

SKRIPSI

PEMBUATAN SOFTWARE PERENCANAAN PROTEKSI KATODIK DALAM PENGENDALIAN KOROSI PIPA PADA JARINGAN DISTRIBUSI AIR BERSIH DENGAN VISUAL BASIC 6.0

Oleh :

Zainal Yunia Abidin
0126049



PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2008

3000

ВНЕШНЕДИПЛОМАТИЧЕСКОЕ МИНИСТЕРСТВО
СОВЕТСКОГО СОЮЗА
УПРАВЛЕНИЕ ПРОТОКОЛАМИ
И СВЯЗЬЮ С ПРЕСЕЙ
И ОБЩЕСТВЕННЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ



0130010
СВЯЗЬ С ПРЕСЕЙ
И ОБЩЕСТВЕННЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

ВНЕШНЕДИПЛОМАТИЧЕСКОЕ МИНИСТЕРСТВО
СОВЕТСКОГО СОЮЗА
УПРАВЛЕНИЕ ПРОТОКОЛАМИ
И СВЯЗЬЮ С ПРЕСЕЙ
И ОБЩЕСТВЕННЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

3000

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PEMBUATAN SOFTWARE PERENCANAAN PROTEKSI KATODIK
DALAM PENGENDALIAN KOROSI PIPA PADA JARINGAN
DISTRIBUSI AIR BERSIH DENGAN
VISUAL BASIC 6.0**

Oleh :

Zainal Yunia Abidin

0126049

Menyetujui

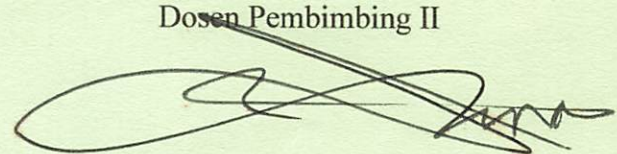
Tim Pembimbing

Dosen Pembimbing I


Candra Dwi Ratna, ST. MT

NIP.Y. 1030000349

Dosen Pembimbing II


Drs. Melik Sumanandar, MSED

NIP.Y. 1018700156

Mengetahui

Ketua Jurusan/Prodi Teknik Lingkungan


Sudiro, ST. MT

NIP.Y. 1039900327

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**PEMBUATAN SOFTWARE PERENCANAAN PROTEKSI KATODIK
DALAM PENGENDALIAN KOROSI PIPA PADA JARINGAN
DISTRIBUSI AIR BERSIH DENGAN
VISUAL BASIC 6.0**

Oleh :

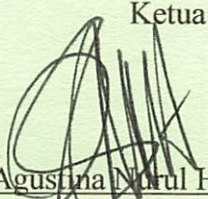
Zainal Yunia Abidin**0126049**

Telah dipertahankan dihadapan Dewan Penguji pada Ujian Komprehensif Skripsi Jurusan/Program Studi Teknik Lingkungan Jenjang Strata satu (S-1) ; dan diterima untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada tanggal 19 Maret 2008.

Mengetahui

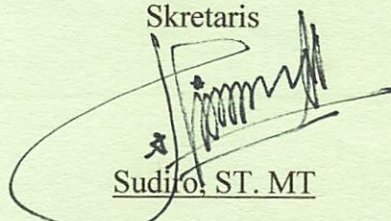
Panitia Ujian Komprehensif Skripsi

Ketua



Ir. Agustina Nurul Hidayati, MPT
NIP.Y. 103900214

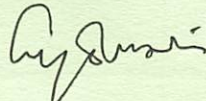
Sekretaris



Sudiro, ST. MT
NIP.Y. 1039900327

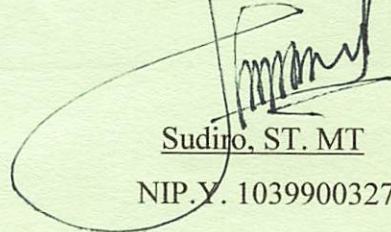
Dewan Penguji

Dosen Penguji I



Tuani Lidiawati, ST. MT

Dosen Penguji II



Sudiro, ST. MT
NIP.Y. 1039900327

Yunia Abidin Zainal , Dwiratna Candra, Sumanandar Melik, 2008. **Pembuatan Software Perencanaan Proteksi Katodik Dalam Pengendalian Korosi Pipa Pada Jaringan Distribusi Air Bersih Dengan Visual basic 6.0.** Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, Institut Teknologi Nasional Malang.

ABSTRAK

Korosi termasuk salah satu masalah yang harus dihadapi oleh ahli-ahli teknik yang berhubungan dengan suatu konstruksi yang terbuat dari logam. Serangan korosi umumnya sangat merugikan dalam bidang ekonomi dan dalam beberapa kasus tertentu dapat membahayakan kesehatan manusia. Salah satu konstruksi dari logam yang dapat terkorosi adalah pada pipa jaringan distribusi air bersih yang ditanam dalam tanah. Korosi merupakan proses alamiah, sehingga tidak dapat dicegah. Walaupun demikian korosi dapat dikendalikan sehingga laju korosi dapat ditekan seminimal mungkin. Pengendaliannya dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah menggunakan metode proteksi katodik. Proses perencanaan pengendalian korosi pada pipa dengan proteksi katodik memerlukan beberapa proses yang saling terkait, yaitu banyaknya rumus, variabel dan koefisien yang harus dipertimbangkan dalam pemakaiannya, sehingga perhitungan perlu dilakukan dengan teliti dan membutuhkan waktu yang lama.

Untuk mempermudah proses perencanaan pengendalian korosi dengan menggunakan metode proteksi katodik, akan amat membantu apabila proses perencanaan dilakukan dengan mempergunakan bantuan komputer, yaitu dibuat suatu perangkat lunak atau program. Salah satu software yang dapat digunakan dalam pembuatan sebuah perangkat lunak adalah Microsoft Visual Basic 6.0. Kelebihan perangkat lunak ini apabila dibandingkan dengan program aplikasi lainnya, yaitu sebuah cara yang paling sederhana untuk membuat aplikasi berbasis windows.

Output dari perangkat lunak ini antara lain jenis dan jumlah anoda yang digunakan, lama waktu perlindungan, jenis kabel dan metode yang digunakan. Dengan dibuat perangkat lunak pengendalian korosi dengan metode proteksi katodik, maka pemilihan jenis anoda dapat dilakukan dengan mudah, cepat dan tepat.

Kata Kunci : Korosi, Proteksi Katodik, Microsoft Visual Basic 6.0.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan anugerah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pembuatan Software Perencanaan Proteksi Katodik Dalam Pengendalian Korosi Pipa Pada Jaringan Distribusi Air Bersih Dengan Visual Basic 6.0”**. Penyusunan Skripsi merupakan salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.

Terselesainya Skripsi ini tidak lepas dari bantuan semua pihak yang telah memberikan bantuan semangat dan bimbingan kepada penyusun. Pada kesempatan ini penyusun menyampaikan rasa hormat dan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Sudiro, ST. MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan.
2. Ibu Candra Dwiratna, ST. MT, selaku dosen pembimbing I.
3. Bapak Drs. Melik Sumanandar, MSED, selaku dosen pembimbing II.
4. Semua teman-teman yang telah memberikan dukungan serta bantuan dalam menyelesaikan Skripsi ini.

Penyusun menyadari bahwa manusia tidak lepas dari kesalahan, oleh karena itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat dibutuhkan untuk kesempurnaan Laporan Skripsi ini. Untuk kritik dan saran yang diberikan sebelumnya penyusun mengucapkan terima kasih.

Malang, Maret 2008

PENYUSUN

DAFTAR ISI

Lembar Persetujuan	ii
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vi
Daftar Tabel	x
Daftar Gambar	xi
Daftar Grafik	xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Ruang Lingkup	3

BAB II TINJUAN PUSTAKA

2.1. Teori Korosi	5
2.1.1. Pengertian Korosi	5
2.1.2. Terjadinya Korosi	5
2.2. Jenis-jenis Korosi	7
2.2.1. Korosi Merata	7
2.2.2. Korosi Sumuran	8
2.2.3. Korosi Antar Butir	8
2.2.4. Korosi Erosi	9
2.2.5. Korosi Galvanik	9
2.2.6. Korosi Celah	10
2.3. Metode Pencegahan Korosi	11
2.3.1. Pelapisan	11
2.3.2. Perlakuan Lingkungan	11
2.3.3. Pemilihan Material	12

2.3.4. Desain Berlebih dan Perbaiki Desain	12
2.3.5. Proteksi Katodik	12
2.4. Informasi Yang Dipergunakan Dalam Aplikasi Proteksi Katodik Pipa	
Dalam Tanah	12
2.5. Beberapa Hal Yang Harus Diperhatikan Pemasangan Perpipaan	20
2.6. Pemilihan Metode Proteksi Katodik	22
2.7. Kemungkinan Penyimpangan dan Kerusakan Instalasi	23
2.8. Proteksi Katodik	24
2.8.1. Prinsip Proteksi Katodik	24
2.8.2. Kebutuhan Arus Proteksi	25
2.8.3. Efek dan Gangguan Dalam Proteksi Katodik	27
2.9. Metode Proteksi Katodik	28
2.9.1. Metode Anoda Korban (Sacrificial Anode)	28
2.9.1.1. Penanaman Anoda	33
2.9.1.2. Test Point	35
2.9.2. Metode Arus Terpasang (Impressed Current)	36
2.9.2.1. Cara Penanaman Anoda	41
2.9.2.2. Test Point	42
2.10. Algoritma	42
2.10.1. Pengertian Algoritma	42
2.10.2. Aturan Penulisan Teks Algoritma	42
2.10.3. Teks Algoritma	43
2.10.4. Analisa Algoritma	44
2.11. Flowchart	45
2.11.1. Bagan Alir Sistem	46
2.11.2. Bagan Alir Skematik (Schematic Flowchart)	48
2.11.3. Bagan Alir Program (Program Flowchart)	48
2.11.4. Bagan Alir Proses (Process Flowchart)	49
2.12. Pengenalan Bahasa Pemrograman	50
2.12.1. Istilah Dasar	50
2.12.2. Teknik Pemrograman	51
2.13. Microsoft Visual Basic	52

2.13.1. Integrated Development Environment (IDE) VB 6	52
2.13.2. Konsep Dasar Pemrograman	53
2.13.3. Object Linking and Embedding (OLE)	57
2.13.4. Pembuatan Program Pada Visual Basic	57
BAB III METODOLOGI	
3.1. Kerangka Skripsi	60
3.2. Tahapan Pelaksanaan	61
3.2.1. Konsep Skripsi	61
3.2.2. Studi Pustaka	61
3.2.3. Perencanaan Program	61
3.2.4. Pembuatan Algoritma	62
3.2.5. Pembuatan Diagram Alir (Flowchart)	62
3.2.6. Pembahasan	62
3.2.7. Kesimpulan dan Saran	62
BAB IV IMPLEMENTASI PROGRAM DAN PEMBAHASAN	
4.1. Pelaksanaan Perencanaan Proteksi Katodik	63
4.1.1. Pengumpulan Data Karakteristik Parameter Pipa	63
4.1.1.1. Gambaran Umum Obyek Studi	64
4.1.1.2. Parameter Pipa	64
4.1.2. Kriteria Perencanaan Sistem Proteksi Pipa	64
4.1.3. Perhitungan Desain Proteksi Katodik	65
4.1.4. Hasil Perhitungan Perencanaan	69
4.1.5. Teknik Instalasi Penanaman Pipa dan Anoda	70
4.2. Pengaruh Kriteria Coating Pipa Terhadap Anoda	71
4.3. Perencanaan Software Pipe Cathodik Protektor	72
4.3.1. Program Utama	72
4.3.1.1. Program Sacrificial Anode (Anoda Korban)	72
4.3.1.2. Program Impressed Current (Arus Terpasang)	73
4.4. Algoritma	73
4.5. Diagram Alir	76

4.6. Penggunaan dan Tampilan Program	80
4.6.1. Instalasi Program	80
4.6.2. Menjalankan Program	83
4.6.3. Keterangan Menu Bar	92
4.7. Penyelesaian Kasus Menggunakan Software Pipe Cathodik Protektor	94
4.8. Kelebihan dan Kekurangan Program	95
4.8.1. Kelebihan Program Pipe Cathodik Protector	95
4.8.2. Kekurangan Program Pipe Cathodik Protector	95
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	95
5.2. Saran	95
Daftar Pustaka	
Lampiran	
Lembar Persembahan	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Hubungan Resistivitas dan Korosifitas	13
Tabel 2.2.	Hubungan Potensial Redoks dan Sifat Korosi Oleh Bakteri	15
Tabel 2.3.	Spesifikasi coating	17
Tabel 2.4.	Spesifikasi Backfill	18
Tabel 2.5.	Kebutuhan Arus Proteksi	26
Tabel 2.6.	Spesifikasi Zinnode dan Magnode	30
Tabel 2.7.	Simbol-simbol Yang digunakan Dalam Sistem Flowchart	46
Tabel 2.8.	Simbol-simbol Yang digunakan Dalam Program Flowchart	49
Tabel 2.9.	Simbol-simbol Yang digunakan Dalam Proses Flowchart	50
Tabel 2.10.	Property Object Form	55
Tabel 2.11.	Property Object Textbox	55
Tabel 2.12.	Event Object Textbox	56
Tabel 2.13.	Event Object Form	56
Tabel 4.1.	Hasil Perhitungan Masing-masing Anoda	69
Tabel 4.2.	Hubungan Keadaan Pipa Dan Kebutuhan Anoda	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Sel Galvanic dan Mekanisme Korosi	6
Gambar 2.2.	Korosi Merata	7
Gambar 2.3.	Korosi Sumuran	8
Gambar 2.4.	Korosi Antar Butir	8
Gambar 2.5.	Korosi erosi	9
Gambar 2.6.	Korosi Galvanik	10
Gambar 2.7.	Korosi Celah	11
Gambar 2.8.	Pengukuran Resistivitas Tanah	14
Gambar 2.9.	Backfill Yang Sudah Dikemas	19
Gambar 2.10.	Kabel Konduktor	19
Gambar 2.11.	Korosi Karena Perbedaan Jenis Logam	20
Gambar 2.12.	Korosi Pada Pipa Karena Perbedaan Jenis Tanah	21
Gambar 2.13.	Korosi Pada Pipa Karena Perbedaan Aerasi	21
Gambar 2.14.	Korosi Pada Pipa Karena Adnya Pipa Baru dan Pipa Lama	22
Gambar 2.15.	Prinsip Dari Metode Anoda korban	29
Gambar 2.16.	Magnesium anode	30
Gambar 2.17.	Zinc Anode	30
Gambar 2.18.	Pemasangan Single Anoda	34
Gambar 2.19.	Pemasangan Multipel Anoda	34
Gambar 2.20.	Test Point	35
Gambar 2.21.	Prinsip Metode Arus Terpasang	36
Gambar 2.22.	Rectifier Model 2015 Pulser	37
Gambar 2.23.	Alternatif Energi Listrik Tenaga Surya	37
Gambar 2.24.	Graphite Anodes Yang Dilengkapi Kabel	39
Gambar 2.25.	High Silicon Cast Iron Anodes dan Section-nya	39
Gambar 2.26.	Cara Pemasangan Anoda	41
Gambar 2.27.	IDE Visual Basic 6.0	52
Gambar 2.28.	Toolbox Visual Basic 6.0 Dengan Semua Kontrol Intrinsik	54
Gambar 2.29.	Desain Awal Untuk Suatu Aplikasi	57
Gambar 2.30.	Kotak Property Dari Obyek Yang Aktif	58

Gambar 3.1.	Kerangka Skripsi	60
Gambar 4.1.	Skema Proteksi Katodik	63
Gambar 4.2.	Instalasi Pemasangan Pipa, Anoda dan Test Point	70
Gambar 4.3.	Bagan Alir Proteksi Katodik	78
Gambar 4.4.	Setup Prepare	79
Gambar 4.5.	Menentukan Directory Penginstallan	80
Gambar 4.6.	Memilih Grup Program	80
Gambar 4.7.	Proses Install	80
Gambar 4.8.	Install Complete	81
Gambar 4.9.	Aplikasi Pada Start Menu	81
Gambar 4.10.	Cover Program	82
Gambar 4.11.	Form Pertama	82
Gambar 4.12.	Pull-Down Untuk Aplikasi Panjang	83
Gambar 4.13.	Pull-Down Untuk Diameter Pipa	83
Gambar 4.14.	Pull-Down Kondisi Permukaan Pipa	84
Gambar 4.15.	Keterangan Gambar Program	84
Gambar 4.16.	Keterangan Petunjuk Program	85
Gambar 4.17.	Pilihan Kabel	85
Gambar 4.18.	Pilihan Metode	86
Gambar 4.19.	Contoh Keterangan Gambar Dengan Metode Anoda Korban	87
Gambar 4.20.	Contoh Keterangan Petunjuk Dengan Metode Anoda Korban	87
Gambar 4.21.	Pilihan Jenis Anoda Untuk Metode Anoda Korban	88
Gambar 4.22.	Contoh Parameter Anoda Untuk Metode Anoda Korban yaitu Dengan Anoda Tipe ZP500	88
Gambar 4.23.	Pilihan Jenis Anoda Untuk Metode Arus Terpasang	89
Gambar 4.24.	Contoh Hasil Perhitungan	90
Gambar 4.25.	Pencetakan Hasil	90
Gambar 4.26.	Konfirmasi Cetak	91
Gambar 4.27.	Contoh Data Simpanan	91
Gambar 4.28.	Contoh Keterangan Menu Help	93
Gambar 4.29.	Contoh Hasil Perhitungan	93

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1	35
Grafik 2.2	41

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan manusia dalam melakukan pekerjaannya hampir selalu berhubungan dengan benda yang berasal dari logam. Ini berarti bahwa resiko akibat terjadinya korosi merupakan fenomena yang harus dihadapi oleh manusia dalam suatu pekerjaannya setiap saat. Korosi menyerang hampir semua jenis logam mulai dari konstruksi untuk jembatan, mobil, pipa-pipa, peralatan rumah tangga dan lain-lain. Serangan tersebut umumnya sangat merugikan dan dalam beberapa kasus tertentu dapat membahayakan.

