



TUGAS AKHIR – MO019336

**ANALISA PROTEKSI KATODIK DENGAN
MENGUNAKAN ANODA TUMBAL PADA PIPA
GAS BAWAH TANAH PT. PUPUK KALIMANTAN
TIMUR DARI STASIUN KOMPRESSOR GAS KE
KALTIM-2**

ASMAUDDIN PUTRA
NRP. 4309 100 085

Dosen Pembimbing :
Ir. Imam Rochani, M.Sc
Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

2014



FINAL PROJECT – MO019336

**ANALYSIS CATHODIC PROTECTION BY USING
SACRIFICIAL ANODE ON UNDERGROUND GAS
PIPE PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR FROM
COMPRESSOR GAS STATION TO KALTIM-2**

**ASMAUDDIN PUTRA
REG. 4309 100 085**

Supervisors :

Ir. Imam Rochani, M.Sc

Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Fakulty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2014

**ANALISA PROTEKSI KATODIK DENGAN MENGGUNAKAN
ANODA TUMBAL PADA PIPA GAS BAWAH TANAH PT.
PUPUK KALIMANTAN TIMUR DARI STASIUN
KOMPRESSOR GAS KE KALTIM-2**

NamaMahasiswa : Asmauddin Putra
NRP : 4309 100 085
Jurusan : TeknikKelautan FTK – ITS
DosenPembimbing : Ir. Imam Rochani, M.Sc
Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

ABSTRAK

Tugas akhir ini membahas tentang proteksi katodik dengan menggunakan anoda tumbal pada pipa bawah tanah PT. Pupuk Kalimantan Timur Kaltim-2. Bahasan dalam tugas akhir ini mencakup tentang luas pipa yang diproteksi, keperluan arus proteksi, total berat anoda yang dibutuhkan, jumlah anoda yang digunakan, jarak pemasangan antar anoda, keperluan arus proteksi dalam jarak pemasangan anoda, resistansi anoda, kekuatan arus anoda, umur anoda, dan perbandingan antara kuat arus yang dibutuhkan dengan kekuatan arus anoda. Analisa yang dilakukan didasarkan pada kriteria yang ditetapkan oleh DNV RP B401 tentang *Cathodic Protection Design* dan NACE RP 0169 tentang *Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping System*. Secara umum, perbandingan antara kuat arus yang dibutuhkan dengan kekuatan arus anoda menjadi tolak ukur pergantian anoda. Hasil dari perbandingan tersebut, kuat arus yang dibutuhkan untuk perlindungan proteksi katodik dalam dapat terpenuhi, Sehingga dilakukan pergantian anoda tumbal. Anoda tumbal awalnya menggunakan prepaked Magnesium 48 d5 diganti menggunakan GA-MG-9 H-1.

Kata kunci: *anoda tumbal, korosi, pipa onshore, proteksi katodik.*

ANALYSIS CATHODIC PROTECTION BY USING SACRIFICIAL ANODE ON UNDERGROUND GAS PIPE PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR FROM COMPRESSOR GAS STATION TO KALTIM-2

NamaMahasiswa : Asmauddin Putra
NRP : 4309 100 085
Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS
DosenPembimbing : Ir. Imam Rochani, M.Sc
Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc

ABSTRACT

This final project discusses about cathodic protection using sacrificial anodes on the underground pipe PT. Pupuk Kalimantan Timur. The discussion in this final project covers about a broad pipeline protected, current protection required, total weight of anodes required, number of anodes are used, distance between the anode installation, protection current within purpose of installation the anode, resistance of the anode, anode current strength, age of the anode, and a comparison between the strong current needed with the power of the anode current. Analysis is performed based on the criteria established by DNV RP B401 about *Cathodic Protection Design* and NACE RP 0169 about *Control of External Corrosion Underground or Submerged Metallic Piping System*. In general, the comparison between the strong current required to force anode current as a benchmark replacement anode. The result of this comparison, strong current needed for the protection of the cathodic protection can be met, so the sacrificial anode replacement performed. Sacrificial anode originally using prepacked Magnesium 48 d5 replaced using GA-MG-9 H-1.

Keywords: *sacrificial anode, corrosion, onshore pipe, cathodic protection*

**ANALISA PROTEKSI KATODIK DENGAN MENGGUNAKAN
ANODA TUMBAL PADA PIPA GAS BAWAH TANAH PT.
PUPUK KALIMANTAN TIMUR DARI STASIUN
KOMPRESSOR GAS KE KALTIM-2**

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

Oleh:

ASMAUDDIN PUTRA

NRP.4309100085

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Imam Rochani, M.Sc..... (Pembimbing 1)

2. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc..... (Pembimbing 2)

SURABAYA, 11 AGUSTUS 2014

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan lancar. Tugas akhir ini berjudul ANALISA PROTEKSI KATODIK DENGAN MENGGUNAKAN ANODA TUMBAL PADA PIPA GAS BAWAH TANAH PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR DARI STASIUN KOMPRESSOR GAS KE KALTIM-2. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas Akhir ini membahas mengenai perlindungan korosi terhadap pipa bawah tanah PT. Pupuk Kalimantan Timur dengan menggunakan anoda korban. Anoda korban mengalami kerusakan sehingga perlu dilakukan pemeriksaan ulang sehingga nantinya anoda korban akan diganti ataupun tidak.

Penulis sangat mengharapkan agar laporan ini dapat bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan, bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya. Penulis sangat mengharapkan adanya saran atau masukan untuk perbaikan atau penyusunan dalam pengembangan laporan ini di masa mendatang.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, 11 Agustus 2014

Asmauddin Putra

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, segala puji syukur selalu dipanjatkan kehadirat Allah SWT. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. Berkat ridho dan pertolongan Allah SWT serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bimbingan, bantuan dan dukungan maupun doa, kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis hingga tugas akhir ini selesai.
2. PKBL PKT yang telah memberikan beasiswa hingga tugas akhir ini selesai.
3. Ir. Imam Rochani, M.Sc. selaku dosen pembimbing pertama dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Dr. Eng. Suntoyo, ST., M.Eng, Ph.D. dan Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan serta keluarga besar dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan. Terimakasih atas bimbingan selama masa perkuliahan.
6. PT. Pupuk Kalimantan Timur yang telah menerima penulis untuk melakukan kerja praktek dan sebagai penyedia data sampai proses pengerjaan tugas akhir ini selesai.
7. Rekan-rekan seperjuangan tugas akhir yang telah berbagi ilmu, informasi dan pengalaman.
8. Keluarga besar Leviathan (teman-teman Angkatan 2009), semoga kekeluargaan dan persaudaraan ini tetap terjalin

Serta semua pihak yang telah membantu penyelesaian tugas akhir ini namun tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu. Semoga semua bimbingan, arahan dan dukungan yang diberikan mendapat balasan dari Allah SWT.

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. PERUMUSAN MASALAH	2
1.3. TUJUAN	3
1.4. MANFAAT	3
1.5. BATASAN MASALAH	3
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.2 . DASAR TEORI	7
2.2.1. Teori Kimia.....	7
2.2.2. Teori Listrik	9
2.2.3. Teori Elektrokimia	10
2.2.4. Jenis-jenis Korosi.....	11
2.2.5. Korosi baja dalam tanah.....	16
2.2.6. Prinsip Proteksi Katodik	18
2.2.7. Proteksi Katodik Anoda Korban	19
2.2.8. Anoda Korban	23

2.2.9. Kebutuhan Anoda Berdasarkan Berat dan Arus	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1. METODE PENELITIAN.....	29
3.2. PROSEDUR PENELITIAN.....	31
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	33
4.1. ANALISA	33
4.1.1. Pemeriksaan terhadap proteksi katodik anoda korban	33
4.1.2. Hasil pemeriksaan.....	35
4.1.3. Denah pipa Kaltim-2	36
4.1.4. Data linkungan.....	39
4.1.4.1. Urea dan Ammonia	39
4.1.4.1. Tanah.....	40
4.2. PEMBAHASAN	40
4.2.1. Data pipa gas bawah tanah Kaltim-2.....	39
4.2.2. Perhitungan Proteksi Katodik.....	42
4.2.3. Pembahasan perbandingan hasil perhitungan pipa gas natural (perusahaan) dengan semua pipa yang dilindungi (perhitungan manual)	44
4.2.4. Backfill	53
4.2.5. Data anoda magnesium dan aluminium pengganti.....	54
4.2.6. Perhitungan keluaran arus pada anoda baru	56
BAB V PENUTUP.....	69
5.1. KESIMPULAN	69
5.2. SARAN	69
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Hubungan resistivitas dengan korosifitas tanah.....	17
Tabel 2.2. Deret Galvanik	22
Tabel 2.3. Potensial Perlindungan Struktur Pipa	22
Tabel 4.1. Hasil pemeriksaan bulan Januari 2012.....	36
Tabel 4.2. Hasil pemeriksaan bulan Januari 2013.....	36
Tabel 4.3. Hasil pemeriksaan bulan Agustus 2013	36
Tabel 4.4. Data Teknis Proteksi Katodik Pipa Bawah Tanah Kaltim 2.....	41
Tabel 4.5. Perbandingan hasil perhitungan menggunakan pipa gas natural dengan semua pipa yang dilindungi	44
Tabel 4.6. Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan luas pipa yang diproteksi.....	45
Tabel 4.7. Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan keperluan arus proteksi	46
Tabel 4.8. Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan total berat anoda	47
Tabel 4.9. Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan total anoda.....	48
Tabel 4.10. Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan jarak pemasangan antar anoda	48
Tabel 4.11. Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan keperluan arus proteksi untuk jarak S.....	49
Tabel 4.12. Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan anoda dipasang horizontal.....	50
Tabel 4.14. Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan keperluan arus proteksi untuk jarak S.....	52
Tabel 4.15. Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan kekuatan arus anoda	53
Tabel 4.16. Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan keterangan	53
Tabel 4.17. Data <i>backfill</i> untuk anoda Al dan Zn	54
Tabel 4.18. Data anoda magnesium	56
Tabel 4.19. Data anoda aluminium	56

Tabel 4.20. Hasil perhitungan total luas pipa.....	57
Tabel 4.21. Hasil perhitungan arus proteksi.....	58
Tabel 4.22. Hasil perhitungan total berat anoda	59
Tabel 4.23. Hasil perhitungan jumlah anoda	60
Tabel 4.24. Hasil perhitungan jarak pemasangan antar anoda.....	61
Tabel 4.25. Hasil perhitungan keperluan arus proteksi antar jarak anoda ...	62
Tabel 4.26. Hasil perhitungan resistansi anoda yang dipasang horizontal ..	63
Tabel 4.27. Hasil perhitungan kuat arus anoda yang dihasilkan.....	64
Tabel 4.28. Hasil perbandingan arus yang dibutuhkan untuk jarak S dengan arus anoda yang dikeluarkan	65
Tabel 4.29. Hasil perhitungan umur anoda	66
Tabel 4.30. Harga anoda tiap kg	67
Tabel 4.31. Total harga anoda.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan korosi.....	7
Gambar 2.2. Rangkaian sel baterai	9
Gambar 2.3. Rangkaian sel korosi	10
Gambar 2.4. Korosi homogen pada badan kapal	12
Gambar 2.5. Korosi celah pada baut	13
Gambar 2.6. Contoh pitting corrosion.....	13
Gambar 2.7. Contoh korosi intergranular	14
Gambar 2.7. Contoh korosi Selective Leaching	14
Gambar 2.9. Korosi erosi pada pipa.....	15
Gambar 2.10. Stress corrosion cracking pada pipa	15
Gambar 2.11. Sistem proteksi katodik arus paksa	20
Gambar 2.12. Sistem proteksi katodik anoda korban	21
Gambar 2.13. Proteksi katodik sistem anoda tumbal	21
Gambar 4.1. Alat mengukur anoda Cu/CuSO ₄ Reference	33
Gambar 4.2. Alat mengukur anoda pada Test Point Voltmeter	34
Gambar 4.3. Test Station.....	34
Gambar 4.4. Alat pengukur resistansi tanah	35
Gambar 4.5. Pengukuran test station dengan menggunakan voltmeter	35
Gambar 4.6. Denah pipa Kaltim-2	37
Gambar 4.7. Denah pipa pada test point 6	38
Gambar 4.8. Denah pipa pada test point 7	38
Gambar 4.9. Denah pipa pada test point 9	39
Gambar 4.10. Anoda Aluminium.....	55
Gambar 4.11. Anoda magnesium.....	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Sistem pipa transmisi (pipeline) adalah satu-satunya sarana transportasi gas bumi yang aman dan ekonomis. Jaringan pipa yang tertanam dalam tanah tentunya menimbulkan masalah-masalah baru terhadap pemakaian logam itu sendiri, terutama masalah korosi. Pada dasarnya korosi tidak dicegah, hanya dapat dikendalikan prosesnya agar berjalan tidak terlalu cepat (Suharyadi, 2011). Menurut Iswahyudi (2008), perbedaan potensial pada pipa mengakibatkan terjadinya aliran listrik melalui elektrolit merupakan faktor yang menyebabkan terjadinya korosi pada jaringan pipa. Pada jaringan pipa bawah tanah, munculnya perbedaan potensial pada pipa dapat disebabkan oleh beberapa variasi kondisi pada pipa antara lain, yaitu:

1. Sel korosi akibat media tidak homogen.
2. Sel korosi akibat perbedaan jenis logam.
3. Sel korosi akibat perbedaan kandungan oksigen
4. Sel korosi akibat pipa lama dan pipa baru.
5. Sel korosi akibat permukaan pipa dilindungi oleh beton.

PT. Pupuk Kalimantan Timur (PKT) merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang didirikan dengan tujuan utama untuk melaksanakan serta mendukung kebijakan pemerintah dalam pengembangan industri dan ekonomi nasional khususnya sektor industri pupuk dan industri kimia. Perusahaan berlokasi di wilayah pantai kota Bontang sekitar 121 Km sebelah utara Samarinda, ibu kota provinsi Kalimantan Timur, Indonesia. Secara geografis terletak pada areal seluas 493 Ha. PT. Pupuk Kaltim memiliki 5 (Lima) pabrik, yaitu Kaltim 1, Kaltim 2, Kaltim 3, POPKA, Kaltim 4, menjadi bukti pesatnya perkembangan Pupuk Kaltim.

Kemajuan dalam bidang teknologi membuat PT. Pupuk Kalimantan Timur melakukan segala operasi dengan mesin. Pemanfaatan dalam pesatnya kemajuan teknologi adalah penggunaan pipa bawah tanah dalam mengalirkan *natural* gas dan air. Perlindungan pipa terhadap korosi yang digunakan PKT adalah *coating* dan

proteksi katodik. Proteksi katodik yang digunakan adalah anoda korban dan arus paksa. Monitoring yang dilakukan secara berkala setiap bulannya oleh Departemen Inspeksi Teknik PT. Pupuk Kalimantan Timur pada pipa bawah tanah Kaltim-2 ditemukan anoda korban yang digunakan untuk melindungi pipa tidak berfungsi maksimal. Pipa yang kurang terproteksi maupun *overprotect* pada pipa menyebabkan pipa terkorosi.

Proteksi katodik merupakan salah satu metode pengendalian laju korosi secara termodinamika dengan cara memperlakukan struktur logam sebagai katoda. Metode ini dilakukan dengan jalan mengalirkan arus listrik searah melalui elektrolit ke logam sehingga potensial antar muka logam-logam elektrolit turun menuju daerah immunnnya atau sampai nilai tertentu sehingga laju korosi logam diperbolehkan (Utami, 2009). Peraturan yang mengatur tentang perancangan pelindungi korosi pada struktur dan pipa yang dikeluarkan oleh institusi maupun perkumpulan yang bergerak pada bidang tersebut telah banyak digunakan pada umumnya, aturan yang biasanya digunakan berdasarkan *professional standard* pada pemasangan proteksi katodik antara lain, yaitu :

1. DNV RP-B401 (*Cathodic Protection Design*).
2. NACE RP-0176 (*Corrosion Control of Steel Fixed Offshore Platforms Associated with Petroleum Production*).
3. NACE RP-0169 (*Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping System*).
4. NACE RP-0286 (*The Electrical Isolation of Cathodically Protected Pipelines*).
5. BS 7361 - Part 1 (*Cathodic Protection- Part 1 : Code of Practice for Land and Marine Applications*).

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Pada tugas akhir ini akan membahas tentang permasalahan antara lain sebagai berikut :

1. Berapa besarnya keperluan arus proteksi untuk pipa bawah tanah Kaltim-2 ?
2. Berapa besarnya kapasitas arus keluaran anoda di Kaltim-2 ?

3. Apakah dilakukan pergantian anoda korban berdasarkan DNV RP B401 dan NACE RP 0169-2002 ?

1.3. TUJUAN

Berdasarkan perumusan masalah, maka dapat ditentukan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui besarnya keperluan arus proteksi untuk pipa bawah tanah Kaltim-2.
2. Untuk mengetahui besarnya kapasitas arus keluaran anoda di Kaltim-2.
3. Untuk mengetahui perlunya dilakukan pergantian anoda korban berdasarkan DNV RP B401 dan NACE RP 0169-2002.

1.4. MANFAAT

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk pengetahuan kepada pembaca dan penulis tentang bahayanya korosi dan cara mengatasi korosi dengan proteksi katodik anoda korban berdasarkan DNV RP B401 dan NACE RP 0169-2002. Analisa yang telah dilakukan diharapkan dapat menjadikan suatu acuan dalam mendesain proteksi katodik anoda korban.

1.5. BATASAN MASALAH

Pembatasan masalah yang digunakan agar menghindari pembahasan yang melebar dan mempermudah perhitungan sehingga digunakan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Studi kasus yang digunakan adalah pipa bawah tanah PT. Pupuk Kalimantan Timur Kaltim-2.
2. Kode yang digunakan adalah DNV RP B401 dan NACE RP 0169-2002.
3. Data yang digunakan dalam perhitungan adalah data yang didapat dari PT. Pupuk Kalimantan Timur.
4. Kondisi anoda berdasarkan hasil monitoring bulanan yang dilakukan Departemen Inspeksi Teknik PT. Pupuk Kalimantan Timur.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Berikut ini adalah sistematika penulisan dari tugas akhir ini:

1. Pendahuluan

Bab ini berisikan tentang latar belakang dilakukannya penelitian, masalah yang akan diteliti, tujuan yang menjawab masalah yang ada, manfaat yang diperoleh, serta batasan masalah yang digunakan dalam penelitian agar pembahasan penelitian ini tidak melebar.

2. Tinjauan pustaka dan dasar teori

Bab ini berisikan tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir. Dalam menyelesaikan masalah tugas akhir ini, penulis berpedoman pada jurnal lokal ataupun internasional, literatur dan buku yang berkaitan dengan topik yang dibahas dalam tugas akhir ini.

3. Metodologi penelitian

Bab ini berisikan tentang langkah-langkah dalam melakukan penelitian ini. Diharapkan dengan adanya metodologi penelitian, pengerjaan tugas akhir ini akan lebih terstruktur dan sesuai dengan *schedule* yang telah dibuat.

4. Analisa dan pembahasan

Bab ini berisikan tentang pengolahan data yang diperoleh, kemudian pemodelan struktur yang akan diteliti dengan *software* yang sesuai. Selanjutnya, dalam bab ini juga dilakukan pembahasan dan pengolahan *output* yang diperoleh dari *running software*.

5. Kesimpulan

Bab ini berisikan uraian singkat tentang hasil yang diperoleh selama melakukan penelitian. Uraian singkat ini diharapkan bisa menjawab rumusan masalah yang ada pada Bab I. Pada bab ini juga berisikan saran yang dimaksudkan agar ada perbaikan ketika terjadi penelitian yang sejenis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. TINJAUAN PUSTAKA

Pipeline diartikan sebagai bentangan pipa fluida dengan jarak yang sangat panjang. Barang yang sering ditransportasikan adalah air, gas alam, minyak mentah, dan produk hasil pengolahan minyak bumi lainnya (Liu, 2003). *Pipeline* digunakan dalam berbagai macam tujuan salah satu diantaranya adalah sebagai *trunk line* yakni mengangkut minyak dan gas dari fasilitas produksi menuju daratan (Mousselli, 1981). *Pipeline* digunakan untuk beberapa tujuan dalam pengembangan sumber daya, antara lain adalah sebagai ekspor transportasi pipa, arah aliran untuk mentransfer produk dari sebuah platform untuk jalur ekspor, injeksi air atau bahan kimia, dan untuk mentransfer produk antar platform, *subsea manifold*, dan sumur minyak (Bai, 2001).

Proteksi katodik digunakan sebelum disiplin elektrokimia dikembangkan. Pada tahun 1824 Sir Humphary Davy memasang seng pada tembaga pada lambung kapal angkatan laut Inggris dan hal tersebut terbukti dapat mengurangi korosi. Kemudian dilakukan pemasangan dengan menggunakan empat *group cast iron* pada kapal perang yang terbuat dari tembaga. Hal tersebut dapat mengurangi korosi yang terjadi tetapi tembaga yang diproteksi merupakan subjek untuk terjadinya pencemaran kehidupan laut. Karena bagian yang tidak terproteksi menghasilkan ion tembaga yang merupakan racun sehingga mencemari lingkungan laut sekitarnya. Sehingga proteksi tersebut tidak digunakan, kemudian pada penelitian selanjutnya adalah penggunaan seng pada badan kapal terbuat dari baja. Hal ini juga dapat mengantisipasi aksi galvanis pada *propeller* (Schweitzer, 1989). Proteksi katodik adalah teknik yang digunakan untuk mengendalikan korosi dari permukaan logam dengan menjadikan permukaan logam tersebut sebagai katoda dari sel elektrokimia. Proteksi katodik ini merupakan metode yang umum digunakan untuk melindungi struktur logam dari korosi. Sistem proteksi katodik ini biasanya digunakan untuk melindungi baja, jalur pipa, tangki, tiang pancang, kapal, anjungan lepas pantai, dan *casing* sumur minyak di darat. Efek samping dari

penggunaan yang tidak tepat adalah timbulnya molekul hydrogen yang dapat terserap ke dalam logam sehingga menyebarkan *hydrogen embrittlement*. Proteksi katodik adalah cara yang efektif dalam mencegah *stress corrosion cracking* (Wikipedia : proteksi katodik).

Korosi adalah kerusakan suatu material, biasanya berupa logam yang disebabkan oleh reaksi dengan lingkungannya (NACE, 2002). Kerusakan pada logam oleh reaksi oksidasi yang terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung sebagai hasil dari aktivitas organisme hidup. Penurunan mutu suatu material (logam) akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Trethewey, 1991). Korosi dikategorikan sebagai bahaya nasional karena tingkat kerugiannya lebih besar dari segala bencana alam yang pernah dialami. Korosi diartikan sebagai kerusakan atau keausan dari material akibat terjadinya reaksi dengan lingkungan yang didukung oleh faktor-faktor tertentu (Supomo, 1995). Faktor-faktor yang menentukan terjadinya korosi adalah kondisi lingkungan, bahan material konstruksi, bentuk konstruksi atau susunan (bangunan dan pipa), dan fungsi konstruksi (bangunan dan pipa).

Kriteria proteksi katodik berdasarkan NACE (*National Association of Corrosion Engineers*) Standard RP 0169-2002 *Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems* adalah :

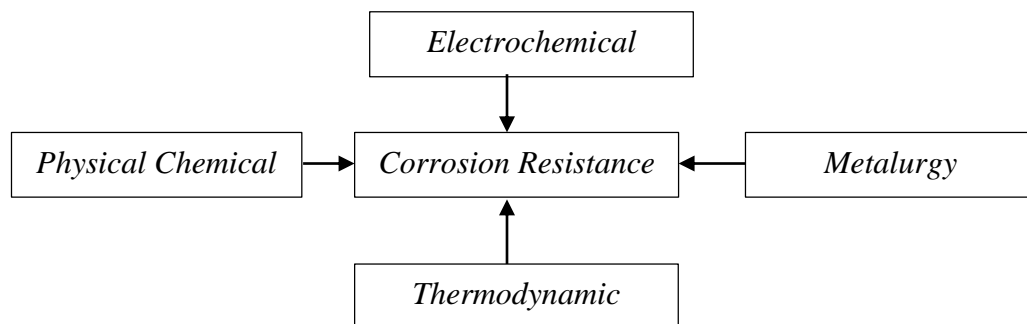
Hal pertama yang terlebih dahulu dilakukan adalah ditentukan level proteksi dari sistem proteksi katodik yang akan diaplikasikan. Arus proteksi yang berlebihan (*over-protection*) menghasilkan anoda yang cepat habis termakan oleh korosi dan kerusakan pada lapisan *coating* serta memungkinkan terjadinya pelepasan lapisan *coating*. Sedangkan arus proteksi yang kurang memadai akan menyebabkan level proteksi yang rendah sehingga menimbulkan korosi pada struktur. Lebih jauh struktur yang terkorosi tidak lagi memiliki potensial korosi dan level proteksi yang seragam pada area permukaannya. Kriteria proteksi katodik untuk aplikasi struktur baja (pipa) yang terpendam, adalah :

- a. Potensial terpolarisasi minimum -800 mV, yang diukur antara permukaan struktur terhadap elektroda referen Ag/AgCl dihubungkan dengan elektrolit.

Nilai terpolarisasi tersebut dihasilkan dari beda potensial antara elektroda referen dengan struktur yang diukur potensialnya.

- b. Potensial struktur senilai -850 mV dengan elektroda standar saturated Cu/CuSO₄ (pada kondisi aerobik).
- c. Potensial struktur senilai -950 mV dengan elektroda saturated Cu/CuSO₄ (pada kondisi anaerobik dimana korosi akibat pengaruh mikroba dapat muncul).
- d. Perubahan potensial negatif sebesar 300 mV ketika arus diaplikasikan.
- e. Perubahan potensial positif sebesar 100 mV ketika arus diputus.

