coating dan terik, serta risiko meningkatnya hidrogen embrittlement	- 1100	- 1400

(Sumber : SOP PT.Marindotech, 2007)

4.3 Analisa Teknis Metode *Sacrificial Anode Cathodic Protection*

Analisa teknis pada metode *Sacrificial Anode* untuk melakukan peninjauan system *Sacrificial Anode* dari segi teknis. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan metode *Sacrificial Anode* dalam menjalankan kinerjanya. Adapun tahapan dalam analisa teknis metode *Sacrificial Anode* yang pertama adalah peninjauan tahap desain yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lingkungan. Lalu dilanjutkan dengan tahap instalasi atau pemasangan. Setelah itu yang tahap yang terakhir yaitu tahap operasional dan inspeksi. Karena suatu system proteksi katodik tanpa proses inspeksi tidak akan berjalan baik dan efektif serta terbengkalai.

4.3.1 Tahap Desain *Sacrificial Anode*

Untuk mencegah korosi pada pipa penyalur gas bawah tanah (*Burried*) dapat dilakukan dengan membangun proteksi katodik, dimana dalam proteksi katodik,

pipa dijadikan sebagai katoda dan terdapat anoda yang dijadikan sasaran dari proses korosinya. Adapun salah satu jenis dari proteksi katodik selain metode *Impressed Current* yaitu metode *Sacrificial Anode*. Tahap – tahap desain *Sacrificial Anode* yang saya gunakan dalam tugas akhir ini mengacu pada standart DNV RP B401 2010. Tahap – tahap desainnya yaitu :

1. Menghitung luas permukaan pipa yang diproteksi : Dengan menggunakan rumus :

$$A = \pi \times D \times L \dots \dots \dots (4.8)$$

Dengan :

D = Diameter luar pipa (m) = 10,75 inch & 8,625 inch & 6,625 inch

L = Panjang pipa (m) = 6341 m & 2428 m & 2012 m => total = 10781 m

$\pi = 3.14$

A = Luas permukaan pipa yang diproteksi (m²)

$$\begin{aligned} A &= (3,14 \times 10,75 \times 0,0254 \times 6341) + (3,14 \times 8,625 \times 0,0254 \times 2428) + \\ &\quad (3,14 \times 6,625 \times 0,0254 \times 2012) \\ &= 5436,63 + 1670,21 + 1063,12 \\ &= 8169,94 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung kebutuhan arus proteksi : Hal yang harus diperhatikan dalam menghitung arus proteksi yaitu kerapatan arus. Kerapatan arus memberi pengukuran terhadap kebutuhan arus katodik untuk mempertahankan proteksi selama umur yang didesain. Kerapatan arus juga digunakan untuk menghitung kebutuhan arus yang nantinya akan menentukan jumlah anoda yang dibutuhkan.

Dengan menggunakan rumus :

$$I_p = SA \times i_c \times fc \dots \dots \dots (4.9)$$

Dengan :

i_c = Kerapatan arus atau *Current Density* dari logam yang akan dilindungi
(mA/m²) = 20 mA/m²

f_c = Faktor *breakdown coating* = 0,02

SA = Luas permukaan (Surface Area) pipa yang diproteksi (m²) = 8169,94 m²

I_p = Kebutuhan arus proteksi total (A)

(Sumber : DNV RP B401 2010)

$$I_p = 8169,94 \times 20 \times 0,02$$

$$I_p = 3267,97 \text{ mA}$$

$$I_p = 3,27 \text{ A}$$

3. Menghitung kebutuhan berat anoda total Selama waktu desain :

Dengan menggunakan rumus :

$$W_o = \frac{(I_p \times t \times 8760)}{K \times u} \dots \dots \dots (4.10)$$

Dengan :

W_o = Berat anoda total selama waktu desain (Kg)

I_p = Kebutuhan arus proteksi total (A) = 3,27 A

t = Waktu proteksi (Tahun) = 20 Tahun

K = Kapasitas anoda (Ah/Kg) = Kapasitas Anoda Magnesium = 1200 Ah/Kg

u = Faktor guna (*Utility Factor*) (0.8)

1 Tahun = 8760 Jam

(Sumber : DNV RP B401 2010)

$$W_o = \frac{(3,27 \times 20 \times 8760)}{1200 \times 0,8}$$

$$W_o = \frac{(572904)}{960}$$

$$W_o = 596,77 \text{ Kg}$$

4. Menghitung jumlah anoda : Dengan Menggunakan rumus :

$$n = \frac{W_o}{w} \dots \dots \dots (4.11)$$

Dengan :

n = Jumlah anoda

w = Berat per anoda (Kg) = 14,5 Kg

W_o = Berat anoda total selama waktu desain (Kg) = 596,77 Kg

$$n = \frac{596,77}{14,5}$$

$$n = 41,16 \approx 42 \text{ Buah}$$

5. Menghitung jarak pemasangan antar anoda : Dengan menggunakan rumus :

$$S = \frac{L}{n} \dots \dots \dots (4.12)$$

Dengan :

S = Jarak pemasangan antar anoda (m)

n = Jumlah anoda = 42

L = Panjang pipa yang akan diproteksi (m) = 10781 m

$$S = \frac{10781}{42}$$

$$S = 256,69 \text{ m}$$

6. Menghitung kebutuhan arus proteksi untuk jarak S : Dengan menggunakan rumus :

$$I_s = \pi \times D \times S \times I_c \times f_c \dots \dots \dots (4.13)$$

Dengan :

I_s = Kebutuhan arus proteksi untuk jarak S (A)

D = Diameter luar total pipa (m)

S = Jarak pemasangan antar anoda (m) = 256,69 m

i_c = Kerapatan arus atau *Current Density* dari logam yang akan dilindungi (mA/m²) = 20 mA/m²

f_c = Faktor *breakdown coating* = 0,02

(Sumber : DNV RP F103 2010)

$$I_s = 3,14 \times (0,27 + 0,21 + 0,17) \times 256,69 \times 20 \times 0,02$$

$$I_s = 3,14 \times 0,65 \times 102,676$$

$$I_s = 209,56 \text{ mA}$$

$$I_s = 0,209 \text{ A}$$

7. Menghitung resistansi groundbed anoda : Dengan menggunakan rumus :

$$R_a = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \left(\ln \frac{4L}{r} - 1 \right) \dots \dots \dots (4.14)$$

Dengan :

R_a = Resistansi groundbed anoda yang dipasang secara horizontal (ohm)

ρ = Tahanan tanah (ohm cm) = 360 ohm cm

l = Panjang anoda (cm) = 20 inch = 50,8 cm

r = ½ Diameter anoda (cm) = ½ x 12,7 cm = 6,35 cm

(Sumber : DNV RP B401 2010)

$$R_a = \frac{360}{2 \times 3,14 \times 50,8} \left(\ln \frac{4 \times 50,8}{6,35} - 1 \right)$$

$$R_a = \frac{360}{319,02} \left(\ln \frac{4 \times 50,8}{6,35} - 1 \right)$$

$$R_a = 1,128 \left(\ln \frac{203,2}{6,35} - 1 \right)$$

$$R_a = 1,128 (\ln 32 - 1)$$

$$R_a = 1,128 (3,46 - 1)$$

$$R_a = 1,128 \times 2,46$$

$$R_a = 2,78 \text{ ohm}$$

8. Menghitung kapasitas arus keluaran anoda :

Dengan menggunakan rumus :

$$I_a = \frac{\Delta V}{R_a} \dots \dots \dots (4.15)$$

Dengan :

$$\Delta V = \text{Driving voltage} = 0,7 \text{ (V)}$$

$$R_a = \text{Resistansi anoda yang dipasang secara horizontal (ohm)} = 2,77 \text{ ohm}$$

I_a = kapasitas arus keluaran anoda (A)

(Sumber : DNV RP B401 2010)

$$I_a = \frac{0,7}{2,77}$$

$$I_a = 0,25 \text{ A}$$

9. Menghitung umur anoda :

Dengan menggunakan rumus :

$$Y = \frac{W_o \times K \times u}{I_p \times 8760} \dots \dots \dots (4.16)$$

Dengan :

W_o = Berat anoda total selama waktu desain (Kg) = 596,77 Kg

K = Kapasitas anoda (Ah/Kg) = Kapasitas Anoda Magnesium = 1200 Ah/Kg

u = Faktor guna (*Utility Factor*) = 0,8

I_p = Kebutuhan arus proteksi total (A) = 3,27 A

Y = Umur anoda (tahun)

(Sumber : DNV RP B401 2010)

$$Y = \frac{596,77 \times 1200 \times 0,8}{3,27 \times 8760}$$

$$Y = \frac{572899,2}{28645,2}$$

Y = 20 Tahun

10. Menghitung perbandingan keperluan arus proteksi untuk jarak S dengan kapasitas arus keluaran anoda : Dengan menggunakan rumus :

$$I_s \leq I_a \dots \dots \dots (4.17)$$

Dengan :

I_a = kapasitas arus keluaran anoda (A) = 0,25 A

I_s = Kebutuhan arus proteksi untuk jarak S (A) = 0,209 A

$$0,209 < 0,25$$

∴ Memenuhi, karena kebutuhan arus proteksi kurang dari arus keluaran anoda

4.3.2 Tahap Instalasi *Sacrificial Anode*

Sebanyak 42 buah anoda magnesium diperlukan untuk memproteksi pipa penyalur gas PT. PGN Batu Ampar Batam di sepanjang jalurnya. Pada setiap lokasi penanaman anoda terdiri dari 1 anoda magnesium dengan 42 lokasi penanaman anoda. Anoda magnesium ini dipasang secara horizontal dengan kedalaman 1 meter.

Anoda Magnesium ini dipasang secara horizontal dengan penggalian, dimana anoda diposisikan pada kedalaman 2 meter dengan jarak 1,5 meter dari pipa penyalur gas. Penggalian yang dibutuhkan untuk instalasi kabel yang ditanam harus disesuaikan dengan kedalaman pipa dan anoda yang ditanam untuk memastikan ketepatan instalasi kabel. Setiap kabel anoda magnesium yang berada di bawah tanah dihubungkan ke pipa yang diproteksi secara katodik melalui test point, dengan kedalaman kabel memanjang secara vertical 1 meter dari permukaan tanah untuk yang terhubung dengan pipa, dan 2 meter dari permukaan tanah untuk yang terhubung dengan anoda magnesium. Untuk desain *Sacrificial Anode* pada pipa penyalur gas PT. PGN Batu Ampar Bata ini saya menggunakan 42 *Test Point* yang tersebar pada 42 lokasi di jalur pipa penyalur gas PT. PGN Batu Ampar , dimana masing-masing test point terhubung dengan 1 buah anoda Magnesium untuk memonitor keadaannya.

Koneksi ke pipa yang akan diproteksi dibuat dengan metode pengelasan thermit (*Cadweld*). Sebelum membuat sambungan, pipa harus dibersihkan hingga terlihat permukaan bajanya dengan cara *scraping*. Setelah dibuat sambungannya, maka harus ditutupi dengan *Royston Handy Cup*. Prosedur keselamatan harus diaplikasikan dengan baik. Semua penggalian disekitar pipa harus dilakukan dengan hati-hati untuk memastikan bahwa disekitar lokasi tersebut tidak ada pipa lain yang akan rusak apabila penggalian penanaman anoda ini dilakukan. Pemberian tanda bahwa didalam lokasi tersebut terdapat kabel proteksi katodik dapat digunakan plastic penanda kabel (*Cable marker lead strip*). Dasar tanah dari hasil penggalian harus bersih dari batu-batu yang

tajam atau material tajam lainnya agar tidak merusak isolasi dari kabel, lalu dilakukan kembali penimbunan tanah agar permukaan galian tanah kembali ke kondisi aslinya (Pedoman Standard konstruksi pipa baja dan *polyethylene* sistem jaringan pipa distribusi gas bumi dan fasilitas penunjangnya milik PT.PGN, 2009).

4.3.3 Tahap Operasional dan Inspeksi pada metode *Sacrificial Anode*

Pemeriksaan/Inspeksi secara rutin harus dilakukan untuk memastikan bahwa sistem bekerja dengan baik. Diperlukan inspektor untuk melakukan pemeriksaan dan investigasi bawah tanah.

Pengukuran potensi pada pipa bisa dilakukan pada stasiun uji (*Test point*) dengan menggunakan Tembaga portable / Tembaga Sulfat (Cu/CuSO₄) sel elektroda referensi dan alat yang bernama *multimeter digital*. Pemeriksaan keadaan visual pipa dan pengukuran tingkat potensial anoda pada stasiun uji dilakukan setiap tahunnya (per tahun).