Sekitar 20 Triliyun rupiah diperkirakan hilang percuma setiap tahunnya karena proses korosi. Angka ini setara 2-5 persen dari total *gross domestic product* (GDP) dari sejumlah industri yang ada (Sriwijaya Post, 2005). Nilai diatas belum termasuk kerugian ekonomis yang disebabkan oleh akibat tidak langsung dari korosi, yang bisa jadi nilai ekonomisnya akan menjadi cukup besar. Contohnya : kehilangan produk akibat kebocoran tangki, berkurangnya efisiensi alat, terjadinya kontaminasi lingkungan, perencanaan yang berlebihan dan berhentinya produksi.

Selain kerugian ekonomis, korosi juga berdampak dalam kerugian keselamatan manusia. Dilihat dari beberapa kejadian akibat korosi yang telah menimbulkan korban jiwa seperti rusaknya jaringan pipa uap yang menimbulkan kebakaran dan runtuhnya jembatan. Selain itu ada kemungkinan penurunan kesehatan manusia dan lingkungan akibat pencemaran zat yang didistribusikan, misalnya : air dan gas pada jaringan pipa yang bocor akibat korosi.

Jaringan pipa distribusi air minum di Indonesia semuanya merupakan jaringan pipa yang ditanam di dalam tanah. Ini berarti bahwa resiko terjadinya korosi semakin meningkat, yang tentunya membutuhkan penanganan cukup serius. Dari contoh – contoh yang telah disebutkan diatas dapat dilihat bahwa memang diperlukan suatu pengendalian korosi pada jaringan pipa yang ditanam didalam tanah.

Korosi merupakan proses alamiah, sehingga korosi tidak dapat dicegah. Walaupun demikian, korosi dapat dikendalikan sehingga proses korosi terjadi seminimal mungkin dan mengurangi resiko yang mungkin terjadi di masa yang akan datang. Sehingga umur alat dapat lebih panjang, misalnya bahan baja usianya sekitar 5 tahun dapat diperpanjang menjadi 10 tahun (Widayanto, B, 1995).

Pengendalian korosi dapat dikendalikan melalui berbagai macam metode, salah satunya adalah metode proteksi katodik. Proses perencanaan pengendalian korosi pada pipa dengan proteksi katodik memerlukan beberapa proses yang saling terkait. Banyak terdapat variabel dan koefisien yang harus dipertimbangkan dalam pemakaiannya. Perhitungan perlu dilakukan secara teliti, karena cukup banyak rumus, variabel dan koefisien yang dipakai.

Untuk mempermudah proses perencanaan pengendalian korosi, akan amat membantu apabila proses perencanaan dilakukan dengan mempergunakan bantuan komputer. Komputer sudah merupakan bagian dari kehidupan kita sehari – hari dan telah terbukti mampu mempermudah berbagai pekerjaan. Dengan menggunakan komputer dapat dibuat suatu program yang dapat memberikan kemudahan dalam merencanakan pengendalian korosi (Delina, M, 2007).

Salah satu software yang digunakan dalam pembuatan sebuah aplikasi adalah Microsoft Visual Basic 6.0. Software ini merupakan bahasa pemrograman yang digunakan untuk membuat aplikasi windows berbasis grafis (Gui – Graphical User Interface). Kelebihan Visual Basic 6.0 ini apabila dibandingkan dengan program aplikasi lainnya, yaitu sebuah cara yang paling sederhana untuk membuat aplikasi berbasis windows.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang mendasari skripsi ini adalah :

1. Bagaimana membuat perhitungan dengan menggunakan metode proteksi katodik lebih efektif dan mudah dilakukan ?.

2. Apakah anoda yang ditentukan dapat mengendalikan laju korosi sesuai dengan waktu yang diharapkan apabila digunakan metode pengendalian dengan proteksi katodik ?.
3. Apakah apabila dibuat suatu aplikasi komputer dapat memberikan kemudahan dan mempercepat dalam merencanakan pengendalian korosi dengan metode proteksi katodik yang diakibatkan karena dalam perencanaan tersebut terdapat banyak variabel, rumus dan koefisien terkait yang menjadikan perhitungan menjadi trial dan error ?.

1.3 Tujuan

Tujuan yang mendasari skripsi ini adalah :

1. Untuk menentukan jenis dan jumlah anoda yang digunakan dalam merencanakan pengendalian korosi pipa yang ditanam dalam tanah sesuai dengan umur pipa yang yang diharapkan.
2. Memberikan kemudahan dalam merencanakan pengendalian korosi dengan membuat suatu aplikasi karena banyaknya variabel, rumus dan koefisien, sehingga perencanaan dapat memberikan alternatif yang terbaik dalam pemilihan anoda serta dapat dilakukan dengan mudah, cepat dan tepat.

1.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Program yang dipergunakan adalah Visual Basic 6.0
2. Korosi yang dimaksud dalam skripsi ini adalah peristiwa-peristiwa perusakan logam akibat adanya reaksi elektrokimia dengan lingkungannya sehingga menghasilkan produk yang tidak diinginkan.
3. Program ini dipergunakan pada kondisi sebelum pipa terpasang, sehingga merupakan perencanaan bagi konstruksi yang baru.
4. Pengendalian korosi dengan mempergunakan metode proteksi katodik yang terdiri dari :
 - Pelaksanaan perencanaan proteksi katodik
 - Metode anoda korban (*Sacrificial Anode*)

- Metode arus terpasang (*Impressed Current*)
- Hasil keluaran program ini adalah data isian serta hasil perencanaan dengan alternatif terbaik sesuai kebutuhan dan keinginan pengguna.
- Untuk mempergunakan program ini, faktor resistivitas tanah sudah harus diketahui.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Korosi

2.1.1 Pengertian Korosi

Beberapa pengertian korosi menurut literatur adalah :

1. Penurunan mutu suatu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Trethewey, 1991, dalam Handana, 1996).
2. Serangan pada material karena reaksi dengan lingkungannya, sehingga keadaan material tersebut menjadi makin buruk (Gellings, 1985, dalam Handana, 1996).
3. Kerusakan pada logam oleh reaksi oksidasi yang terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung sebagai hasil dari aktivitas organisme hidup (Fontana, 1987, dalam Handana, 1996).
4. Peristiwa perusakan logam akibat terjadinya reaksi elektrokimia dengan lingkungannya sehingga menghasilkan produk yang tidak diinginkan (Theresia, 1991).

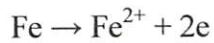
2.1.2 Terjadinya Korosi

Pengertian korosi yang paling umum dipakai sekaligus yang digunakan sebagai dasar penanggulangan korosi secara katodik adalah perusakan logam karena reaksi elektrokimia dengan lingkungannya.

Korosi merupakan proses alami, penyebab utama dari korosi didasarkan oleh transformasi iron dari kondisi alamiahnya menjadi steel. Perubahan dari iron menjadi steel membutuhkan penambahan energi. Steel pada dasarnya merupakan bentuk yang stabil dari iron dan korosi adalah proses kembalinya iron ke kondisi (*form*) naturalnya. Energi yang dipergunakan untuk proses perubahan itulah yang merupakan penyebab utama korosi.

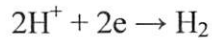
Korosi sebenarnya adalah proses perpindahan elektron dari logam ke lingkungannya. Logam pemberi elektron disebut sebagai anoda dan lingkungan penerima elektron disebut katoda. Secara umum reaksi-reaksi yang terjadi pada peristiwa korosi adalah :

- ❖ Anoda : Reaksi oksidasi logam (M) menjadi ion-ionnya

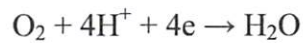


- ❖ Katoda : Reaksi reduksi diantaranya :

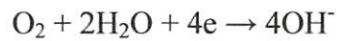
- Pembentukan hidrogen



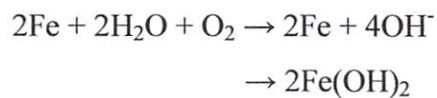
- Reduksi oksigen (pada lingkungan asam)



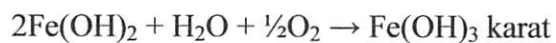
- Reaksi oksigen (pada lingkungan basa/netral)



- Reaksi keseluruhan



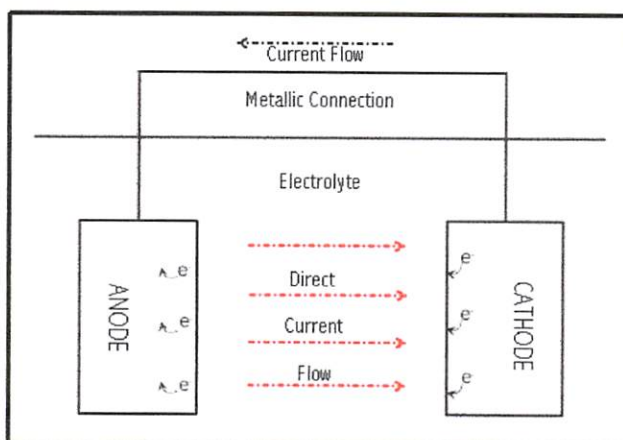
- Reaksi dengan kehadiran udara



Proses berlangsungnya korosi terjadi pada 4 tahap yaitu :

1. Larutnya logam pada anoda
2. Transfer elektron dari logam (anoda) ke penerima elektron (katoda)
3. Adanya arus ion dalam larutan
4. Adanya arus elektron pada logam

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Sel galvanic dan mekanisme korosi.

Sumber : www.mesaproduct.com.

Sel galvanik terdiri dari dua elektroda yang berbeda potensialnya yang dicelupkan kedalam cairan elektrolit dan keduanya dihubungkan dengan konduktor. Elektroda yang memiliki potensial tinggi berperan sebagai katoda dan lainnya sebagai anoda. Anoda mengalirkan elektronnya melalui konduktor menuju katoda dan bereaksi dengan ion positif sebagai katoda. Sedangkan anoda yang telah kehilangan elektron menjadi kelebihan muatan positif sehingga ion positif di anoda bereaksi dengan ion negatif pada larutan elektrolit dan akhirnya membentuk produk korosi. Sehingga korosi akan terjadi pada anoda dan katoda akan terproteksi.

2.2 Jenis-Jenis korosi

Berdasarkan bentuk dan tempat terjadinya, korosi terbagi dalam beberapa jenis antara lain : korosi merata (uniform corrosion), korosi sumuran, korosi antar butir, korosi erosi, korosi galvanik dan korosi celah dan masih banyak lainnya. Berikut ini merupakan penjelasannya :

2.2.1 Korosi Merata

Korosi merata atau *general corrosion* merupakan bentuk korosi yang paling lazim terjadi. Korosi yang muncul terlihat merata pada seluruh permukaan logam dengan intensitas yang sama. Salah satu contohnya adalah efek dari korosi atmosfer pada permukaan logam. Korosi merata terjadi apabila seluruh bagian logam memiliki komposisi yang sama. Korosi jenis ini biasanya dapat diatasi dengan cara meng-coating permukaan logam.



Gambar 2.2 Korosi Merata.
Sumber : Delina, 2007.

2.2.2 Korosi Sumuran

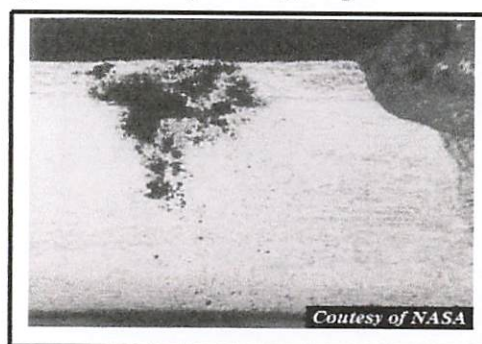
Korosi sumuran merupakan korosi yang muncul dan terkonsentrasi pada daerah tertentu. Bentuk korosi ini biasanya disebabkan oleh klorida. Mekanisme terbentuknya korosi sumuran sama dengan korosi celah. Hanya saja korosi sumuran ukurannya lebih kecil jika dibandingkan dengan korosi celah. Karena jaraknya yang saling berdekatan satu sama lain. Korosi sumuran akan mengakibatkan permukaan logam menjadi kasar. Korosi sumuran terjadi karena komposisi material yang tidak homogen, rusaknya lapisan pelindung, adanya endapan dipermukaan material, serta adanya bagian yang cacat pada material.



Gambar 2.3 Korosi Sumuran.
Sumber : Delina, 2007.

2.2.3 Korosi Antar Butir

Korosi antar butir atau *intergranular corrosion* merupakan korosi yang terjadi pada *graind boundary* sebuah logam atau alloy. Korosi tipe ini biasanya disebabkan karena adanya impuritas atau pengotor pada batas butir dan dan terjadi secara lokal disepanjang batas butir pada logam paduan.

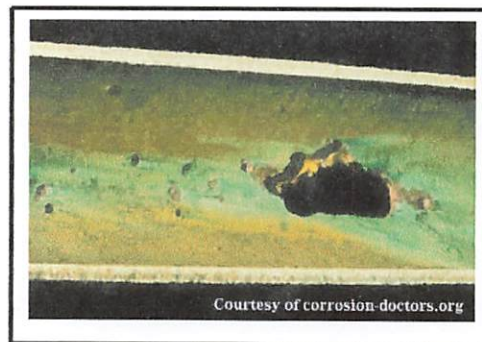


Gambar 2.4 Korosi Antar Butir.
Sumber : Delina, 2007.

Gambar 2.4 menunjukkan sebuah logam stainless steel yang terkorosi pada bagian yang terkena panas dimana jaraknya tidak jauh dari bagian las-lasan. Ini merupakan tipikal dari korosi antar butir pada *austenitic stainless steel*. Korosi tipe ini dapat dihilangkan dengan menggunakan stainless steel 321 atau 347 atau dengan menggunakan stainless steel yang tingkat karbonnya rendah (304L atau 316L).

2.2.4 Korosi Erosi

Korosi erosi merupakan gabungan dari kerusakan elektrokimia dan kecepatan fluida yang tinggi pada permukaan logam. Korosi erosi dapat pula terjadi karena adanya aliran fluida yang sangat tinggi melewati benda yang diam atau statis. Atau bisa juga terjadi karena sebuah objek bergerak cepat di dalam fluida yang diam, misalnya baling-baling kapal laut.



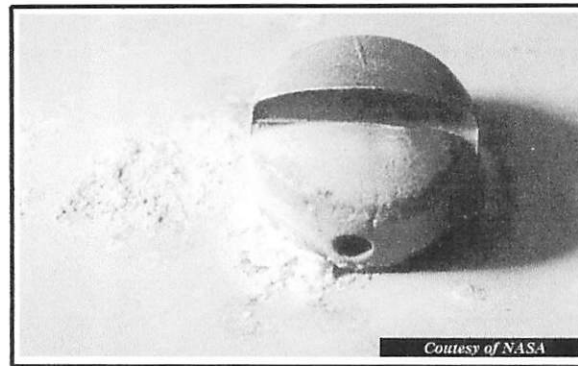
Gambar 2.5 Korosi Erosi.