Proteksi katodik dilakukan dengan membanjiri arus lingkungan sehingga dapat menekan arus yang keluar dari pipa (pada daerah anodik) akibat potensial antarmuka keseluruhan pipa dengan tanah. Potensial antarmuka telah mengalami penurunan mendekati atau telah berada pada daerah imun (seluruh permukaan pipa telah bersifat katodik). Pipa yang tidak terproteksi akan mempunyai daerah yang bersifat katodik dan anodik. Daerah anodik (daerah pada pipa yang terkorosi) adalah daerah yang terdapat arus keluaran dari pipa menuju tanah.



Gambar 2.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan korosi (Supomo, 1995).

2.2. DASAR TEORI

2.2.1. Teori Kimia

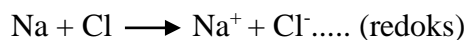
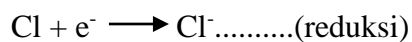
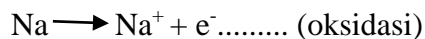
Korosi adalah interdisiplin subyek, dengan kata lain korosi merupakan kombinasi dari unsur ilmu fisika, kimia, metalurgi, elektronik, dan rekayasa (Supomo, 1995). Reaksi korosi dengan material yang terkorosi diakibatkan reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Pengaruh lingkungan memiliki pengaruh yang

besar terhadap proses korosi yang terjadi. Contoh reaksi korosi dapat dilihat dalam persamaan berikut :



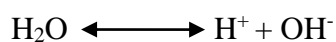
Persamaan diatas penurunan suatu mutu material maka proses korosi dapat disebut sebagai suatu proses yang tidak dikehendaki, dimana penurunan mutu material logam tidak hanya melibatkan reaksi kimia namun juga reaksi elektrokimia yang memungkinkan terjadinya perpindahan elektron. Elektron adalah ion yang bermuatan negatif, dimana proses perpindahannya menimbulkan arus listrik.

Berdasarkan pada teori kimia, korosi terjadi akibat adanya reaksi oksidasi dan reduksi anatar material dengan lingkungannya. Reaksi oksidasi dapat diartikan sebagai reaksi yang menghasilkan elektron atau melepaskan elektron. Sedangkan reaksi reduksi adalah reaksi antara dua unsur yang menggunakan atau mengikat elektron. Contoh reaksi reduksi dan oksidasi sebagai berikut :



Salah satu hasil reaksi diatas akan bereaksi dengan logam lainnya. Hasil reaksi dari logam yang lainnya akan bereaksi lagi dengan logam dan mengakibatkan pengikisan atau pengurangan unsur logam tersebut. Proses ini disebut korosi dan penyebab pertama kalinya adalah logam berubah menjadi ion logam.

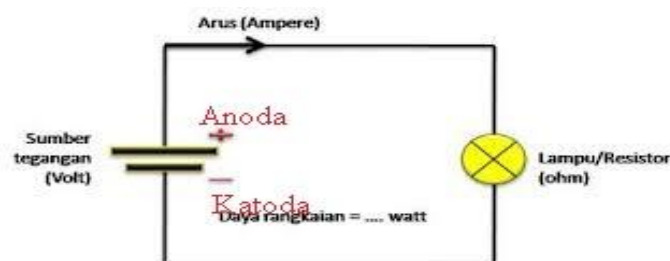
Media utama dari korosi adalah air dengan segala komposisi kimianya. Air adalah molekul netral dimana 2 atom hidrogen mengikat 1 atom oksigen dan bersifat reversibel. Reversibel adalah ketika kedua jenis atom yang terkandung didalam molekul air suatu saat dapat berubah kembali menjadi atom semula. Atom yang lepas dari air dapat menjadi sumber penyebab korosi.



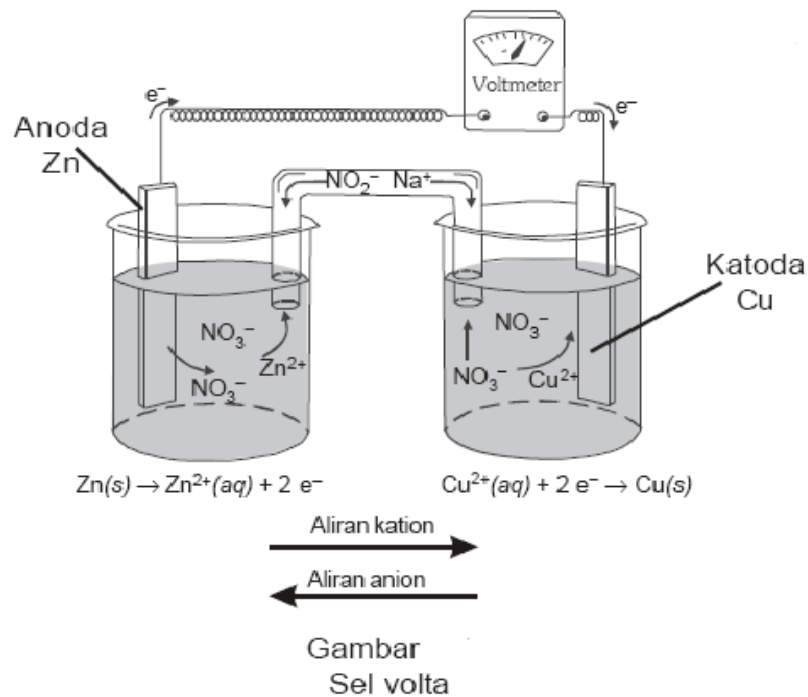
Unsur air dalam dasar teori kimia yang menjadi salah satu indikasi karakteristiknya yang berkaitan dengan korosi adalah pH. pH adalah faktor yang sangat menentukan kecepatan korosi baik terhadap logam ataupun umur pemakaian suatu sistem proteksi korosi. Pada dasar teori kimia, pH disebut juga sebagai derajat keasamaan. Tingginya suatu konsentrasi ion hidroksi (H^+) berarti semakin asam. Tingkat keasamaan dapat dilihat dari hasil pengukuran jika pH air didapatkan hasil 1-7 maka dapat dikatakan asam. Tetapi jika pH air berkisar antara 7-14 maka air bersifat basa. Ketika air bersifat asam maka akan menambah kecepatan laju korosi sedangkan basa meningkatkan ion OH^- . Ion OH^- tidak mengkhawatirkan terhadap korosi karena bersifat anodik atau tidak membutuhkan elektron. Ion yang berbahaya adalah ion yang membutuhkan elektron untuk menjadi stabil sehingga cenderung mencari elektron akan semakin tinggi. Kebutuhan ion ini akan menyebabkan logam terionisasi atau terdegradasi sehingga logam mengalami korosi.

2.2.2. Teori Listrik

Setiap benda memiliki muatan listrik statis yang besarnya bervariasi satu sama lain. Dua benda yang berbeda kemudian dihubungkan secara elektrik maka akan terjadi aliran bermuatan listrik dan aliran elektron. Hubungan dapat terjadi secara elektrik ketika kedua tersebut dicelupkan kedalam larutan elektrolit dan dihubungkan dengan sebuah konduktor. Perlu diketahui pada dasarnya terdapat sebuah perbedaan dalam sistem baterai umum dengan sistem sel korosi. Pada sistem baterai umum kutub positif adalah anoda sedangkan kutub negatif adalah katoda. Sistem sel korosi pada kutub sel positif adalah katoda sedangkan kutub sel negatif adalah anoda.



Gambar 2.2 Rangkain sel baterai (Maulana, 2009)



Gambar 2.3 Rangkaian sel korosi (Andriani, 2011)

2.2.3. Teori Elektrokimia

Korosi elektrokimia dapat terjadi hanya jika keempat komponen tersebut terpenuhi, yaitu (Iswahyudi, 2008) :

1. Anoda

Merupakan bagian logam yang berfungsi sebagai elektroda, dimana terjadi reaksi anodik. Reaksi anodik adalah reaksi yang menghasilkan elektron.



2. Katoda

Merupakan elektroda yang mengalami reaksi katodik yang mengkonsumsi elektron.

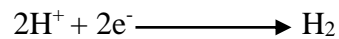
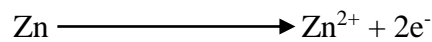
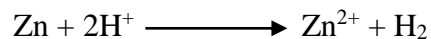
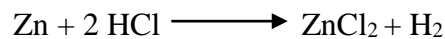
3. Penghantar listrik

Anoda dan katoda harus terdapat sebuah kontak listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir.

4. Elektrolit

Merupakan suatu media yang bersifat menghantarkan arus listrik seperti air dan tanah.

Hubungan setiap komponen tersebut dapat diketahui secara lebih rinci berdasarkan contoh reaksi dibawah ini :



Reaksi diatas menjelaskan bahwa logam akan mengalami pelepasan elektron karena media korosif sehingga dihasilkan ion logam. Besarnya elektron yang dilepaskan akan sangat tergantung terhadap valensi logam dan secara langsung akan berpengaruh terhadap kecepatan korosi. Pada dasarnya semua reaksi yang terjadi adalah sama yaitu memerlukan dan melepaskan elektron (Supomo, 1995).

2.2.4. Jenis-jenis Korosi

Fungsi utama dari sebuah proteksi katodik adalah untuk melindungi struktur maupun bangunan dari serangan korosi. Banyaknya jenis-jenis korosi dari yang mudah dideteksi hingga yang sulit untuk dideteksi. Perlunya pengetahuan terhadap korosi menjadi penting. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini akan dijelaskan secara singkat tentang jenis-jenis korosi sehingga akan lebih mempermudah nantinya dalam mengatasi korosi. Jenis-jenis korosi antara lain, yaitu :

1. Korosi Homogen

Korosi homogen adalah jenis korosi yang mudah untuk dideteksi. Korosi ini umumnya dapat ditemukan pada konstruksi-konstruksi logam. Korosi homogen biasanya dikategorikan menurut reaksi elektrokimia. Logam yang terkena korosi homogen biasanya terdapat karat pada seluruh bagian material yang terbuka. Contoh korosi homogen yaitu atap seng rumah, badan kapal, pilar-pilar pelabuhan, dan sebagainya. Korosi homogen adalah jenis korosi yang paling

merugikan tetapi korosi homogen mudah untuk dideteksi, sehingga korosi ini tidak memiliki ancaman yang tinggi.



Gambar 2.4 Korosi homogen pada badan kapal (Rahayu, 2010)

2. Korosi galvanik

Korosi galvanik adalah jenis korosi yang terjadi ketika dua buah logam atau paduan yang berbeda, saling kontak atau bersentuhan dalam suatu larutan elektrolit. Larutan elektrolit dapat berupa larutan air laut, air garam, asam, atau basa. Pada korosi galvanik logam yang mempunyai tahanan korosi lebih rendah akan terurari dan tahananannya korosi lebih tinggi akan mengalami penurunan daya korosinya. Logam yang mempunyai tahanan korosi kecil disebut anodik dan logam yang tahanan korosinya lebih tinggi disebut katodik (Supomo, 1995). Perbedaan potensial elektroda antara kedua logam yang membentuk sel galvanik merupakan penentu daya dorong untuk terjadinya korosi.

3. Korosi celah

Korosi celah adalah korosi yang biasanya terjadi pada celah dan permukaan tertutup lainnya suatu logam yang terletak pada media yang bersifat korosi. Tanda-tanda korosi celah pada logam yaitu selalu dalam skala kecil dari larutan yang terperangkap lewat lubang, lap joint, kotoran permukaan logam, baut, dsb. Korosi celah termasuk korosi yang susah untuk dideteksi. Korosi celah biasanya disebut juga *deposi corrosion* atau *gasket corrosion*.



Gambar 2.5 Korosi celah pada baut (Rukawa, 2010)

4. Pitting corrosion

Pitting corrosion adalah korosi yang terpusat pada satu titik dengan kedalaman tertentu. Biasanya pitting corrosion ini kecil dan kadang-kadang tertutup oleh kotoran sehingga seperti permukaan yang kasar saja. Pitting corrosion merupakan korosi yang susah untuk dideteksi sehingga sangat merugikan. Pitting corrosion biasanya terbentuk sangat lambat dan bentuk mengikuti gaya gravitasi. Pitting corrosion adalah korosi yang secara alami merupakan reaksi auto-katalitic.

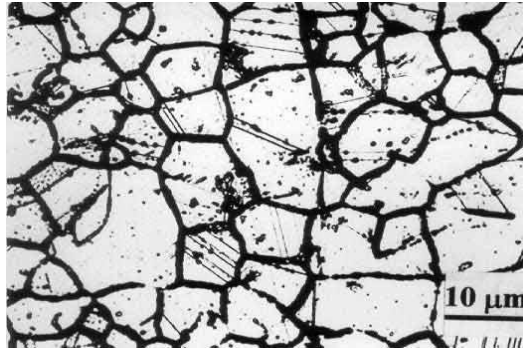


Gambar 2.6 Contoh pitting corrosion (Ginzel, 2002)

5. Korosi intergranular

Korosi intergranular terjadi pada daerah tertentu dengan penyebab *grain boundary*. Hal ini disebabkan adanya kekosongan unsur atau elemen pada kristal ataupun impurities dari proses casting. Korosi intergranular biasanya

terjadi pada las-lasan. Korosi intergranular merupakan korosi yang susah untuk dideteksi.



Gambar 2.7 Contoh korosi intergranular (Aya, 2011)

6. Selective Leaching

Selective leaching adalah korosi yang terjadi pada paduan logam karena pelarutan salah satu unsur paduan yang lebih aktif, seperti biasa yang terjadi pada paduan tembaga dan seng. Mekanisme terjadinya korosi selective leaching diawali dengan terjadi pelarutan total terhadap semua unsur. Salah satu unsur pemuatan yang potensialnya lebih tinggi akan terdeposisi, sedangkan unsur potensial lebih rendah akan larut ke elektrolit. Akibatnya terjadi korosi pada logam paduan tersebut. Contoh lain selective leaching terjadi pada besi tuang yang digunakan sebagai pipa pembakaran dan lunturnya salah satu unsur dari cobalt, chrom , dan aluminium dalam suasana alloy dengan Fe.



Gambar 2.8 Contoh korosi Selective Leaching (Rukawa, 2010)

7. Korosi erosi

Korosi erosi adalah percepatan atau penambahan keburukan sifat material karena gerakan relatif antara fluida korosif dan permukaan metal (Supomo, 1995). Korosi erosi merusak pelindung permukaan dari metal dan campurannya. Beberapa media korosif yang menyebabkan erosi korosi meliputi gas, larutan cair, sistem organik, dan metal cair. Contoh lain korosi erosi adalah sistem pipa, pompa, propeler, dan lain-lain.



Gambar 2.9 Korosi erosi pada pipa (Furqan, 2013)

8. Stress Corrosion cracking

Stress corrosion cracking (SCC) adalah keretakan akibat adanya tegangan tarik dan media korosif secara bersamaan. Stress corrosion cracking dapat dibedakan dengan *hydrogen-embrittlement* dari perbedaan kondisi lingkungan (*Environmental Variable*). Pada stress corrosion cracking mempunyai penampilan *brittle fracture* sebagai akibat dari proses korosi lokal. Ada dua jenis SCC yaitu intergranular dan transgranular. Pengaruh suhu dan kondisi fisik lingkungan sangat mempengaruhi stress corrosion cracking.



Gambar 2.10 Stress corrosion cracking pada pipa (Wisdatika, 2012)

2.2.5. Korosi baja dalam tanah

Mekanisme korosi baja dalam tanah adalah sama seperti kondisi basah yaitu elektrokimia. Reaksi korosi terjadi karena adanya daerah-daerah anodik dan katodik di permukaan logam yang membentuk korosi. Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi baja dalam tanah memiliki sifat fisik dan kimia dari tanah. Beberapa faktor yang mempengaruhi antara lain (Suharyadi,2011) :

1. Air

Air dalam larutan dapat bertindak sebagai elektrolit yang dibutuhkan dalam reaksi elektrokimia korosi dan dibedakan antaranya air yang mengalir dalam tanah *saturated* atau *unsaturated*. Air mengalir dari daerah tanah basah ke tanah yang kering. *Saturated water* mengalir berdasarkan ukuran dan distribusi pori, tekstur, struktur, dan organik. Aliran air dalam tanah dapat terjadi karena pengaruh antara lain gravitasi, kapilaritas, tekanan osmosis, interaksi elektrostatik antara air dan partikel tanah. Kapasitas kandungan air dalam tanah didasarkan pada struktur tanah. Pasir kasar memiliki kandungan air yang sangat kecil, sedangkan tanah liat memiliki kandungan air yang sangat besar.

2. Kandungan oksigen

Konsentrasi oksigen akan semakin menurun terhadap kedalaman tanah. Pada tanah netral, konsentrasi oksigen sangat berpengaruh terhadap laju korosi sehubungan dengan peranannya dalam reaksi katodik. Oksigen berperan dalam reaksi reduksi untuk menghasilkan ion-ion hidroksi. Ion-ion hidroksi akan berinteraksi dengan ion-ion logam sehingga semakin banyak pula ion-ion logam teroksidasi dalam proses korosi. Dengan adanya bakteri pereduksi sulfat, laju korosi dapat berlangsung lebih cepat walaupun dalam keadaan anaerobik. Transpor oksigen dapat berlangsung lebih cepat dalam tanah dengan tekstur kasar, tanah kering, dan tekstur *waterlogged*. Penggalan dapat menaikkan kandungan udara dalam tanah dibandingkan dengan tanah tanpa gangguan. Laju korosi dalam tanah yang digali mempunyai kandungan oksigen tinggi sehingga korosi dapat terjadi lebih cepat daripada tanah tanpa gangguan.

3. Resistivitas tanah

Resistivitas (tahanan) jenis tanah dapat digunakan sebagai indikator korosi dalam tanah. Aliran ionik dianggap sebagai reaksi korosi tanah, resistivitas tanah yang tinggi dapat menurunkan reaksi korosi. Pada umumnya tahanan jenis tanah sebagai satu-satunya parameter yang berpengaruh pada resiko bahaya korosi. Tingginya tahanan jenis tanah sendiri tidak menjamin adanya korosi yang serius. Jenis tanah yang berbeda memiliki tahanan jenis tanah yang berbeda juga. Variasi tahanan jenis tanah sepanjang pipa sangat tidak diinginkan, karena dapat menyebabkan terbentuknya korosi sel makro. Tahanan jenis tanah dapat diukur dengan menggunakan *Weneer four-pin* atau disebut sebagai pengukur elektromagnetik. Alat yang dapat mengukur tahanan jenis tanah adalah soil box metod. Variasi tahanan jenis tanah pada elektrolit antara anoda dan katoda memiliki pengaruh yang besar dalam distribusi arus. Daerah dengan tahanan jenis tanah rendah akan "menarik " arus yang lebih tinggi, arus akan mengalir menuju ke resistansi yang lebih rendah. Pengukuran tahanan jenis tanah tidak hanya untuk menghitung resistivitasnya dan ukuran tetapi juga mengindikasikan korositivitas tanah. Pada kasus pipa bawah tanah, tahanan jenis tanah dapat menunjukkan bagian yang terkorosi. Daerah yang memiliki tahanan jenis rendah biasanya bersifat anodik dibandingkan dengan daerah yang tahanan jenis tanahnya tinggi.

Tabel 2.1 Hubungan resistivitas dengan korosifitas tanah

Resistivitas Tanah	Korosifitas tanah
< 500	Sangat korosif
501 – 1000	Korosif
1000 – 2000	Korosif sedang
2000 – 10000	Korosi ringan
> 10000	Tidak korosif

Sumber : Nace,2002

2.2.6. Prinsip Proteksi Katodik

Menurut DNV RP B401 (1993), perlindungan katodik mengimplikasikan bahwa perlindungan korosi dicapai dengan membuat pipa yang akan dilindungi katoda dalam sel elektrokimia. Korosi dari objek yang dilindungi sehingga dihilangkan atau dikurangi ke tingkat yang cukup rendah. Proses perlindungan katodik membutuhkan media elektrik konduktif (elektrolit) dan sumber arus. yang terakhir dapat berupa logam korosi yaitu anoda sacrificial, atau arus searah (DC) sumber eksternal. anoda korban kadang-kadang disebut anoda galvanik.

Proteksi katodik adalah pengendalian laju korosi yang dihasilkan oleh polarisasi katodik permukaan logam yang terkorosi. Derajat proteksi ditentukan oleh potensial logam terhadap elektrolit bukan oleh besarnya arus, hal ini dapat diartikan bahwa arus searah yang berasal dari anoda dipaksa menuju potensial antara anoda dan katoda. Proteksi katodik banyak digunakan untuk perlindungan korosi pada pipa minyak, lambung kapal, anjungan lepas pantai, pipa gas, dan pipa air di bawah tanah. Proteksi katodik dapat dicapai dengan mengalirkan arus listrik sehingga menahan arus listrik yang hendak mengalir dari daerah anoda (korosi). Arus proteksi dapat dihasilkan dari metal yang bersifat lebih elektronegatif seperti magnesium, zinc atau aluminium. Dengan mengubah potensial permukaan hingga mencapai -0.85 volt atau lebih negatif menggunakan sistem proteksi katodik, korosi akan terhindar secara efektif karena arus proteksi katodik menuju ke semua tempat pada permukaan metal dan dapat menahan semua arus listrik (arus korosi) yang akan keluar ke elektrolit (Iswahyudi, 2008).

Proteksi katodik tidak menghentikan korosi. Sistem ini memindahkan korosi dari struktur yang terlindungi dan memusatkan korosi pada lokasi lain yang diinginkan. Pada lokasi yang diinginkan, arus yang keluar dari struktur (*groundbed*) dapat didesain untuk masa penggunaan dalam waktu tertentu. Pemeriksaan terhadap proteksi katodik untuk mengetahui apakah masih dapat digunakan atau harus diganti pada akhir masa penggunaannya tanpa mengancam jaringan pipa yang sedang dilindungi (Peabody,2001).

Tujuan dari sistem perencanaan proteksi katodik menurut NACE *Standard RP 0169-2002 Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems*, yaitu:

1. Menyediakan arus yang memenuhi bagi struktur yang dilindungi dan mendistribusikan arus ini sehingga dapat memenuhi kriteria proteksi katodik,
2. Meminimalkan arus pengganggu (*interference current*) pada struktur bawah tanah yang saling berdekatan,
3. Umur desain sistem anoda yang sama dengan waktu yang diperlukan untuk melindungi struktur atau memberi kesempatan pada sistem anoda untuk diperbaiki secara rutin selama waktu beroperasi,
4. Menyediakan *allowance* untuk mengantisipasi perubahan arus yang diperlukan akibat waktu yang digunakan,
5. Pemasangan anoda pada lokasi yang berfungsi untuk meminimalkan terjadinya gangguan atau kerusakan,
6. Menyediakan fasilitas pemantauan yang memadai untuk menguji dan mengevaluasi kinerja sistem anoda.

2.2.7. Proteksi Katodik Sistem Anoda Korban

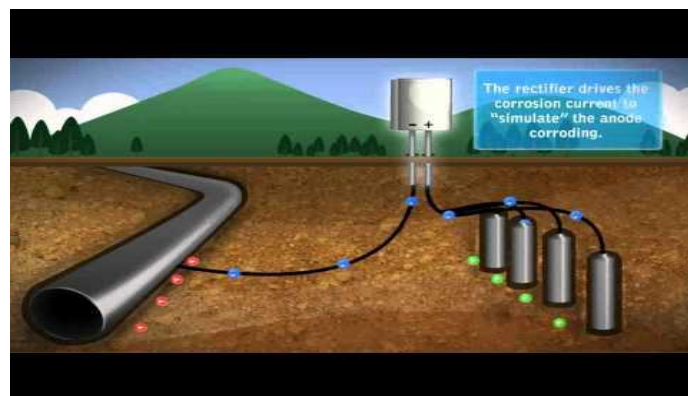
Proteksi katodik memiliki 2 sistem yang dapat digunakan yaitu anoda korban (*Sacrificial Anode Cathodic Protection SACP*) dan arus paksa (*Impressed Current Cathodic Protection ICCP*). Sistem arus paksa (*ICCP*) adalah metode yang dilakukan dengan menggunakan anoda yang dihubungkan sumber arus searah sehingga potensial struktur sama dengan atau lebih kecil dari kriteria potensial proteksi. Pada sistem proteksi katodik arus paksa, struktur logam dijadikan katoda dengan menghubungkannya dengan kutub negatif dari sumber listrik arus searah eksternal dan kutub positif pada anoda. Dengan demikian maka transfer elektron yang terjadi dari anoda ke katoda tidak terjadi secara spontan.

Sistem proteksi anoda korban (*SACP*) adalah prinsip yang digunakan pada anoda korban adalah perbedaan potensial logam pada deret galvanik. Penggunaan deret galvanik untuk memilih suatu bahan, kemudian dihubungkan dengan kontak metalik menjadi anoda. Struktur yang dilindungi biasanya adalah besi dan baja

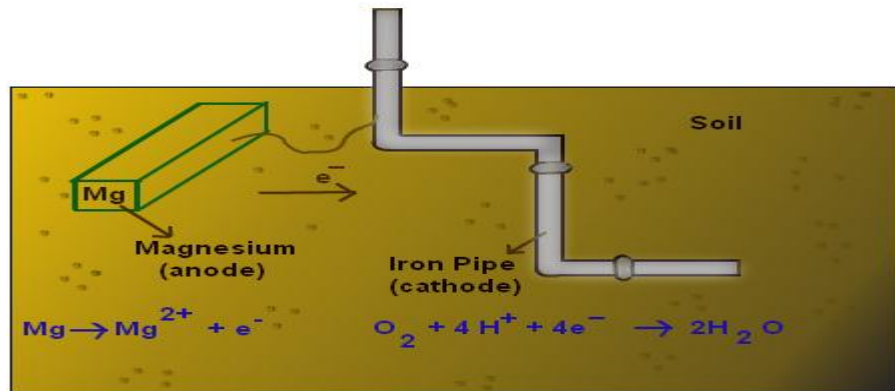
sehingga berdasarkan deret galvanik maka semua logam yang potensialnya lebih negatif dari besi atau baja dapat digunakan. Logam-logam yang sering digunakan sebagai anoda antara lain seng, aluminium, dan magnesium. Logam yang menjadi anoda korban akan habis dikonsumsi oleh reaksi anodik sehingga harus diganti dalam kurun waktu tertentu.