Pengukuran awal yang harus dilakukan saat kedua kabel tersambung, artinya sistem ini operasi (ON potensial). Pengukuran yang berikutnya dilakukan saat kedua kabel terputus dan potensi masing-masing kabel diukur, potensial pipa (OFF potensial) dan potensi anoda. Tujuannya, untuk menyelidiki ketika sistem terhubung (ON potensial) apakah akan menunjukkan nilai lebih negatif atau tidak dari potensi pipa (OFF potensial). (SOP PT.Marindotech, 2007)

4.4 Analisa Ekonomis Metode *Impressed Current Cathodic Protection*

- Dimulai dengan biaya perhitungan material apa saja yang dibutuhkan :

Tabel 4.2 Perhitungan Biaya Peralatan ICCP

No.	Nama Alat	Jumlah	Harga Per Unit (\$)	Total (\$)
1	Anoda MMO	2	\$600.00	\$1,200.00
2	Transformer Rectifier	1	\$1,500.00	\$1,500.00
3	Junction Box Positif	1	\$1,300.00	\$1,300.00
4	Junction Box Negatif	1	\$1,300.00	\$1,300.00
5	Perlengkapan Las <i>Caldweld</i>	1	\$450.00	\$450.00
6	Royston Handycap	2	\$50.00	\$100.00
7	Kabel XLPE 25 mm ² (Per meter)	15	\$15.00	\$225.00
8	Split Bolt Connector	2	\$40.00	\$80.00
9	Loresco Coke Breeze (Backfill)	2	\$45.00	\$90.00
10	Transformer Cooling Oil	1	\$1,000.00	\$1,000.00
			Total :	\$7,245.00

- Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan biaya instalasi :

Tabel 4.3 Perhitungan Biaya Instalasi ICCP

No.	Nama Proses	Jumlah	Harga Per Unit (\$)	Total (\$)
1	Pemasangan Transformer Rectifier	1	\$1,200.00	\$1,200.00
2	Pemasangan Junction Box	2	\$1,200.00	\$2,400.00
3	Pengelasan <i>Caldweld</i>	2	\$40.00	\$80.00
4	Pengeboran Tanah (Kedalaman-meter)	4	\$10.00	\$40.00
5	Penggalian Tanah (Per titik)	5	\$23.00	\$115.00
			Total :	\$3,835.00

- Dan yang terakhir adalah perhitungan biaya operasional dan inspeksi selama 20 tahun :

Tabel 4.4 Perhitungan Biaya Operasional & Inspeksi ICCP Selama 20 Tahun

No.	Nama Proses	Jumlah	Harga Per Unit (\$)	Total (\$)
1	Inspeksi Mingguan (Pemeriksaan tegangan dan arus pada rectifier & junction box)	960	\$23.00	\$22,080.00
2	Inspeksi Tahunan (Pemeriksaan keadaan visual pipa dan potensial pipa) pada junction box	20	\$124.00	\$2,480.00
3	Biaya listrik (daya 450 VA) 20 Tahun	1	\$2,363.00	\$2,363.00
			Total :	\$26,923.00

Dengan catatan :

Untuk inspeksi mingguan, diperlukan 1 orang personel inspector untuk memeriksa tegangan dan arus pada rectifier serta keadaan junction box. Sedangkan untuk inspeksi tahunan diperlukan 2 orang personel inspector untuk memeriksa potensial pipa dengan waktu pengerjaan 1 hari dan dibayar per hari sebesar \$31, jadi upah untuk inspector yaitu $2 \times 31 \times 1 = \$62$. Dan selain itu dikenakan biaya transport untuk 2 orang inspector sebesar \$39. Lalu diperlukan seorang helper untuk menggali tanah dengan biaya 1 titik penggalian yaitu \$23. Maka total biaya inspeksi tahunan yaitu $\$62 + \$39 + \$23 = \124 .

Lalu untuk biaya listrik selama 20 tahun, menggunakan daya sebesar 450 VA ,dengan perhtungan yaitu : $(30 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} \times 450 \text{ VA}) = 324 \text{ KWh}$. Untuk harga Rp.395/KWh maka : $\text{Rp.}395 \times 324 = \text{Rp.}127980$ per bulannya. Maka biaya untuk 20 tahun yaitu : $(20 \text{ tahun} \times 12 \text{ bulan} \times \text{Rp.}127980) = \text{Rp.}30.715.200$. Untuk kurs \$1 = Rp.13.000, maka total biaya listrik dalam 20 tahun yaitu \$2363.

Jadi, untuk Keseluruhan biaya proteksi katodik *Impressed Current* yaitu :

Total Biaya Peralatan + Total Biaya Instalasi + Total Biaya Inspeksi 20 tahun =
 $\$7245 + \$3835 + \$26923 = \38003 .

4.5 Analisa Ekonomis Metode *Sacrificial Anode Cathodic Protection*

- Dimulai dengan biaya perhitungan material apa saja yang dibutuhkan :

Tabel 4.5 Perhitungan Biaya Peralatan SACP

No.	Nama Alat	Jumlah	Harga Per Unit (\$)	Total (\$)
1	Anoda Magnesium 32lb (Termasuk Backfill)	42	\$100.00	\$4,200.00
2	Test Point (Termasuk Kabel 15 meter)	42	\$80.00	\$3,360.00
3	Perlengkapan Las <i>Caldweld</i>	5	\$450.00	\$2,250.00
4	Royston Handycap	42	\$50.00	\$2,100.00
			Total :	\$11,910.00

- Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan biaya instalasi :

Tabel 4.6 Perhitungan Biaya Instalasi SACP

No.	Nama Proses	Jumlah	Harga Per Unit (\$)	Total (\$)
1	Pemasangan Test Point	42	\$150.00	\$6,300.00
2	Pengelasan <i>Caldweld</i>	42	\$40.00	\$1,680.00
3	Penggalian Tanah	42	\$23.00	\$966.00
			Total :	\$8,946.00

- Dan yang terakhir adalah perhitungan biaya operasional & inspeksi selama 20 tahun :

Tabel 4.7 Perhitungan Biaya Operasional & Inspeksi SACP Selama 20 Tahun

No.	Nama Proses	Jumlah	Harga Per Unit (\$)	Total (\$)
1	Inspeksi Tahunan (Pemeriksaan keadaan visual pipa dan potensial pipa) pada test point	20	\$300.00	\$6,000.00
			Total :	\$6,000.00

Dengan catatan :

Untuk inspeksi tahunan diperlukan 2 orang personel inspector untuk memeriksa potensial pipa dengan waktu pengerjaan 4 hari dan dibayar per hari sebesar \$31,

jadi upah untuk inspector yaitu $2 \times 31 \times 4 = \$248$. Dan selain itu dikenakan biaya transport untuk 2 orang inspector sebesar \$39. Lalu diperlukan seorang helper untuk menggali tanah dengan biaya 1 titik penggalian yaitu \$23. Maka total biaya inspeksi tahunan yaitu $\$248 + \$39 + \$23 = \300 .

Sehingga, untuk Keseluruhan biaya proteksi katodik *Sacrificial Anode* yaitu :
Total Biaya Peralatan + Total Biaya Instalasi + Total Biaya Operasional serta Inspeksi selama 20 tahun =
 $\$11910 + \$8946 + \$6000 = \26856 .

4.6 Perbandingan Segi Teknis dan Hasil Perhitungan Ekonomis

Pada segi teknis setelah melakukan perhitungan desain proteksi katodik, membahas tentang prosedur instalasi dan inspeksi untuk masing-masing metode yaitu *Impressed Current* dan *Sacrificial Anode*, maka dapat diperoleh kelebihan dan kekurangan masing-masing dari dari setiap metode. Lalu pada segi ekonomis didapatkan biaya masing-masing metode mulai dari biaya material, biaya instalasi dan biaya operasional serta inspeksi, maka dapat diketahui metode mana yang lebih murah dari kedua metode yang dibandingkan.

4.6.1 Perbandingan Segi Teknis

- Jumlah Anoda

Pada perhitungan desain *Impressed Current*, jumlah anoda yang dibutuhkan yaitu hanya 2 buah anoda MMO. Lalu pada perhitungan desain *Sacrificial Anode*, jumlah anoda yang dibutuhkan yaitu 42 buah anoda Magnesium *Prepacked*. Maka *Impressed Current* lebih unggul karena hanya membutuhkan sedikit saja anoda.

- Komponen apa saja yang diperlukan

Untuk proteksi katodik *Impressed Current*, terdapat banyak sekali komponen yang diperlukan untuk operasinya, diantaranya memerlukan sumber pasokan

listrik eksternal yaitu *transformer rectifier*, lalu juga membutuhkan junction box positif dan junction box negative, serta anoda MMO tentunya. Sedangkan pada metode *sacrificial anoda* hanya terdapat 2 komponen utama saja yaitu test point serta anoda tumbal magnesium itu sendiri.

- Resiko Korsleting Listrik

Dikarenakan sistem kelistrikan yang kompleks pada metode *Impressed Current* maka peluang untuk korsleting listrik cukup besar pada *Impressed Current*, maka dari itu inspeksi mingguan perlu dilakukan agar korsleting listrik dapat dicegah. Berbeda dengan metode *Sacrificial Anode* yang tidak memiliki resiko korsleting listrik karena tidak memerlukan sumber tenaga listrik eksternal.

- Waktu Operasi dan Pergantian Anoda

Seperti yang diketahui bahwa anoda tumbal atau *Sacrificial Anode* memerlukan pergantian anoda setiap habis waktu desainnya. Pada desain yang saya buat untuk 20 tahun ini, memiliki arti yaitu anoda tumbal akan habis dalam waktu 20 tahun dan memerlukan pergantian dengan yang baru. Sedangkan pada metode *Impressed Current*, anoda yang digunakan adalah anoda inert yang tidak akan termakan oleh waktu.

Maka dapat dilihat bahwa untuk kebutuhan jumlah anoda dan waktu operasi serta pergantian anoda, metode *Impressed Current* lebih unggul dibandingkan metode *Sacrificial Anode* dikarenakan hanya butuh jauh lebih sedikit anoda dan tidak perlu dilakukan pergantian anoda setiap 20 tahun sekali. Sedangkan untuk komponen yang dibutuhkan dan resiko korsleting, metode *Sacrificial Anode* lebih unggul dibandingkan dengan metode *Impressed Current* dikarenakan komponen yang dibutuhkan untuk menyusun metode *Sacrificial Anode* lebih sederhana yaitu hanya butuh *Test Point* dan Anoda tumbalnya itu sendiri, jadi tidak memiliki resiko korsleting listrik karena tidak membutuhkan sumber tenaga listrik eksternal seperti rectifier pada metode *Impressed Current*.

4.6.2 Perbandingan Segi Ekonomi

Setelah melakukan perhitungan biaya peralatan, biaya instalasi dan biaya inspeksi, dapat dibandingkan biaya masing-masing metode :

- Biaya Peralatan

Impressed Current (\$7245) < *Sacrificial Anode* (\$11910)

- Biaya Instalasi

Impressed Current (\$3835) < *Sacrificial Anode* (\$8946)

- Biaya Operasional dan Inspeksi Selama 20 Tahun

Impressed Current (\$26923) > *Sacrificial Anode* (\$6000)

- Total Biaya Keseluruhan

Impressed Current (\$38003) > *Sacrificial Anode* (\$26856)

Maka dapat dilihat untuk biaya peralatan dan biaya instalasi, *metode Impressed Current* lebih murah dibandingkan dengan metode *Sacrificial Anode*, akan tetapi biaya inspeksi selama 20 metode *Impressed Current* sangat mahal yang nilainya jauh melebihi biaya inspeksi selama 20 tahun untuk metode *Sacrificial Anode*. Sehingga untuk total keseluruhan biaya, metode *Sacrificial Anode* lebih murah dibandingkan dengan metode *Impressed Current* yaitu berselisih \$11147.

Oleh karena itu, metode proteksi yang lebih tepat untuk digunakan dalam memproteksi Pipa Penyalur Gas PT. PGN Batu Ampar-Batam yaitu metode *Sacrificial Anode*, dengan pertimbangan ketidakadaan resiko korsleting listrik dan tidak diperlukannya inspeksi mingguan serta total keseluruhan biaya yang jauh lebih murah dibandingkan metode *Impressed Current*.

4.7 Perbandingan Variasi Dimensi & Material Anoda

Setelah melakukan analisa teknis dan ekonomis, didapatkan bahwa metode *Sacrificial Anode* memiliki resiko teknis yang lebih rendah serta biaya pembangunannya lebih murah dibandingkan dengan metode *Impressed Current*. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbandingan variasi dimensi dan material anoda pada metode *Sacrificial Anode* agar diketahui pengaruh dan dampaknya saat berjalannya sistem proteksi katodik *Sacrificial Anode*.