Sumber : Delina, 2007.

Bagian permukaan logam yang terkena korosi biasanya relatif lebih bersih jika dibandingkan dengan permukaan logam yang terkena korosi jenis lain. Erosi korosi dapat dikendalikan dengan menggunakan material yang terbuat dari logam yang keras, merubah kecepatan alir fluida atau merubah arah aliran fluida.

2.2.5 Korosi Galvanik

Korosi galvanik terjadi apabila dua buah logam yang jenisnya berbeda di pasangkan dan direndam dalam cairan yang sifatnya korosif. Logam yang lebih aktif atau anoda akan terkorosi, sementara logam yang lebih *noble* atau katoda tidak akan terkorosi.

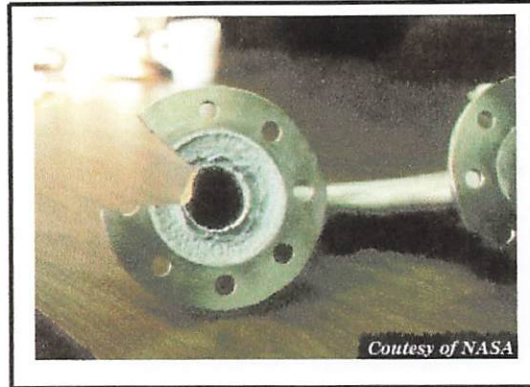


Gambar 2.6 Korosi Galvanik.
Sumber : Delina, 2007.

Korosi galvanik ini banyak terjadi pada benda yang menggunakan lebih dari satu macam logam sebagai komponennya, misalnya pada automotif. Jika aluminium terhubung langsung dengan baja, maka aluminium akan terkorosi. Untuk mengatasi hal ini, maka di antara aluminium dan baja harus ditempatkan sebuah benda non logam atau isolator untuk memisahkan kontak listrik di antara keduanya. Mekanisme korosi galvanik biasanya digunakan untuk sistem proteksi pada komponen baja, misalnya proteksi pada lambung kapal, tiang penyangga dermaga, pipa baja, tiang penyangga jembatan dan lain sebagainya.

2.2.6 Korosi Celah

Korosi celah merupakan korosi yang terkonsentrasi pada daerah tertentu. Korosi celah terjadi karena adanya larutan atau elektrolit yang terperangkap di dalam celah atau lubang, misalnya pada sambungan dua permukaan logam yang sejenis, permukaan logam yang retak, baut dan tapal. Elektrolit yang terperangkap pada lubang akan menimbulkan beda konsentrasi oksigen, sehingga terbentuk sel korosi. Daerah dengan konsentrasi oksigen tinggi berperan sebagai katoda dan daerah konsentrasi oksigen rendah berperan sebagai anoda.



Gambar 2.7 Korosi Celah.
Sumber : Delina, 2007.

2.3 Metode Pencegahan Korosi

Lima macam metode yang digunakan untuk mengontrol korosi adalah pelapisan atau *coating*, perlakuan lingkungan, pemilihan material, desain berlebihan dan proteksi katodik.

2.3.1 Pelapisan

Pelapisan merupakan cara yang paling umum dilakukan untuk melindungi logam dari serangan korosi. Pelapis yang dapat digunakan antara lain cat, logam (galvanisasi), plastik dan semen. Pada dasarnya pelapis-pelapis ini berfungsi untuk melindungi logam dari reaksi yang tidak menguntungkan dengan lingkungan, oleh karena itu pelapis-pelapis ini harus bersifat mudah dilapiskan, memiliki daya adhesi yang baik, dapat bertahan lama dan memiliki sifat tahan terhadap korosi, tahan terhadap temperatur tinggi, tahan air, dan lain sebagainya.

2.3.2 Perlakuan Lingkungan

Perlindungan terhadap korosi dapat juga dilakukan dengan mengusahakan lingkungan menjadi tidak korosif. Namun hal ini biasanya hanya bisa dilakukan pada lingkungan terbatas. Misalnya mengurangi atau menghilangkan uap air dan partikel-partikel korosi yang bersifat korosif.

2.3.3 Pemilihan Material

Pencegahan korosi dengan memilih material dilakukan dengan menggunakan material logam ataupun paduannya yang bersifat tahan korosi, misalnya titanium ataupun baja tahan karat.

2.3.4 Desain Berlebih dan Perbaikan Desain

Pencegahan korosi dengan menggunakan desain berlebih dilakukan dengan cara menambah ukuran material yang sebenarnya, agar umur pakainya dapat diperpanjang sesuai dengan kebutuhan.

2.3.5 Proteksi Katodik

Proteksi katodik adalah suatu metoda atau cara untuk mencegah korosi pada pipa logam dengan menjadikan pipa logam tersebut bersifat katoda (katodik), hal tersebut dapat dilakukan dengan memberikan arus searah dari luar atau dengan menghubungkan pipa logam dengan logam lain (anoda korban) sehingga karenanya pipa logam tidak akan terkorosi. Untuk lebih jelasnya, metoda proteksi katodik akan dibahas pada tugas akhir ini.

2.4 Informasi Yang Diperlukan Dalam Aplikasi Proteksi Katodik Pipa Dalam Tanah

Beberapa informasi atau data-data yang diperlukan dalam aplikasi proteksi katodik pipa dalam tanah adalah :

a. Parameter fisik dan kimia tanah

Data kondisi fisik dan kimia tanah atau faktor-faktor yang mempengaruhi proses korosi dalam tanah diantaranya adalah resistivitas, potensial redoks, pH, kelembaban tanah. Data ini digunakan untuk mengetahui tingkat korosifitas tanah, penentuan material/jenis anoda yang sesuai dan perhitungan perencanaan.

Penjelasan faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat korosifitas tanah adalah sebagai berikut :

a) Resistivitas tanah

Dalam proses korosi terjadi aliran listrik melalui sel mikro dipermukaan logam, karena itu sifat konduktivitas dari tanah yang biasanya dinyatakan dalam resistivitas sangat berpengaruh. Hubungan resistivitas tanah dengan korosifitas tanah adalah pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Hubungan resistivitas dan korosifitas

Resistivitas tanah (Ohm-cm)	Korosifitas tanah
< 700	Sangat korosif
700 – 2000	Korosif
2000 – 5000	Korosif sedang
5000 – 10000	Korosif ringan
> 10000	Tidak korosi

Sumber : Sulaiman, 1987, dalam Handana, 1996.

Dengan melihat Hubungan resistivitas tanah dengan korosifitas , maka diusahakan sebisa mungkin pemasangan pipa diletakkan pada tanah yang mempunyai resistivitas tinggi, sehingga mempunyai tingkat korosifitas yang kecil. Resistivitas tanah biasanya diukur dengan menggunakan metode Warner-4 elektroda (Parker, 1984 dalam handana 1996) seperti terlihat pada gambar 2.8. Harga resistivitas tanah ditentukan dengan formula :

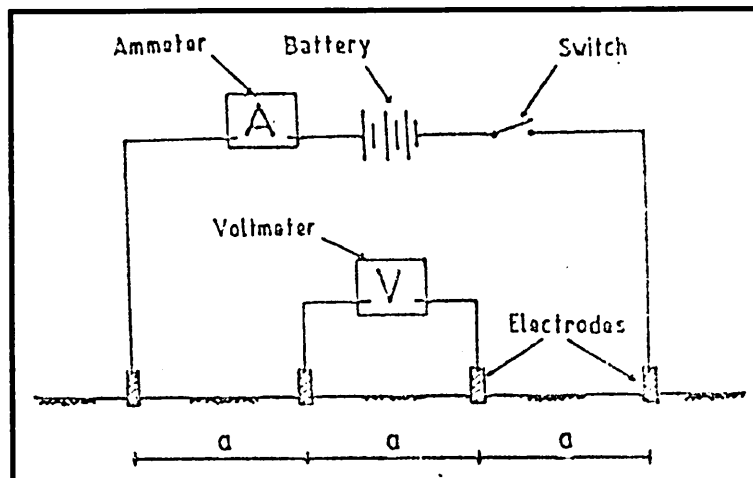
$$\rho_s = 2 \cdot \pi \cdot a \left(\frac{V}{I} \right)$$

dimana ; ρ_s = resistivitas (Ohm-cm) pada a meter kedalaman tanah.

a = jarak spesi elektroda (m)

V = beda potensial (volt)

I = arus (Ampere)



Gambar 2.8 Pengukuran resistivitas tanah.
Sumber : Parker, 1984, dalam Handana, 1996.

Dalam pengukuran resistivitas tanah ini, posisi penempatan elektroda sebaiknya tegak lurus terhadap pipa sesuai dengan arah aliran arus proteksi yang tegak lurus menuju permukaan pipa. Untuk lebih efisien, pengukuran disepanjang jalur pipa sebaiknya dilakukan setiap jarak 500 m, tetapi bila resistivitas tanah dititik pengukuran yang kedua bernilai kelipatan dua dari lokasi pertama, maka sebaiknya dilakukan pengukuran lagi pada jarak setengah dari jarak sebelumnya. Jumlah pengukuran pada setiap titik, minimal sebanyak 3 variasi kedalaman yaitu pada jarak spasi yang sama dengan kedalaman pipa, setengah kedalaman pipa dan dua kali kedalaman pipa.

b) Potensial Redoks

Potensial redoks dari tanah mengidentifikasi aktivitas atau keberadaan *Desulphovibrio desulphuricans* (bakteri pereduksi sulfat) dalam tanah. Bakteri ini tumbuh dengan pesat dibawah kondisi reduksi (potensial redoks rendah). Bakteri ini mempercepat reduksi sulfat dan reaksi katodik berlangsung meskipun tidak ada kandungan oksigen dan korosi menjadi hebat.

Reaksi katodik yang terjadi adalah : $2H_2 + SO_4^{2-} \rightarrow S^{2-} + 4H_2O$

Tabel 2.2 Hubungan potensial redoks dan sifat korosi oleh bakteri

Potensial redoks (mV, SHE)	Kecenderungan korosi oleh bakteri
< 100	Berat
100 – 200	Sedang
200 – 400	Ringan
400	Tidak ada

Sumber : Sulaiman, 1987, dalam Handana, 1996.

Kecenderungan diatas hanya berlaku bila pH tanah mendekati netral yaitu pada range 5,5 – 8,5 karena bakteri pereduksi sulfat hanya aktif pada range pH ini. Dengan melihat hubungan antara potensial redoks dengan sifat korosi oleh bakteri, maka sebisa mungkin pemasangan pipa diletakkan pada tanah yang mempunyai potensial redoks yang tinggi, sehingga mempunyai tingkat korosifitas yang kecil.

Potensial redoks tanah ditentukan melalui pengukuran potensial elektroda platinum terhadap elektroda referensi copper sulfat (CSE), dimana kedua elektroda kontak dengan tanah yang diukur. Harga potensial redoks tanah dalam skala hydrogen (E_H) ditentukan dengan persamaan :

$$E_H = E_p + E_r + 60 (\text{pH} + 7)$$

Dimana ; E_H = potensial redoks (mVolt, SHE)

E_p = potensial redoks hasil pembacaan pada voltmeter
(mVolt, CSE)

E_r = potensial elektroda referensi copper sulfat terhadap elektroda standart hydrogen ($E_r = 0,32 \text{ mV}$)

pH = pH tanah

c) Keasaman (pH) tanah

Dalam tanah yang asam (pH rendah) reaksi katodik yang terjadi adalah
: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Korosi dengan reaksi ini berlangsung pada pH 4 untuk tanah yang mengandung asam anorganik dan pada pH 5 bila tanah mengandung

asam karbonat, tetapi dalam tanah yang banyak mengandung asam organik seperti humus, reaksi korosi ini juga akan terjadi meskipun nilai pH mendekati normal.

d) Kelembaban tanah

Kadar air dalam tanah berpengaruh besar terhadap proses korosi dalam tanah karena air ditambah dengan ion-ionnya yang terlarut didalamnya merupakan elektrolit yang membuat tanah menjadi penghantar listrik yang baik.

b. Klasifikasi pipa logam

Dari berbagai jenis pipa, pipa baja memiliki tingkat korosi yang paling tinggi. Hal ini disebabkan kandungan bahan penyusun pipa yang terdiri dari karbon, besi, magnesium, fosfor dan sulfur memiliki beda potensial tinggi. Tingkat korosi pada pipa besi lebih rendah dibandingkan pipa baja karena bahan penyusunnya yang terdiri dari karbon, besi, fosfor dan tembaga memiliki beda potensial yang rendah.

a) Sifat pipa baja

Kelebihan :

- Daya sambung las yang baik akan sangat memudahkan untuk melokalisasi kerusakan.
- Tahan terhadap getaran dan beban berat.
- Mudah dalam pemasangan.
- Daya tekan yang tersedia cukup tinggi.

Kelemahan :

Satu kelemahan pipa baja yang sangat merugikan adalah pipa ini memiliki laju korosi yang sangat tinggi.

- b) Sifat pipa besi yang ditinjau adalah pipa besi tempa (DIP) atau *Ductile Cast Iron*. Pipa ini merupakan jenis pipa besi tuang yang memiliki kekuatan, keuletan dan ketangguhan yang jauh lebih tinggi dari pipa besi tuang kelabu biasa. Karena keuletannya yang tinggi ini besi tuang ini disebut *Ductile Cast Iron*.

Kelebihan pipa besi tempa :

- Mudah pendeteksiannya bila terjadi kebocoran (dideteksi dengan metode sounding).
- Cukup ulet dan kuat.
- Tidak tembus terhadap kontaminasi senyawa organik.

Kelemahan :

Kelemahan yang paling mendasar dari pipa besi tempa adalah laju korosi yang cukup tinggi sehingga memerlukan proteksi baik internal maupun eksternal.

c. Coating pipa

Jenis lapis lindung (*coating*) pipa yang digunakan, kualitas coating, dan kualitas pelapisan mempengaruhi besarnya kebutuhan arus untuk proteksi. Jenis coating yang memiliki hambatan jenis (*resistivitas*) yang tinggi sangat baik untuk digunakan karena akan semakin menekan kebutuhan arus proteksi. Berikut ini adalah spesifikasi dari beberapa jenis coating :

Tabel 2.3 Spesifikasi coating

Jenis Coating	Resistivitas (Ohm-m)	Konduktifitas (1/mho-m)
Polythylen tape	$2,70 \times 10^5$	$3,70 \times 10^{-6}$
Epoksi tar batubara	$1,35 \times 10^5$	$7,41 \times 10^{-6}$
Aluminium	$1,00 \times 10^{12}$	$1,00 \times 10^{-12}$

Sumber : Maijer, 1985, dalam Handana, 1996.

d. Anoda

Jenis anoda yang digunakan tergantung dari metode proteksi katodik yang dipilih. Sedangkan pemilihan material anoda yang sesuai untuk digunakan perlu memperhatikan kondisi lingkungan aplikasinya dan pengausan (kapasitas arusnya), karena setiap jenis anoda memiliki kekhususan dalam penggunaannya ditinjau kedua faktor tersebut. Pada lingkungan tertentu, jenis-jenis anoda tertentu tidak sesuai untuk diterapkan karena produk korosi dari anoda, atau sebaliknya justru menyebabkan anoda tersebut akan lebih cepat aus (pengausan tinggi). Untuk pemilihan jenis anoda yang

sesuai dengan waktu yang diharapkan dirasa cukup sulit, karena dalam perhitungannya terjadi trial dan error. Maka dibab selanjutnya akan dibahas tentang perencanaan proteksi katodik yang dibuat dengan suatu perangkat lunak, sehingga perencanaan dapat dilakukan dengan mudah.

e. Backfill

Backfill untuk jenis anoda magnesium dan seng adalah berupa material kimiawi yang terbuat dari campuran gypsum, bentonite dan sodium sulfat yang komposisinya dapat dilihat pada tabel 2.4. Sedangkan backfill untuk anoda-anoda yang digunakan pada sistem *impressed current* adalah dari material karbon (*carbonaceous backfill*). Jenis-jenis anoda pada sistem impressed current yang dalam penerapannya memerlukan backfill adalah anoda dari paduan besi dan anoda graphite.

Tabel 2.4 Spesifikasi backfill

Gypsum (%)		Bentonite (%)	Sodium Sulfat (%)	Resistivitas (Ohm-cm)
Hydrate	Molding plaster			
(A) 25	-	75	-	250
(B) 50	-	50	-	250
(C) -	50	50	-	250
(D) 75	-	20	5	50

Sumber : Sheir, 1976, dalam Handana 1996.

Keterangan :

Backfill jenis (A) untuk tanah berkelembaban rendah.