Prinsip dari anoda korban (*SACP*) adalah menggunakan *galvanic coupling* yaitu struktur yang dilindungi memiliki potensial yang lebih positif dibandingkan dengan struktur/anoda yang dikorbankan (dilihat dari *emf series* standar maupun praktis), sehingga korosi hanya dipindahkan dari struktur yang dilindungi ke struktur/anoda yang dikorbankan. Kelemahan dari (*SACP*) adalah:

- Jangkauan proteksi terbatas
- Tidak menyebabkan interferensi atau *stray current*
- Sesuai untuk struktur dengan kebutuhan arus proteksi total rendah dan untuk lingkungan padat struktur.
- Digunakan untuk menggantikan sistem ICCP bila sumber arus listrik tidak tersedia.
- Dapat digunakan untuk menambah kekurangan arus proteksi dalam suatu sistem ICCP

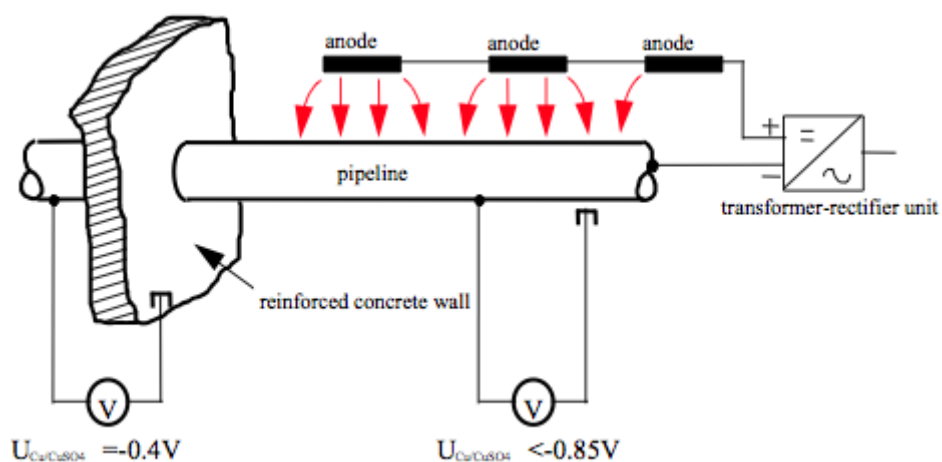


Gambar 2.11 Sistem proteksi katodik arus paksa (Frans, 2013)



Gambar 2.12 Sistem proteksi katodik anoda korban (Tutorvista, 2014)

Derajat proteksi dengan sistem anoda tumbal tergantung dari perbedaan potensial antara logam yang diproteksi (katoda) dan logam yang memproteksi (anoda). Prinsip perlindungan sistem anoda berdasarkan pemberian elektron dari anoda korban kepada logam yang diproteksi, dimana arus elektron ekuivalen dengan arus proteksi. Proteksi katodik dapat mencegah korosi dengan mengubah kondisi anodik pada struktur menjadi katodik dengan menyuplai aliran arus (elektron bebas). Elektron bebas dari anodik galvanik yang lebih mempunyai potensial lebih negatif dari struktur. Logam yang mempunyai potensial lebih negatif akan bersifat anodik sehingga lebih mudah terkorosi yang sesuai dengan deret galvanik (Iswahyudi, 2008).



Gambar 2.13 Proteksi katodik sistem anoda tumbal (Hardianto, 2010)

Tabel 2.2 Deret Galvanik

Half-reaction	V
$F_2 + 2e^- \longrightarrow 2F^-$	2.87
$Ag^{2+} + e^- \longrightarrow Ag^+$	1.99
$Cl_2 + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-$	1.36
$Mg^{2+} + 2e^- \longrightarrow Mg$	-2.37
$K^+ + e^- \longrightarrow K$	-2.92
$Li^+ + e^- \longrightarrow Li$	-3.05

Potensial proteksi katodik ditentukan oleh potensial struktur logam terhadap media elektrolit yang ada. Potensial proteksi katodik tidak ditentukan oleh besarnya arus. Kriteria proteksi katodik yang digunakan pada pipa baja adalah memiliki beda potensial -850 mV terhadap elektroda referens Cu/CuSO₄ dalam media elektrolit aerobik. Ketika beda potensial yang dihasilkan terlalu negatif, maka perlindungan tersebut malah akan merusak pipa. British Standard Institute (BSI) *Code of Practice for Cathodic Protection* memberikan nilai-nilai tegangan perlindungan logam terhadap elektrolit yang diukur terhadap bermacam-macam elektroda referen seperti terlihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.3 Potensial Perlindungan Struktur Pipa

Elektroda Referens	Lingkungan Aerobik	Lingkungan Anaerobik
Cu/CuSO ₄	-0.85	-0.95
Ag/AgCl air laut	-0.80	-0.90
Ag/AgCl KCl jenuh	-0.75	-0.85
Zn/ air laut	+0.25	+0.15

2.2.8. Anoda Korban

Anoda korban untuk sistem proteksi katodik dapat berbentuk lapisan di seluruh permukaan logam atau ditempel secara menyebar. Anoda yang ditempelkan secara menyebar akan menyebabkan distribusi arus yang tidak merata pada permukaan pipa yang dilindungi. Anoda yang dipasang secara menyebar biasanya anoda yang bersifat lebih anodik dari logam yang dilindungi. Logam yang bersifat anodik biasanya mudah terkorosi. Pada hal ini anoda yang dipasang sengaja untuk dikorbankan untuk korosi. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan anoda korban (Iswahyudi, 2008) :

1. Kapasitas, hal ini merupakan suatu besaran yang menyatakan banyaknya amper-jam yang dapat dipasok oleh setiap kilogram bahan.
2. Pengausan (*wastage*), hal ini menyatakan laju hilangnya logam baik dalam satuan volume maupun satuan massa.
3. *Throwing power*, hal ini menjelaskan tentang efak proteksi sehubungan dengan jarak anoda ke logam yang dilindungi. Jika jarak itu besar, maka sebagian potensial digunakan untuk mengatasi hambatan elektrolit.

Anoda yang biasanya digunakan untuk perlindungan proteksi katodik anoda korban yaitu Magnesium (Mg), Seng (Zn), dan Aluminium (Al). Anoda Magnesium digunakan untuk lingkungan tanah karena daya dorong listriknya paling tinggi dan keluaran arusnya besar. Anoda magnesium bisa digunakan untuk air tawar dan tangki air. Anoda magnesium tidak cocok untuk air laut sehingga penggunaannya sangat terbatas.

Anoda seng adalah anoda yang dapat diandalkan dan bisa digunakan pada kondisi dimana saja. Anoda seng dapat digunakan untuk lingkungan tanah dengan resistivitas rendah maupun lingkungan laut. Anoda seng mengalami penurunan penggunaannya pada struktur lepas pantai. Tetapi pipa dan struktur yang berada di daerah lumpur masih dapat digunakan. Anoda seng yang digunakan harus memiliki kemurnian tinggi. Kemurnian tinggi yang dimaksud adalah kandungan pengotor utama yang dapat mengganggu sifat anodiknya harus seminimal mungkin. Contohnya kandungan besi dalam anoda seng tidak boleh lebih dari 0.001%. Anoda aluminium ditemukan terakhir setelah anoda magnesium dan seng. Anoda

aluminium biasanya digunakan untuk struktur lepas pantai karena lebih ekonomis jika dibandingkan dengan anoda seng. Anoda korban biasanya ditambahkan *backfill* dengan tujuan untuk meningkatkan konduktivitas tanah sekeliling anoda dan menurunkan kecepatan korosi anoda magnesium yang berlebihan.

2.2.9. Kebutuhan Anoda Berdasarkan Berat dan Arus

Perhitungan kebutuhan anoda untuk proteksi katodik pada pipa bawah tanah menggunakan acuan DNV RP B401 pada bagian Bab 7 tentang *design tasks*. Langkah perhitungan kebutuhan anoda, yaitu :

a) Perhitungan luas struktur pipa (A)

Rumus yang digunakan untuk menghitung luas struktur pipa adalah, sebagai berikut:

$$A = \pi \times D \times L \quad (3.1)$$

dengan:

A = Luas struktur pipa, m²

D = Diameter pipa, m

L = Panjang pipa, m

b) Perhitungan keperluan arus proteksi (I)

Rumus yang digunakan untuk menghitung keperluan arus proteksi adalah, sebagai berikut:

$$I = A \times i_c \quad (3.2)$$

dengan:

I = arus total, A

A = Luas struktur pipa, m²

i_c = Kerapatan arus dari logam yang akan dilindungi, mA/m²

c) Perhitungan kebutuhan berat total anoda selama waktu desain (W₀)

Rumus yang digunakan untuk menghitung kebutuhan berat total anoda selama waktu desain adalah, sebagai berikut:

$$W_0 = (I_p \times t \times 8760) / (k \times u) \quad (3.3)$$

dengan:

W₀ = Berat total anoda selama waktu desain, kg

I_p = Arus total, A

t = Waktu proteksi, Years

K = Kapasitas anoda, A.H/kg

u = faktor utilisasi (~ 0,8)

1 tahun = 8760 Hours

d) Perhitungan jumlah anoda (n)

Rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah anoda adalah, sebagai berikut:

$$n = W_0 / w \quad (3.4)$$

dengan:

n = jumlah anoda, buah

W_0 = Berat total anoda selama waktu desain, kg

w = Berat sebuah anoda, kg

e) Perhitungan jarak pemasangan antar anoda (S)

Rumus yang digunakan untuk menghitung jarak pemasangan antar anoda adalah, sebagai berikut:

$$S = L / n \quad (3.5)$$

dengan:

S = Jarak pemasangan antar anoda, m

L = Panjang total pipa, m

n = Jumlah anoda

f) Perhitungan keperluan arus proteksi untuk jarak S (I_s)

Rumus yang digunakan untuk menghitung keperluan arus proteksi untuk jarak S adalah, sebagai berikut:

$$I_s = \pi \times D \times S \times i_c \quad (3.6)$$

dengan:

I_s = Keperluan arus proteksi untuk jarak S, A

D = Diameter total pipa, m

S = Jarak pemasangan antar anoda, m

i_c = Kerapatan arus dari logam yang akan dilindungi, mA/m²

g) Perhitungan resistansi *groundbed* anoda (R_h)

Rumus yang digunakan untuk menghitung resistansi *groundbed* anoda adalah, sebagai berikut:

$$R_h = (\rho / 2 \pi l) \times (\ln (4l / d) - 1) \quad (3.7)$$

dengan:

R_h = Resistansi anoda yang dipasang secara horisontal, Ω

ρ = Tahanan jenis tanah, $\Omega \cdot \text{cm}$

l = Panjang anoda, cm

d = Diameter anoda, cm

h) Perhitungan kapasitas arus keluaran anoda (I_a)

Rumus yang digunakan untuk menghitung kapasitas arus keluaran anoda adalah, sebagai berikut:

$$I_a = \Delta V / R_h \quad (3.8)$$

dengan:

I_a = Kapasitas keluaran arus anoda, A

ΔV = *Driving voltage*, volt

R_h = Resistansi anoda yang dipasang secara horisontal, Ω

i) Perhitungan umur anoda (Y)

Rumus yang digunakan untuk menghitung umur anoda adalah, sebagai berikut:

$$Y = (W \times K \times u) / (I_p \times 8760) \quad (3.9)$$

dengan:

Y = Umur anoda, tahun

W = Kebutuhan berat anoda, kg

I_p = Kebutuhan arus proteksi, A

K = Kapasitas arus anoda, A.H/kg

u = faktor utilisasi

j) Perbandingan keperluan arus proteksi untuk jarak S dengan kapasitas arus keluaran anoda

Rumus yang digunakan untuk perbandingan keperluan arus proteksi untuk jarak S dengan kapasitas arus keluaran anoda adalah, sebagai berikut:

$$I_s \leq I_a \quad (3.10)$$

dengan:

I_s = keperluan arus proteksi untuk jarak S , A

I_a = kapasitas arus keluaran anoda, A

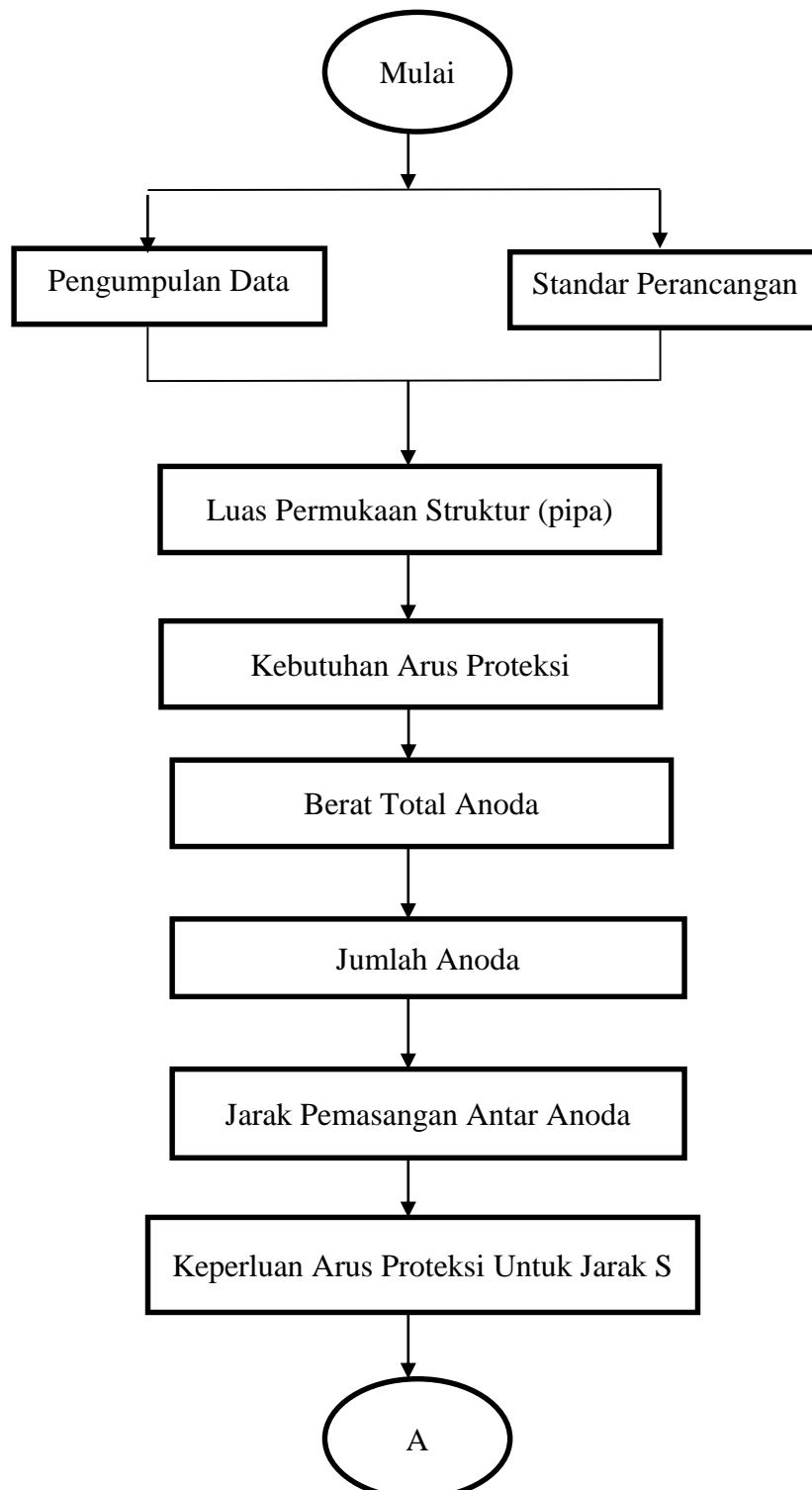
(halaman ini sengaja dikosongkan)

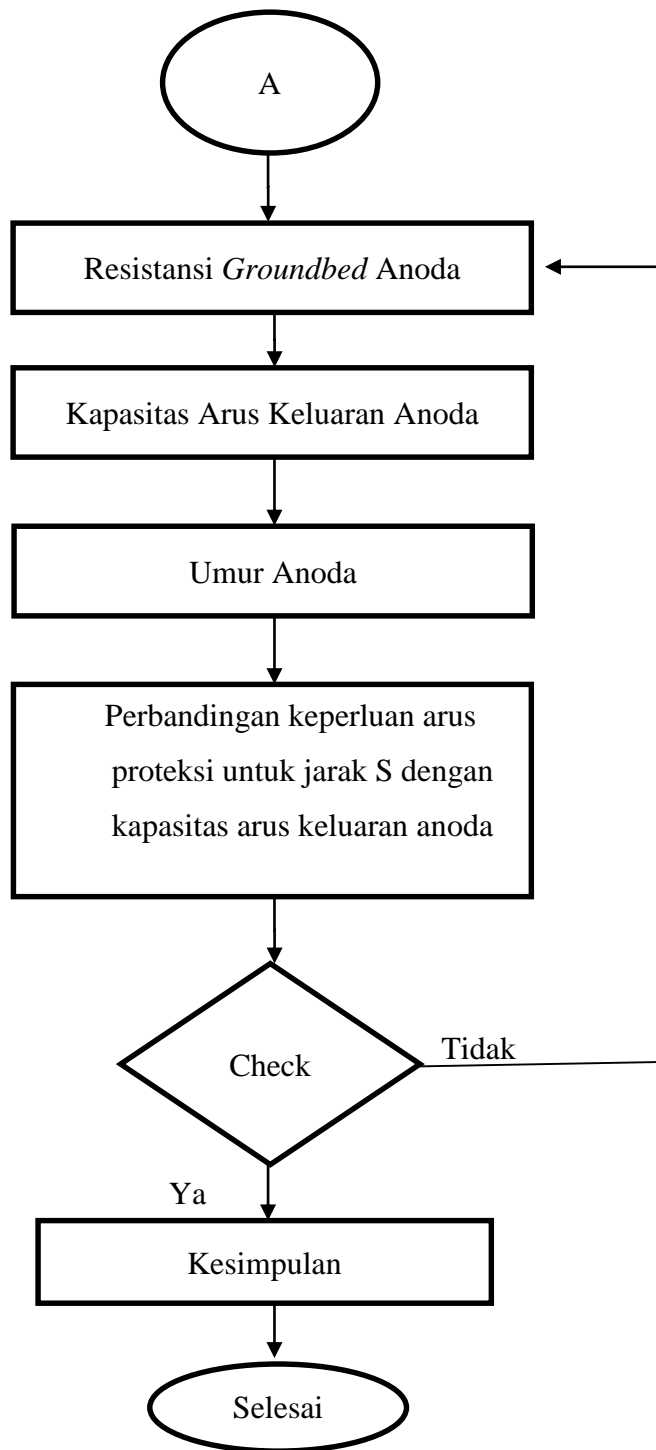
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. METODE PENELITIAN

Berikut adalah visualisasi langkah-langkah tugas akhir dalam diagram alir:





3.2. PROSEDUR PENELITIAN

Prosedur penelitian tugas akhir ini terdiri dari 15 tahap untuk mengambil kesimpulan dan saran, yaitu :

1. Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data pipa yang meliputi panjang pipa, tebal pipa, proteksi katodik, korosi yang diizinkan, dan data anoda serta data-data lain yang mendukung dalam tugas akhir ini.

2. Standar Perancangan

Standar perancangan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah DNV RP B401 *Cathodic Protection Design* dan NACE RP 0169-2002 *Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems*.

3. Luas Permukaan Struktur (Pipa)

Perhitungan luas permukaan struktur (pipa) dengan menggunakan data pipa berupa panjang pipa dan diameter pipa.

4. Kebutuhan Arus Proteksi

Perhitungan kebutuhan arus proteksi berdasarkan luas permukaan pipa rapat arus yang diperoleh dari data Kaltim-2

5. Berat Total Anoda

Perhitungan berat total anoda berdasarkan kebutuhan arus proteksi dan umur desain.

6. Jumlah Anoda

Perhitungan jumlah anoda didapatkan dari berat total anoda dan berat setiap anoda.

7. Jarak Pemasangan Antar Anoda

Perhitungan jarak pemasangan antar anoda berdasarkan panjang keseluruhan dari pipa yang diproteksi dan jumlah anoda yang dibutuhkan.

8. Keperluan Arus Proteksi Untuk Jarak S

Perhitungan keperluan arus proteksi untuk jarak S (jarak antar anoda) didapatkan dari total diameter pipa, arus proteksi, dan jarak antar anoda

9. Resistansi *Groundbed* Anoda

Perhitungan resistansi *groundbed* anoda diperoleh dari panjang anoda dan diameter anoda yang digunakan pada pipa Kaltim-2.

10. Kapasitas Arus Anoda

Perhitungan kapasitas arus anoda didapatkan dari keperluan arus proteksi untuk jarak S dan resistansi *groundbed* anoda.

11. Umur Anoda

Perhitungan umur anoda didapatkan dari kebutuhan berat anoda, kebutuhan arus proteksi, dan kapasitas arus proteksi.

12. Perbandingan keperluan arus proteksi untuk jarak S dengan kapasitas arus keluaran anoda

Pada perbandingan ini apabila keperluan arus proteksi untuk jarak S lebih besar dari kapasitas arus keluaran anoda maka perlu dilakukan desain ulang pada anoda korban. Desain ulang dilakukan agar pipa yang diproteksi tidak mengalami korosi.

13. Check

Pada bagian check merupakan hasil dari perbandingan keperluan arus proteksi untuk jarak S dengan kapasitas arus keluaran anoda, apabila dari hasil yang perhitungan ditemukan kurangnya arus untuk pipa maka dilakukan perhitungan ulang dengan mengganti anoda korban berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan ataupun mencari referensi lain. Penelitian maupun referensi yang akan digunakan sesuai dengan code yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu DNV RP B401 *Cathodic Protection Design* dan NACE RP 0169-2002 *Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems*.

13. Kesimpulan

Dari seluruh rangkaian analisa dapat ditarik kesimpulan sehingga diperoleh informasi yang dapat bermanfaat seta pemberian saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan dibahas mengenai perancangan proteksi katodik anoda tumbal untuk pipa gas bawah tanah PT. Pupuk Kalimantan Timur pada Kaltim-2. Proses yang akan dilakukan meliputi pengumpulan data, menentukan kebutuhan arus untuk pipa, menentukan arus yang dikeluarkan dari anoda korban, dan melakukan pergantian pada anoda korban ataupun menambahkan anoda korban baru.

4.1. ANALISA

Perlindungan pipa gas bawah tanah PT. Pupuk Kalimantan Timur menggunakan dua metode yaitu perlindungan dengan menggunakan proteksi katodik dan *coating*. Proteksi katodik yang digunakan adalah anoda korban. Hasil pemeriksaan proteksi katodik anoda korban yang dilakukan setiap bulannya oleh PT. Pupuk Kalimantan Timur telah ditemukannya pipa gas yang kurang terproteksi maupun *over protection*.

4.1.1. Pemeriksaan terhadap proteksi katodik anoda korban

Pemeriksaan terhadap proteksi katodik PT. Pupuk Kalimantan Timur dilakukan oleh biro inspeksi teknik. Cara yang digunakan untuk mengukur proteksi katodik anoda korban pada pipa gas bawah tanah antara lain, yaitu :

1. Alat yang dibutuhkan untuk mengukur adalah Cu/CuSO₄ Reference dan Voltmeter.



Gambar 4.1 Alat mengukur anoda Cu/CuSO₄ Reference
(dokumentasi pribadi)



Gambar 4.2 Alat mengukur anoda pada Test Point Voltmeter (dokumentasi pribadi)

2. Pemeriksaan proteksi katodik dilakukan pada test point yang sudah ditentukan.



Gambar 4.3 Test Station. (Tinker and Rasor, 2012)

3. Pengukuran yang pertama kali dilakukan adalah menanam Cu/CuSO₄ reference pada tanah. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan resistivitas tanah.



Gambar 4.4 Alat pengukur resistansi tanah. (Chris, 2007)

4. Hal selanjutnya yang dilakukan adalah mengukur test station dengan voltmeter.



Gambar 4.5 Pengukuran test station dengan menggunakan voltmeter.

(Quantum, 2009)

4.1.2. Hasil pemeriksaan

Biro inspeksi teknik yang melakukan pemeriksaan menemukan pipa gas bawah tanah yang kurang terproteksi. Hasil dari pemeriksaan yang dilakukan dari bulan Januari 2012 sampai dengan Agustus 2013, test point yang sering mengalami kekurangan proteksi adalah test point 6, 7, dan 9. Hasil pemeriksaan bisa dilihat dibawah ini maupun di lampiran.