Adapun diketahui setelah melakukan perhitungan desain yang sebelumnya, menggunakan material dan dimensi anoda Magnesium sebagai berikut :

Jenis anoda : Magnesium grade A

Panjang(L) : 20 inch = 50,8 cm

Diameter (D) : 5 inch = 12,7 cm

Berat Anoda : 32 lb = 14.5 Kg

Efisiensi Anoda : 50 %

Utilization Factor (Uf) : 80%

Driving Force (Δ) : 0.7 V

Kapasitas Anoda (K) : 1200 Ah/Kg

Dan didapatkan hasil perhitungan desain sebagai berikut :

Tabel 4.8 Perhitungan Desain SACP Anoda Magnesium 1

No.	Tahap perhitungan desain	Hasil
1	Luas Permukaan yang akan diproteksi (A)	8169.945 m ²
2	Kebutuhan Arus Proteksi (Ip)	3.27 A
3	Kebutuhan Berat Anoda (Wo)	596.4 Kg
4	Kebutuhan Jumlah Anoda (n)	42 Buah
5	Jarak Pemasangan Anoda (S)	256.69 meter
6	Kebutuhan Arus Jarak S (Is)	0.209 A
7	Resistansi Anoda (Ra)	2.78 Ohm
8	Arus Keluaran Anoda (Ia)	0.25 A
9	Umur Anoda (Y)	20 Tahun
10	Perbandingan Arus (Is) & (Ia)	Is < Ia (Memenuhi)

Setelah itu dilakukan perhitungan desain dengan menggunakan anoda magnesium dengan dimensi yang lebih besar sebagai berikut :

Jenis anoda : Magnesium grade A

Panjang(L) : 100 cm

Diameter (D) : 20 cm

Berat Anoda : 46.3 lb = 21 Kg

Efisiensi Anoda : 50 %

Utilization Factor (Uf) : 80%

Driving Force (Δ) : 0.7 V

Kapasitas Anoda (K) : 1200 Ah/Kg

Dan didapatkan hasil perhitungan desain sebagai berikut :

Tabel 4.9 Perhitungan Desain SACP Anoda Magnesium 2

No.	Tahap perhitungan desain	Hasil
1	Luas Permukaan yang akan diproteksi (A)	8169.945 m ²
2	Kebutuhan Arus Proteksi (Ip)	3.27 A
3	Kebutuhan Berat Anoda (Wo)	596.4 Kg
4	Kebutuhan Jumlah Anoda (n)	29 Buah
5	Jarak Pemasangan Anoda (S)	371.76 meter
6	Kebutuhan Arus Jarak S (Is)	0.303 A
7	Resistansi Anoda (Ra)	1.54 Ohm
8	Arus Keluaran Anoda (Ia)	0.45 A
9	Umur Anoda (Y)	20 Tahun
10	Perbandingan Arus (Is) & (Ia)	Is < Ia (Memenuhi)

Lalu jika desain disamakan dengan jarak (S = 256.69 m) dan jumlah anoda (42 buah) yaitu pada anoda magnesium 1 didapatkan :

Tabel 4.10 Perhitungan Desain SACP Anoda Magnesium 2 dengan jarak dan jumlah anoda sama dengan Magnesium 1

No.	Tahap perhitungan desain	Hasil
1	Kebutuhan Arus Jarak S (I_s)	0.209 A
2	Resistansi Anoda (R_a)	1.54 Ohm
3	Arus Keluaran Anoda (I_a)	0.45 A
4	Umur Anoda (Y)	29.6 Tahun
5	Perbandingan Arus (I_s) & (I_a)	$I_s < I_a$ (Memenuhi)

Kemudian dilakukan perhitungan desain dengan menggunakan anoda magnesium dengan dimensi yang lebih kecil sebagai berikut :

Jenis anoda : Magnesium grade A

Panjang(L) : 13.75 inch = 34.9 cm

Diameter (D) : 4 inch = 10.2 cm

Berat Anoda : 9lb = 4.08 Kg

Efisiensi Anoda : 50 %

Utilization Factor (Uf) : 80%

Driving Force (ΔV) : 0.7 V

Kapasitas Anoda (K) : 1200 Ah/Kg

Dan didapatkan hasil perhitungan desain sebagai berikut :

Tabel 4.11 Perhitungan Desain SACP Anoda Magnesium 3

No.	Tahap perhitungan desain	Hasil
1	Luas Permukaan yang akan diproteksi (A)	8169.945 m ²
2	Kebutuhan Arus Proteksi (I_p)	3.27 A
3	Kebutuhan Berat Anoda (W_o)	596.4 Kg
4	Kebutuhan Jumlah Anoda (n)	150 Buah
5	Jarak Pemasangan Anoda (S)	71.87 meter
6	Kebutuhan Arus Jarak S (I_s)	0.05 A
7	Resistansi Anoda (R_a)	3.79 Ohm
8	Arus Keluaran Anoda (I_a)	0.18 A
9	Umur Anoda (Y)	20 Tahun
10	Perbandingan Arus (I_s) & (I_a)	$I_s < I_a$ (Memenuhi)

Lalu jika desain disamakan dengan jarak ($S = 256.69$ m) dan jumlah anoda (42 buah) yaitu pada anoda magnesium 1 didapatkan :

Tabel 4.12 Perhitungan Desain SACP Anoda Magnesium 3 dengan jarak dan jumlah anoda sama dengan Magnesium 1

No.	Tahap perhitungan desain	Hasil
1	Kebutuhan Arus Jarak S (I_s)	0.209 A
2	Resistansi Anoda (R_a)	3.79 Ohm
3	Arus Keluaran Anoda (I_a)	0.18 A
4	Umur Anoda (Y)	5.7 Tahun
5	Perbandingan Arus (I_s) & (I_a)	$I_s > I_a$ (Tidak Memenuhi)

Setelah itu dilakukan perhitungan desain dengan menggunakan material anoda Alumunium dengan dimensi yang sama dengan anoda magnesium 1 sebagai berikut :

Jenis anoda : Alumunium

Panjang(L) : 20 inch = 50,8 cm

Diameter (D) : 5 inch = 12,7 cm

Berat Anoda : 38.2 lb = 17.33 Kg

Efisiensi Anoda : 90 %

Utilization Factor (U_f) : 80%

ΔV *Driving Force* : 0.30 V

Kapasitas Anoda : 2700 Ah/Kg

Dan didapatkan hasil perhitungan desain sebagai berikut :

Tabel 4.13 Perhitungan Desain SACP Anoda Aluminium

No.	Tahap perhitungan desain	Hasil
1	Luas Permukaan yang akan diproteksi (A)	8169.945 m ²
2	Kebutuhan Arus Proteksi (Ip)	3.27 A
3	Kebutuhan Berat Anoda (Wo)	265.1 Kg
4	Kebutuhan Jumlah Anoda (n)	16 Buah
5	Jarak Pemasangan Anoda (S)	673.8 meter
6	Kebutuhan Arus Jarak S (Is)	0.55 A
7	Resistansi Anoda (Ra)	2.78 Ohm
8	Arus Keluaran Anoda (Ia)	0.11 A
9	Umur Anoda (Y)	20 Tahun
10	Perbandingan Arus (Is) & (Ia)	Is > Ia (Tidak Memenuhi)

Lalu jika desain disamakan dengan jarak (S = 256.69 m) dan jumlah anoda (42 buah) yaitu pada anoda magnesium 1 didapatkan :

Tabel 4.14 Perhitungan Desain SACP Anoda Aluminium dengan jarak dan jumlah anoda sama dengan Magnesium 1

No.	Tahap perhitungan desain	Hasil
1	Kebutuhan Arus Jarak S (Is)	0.209 A
2	Resistansi Anoda (Ra)	2.78 Ohm
3	Arus Keluaran Anoda (Ia)	0.11 A
4	Umur Anoda (Y)	54.9 Tahun
5	Perbandingan Arus (Is) & (Ia)	Is > Ia (Tidak Memenuhi)

Kemudian dilakukan perhitungan desain dengan menggunakan material anoda Zinc dengan dimensi yang sama dengan anoda magnesium 1 sebagai berikut :

Jenis anoda : Zinc

Panjang(L) : 20 inch = 50,8 cm

Diameter (D) : 5 inch = 12,7 cm

Berat Anoda : 99 lb = 45.4 Kg

Efisiensi Anoda : 95 %

Utilization Factor (Uf) : 80%

Driving Force (ΔV) : 0.25 V

Kapasitas Anoda (K) : 780 Ah/Kg

Dan didapatkan hasil perhitungan desain sebagai berikut :

Tabel 4.15 Perhitungan Desain SACP Anoda Zinc

No.	Tahap perhitungan desain	Hasil
1	Luas Permukaan yang akan diproteksi (A)	8169.945 m ²
2	Kebutuhan Arus Proteksi (Ip)	3.27 A
3	Kebutuhan Berat Anoda (Wo)	917.5 Kg
4	Kebutuhan Jumlah Anoda (n)	21 Buah
5	Jarak Pemasangan Anoda (S)	513.4 meter
6	Kebutuhan Arus Jarak S (Is)	0.42 A
7	Resistansi Anoda (Ra)	2.78 Ohm
8	Arus Keluaran Anoda (Ia)	0.09 A
9	Umur Anoda (Y)	20 Tahun
10	Perbandingan Arus (Is) & (Ia)	Is > Ia (Tidak Memenuhi)

Kemudian apabila desain disamakan dengan jarak (S = 256.69 m) dan jumlah anoda (42 buah) yaitu pada anoda magnesium 1 didapatkan :

Tabel 4.16 Perhitungan Desain SACP Anoda Zinc dengan jarak dan jumlah anoda sama dengan Magnesium 1

No.	Tahap perhitungan desain	Hasil
1	Kebutuhan Arus Jarak S (Is)	0.209 A
2	Resistansi Anoda (Ra)	2.78 Ohm
3	Arus Keluaran Anoda (Ia)	0.09 A
4	Umur Anoda (Y)	41.6 Tahun
5	Perbandingan Arus (Is) & (Ia)	Is > Ia (Tidak Memenuhi)

Berikut adalah tabel hasil perbandingan variasi dimensi dan material anoda *Sacrificial Anode* :

Tabel 4.17 Perbandingan variasi dimensi & material anoda SACP

No.	Parameter	Mg 1	Mg 2	Mg 3	Al	Zn
1	Keluaran Arus	0.25 A	0.45 A	0.18 A	0.11 A	0.09 A
2	Kebutuhan Arus	0.209 A	0.303 A	0.05 A	0.55 A	0.42 A
3	Jumlah Anoda	42 Buah	29 Buah	150 Buah	16 Buah	21 Buah
4	Jarak Pemasangan	256.69 meter	371.76 meter	71.87 meter	673.8 meter	513.4 meter
5	Umur Anoda	20 Tahun	20 Tahun	20 Tahun	20 Tahun	20 Tahun
6	Pemenuhan Kebutuhan Arus	Is < Ia (Memenuhi)	Is < Ia (Memenuhi)	Is < Ia (Memenuhi)	Is > Ia (Tidak Memenuhi)	Is > Ia (Tidak Memenuhi)

Dengan melihat tabel tersebut dapat dilihat bahwa untuk variasi dimensi magnesium, semakin besar dimensinya maka arus yang dikeluarkan semakin besar, jumlah anoda yang dipergunakan semakin sedikit, dan jarak pemasangan antar anoda semakin panjang. Untuk pemenuhan kebutuhan arus, ketiga variasi dimensi anoda magnesium terhitung memenuhi. Sedangkan untuk variasi material menggunakan anoda aluminium dan zinc dengan dimensi yang sama dengan anoda magnesium 1, didapatkan keluaran arus yang dihasilkan anoda aluminium dan zinc sangat kecil sehingga tidak memenuhi kebutuhannya. Namun dari segi jumlah penggunaan anoda, anoda aluminium dan zinc paling sedikit penggunaannya.