Backfill jenis (B) untuk anoda Zn.

Backfill jenis (C) untuk tanah berawa.

Backfill jenis (D) untuk resistivitas tinggi.

Backfill dipergunakan untuk membungkus anoda dan diletakkan didalam tas katun. Fungsi dari backfill adalah :

- Backfill dapat membantu dalam menyerap kelembaban tanah sehingga kelembaban disekitar anoda akan stabil.

- Backfill dapat melindungi anoda dari resistivitas tanah yang rendah.
- Backfill dapat menyeragamkan lingkungan disekeliling anoda sehingga dapat diramalkan daya gunanya.
- Backfill dapat mengurangi efek-efek yang merugikan bagi anoda.

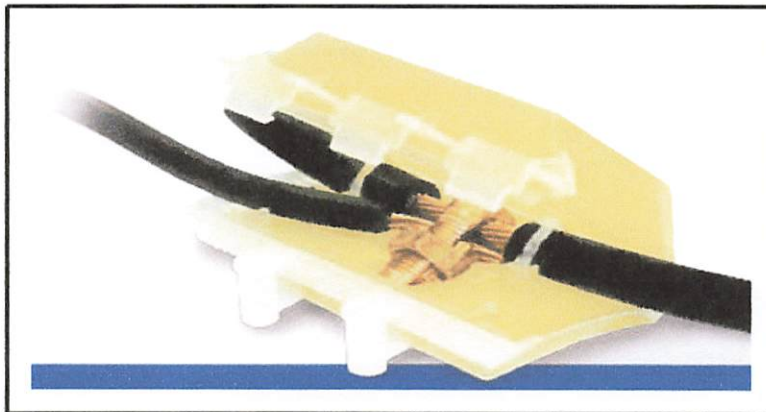


Gambar 2.9 Backfill yang sudah dikemas.

Sumber : www.farwst.com.

f. Kabel

Kabel konduktor digunakan untuk menghubungkan secara listrik antara pipa dengan anoda yaitu dengan cara disolder. Jenis kabel yang digunakan harus mampu dilewati arus sebesar jumlah yang diperlukan untuk diproteksi. Kabel konduktor juga digunakan untuk menghubungkan pipa ke tes pos yaitu fasilitas untuk tes pengukuran potensial proteksi pipa.



Gambar 2.10 Kabel konduktor.

Sumber : www.farwst.com.

g. Struktur sekunder

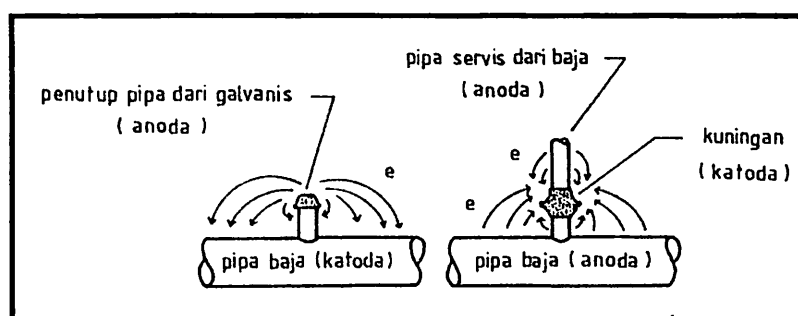
Struktur sekunder yang dimaksud adalah semua peralatan dan struktur logam dalam tanah yang berada disekitar pipa yang diproteksi katodik (Struktur primer) yang dapat terpengaruh ataupun mempengaruhi sistem proteksi katodik. Data struktur sekunder secara detail akan sangat berguna disamping untuk menampilkan situasi proyek, juga untuk upaya pencegahan efek arus sesaat (*stay current*) dan perhitungan keperluan isolating joint untuk isolasi struktur/pipa primer terhadap pipa lain yang berhubungan.

2.5 Beberapa Hal Yang Harus Diperhatikan Dalam Pemasangan Jaringan Perpipaan.

Beberapa kondisi terutama dalam perencanaan dan pemasangan sistem perpipaan yang dapat menyebabkan terjadinya korosi antara lain :

a. Perbedaan jenis logam.

Bila konstruksi pipa menggunakan jenis logam yang berbeda dan terletak pada media elektrolit (tanah atau air), korosi akan terjadi. Perbedaan jenis logam menyebabkan perbedaan potensial. Dimana telah diketahui perbedaan potensial yang besar akan mempercepat terjadinya korosi. Contoh sederhana seperti pada gambar 2.11 dibawah ini.



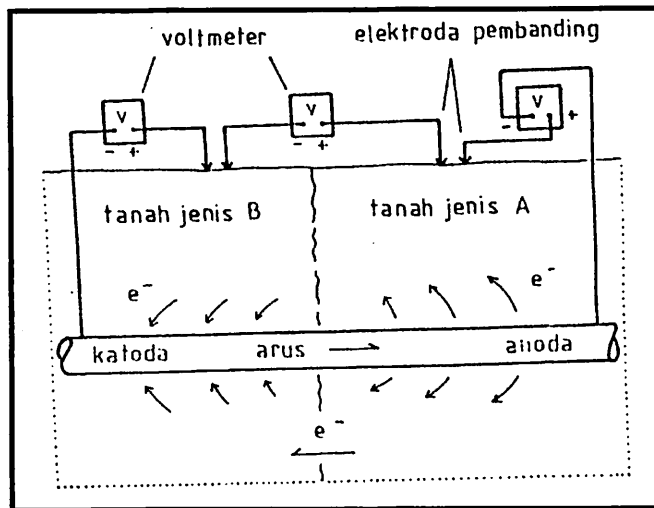
Gambar 2.11 Korosi karena perbedaan jenis logam.

Sumber : Peabody, 1970.

b. Perbedaan jenis tanah.

Pipa yang melintasi tanah dengan jenis yang berbeda akan menyebabkan adanya perbedaan potensial antara pipa yang melintasi tanah jenis A

dengan pipa yang melintasi tanah jenis B. Seperti dijelaskan pada gambar 2.12 berikut ini.

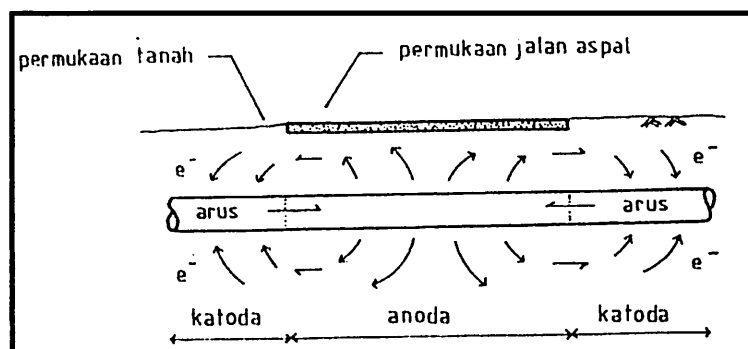


Gambar 2.12 Korosi pada pipa karena perbedaan jenis tanah.

Sumber : Peabody, 1970.

c. Perbedaan aerasi

Kandungan oksigen (aerasi) yang berbeda pada tanah dapat menyebabkan korosi pada pipa. Pipa yang tertanam pada daerah yang teraerasi dengan baik (kandungan oksigen lebih banyak) akan menjadi katodik, sedangkan pipa yang tertanam pada daerah yang kandungannya rendah akan menjadi anodik dan terkorosi. Contohnya : pipa yang ditanam dibawah sungai, pipa yang ditanam dibawah jalan, seperti pada gambar 2.13 berikut ini.

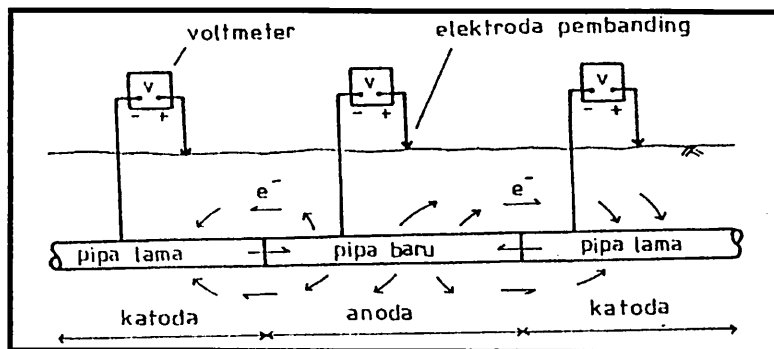


Gambar 2.13 Korosi pada pipa karena perbedaan aerasi.

Sumber : Peabody, 1970.

d. Pipa lama dan pipa baru

Penggantian sebagian pipa lama dengan pipa baru yang ditanam pada tanah yang berkarakteristik sejenis juga dapat menyebabkan korosi. Secara prinsip terjadinya korosi sama dengan dua logam yang berbeda jenisnya sehingga menyebabkan perbedaan potensial. Dimana korosi akan terjadi pada pipa baru, seperti dijelaskan pada gambar 2.14 berikut ini.



Gambar 2.14 Korosi pada pipa karena adanya pipa baru dan pipa lama.
Sumber : Peabody, 1970.

2.6 Pemilihan Metode Proteksi Katodik

Untuk pemilihan metode proteksi katodik sebaiknya mempelajari terlebih dahulu kelebihan dan kelemahan masing-masing metode, kelebihan dan kelemahan masing-masing metode tersebut adalah sebagai berikut.

a. Metode anoda korban (sacrificial Anoda)

Keuntungannya :

- Tidak memerlukan sumber arus dari luar karena anoda korban yang dipergunakan dapat menghasilkan arus searah.
- Arus anoda dapat mengatur sendiri.
- Kecil kemungkinan terjadinya over proteksi.
- Ekonomis bila diterapkan pada struktur dengan kualitas coating yang baik atau ukuran struktur yang kecil.
- Sesuai diterapkan dilingkungan dengan resistivitas tanah yang rendah (< 5000 Ohm-cm).
- Instalasi relatif sederhana.
- Tidak terlalu berpengaruh pada struktur disekitarnya.

Kerugiannya :

- Kebutuhan arus untuk melindungi pipa dapat diberikan dari anoda sesuai dengan kebutuhan, sehingga dapat melindungi pipa lebih cepat.
- Tidak terlalu sering mengganti anoda.

b. Metode arus terpasang (impressed current)

Keuntungannya :

- Kebutuhan arus untuk melindungi pipa dapat diberikan dari anoda sesuai dengan kebutuhan.
- Tidak terlalu sering mengganti anoda.

Kerugiannya :

- Harus ada sumber arus dari luar secara terus-menerus.
- Kemungkinan terjadinya over proteksi besar, sehingga dapat merusak coating pipa.
- Membutuhkan pekerja yang berketrampilan teknis guna mengawasi instalasi.
- Untuk lokasi yang jauh dari sumber arus, hal ini sangat merugikan karena sumber arus dari luar yang diperlukan sulit diperoleh.

2.7 Kemungkinan Peyimpangan dan Kerusakan Instalasi

Kemungkinan terjadinya penyimpangan atau kerusakan pada instalasi proteksi katodik yang diakibatkan kondisi dimana terjadi output arus yang tidak normal tetapi output voltase normal adalah :

a. Kerusakan pada sistem anoda (groundbed).

Kerusakan ini dapat berupa terputusnya kabel pada sebagian anoda, yang menyebabkan jumlah arus listrik dari transformer-rectifier yang didistribusikan oleh anoda, dibatasi oleh kapasitas output maksimum dari sisa jumlah anoda yang masih dapat beroperasi.

b. Akumulasi gas disekeliling anoda.

Gas yang dihasilkan oleh reaksi anodik dan terakumulasi didaerah anoda dapat mengakibatkan terhambatnya aliran arus yang keluar dari anoda. Gas yang kemungkinan terakumulasi didaerah anoda pada instalasi ini terutama adalah gas chlor (Cl_2), karena kondisi air tanah didaerah

perpipaan yang telah dipengaruhi oleh intrusi air laut, dimana air laut memiliki kandungan ion klorida tinggi. Dengan diketahui indikasi sumber penyimpangan yaitu pada anoda tersebut, maka diperlukan inspeksi terhadap sistem anoda (groundbed) untuk kemudian dilakukan perbaikan pada bagian yang mengalami kerusakan. Bila penyimpangan output arus disebabkan oleh gas yang terakumulasi, maka diperlukan ventilasi untuk melepaskan gas dari daerah anoda.

2.8 Proteksi Katodik

2.8.1 Prinsip Proteksi Katodik

Secara teoritis, korosi tidak mungkin dapat dicegah sepenuhnya, karena proses tersebut lebih bersifat alamiah. Namun, bagaimanapun juga perlu dilakukan usaha untuk menekan atau mencegah proses tersebut semaksimal mungkin. Salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan metode proteksi katodik.

Proteksi katodik merupakan metoda pencegahan korosi pada pipa logam dengan menjadikan pipa tersebut bersifat katodik dengan memberikan arus searah dari sumber luar atau dengan menghubungkan pipa logam dengan logam lain sehingga karenanya pipa tidak akan terkorosi. (Theresia, 1991).

Prinsip dari proteksi katodik adalah memberikan sejumlah tertentu arus searah pada logam yang akan diproteksi sehingga potensial logam terhadap lingkungannya akan turun. Ketika jumlah arus yang diberikan diatur dengan baik, hal itu akan menghilangkan arus korosi dari semua area anodik dalam pipa dan akan ada arus tertentu yang mengalir ke permukaan pipa sehingga semua permukaan pipa menjadi katodik dan terproteksi seluruhnya.

Aplikasi yang efektif dari proteksi katodik dapat memberikan perlindungan menyeluruh bagi semua area yang terekspos. Walaupun demikian, proteksi katodik tidak menghilangkan semua korosi pada pipa, tetapi mengurangi kecepatan korosi menjadi tidak berarti lagi. Kombinasi dari coating dan proteksi katodik dapat memberikan perlindungan yang paling ekonomis, sehingga merupakan pilihan efektif bagi pipa yang ditanam atau yang terendam air. Untuk pipa telanjang ataupun yang mempunyai coating kurang sempurna, proteksi

katodik seringkali merupakan satu-satunya alternatif yang harus untuk perlindungan pipa. Ada dua macam metode pada proteksi katodik, yang dibedakan menurut sumber arusnya seperti akan di bahas berikutnya.

Arus yang dibutuhkan untuk proses proteksi dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$I_t = \frac{id}{1000} \cdot \pi \cdot D_p \cdot L_p$$

Dimana : I_t = total arus untuk proteksi katodik (Ampere)

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

= 2 mA/ft^2 untuk pipa terbuka

= 0,2 mA/ft^2 untuk pipa tercoating biasa

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

D_p = diameter luar pipa (ft)

L_p = panjang pipa (ft)

2.8.2 Kebutuhan Arus Proteksi

Besarnya kebutuhan arus proteksi tergantung dari kecepatan korosi dan luas permukaan struktur yang diproteksi. Faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi kecepatan korosi juga akan berpengaruh pada besarnya kebutuhan arus proteksi. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan korosi secara langsung antara lain adalah :

1. Lapis lindung pipa (*coating*)

Kualitas pelapisan (*coating*) menentukan jumlah permukaan logam pipa yang kontak langsung dengan lingkungan korosif. Semakin baik kualitas pelapisan, akan semakin sedikit bagian pipa yang memerlukan proteksi. Pelapisan yang sempurna dapat mereduksi keperluan arus proteksi sampai 0,2 % dari pipa baja telanjang (tanpa *coating*).

2. Tahanan elektrolit

Kecepatan korosif ditentukan oleh tahanan elektrolit yang biasanya dinyatakan dalam resistivitas tanah. Semakin tinggi tahanan tanah, kecepatan korosi akan semakin rendah sehingga semakin kecil arus yang diperlukan untuk proteksi katodik.

3. Kandungan spesi yang dapat direduksi

Kecepatan korosi ditentukan juga oleh jumlah spesi yang dapat direduksi dalam elektrolit. Dari reaksi di daerah katodik terlihat bahwa reaksi tergantung dari adanya spesi-spesi yang dapat direduksi, misalnya ion H^+ .