Tabel 4.1 Hasil pemeriksaan bulan Januari 2012

LOKASI (UG Pipe Nat. Gas)	RANGE YANG DIBUTUHKAN (mV)	REF. ANODE	HASIL UKURAN (mV)	STATUS	KETERANGAN
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP 2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-866	Baik	Monitor TP 7 & TP 9
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-960	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-860	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-862	Baik	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-887	Baik	
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-758	Kurang proteksi	
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-944	Baik	
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-826	Kurang proteksi	

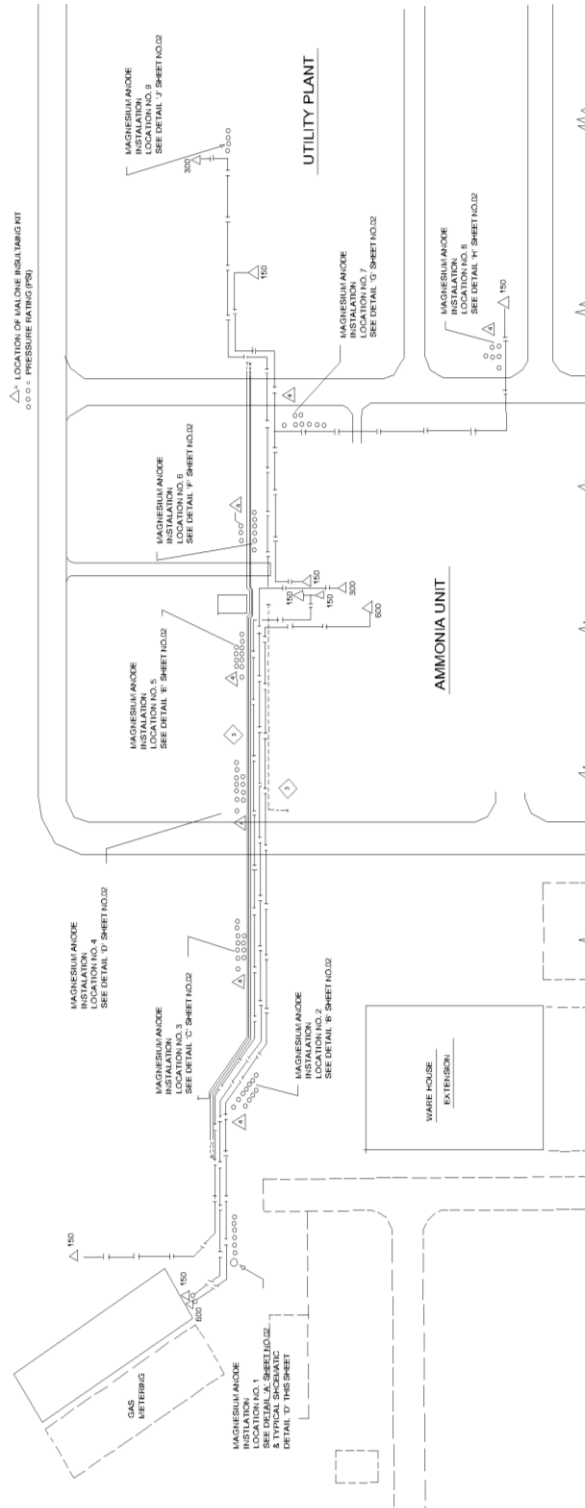
Tabel 4.2 Hasil pemeriksaan bulan Januari 2013

LOKASI (UG Pipe Nat. Gas)	RANGE YANG DIBUTUHKAN (mV)	REF. ANODE	HASIL UKURAN (mV)	STATUS	KETERANGAN
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP 2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-850	Baik	Monitor TP 6,7, & 9
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-878	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-854	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-852	Baik	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-514	Kurang proteksi	
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-545	Kurang proteksi	
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-996	Baik	
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-620	Kurang proteksi	

Tabel 4.3 Hasil pemeriksaan bulan Agustus 2013

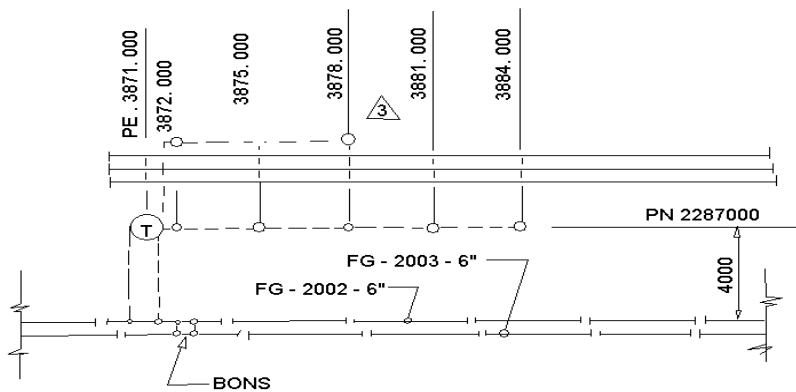
LOKASI (UG Pipe Nat. Gas)	RANGE YANG DIBUTUHKAN (mV)	REF. ANODE	HASIL UKURAN (mV)	STATUS	KETERANGAN
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP 2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-850	Baik	Tambahkan Anoda TP 5, TP 6, TP 7, & TP 9
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-878	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-854	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-852	Baik	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-514	Kurang proteksi	
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-545	Kurang proteksi	
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-996	Baik	
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-620	Kurang proteksi	

4.1.3. Denah pipa Kaltim-2

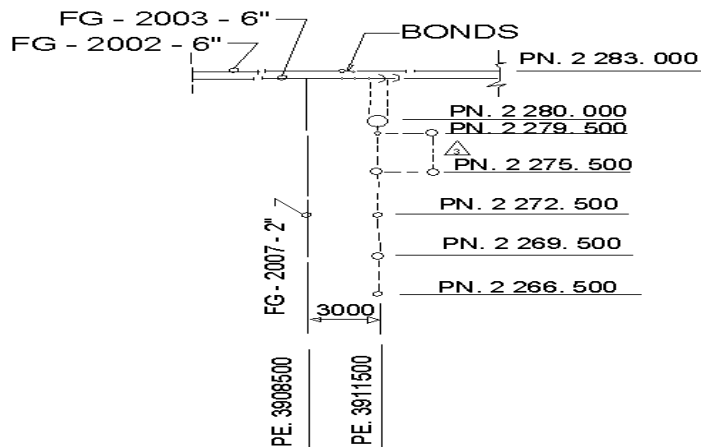


Gambar 4.6 Denah pipa Kaltim-2

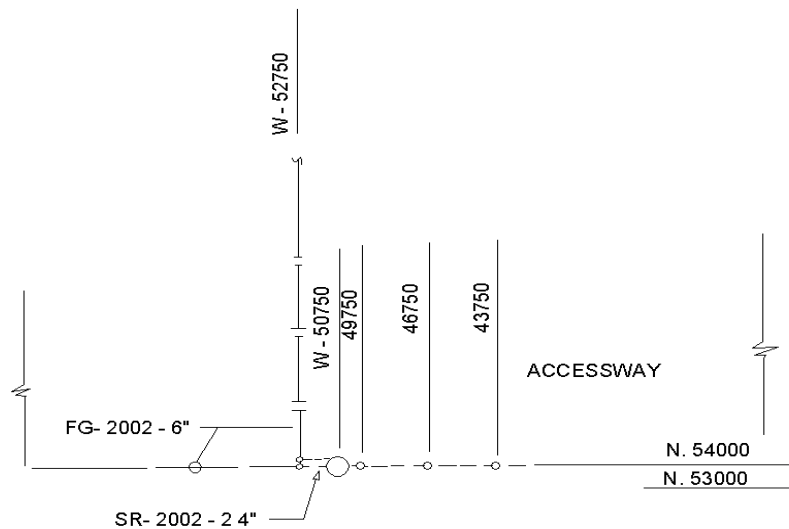
Gambar 4.6 menunjukkan posisi peletakan anoda korban. Anoda korban diletakkan pada setiap test point. Kaltim-2 memiliki 9 test point dengan jarak 24 meter setiap test point. Jarak yang digunakan berdasarkan panjang pipa natural gas. Subbab 4.1.2 tentang hasil pemeriksaan, pada table 4.1, 4.2, dan 4.3 didapatkan hasil pada test point 7 dan 9 kurang terproteksi. Sedangkan table 4.3 ditemukan juga test point 6 kurang terproteksi.



Gambar 4.7 Denah pipa pada tes point 6



Gambar 4.8 Denah pipa pada test point 7



Gambar 4.9 Denah pipa pada test point 9

4.1.4. Data lingkungan

4.1.4.1. Urea dan Ammonia

PT. Pupuk Kalimantan Timur memproduksi urea, amonia, npk, dan pupuk organik. Pabrik Kaltim-2 PT. Pupuk Kalimantan Timur memproduksi urea dan ammonia. Hasil produksi yang dapat ditampung sebesar 700.000 ton/tahun urea dan 595.000 ton/tahun ammonia. Proses produksi urea menggunakan stamicarbon dan untuk ammonia menggunakan kellog. Pencemaran urea dan ammonia meningkatkan naiknya kadar asam dalam udara. Akan dijelaskan secara singkat tentang amonia dan urea, yaitu :

1. Ammonia pertama kali ditemukan pada tahun 1789 oleh C. L. Barthelot. Ammonia tersusun dari Nitrogen dan Hidrogen murni. Ammoniamemiliki rumus senyawa kimia NH_3 . Amonia adalah senyawa yang dapat merusak kesehatan. Amonia memiliki bau tajam yang khas. Amonia mendidih di suhu - 33° sehingga cairan amonia harus disimpan dalam tekanan tinggi atau temperatur sangat rendah. Amonia umumnya bersifat basa, namun dapat bersifat asam lemah. Proses kellog merupakan pembuatan ammonia menggunakan bahan baku gas alam dengan tekanan yang relatif rendah.

2. Urea ditemukan pertama kali oleh Roelle pada tahun 1773. Urea merupakan bahan sintesa organik pertama yang dibuat dari bahan anorganik. Urea mempunyai rumus molekul NH_2CONH_2 . Di dalam air, urea akan terhidrolisa menjadi ammonium karbanat. Urea pada umumnya digunakan sebagai pupuk. Urea juga dapat digunakan untuk nutrisi pertumbuhan ternak, produksi melamin, dan farmasi.

4.1.4.2. Tanah

Kalimantan Timur terkenal sebagai penghasil batu bara. Kota Bontang terletak pada $117^{\circ}23'$ Bujur Timur sampai $117^{\circ}38'$ Bujur Timur serta diantara $0^{\circ}01'$ Lintang Utara dan $0^{\circ}12'$ Lintang Utara. Kota Bontang memiliki ketinggian 0 – 106 Mdi diatas permukaan laut. Kota Bontang didominasi oleh laut. Lapisan tanah kota Bontang pada umumnya adalah tanah gambut, tanah lempung berair, dan tanah podsolik merah kuning. Tanah gambut terbentuk dari hasil pembusukan tumbuhan bahan organik di daerah yang selalu tergenang air (rawa-rawa). Tanah sekitar PKT Bontang memiliki pH 5-6.

4.2. PEMBAHASAN

4.2.1. Data pipa gas bawah tanah Kaltim-2

Data pipa gas bawah tanah Kaltim-2 sebagai berikut :

1. Material : A 53 B SMLS
2. Corrosion allow (mm) : 1.27
3. Proteksi katodik : SACP
4. Tahun dipasang : 1984
5. Tipe anoda : Prepacked Magnesium 48 d5
6. Material backfill : 75 % gypsium, 20 % bentoine, 5 % sodium sulfate
7. Dimensi anoda : 200 mm Dia x 1000 mm
8. Berat anoda : 21 kg/anoda
9. Jumlah anoda : 45 (1984), 31 (1995), 50 (1997)

Tabel 4.4 Data Teknis Proteksi Katodik Pipa Bawah Tanah Kaltim 2

No.	Deskripsi	Kaltim 2		
		Nat. Gas	Fuel Gas	Liquid Cond.
1	Material	A 53 B SMLS	A 53 B SMLS	A 53 B SMLS
2	Ukuran	10"	2" SCH XS 5" SCH STD 8" SCH STD	3" SCH STD
3	Tebal (mm)	9.27	5.5 7.1 8.2	5.5
4	Corr. Allow (mm)	1.27	1.27	1.27
5	Panjang (meter)	215	145 249 210	218
6	Proteksi katodik	SACP		
7	Tahun dipasang	1984		
8	Tipe anoda	Prepacked Magneisum		
9	Jumlah anoda	45 (1984) 31 (1995) 50 (1997)		

Data teknis dari sistem proteksi anoda korban sebagai berikut :

1. Sistem : Anoda korban
2. Desain umur pakai : 20 tahun
3. Objek yang akan dilindungi : Pipa bawah tanah
4. Rapat arus : 2.5 mA/m² (ref. Kaltim-3)
5. Tahanan tanah : 1000 Ω-cm (ref. Kaltim-3)
6. Anoda paduan Mg
 - Laju konsumsi/anoda (K) : 1200 A-jam/kg
 - ΔE : 0.7 volt
7. Desain yang diizinkan : 1.4

4.2.2 Perhitungan Proteksi Katodik.

Pehitungan proteksi katodik berdasarkan data yang didapatkan dari PT. Pupuk Kalimantan Timur dan rumus yang digunakan berdasarkan DNV RP-B401 dan NACE RP 0169-2002. Berdasarkan data diatas maka dapat dilakukan perhitungan terhadap kebutuhan arus pada pipa dan keluaran arus yang diterima. Dari hasil perhitungan akan dibuat perbandingan. Perbandingan ini yang nantinya akan menjadi sebuah kesimpulan jika perlu dilakukan pergantian anoda. Perhitungan kebutuhan arus pada pipa dan keluaran arus dari anoda, yaitu :

1. Luas pipa yang akan diproteksi

$$\text{Pipa gas} = 0.254 \times 3.14 \times 215 \times 1.4 = 240.066 \text{ m}^2 \text{ atau } 240 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (2")} = 0.051 \times 3.14 \times 145 \times 1.4 = 32.508 \text{ m}^2 \text{ atau } 33 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (5")} = 0.127 \times 3.14 \times 249 \times 1.4 = 139.015 \text{ m}^2 \text{ atau } 140 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (8")} = 0.203 \times 3.14 \times 210 \times 1.4 = 187.402 \text{ m}^2 \text{ atau } 188 \text{ m}^2$$

$$\text{Liquid Cond.} = 0.076 \times 3.14 \times 218 \times 1.4 = 72.833 \text{ m}^2 \text{ atau } 73 \text{ m}^2$$

$$\text{Total luas pipa yang terproteksi} = 240 + 33 + 140 + 188 + 73 = 674 \text{ m}^2$$

2. Keperluan arus proteksi (I)

$$I = \text{Luas area yang akan diproteksi} \times \text{Rapat Arus}$$

$$= 674 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ mA/m}^2$$

$$= 1685 \text{ mA}$$

$$= 1.685 \text{ A}$$

3. Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)

$$W = (I \cdot M) / (K \cdot u)$$

$$= (1.685 \text{ A} \times 20 \text{ tahun} \times 8760 \text{ jam/th}) / (1200 \text{ A-jam/kg} \times 0.5)$$

$$= 492.02 \text{ kg} \text{ atau } 493 \text{ kg}$$

4. Total Anoda (n)

$$n = \text{Total berat anoda} / \text{berat satu anoda}$$

$$n = 493 / 21$$

$$= 23.476 \text{ atau } 24 \text{ buah}$$

5. Jarak pemasangan antar anoda, S :

$$\begin{aligned} S &= L / n \\ &= 1037 / 24 \\ &= 43.208 \text{ m atau } 44 \text{ m} \end{aligned}$$

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S :

$$\begin{aligned} I_s &= \pi D S i_p \\ &= 3.14 \times 0.711 \text{ m} \times 44 \text{ m} \times 2.5 \text{ mA/m}^2 \\ &= 245.5794 \text{ mA} \\ &= 0.246 \text{ A} \end{aligned}$$

7. Anoda yang dipasang Horizontal, maka

$$\begin{aligned} R_h &= (\rho/2\pi l) \times (\ln (4l/d) - 1) \\ &= (1000 / 2 \times 3.14 \times 100) (\ln (4 \times 100 / 20) - 1) \\ &= 1.592 \times 1,996 \\ &= 3.177 \text{ ohm} \end{aligned}$$

8. Kekuatan arus anoda I_a

$$\begin{aligned} I_a &= \Delta E / R_h \\ &= 0.7 / 3.177 \\ &= 0.22 \text{ A} \end{aligned}$$

9. $I_s \leq I_a$

$$0.246 \text{ A} \geq 0.22 \text{ A} \dots\dots\dots \text{TIDAK OK}$$

Apabila kekuatan arus anoda lebih besar dari keperluan arus proteksi makaproteksi katodik dinyatakan sukses. Sedangkan sebaliknya maka proteksi katodik perlu dilakukan pergantian terhadap anoda korban maupun hal lain yang dianggap perlu.

Tabel 4.5 Perbandingan hasil perhitungan menggunakan pipa gas natural dengan semua pipa yang dilindungi.

No.	Perhitungan	Natural Gas Pipe (data dari perusahaan)	Natural Gas Pipe, Liquid Cond. Gas, and Fuel Gas (perhitungan sendiri)
1	Luas Pipa yang diproteksi	240 m ²	674 m ²
2	Keperluan arus proteksi (I)	0.6 A	1.685 A
3	Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)	176 Kg	493 kg
4	Total Anoda (n)	9 buah	24 buah
5	Jarak pemasangan antar anoda, S	24 m	44 m
6	Keperluan arus proteksi untuk jarak S	0.04785 A	0.246 A
7	Anoda yang dipasang Horizontal	3.177 ohm	3.177 ohm
8	Kekuatan arus anoda I _a	0.22 A	0.22 A
9	$I_s \leq I_a$	$0.04785 A \leq 0.22 A$	$0.246 A \geq 0.22 A$
10	Keterangan	Perlindungan pipa menggunakan anoda korban terproteksi dengan baik	Perlindungan pipa dengan menggunakan anoda korban tidak terlindungi dengan baik

4.2.3. Perbandingan hasil perhitungan pipa gas natural (perusahaan) dengan semua pipa yang dilindungi (perhitungan manual).

Hasil perhitungan proteksi katodik pada pipa PT. Pupuk Kalimantan Timur ditemukan pipa yang kurang terproteksi. Pada tabel 4.5 dapat dilihat perbandingan yang cukup signifikan yaitu tidak ditemukannya sebuah pipa yang kurang terproteksi dari data perusahaan. Penyebab terjadinya hal ini bisa disebabkan beberapa faktor yaitu komposisi tanah, lokasi pipa, temperatur lingkungan, dan lain-lain. Maka pada kasus ini akan dijelaskan faktor-faktor penyebab perbedaan pada tabel 4.5, yaitu :

1. Luas pipa yang diproteksi

Hal pertama didapatkan adalah perbedaan pada luas pipa yang diproteksi. Luas pipa yang diproteksi adalah luas permukaan pipa yang mengalami kontak langsung dengan tanah. Luas pipa merupakan faktor yang menjadi penentu untuk proteksi katodik. Luasan pipa yang terproteksi dan panjang pipa menentukan jumlah anoda yang akan digunakan dan ukuran anoda. Pipa yang diproteksi dilapangan terdapat 5 buah pipa yang masing-masing memiliki ukuran berbeda serta fungsinya. Data dari perusahaan tidak ditemukannya perhitungan mengenai 4 pipa yang lain. Hasil perhitungan yang ditemukan adalah perhitungan *natural gas pipe*. Pipa gas alam memiliki panjang 215 m dan diameter 10 in. Pipa yang seharusnya dilindungi memiliki panjang keseluruhan 1037 m. Perbedaan ini membuat beberapa bagian pipa tidak mendapatkan perlindungan korosi. Rumus yang digunakan untuk menghitung luas struktur pipa adalah, sebagai berikut:

$$A = \pi \times D \times L$$

dengan:

A = Luas struktur pipa, m²

D = Diameter pipa, m

L = Panjang pipa, m

Tabel 4.6 Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan luas pipa yang diproteksi

Perhitungan luas pipa yang diproteksi	
Natural Gas Pipe (data dari perusahaan)	Natural Gas Pipe, Liquid Cond. Gas, and Fuel Gas (perhitungan sendiri)
240 m ²	674 m ²

2. Keperluan arus proteksi

Hal kedua menjelaskan perbedaan keperluan arus proteksi. Keperluan arus proteksi adalah banyaknya arus yang dibutuhkan untuk melindungi seluruh

luas pipa. Luas struktur pipa yang digunakan berdasarkan perhitungan pertama yaitu perhitungan luas pipa yang diproteksi. Perbedaan panjang pipa yang dilindungi menyebabkan keperluan arus untuk pipa yang dilindungi juga ikut berbeda. Kerapatan arus yang digunakan tetap sama yaitu 2.5 mA/m^2 . Rumus yang digunakan untuk menghitung keperluan arus proteksi adalah, sebagai berikut:

$$I = A \times i_c$$

dengan:

I = arus total, A

A = Luas struktur pipa, m^2

i_c = Kerapatan arus dari logam yang akan dilindungi, mA/m^2

Tabel 4.7 Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan keperluan arus proteksi

Perhitungan keperluan arus proteksi (I)	
Natural Gas Pipe (data dari perusahaan)	Natural Gas Pipe, Liquid Cond. Gas, and Fuel Gas (perhitungan sendiri)
0.6 A	1.685 A

3. Total Berat Anoda Yang diperlukan

Hal ketiga merupakan total berat anoda yang diperlukan. Penentuan jumlah anoda yang dibutuhkan untuk perlindungan pipa terhadap korosi, pertama kali yang dilakukan adalah menentukan jumlah berat anoda. Jumlah berat anoda nantinya akan digunakan untuk menentukan jumlah anoda yang akan digunakan. Pada tabel 4.5 ditemukan perbedaan pada jumlah berat anoda yang diperlukan, perbedaan ini disebabkan keperluan arus proteksi. Kapasitas anoda dan waktu proteksi yang digunakan sama karena tidak ada perbedaan pada anoda yang digunakan. Rumus yang digunakan untuk menghitung total berat anoda adalah, sebagai berikut:

$$W_0 = (I_p \times t \times 8760) / (k \times u)$$

dengan:

W_0 = Berat total anoda selama waktu desain, kg

I_p = Arus total, A

t = Waktu proteksi, Years

K = Kapasitas anoda, A.H/kg

u = faktor utilisasi (~ 0,8)

1 tahun = 8760 Hours

Tabel 4.8 Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan total berat anoda

Perhitungan total berat anoda yang diperlukan (W)	
Natural Gas Pipe (data dari perusahaan)	Natural Gas Pipe, Liquid Cond. Gas, and Fuel Gas (perhitungan sendiri)
176 kg	493 kg

4. Total Anoda

Total anoda adalah perhitungan untuk menentukan jumlah anoda yang diperlukan. Pada tabel 4.5 didapatkan jumlah anoda sebesar 9 buah dari perhitungan perusahaan dan 24 buah dari perhitungan sendiri. Hasil ini memiliki perbedaan yang cukup besar. 9 buah anoda digunakan untuk melindungi 5 pipa yang tertanam secara berdekatan. Hal ini yang mungkin menyebabkan kurangnya arus proteksi pada sebagian pipa. Rumus yang digunakan untuk menghitung total anoda adalah, sebagai berikut:

$$n = W_0 / w$$

dengan:

n = jumlah anoda, buah

W_0 = Berat total anoda selama waktu desain, kg

w = Berat sebuah anoda, kg

Tabel 4.9 Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan Total Anoda

Perhitungan total anoda (n)	
Natural Gas Pipe (data dari perusahaan)	Natural Gas Pipe, Liquid Cond. Gas, and Fuel Gas (perhitungan sendiri)
9 buah	24 buah

5. Jarak pemasangan antar anoda

Hasil perhitungan total anoda digunakan untuk menghitung jarak pemasangan antar anoda. Anoda yang terpasang nantinya akan memproteksi pipa sepanjang jangkauan yang telah ditentukan. Hasil perbedaan pada tabel 4.5 disebabkan panjang pipa dan jumlah anoda yang digunakan untuk proteksi memiliki perbedaan yang besar. Sehingga jarak pemasangan antar anoda memiliki perbedaan jarak sebesar 20 m. Rumus yang digunakan untuk menghitung jarak pemasangan antar anoda adalah, sebagai berikut:

$$S = L / n$$

dengan:

S = Jarak pemasangan antar anoda, m

L = Panjang total pipa, m

n = Jumlah anoda

Tabel 4.10 Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan jarak pemasangan antar anoda

Perhitungan jarak pemasangan antar anoda, S	
Natural Gas Pipe (data dari perusahaan)	Natural Gas Pipe, Liquid Cond. Gas, and Fuel Gas (perhitungan sendiri)
24 m	44 m

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S

Hasil perhitungan keenam adalah keperluan arus proteksi berdasarkan jarak pemasangan antar anoda. Jarak pemasangan antar anoda sangat berpengaruh dalam perhitungan keperluan arus. Perbedaan pada tabel 4.5 disebabkan panjang pipa yang diproteksi berbeda, sehingga hasil yang didapatkan memiliki perbedaan juga. Lokasi pipa pada Kaltim-2 memiliki faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan. Rumus yang digunakan untuk menghitung keperluan arus proteksi berdasarkan jarak pemasangan antar anoda adalah, sebagai berikut:

$$I_s = \pi \times D \times S \times i_c$$

dengan:

I_s = Keperluan arus proteksi untuk jarak S, A

D = Diameter total pipa, m

S = Jarak pemasangan antar anoda, m

i_c = Kerapatan arus dari logam yang akan dilindungi, mA/m²

Tabel 4.11 Perbandingan hasil perhitungan pipa berdasarkan keperluan arus proteksi untuk jarak S

Perhitungan keperluan arus proteksi untuk jarak S	
Natural Gas Pipe (data dari perusahaan)	Natural Gas Pipe, Liquid Cond. Gas, and Fuel Gas (perhitungan sendiri)
0.04785 A	0.246 A

7. Anoda yang dipasang horizontal

Perhitungan anoda yang dipasang tergantung pada peletakkan anoda. Ada 2 macam cara pemasangan anoda yaitu :

1. Pemasangan anoda dengan vertikal

Cara pemasangan anoda ini membuat potensial perlindungan mengalir terbatas pada titik-titik yang tidak terlalu berjauhan. Hal ini dikarenakan

sifat jangkauan anoda yang sangat terbatas. Apabila penggunaan anoda dalam jumlah banyak dan pertimbangan biaya tidak masalah, maka cara pemasangan vertikal sangat menguntungkan.

2. Pemasangan anoda dengan horizontal

Cara pemasangan anoda ini menjadikan jangkauan potensial proteksi dari anoda semakin jauh. Hal ini akan merugikan apabila posisi kedalaman pemasangan anoda tidak terletak dalam posisi lurus terhadap pipa yang dilindungi. Jika anoda tidak terpasang lurus terhadap pipa maka arus dapat lari kemana-mana. Jumlah anoda yang biasanya digunakan tidak terlalu banyak sehingga dapat menghemat biaya instalasi maupun biaya perawatan.