Kemudian untuk berikutnya, dengan variasi dimensi dan material yang sama, namun jarak pemasangan anoda dan jumlah anoda sama dengan anoda magnesium 1, didapatkan hasil perhitungan :

Tabel 4.18 Perbandingan variasi anoda SACP dengan tinjauan anoda Mg 1

No.	Parameter	Mg 1	Mg 2	Mg 3	Al	Zn
1	Keluaran Arus	0.25 A	0.45 A	0.18 A	0.11 A	0.09 A
2	Kebutuhan Arus	0.209 A	0.209 A	0.209 A	0.209 A	0.209 A
3	Jumlah Anoda	42 Buah	42 Buah	42 Buah	42 Buah	42 Buah
4	Jarak Pemasangan	256.69 meter	256.69 meter	256.69 meter	256.69 meter	256.69 meter
5	Umur Anoda	20 Tahun	29.6 Tahun	5.7 Tahun	54.9 Tahun	41.6 Tahun
6	Pemenuhan Kebutuhan Arus	$I_s < I_a$ (Memenuhi)	$I_s < I_a$ (Memenuhi)	$I_s > I_a$ (Tidak Memenuhi)	$I_s > I_a$ (Tidak Memenuhi)	$I_s > I_a$ (Tidak Memenuhi)

Dari hasil tabel tersebut, dapat dijelaskan bahwa dengan jarak anoda dan jumlah anoda yang sama, umur anoda magnesium dengan dimensi yang lebih besar menjadi semakin panjang dan sebaliknya. Lalu untuk arus keluaran, anoda Mg 3 yang memiliki dimensi yang lebih kecil tidak memenuhi kebutuhan arus, sedangkan anoda Mg 2 dengan dimensi yang lebih besar memenuhi kebutuhan arus. Untuk variasi material anoda dengan jarak dan jumlah anoda yang sama, umur anoda aluminium dan zinc sama-sama menjadi lebih panjang, sedangkan untuk arus keluaran anoda untuk keduanya tetap tidak memenuhi kebutuhan arus.

Sehingga secara garis besar dari perbandingan variasi anoda *Sacrificial Anode* tersebut dapat dilihat bahwa :

- Dengan menggunakan material anoda yang sama yaitu Magnesium, namun dengan dimensi yang lebih besar dan lebih kecil didapatkan bahwa semakin berat anodanya, maka umur anoda akan semakin panjang, dan sebaliknya.
- Semakin besar dimensi anoda yang dipergunakan maka arus keluaran yang diproduksi anoda akan semakin besar, dan sebaliknya.
- Setelah dilakukan perhitungan desain anoda dengan menggunakan material Aluminium dan Zinc dengan dimensi ukuran yang sama dengan anoda magnesium yang digunakan, diketahui bahwa kedua anoda tersebut tidak

memenuhi kriteria untuk melindungi jaringan pipa dikarenakan arus yang dikeluarkan terlalu kecil.

- Semakin besar *Driving Voltage* (V) dari anoda, maka arus yang dikeluarkan juga akan semakin besar.
- Semakin besar Kapasitas dari anoda (Ah/Kg), maka berat total dari anoda yang dibutuhkan anoda akan semakin kecil.

4.7.1 Kelebihan dan Kekurangan Masing-Masing Anoda

1. Anoda Magnesium 2 :

- Kelebihan : Keluaran arus anoda yang besar dan umur anoda yang panjang
- Kekurangan : Jarak pemasangan anoda yang berjauhan sehingga proses inspeksi lebih sulit dilakukan.

2. Anoda Magnesium 3 :

- Kelebihan : Jarak pemasangan yang berdekatan sehingga lebih mudah untuk melakukan inspeksi.
- Kekurangan : Keluaran arus anoda yang relative kecil serta umur anoda yang singkat apabila jarak dan jumlah anoda disamakan dengan anoda magnesium 1 yang menjadi tinjauan.

3. Anoda Aluminium :

- Kelebihan : Umur anoda yang relative panjang, lalu jumlah anoda yang dipergunakan juga sedikit.
- Kekurangan : Arus yang dikeluarkan sangat kecil sehingga tidak memenuhi kebutuhan arus.

4. Anoda Zinc :

- Kelebihan : Jumlah anoda yang dipergunakan juga sedikit dan umur anoda yang relative panjang.
- Kekurangan : Arus yang dikeluarkan sangat kecil sehingga tidak memenuhi kebutuhan arus.

BAB V

KESIMPULAN SERTA SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari semua tahapan pengerjaan yang sudah saya lakukan, kesimpulan yang dapat diambil dari hasil analisa yang telah dilakukan, antara lain:

1. Dari segi teknis, berdasarkan pertimbangan banyaknya jumlah inspeksi yang perlu dilakukan serta kompleksnya komponen yang digunakan dalam metode *Impressed Current* serta adanya resiko korsleting listrik, maka metode *Sacrificial Anode* yang lebih unggul.
2. Dari segi ekonomi, setelah melakukan perhitungan biaya peralatan, biaya instalasi dan biaya operasional serta inspeksi, didapatkan metode *Sacrificial Anode* lebih murah dibandingkan metode *Impressed Current*, dengan selisih biaya mencapai US\$11147.
3. Metode *Sacrificial Anode* dianggap lebih tepat untuk melindungi struktur pipa PT.PGN Batu Ampar Batam.
4. Setelah melakukan variasi anoda pada metode *Sacrificial Anode*, didapatkan hasil bahwa semakin berat anodanya, maka umur anoda akan semakin panjang, dan sebaliknya. Lalu Semakin besar dimensi anoda yang dipergunakan maka arus keluaran yang diproduksi anoda akan semakin besar, dan sebaliknya. Kemudian semakin besar *Driving Voltage* (V) dari anoda, maka arus yang dikeluarkan juga akan semakin besar. Dan yang terakhir semakin besar Kapasitas dari anoda (Ah/Kg), maka berat total dari anoda yang dibutuhkan anoda akan semakin kecil. Penggunaan anoda alumunium dan zinc pada proteksi katodi pipa PT.PGN Batu Ampar Batam tidak dapat dilakukan karena arus yang dikeluarkan terlalu kecil, sehingga tidak dapat melindungi struktur pipa.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Dapat pula dilakukan perbandingan metode proteksi katodik pada berbagai struktur berbahan logam, tidak hanya pipa, melainkan dapat berupa tiang pancang, kapal, struktur perlindungan pantai dan sebagainya.
2. Dapat digunakan software terbaru dalam mendesain struktur perlindungan korosi proteksi katodik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, Fajar Hudi. 2011. **"Analisis Desain Sacrificial Anode Cathodic Pada Jaringan Pipa Bawah Laut"**. Teknik Kelautan ITB, Bandung.
- Anggono, dkk. 1999. **"Studi Perbandingan Kinerja Anoda Korban Paduan Aluminium dengan Paduan Seng Dalam Lingkungan Air Laut"**. Jurnal Teknik Mesin, vol.1, No.2 Universitas Kristen Petra.
- Bahadori, A. 2014. **"Cathodic Corrosion Protection Systems : A Guide for Oil and Gas Industries"**. Oxford, Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier.
- Bai, Y. 2001. **"Pipeline and Risers"**. Elsevier. USA.
- Desiazari, 2011. **"Inhibisi Korosi Baja SS 304 dalam Media HCL 1M dengan Isatin Tanpa dan dengan Penambahan Ion Tiosanat"**, ITS. Surabaya.
- DNV RP B 401. 2010. **"Cathodic Protection Design"**. Det Norske Vertas. Norway. (Codes)
- Halimatuddahlia, 2003. **"Pencegahan Korosi dan Scale pada Proses Produksi Minyak Bumi"**. Jurusan Teknik Kimia, USU, Sumatera Utara.
- Ibrahim, R. 2012. **"Analisa Kelayakan Operasional Jalur Pipa Kondensat Material API 5L Grade B Terhadap Disain Sistem Proteksi Katodik"**. Thesis. Universitas Indonesia. Depok, Indonesia.
- Lampiran 5. 2015. **"Pemasangan Jaringan Pipa Distribusi Batu Ampar"**. PT. Perusahaan Gas Negara.
- Laporan Inspeksi untuk Sertifikasi Pipa. 2015. **"Sertifikasi Pipa PT.PGN Batu Ampar Batam"**. PT. Marka Inspektindo Technical.
- Liu, H. 2003. **"Pipeline Engineering"**. Lewish Publisher. Boca Raton London New York Washington, D.C.
- NACE RP 0169. 2002. **"Control of External Corrosion On Underground of Submerged Metallic Piping System"**. National Association Corrosion Engineers. (Codes)
- Peabody, A. W. 2001. **"Control of Pipeline Corrosion 2nd Edition"**. Editor : Ronald L, Bianchetti, Houston. TX, Nace International.
- Pedoman Standart PT.PGN. 2009. **"Konstruksi Pipa Baja dan Polyethylene Sistem Jaringan Pipa Distribusi Gas Bumi dan Fasilitas Penunjangnya"**. PT. Perusahaan Gas Negara.

Putra, Maulana. 2013. “**Analisa Efisiensi dan Efektifitas Dari Tiga Metode Pengendali Korosi Pada Jaringan Pipa Penyalur Gas PT PGN Kawasan Waru-Taman**”. ITS. Surabaya.

Putra, Asmauddin, 2014. “**Analisa Proteksi Katodik dengan Menggunakan Anoda Tumbal Pada Pipa Gas Bawah Tanah PT. Pupuk Kalimantan Timur dari Stasiun Kompresor Gas ke Kaltim-2**”, ITS. Surabaya.

Qohar, A.Zakianto, 2012. “**Asesmen Korosi Pada Fasilitas Produksi Minyak dan Gas Bumi di Lingkungan CO₂ dan H₂S**”, Teknik Metalurgi, Universitas Indonesia.

Roberge, Pierre R. 1999. “**Handbook of Corrosion Engineering**”. The McGraw-Hill Companies. USA.

Sidiq, M Fajar. 2013.”**Analisa Korosi dan Pengendalinya**”. Akademi Perikanan Baruna. Slawi.

Standart Operation Procedure PT.Marindotech. 2007. “**Inspeksi Sistem Perlindungan Katodik Pada Pipeline**”. PT. Marka Inspektindo Technical.

Sulistijono. 1999. “**Diktat Korosi**”. Fakultas Teknologi Industri. ITS Surabaya.

Supomo, Heri 2003. “**Buku Ajar Korosi**”. Teknik Perkapalan, ITS Surabaya.

Surya, Indra, D. 2004.”**Kimia Dari Inhibitor Korosi**”. UNSUD. Sumatera Utara.

Trisnaningtyas, Rizky. 2011.”**Analisa Desain Sistem Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) pada Offshore Pipeline milik JOB Pertamina-Petrochina East Java**”. ITS. Surabaya.

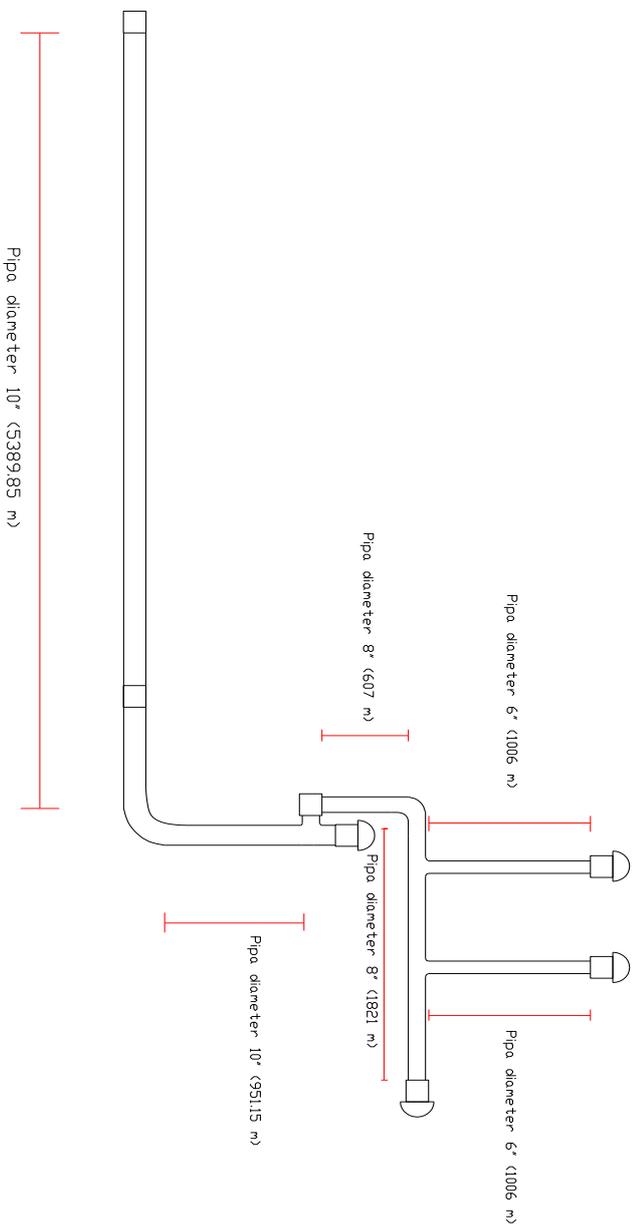
Von Baeckmann, W. 1997. “**Handbook of Cathodic Corrosion Protection : Theory and Practice of Electrochemical Protection Processes 3rd Edition**”. Houston, TX : Gulf Publishing Company.