Tabel 2.5. Kebutuhan arus proteksi

No	Kondisi struktur/medium	Rapat arus, mA/m ²
1.	Baja telanjang dalam medium :	
	Tanah netral	4 – 6
	Tanah netral teraerasi	20 – 32
	Tanah netral teraerasi/beton	5 – 16
	Tanah basa ganas	25 – 60
	Tanah asam	50 – 160
	Tanah yang mengandung bakteri pereduksi sulfat	~ 450
2.	Baja dengan lapisindung :	
	Tar batubara (coaltar)	0,01 – 0,1
	Polythylen	0,001 – 0,1
	Butyrubber + PVC	0,05 – 0,1
	Asphalt mastic	~450
3.	Baja telanjang dalam tanah dengan resistivitas :	
	< 300 Ohm-cm	30 – 50
	300 – 1000 Ohm-cm	20 – 30
	1000-5000 Ohm-cm	10 – 20
	>5000 Ohm-cm	5 – 10

Sumber : Handana, 1996

Dari tabel di atas jelas bahwa keperluan arus proteksi sangat bervariasi, sehingga akan mengalami kesulitan untuk membuat desain yang eksak, yang memang tidak mungkin. Pada umumnya keberhasilan proteksi katodik ditentukan

di lapangan yaitu melalui Pengujian dan pemantuan potensial proteksi setelah instalasi dipasang.

2.8.3 Efek Dan Gangguan Dalam Proteksi Katodik

Penerapan proteksi katodik sebagai metode pencegahan korosi dapat menimbulkan efek-efek tertentu pada lingkungannya. Di sisi lain, sistem proteksi tersebut juga dipengaruhi atau mendapat gangguan dari lingkungannya. Efek dan gangguan dalam aplikasi proteksi katodik di antaranya adalah :

1. Efek sekunder

Efek ini dapat terjadi bila pemberian potensial pada struktur yang diproteksi terlalu besar (*over protection*). Efek yang terjadi adalah meningkatnya alkalinitas di sekitar struktur yang diproteksi katodik oleh reaksi katodik yang membentuk ion OH^- . Alkalinitas yang tinggi ini dapat mengakibatkan :

- a. Kerusakan cat coating (proses saponifikasi).
- b. Korosi pada logam aluminium dan timah.
- c. Dalam air laut atau lingkungan yang hampir sama dengan air laut, akan terjadi deposit calcareous (kapur) yang dapat mengurangi kebutuhan arus proteksi. Sedangkan reaksi pembentukan hidrogen di daerah katoda dapat menyebabkan perapuhan hydrogen pada baja.

Hal lain yang termasuk dalam efek sekunder ini adalah reaksi pembentukan gas khlor di daerah anoda dari sistem proteksi katodik atau arus terpasang. Deposit gas khlor ini dapat mengurangi/menghambat aliran arus proteksi dari anoda, sehingga mengganggu operasi proteksi katodik. Efek ini dapat dicegah dengan memasang ventilasi untuk membebaskan gas khlor yang dihasilkan.

2. Efek arus bolak-balik (*Alternating current*)

Efek ini terjadi bila struktur yang diproteksi berdekatan dengan kabel listrik arus bolak-balik pada suatu penghantar. Medan magnet ini menyebabkan induksi listrik dan aliran bolak-balik akan timbul pada logam yang berada di daerah medan magnet. Adanya arus bolak-balik dalam struktur yang diproteksi katodik akan mempengaruhi arus proteksi katodik.

3. Efek arus sesat (*Stray current*)

Arus proteksi dari anoda ke struktur yang diproteksi (struktur primer), sebagian akan melalui struktur lain (struktur sekunder) yang berada didekat anoda dan kembali ke struktur primer pada sisi lain yang berdekatan struktur primer. Akibatnya, korosi akan terjadi pada struktur sekunder yaitu pada area dimana arus meninggalkan struktur.

Arus sesat ini sangat merugikan bagi struktur-struktur logam lain yang berada disekitar struktur primer sehingga perlu dicegah. Metode pencegahan efek arus sesat yang diterapkan adalah :

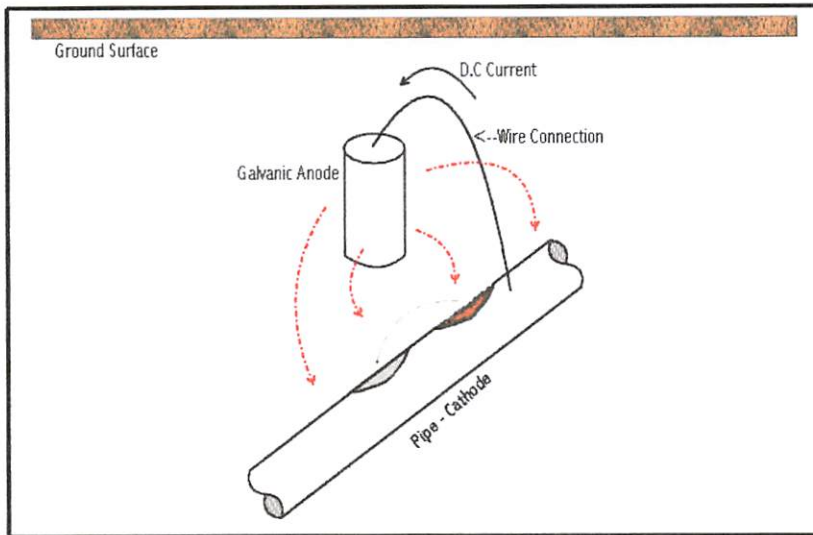
- a. *Wrapping/Coating*, Yaitu mengisolasi bagian dari struktur sekunder yang berdekatan dengan struktur primer.
- b. *Bonding*, yaitu menghubungkan struktur sekunder dengan struktur primer menggunakan kabel konduktor sehingga tidak ada arus listrik yang meninggalkan struktur pada bagian manapun.
- c. *Sacrificial anode*, yaitu menempatkan potongan logam sebagai anoda yang dikorbankan pada lokasi dimana tempat arus sesaat.

Arus sesat ini juga merugikan bagi pemilik instalasi proteksi katodik, karena dapat menyebabkan meningkatnya kebutuhan suplai energi listrik untuk proteksi.

2.9 Metode Proteksi Katodik

2.9.1 Metode Anoda Korban (*Sacrificial Anode*)

Sistem ini umumnya dipakai pada struktur yang ditanam pada keadaan resistivitas tanah rendah (kurang dari 5000 ohm.cm). Dalam proteksi katodik dengan menggunakan sistem anoda korban, logam yang diproteksi diatur agar berperan sebagai katoda dalam suatu sel korosi dan pasangan yang ditempelkan adalah logam lain yang memiliki potensial yang lebih negatif sehingga berperan sebagai anoda. Untuk menghilangkan korosi secara efektif dari suatu unsur logam, material anoda harus mempunyai beda potensial yang relatif cukup besar untuk memproduksi arus searah. Prosesnya berlangsung seperti pada gambar 2.15 berikut ini :



Gambar 2.15 Prinsip dari metode anoda korban.

Sumber : www.mesaproduct.com.

Prinsip perhitungannya berdasarkan pada luasan permukaan dan jenis logam yang diproteksi serta jenis logam anoda korbannya. Sistem ini relatif mudah dan sederhana karena anoda dapat diinstal dalam berbagai aplikasi dan konfigurasi. Dalam sistem ini, kecil kemungkinan terjadi proteksi berlebih, serta tidak tergantung energi dari luar, serta membutuhkan perawatan minimal. Tetapi pada sistem ini, anoda yang dipakai harus selalu dimonitor dan diganti apabila sudah habis terkorosi, karena mempunyai umur terbatas.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dengan menggunakan metode ini, diantaranya adalah :

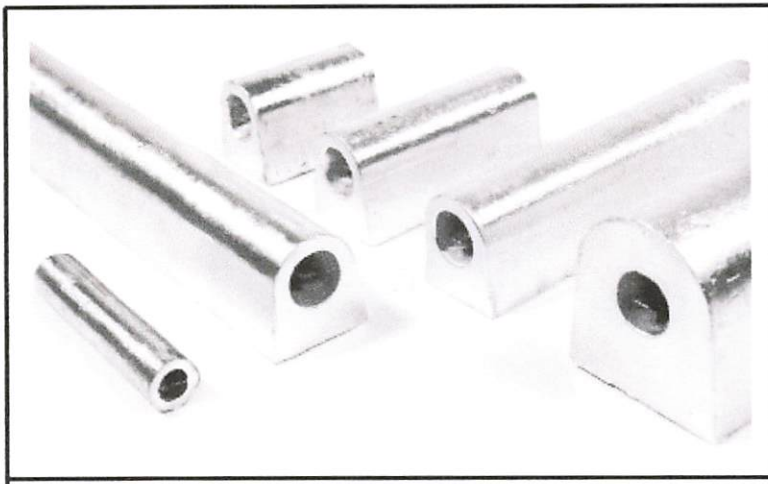
1. Jenis Anoda

Untuk metode ini, jenis anoda galvanik yang dipergunakan untuk proteksi pipa yang ditanam didalam tanah ada 3 jenis, yaitu anoda yang terbuat dari Zinc (*Zinnode*), Magnesium (*Magnode*) dan Aluminium. Yang paling sering dipergunakan adalah Magnode, karena tersedia dalam berbagai tipe. Penggunaannya tergantung dari berbagai aspek, diantaranya tingkat resistivitas tanah (untuk tanah dengan resistivitas tanah kurang dari 1500 ohm-cm , lebih baik digunakan Zinnode), atau instalasi yang dibutuhkan (Magnode membutuhkan instalasi yang lebih kecil). Dibawah ini diberikan tabel untuk spesifikasi anoda Zinc dan Magnesium.

Tabel 2.6 Spesifikasi Zinnode dan Magnode

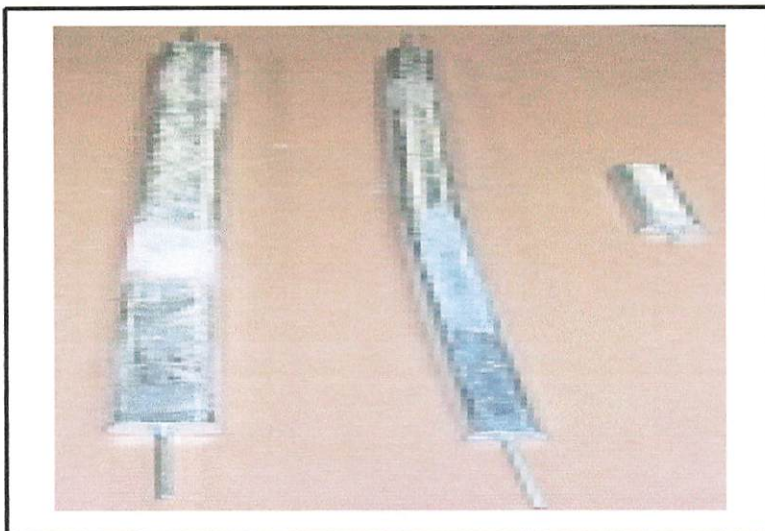
Spesifikasi	Zinnode	Magnode
Potensial anoda (Volt)	1,12	1,83
Efisiensi arus (%)	95	50
Kapasitas arus (A.jam/kg)	780	1232
Kerapatan (kg/m ³)	7060	1765
Pengausan (kg.A/th)	10,7	4,1
Keluaran (A/m ²)	6,5	10,8

Sumber : Theresia, 1991



Gambar 2.16 Magnesium anode.

Sumber : www.farwst.com.



Gambar 2.17 Zinc anode.

Sumber : www.mesaproduct.com.

2. Backfill

Backfill untuk metode ini adalah material kimiawi yang terbuat dari campuran Gypsum, Bentonite dan Sodium sulfat. Komposisi dari masing-masing bahan tergantung dari jenis dimana metode diterapkan. Kegunaannya adalah untuk melindungi anoda supaya tidak berhubungan langsung dengan tanah. Hal ini dikarenakan beberapa komposisi tanah terlalu dapat menimbulkan korosi lokal pada anoda. Backfill juga dapat mempertahankan kelembaban disekitar anoda dan menyeragamkan kondisi disekitar anoda sehingga proteksi yang optimum dapat terjadi.

3. Kabel Konduktor

Sebagai penghubung antara pipa dengan anoda dengan cara disolder. Jenis kabel tergantung dengan arus proteksi pipa yang dibutuhkan.

Rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan untuk perencanaan proteksi katodik dengan metode anoda korban adalah sebagai berikut :

a. Perhitungan jumlah anoda

$$G_n = \frac{I_t}{I_g}$$

Dimana : G_n = jumlah anoda

I_t = total arus untuk proteksi katodik (Ampere)

I_g = output arus pada tiap-tiap anoda (Ampere)

b. Total arus untuk proteksi katodik

$$I_t = \frac{id}{1000} \cdot 3,14 \cdot D \cdot L_p$$

Dimana : id = rapat arus dalam pipa (mA/ft^2)

D = diameter luar pipa (ft)

L_p = panjang pipa (ft)

I_t = arus total (Ampere)

Harga pendekatan untuk rapat arus dalam pipa (id) :

- untuk pipa terbuka = $2 \text{ mA}/\text{ft}^2$

- untuk pipa yang dicoating biasa = $0,2 \text{ mA}/\text{ft}^2$

- untuk pipa yang dicoating dengan baik = $0,005 \text{ mA}/\text{ft}^2$

c. Output arus pada tiap-tiap anoda

$$I_g = \frac{E_c}{R_{cn}}$$

Dimana : I_g = output arus tiap-tiap anoda (Ampere)

E_c = potensial untuk proteksi katodik (volt)

R_{cn} = total tahanan (ohm)

d. Besar total tahanan

$$R_{cn} = R_{vn} + R_p + R_w$$

Dimana : R_{cn} = tahanan tanah (ohm)

R_{vn} = tahanan anoda ke tanah (ohm)

R_p = tahanan pipa ke tanah (ohm)

R_w = tahanan kabel pada system (ohm)

e. Tahanan anoda ke tanah

$$R_{vn} = R_a + R_b + R_s$$

Dimana : R_{vn} = tahanan anoda ke tanah (ohm)

R_a = tahanan internal pada anoda (ohm)

R_b = tahanan anoda ke backfill (ohm)

R_s = tahanan tanah (ohm)

f. Tahanan internal anoda

$$R_a = \frac{1,5}{(L + 0,8W + 0,8T)}$$

Dimana : R_a = tahanan internal anoda (ohm)

L = panjang anoda (cm)

W = lebar anoda (cm)

T = tebal anoda (cm)

g. Tahanan anoda ke backfill

$$R_b = \frac{0,00521 \cdot \rho_b}{L} \left(2,3 \log \frac{8L}{d} - 1 \right)$$

Dimana : R_b = tahanan anod ke backfill (ohm)

ρ_b = resistivitas backfill (ohm.cm)

L = panjang anoda (ft)

d = diameter anoda (ft)

h. Tahanan tanah

$$R_s = \frac{\rho_s}{2\pi L_p} (2,3 \log \frac{4L_p}{D_p} - 1)$$

Dimana : R_s = tahanan tanah (ohm)

ρ_s = resistivitas tanah (ohm.cm)

L_p = panjang pipa yang akan diproteksi (cm)

D = diameter luar pipa (cm)

i. Tahanan pipa ke tanah

$R_p = 0,05 (R_{vn} + R_w)$, untuk pipa tanpa coating

$R_p = 0,10 (R_{vn} + R_w)$, untuk pipa yang dicoating biasa

$R_p = 0,25 (R_{vn} + R_w)$, untuk pipa yang dicoating secara baik

Dimana : R_p = tahanan pipa ketanah (ohm)

R_{vn} = tahanan anoda ke tanah (ohm)

R_w = tahanan kabel pada system (ohm)

j. Perhitungan umur anoda

Anoda-anoda galvanik diatas akan habis dalam kurun waktu tertentu. Umur dari tiap-tiap anoda dapat diketahui dari persamaan berikut :

$$T = \frac{W \times Q}{8760 \times I_g}$$

Dimana : T = umur tiap anoda (tahun)

W = berat anoda (kg)

Q = kapasitas arus (A.jam/kg)

8760 = jumlah jam dalam satu tahun

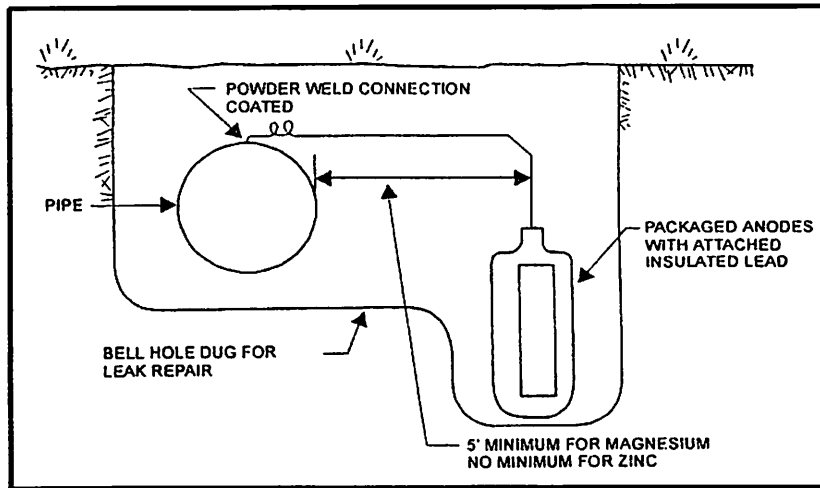
I_g = output arus tiap anoda (Ampere)

Sehingga setelah anoda berumur T tahun, maka anoda tersebut harus segera diganti dengan anoda yang baru.