Anoda yang terpasang menurut data perusahaan adalah anoda horizontal. Hasil yang didapatkan pada tabel 4.5 memiliki hasil yang sama karena tidak ada perbedaan pada anoda yang digunakan. Rumus yang digunakan untuk menghitung anoda yang dipasang horizontal adalah, sebagai berikut:

$$R_h = (\rho / 2 \pi l) \times (\ln (4l / d) - 1)$$

dengan:

R_h = Resistansi anoda yang dipasang secara horisontal, Ω

ρ = Tahanan jenis tanah, $\Omega.cm$

l = Panjang anoda, cm

d = Diameter anoda, cm

Tabel 4.12 Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan anoda dipasang horizontal

Perhitungan anoda yang dipasang horizontal	
Natural Gas Pipe (data dari perusahaan)	Natural Gas Pipe, Liquid Cond. Gas, and Fuel Gas (perhitungan sendiri)
3.177 ohm	3.177 ohm

8. Kekuatan arus anoda

Pengertian parameter ini adalah arus yang dapat dihasilkan oleh anoda dalam amper-jam setiap kilogram bahannya. Sehingga pemilihan anoda sangat penting. Pada bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa ada 3 bahan anoda korban yang biasanya digunakan yaitu magnesium (Mg), seng (Zn), dan aluminium (Al). Data yang didapatkan dari perusahaan anoda yang digunakan adalah *prepacked magnesium 48 d5*. Maka akan dijelaskan lebih lanjut mengenai anoda magnesium. Anoda magnesium secara umum memiliki dua model yaitu Mg-Mn dan Mg-Al-Zn. Kedua anoda tersebut memiliki *driving voltage* yang tinggi dan dipergunakan pada resistivitas tanah yang tinggi. Anoda Mg-Mn sangat berguna pada lingkungan yang mempunyai resistivitas tanah mencapai 6000 Ohm-cm. Anoda Mg-Mn menghasilkan *driving voltage* mencapai 200 mV lebih bagus dari anoda Mg-Al-Zn. Hal ini disebabkan magnesium merupakan unsur tidak beracun maka dapat juga digunakan pada lingkungan basah dimana konduktivitasnya rendah (Iswahyudi, 2008).

Penambahan paduan Aluminium (Al), seng (Zn), dan Mangan (Mn) bertujuan untuk meningkatkan kapasitas dan menurunkan potensial operasi. Penambahan Mangan dapat menghilangkan pengaruh dari besi (Fe). Ciri-ciri anoda magnesium sebagai berikut :

1. Dapat diterapkan pada kondisi tahanan tanah lebih kecil dari 6000 Ohm-cm.
2. Arus proteksi mudah didistribusikan sepanjang pipa.
3. Efisiensi untuk struktur yang kecil dan relatif mahal.
4. Tidak dapat digunakan untuk lapis lindung coaltar. Lapis lindung akan rusak bila potensial struktur ≤ 1200 mV CSE.
5. Bisa terjadi over proteksi didekat anoda.
6. Umur design maksimum 20 tahun.

Hasil yang didapatkan pada tabel 4.5 tidak ada perbedaan karena anoda yang digunakan sama meskipun panjang pipa yang diproteksi berbeda. Rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan arus anoda adalah, sebagai berikut:

$$I_a = \Delta V / R_h$$

dengan:

I_a = Kapasitas keluaran arus anoda, A

ΔV = *Driving voltage*, volt

R_h = Resistansi anoda yang dipasang secara horisontal, Ω

Tabel 4.13 Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan keperluan arus proteksi untuk jarak S

Perhitungan kekuatan arus anoda I_a	
Natural Gas Pipe (data dari perusahaan)	Natural Gas Pipe, Liquid Cond. Gas, and Fuel Gas (perhitungan sendiri)
0.22 A	0.22 A

9. $I_s \leq I_a$

Hasil perhitungan arus yang dibutuhkan untuk proteksi pipa dan kuat arus yang dihasilkan anoda digunakan sebagai pengukur untuk kebutuhan arus pada pipa. Pada tabel 4.5 ditunjukkan perbedaan pada hasil perusahaan dengan perhitungan yang dilakukan sendiri. Hal ini disebabkan perhitungan sendiri yang dilakukan menggunakan 5 buah pipa dan perusahaan hanya 1 buah. Pada kasus ini anoda yang digunakan sama, sehingga anoda yang digunakan untuk 5 buah pipa sekaligus tidak mendapatkan arus yang memenuhi. Rumus yang digunakan untuk perbandingan kuat arus anoda dengan kebutuhan arus proteksi adalah, sebagai berikut:

Tabel 4.14 Perbandingan hasil perhitungan pipa berdasarkan kekuatan arus anoda

Perbandingan $I_s \leq I_a$	
Natural Gas Pipe (data dari perusahaan)	Natural Gas Pipe, Liquid Cond. Gas, and Fuel Gas (perhitungan sendiri)
0.04785 A \leq 0.22 A	0.246 A \geq 0.22 A

10. Keterangan

Pada hal kesembilan telah dijelaskan perbandingan serta hasil yang didapatkan dari arus anoda dan arus yang dibutuhkan. Oleh karena itu, perlunya dilakukan pergantian pada anoda. Anoda yang sekarang digunakan masih belum bisa memberikan arus yang cukup untuk seluruh pipa yang diproteksi.

Tabel 4.15 Perbandingan hasil perhitungan pipa berdasarkan keterangan

Perbandingan $I_s \leq I_a$	
Natural Gas Pipe (data dari perusahaan)	Natural Gas Pipe, Liquid Cond. Gas, and Fuel Gas (perhitungan sendiri)
Perlindungan pipa dengan menggunakan anoda korban terproteksi dengan baik	Perlindungan pipa dengan menggunakan anoda korban tidak terproteksi dengan baik

4.2.4. Backfill

Pada sistem proteksi katodik anoda korban, anoda korban yang digunakan biasanya dibungkus dengan *backfill*. Ukuran anoda korban yang kecil biasanya langsung terbungkus dengan *backfill*, sedangkan untuk anoda yang berukuran besar dipasang pada saat instalasi dengan *loose-backfill*. Fungsi dari *backfill* adalah mencegah anoda agar tidak terjadi kontak langsung dengan tanah dan mengurangi korosi lokal pada saat pemakaian. Kombinasi anoda dengan unsur-unsur garam yang terkandung dalam tanah tidak terjadi dan hal ini dapat mencegah pembentukan lapisan pasif pada permukaan anoda korban.

Pengaruh *backfill* yaitu mengurangi tahanan circuit juga mengurangi potensial loss pada lingkungan. *Backfill* menarik tahanan campuran tanah dan

mengurangi resistivitas tanah di sekitar anoda. *Dry backfill* memuai pada saat kondisi tanah basah dan memadat tanah sekitar anoda sehingga menghilangkan kekosongan pada tanah. Dengan memisahkan anoda kontak langsung dengan tanah, maka *backfill* akan mengurangi kemungkinan pengaruh buruk dari kandungan *phosphate*, *carbonate*, dan *bicarbonate*. Karena kehadiran unsur-unsur tersebut dapat membentuk lapisan film pada permukaan anoda sehingga akan mengurangi jumlah arus proteksi dari anoda ke pipa, Hal ini tidak akan terjadi dengan adanya *backfill*.

Bahan kimia *backfill* dapat menyerap kandungan air tanah sehingga lingkungan disekitar *backfill* tetap dalam kondisi basah. *Backfill* dapat memperbesar ukuran anoda sehingga tahanan anoda terhadap tanah menjadi lebih rendah. Data *backfill* yang diperoleh dari perusahaan adalah sebagai berikut yaitu 75% gypsium, 20% bentonite , dan 5% Sodium Sulfate

Tabel 4.16 Data *backfill* untuk anoda Al dan Zn

Gypsum (CuSO ₄)%					
No	Hydrated	Molding Plaster (Plaster of Paris)	Bentonite CLay %	Sodium Sulfate %	Approx Resistivity in Ohm-cm
(A)	50	-	50	-	250
(B)	75	-	20	5	50

1. Backfill max (A) commonly used with zinc anodes
2. Backfill max (B) with low resistivity is usefukin high soil resistivity to reduce the anode resistance.

Sumber : Peabody, A. W. 2001. **Control of Pipeline Corrosion 2nd Edition**. Diedit oleh Ronald L. Bianchetti. Houston, TX : NACE International

4.2.5. Data anoda magnesium dan aluminium pengganti

Hasil perhitungan pada tabel 4.15 menunjukkan adanya pipa yang kurang terproteksi. Salah satu cara mengatasi permasalahan ini yaitu mengganti anoda lama dengan anoda baru. Pemilihan anoda baru berdasarkan anoda yang menghasilkan arus paling besar. Arus paling besar yang dimaksud adalah arus yang dikeluarkan dari anoda mampu mencukupi kebutuhan arus untuk perlindungan. Perhatian lebih terhadap test point yang sering mengalami kekurangan maupun kelebihan proteksi.

Data anoda yang digunakan berasal dari perusahaan *Galvotech Alloys Inc.* Perusahaan galvotech berdiri sejak tahun 1984. Perusahaan ini bergerak dibidang perlindungan katodik. Perusahaan galvotech memproduksi aluminium korban, seng, magnesium, *water heater*, dan *extruded anode*. Anoda yang digunakan ada 2 yaitu aluminium dan magnesium.



Gambar 4.10 Anoda aluminium (Safemetals, 2012)



Gambar 4. 11 Anoda magnesium (Galvotech, 2014)

Perusahaan galvotech memiliki bermacam-macam jenis anoda berdasarkan fungsinya. Fungsi anoda yang dicari yaitu anoda untuk pipa dalam tanah. Sehingga magnesium dan aluminium yang digunakan antara lain :

Tabel 4.17 Data anoda magnesium

Jenis Magnesium	Berat (kg)	Lebar (mm)	Diameter (mm)	Panjang (mm)	Laju konsumsi anoda (A jam/kg)	Efficiency (%)	Umur disain (tahun)
GA-MG-5 H-1	5.9	76	133	286	1191	50%	25
GA-MG-9 H-1	12.2	76	133	508	1191	50%	25
GA-MG-12 H-1	14.5	102	191	457	1191	50%	25
GA-MG-17 H-1	29.4	102	191	610	1191	50%	25
GA-MG-32 H-1	30.8	127	216	711	1191	50%	25
GA-MG-50 H-1	45.4	178	254	610	1191	50%	25

Sumber : Galvotec alloy inc.

Tabel 4.18 Data anoda aluminium

Jenis Aluminium	Berat (kg)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Panjang (mm)	Laju konsumsi anoda (A jam/kg)	Efficiency (%)	Umur disain (tahun)
GA-A-1-29H	13.2	127	64	619	2535	85%	20
GA-A-1-23H	10.4	127	49	610	2535	85%	20
GA-A-2-15H	7	127	35	546	2535	85%	20
GA-A-2-10H	4.5	165	32	356	2535	85%	20
GA-A-1-12H	5.4	57	114	356	2535	85%	20
GA-A-1-20H	9.1	57	114	610	2535	85%	20
GA-A-2-32H	14.5	51	254	508	2535	85%	20

Sumber : Galvotec alloy inc.

4.2.6. Perhitungan keluaran arus pada anoda baru

Pada subbab ini akan dijelaskan setiap tahap hasil perhitungan dari mendapatkan luas pipa sampai didapatkan hasil kuat arus yang dikeluarkan dari anoda korban yang baru. Setelah ditemukannya kuat arus yang dikeluarkan dari anoda akan dilakukan perbandingan dengan arus yang dibutuhkan berdasarkan jarak S. Oleh Karena itu, akan dijelaskan langkah-langkah perhitungan anoda korban baru, yaitu :

1. Perhitungan total luas pipa

Tabel 4.19 Hasil perhitungan total luas pipa

Jenis anoda korban	Luas pipa (m ²)
GA-MG-5 H-1	674
GA-MG-9 H-1	674
GA-MG-12 H-1	674
GA-MG-17 H-1	674
GA-MG-32 H-1	674
GA-MG-50 H-1	674
GA-A-1-29H	674
GA-A-1-23H	674
GA-A-2-15H	674
GA-A-2-10H	674
GA-A-1-12H	674
GA-A-1-20H	674
GA-A-2-32H	674

Pada table diatas didapatkan jumlah luas pipa yang harus dilindungi adalah 674 m². Perhitungan jumlah luas pipa tidak didapatkan perbedaan antara anoda magnesium dan aluminium. Data pipa yang digunakan berasal dari PKT Bontang Kaltim-2 sehingga tidak akan ada perbedaan. Rumus untuk menghitung total luas pipa, yaitu :

$$A = \pi \times D \times L$$

dengan:

A = Luas struktur pipa, m²

D = Diameter pipa, m

L = Panjang pipa, m

2. Arus proteksi

Tabel 4.20 Hasil perhitungan arus proteksi

Jenis anoda korban	Arus proteksi (A)
GA-MG-5 H-1	1.685
GA-MG-9 H-1	1.685
GA-MG-12 H-1	1.685
GA-MG-17 H-1	1.685
GA-MG-32 H-1	1.685
GA-MG-50 H-1	1.685
GA-A-1-29H	1.685
GA-A-1-23H	1.685
GA-A-2-15H	1.685
GA-A-2-10H	1.685
GA-A-1-12H	1.685
GA-A-1-20H	1.685
GA-A-2-32H	1.685

Tabel diatas tidak menunjukkan adanya perbedaan antara anoda magnesium dan aluminium. Arus proteksi yang didapat menggunakan anoda baru sama dengan anoda yang lama. Hal disebabkan oleh kerapatan arus yang digunakan dalam perhitungan semuanya sama. Luas struktur pipa yang digunakan juga sama sehingga tidak perbedaan antar anoda. Rumus yang digunakan untuk menghitung arus proteksi, yaitu :

$$I = A \times i_c$$

dengan:

I = arus total, A

A = Luas struktur pipa, m²

i_c = Kerapatan arus dari logam yang akan dilindungi, mA/m²

3. Berat anoda yang diperlukan

Tabel 4.21 Hasil perhitungan total berat anoda

Jenis anoda korban	Total berat anoda (kg)
GA-MG-5 H-1	620
GA-MG-9 H-1	620
GA-MG-12 H-1	620
GA-MG-17 H-1	620
GA-MG-32 H-1	620
GA-MG-50 H-1	620
GA-A-1-29H	233
GA-A-1-23H	233
GA-A-2-15H	233
GA-A-2-10H	233
GA-A-1-12H	233
GA-A-1-20H	233
GA-A-2-32H	233

Hasil perhitungan total berat anoda yang dibutuhkan antara magnesium dan aluminium terdapat perbedaan yang cukup besar. Dimana pada magnesium dibutuhkan 620 kg anoda untuk melindungi seluruh pipa, sedangkan aluminium hanya membutuhkan 233 kg anoda. Kapasitas anoda yang habis termakan dalam setiap jamnya membuat magnesium lebih banyak membutuhkan anoda. Rumus yang digunakan untuk menghitung berat total anoda yang dibutuhkan selama waktu desain :

$$W_0 = (I_p \times t \times 8760) / (k \times u)$$

dengan:

W_0 = Berat total anoda selama waktu desain, kg

I_p = Arus total, A

t = Waktu proteksi, Years

K = Kapasitas anoda, A.H/kg

u = faktor utilisasi (~ 0,8)

1 tahun = 8760 Hours

4. Jumlah anoda yang diperlukan

Tabel 4.22 Hasil perhitungan jumlah anoda

Jenis anoda korban	Total anoda (buah)
GA-MG-5 H-1	105
GA-MG-9 H-1	51
GA-MG-12 H-1	43
GA-MG-17 H-1	21
GA-MG-32 H-1	20
GA-MG-50 H-1	14
GA-A-1-29H	18
GA-A-1-23H	22
GA-A-2-15H	33
GA-A-2-10H	52
GA-A-1-12H	43
GA-A-1-20H	26
GA-A-2-32H	16

Berat dari setiap anoda korban berbeda-beda sehingga didapatkan hasil seperti tabel diatas. Hasil table 4.23 menunjukkan GA-MG-5 H-1 adalah magnesium yang paling banyak membutuhkan anoda korban. Sedangkan GA-MG-50 H-1 adalah magnesium yang paling sedikit membutuhkan anoda korban. Jika dilihat dari data masing-masing anoda, GA-MG-50 H-1 adalah anoda yang paling berat sebesar 45.4 kg. Rumus yang digunkana untuk menghitung jumlah anoda yang dibutuhkan, yaitu :

$$n = W_0 / w$$

dengan:

n = jumlah anoda, buah

W_0 = Berat total anoda selama waktu desain, kg

w = Berat sebuah anoda, kg

5. Jarak pemasangan antar anoda

Tabel 4.23 Hasil perhitungan jarak pemasangan antar anoda

Jenis anoda korban	Jarak anoda (m)
GA-MG-5 H-1	10
GA-MG-9 H-1	20
GA-MG-12 H-1	24
GA-MG-17 H-1	49
GA-MG-32 H-1	52
GA-MG-50 H-1	76
GA-A-1-29H	59
GA-A-1-23H	46
GA-A-2-15H	31
GA-A-2-10H	20
GA-A-1-12H	24
GA-A-1-20H	41
GA-A-2-32H	65

Tabel diatas menunjukkan hasil jarak antar anoda. Jarak antar anoda yaitu dari test point satu ke test point lainnya. Dari hasil diatas GA-MG-50 H-1 adalah jarak terjauh dari 1 test point ke test point lainnya. Sedangkan GA-MG-5 H-1 merupakan jarak terdekat. Jumlah anoda adalah faktor penting yang menyebabkan perbedaan ini. Sedangkan panjang total pipa yang dilindungi sama. Rumus yang digunakan untuk menghitung jarak pemasangan antar anoda, yaitu :

$$S = L / n$$

dengan:

S = Jarak pemasangan antar anoda, m

L = Panjang total pipa, m

n = Jumlah anoda

6. Keperluan arus proteksi antar jarak anoda

Tabel 4.24 Hasil perhitungan keperluan arus proteksi antar jarak anoda

Jenis anoda korban	Arus proteksi untuk S (A)
GA-MG-5 H-1	0.055
GA-MG-9 H-1	0.114
GA-MG-12 H-1	0.135
GA-MG-17 H-1	0.275
GA-MG-32 H-1	0.288
GA-MG-50 H-1	0.424
GA-A-1-29H	0.328
GA-A-1-23H	0.258
GA-A-2-15H	0.174
GA-A-2-10H	0.112
GA-A-1-12H	0.134
GA-A-1-20H	0.226
GA-A-2-32H	0.360

Hasil perhitungan tabel diatas tidak memiliki perbedaan yang jauh. Perbedaan yang terlihat jauh adalah magnesium GA-MG-5 H-1 dengan GA-MG-50 H-1. Hal ini disebabkan perbedaan dari hasil perhitungan pada jarak pemasangan antar anoda. Karena hal itu, GA-MG-5 H-1 membutuhkan arus lebih kecil dibandingkan GA-MG-50 H-1. Rumus yang digunakan untuk menghitung keperluan arus proteksi untuk jarak S, yaitu :

$$I_s = \pi \times D \times S \times i_c$$

dengan:

I_s = Keperluan arus proteksi untuk jarak S, A

D = Diameter total pipa, m

S = Jarak pemasangan antar anoda, m

i_c = Kerapatan arus dari logam yang akan dilindungi, mA/m²

7. Resistansi anoda

Tabel 4.25 Hasil perhitungan resistansi anoda yang dipasang horizontal

Jenis anoda korban	Resistansi anoda (Ω)
GA-MG-5 H-1	6.414
GA-MG-9 H-1	5.412
GA-MG-12 H-1	4.386
GA-MG-17 H-1	4.040
GA-MG-32 H-1	3.533
GA-MG-50 H-1	3.295
GA-A-1-29H	5.068
GA-A-1-23H	5.105
GA-A-2-15H	5.380
GA-A-2-10H	5.167
GA-A-1-12H	9.922
GA-A-1-20H	7.196
GA-A-2-32H	8.416

Dari hasil diatas terjadi sebuah perubahan drastis. GA-MG-50 H-1 memiliki resistansi anoda terkecil dibandingkan lainnya. GA-MG-50 H-1 merupakan anoda yang paling besar karena membutuhkan arus sebesar 0.424 A untuk jarak 76 m. Pada perhitungan GA-A-1-12H merupakan anoda yang menghasilkan resistansi terbesar dibandingkan yang lainnya. Penyebab dari perubahan ini merupakan faktor dari dimensi anoda. Rumus yang digunakan untuk menghitung resistansi anoda yang dipasang secara horizontal, yaitu :

$$R_h = (\rho / 2 \pi l) \times (\ln (4l / d) - 1)$$

dengan:

R_h = Resistansi anoda yang dipasang secara horizontal, Ω

ρ = Tahanan jenis tanah, Ω .cm

l = Panjang anoda, cm

d = Diameter anoda, cm

8. Kuat arus anoda yang dihasilkan

Tabel 4.26 Hasil perhitungan kuat arus anoda yang dihasilkan

Jenis anoda korban	Keluaran arus anoda (A)
GA-MG-5 H-1	0.109
GA-MG-9 H-1	0.129
GA-MG-12 H-1	0.160
GA-MG-17 H-1	0.173
GA-MG-32 H-1	0.198
GA-MG-50 H-1	0.212
GA-A-1-29H	0.138
GA-A-1-23H	0.137
GA-A-2-15H	0.130
GA-A-2-10H	0.135
GA-A-1-12H	0.071
GA-A-1-20H	0.097
GA-A-2-32H	0.083

GA-MG-50 H-1 adalah anoda yang paling besar menghasilkan arus anoda untuk perlindungan pipa. Sedangkan GA-A-1-12H merupakan anoda yang menghasilkan anoda paling kecil. Faktor utama dari kapasitas arus yang dikeluarkan oleh anoda adalah resistansi anoda. *Driving voltage* yang digunakan adalah 0.7 volt untuk anoda magnesium dan aluminium. Rumus yang digunakan untuk menghitung kapasitas arus yang dikeluarkan oleh anoda, yaitu :

$$I_a = \Delta V / R_h$$

dengan:

I_a = Kapasitas keluaran arus anoda, A

ΔV = *Driving voltage*, volt

R_h = Resistansi anoda yang dipasang secara horisontal, Ω

9. Perbandingan arus yang dibutuhkan untuk jarak S dengan arus anoda yang dikeluarkan

Tabel 4.27 Hasil perbandingan arus yang dibutuhkan untuk jarak S dengan arus anoda yang dikeluarkan

Jenis anoda korban	Arus proteksi untuk S (A)	Keluaran arus anoda (A)	Perbandingan $I_s \leq I_a$
GA-MG-5 H-1	0.055	0.109	ok
GA-MG-9 H-1	0.114	0.129	ok
GA-MG-12 H-1	0.135	0.160	ok
GA-MG-17 H-1	0.275	0.173	tidak ok
GA-MG-32 H-1	0.288	0.198	tidak ok
GA-MG-50 H-1	0.424	0.212	tidak ok
GA-A-1-29H	0.328	0.138	tidak ok
GA-A-1-23H	0.258	0.137	tidak ok
GA-A-2-15H	0.174	0.130	tidak ok
GA-A-2-10H	0.112	0.135	ok
GA-A-1-12H	0.134	0.071	tidak ok
GA-A-1-20H	0.226	0.097	tidak ok
GA-A-2-32H	0.360	0.083	tidak ok

Hasil perbandingan I_s dengan I_a hanya ada 4 anoda yang memenuhi kriteria. Anoda yang memenuhi adalah GA-MG-5 H-1, GA-MG-9 H-1, GA-MG-12 H-1, dan GA-A-2-10H. Anoda lain yang tidak memenuhi kriteria tidak dapat digunakan karena nantinya dapat merusak coating dan mempercepat laju korosi. GA-MG-5 H-1 merupakan anoda yang paling banyak membutuhkan jumlah anoda dan membutuhkan arus terkecil untuk jarak S. Sedangkan GA-MG-50 H-1 merupakan anoda yang paling besar mengeluarkan arus tetapi tidak memenuhi kriteria.

Rumus perbandingan, yaitu :

$$I_s \leq I_a$$

10. Umur anoda

Tabel 4.28 Hasil perhitungan umur anoda

Jenis anoda korban	Umur anoda (tahun)
GA-MG-5 H-1	25
GA-MG-9 H-1	25
GA-MG-12 H-1	25
GA-MG-17 H-1	25
GA-MG-32 H-1	25
GA-MG-50 H-1	25
GA-A-1-29H	20
GA-A-1-23H	20
GA-A-2-15H	20
GA-A-2-10H	20
GA-A-1-12H	20
GA-A-1-20H	20
GA-A-2-32H	20

Tabel diatas menunjukkan hasil dari perhitungan umur anoda dapat digunakan. Umur anoda yang didapatkan dari data awal dengan hasil perhitungan tidak memiliki perbedaan. Umur anoda berperan dalam berapa lama anoda dapat digunakan. Faktor lingkungan dapat mempercepat anoda habis termakan oleh korosi.

$$Y = (W \times k \times u) / (I_p \times 8760)$$

Keterangan :

Y = Umur anoda, tahun

W = Kebutuhan berat anoda,kg

I_p = Kebutuhan arus proteksi, A

K = Kapasitas arus anoda, A.H/kg

u = Faktro utilisasi

4.2.6. Faktor ekonomis

Hasil perhitungan yang meliputi 13 anoda dari 6 anoda magnesium dan 7 anoda aluminium hanya ada 4 anoda yang dapat digunakan. Anoda yang memenuhi kriteria yaitu GA-MG-5 H-1, GA-MG-9 H-1, GA-MG-12 H-1, dan GA-A-2-10H. Pemilihan selanjutnya dengan cara optimasi biaya. Faktor biaya menjadi salah satu hal yang harus diperhatikan karena biaya yang mahal akan sangat boros. Berdasarkan Caesario 2011 yang dirujuk dari Nia Mihmidaty 2009, dijelaskan dengan mengetahui harga dari satu bahan anoda pada masing-masing bahan anoda sesuai dengan berat yang dimiliki anoda tersebut.