Zainab. 2011.”**Study Perbandingan Sistem Perlindungan Korosi Impressed Current dan Sacrificial Anode Pada Struktur Jacket**”. ITS. Surabaya.

LAMPIRAN A
DENAH BATU AMPAR-BATAM

LAMPIRAN B
DETAIL JARINGAN PIPA PGN BATU AMPAR-BATAM

LAMPIRAN C
DENAH PIPA PGN BATU AMPAR BATAM YANG
DIPROTEKSI

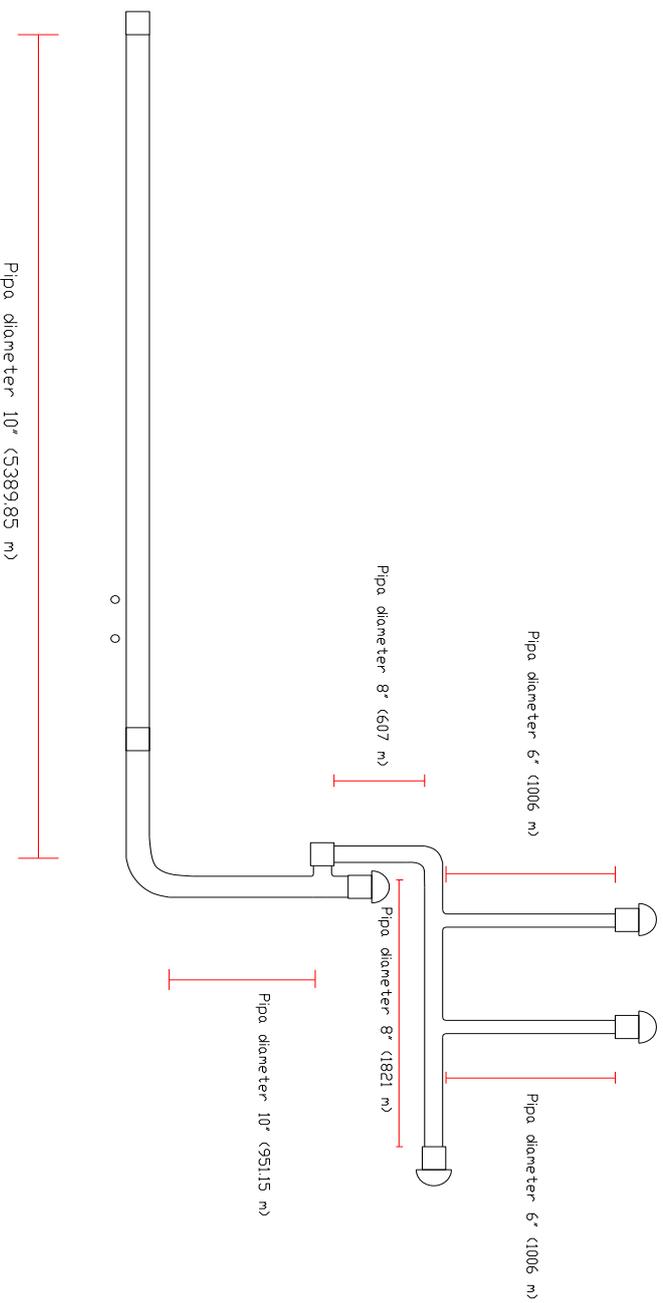


KETERANGAN GAMBAR :

- VALVE : □
- END CAP : ◐

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
DENAH PIPA PT. PGV BATU AMPAR-BATAM
NAMA : JULIO IMAN NUGROHO
NRP : 4312100090

LAMPIRAN D
DENAH PELETAKAN ANODA MMO ICCP



KETERANGAN GAMBAR :

VALVE : □

END CAP : ◐

ANODA MMD : ○ (Dengan Jarak antar anoda sebesar 5 meter dan jarak anoda dengan pipa sebesar 1,5 meter)

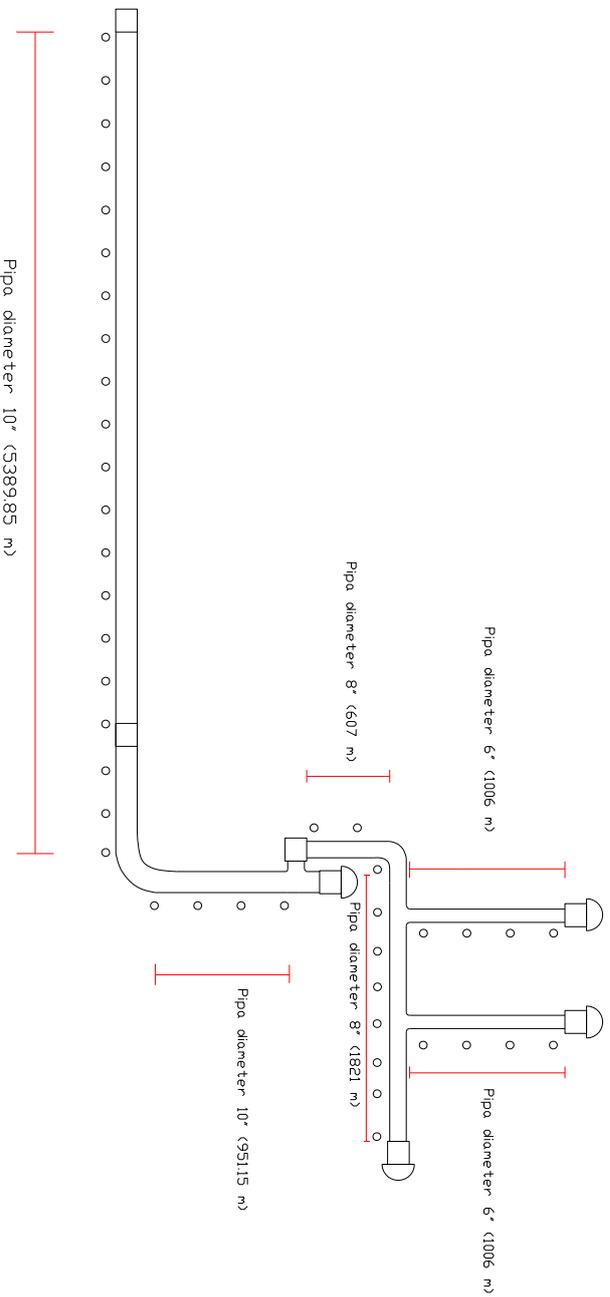
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

DENAH PELETAKAN ANODA ICCP

NAMA : JULIO IMAN NUGROHO

NRP : 4312100090

LAMPIRAN E
DENAH PELETAKAN ANODA MAGNESIUM SACP



KETERANGAN GAMBAR :

VALVE : □

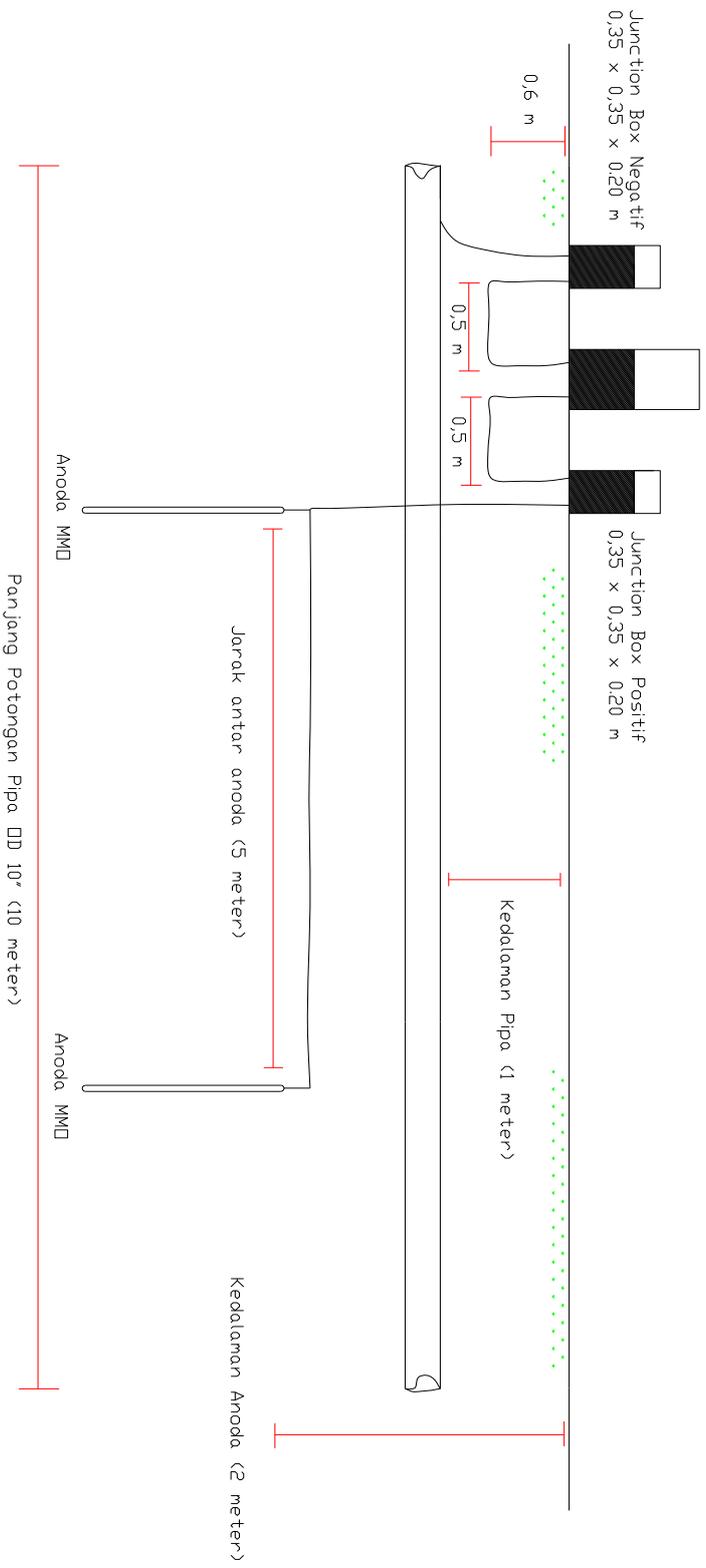
END CAP : ◐

ANODA MAGNESIUM : ○ (Dengan Jarak antar anoda sebesar 256,69 meter dan jarak anoda dengan pipa sebesar 1,5 meter)

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
DENAH PELETAKAN ANODA SACP
NAMA : JULIUS IMAN NUGROHO
NRP : 4312100090

LAMPIRAN F
GAMBAR POTONGAN PIPA DENGAN PROTEKSI
KATODIK ICCP

Transformer Rectifier
0,47 x 0,49 x 0,50 m



Keterangan :

Kabel : ~

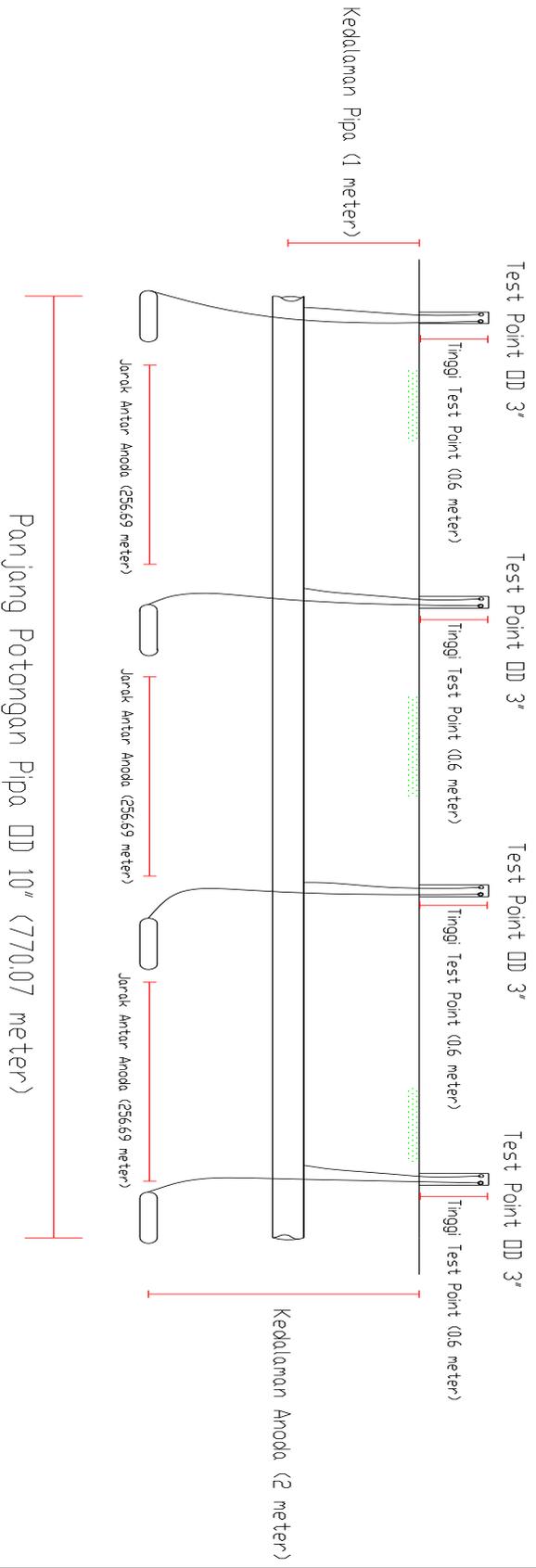
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Desain ICCP Potongan Pipa DD 10"