2.9.1.1 Penanaman Anoda

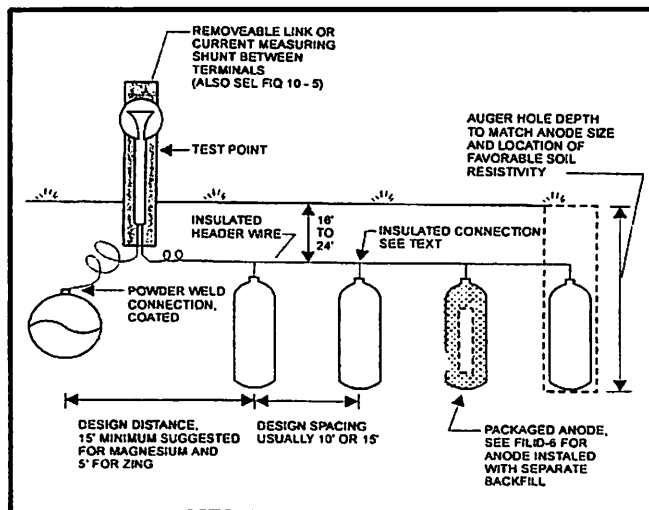
Sebelum anoda ditanam didalam tanah, terlebih dahulu harus dilindungi dengan backfill. Dalam kebanyakan kasus dalam pemasangan anoda, anoda tidak boleh ditanam lebih dalam dari pada kedalaman pipa. Untuk keadaan tanah yang kering, kedalaman tambahan dapat meningkatkan performance anoda dengan pencapaian tanah yang resistivitasnya lebih rendah. Memasahi anoda kira-kira 5

galon air setelah instalasi akan lebih cepat mengaktifkan anoda dalam menyediakan arus yang diperlukan. Untuk single anoda pemasangannya dapat dilihat pada gambar 2.18.



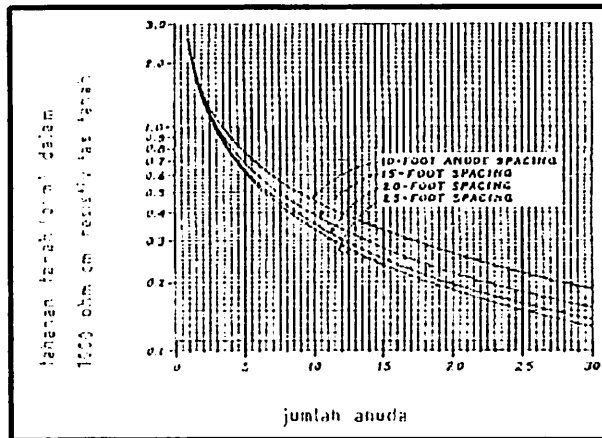
Gambar 2.18 Pemasangan single anoda (metode anoda korban).
 Sumber : Peabody, 1970.

Apabila diperlukan beberapa anoda untuk dipasang dalam satu lokasi, biasanya pada pipa yang dicoating, anoda-anoda tersebut dapat dihubungkan langsung dengan pipa ataupun dapat juga dilewatkan pada test poin untuk pengecekan rutin, seperti terlihat pada gambar 2.19. Cara ini lebih disukai, karena dapat dipergunakan sebagai alat monitor performance anoda.



Gambar 2.19 Pemasangan multiple anoda (metode anoda korban).
 Sumber : Peabody, 1970.

Untuk mengetahui spasi dari tiap anoda dapat dilihat pada grafik 2.1 dibawah ini.



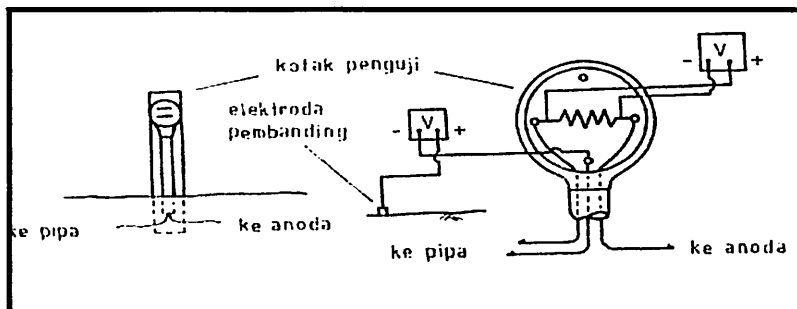
Grafik 2.1 Grafik penentu spasi anoda metode sacrificial anoda.
Sumber : Theresia, 1991.

Cara mengetahui spasi anoda tersebut adalah sebagai berikut tahanan tanah atau total tahanan tanah (jika anodanya lebih dari satu dan susunannya paralel) didalam resistivitas sebesar 1000 ohm-cm merupakan ordinat dan jumlah anoda merupakan absis, sehingga perpotongan antara ordinat dan absis akan mengenai salah satu dari lengkung yang menunjukkan spasi dari tiap anoda.

2.9.1.2 Test Point

Dalam metode sacrificial anoda ini, stasiun pengujian atau test point harus ditempatkan pada tiap tempat dimana dipasang anoda dan pada tempat-tempat dimana terdapat persilangan pipa yang menimbulkan arus salah (stay current). Test poin ini bertujuan untuk mengecek :

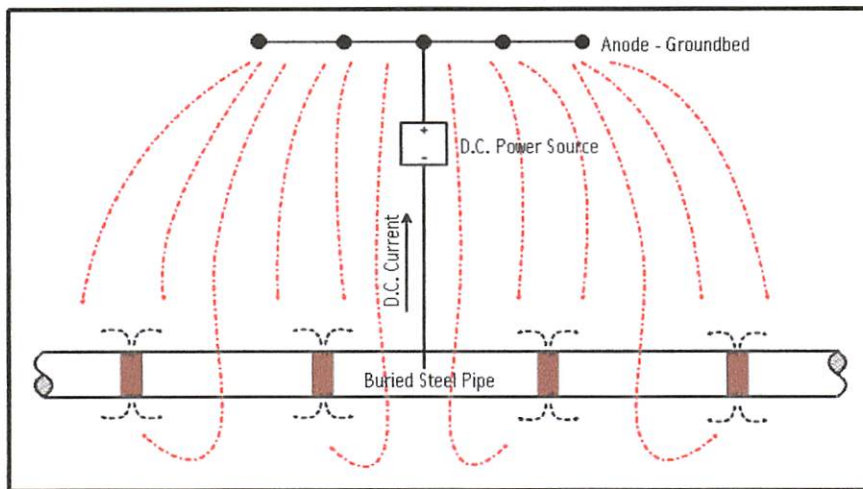
- Arus yang dikeluarkan oleh anoda
- Potensial pipa terhadap tanah



Gambar 2.20 Test Point.
Sumber : Theresia, 1991.

2.9.2 Metode Arus Terpasang (*Impressed Current*)

Pada metode ini anoda yang dihubungkan dengan *rectifier* berfungsi sebagai media untuk mentransfer arus yang berasal dari pipa. Sumber arus yang dipergunakan pada metode ini dapat berasal dari : baterai, generator dan transformer-rectifier. Arus yang dikeluarkan oleh sumber arus tersebut dapat diatur sesuai dengan besarnya arus yang dibutuhkan untuk memproteksi pipa.



Gambar 2.21 Prinsip metode arus terpasang.

Sumber : www.mesaproduct.com.

Anoda yang digunakan lebih lama habisnya dibandingkan dengan anoda galvanik yang digunakan dalam metoda anoda korban, karena itu anodanya disebut anoda permanent.

Sebelum anoda ditanam didalam tanah terlebih dahulu harus dilindungi dengan backfill. Cara mengetahui spasi anoda tersebut adalah tahanan tanah atau total tahanan tanah (jika anodanya lebih dari satu dan susunannya paralel) di dalam resistivitas tanah sebesar 1000 ohm-cm merupakan ordinat dan jumlah anoda merupakan absis, sehingga perpotongan antara ordinat dan absis akan mengenai salah satu dari lengkung yang menunjukkan spasi dari tiap anoda.

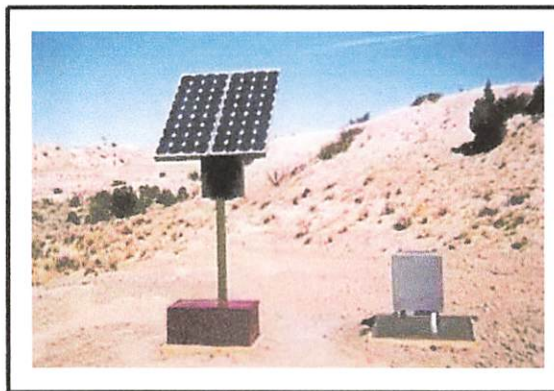
Sistem ini biasanya menggunakan jumlah anoda yang lebih sedikit tetapi kapasitas arus yang diberikan cukup besar, sehingga ada resiko terjadi proteksi berlebih yang nantinya dapat merusak lapisan pelindung pipa. Sedangkan keuntungan dari sistem ini adalah kapasitas arus yang dibutuhkan tidak tergantung faktor internal karena arus diberikan dari luar, strukturnya ringan serta murah karena tidak terlalu sering mengganti anoda.

Salah satu jenis dari *rectifier* adalah *Model 2015 Pulser Rectifier*, seperti pada gambar dibawah ini. Model 2015 Pulser Rectifier merupakan sumber arus yang cukup fleksibel karena bentuknya yang kompak dan ringan, serta dapat diandalkan untuk mensuplai arus (www.farst.com). Apabila letak lokasinya terdapat pada daerah yang sulit dijangkau oleh aliran listrik (PLN) atau pada saat aliran listrik mati, ini diperlukan suatu sumber daya alternatif, yang salah satunya adalah sumber daya listrik tenaga surya (gambar 2.23).



Gambar 2.22 Rectifier model 2015 Pulser.

Sumber : www.farwst.com.



Gambar 2.3 Alternatif energi listrik tenaga surya.

Sumber : www.farwst.com.

Sedangkan hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dengan menggunakan metode ini, diantaranya ialah :

a. Jenis Anoda

Seperti yang disebutkan diatas, untuk metode ini anoda yang digunakan lebih lama usianya dari pada anoda pada metode anoda koban, sehingga

dapat disebut sebagai anoda permanen. Anoda untuk metode arus terpasang harus memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut :

- Mampu mengalirkan arus listrik dengan baik
- Kuat, tetapi mudah dibentuk menjadi anoda siap pakai
- Ekonomis
- Tingkat konsumsi yang rendah diberagam lingkungan

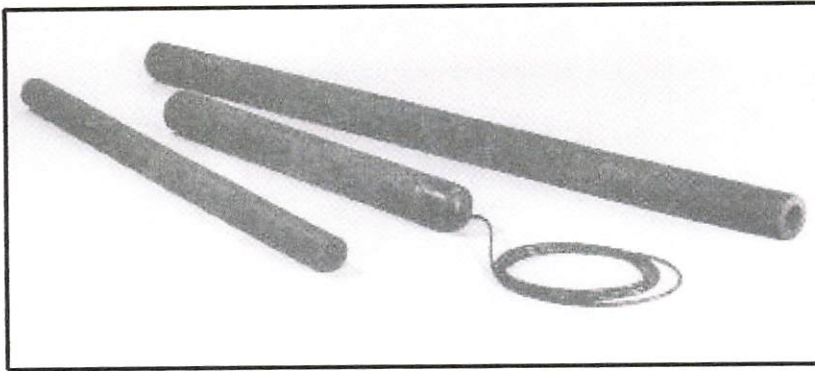
Jenis anoda yang dipergunakan untuk proteksi pipa yang ditanam didalam tanah ada 2 jenis, Graphite Anode dan High Silicon – Cast Iron. Spesifikasi dari kedua jenis anoda diatas dapat dilihat di lampiran.

➤ Standart graphite anode

Graphite anoda telah dimanfaatkan untuk sistem arus terpasang sejak tahun 30-an. Hal ini dikarenakan bahan karbon lebih dulu dikenal sebagai bahan anoda yang memungkinkan disaat itu.

Pembuatan anoda ini melalui proses yang cukup panjang. Anoda grafit dibuat dari *ground petroleum coke* yang dicampur dengan *coal tar pitch binder*. Campuran ini dipanaskan dan ditekan ke dalam silinder-silinder. Setelah itu silinder tersebut didinginkan dalam tempat khusus, ditempatkan didalam oven, lalu dimasukkan dalam campuran pasir untuk mengkarbonasikan *patch binder*. Campuran pasir dan *petroleum coke* meningkatkan kecepatan transfer panas dan menjaga anoda selama *plastic stage*. Setelah pendinginan diatmosfer yang rendah, anoda di tumpuk dalam tungku grafit diantara 2 elektroda, ditutup dengan *petroleum coke* di lapisan pasir, dan fase tunggal gelombang AC sebesar 60 Hz dilewatkan melalui tumpukan tersebut. Proses ini meningkatkan temperatur dari anoda sehingga mencapai rata-rata 2600 derajat celcius dan melengkapi proses gravitasi.

Anoda jenis ini paling umum dipergunakan dibandingkan materi anoda untuk sistem arus terpasang lainnya.



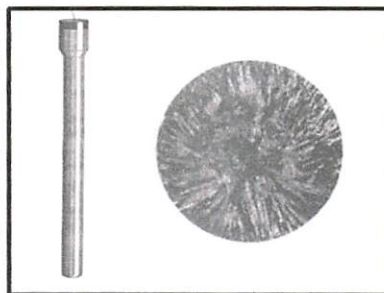
Gambar 2.24 Graphite anodes yang dilengkapi kabel.

Sumber : www.farwst.com.

➤ High Silicon – Cast Iron

Besi yang mempunyai kandungan silikon tinggi dikembangkan pada awal tahun 90-an. Karakter asli dari material ini amatlah keras dan gampang remuk. Material ini pertama kali dipertimbangkan secara serius sebagai bahan anoda untuk metode arus terpasang pada awal tahun 50-an dan diperkenalkan sebagai bahan anoda pada tahun 1954. Modifikasi campuran selanjutnya pada tahun 1959 menghasilkan karakteristik anoda yang lebih baik. Campuran tersebut berupa tambahan 4,5 % kromium pada materi awal. Semenjak ini, materi anoda ini mulai dipergunakan secara luas dan diterima oleh industri.

High silicon chromium cast iron merupakan bahan yang solid dan tidak berpori. Campuran ini tersusun dari matrik silico-ferrite, dimana kebanyakan karbon berbentuk pecahan atau butiran grafit. Penambahan kromium menyebabkan eliminasi grafit.



Gambar 2.25 High silicon cast iron anodes dan cross section-nya.

Sumber : www.farwst.com.

b. Backfill

Backfill untuk metode ini terbuat dari material karbon dengan resistivitas 50 ohm-cm. Kegunaan sama dengan backfill pada metode anoda korban.

Rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan untuk perencanaan proteksi katodik dengan metode impressed current atau arus terpasang adalah sebagai berikut :

a. Perhitungan jumlah anoda

$$G_n = \frac{I_t}{I_g}$$

Dimana : G_n = jumlah anoda

I_t = total arus untuk proteksi katodik (Ampere)

I_g = output arus tiap-tiap anoda (Ampere)

b. Total arus untuk proteksi katodik

$$I_t = \frac{id}{1000} \cdot 3,14 \cdot D \cdot L_p$$

Dimana : id = rapat arus dalam pipa (mA/ft^2)

D = diameter luar pipa (ft)

L_p = panjang pipa (ft)

I_t = arus total (Ampere)

Harga pendekatan untuk rapat arus dalam pipa (id) :

- untuk pipa terbuka = $2 \text{ mA}/\text{ft}^2$

- untuk pipa yang dicoating biasa = $0,2 \text{ mA}/\text{ft}^2$

- untuk pipa yang dicoating dengan baik = $0,005 \text{ mA}/\text{ft}^2$

c. Perhitungan umur anoda

Umur tiap-tiap anoda dapat diketahui dari persamaan

$$T = \frac{W}{C \times I_g}$$

Dimana : T = umur anoda (tahun)

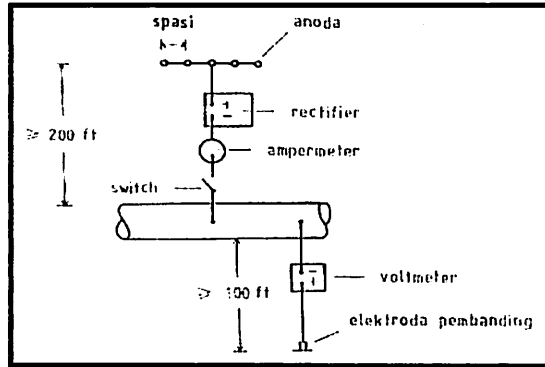
W = berat tiap anoda (kg)

C = kecepatan pemakaian anoda ($\text{kg}/\text{Amp.tahun}$)

I_g = output arus tiap anoda (Ampere)

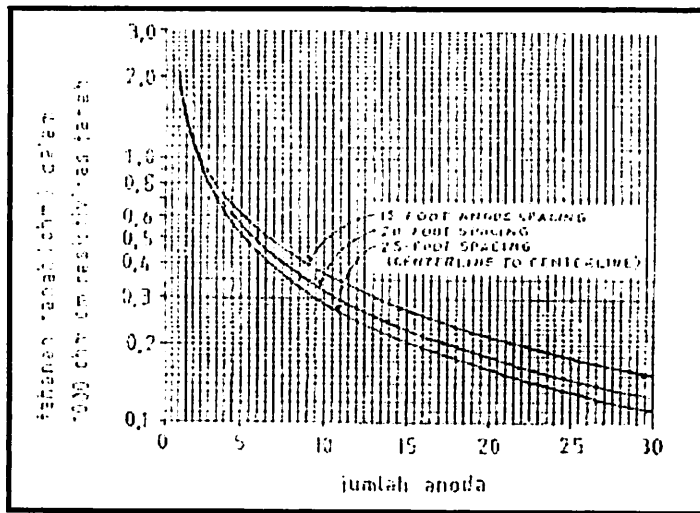
2.9.2.1 Cara Penanaman Anoda

Sebelum anoda ditanam didalam tanah, terlebih dahulu harus dilindungi dengan backfill. Setelah anoda siap untuk ditanam, cara penerapannya dapat dilihat seperti pada gambar 2.26 dibawah ini.



Gambar 2.26 Pemasangan anoda metode impressed current.
Sumber : Theresia, 1991.

Untuk mengetahui spasi dari tiap anoda dapat dilihat pada grafik 2.2 dibawah ini.



Grafik 2.2 Grafik penentu spasi anoda pada metode impressed current.
Sumber : Theresia, 1991.

Cara mengetahui spasi anoda tersebut adalah tahanan tanah atau total tahanan tanah (jika anodanya lebih dari satu dan susunannya paralel) didalam resistivitas sebesar 1000 ohm-cm merupakan ordinat dan jumlah andoa merupakan absis, sehingga perpotongan antara ordinat dan absis akan mengenai salah satu dari lengkung yang menunjukkan spasi dari tiap anoda.

2.9.2.2 Test Point

Test poin pada metode impressed current juga sangat diperlukan, dimana kegunaan dan telah dibahas sebelumnya pada metode sacrificial anoda.

2.10 Algoritma

2.10.1 Pengertian Algoritma

Algoritma berasal dari kata *algoris* dan *ritmis*, yang pertama kali diungkapkan oleh Abu Ja'far Mohammed Ibn Musa al Khowarismi (825 M) dalam buku *Al-Jabr Wa-al Muqabla*. Dalam bidang pemrograman algoritma didefinisikan sebagai suatu metode khusus yang tepat dan terdiri dari serangkaian langkah yang terstruktur dan dituliskan secara sistematis yang akan dikerjakan untuk menyelesaikan suatu masalah dengan bantuan komputer (Syarif, I, 2002 dalam Sari, R, 2007).

Algoritma merupakan pola pikir terstruktur yang berisi tahap-tahap penyelesaian masalah yang dapat disajikan dengan teknik tulisan maupun dengan gambar (Syarif, D, 2002 dalam Sari, R, 2007). Penyajian algoritma dalam bentuk tulisan biasanya menggunakan metode *Structure English* atau *Pseudo Code* (kode semu). Penyajian algoritma dalam bentuk gambar biasanya menggunakan *flowchart* (diagram alir). Selain *flowchart* sebenarnya masih ada beberapa metode untuk menggambarkan algoritma yaitu *structure chart*, HIPO (*Hierarchy Input-Process-Output*), *Data Flow Diagram* dan sebagainya.

2.10.2 Aturan Penulisan Teks Algoritma

Tidak ada notasi yang baku dalam penulisan teks algoritma. Algoritma bukanlah program yang harus mengikuti aturan-aturan tertentu. Meski demikian, algoritma dituliskan mendekati gaya bahasa pemrograman umumnya. Misal, tulis nilai X dan Y, dituliskan dalam algoritma sebagai `write(X,Y)`. Perhatikan dalam notasi `write(X,Y)` ini hanya memerintahkan penyajian nilai X ke piranti keluaran (output). Dalam notasi itu juga tidak memasalahkan format ataupun bentuk-bentuk tampilan lainnya, seperti dicetak dalam satu baris X dan Y, pemakaian pemisah antara X dan Y menggunakan koma atau spasi. Hal-hal yang bersifat

teknis ini baru dipikirkan waktu penulisan program. Algoritma adalah bebas bahasa pemrograman.

2.10.3 Teks Algoritma

Mengikuti alur konsep pemrograman prosedural, suatu teks algoritma disusun dalam tiga bagian, yaitu:

1. Bagian kepala algoritma.

Penjelasan tentang algoritma yang menguraikan secara singkat hal-hal yang dilakukan oleh algoritma.

2. Bagian deklarasi.

Semua nama yang digunakan, meliputi nama-nama: tipe, konstanta, variabel. Juga nama sub-program dinyatakan di sini

3. Bagian deskripsi algoritma.

Semua langkah atau aksi algoritma dituliskan di sini

Setiap bagian disertai dengan penjelasan atau dokumentasi tentang maksud pembuatan teks. Bagian penjelasan diawali dan diakhiri dengan simbol kurung kurawal { dan }.

Contoh:

- 1) **Kepala algoritma:** Algoritma Luas_Lingkaran {Menghitung luas lingkaran dengan ukuran jari-jari tertentu. Algoritma menerima masukan jari-jari lingkaran, menghitung luasnya, dan menyajikan hasilnya ke piranti keluaran}. Dalam menulis nama-nama dalam algoritma harus mempunyai makna yang mencerminkan proses, sifat atau identitas lainnya yang melekat dengan suatu proses, tipe, konstanta, variabel, sub-program dan lainnya. Nama-nama yang bermakna disebut *mnemonic*.

- 2) **Deklarasi algoritma:**

DEKLARASI

{ nama konstanta } *const PHI = 3.14; { Nilai phi = 22/7 }*

{ nama peubah } *var R : real; { input jari-jari lingkaran bilangan riil }*

l_Lingkaran : real; { luas lingkaran bilangan riil }

{ nama sub program } *procedure TUKAR (input/output A:integer, input/output B:integer) {Mempertukarkan nilai A dan B. Parameter A dan*

B sudah terdefinisi nilainya. Setelah pertukaran, A berisi nilai B dan B berisi nilai A }

- 3) **Deskripsi algoritma:** Bagian ini merupakan bagian inti algoritma yang berisikan uraian langkah-langkah penyelesaian suatu masalah. Setiap langkah algoritma dibaca dari atas ke bawah. Urutan penulisan menentukan urutan pelaksanaan perintah.

{Baca data jari-jari lingkaran R. Jika $R \leq 0$ tulis pesan data salah, selain itu hitung luas lingkaran. Tampilkan luas lingkaran }

baca(R);

jika $R \leq 0$ kemudian tulis("Data salah !")

selain itu $l_Lingkaran = PHI \times R \times R;$

tulis(l_Lingkaran);

2.10.4 Analisis Algoritma

Algoritma adalah urutan langkah yang tepat dan pasti dalam memecahkan suatu masalah secara logis. Beberapa masalah dapat diselesaikan dengan algoritma yang bermacam-macam asal hasilnya sama. Setiap bahasa pemrograman memiliki kelebihan dan kekurangan dalam mengimplementasikan algoritma dan setiap pemrogram dapat mengimplementasikan suatu algoritma dengan cara yang berbeda-beda pula. Namun algoritma dapat dianalisis efisiensi dan kompleksitasnya.

Penilaian algoritma didasarkan pada:

- Waktu eksekusi (paling utama)
- Penggunaan memori/sumber daya
- Kesederhanaan dan kejelasan algoritma

Analisis algoritma tidak mudah dilakukan secara pasti, karena itu hanya diambil:

- Kondisi rata-rata (*average case*)
- Kondisi terburuk (*worst case*)

Waktu eksekusi dipengaruhi oleh:

- Jenis data input
- Jumlah data input
- Pemilihan instruksi bahasa pemrograman

Faktor-faktor yang menyulitkan analisis disebabkan oleh:

- a. Implementasi instruksi oleh bahasa pemrograman yang berbeda
- b. Ketergantungan algoritma terhadap jenis data
- c. Ketidakjelasan algoritma yang diimplementasikan

Langkah-langkah analisis algoritma

- a. Menentukan jenis/sifat data input.
- b. Mengidentifikasi *abstract operation* dari data input.
- c. Menganalisis secara matematis untuk menentukan *average case* atau *worst case* nya.

2.11 Flowchart

PseudoCode (kode semu) disusun dengan tujuan untuk menggambarkan tahap-tahap penyelesaian suatu masalah dengan kata-kata (teks). Metode ini mempunyai kelemahan, dimana penyusunan algoritma dengan kode semu sangat dipengaruhi oleh tata bahasa pembuatnya, sehingga kadang-kadang sulit dipahami oleh orang lain. Oleh karena itu kemudian dikembangkan suatu metode lain yang dapat menggambarkan suatu algoritma secara lebih mudah dan sederhana yaitu dengan menggunakan *flowchart* (diagram alir).

Bagan alir (*flowchart*) adalah bagan (*chart*) yg menunjukkan alir (*flow*) di dalam program atau prosedur sistem secara logika (Silfianti, W, 2003, dalam Sari, R, 2007). Digunakan terutama untuk alat bantu komunikasi dan untuk dokumentasi.

Pedoman untuk menggambarannya:

1. Sebaiknya digambar dari atas ke bawah dan mulai dari bagian kiri suatu halaman.
2. Kegiatannya harus ditunjukkan dengan jelas.
3. Ditunjukkan dengan jelas dimulai dan berakhirnya suatu kegiatan.
4. Masing-masing kegiatan sebaiknya digunakan suatu kata yg mewakili suatu pekerjaan.
5. Kegiatannya sudah dalam urutan yang benar.
6. Kegiatan yg terpotong dan akan disambung ditunjukkan dengan jelas oleh simbol penghubung.
7. Digunakan simbol-simbol yang standart.

Ada lima macam bagan alir :



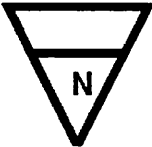

1. Bagan alir sistem (*systems flowchart*)
2. Bagan Alir Dokumen (*document flowchart*)
3. Bagan Alir Skematik (*schematic flowchart*)
4. Bagan Alir Program (*program flowchart*)
5. Bagan Alir Proses (*proccess flowchart*)













2.11.1 Bagan alir sistem (*systems flowchart*)


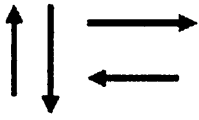



Sistem *flowchart* merupakan diagram alir yang menggambarkan suatu sistem peralatan komputer yang digunakan dalam proses pengolahan data serta hubungan antar peralatan tersebut. Sistem *flowchart* tidak digunakan untuk menggambarkan urutan langkah untuk memecahkan masalah , tetapi hanya untuk menggambarkan prosedur dalam sistem yang dibentuk.

- a. Bagan yg menunjukkan arus pekerjaan secara keseluruhan dari sistem.
- b. Menjelaskan urut-urutan dari prosedur-prosedur yang ada didalam sistem.
- c. Menunjukkan apa yang dikerjakan di sistem.
- d. Simbol-simbol yang digunakan :

Tabel 2.7 Simbol-simbol yang digunakan dalam sistem flowchart

Simbol	Keterangan	Simbol	Keterangan
	Simbol Dokumen; menunjukkan input dan output baik untuk proses manual, mekanik atau komputer		Simbol manual; menunjukkan pekerjaan manual
	Simbol simpanan offline; file nonkomputer yang diarsip urut angka (<i>numerical</i>)		Simbol simpanan offline; file nonkomputer yang diarsip urut huruf (<i>alphabetical</i>)

	<p>Simbol simpanan offline; file non komputer yang diarsipurut tanggal (<i>chronological</i>)</p>		<p>Simbol kartu punc; menunjukkan i/o yang menggunakan kartu punch</p>
	<p>Simbol Proses; menunjukkan kegiatan proses dari operasi program komputer</p>		<p>Simbol operasi luar; menunjukkan operasi yang dilakukan diluar operasi komputer</p>
	<p>Simbol sort offline; menunjukkan proses pengurutan data diluar proses komputer</p>		<p>Simbol pita magnetic; menunjukkan i/o menggunakan pita magnetic</p>
	<p>Simbol disk; menunjukkan i/o menggunakan harddisk</p>		<p>Simbol diskette; menunjukkan i/o menggunakan disket</p>
	<p>Drum magnetik; menunjukkan i/o menggunakan drum magnetic</p>		<p>Pita kertas berlubang; menunjukkan i/o menggunakan pita kertas pita berlubang</p>
	<p>Keyboard; menunjukkan input yg menggunakan online</p>		<p>Display; menunjukkan output yang ditampilkan di monitor</p>

	keyboard		
	Hubungan komunikasi; menunjukkan proses transmisi data		Garis alir; Menunjukkan arus dari proses
	Penjelasan; Menunjukkan penjelasan dari suatu proses		Penghubung; Menunjukkan penghubung ke halaman yang sama atau halaman lain
	Pita Kontrol; menunjukkan penggunaan pita kontrol (control tape) dalam batch control untuk pencocokan di proses batch processing		

Sumber : Sari, R, 2007.

2.11.2 Bagan Alir Skematik (*schematic flowchart*)

Merupakan bagan alir yg mirip dengan bagan alir sistem, yaitu menggambarkan prosedur di dalam sistem. Perbedaannya adalah bagan alir skematik selain menggunakan simbol-simbol bagan alir sistem juga menggunakan gambar-gambar komputer dan peralatan lainnya yg digunakan. Fungsi penggunaan gambar tersebut adalah untuk memudahkan komunikasi kepada orang yg kurang mengerti dgn simbol-simbol bagan alir.



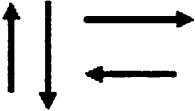
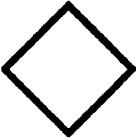




2.11.3 Bagan Alir Program (*program flowchart*)

Merupakan bagan yg menjelaskan secara rinci langkah-langkah dari proses program.

- a. Dibuat dari derivikasi bagan alir sistem
- b. Terdiri dari 2 bentuk:
 1. Bagan Alir logika; digunakan untuk menggambarkan setiap langkah didalam program komputer secara logika.
 2. Bagan alir komputer terinci.

Menggunakan simbol-simbol sebagai berikut :

Tabel 2.8 Simbol-simbol yang digunakan dalam *program flowchart*






Simbol	Keterangan	Simbol	Keterangan
	Input/output; digunakan untuk mewakili data i/o		Proses; digunakan untuk mewakili suatu proses
	Garis alir; Menunjukkan arus dari proses		Keputusan; digunakan untuk suatu seleksi kondisi didalam program
	Penghubung; Menunjukkan penghubung ke halaman yg sama atau halaman lain		Proses terdefinisi; menunjukkan suatu operasi yang rinciannya ditunjukkan ditempat lain
	Persiapan; digunakan untuk memberi nilai awal suatu besaran		Terminal; menunjukkan awal dan akhir dari suatu proses

Sumber : Sari, R, 2007.

2.11.4 Bagan Alir Proses (*process flowchart*)

Merupakan bagan alir yg banyak digunakan di teknik industri. Berguna bagi analis sistem untuk menggambarkan proses dalam suatu prosedur. Juga dapat menunjukkan jarak kegiatan yang satu dengan yg lainnya serta waktu yang diperlukan oleh suatu kegiatan. Simbol-simbol yang digunakan :

Tabel 2.9 Simbol-simbol yang digunakan dalam *process flowchart*

Simbol	Keterangan
	Menunjukkan suatu operasi
	Menunjukkan suatu pemindahan
	Menunjukkan suatu simpanan
	Menunjukkan suatu inspeksi
	Menunjukkan suatu penundaan/delay

Sumber : Sari, R, 2007.