Tabel 4.29 Harga anoda tiap kg

Bahan Anoda	Harga Anoda
Magnesium	Rp. 90.000,-
Aluminium	Rp. 55.000,-

Tabel 4.30 Total harga anoda

Jenis Anoda	Berat Anoda	Total Anoda (buah)	Rp
GA-MG-5 H-1	5.9	105	55.755.000
GA-MG-9 H-1	12.2	51	55.998.000
GA-MG-12 H-1	14.5	43	56.115.000
GA-A-2-10H	4.5	52	12.870.000

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Untuk menjawab perumusan masalah yang telah dikemukakan di awal pada bab I, maka dapat diambil beberapa kesimpulan dari hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, yaitu:

1. Keperluan arus pada pipa bawah tanah PT. Pupuk Kalimantan Timur Kaltim-2 didapatkan sebesar 0.246 A.
2. Anoda yang digunakan pada Kaltim-2 adalah prepaced Magnesium 48 d5. Arus yang dihasilkan dari anoda tersebut sebesar 0.22 A.
3. Hasil dari perbandingan kebutuhan arus untuk pipa kaltim-2 dengan anoda yang digunakan kaltim-2 adalah kebutuhan arus untuk kaltim-2 lebih besar sehingga perlu dilakukan pergantian anoda. Anoda baru menggunakan data anoda dari perusahaan *Galvotec Alloy Inc.* Hasil perhitungan menggunakan anoda baru didapatkan hasil bahwa GA-MG-9 H-1 adalah anoda pengganti untuk prepaced Magnesium 48 d5 yang digunakan sekarang. Dengan melakukan perbandingan dengan 12 anoda lainnya dari GA-MG-9 H-1 mendapatkan nilai untuk I_a sebesar 0.129 A dan I_s sebesar 0.114 A. Harga penggunaan GA-MG-9 H-1 sebesar Rp. 55.998.000,- dengan disain umur 25 tahun.

5.2. SARAN

Beberapa hal yang dapat disarankan pada akhir dari tugas akhir ini adalah:

1. Melakukan analisa dengan menggunakan ICCP.
2. Dapat melakukan kombinasi antara ICCP dan Anoda korban sehingga dapat dihasilkan hasil yang lebih maksimal.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, D. 2011. *Sel Volta (Sel Galvani)*. <http://dessykimiapasca.wordpress.com>.
- Arif. 2013. *Sel Volta*. kimiapratikum23.blogspot.com.
- Aya. 2011. *Korosi Batas Butir*. <http://material-sciences.blogspot.com/2011/05/korosi-batas-butir.html>.
- Bai, Y. 2011. *Pipeline and riser*. Elsevier. USA.
- Caesario, A. P. 2011. *Analisa Teknis dan Ekonomis Sistem Proteksi Katodik Sacrificial Anode Dengan Metode Mapping Sector Pada Onshore Pipelines Legundi Wilayah Sbu II Jabati*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Chris. 2007. *Kyoritsu 4106 Digital Earth Tester & Resistivity Tester*. <http://www.meterdigital.com/content/kyoritsu-4106-digital-earth-tester-resistivity-tester>.
- Det Norske Veritas. 1993. *DNV RP B401, Cathodic Protection Design*. Norway.
- Furqan. M. 2013. *Macam-macam Bentuk Korosi*. <http://m10mechanicalengineering.blogspot.com>.
- Frans. 2013. *Prinsip Dasar Sistem Proteksi Katodik*. <http://www.supplierbaut.com/article-detail-170-prinsip-dasar-sistem-proteksi-katodik.html>.
- Galvotech. 2014. *Magnesium Anodes*. <http://www.galvotec.com/magnesium-anodes.htm>.

- Ginzel R. K., and Kanters. W. A. 2002. *Pipeline Corrosion and Cracking and The Associated Calibration Considerations For Same Side Sizing Applications*.
[http:// www.ndt.net/article/v07n07/ginzel_r/ginzel_r.htm](http://www.ndt.net/article/v07n07/ginzel_r/ginzel_r.htm).
- Hardianto, N. 2010. *Proteksi Katodik Lokal Pada Industri Plant dan Compressor Station*. <http://hardiananto.files.wordpress.com>.
- Iswahyudi. 2008. *Desain Sistem Proteksi Katodik Anoda Korban Pada Jaringan Pipa Pertamina UPMS V*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Liu, H. 2003. *Pipeline Engineering*. Lewis Publisher. Boca Raton London New York Washington, D.C.
- Maulana. 2009. *Tegangan, Arus, dan Daya*. ibnumaulana88.wordpress.com.
- Mouselli, A. 1981. *Offshore Pipeline Design, Analysis and Method*. Peanwell. Oklahoma.
- NACE Standard RP 0169. 2002. *Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems*. Houston. TX: NACE.
- Parker, M. E. 1984. *Pipeline Corrosion and Cathodic Protection*. Houston, TX: Gulf Publishing Company.
- Peabody, A. W. 2001. *Control of Pipeline Corrosion 2nd Edition*. Editor : Ronald L, Bianchetti. Houston.TX, NACE International.
- Quantum. 2009. *Quantum Test-O-Flex™ Cathodic Protection Test Station*. <http://www.quantummarkers.com/test-o-flex.html>.
- Rahayu, V. 2014. *Sifat Zat*. <http://dayangpelinge.blogspot.com/>.
- Rukawa. 2010. *Korosi*. <http://mechanicalvian.blogspot.com/2010/08/korosi.html>.

- Safemetals. 2012. *Aluminium Anodes*. <http://www.safemetalsrak.com/aluminium-anodes.htm>.
- Schweitzer, P. A., P.E. 1996. *Corrosion Engineering Handbook*. Marcel Dekker Inc. 270 Madison Avenue, New York.
- Suharyadi, S. 2011. *Perancangan Sistem Proteksi Katodik Metode Anoda Korban Pada Pipa PDAM kota Surabaya Jalur Distribusi Karang Pialng III – Reservoir Putat Gede dan Wonocolo*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Supomo, H. 1995. *Korosi Volume : 1*. Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Tinker and Rasor. 2012. *Test Station Accessories by Tinker and Rasor*. <http://www.farwestcorrosion.com/test-station-accessories-by-t-r.html>.
- Tutorvista. 2014. *Corrosion*. <http://chemistry.tutorvista.com/physical.chemistry/corrosion.html>.
- Utami, I. 2009. *Proteksi Katodik Dengan Anoda Tumbal Sebagai Pengendali Laju Korosi Baja Dalam Lingkungan Aqueous*. Tugas Akhir. UPN “Veteran” Jawa Timur.
- Wikipedia.com diakses tanggal 7 Juli 2013 Jam 10.21 AM *Proteksi Katodik*.
- Wisdatika, A., Retna Pancawati, dan Perdani Adnin Maiisyah. 2012. *Stainless Steel Dapat Mengalami Korosi*. <http://tsffaunsoed2009.wordpress.com>.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Asmauddin Putra dilahirkan di Bontang, 14 April 1991, Merupakan anak ke-dua dari dua bersaudara. Penulis mengenyam semua jenjang pendidikan formalnya di kota Bontang. Menyelesaikan pendidikan dasarnya di SD IT YABIS, lalu SMP IT YABIS dan lulus dari SMA YPK Bontang 2009. Penulis masuk Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SNMPTN. Penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan dengan NRP 4309100085. Penulis aktif dalam berbagai seminar dan pelatihan, baik yang diadakan oleh institut, fakultas maupun jurusan. Penulis juga aktif menjadi panitia dalam acara-acara yang diselenggarakan oleh jurusan, fakultas maupun institut. Penulis telah melaksanakan program mata kuliah Kerja Praktek di PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR. Di akhir masa kuliahnya, penulis mengambil tema tugas akhir mengenai proteksi katodik dengan menggunakan anoda tumbal pada pipa bawah tanah.

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	HASIL MONITORING PIPA GAS KALTIM-2.....	A-1
LAMPIRAN B	DENAH KALTIM-2.....	B-1
LAMPIRAN C	PERHITUNGAN ANODA TUMBAL BARU.....	C-1

LAMPIRAN A
HASIL MONITORING PIPA GAS
KALTIM-2

Tabel Lampiran 1. Hasil Monitoring bulan Januari 2012

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-866	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-960	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-860	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-862	Baik	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-887	Baik	
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-758	Kurang proteksi	Monitor TP 7
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-944	Baik	& TP 9
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-826	Kurang proteksi	

Tabel Lampiran 2. Hasil Monitoring bulan Februari 2012

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-880	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-909	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-915	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-857	Baik	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-816	Kurang proteksi	
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-760	Kurang proteksi	Monitor TP 6, TP 7,
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-918	Baik	& TP 9
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-796	Kurang proteksi	

Tabel Lampiran 3. Hasil Monitoring bulan Maret 2012

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-875	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-1164	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-885	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-856	Baik	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-810	Kurang proteksi	
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-750	Kurang proteksi	Monitor TP 6, TP 7,
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-893	Baik	& TP 9
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-784	Kurang proteksi	

Tabel Lampiran 4. Hasil Monitoring bulan April 2012

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-878	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-1058	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-885	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-858	Baik	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-810	Kurang proteksi	
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-751	Kurang proteksi	Monitor TP 6, TP 7,
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-894	Baik	& TP 9
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-780	Kurang proteksi	

Tabel Lampiran 5. Hasil Monitoring bulan Mei 2012

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-874	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-1147	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-889	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-858	Baik	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-809	Kurang proteksi	
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-743	Kurang proteksi	Monitor TP 6, TP 7,
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-904	Baik	& TP 9
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-778	Kurang proteksi	

Tabel Lampiran 6. Hasil Monitoring bulan Juli 2012

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-865	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-1042	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-900	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-860	Baik	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-825	Kurang proteksi	
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-620	Kurang proteksi	Monitor TP 6, TP 7,
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-966	Baik	& TP 9
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-770	Kurang proteksi	

Tabel Lampiran 7. Hasil Monitoring bulan Agustus 2012

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-868	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-1026	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-911	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-853	Baik	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-763	Kurang proteksi	
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-719	Kurang proteksi	Monitor TP 6, TP 7,
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-968	Baik	& TP 9
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-751	Kurang proteksi	

Tabel Lampiran 8. Hasil Monitoring bulan September 2012

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-855	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-809	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-960	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-863	Baik	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-775	Kurang proteksi	
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-695	Kurang proteksi	Monitor TP 6, TP 7,
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-964	Baik	& TP 9 (Diusulkan
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-701	Kurang proteksi	menambahana anoda

Tabel Lampiran 9. Hasil Monitoring bulan Oktober 2012

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-854	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-898	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-852	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-822	Kurang proteksi	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-1014	Baik	
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-751	Kurang proteksi	Monitor TP 5 & TP 7
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-861	Baik	
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-1047	Baik	

Tabel Lampiran 10. Hasil Monitoring bulan Desember 2012

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-857	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-890	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-863	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-852	Baik	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-925	Baik	
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-1168	Baik	
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-1052	Baik	
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-1450	Over	

Tabel Lampiran 11. Hasil Monitoring bulan Januari 2013

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-850	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-878	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-854	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-852	Baik	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-514	Kurang proteksi	Monitor TP 6, TP 7,
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-545	Kurang proteksi	& TP 9
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-996	Baik	
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-620	Kurang proteksi	

Tabel Lampiran 12. Hasil Monitoring bulan Februari 2013

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-899	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-1068	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-943	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-870	Baik	
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-761	Kurang proteksi	Monitor TP 6, TP 7,
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-720	Kurang proteksi	& TP 9
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-1064	Baik	
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-696	Kurang proteksi	

Tabel Lampiran 13. Hasil Monitoring bulan Maret 2013

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-850	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-902	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-850	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-842	Kurang proteksi	Tambahkan Anoda
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-641	Kurang proteksi	TP 5, TP 6, TP 7,
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	673	Kurang proteksi	& TP 9
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-992	Baik	
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-679	Kurang proteksi	

Tabel Lampiran 14. Hasil Monitoring bulan April 2013

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-813	Kurang proteksi	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-1014	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-913	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-920	Kurang proteksi	Tambahkan Anoda
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-882	Baik	TP 2, TP 5, TP 7,
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	675	Kurang proteksi	& TP 9
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-1010	Baik	
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-645	Kurang proteksi	

Tabel Lampiran 15. Hasil Monitoring bulan Juni 2013

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-894	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-992	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-854	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-852	Baik	Tambahkan Anoda
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-872	Baik	TP7 & TP 9
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	682	Kurang proteksi	
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-1067	Baik	
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-674	Kurang proteksi	

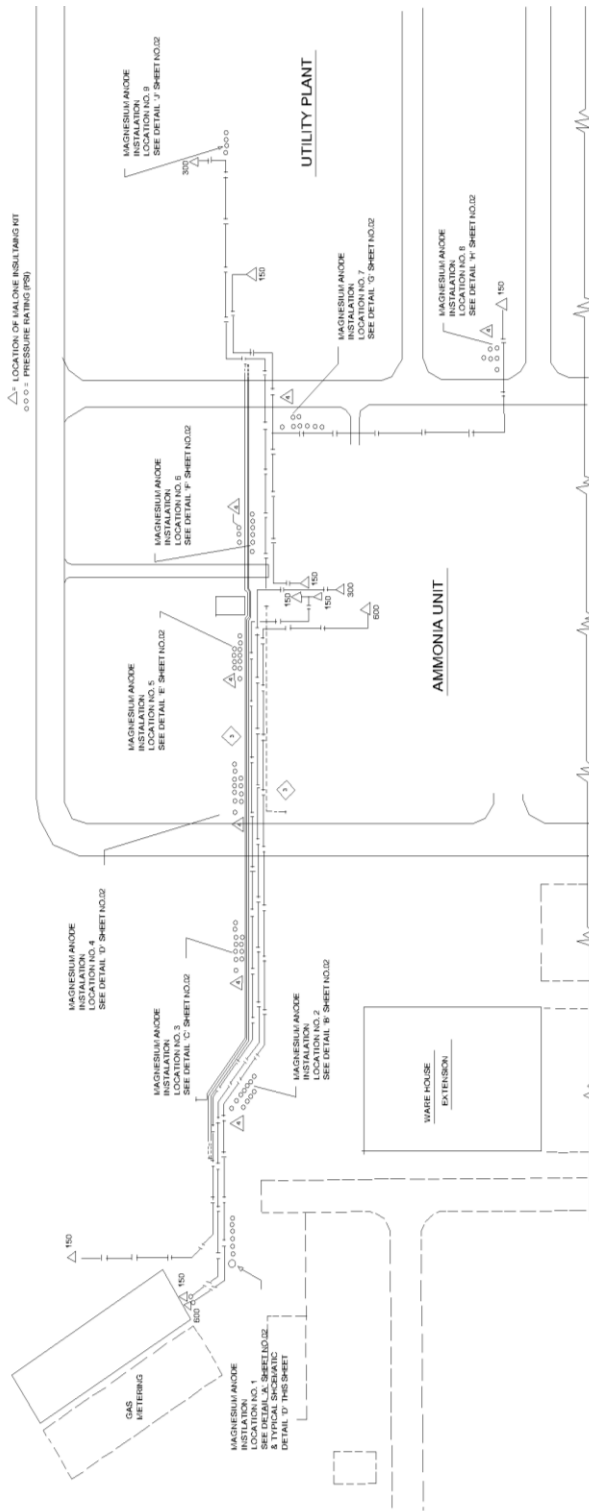
Tabel Lampiran 16. Hasil Monitoring bulan Juli 2013

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-874	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-897	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-850	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-850	Baik	Tambahkan Anoda
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-884	Baik	TP7 & TP 9
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	675	Kurang proteksi	
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-987	Baik	
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO ₄	-592	Kurang proteksi	

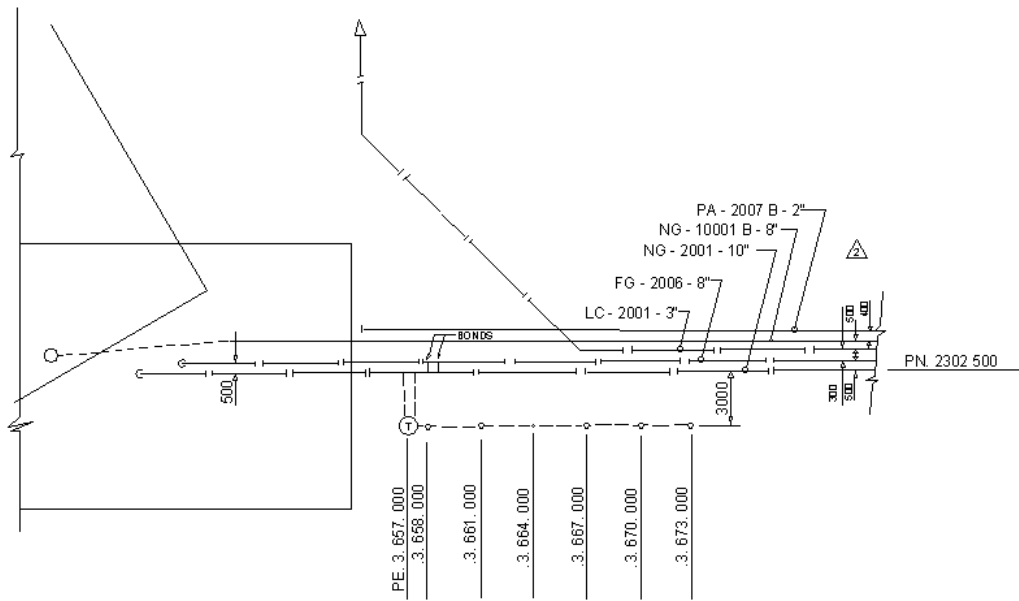
Tabel Lampiran 17. Hasil Monitoring bulan Agustus 2013

LOKASI	RANGE YANG	REF. ANODE	HASIL	STATUS	KETERANGAN
	DIBUTUHKAN (mV)		UKURAN (mV)		
UG Pipe Nat. Gas					
TP 1	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	---	---	Area SKG
TP2	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-894	Baik	
TP 3	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-992	Baik	
TP 4	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-871	Baik	
TP 5	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-752	Kurang proteksi	Tambahkan Anoda
TP 6	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-689	Kurang proteksi	TP 5, TP 6, TP 7
TP 7	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	594	Kurang proteksi	& TP 9
TP 8	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-954	Baik	
TP 9	-850 s/d -1200	Cu/CuSO4	-678	Kurang proteksi	

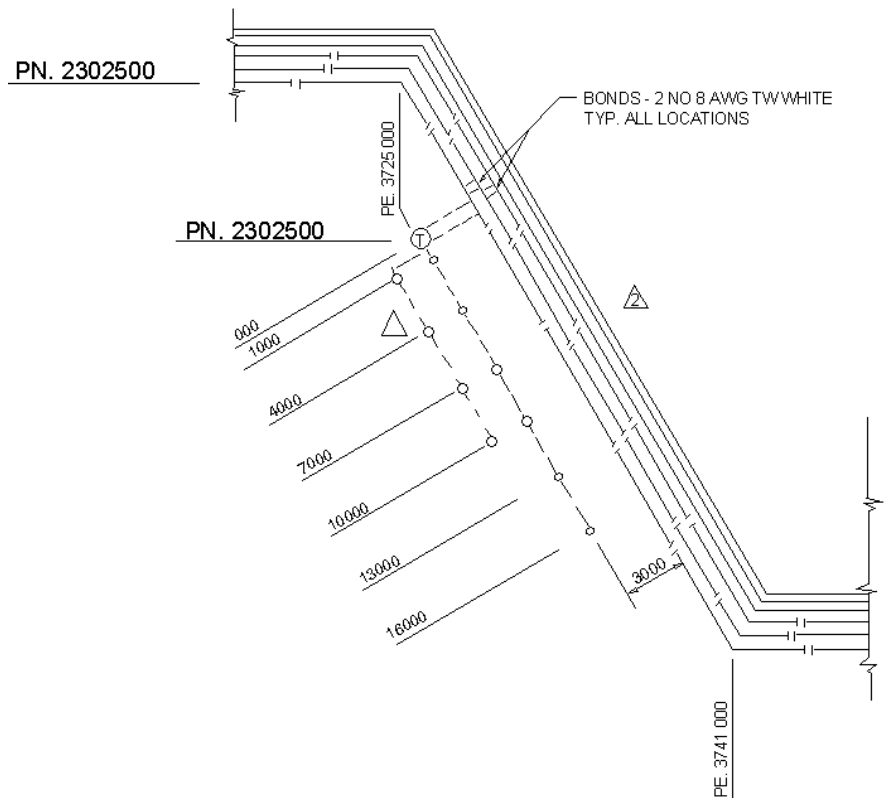
LAMPIRAN B
DENAH KALTIM-2



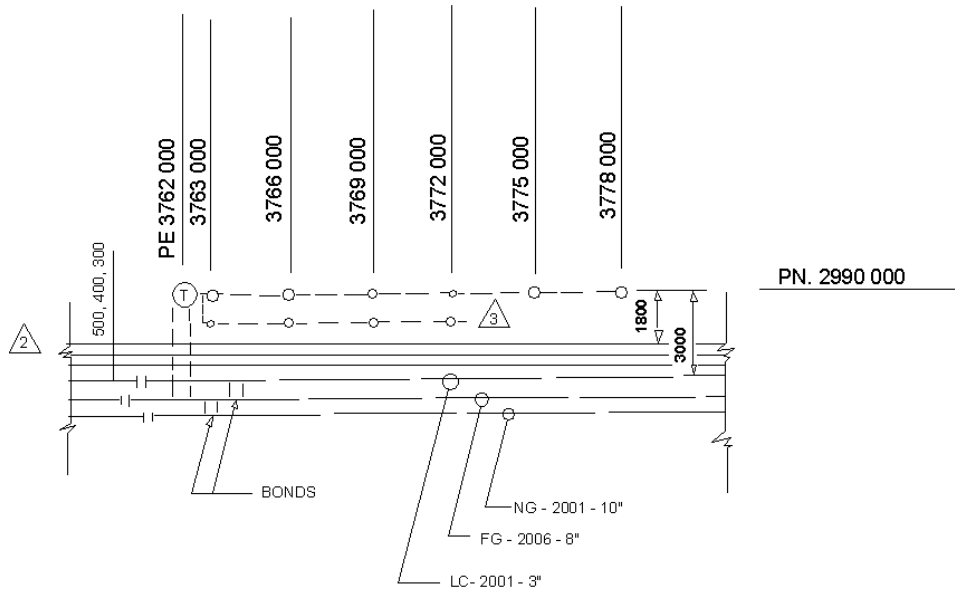
Gambar Lampiran 1. Denah Kaltim-2



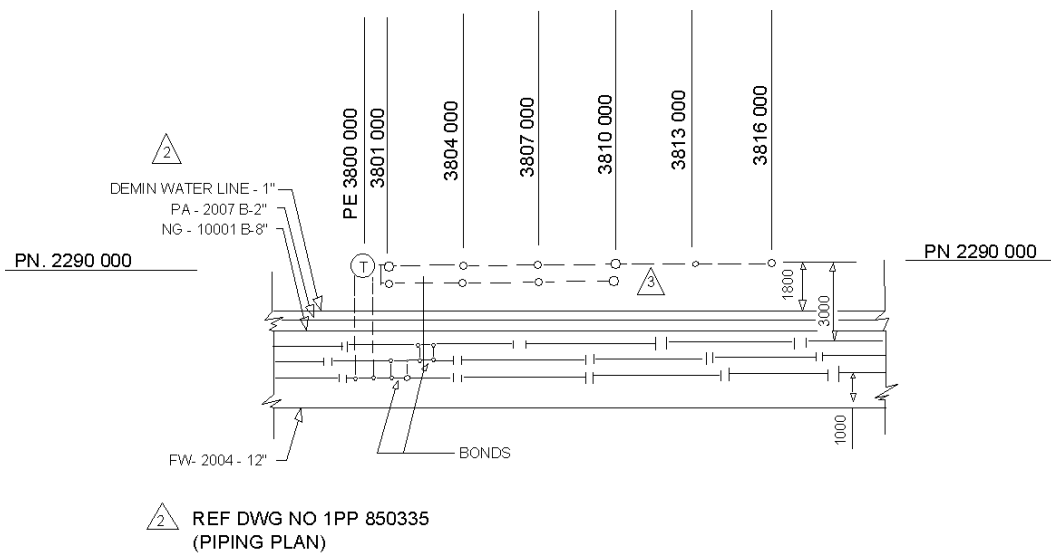
Gambar Lampiran 2. Denah pipa pada tes point 1



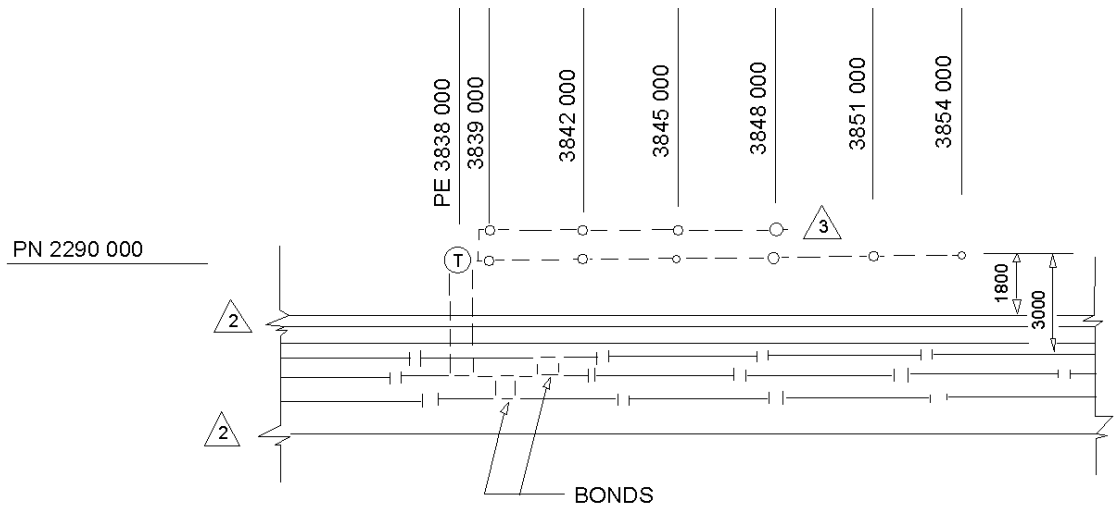
Gambar Lampiran 3. Denah pipa pada tes point 2