NAMA : JULIUS IMAN NUGROHO

NRP : 4312100090

LAMPIRAN G
GAMBAR POTONGAN PIPA DENGAN PROTEKSI
KATODIK SACP

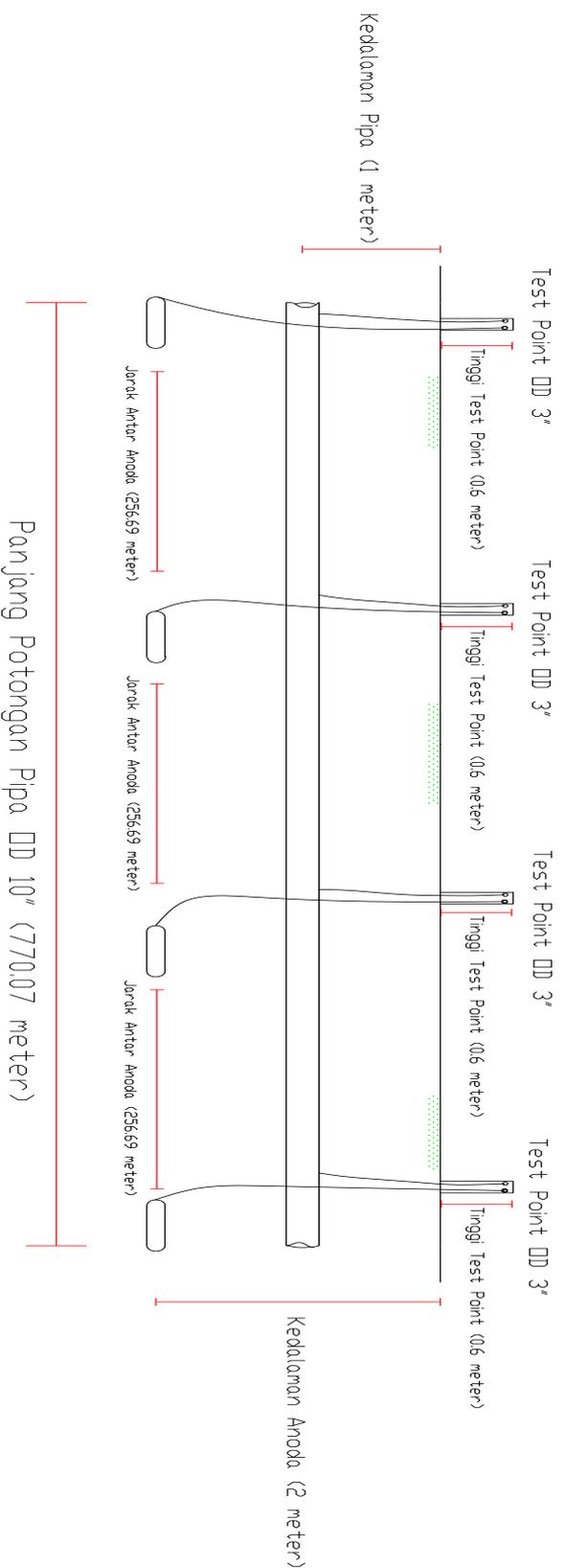


Keterangan :

Anoda :

Kabel :

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Desain SACP Potongan Pipa DD 10" (1)
NAMA : JULIUS IMAN NUGROHO
NRP : 4312100090

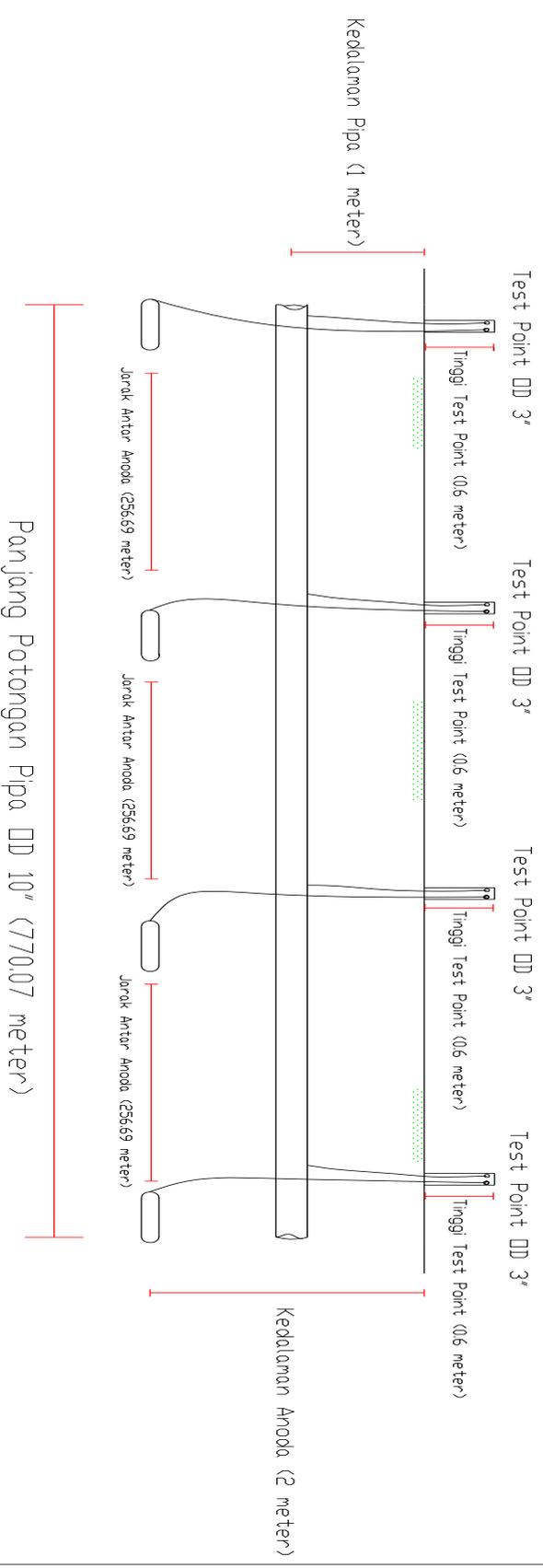


Keterangan :

Anoda :

Kabel :

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Desain SACP Potongan Pipa DD 10" (2)
NAMA : JULIO IMAN NUGROHO
NRP : 4312100090

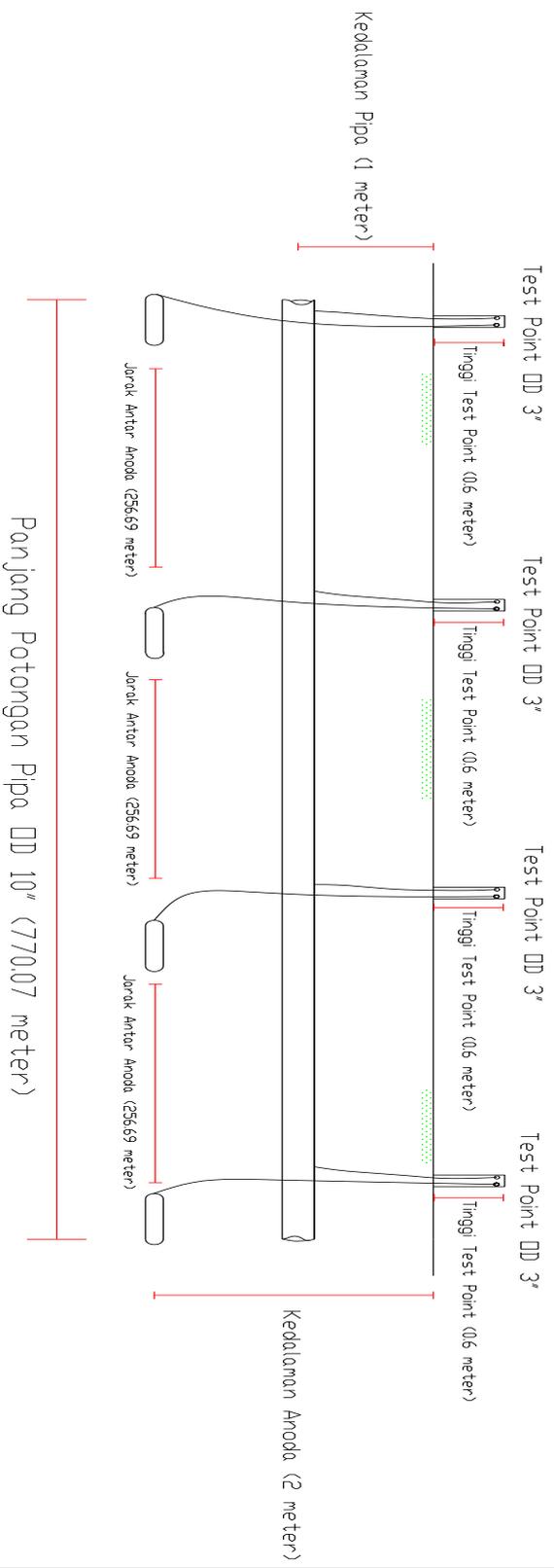


Keterangan :

Anoda :

Kabel :

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Desain SACP Potongan Pipa $\text{OD } 10''$ (3)
NAMA : JULIUS IMAN NUGROHO
NRP : 4312100090

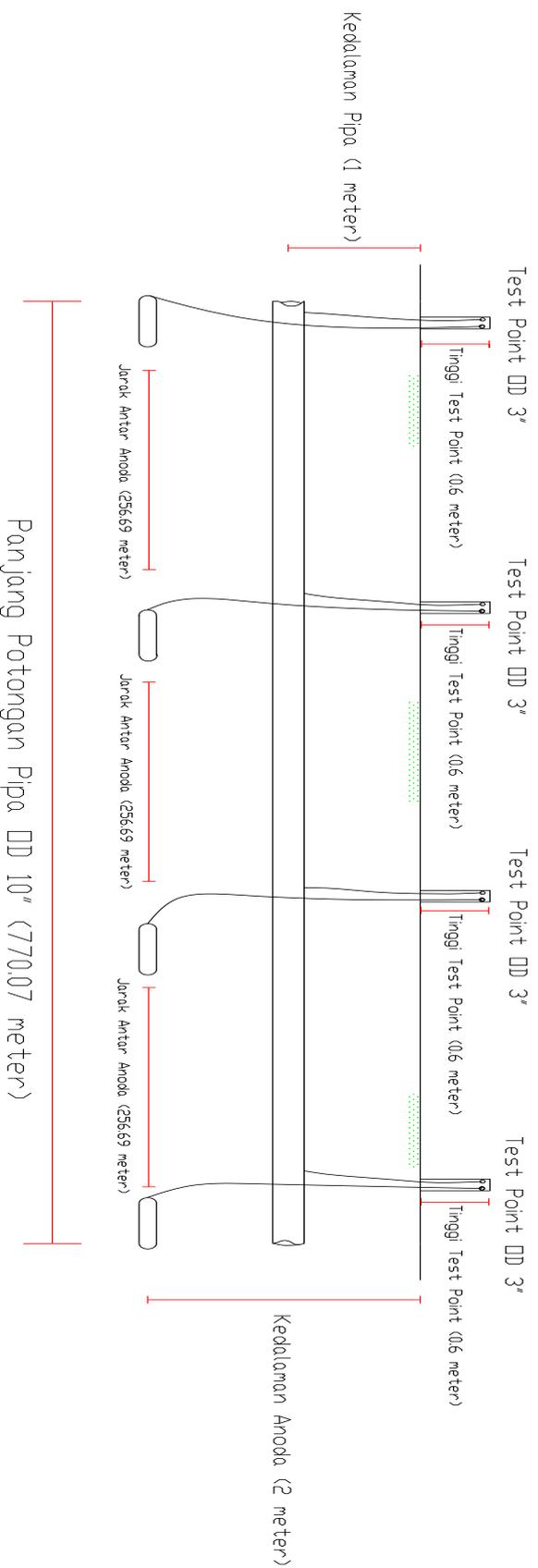


Keterangan :

Anoda : 

Kabel : 

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELUHAN JURUSAN TEKNIK KELUHAN
Desain SACP Potongan Pipa DD 10" (4)
NAMA : JULIO IMAN NUGROHO
NRP : 4312100090

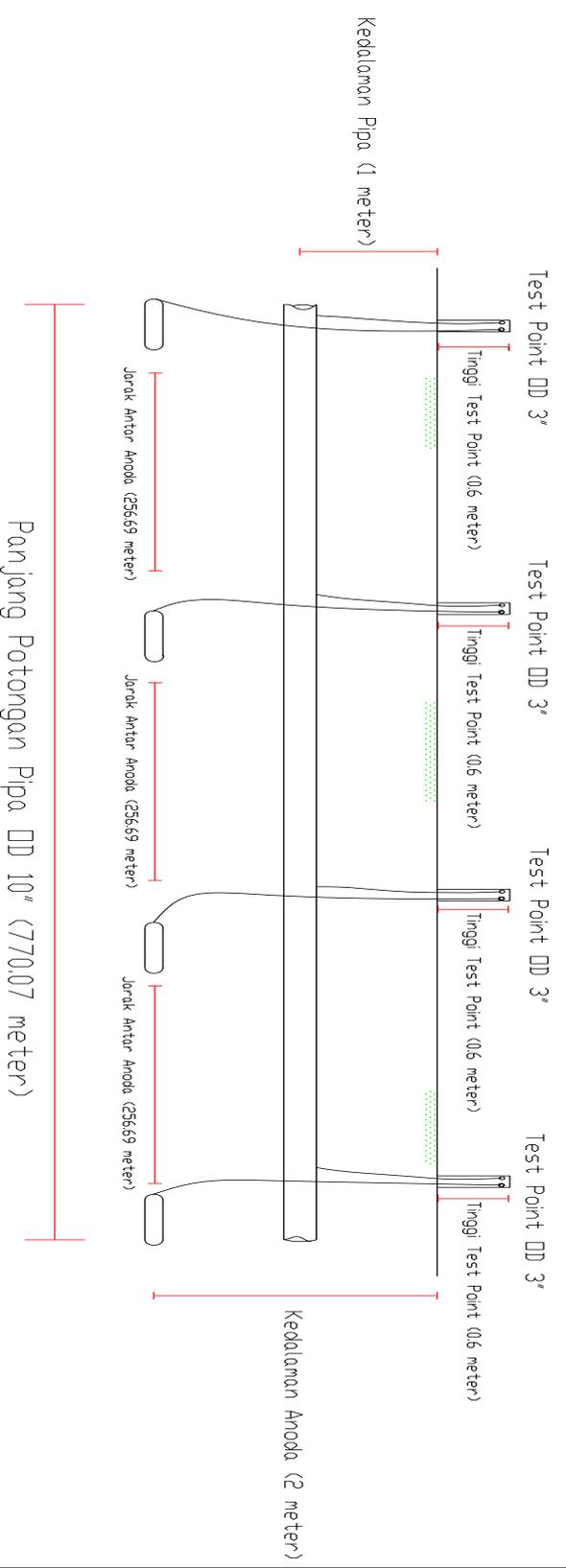


Keterangan :

Anoda :

Kabel :

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Desain SACP Potongan Pipa DD 10" (5)
NAMA : JULIUS IMAN NUGROHO
NRP : 4312100090

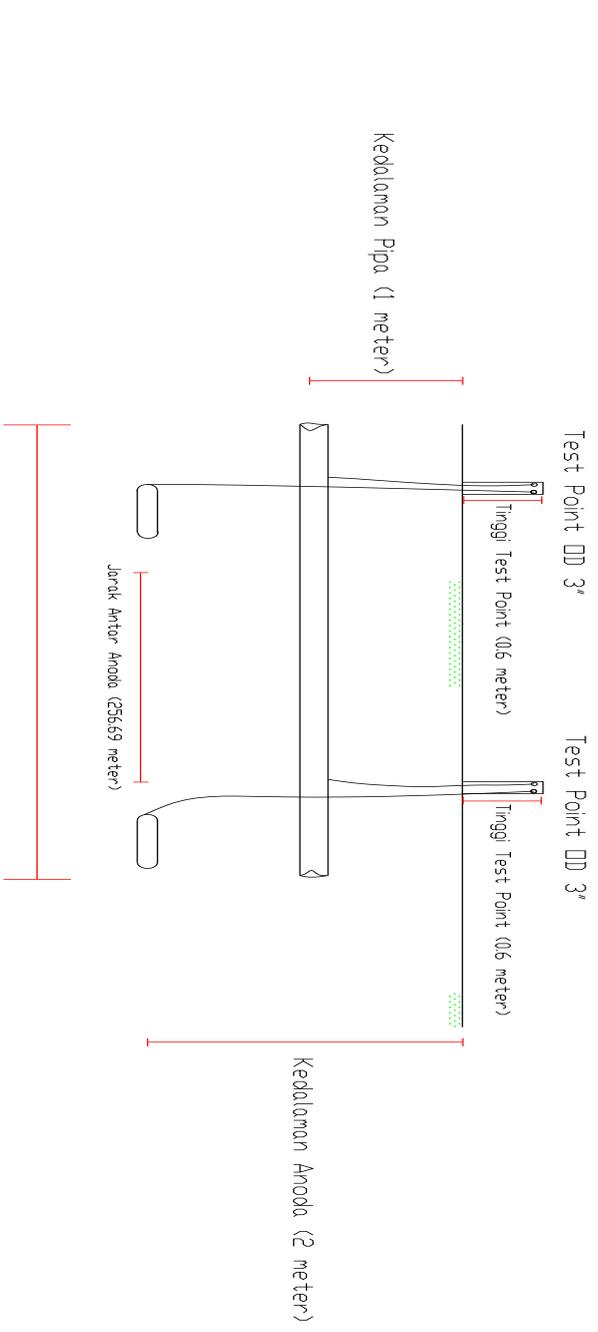


Keterangan :

Anoda :

Kabel :

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Desain SACP Potongan Pipa DD 10" (6)
NAMA : JULIUS IMAN NUGROHO
NRP : 4312100090



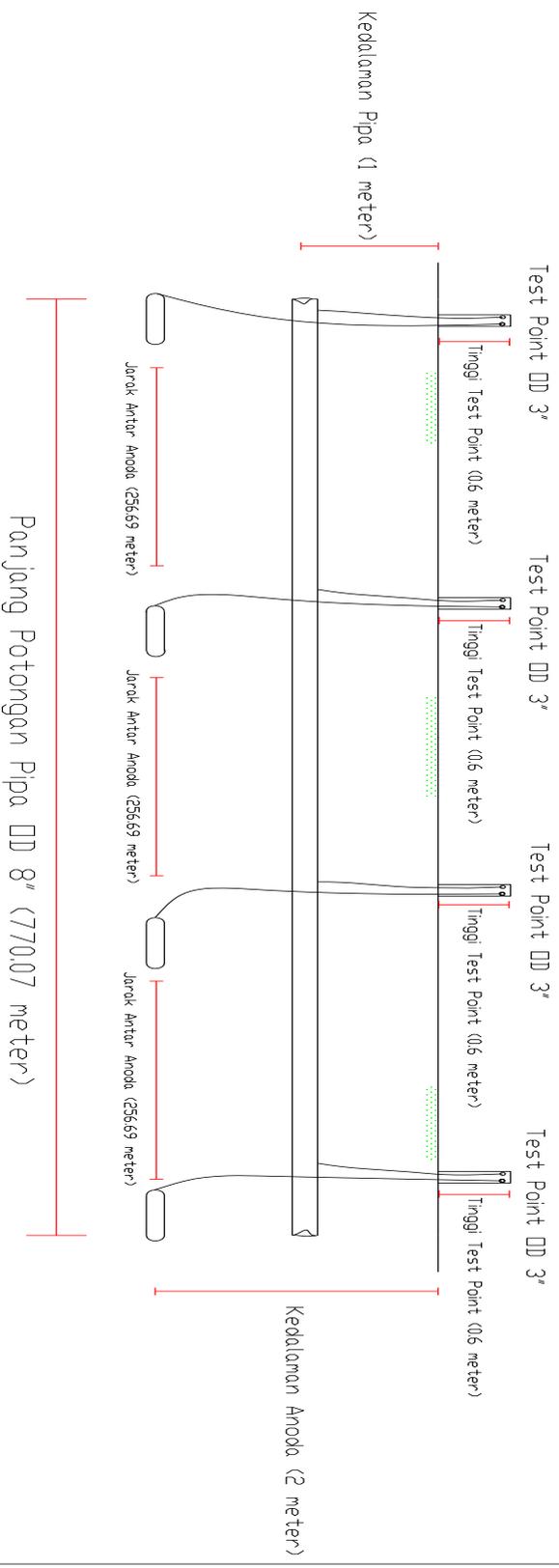
Panjang Potongan Pipa \varnothing 8" (256,69 meter)

Keterangan :

Anoda :

Kabel :

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Desain SACP Potongan Pipa \varnothing 8" (1)
NAMA : JULIO IMAN NUGROHO
NRP : 4312100090

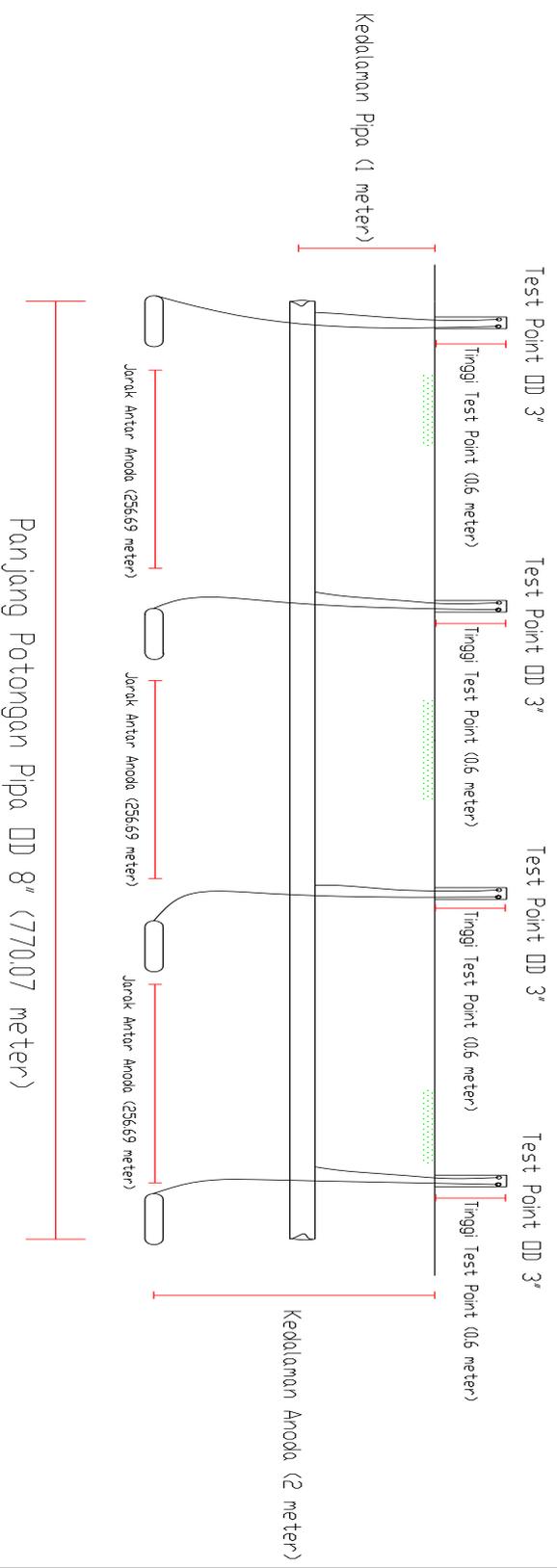


Keterangan :

Anoda :

Kabel :

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Desain SACP Potongan Pipa ØD 8" (2)
NAMA : JULID IMAN NUGRHO
NRP : 4312100090