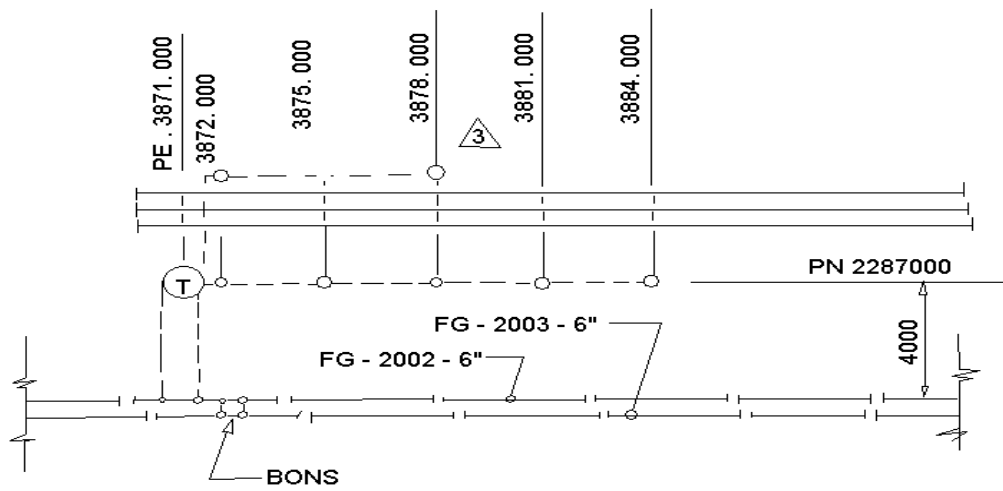
Gambar Lampiran 4. Denah pipa pada tes point 3



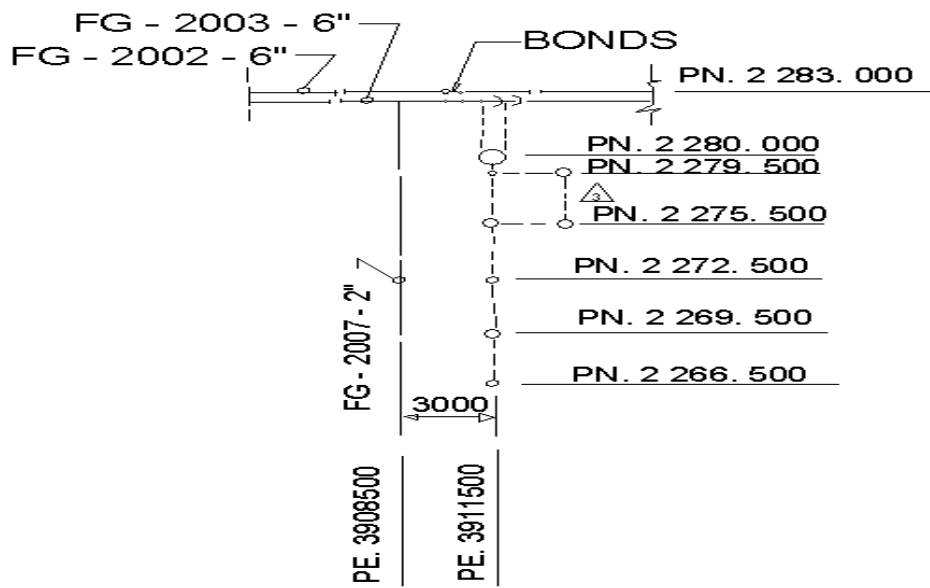
Gambar Lampiran 5. Denah pipa pada tes point 4



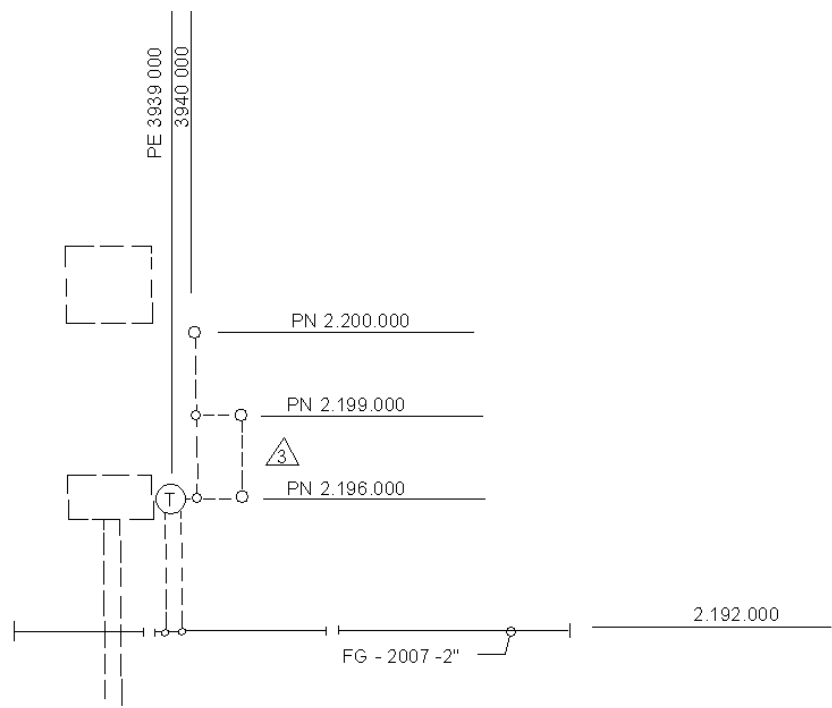
Gambar Lampiran 6. Denah pipa pada tes point 5



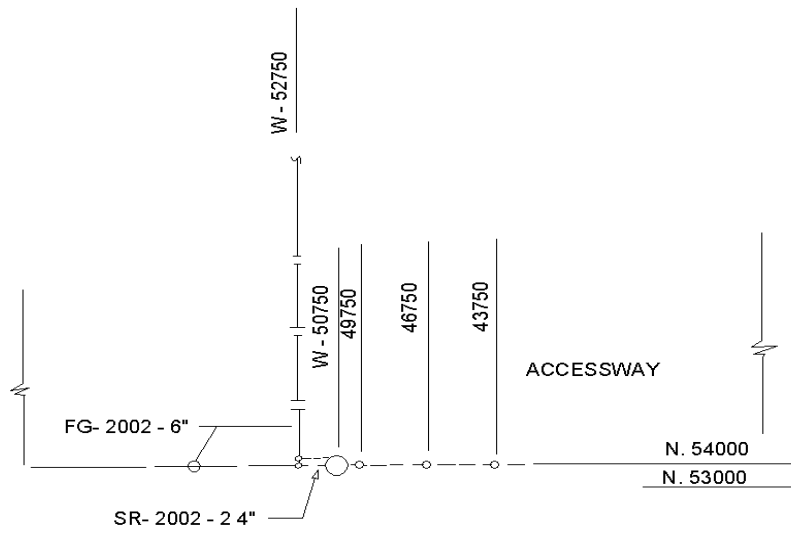
Gambar Lampiran 7. Denah pipa pada tes point 6



Gambar Lampiran 8. Denah pipa pada tes point 7



Gambar Lampiran 9. Denah pipa pada tes point 8



Gambar Lampiran 10. Denah pipa pada tes point 9

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN ANODA TUMBAL
BARU

Anoda korban GA-MG-5 H-1

Data GA-MG-5 H-1:

1. Berat : 5.9 kg
2. Lebar : 76 mm
3. Diameter : 133 mm
4. Panjang : 266 mm
5. Laju konsumsi anoda : 1191 A jam/kg
6. Efficiency : 50 %
7. Umur disain : 25 tahun

Perhitungan anoda :

1. Luas pipa yang akan diproteksi

$$\text{Pipa gas} = 0.254 \times 3.14 \times 215 \times 1.4 = 240.066 \text{ m}^2 \text{ atau } 240 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (2")} = 0.051 \times 3.14 \times 145 \times 1.4 = 32.508 \text{ m}^2 \text{ atau } 33 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (5")} = 0.127 \times 3.14 \times 249 \times 1.4 = 139.015 \text{ m}^2 \text{ atau } 140 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (8")} = 0.203 \times 3.14 \times 210 \times 1.4 = 187.402 \text{ m}^2 \text{ atau } 188 \text{ m}^2$$

$$\text{Liquid Cond.} = 0.076 \times 3.14 \times 218 \times 1.4 = 72.833 \text{ m}^2 \text{ atau } 73 \text{ m}^2$$

$$\text{Total luas pipa yang terproteksi} = 240 + 33 + 140 + 188 + 73 = 674 \text{ m}^2$$

2. Keperluan arus proteksi (I)

$$I = \text{Luas area yang akan diproteksi} \times \text{Rapat Arus}$$

$$= 674 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ mA/m}^2$$

$$= 1685 \text{ mA}$$

$$= 1.685 \text{ A}$$

3. Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)

$$W = (I \cdot M) / (K \cdot u)$$

$$= (1.685 \text{ A} \times 25 \text{ tahun} \times 8760 \text{ jam/th}) / (1191 \text{ A-jam/kg} \times 0.5)$$

$$= 620 \text{ kg}$$

4. Total Anoda (n)

$$n = \text{Total berat anoda} / \text{berat satu anoda}$$

$$n = 620 / 5.9$$

$$= 105 \text{ buah}$$

5. Jarak pemasangan antar anoda, S :

$$S = L / n$$

$$= 037 / 105$$

$$= 10 \text{ m}$$

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S :

$$I_s = \pi D S i_p$$

$$= 3.14 \times 0.711 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 2.5 \text{ mA/m}^2$$

$$= 55.107 \text{ mA}$$

$$= 0.055 \text{ A}$$

7. Anoda yang dipasang Horizontal, maka

$$R_h = (\rho / 2\pi l) \times (\ln (4l/d) - 1)$$

$$= (1000 / 2 \times 3.14 \times 28.6) (\ln (4 \times 28.6 / 13.3) - 1)$$

$$= 6.414 \Omega$$

8. Kekuatan arus anoda I_a

$$I_a = \Delta E / R_h$$

$$= 0.7 / 6.414$$

$$= 0.109 \text{ A}$$

9. Umur anoda

$$Y = (W \times K \times u) / (I_p \times 8760)$$

$$= (620 \text{ kg} \times 1191 \text{ A jam/kg} \times 0.5) / (1.685 \text{ A} \times 8760)$$

$$= 25 \text{ tahun}$$

10. $I_s \leq I_a$

$0.055 A \leq 0.109 A$OK

Anoda korban GA-MG-9 H-1

Data GA-MG-9 H-1:

- 1. Berat : 12.2 kg
- 2. Lebar : 76 mm
- 3. Diameter : 133 mm
- 4. Panjang : 508 mm
- 5. Laju konsumsi anoda : 1191 A jam/kg
- 6. Efficiency : 50 %
- 7. Umur disain : 25 tahun

Perhitungan anoda :

- 1. Luas pipa yang akan diproteksi

Pipa gas = $0.254 \times 3.14 \times 215 \times 1.4 = 240.066 \text{ m}^2$ atau 240 m^2

Fuel gas (2") = $0.051 \times 3.14 \times 145 \times 1.4 = 32.508 \text{ m}^2$ atau 33 m^2

Fuel gas (5") = $0.127 \times 3.14 \times 249 \times 1.4 = 139.015 \text{ m}^2$ atau 140 m^2

Fuel gas (8") = $0.203 \times 3.14 \times 210 \times 1.4 = 187.402 \text{ m}^2$ atau 188 m^2

Liquid Cond. = $0.076 \times 3.14 \times 218 \times 1.4 = 72.833 \text{ m}^2$ atau 73 m^2

Total luas pipa yang terproteksi = $240 + 33 + 140 + 188 + 73 = 674 \text{ m}^2$

- 2. Keperluan arus proteksi (I)

$I = \text{Luas area yang akan diproteksi} \times \text{Rapat Arus}$

$= 674 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ mA/m}^2$

$= 1685 \text{ mA}$

$= 1.685 \text{ A}$

- 3. Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)

$W = (I . M) / (K . u)$

$= (1.685 \text{ A} \times 25 \text{ tahun} \times 8760 \text{ jam/th}) / (1191 \text{ A-jam/kg} \times 0.5)$

$$= 620 \text{ kg}$$

4. Total Anoda (n)

$$n = \text{Total berat anoda} / \text{berat satu anoda}$$

$$n = 620 / 12.2$$

$$= 51 \text{ buah}$$

5. Jarak pemasangan antar anoda, S :

$$S = L / n$$

$$= 1037 / 51$$

$$= 20 \text{ m}$$

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S :

$$I_s = \pi D S i_p$$

$$= 3.14 \times 0.711 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 2.5 \text{ mA/m}^2$$

$$= 113.95 \text{ mA}$$

$$= 0.114 \text{ A}$$

7. Anoda yang dipasang Horizontal, maka

$$R_h = (\rho / 2\pi l) \times (\ln (4l/d) - 1)$$

$$= (1000 / 2 \times 3.14 \times 50.8) (\ln (4 \times 50.8 / 13.3) - 1)$$

$$= 5.412 \Omega$$

8. Kekuatan arus anoda I_a

$$I_a = \Delta E / R_h$$

$$= 0.7 / 5.412$$

$$= 0.129 \text{ A}$$

9. Umur anoda

$$Y = (W \times K \times u) / (I_p \times 8760)$$

$$= (620 \text{ kg} \times 1191 \text{ A jam/kg} \times 0.5) / (1.685 \text{ A} \times 8760)$$

= 25 tahun

10. $I_s \leq I_a$

$0.114 \text{ A} \leq 0.129 \text{ A} \dots\dots\dots \text{OK}$

Anoda korban GA-MG-12 H-1

Data GA-MG-12 H-1:

1. Berat : 14.5 kg
2. Lebar : 102 mm
3. Diameter : 191 mm
4. Panjang : 457 mm
5. Laju konsumsi anoda : 1191 A jam/kg
6. Efficiency : 50 %
7. Umur disain : 25 tahun

Perhitungan anoda :

1. Luas pipa yang akan diproteksi

Pipa gas = $0.254 \times 3.14 \times 215 \times 1.4 = 240.066 \text{ m}^2$ atau 240 m^2

Fuel gas (2") = $0.051 \times 3.14 \times 145 \times 1.4 = 32.508 \text{ m}^2$ atau 33 m^2

Fuel gas (5") = $0.127 \times 3.14 \times 249 \times 1.4 = 139.015 \text{ m}^2$ atau 140 m^2

Fuel gas (8") = $0.203 \times 3.14 \times 210 \times 1.4 = 187.402 \text{ m}^2$ atau 188 m^2

Liquid Cond. = $0.076 \times 3.14 \times 218 \times 1.4 = 72.833 \text{ m}^2$ atau 73 m^2

Total luas pipa yang terproteksi = $240 + 33 + 140 + 188 + 73 = 674 \text{ m}^2$

2. Keperluan arus proteksi (I)

$I = \text{Luas area yang akan diproteksi} \times \text{Rapat Arus}$

$= 674 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ mA/m}^2$

$= 1685 \text{ mA}$

$= 1.685 \text{ A}$

3. Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)

$$\begin{aligned}W &= (I . M) / (K . u) \\ &= (1.685 \text{ A} \times 25 \text{ tahun} \times 8760 \text{ jam/th}) / (1191 \text{ A-jam/kg} \times 0.5) \\ &= 620 \text{ kg}\end{aligned}$$

4. Total Anoda (n)

$$\begin{aligned}n &= \text{Total berat anoda} / \text{berat satu anoda} \\ n &= 620 / 14.5 \\ &= 43 \text{ buah}\end{aligned}$$

5. Jarak pemasangan antar anoda, S :

$$\begin{aligned}S &= L / n \\ &= 1037 / 43 \\ &= 24 \text{ m}\end{aligned}$$

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S :

$$\begin{aligned}I_s &= \pi D S i_p \\ &= 3.14 \times 0.711 \text{ m} \times 24 \text{ m} \times 2.5 \text{ mA/m}^2 \\ &= 135.432 \text{ mA} \\ &= 0.135 \text{ A}\end{aligned}$$

7. Anoda yang dipasang Horizontal, maka

$$\begin{aligned}R_h &= (\rho/2\pi l) \times (\ln (4l/d) - 1) \\ &= (1000 / 2 \times 3.14 \times 45.7) (\ln (4 \times 45.7 / 19.1) - 1) \\ &= 4.386 \Omega\end{aligned}$$

8. Kekuatan arus anoda I_a

$$\begin{aligned}I_a &= \Delta E / R_h \\ &= 0.7 / 4.386 \\ &= 0.160 \text{ A}\end{aligned}$$

9. Umur anoda

$$\begin{aligned} Y &= (W \times K \times u) / (I_p \times 8760) \\ &= (620 \text{ kg} \times 1191 \text{ A jam/kg} \times 0.5) / (1.685 \text{ A} \times 8760) \\ &= 25 \text{ tahun} \end{aligned}$$

10. $I_s \leq I_a$

$$0.135 \text{ A} \leq 0.160 \text{ A} \dots \dots \text{OK}$$

Anoda korban GA-MG-17 H-1

Data GA-MG-17 H-1:

1. Berat : 29.4 kg
2. Lebar : 102 mm
3. Diameter : 191 mm
4. Panjang : 610 mm
5. Laju konsumsi anoda : 1191 A jam/kg
6. Efficiency : 50 %
7. Umur disain : 25 tahun

Perhitungan anoda :

1. Luas pipa yang akan diproteksi

$$\begin{aligned} \text{Pipa gas} &= 0.254 \times 3.14 \times 215 \times 1.4 = 240.066 \text{ m}^2 \text{ atau } 240 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (2")} &= 0.051 \times 3.14 \times 145 \times 1.4 = 32.508 \text{ m}^2 \text{ atau } 33 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (5")} &= 0.127 \times 3.14 \times 249 \times 1.4 = 139.015 \text{ m}^2 \text{ atau } 140 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (8")} &= 0.203 \times 3.14 \times 210 \times 1.4 = 187.402 \text{ m}^2 \text{ atau } 188 \text{ m}^2 \\ \text{Liquid Cond.} &= 0.076 \times 3.14 \times 218 \times 1.4 = 72.833 \text{ m}^2 \text{ atau } 73 \text{ m}^2 \\ \text{Total luas pipa yang terproteksi} &= 240 + 33 + 140 + 188 + 73 = 674 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Keperluan arus proteksi (I)

$$\begin{aligned} I &= \text{Luas area yang akan diproteksi} \times \text{Rapat Arus} \\ &= 674 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ mA/m}^2 \\ &= 1685 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$= 1.685 \text{ A}$$

3. Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)

$$\begin{aligned} W &= (I \cdot M) / (K \cdot u) \\ &= (1.685 \text{ A} \times 25 \text{ tahun} \times 8760 \text{ jam/th}) / (1191 \text{ A-jam/kg} \times 0.5) \\ &= 620 \text{ kg} \end{aligned}$$

4. Total Anoda (n)

$$\begin{aligned} n &= \text{Total berat anoda} / \text{berat satu anoda} \\ n &= 620 / 29.4 \\ &= 21 \text{ buah} \end{aligned}$$

5. Jarak pemasangan antar anoda, S :

$$\begin{aligned} S &= L / n \\ &= 1037 / 21 \\ &= 49 \text{ m} \end{aligned}$$

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S :

$$\begin{aligned} I_s &= \pi D S i_p \\ &= 3.14 \times 0.711 \text{ m} \times 49 \text{ m} \times 2.5 \text{ mA/m}^2 \\ &= 274.606 \text{ mA} \\ &= 0.275 \text{ A} \end{aligned}$$

7. Anoda yang dipasang Horizontal, maka

$$\begin{aligned} R_h &= (\rho / 2\pi l) \times (\ln (4l/d) - 1) \\ &= (1000 / 2 \times 3.14 \times 61) (\ln (4 \times 61 / 19.1) - 1) \\ &= 4.040 \Omega \end{aligned}$$

8. Kekuatan arus anoda I_a

$$\begin{aligned} I_a &= \Delta E / R_h \\ &= 0.7 / 4.040 \end{aligned}$$

$$= 0.173 \text{ A}$$

9. Umur anoda

$$\begin{aligned} Y &= (W \times K \times u) / (I_p \times 8760) \\ &= (620 \text{ kg} \times 1191 \text{ A jam/kg} \times 0.5) / (1.685 \text{ A} \times 8760) \\ &= 25 \text{ tahun} \end{aligned}$$

10. $I_s \leq I_a$

$$0.275 \text{ A} \geq 0.173 \text{ A} \dots\dots\dots \text{TIDAK OK}$$

Anoda korban GA-MG-32 H-1

Data GA-MG-32 H-1:

1. Berat : 30.8 kg
2. Lebar : 127 mm
3. Diameter : 216 mm
4. Panjang : 711 mm
5. Laju konsumsi anoda : 1191 A jam/kg
6. Efficiency : 50 %
7. Umur disain : 25 tahun

Perhitungan anoda :

1. Luas pipa yang akan diproteksi

$$\begin{aligned} \text{Pipa gas} &= 0.254 \times 3.14 \times 215 \times 1.4 = 240.066 \text{ m}^2 \text{ atau } 240 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (2")} &= 0.051 \times 3.14 \times 145 \times 1.4 = 32.508 \text{ m}^2 \text{ atau } 33 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (5")} &= 0.127 \times 3.14 \times 249 \times 1.4 = 139.015 \text{ m}^2 \text{ atau } 140 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (8")} &= 0.203 \times 3.14 \times 210 \times 1.4 = 187.402 \text{ m}^2 \text{ atau } 188 \text{ m}^2 \\ \text{Liquid Cond.} &= 0.076 \times 3.14 \times 218 \times 1.4 = 72.833 \text{ m}^2 \text{ atau } 73 \text{ m}^2 \\ \text{Total luas pipa yang terproteksi} &= 240 + 33 + 140 + 188 + 73 = 674 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Keperluan arus proteksi (I)

$$I = \text{Luas area yang akan diproteksi} \times \text{Rapat Arus}$$

$$= 674 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ mA/m}^2$$

$$= 1685 \text{ mA}$$

$$= 1.685 \text{ A}$$

3. Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)

$$W = (I \cdot M) / (K \cdot u)$$

$$= (1.685 \text{ A} \times 25 \text{ tahun} \times 8760 \text{ jam/th}) / (1191 \text{ A-jam/kg} \times 0.5)$$

$$= 620 \text{ kg}$$

4. Total Anoda (n)

$$n = \text{Total berat anoda} / \text{berat satu anoda}$$

$$n = 620 / 30.8$$

$$= 20 \text{ buah}$$

5. Jarak pemasangan antar anoda, S :

$$S = L / n$$

$$= 1037 / 20$$

$$= 52 \text{ m}$$

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S :

$$I_s = \pi D S i_p$$

$$= 3.14 \times 0.711 \text{ m} \times 52 \text{ m} \times 2.5 \text{ mA/m}^2$$

$$= 287.677 \text{ mA}$$

$$= 0.288 \text{ A}$$

7. Anoda yang dipasang Horizontal, maka

$$R_h = (\rho / 2\pi l) \times (\ln (4l/d) - 1)$$

$$= (1000 / 2 \times 3.14 \times 71.1) (\ln (4 \times 71.1 / 21.6) - 1)$$

$$= 3.533 \Omega$$

8. Kekuatan arus anoda I_a

$$\begin{aligned} I_a &= \Delta E / R_h \\ &= 0.7 / 3.533 \\ &= 0.198 \text{ A} \end{aligned}$$

9. Umur anoda

$$\begin{aligned} Y &= (W \times K \times u) / (I_p \times 8760) \\ &= (620 \text{ kg} \times 1191 \text{ A jam/kg} \times 0.5) / (1.685 \text{ A} \times 8760) \\ &= 25 \text{ tahun} \end{aligned}$$

10. $I_s \leq I_a$

$$0.288 \text{ A} \geq 0.198 \text{ A} \dots\dots\dots \text{TIDAK OK}$$

Anoda korban GA-MG-50 H-1

Data GA-MG-50 H-1:

1. Berat : 45.4 kg
2. Lebar : 178 mm
3. Diameter : 254 mm
4. Panjang : 610 mm
5. Laju konsumsi anoda : 1191 A jam/kg
6. Efficiency : 50 %
7. Umur disain : 25 tahun

Perhitungan anoda :

1. Luas pipa yang akan diproteksi

$$\begin{aligned} \text{Pipa gas} &= 0.254 \times 3.14 \times 215 \times 1.4 = 240.066 \text{ m}^2 \text{ atau } 240 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (2")} &= 0.051 \times 3.14 \times 145 \times 1.4 = 32.508 \text{ m}^2 \text{ atau } 33 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (5")} &= 0.127 \times 3.14 \times 249 \times 1.4 = 139.015 \text{ m}^2 \text{ atau } 140 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (8")} &= 0.203 \times 3.14 \times 210 \times 1.4 = 187.402 \text{ m}^2 \text{ atau } 188 \text{ m}^2 \\ \text{Liquid Cond.} &= 0.076 \times 3.14 \times 218 \times 1.4 = 72.833 \text{ m}^2 \text{ atau } 73 \text{ m}^2 \\ \text{Total luas pipa yang terproteksi} &= 240 + 33 + 140 + 188 + 73 = 674 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Keperluan arus proteksi (I)

$$\begin{aligned} I &= \text{Luas area yang akan diproteksi} \times \text{Rapat Arus} \\ &= 674 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ mA/m}^2 \\ &= 1685 \text{ mA} \\ &= 1.685 \text{ A} \end{aligned}$$

3. Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)

$$\begin{aligned} W &= (I \cdot M) / (K \cdot u) \\ &= (1.685 \text{ A} \times 25 \text{ tahun} \times 8760 \text{ jam/th}) / (1191 \text{ A-jam/kg} \times 0.5) \\ &= 620 \text{ kg} \end{aligned}$$

4. Total Anoda (n)

$$\begin{aligned} n &= \text{Total berat anoda} / \text{berat satu anoda} \\ n &= 620 / 45.4 \\ &= 14 \text{ buah} \end{aligned}$$

5. Jarak pemasangan antar anoda, S :

$$\begin{aligned} S &= L / n \\ &= 1037 / 14 \\ &= 76 \text{ m} \end{aligned}$$

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S :

$$\begin{aligned} I_s &= \pi D S i_p \\ &= 3.14 \times 0.711 \text{ m} \times 76 \text{ m} \times 2.5 \text{ mA/m}^2 \\ &= 424.044 \text{ mA} \\ &= 0.424 \text{ A} \end{aligned}$$

7. Anoda yang dipasang Horizontal, maka

$$\begin{aligned} R_h &= (\rho / 2\pi l) \times (\ln (4l/d) - 1) \\ &= (1000 / 2 \times 3.14 \times 61) (\ln (4 \times 61 / 25.4) - 1) \end{aligned}$$

$$= 3.295 \Omega$$

8. Kekuatan arus anoda I_a

$$\begin{aligned} I_a &= \Delta E / R_h \\ &= 0.7 / 3.295 \\ &= 0.212 \text{ A} \end{aligned}$$

9. Umur anoda

$$\begin{aligned} Y &= (W \times K \times u) / (I_p \times 8760) \\ &= (620 \text{ kg} \times 1191 \text{ A jam/kg} \times 0.5) / (1.685 \text{ A} \times 8760) \\ &= 25 \text{ tahun} \end{aligned}$$

10. $I_s \leq I_a$

$$0.424 \text{ A} \geq 0.212 \text{ A} \dots\dots\dots \text{TIDAK OK}$$

Anoda korban GA-A-1-29H

Data GA-A-1-29H:

1. Berat : 13.2 kg
2. Lebar : 127 mm
3. Tinggi : 64 mm
4. Panjang : 619 mm
5. Laju konsumsi anoda : 2535 A jam/kg
6. Efficiency : 85 %
7. Umur disain : 20 tahun

Perhitungan anoda :

1. Luas pipa yang akan diproteksi

$$\begin{aligned} \text{Pipa gas} &= 0.254 \times 3.14 \times 215 \times 1.4 = 240.066 \text{ m}^2 \text{ atau } 240 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (2")} &= 0.051 \times 3.14 \times 145 \times 1.4 = 32.508 \text{ m}^2 \text{ atau } 33 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (5")} &= 0.127 \times 3.14 \times 249 \times 1.4 = 139.015 \text{ m}^2 \text{ atau } 140 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (8")} &= 0.203 \times 3.14 \times 210 \times 1.4 = 187.402 \text{ m}^2 \text{ atau } 188 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Liquid Cond.} = 0.076 \times 3.14 \times 218 \times 1.4 = 72.833 \text{ m}^2 \text{ atau } 73 \text{ m}^2$$

$$\text{Total luas pipa yang terproteksi} = 240 + 33 + 140 + 188 + 73 = 674 \text{ m}^2$$

2. Keperluan arus proteksi (I)

$$I = \text{Luas area yang akan diproteksi} \times \text{Rapat Arus}$$

$$= 674 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ mA/m}^2$$

$$= 1685 \text{ mA}$$

$$= 1.685 \text{ A}$$

3. Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)

$$W = (I \cdot M) / (K \cdot u)$$

$$= (1.685 \text{ A} \times 20 \text{ tahun} \times 8760 \text{ jam/th}) / (2535 \text{ A-jam/kg} \times 0.5)$$

$$= 233 \text{ kg}$$

4. Total Anoda (n)

$$n = \text{Total berat anoda} / \text{berat satu anoda}$$

$$n = 233 / 13.2$$

$$= 18 \text{ buah}$$

5. Jarak pemasangan antar anoda, S :

$$S = L / n$$

$$= 1037 / 18$$

$$= 59 \text{ m}$$

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S :

$$I_s = \pi D S i_p$$

$$= 3.14 \times 0.711 \text{ m} \times 59 \text{ m} \times 2.5 \text{ mA/m}^2$$

$$= 328.024 \text{ mA}$$

$$= 0.328 \text{ A}$$

7. Anoda yang dipasang Horizontal, maka

$$\begin{aligned} R_h &= (\rho/2\pi l) \times (\ln(4l/d) - 1) \\ &= (1000 / 2 \times 3.14 \times 61.9) (\ln(4 \times 61.9 / 12.7) - 1) \\ &= 5.068 \Omega \end{aligned}$$

8. Kekuatan arus anoda I_a

$$\begin{aligned} I_a &= \Delta E / R_h \\ &= 0.7 / 5.068 \\ &= 0.138 \text{ A} \end{aligned}$$

9. Umur anoda

$$\begin{aligned} Y &= (W \times K \times u) / (I_p \times 8760) \\ &= (233 \text{ kg} \times 2535 \text{ A jam/kg} \times 0.5) / (1.685 \text{ A} \times 8760) \\ &= 20 \text{ tahun} \end{aligned}$$

10. $I_s \leq I_a$

$$0.328 \text{ A} \geq 0.138 \text{ A} \dots\dots\dots \text{TIDAK OK}$$

Anoda korban GA-A-1-23H

Data GA-A-1-23H:

1. Berat : 10.4 kg
2. Lebar : 127 mm
3. Tinggi : 49 mm
4. Panjang : 610 mm
5. Laju konsumsi anoda : 2535 A jam/kg
6. Efficiency : 85 %
7. Umur disain : 20 tahun

Perhitungan anoda :

1. Luas pipa yang akan diproteksi

$$\begin{aligned} \text{Pipa gas} &= 0.254 \times 3.14 \times 215 \times 1.4 = 240.066 \text{ m}^2 \text{ atau } 240 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (2")} &= 0.051 \times 3.14 \times 145 \times 1.4 = 32.508 \text{ m}^2 \text{ atau } 33 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (5")} &= 0.127 \times 3.14 \times 249 \times 1.4 = 139.015 \text{ m}^2 \text{ atau } 140 \text{ m}^2 \\ \text{Fuel gas (8")} &= 0.203 \times 3.14 \times 210 \times 1.4 = 187.402 \text{ m}^2 \text{ atau } 188 \text{ m}^2 \\ \text{Liquid Cond.} &= 0.076 \times 3.14 \times 218 \times 1.4 = 72.833 \text{ m}^2 \text{ atau } 73 \text{ m}^2 \\ \text{Total luas pipa yang terproteksi} &= 240 + 33 + 140 + 188 + 73 = 674 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Keperluan arus proteksi (I)

$$\begin{aligned} I &= \text{Luas area yang akan diproteksi} \times \text{Rapat Arus} \\ &= 674 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ mA/m}^2 \\ &= 1685 \text{ mA} \\ &= 1.685 \text{ A} \end{aligned}$$

3. Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)

$$\begin{aligned} W &= (I \cdot M) / (K \cdot u) \\ &= (1.685 \text{ A} \times 20 \text{ tahun} \times 8760 \text{ jam/th}) / (2535 \text{ A-jam/kg} \times 0.5) \\ &= 233 \text{ kg} \end{aligned}$$

4. Total Anoda (n)

$$\begin{aligned} n &= \text{Total berat anoda} / \text{berat satu anoda} \\ n &= 233 / 10.4 \\ &= 22 \text{ buah} \end{aligned}$$

5. Jarak pemasangan antar anoda, S :

$$\begin{aligned} S &= L / n \\ &= 1037 / 22 \\ &= 46 \text{ m} \end{aligned}$$

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S :

$$\begin{aligned} I_s &= \pi D S i_p \\ &= 3.14 \times 0.711 \text{ m} \times 46 \text{ m} \times 2.5 \text{ mA/m}^2 \end{aligned}$$

$$= 258.443 \text{ mA}$$

$$= 0.258 \text{ A}$$

7. Anoda yang dipasang Horizontal, maka

$$R_h = (\rho/2\pi l) \times (\ln(4l/d) - 1)$$

$$= (1000 / 2 \times 3.14 \times 61) (\ln(4 \times 61 / 12.7) - 1)$$

$$= 5.105 \Omega$$

8. Kekuatan arus anoda I_a

$$I_a = \Delta E / R_h$$

$$= 0.7 / 5.105$$

$$= 0.137 \text{ A}$$

9. Umur anoda

$$Y = (W \times K \times u) / (I_p \times 8760)$$

$$= (233 \text{ kg} \times 2535 \text{ A jam/kg} \times 0.5) / (1.685 \text{ A} \times 8760)$$

$$= 20 \text{ tahun}$$

10. $I_s \leq I_a$

$$0.258 \text{ A} \geq 0.137 \text{ A} \dots\dots\dots \text{TIDAK OK}$$

Anoda korban GA-A-2-15H

Data GA-A-2-15H:

1. Berat : 7 kg
2. Lebar : 127 mm
3. Tinggi : 35 mm
4. Panjang : 546 mm
5. Laju konsumsi anoda : 2535 A jam/kg
6. Efficiency : 85 %
7. Umur disain : 20 tahun

Perhitungan anoda :

1. Luas pipa yang akan diproteksi

$$\text{Pipa gas} = 0.254 \times 3.14 \times 215 \times 1.4 = 240.066 \text{ m}^2 \text{ atau } 240 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (2")} = 0.051 \times 3.14 \times 145 \times 1.4 = 32.508 \text{ m}^2 \text{ atau } 33 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (5")} = 0.127 \times 3.14 \times 249 \times 1.4 = 139.015 \text{ m}^2 \text{ atau } 140 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (8")} = 0.203 \times 3.14 \times 210 \times 1.4 = 187.402 \text{ m}^2 \text{ atau } 188 \text{ m}^2$$

$$\text{Liquid Cond.} = 0.076 \times 3.14 \times 218 \times 1.4 = 72.833 \text{ m}^2 \text{ atau } 73 \text{ m}^2$$

$$\text{Total luas pipa yang terproteksi} = 240 + 33 + 140 + 188 + 73 = 674 \text{ m}^2$$

2. Keperluan arus proteksi (I)

$$I = \text{Luas area yang akan diproteksi} \times \text{Rapat Arus}$$

$$= 674 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ mA/m}^2$$

$$= 1685 \text{ mA}$$

$$= 1.685 \text{ A}$$

3. Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)

$$W = (I \cdot M) / (K \cdot u)$$

$$= (1.685 \text{ A} \times 20 \text{ tahun} \times 8760 \text{ jam/th}) / (2535 \text{ A-jam/kg} \times 0.5)$$

$$= 233 \text{ kg}$$

4. Total Anoda (n)

$$n = \text{Total berat anoda} / \text{berat satu anoda}$$

$$n = 233 / 7$$

$$= 33 \text{ buah}$$

5. Jarak pemasangan antar anoda, S :

$$S = L / n$$

$$= 1037 / 33$$

$$= 31 \text{ m}$$

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S :

$$\begin{aligned} I_s &= \pi D S i_p \\ &= 3.14 \times 0.711 \text{ m} \times 31 \text{ m} \times 2.5 \text{ mA/m}^2 \\ &= 173.952 \text{ mA} \\ &= 0.174 \text{ A} \end{aligned}$$

7. Anoda yang dipasang Horizontal, maka

$$\begin{aligned} R_h &= (\rho/2\pi l) \times (\ln(4l/d) - 1) \\ &= (1000 / 2 \times 3.14 \times 54.6) (\ln(4 \times 54.6 / 12.7) - 1) \\ &= 5.380 \Omega \end{aligned}$$

8. Kekuatan arus anoda I_a

$$\begin{aligned} I_a &= \Delta E / R_h \\ &= 0.7 / 5.380 \\ &= 0.130 \text{ A} \end{aligned}$$

9. Umur anoda

$$\begin{aligned} Y &= (W \times K \times u) / (I_p \times 8760) \\ &= (233 \text{ kg} \times 2535 \text{ A jam/kg} \times 0.5) / (1.685 \text{ A} \times 8760) \\ &= 20 \text{ tahun} \end{aligned}$$

10. $I_s \leq I_a$

$$0.174 \text{ A} \geq 0.130 \text{ A} \dots\dots\dots \text{TIDAK OK}$$

Anoda korban GA-A-2-10H

Data GA-A-2-10H:

1. Berat : 4.5 kg
2. Lebar : 165 mm
3. Tinggi : 32 mm
4. Panjang : 356 mm
5. Laju konsumsi anoda : 2535 A jam/kg

6. Efficiency : 85 %

7. Umur disain : 20 tahun

Perhitungan anoda :

1. Luas pipa yang akan diproteksi

$$\text{Pipa gas} = 0.254 \times 3.14 \times 215 \times 1.4 = 240.066 \text{ m}^2 \text{ atau } 240 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (2")} = 0.051 \times 3.14 \times 145 \times 1.4 = 32.508 \text{ m}^2 \text{ atau } 33 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (5")} = 0.127 \times 3.14 \times 249 \times 1.4 = 139.015 \text{ m}^2 \text{ atau } 140 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (8")} = 0.203 \times 3.14 \times 210 \times 1.4 = 187.402 \text{ m}^2 \text{ atau } 188 \text{ m}^2$$

$$\text{Liquid Cond.} = 0.076 \times 3.14 \times 218 \times 1.4 = 72.833 \text{ m}^2 \text{ atau } 73 \text{ m}^2$$

$$\text{Total luas pipa yang terproteksi} = 240 + 33 + 140 + 188 + 73 = 674 \text{ m}^2$$

2. Keperluan arus proteksi (I)

$$I = \text{Luas area yang akan diproteksi} \times \text{Rapat Arus}$$

$$= 674 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ mA/m}^2$$

$$= 1685 \text{ mA}$$

$$= 1.685 \text{ A}$$

3. Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)

$$W = (I \cdot M) / (K \cdot u)$$

$$= (1.685 \text{ A} \times 20 \text{ tahun} \times 8760 \text{ jam/th}) / (2535 \text{ A-jam/kg} \times 0.5)$$

$$= 233 \text{ kg}$$

4. Total Anoda (n)

$$n = \text{Total berat anoda} / \text{berat satu anoda}$$

$$n = 233 / 4.5$$

$$= 52 \text{ buah}$$

5. Jarak pemasangan antar anoda, S :

$$S = L / n$$

$$= 1037 / 52$$

$$= 20 \text{ m}$$

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S :

$$\begin{aligned} I_s &= \pi D S i_p \\ &= 3.14 \times 0.711 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 2.5 \text{ mA/m}^2 \\ &= 111.826 \text{ mA} \\ &= 0.112 \text{ A} \end{aligned}$$

7. Anoda yang dipasang Horizontal, maka

$$\begin{aligned} R_h &= (\rho/2\pi l) \times (\ln(4l/d) - 1) \\ &= (1000 / 2 \times 3.14 \times 35.6) (\ln(4 \times 35.6 / 16.5) - 1) \\ &= 5.167 \Omega \end{aligned}$$

8. Kekuatan arus anoda I_a

$$\begin{aligned} I_a &= \Delta E / R_h \\ &= 0.7 / 5.167 \\ &= 0.135 \text{ A} \end{aligned}$$

9. Umur anoda

$$\begin{aligned} Y &= (W \times K \times u) / (I_p \times 8760) \\ &= (233 \text{ kg} \times 2535 \text{ A jam/kg} \times 0.5) / (1.685 \text{ A} \times 8760) \\ &= 20 \text{ tahun} \end{aligned}$$

10. $I_s \leq I_a$

$$0.112 \text{ A} \leq 0.135 \text{ A} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Anoda korban GA-A-1-12H

Data GA-A-1-12H:

1. Berat : 5.4 kg
2. Lebar : 57 mm
3. Tinggi : 114 mm

4. Panjang : 356 mm
5. Laju konsumsi anoda : 2535 A jam/kg
6. Efficiency : 85 %
7. Umur disain : 20 tahun

Perhitungan anoda :

1. Luas pipa yang akan diproteksi

$$\text{Pipa gas} = 0.254 \times 3.14 \times 215 \times 1.4 = 240.066 \text{ m}^2 \text{ atau } 240 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (2")} = 0.051 \times 3.14 \times 145 \times 1.4 = 32.508 \text{ m}^2 \text{ atau } 33 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (5")} = 0.127 \times 3.14 \times 249 \times 1.4 = 139.015 \text{ m}^2 \text{ atau } 140 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (8")} = 0.203 \times 3.14 \times 210 \times 1.4 = 187.402 \text{ m}^2 \text{ atau } 188 \text{ m}^2$$

$$\text{Liquid Cond.} = 0.076 \times 3.14 \times 218 \times 1.4 = 72.833 \text{ m}^2 \text{ atau } 73 \text{ m}^2$$

$$\text{Total luas pipa yang terproteksi} = 240 + 33 + 140 + 188 + 73 = 674 \text{ m}^2$$

2. Keperluan arus proteksi (I)

$$I = \text{Luas area yang akan diproteksi} \times \text{Rapat Arus}$$

$$= 674 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ mA/m}^2$$

$$= 1685 \text{ mA}$$

$$= 1.685 \text{ A}$$

3. Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)

$$W = (I \cdot M) / (K \cdot u)$$

$$= (1.685 \text{ A} \times 20 \text{ tahun} \times 8760 \text{ jam/th}) / (2535 \text{ A-jam/kg} \times 0.5)$$

$$= 233 \text{ kg}$$

4. Total Anoda (n)

$$n = \text{Total berat anoda} / \text{berat satu anoda}$$

$$n = 233 / 5.4$$

$$= 43 \text{ buah}$$

5. Jarak pemasangan antar anoda, S :

$$\begin{aligned} S &= L / n \\ &= 1037 / 43 \\ &= 24 \text{ m} \end{aligned}$$

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S :

$$\begin{aligned} I_s &= \pi D S i_p \\ &= 3.14 \times 0.711 \text{ m} \times 24 \text{ m} \times 2.5 \text{ mA/m}^2 \\ &= 134.191 \text{ mA} \\ &= 0.134 \text{ A} \end{aligned}$$

7. Anoda yang dipasang Horizontal, maka

$$\begin{aligned} R_h &= (\rho/2\pi l) \times (\ln(4l/d) - 1) \\ &= (1000 / 2 \times 3.14 \times 35.6) (\ln(4 \times 35.6 / 5.7) - 1) \\ &= 9.922 \Omega \end{aligned}$$

8. Kekuatan arus anoda I_a

$$\begin{aligned} I_a &= \Delta E / R_h \\ &= 0.7 / 9.922 \\ &= 0.071 \text{ A} \end{aligned}$$

9. Umur anoda

$$\begin{aligned} Y &= (W \times K \times u) / (I_p \times 8760) \\ &= (233 \text{ kg} \times 2535 \text{ A jam/kg} \times 0.5) / (1.685 \text{ A} \times 8760) \\ &= 20 \text{ tahun} \end{aligned}$$

10. $I_s \leq I_a$

$$0.134 \text{ A} \geq 0.071 \text{ A} \dots\dots\dots \text{TIDAK OK}$$

Anoda korban GA-A-1-20H

Data GA-A-1-20H:

1. Berat : 9.1 kg
2. Lebar : 57 mm
3. Tinggi : 114 mm
4. Panjang : 610 mm
5. Laju konsumsi anoda : 2535 A jam/kg
6. Efficiency : 85 %
7. Umur disain : 20 tahun

Perhitungan anoda :

1. Luas pipa yang akan diproteksi

$$\text{Pipa gas} = 0.254 \times 3.14 \times 215 \times 1.4 = 240.066 \text{ m}^2 \text{ atau } 240 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (2")} = 0.051 \times 3.14 \times 145 \times 1.4 = 32.508 \text{ m}^2 \text{ atau } 33 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (5")} = 0.127 \times 3.14 \times 249 \times 1.4 = 139.015 \text{ m}^2 \text{ atau } 140 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuel gas (8")} = 0.203 \times 3.14 \times 210 \times 1.4 = 187.402 \text{ m}^2 \text{ atau } 188 \text{ m}^2$$

$$\text{Liquid Cond.} = 0.076 \times 3.14 \times 218 \times 1.4 = 72.833 \text{ m}^2 \text{ atau } 73 \text{ m}^2$$

$$\text{Total luas pipa yang terproteksi} = 240 + 33 + 140 + 188 + 73 = 674 \text{ m}^2$$

2. Keperluan arus proteksi (I)

$$I = \text{Luas area yang akan diproteksi} \times \text{Rapat Arus}$$

$$= 674 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ mA/m}^2$$

$$= 1685 \text{ mA}$$

$$= 1.685 \text{ A}$$

3. Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)

$$W = (I \cdot M) / (K \cdot u)$$

$$= (1.685 \text{ A} \times 20 \text{ tahun} \times 8760 \text{ jam/th}) / (2535 \text{ A-jam/kg} \times 0.5)$$

$$= 233 \text{ kg}$$

4. Total Anoda (n)

$$\begin{aligned}n &= \text{Total berat anoda} / \text{berat satu anoda} \\n &= 233 / 9.1 \\&= 26 \text{ buah}\end{aligned}$$

5. Jarak pemasangan antar anoda, S :

$$\begin{aligned}S &= L / n \\&= 1037 / 26 \\&= 41 \text{ m}\end{aligned}$$

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S :

$$\begin{aligned}I_s &= \pi D S i_p \\&= 3.14 \times 0.711 \text{ m} \times 41 \text{ m} \times 2.5 \text{ mA/m}^2 \\&= 226.137 \text{ mA} \\&= 0.226 \text{ A}\end{aligned}$$

7. Anoda yang dipasang Horizontal, maka

$$\begin{aligned}R_h &= (\rho/2\pi l) \times (\ln(4l/d) - 1) \\&= (1000 / 2 \times 3.14 \times 61) (\ln(4 \times 61 / 5.7) - 1) \\&= 7.196 \Omega\end{aligned}$$

8. Kekuatan arus anoda I_a

$$\begin{aligned}I_a &= \Delta E / R_h \\&= 0.7 / 7.196 \\&= 0.097 \text{ A}\end{aligned}$$

9. Umur anoda

$$\begin{aligned}Y &= (W \times K \times u) / (I_p \times 8760) \\&= (233 \text{ kg} \times 2535 \text{ A jam/kg} \times 0.5) / (1.685 \text{ A} \times 8760) \\&= 20 \text{ tahun}\end{aligned}$$

10. $I_s \leq I_a$

$0.226 A \geq 0.097 A$TIDAK OK

Anoda korban GA-A-2-32H

Data GA-A-2-32H:

- 1. Berat : 14.5 kg
- 2. Lebar : 51 mm
- 3. Tinggi : 254 mm
- 4. Panjang : 508 mm
- 5. Laju konsumsi anoda : 2535 A jam/kg
- 6. Efficiency : 85 %
- 7. Umur disain : 20 tahun

Perhitungan anoda :

- 1. Luas pipa yang akan diproteksi

Pipa gas = $0.254 \times 3.14 \times 215 \times 1.4 = 240.066 \text{ m}^2$ atau 240 m^2

Fuel gas (2") = $0.051 \times 3.14 \times 145 \times 1.4 = 32.508 \text{ m}^2$ atau 33 m^2

Fuel gas (5") = $0.127 \times 3.14 \times 249 \times 1.4 = 139.015 \text{ m}^2$ atau 140 m^2

Fuel gas (8") = $0.203 \times 3.14 \times 210 \times 1.4 = 187.402 \text{ m}^2$ atau 188 m^2

Liquid Cond. = $0.076 \times 3.14 \times 218 \times 1.4 = 72.833 \text{ m}^2$ atau 73 m^2

Total luas pipa yang terproteksi = $240 + 33 + 140 + 188 + 73 = 674 \text{ m}^2$

- 2. Keperluan arus proteksi (I)

$I = \text{Luas area yang akan diproteksi} \times \text{Rapat Arus}$

$= 674 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ mA/m}^2$

$= 1685 \text{ mA}$

$= 1.685 \text{ A}$

- 3. Total Berat Anoda Yang diperlukan (W)

$W = (I . M) / (K . u)$

$= (1.685 \text{ A} \times 20 \text{ tahun} \times 8760 \text{ jam/th}) / (2535 \text{ A-jam/kg} \times 0.5)$

$$= 233 \text{ kg}$$

4. Total Anoda (n)

$$n = \text{Total berat anoda} / \text{berat satu anoda}$$

$$n = 233 / 14.5$$

$$= 16 \text{ buah}$$

5. Jarak pemasangan antar anoda, S :

$$S = L / n$$

$$= 1037 / 16$$

$$= 65 \text{ m}$$

6. Keperluan arus proteksi untuk jarak S :

$$I_s = \pi D S i_p$$

$$= 3.14 \times 0.711 \text{ m} \times 65 \text{ m} \times 2.5 \text{ mA/m}^2$$

$$= 360.329 \text{ mA}$$

$$= 0.360 \text{ A}$$

7. Anoda yang dipasang Horizontal, maka

$$R_h = (\rho / 2\pi l) \times (\ln (4l/d) - 1)$$

$$= (1000 / 2 \times 3.14 \times 50.8) (\ln (4 \times 50.8 / 5.1) - 1)$$

$$= 8.416 \Omega$$

8. Kekuatan arus anoda I_a

$$I_a = \Delta E / R_h$$

$$= 0.7 / 8.416$$

$$= 0.083 \text{ A}$$

9. Umur anoda

$$Y = (W \times K \times u) / (I_p \times 8760)$$

$$= (233 \text{ kg} \times 2535 \text{ A jam/kg} \times 0.5) / (1.685 \text{ A} \times 8760)$$

= 20 tahun

10. $I_s \leq I_a$

0.360 A \geq 0.083 A.....TIDAK OK