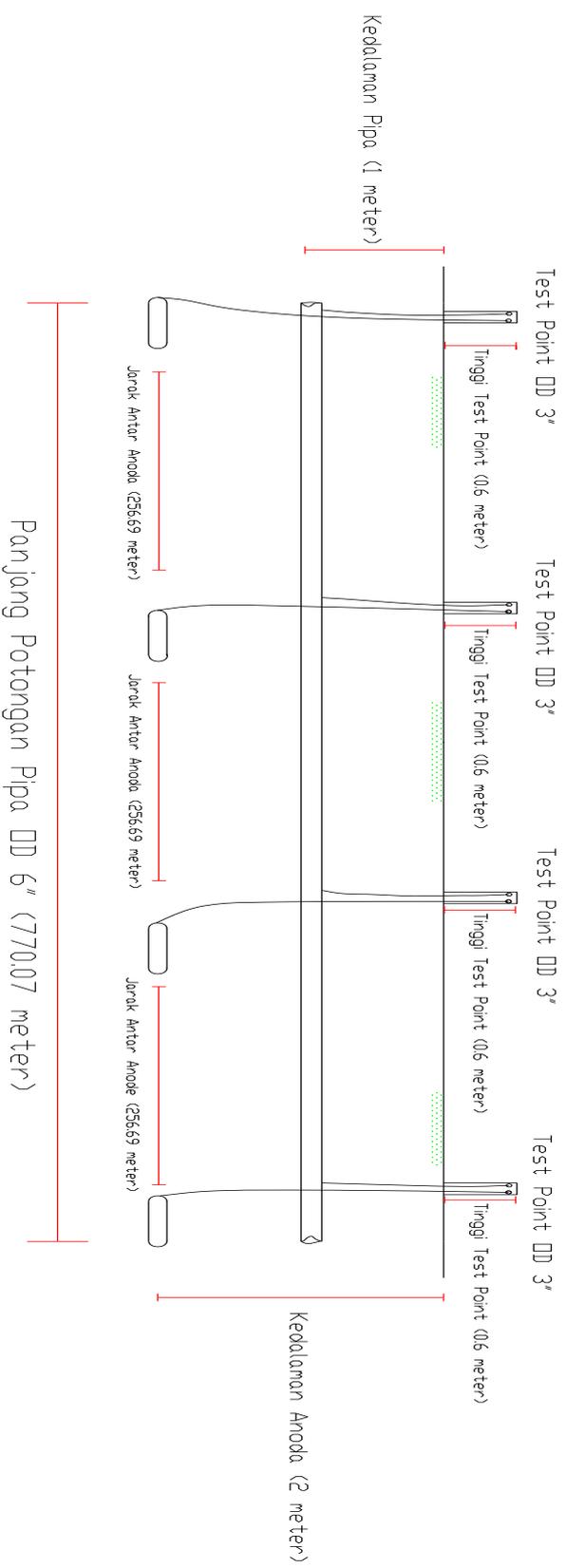


Keterangan :

Anoda : 

Kabel : 

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Desain SACP Potongan Pipa DD 8" (3)
NAMA : JULIO IMAN NUGROHO
NRP : 4312100090

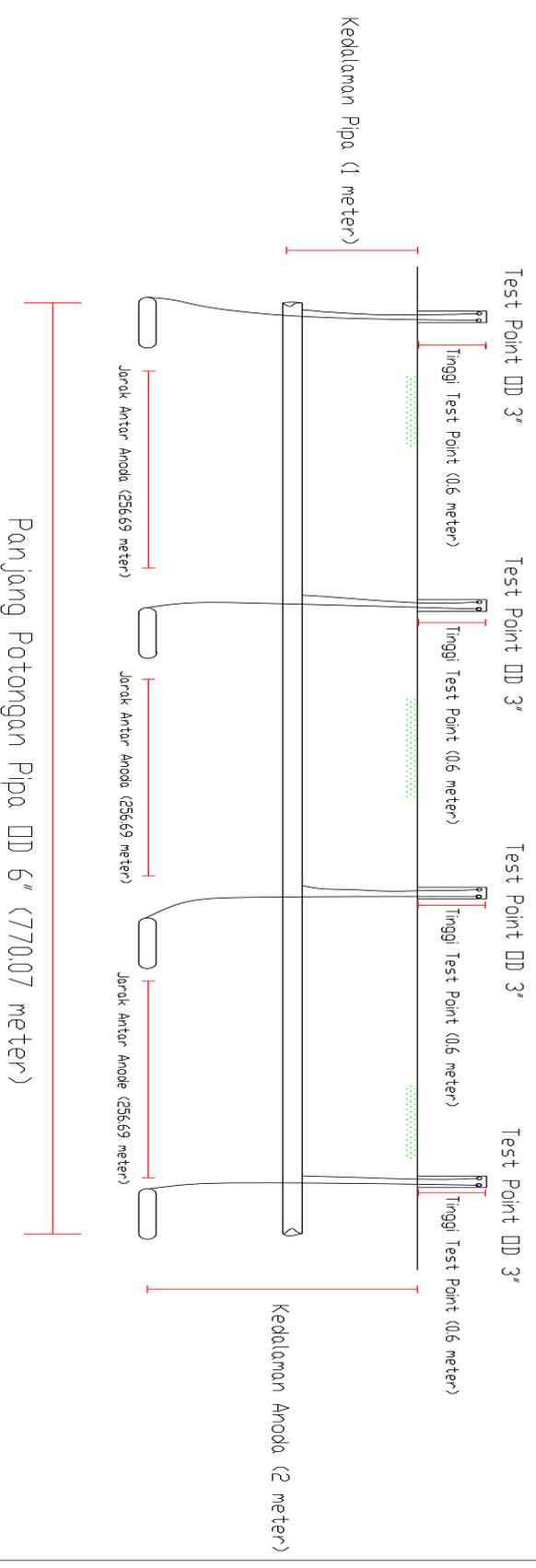


Keterangan :

Anoda : 

Kabel : 

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Desain SACP Potongan Pipa OD 6" (1)
NAMA : JULIUS IMAN NUGROHO
NRP : 4312100090



Keterangan :

Anoda :

Kabel :

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Desain SACP Potongan Pipa $\text{OD } 6''$ (2)
NAMA : JULIUS IMAN NUGROHO
NRP : 4312100090

LAMPIRAN H
DATA PROPERTIES PIPA DAN ANODA YANG DIGUNAKAN

Data properties pipa PGN batu ampar, batam

Jenis pipa : baja api 51 grade b sch 40

Panjang pipa : 6341 m, 2428 m, 2012 m

Jenis coating : 3 layer polyetilene

Diameter luar : 10 inch, 8 inch, 6 inch

Tebal dinding : 9.271 mm, 8.1788 mm

Tahanan tanah : 360 ohm cm

Kedalaman pipa : 1 m

Faktor breakdown coating : 2%

Data-data anoda sacrificial anode :

Jenis anoda : Magnesium grade A

Panjang(L) : 20 inch = 50,8 cm

Diameter (D) : 5 inch = 12,7 cm

Berat Anoda : 32 lb = 14.5 Kg

Efisiensi Anoda : 50 %

Utilization Factor (Uf) : 80%

Driving Force (Δ) : 0.7 V

Kapasitas Anoda (K) : 1200 Ah/Kg

Jenis anoda : Magnesium grade A

Panjang(L) : 100 cm

Diameter (D) : 20 cm

Berat Anoda : 46.3 lb = 21 Kg

Efisiensi Anoda : 50 %

Utilization Factor (Uf) : 80%

Driving Force (Δ) : 0.7 V

Kapasitas Anoda (K) : 1200 Ah/Kg

Jenis anoda : Magnesium grade A
Panjang(L) : 13.75 inch = 34.9 cm
Diameter (D) : 4 inch = 10.2 cm
Berat Anoda : 9lb = 4.08 Kg
Efisiensi Anoda : 50 %
Utilization Factor (Uf) : 80%
Driving Force (ΔV) : 0.7 V
Kapasitas Anoda (K) : 1200 Ah/Kg

Jenis anoda : Alumunium
Panjang(L) : 20 inch = 50,8 cm
Diameter (D) : 5 inch = 12,7 cm
Berat Anoda : 38.2 lb = 17.33 Kg
Efisiensi Anoda : 90 %
Utilization Factor (Uf) : 80%
 ΔV Driving Force : 0.30 V
Kapasitas Anoda : 2700 Ah/Kg

Jenis anoda : Zinc
Panjang(L) : 20 inch = 50,8 cm
Diameter (D) : 5 inch = 12,7 cm
Berat Anoda : 99 lb = 45.4 Kg
Efisiensi Anoda : 95 %
Utilization Factor (Uf) : 80%
Driving Force (ΔV) : 0.25 V
Kapasitas Anoda (K) : 780 Ah/Kg

Data-data anoda impressed current :

Jenis anoda : MMO

Berat anoda : 20 kg

Konsumsi anoda : 0,34 kg/amp tahun

Factor guna: 0.8

Panjang anoda: 5 ft = 1,524 m

Diameter anoda : 0,17 ft = 0,0518 m

LAMPIRAN I
DATA BIAYA PROTEKSI KATODIK

1. Biaya Peralatan *Impressed Current*

No.	Nama Alat	Harga Per Unit (\$)
1	Anoda MMO	\$600.00
2	Transformer Rectifier	\$1,500.00
3	Junction Box Positif	\$1,300.00
4	Junction Box Negatif	\$1,300.00
5	Perlengkapan Las <i>Caldweld</i>	\$450.00
6	Royston Handycap	\$50.00
7	Kabel XLPE 25 mm2 (Per meter)	\$15.00
8	Split Bolt Connector	\$40.00
9	Loresco Coke Breeze (Backfill)	\$45.00
10	Transformer Cooling Oil	\$1,000.00

2. Biaya Instalasi *Impressed Current*

No.	Nama Proses	Harga Per Unit (\$)
1	Pemasangan Transformer Rectifier	\$1,200.00
2	Pemasangan Junction Box	\$1,200.00
3	Pengelasan <i>Caldweld</i>	\$40.00
4	Pengeboran Tanah (Kedalaman-meter)	\$10.00
5	Penggalian Tanah (Per titik)	\$23.00

3. Biaya Operasional & Inspeksi *Impressed Current*

No.	Nama Proses	Jumlah	Harga Per Unit (\$)
1	Inspeksi Mingguan (Pemeriksaan tegangan dan arus pada rectifier & junction box)	960	\$23.00
2	Inspeksi Tahunan (Pemeriksaan keadaan visual pipa dan potensial pipa) pada junction box	20	\$124.00
3	Biaya listrik (daya 450 VA) 20 Tahun	1	\$2,363.00

4. Biaya Peralatan *Sacrificial Anode*

No.	Nama Alat	Harga Per Unit (\$)
1	Anoda Magnesium 32lb (Termasuk Backfill)	\$100.00
2	Test Point (Termasuk Kabel 15 meter)	\$80.00
3	Perlengkapan Las <i>Caldweld</i>	\$450.00
4	Royston Handycap	\$50.00

5. Biaya Instalasi *Sacrificial Anode*

No.	Nama Proses	Harga Per Unit (\$)
1	Pemasangan Test Point	\$150.00
2	Pengelasan <i>Caldweld</i>	\$40.00
3	Penggalian Tanah	\$23.00

6. Biaya Operasional & Inspeksi *Sacrificial Anode*

No.	Nama Proses	Harga Per Unit (\$)
1	Inspeksi Tahunan (Pemeriksaan keadaan visual pipa dan potensial pipa) pada test point	\$300.00

BIODATA PENULIS



Julio Iman Nugroho Lahir di Jakarta pada tanggal 29 Juli 1994 ,merupakan anak pertama dari dua orang bersaudara. Menempuh pendidikan sekolah dasar di SDN Jatiwaringin XV Pondok Gede Bekasi, Jawa Barat. Sedangkan untuk tingkat SMP dan SMA di tempuh di SMPN 117 Jakarta dan SMAN 42 Jakarta. Setelah menyelesaikan pendidikan tingkat SMA, penulis melanjutkan pendidikannya di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang diterima melalui jalur SNMPTN Tulis pada tahun 2012.

Selama masa perkuliahan, Penulis pernah menjadi anggota Unit Kegiatan Mahasiswa Maritime Challenge ITS pada tahun pertama dan hanya berjalan selama satu semester. Selain itu, penulis juga aktif menjadi anggota Dewan Perwakilan Mahasiswa Fakultas Teknologi Kelautan pada periode tahun 2014-2015.

Pada tahun 2015, penulis melakukan Kerja Praktek di perusahaan jasa inspeksi teknis bernama PT. Marka Inspektindo Technical yang berlokasi di daerah Pondok Kopi, Jakarta Timur selama dua bulan. Pada bulan September 2015, Penulis mulai mengerjakan dan menyusun Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan Pendidikan Sarjana (S1) dengan mengambil Bidang Keahlian Perancangan dan Produksi yang berkaitan dengan korosi dan proteksi katodik. Judul Tugas Akhir penulis yang penulis susun berjudul **Studi Kasus Perbandingan Dua Metode Perlindungan Korosi pada Pipa Penyalur Gas PT.PGN Batu Ampar Batam** yang diselesaikan dalam waktu satu semester.

Kontak dengan penulis: julioimannugroho@gmail.com