2.12 Pengenalan Bahasa Pemrograman

2.12.1 Istilah Dasar

Istilah mendasar yang perlu dipahami dalam bahasa pemrograman (Sutedjo, 2002 Sari, R, 2007) adalah :

1. Program, adalah kata, ekspresi, pernyataan atau kombinasinya yang disusun atau dirangkai menjadi satu kesatuan prosedur yang berupa urutan langkah untuk menyelesaikan masalah yang diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman sehingga dapat dieksekusi oleh komputer.
2. Bahasa Pemrograman, prosedur atau tatacara penulisan program. Pada bahasa pemrograman terdapat dua faktor penting yaitu *sintak* dan *semantik*. *Sintak* adalah urutan gramatika yang mengatur tatacara penulisan kata, ekspresi dan pernyataan. *Semantik* adalah aturan-aturan untuk menyatakan suatu arti. Selain itu bahasa pemrograman memiliki beberapa elemen dasar yaitu data, *variabel*, *ekspresi* dan fungsi (Nugroho, 2000, dalam Sari, R, 2007).

-
3. Pemrograman, merupakan proses mengimplementasikan urutan langkah untuk menyelesaikan suatu masalah dengan menggunakan bahasa pemrograman.

2.12.2 Teknik Pemrograman

1. Pemrograman Terstruktur, merupakan teknik yang terstruktur dan sistematis, merupakan proses mengimplementasikan urutan langkah untuk menyelesaikan suatu masalah dalam bentuk program yang memiliki rancang bangun yang terstruktur dan tidak berbelit-belit sehingga mudah ditelusuri dan dipahami serta dikembangkan oleh siapa saja. (Sutedjo, 2002, dalam Sari, 2007)

Ciri-ciri dari pemrograman terstruktur adalah :

- a. Mengandung algoritma pemecahan masalah yang tepat dan benar, *standart* dan efektif.
 - b. Memiliki struktur logika dan struktur program yang benar dan mudah dipahami.
 - c. Memiliki dokumentasi yang baik.
2. Pemrograman *Modular*, pemrograman dengan pembagian masalah yang besar dan komplek menjadi kelompok masalah yang lebih kecil yang disebut modul. Teknik pemrograman terstruktur yang digunakan untuk menyelesaikan masalah tersebut dinamakan teknik pemrograman modular, tetapi setelah masing-masing modul disusun maka harus dibuat suatu sistem untuk mengintegrasikannya sehingga menjadi satu kesatuan program yang lengkap. Modul program adalah sekumpulan instruksi yang memiliki operasi-operasi dan data yang didefinisikan memiliki struktur internal yang tidak tergantung pada sub program lain dan merupakan satu kesatuan yang akan dieksekusi secara berulang-ulang. Untuk menyusun program *modular* dapat digunakan konsep fungsi atau prosedur.
 3. Pemrograman Berorientasi Object, pemrograman berorientasi object diciptakan supaya konsep yang ada pada dunia nyata dapat diterapkan dalam pemrograman. Dalam pemrograman berorientasi object komponen-

komponen dalam program disebut sebagai sebuah object yaitu sesuatu yang memiliki sifat (*property*), kerja (*methode*), dan respon terhadap kejadian (*event*), Object tersebut disusun dari sekumpulan data, prosedur dan fungsi yang dibungkus menjadi satu.

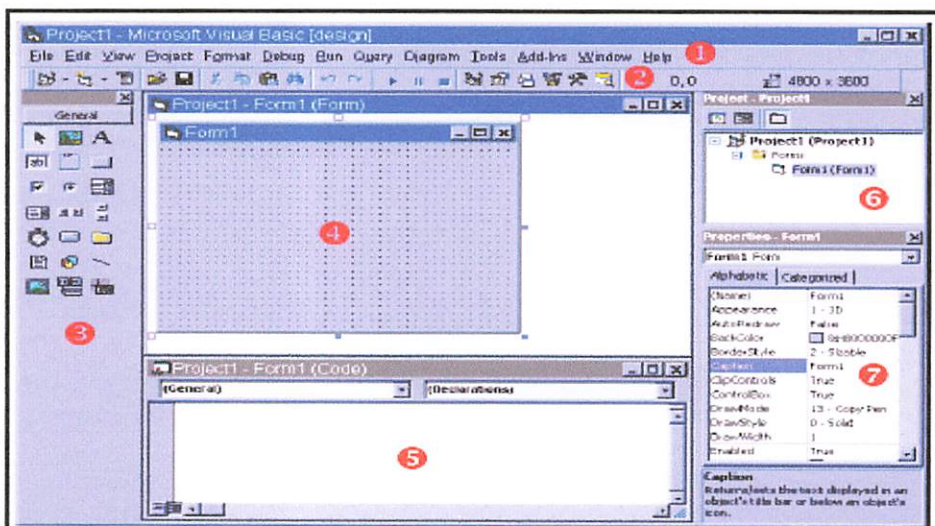
2.13 Microsoft Visual Basic

Pemrograman Visual Basic merupakan suatu bahasa pemrograman yang mengkombinasi kemampuan suatu bahasa basic dan piranti desain visual, bahasa ini menyediakan kesederhanaan dan kemudahan pakai tanpa mengorbankan kinerja atau fasulitas grafik yang menyebabkan windows menjadi lingkungan kerja yang menyenangkan.

Visual Basic adalah suatu bahasa komputer yang mendukung pemrograman event-driven yaitu gaya pemrograman yang sangat cocok untuk antar muka pemakai grafis. Pada pemrograman event-driven sasarannya adalah menjadikan pemakai sebagai orang yang mengetahui dengan mudah akan informasi yang disajikan oleh programmer.






2.13.1 Integrated Development Environment (IDE) VB 6

Integrated Development Environment merupakan tampilan kerja pada Visual Basic. Pada standard EXE, akan terlihat tampilan area kerja seperti pada gambar 2.27.



Gambar 2.27 IDE Visual Basic 6.0.

Keterangan :

1. Menubar
2. Toolbar
3. Toolbox ()
4. Jendela Form ()
5. Jendela Code ()
6. Project Explorer ()
7. Jendela Properties ()

2.13.2 Konsep Dasar Pemrograman

Konsep Visual Basic merupakan pemrograman visual, tetapi juga diperlukan pengkodean untuk mendapatkan hasil akhir program yang sempurna. Sesuai dengan namanya Visual Basic menggunakan bahasa basic untuk membuat rutin program.

- *Mekanisme penulisan rutin program*

Visual Basic menggunakan dua tipe kode sumber. Tipe pertama adalah *Form* dan tipe yang kedua *Module*.

- *Elemen utama Visual Basic*

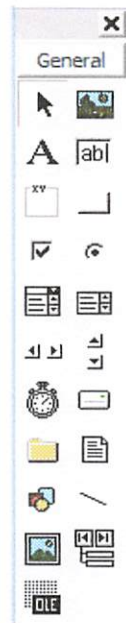
Didalam Visual Basic dikerjakan dengan beberapa jendela terbuka hampir setiap waktu. Adapun kelima jendela utama dilingkungan Visual Basic adalah sebagai berikut :

Jendela	Uraian
Form	Berisi latar belakang windows yang anda tulis. Anda menggambar dan meletakkan item itu pada <i>Form</i> , sehingga pengguna program terbiasa melihat dan berinteraksi.
Toolbox	Berisi alat-alat yang diperlukan program, hal ini nampaknya jelas tetapi kita perlu bahwa alat-alat pada visual basic lebih sering disebut kontrol-kontrol. Kontrol-kontrol ini yang kita tempatkan pada <i>Form</i> .
Project	Program Visual Basic sering berisi beberapa jenis file yang berbeda yang semuanya bekerja dalam satu kesatuan membentuk program tunggal yang dijalankan. Jendela project berisi daftar semua file aktif

yang digunakan. Jendela project berisi uraian file sederhana, tetapi file tersebut tempatnya terpisah didalam harddisk.

PropertiesJendela ini menguraikan setiap elemen individual pada aplikasi kita. Bila kita ingin melihat atau mengedit *properti* dari berbagai form atau control kita dapat melihat serta mengedit properti-nya disatu jendela properti.

Code Tidak seperti kebanyakan bahasa pemrograman yang lain, kita tidak harus memilih banyak kode jika kita mengembangkan aplikasi didalam Visual Basic. Kode dalam jendela *Code* adalah source code program. Ketika pengguna menjalankan program Visual Basic dan komputer kita menginterpretasikan sebagai *source code* maka computer akan mengeksekusi intruksi didalam source code tersebut.



Gambar 2.28 Toolbox Visual basic 6.0 dengan semua kontrol intristik.

Begitu banyak jendela yang digunakan didalam aplikasi windows, kita dapat memindah, mengubah ukuran dan menutup kelima jendela. Dengan menggunakan mouse maka semuanya itu dapat dikerjakan dengan mudah. Beberapa contoh dasar-dasar object oriented programming yang terdapat dalam visual basic, antara lain :

❖ Property

Property adalah sifat ciri yang dimiliki oleh suatu *object*, contohnya : object label mempunyai warna tulisan putih merah, warna background abu-abu. Warna tulisan dan warna background disebut property dari object label.

Tabel 2.10 Property Object Form

No	Property	Keterangan
1	Name	Nama object
2	Picture	Gambar background form
3	Caption	Judul form
4	Left	Jarak kiri dihitung dari atas layar
5	Top	Jarak atas form dihitung dari atas layar
6	Border Style	Jenis pembatas form (dialog, thin, etc)
7	Record Source	Sumber data form (bisa berupa table, query, atau SGL)

Sumber : Hanisaroso, 2006

Tabel 2.11 Property Object Textbox

No	Property	Keterangan
1	Name	Nama object
2	Picture	Gambar background form
3	Caption	Judul form
4	Left	Jarak kiri dihitung dari atas layar
5	Top	Jarak atas form dihitung dari atas layar
6	Border Style	Jenis pembatas form (dialog, thin, etc)
7	Record Source	Sumber data form (bisa berupa table, query, atau SGL)

Sumber : Hanisaroso, 2006

❖ Method

Method adalah suatu aksi yang dapat diterapkan pada suatu object. Contohnya : *Textbox1.SetFocus* artinya letakkan kursor atau focus diobject Textbox1.

```
Private Sub Command7_Click()
```

```
Me !Text5.SetFocus
```

```
End Sub
```

❖ Event

Event adalah kejadian yang menimpa suatu object. Programmer dapat mengontrol apa yang akan dilakukan program pada saat suatu kejadian berlangsung.

Contohnya : Apabila *Command1* di-klik berarti *Object Event* tulisan (*Caption*) *Command1* berubah dari “*Show*” menjadi “*Hide*”

Tabel 2.12 Event Object Textbox

No	Property	Keterangan
1	After Update	Setelah diperbaharui
2	On Change	Saat dirubah
3	On Get Focus	Saat mendapat fokus
4	On Lost Focus	Saat kehilangan fokus
5	On Click	Saat diklik
6	On Key Down	Saat tombol ditekan
7	On Mouse Move	Saat mouse digerakkan diatas object

Sumber : Hanisaroso, 2006

Tabel 2.13 Event Object Form

No	Property	Keterangan
1	On Load	Saat form diload
2	On Click	Saat form diklik
3	Timer Interval	Sedang waktu hitungan atau counter
4	On Timer	Saat terjadi pergantian hitungan
5	On Current	Saat terjadi pergantian record aktif
6	On Close	Saat form ditutup
7	Dan lain-lain	

Sumber : Hanisaroso, 2006

❖ Keyword “Me”

Keyword “Me” dalam kode yang diletakkan dalam sebuah form dapat diartikan sebagai referensi terhadap *form* itu sendiri. Contoh : jika ingin merubah tulisan “*Show*” pada *button* dengan *event OnClick* menjadi “*hide*”, kodenya dapat ditulis sebagai berikut:

```
Private Sub Command4_Click ()
    Me ! Command1.Caption = "Hide"
End Sub
```

Tanda “,” dalam kode diatas mempunyai arti bahwa *Caption* adalah *property* (dalam kasus lain dapat berupa *Method* dari *Object command1*. dan tanda “,” berarti *object* yang berada dalam *form* “*Product*”

2.13.3 Object Linking and Embedding (OLE)

Kelebihan yang dimiliki oleh Visual Basic adalah fasilitas OLE (*Obyek Linking and Embedding*) yang memungkinkan untuk membuat suatu obyek dalam suatu aplikasi yang berisi data dari aplikasi lain, yang ditempatkan didalam suatu program Visual Basic. *Linking*, Obyek dari aplikasi, obyek yang diperbaharui disimpan dalam aplikasi sumbernya. Obyek yang sama dihubungkan dengan beberapa aplikasi lain.

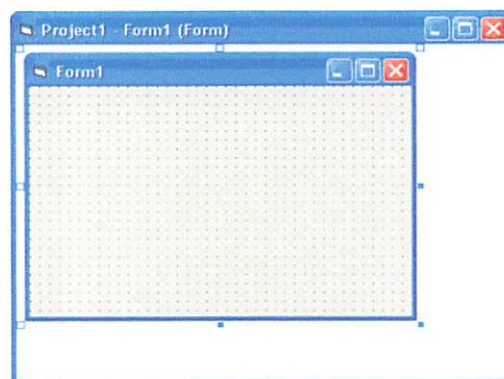
Embedding, Obyek dari aplikasi lain yang dihubungkan dengan aplikasi Visual Basic dan ketika pemakai keluar dari aplikasi, obyek otomatis diperbaharui dan disimpan dalam aplikasi Visual Basic. Tidak ada aplikasi lain yang mempunyai akses ke data yang di-*embed*.

2.13.4 Pembuatan Program Pada Visual Basic

Langkah penyusunan program pada Visual Basic secara garis besar adalah :

a. Pembuatan Tampilan / Desain Form

Pada umumnya sebuah form yang dibuat akan berbentuk persegiempat (kotak) yang berfungsi sebagai *platform* untuk meletakkan obyek yang diperlukan. Penempatan berbagai obyek ini tergantung dari perancang program tersebut. Salah satu contoh desain awal sebuah *form* untuk sebuah aplikasi dapat dilihat pada gambar 2.31

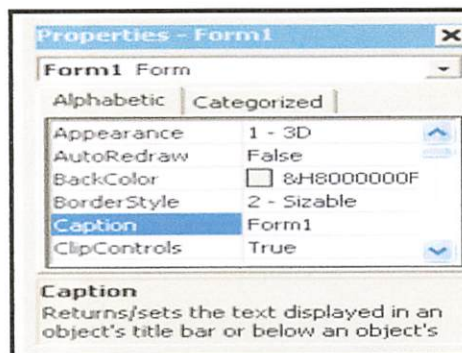


Gambar 2.29 Desain awal untuk suatu aplikasi.

b. Penataan Properti

Properti Visual Basic adalah mekanisme normal untuk menjelaskan atribut-atribut obyek. Setiap obyek Visual Basic memiliki property tertentu yang settingnya mengontrol tampilan dan ulah obyek dalam suatu aplikasi. Penataan ini meliputi pengaturan *border style*, nama, warna, *font* dan lain-lain. Sebagai contoh property *visible* suatu obyek bisa diset ke *true* dan *false* (obyek tampak dan tidak tampak pada saat aplikasi dijalankan).

Tampilan properti dari suatu obyek yang aktif dapat dilihat pada gambar 2.30



Gambar 2.30 Kotak property dari obyek yang aktif.

c. Prosedur Event

Event merupakan suatu kejadian yang akan diterima oleh suatu obyek. Event yang diterima oleh obyek berfungsi untuk menjalankan kode program yang ada didalam obyek tersebut. Pada pemrograman *event-driven*, perancang program menuliskan sebuah program yang bereaksi terhadap tindakan pemakai.

```
Private Sub Command1_Click
```

Baris kode program diatas menunjukkan penggunaan event *Click* pada obyek *Command1*, yang mempunyai arit apabila obyek *Command1* diklik maka kode program yang terletak dibawah baris kode program tersebut akan dijalankan.

d. Menuliskan Kode

Menentukan perintah-perintah dalam bahasa Visual Basic, pernyataan-pernyataan yang mengontrol operasi program yang merupakan jantung pemrograman. Termasuk juga deklarasi variabel yaitu menyisihkan tempat untuk nilai dalam memori computer.

```
Private Sub Command1_Click()
```

Picture1.Visible = True

End Sub

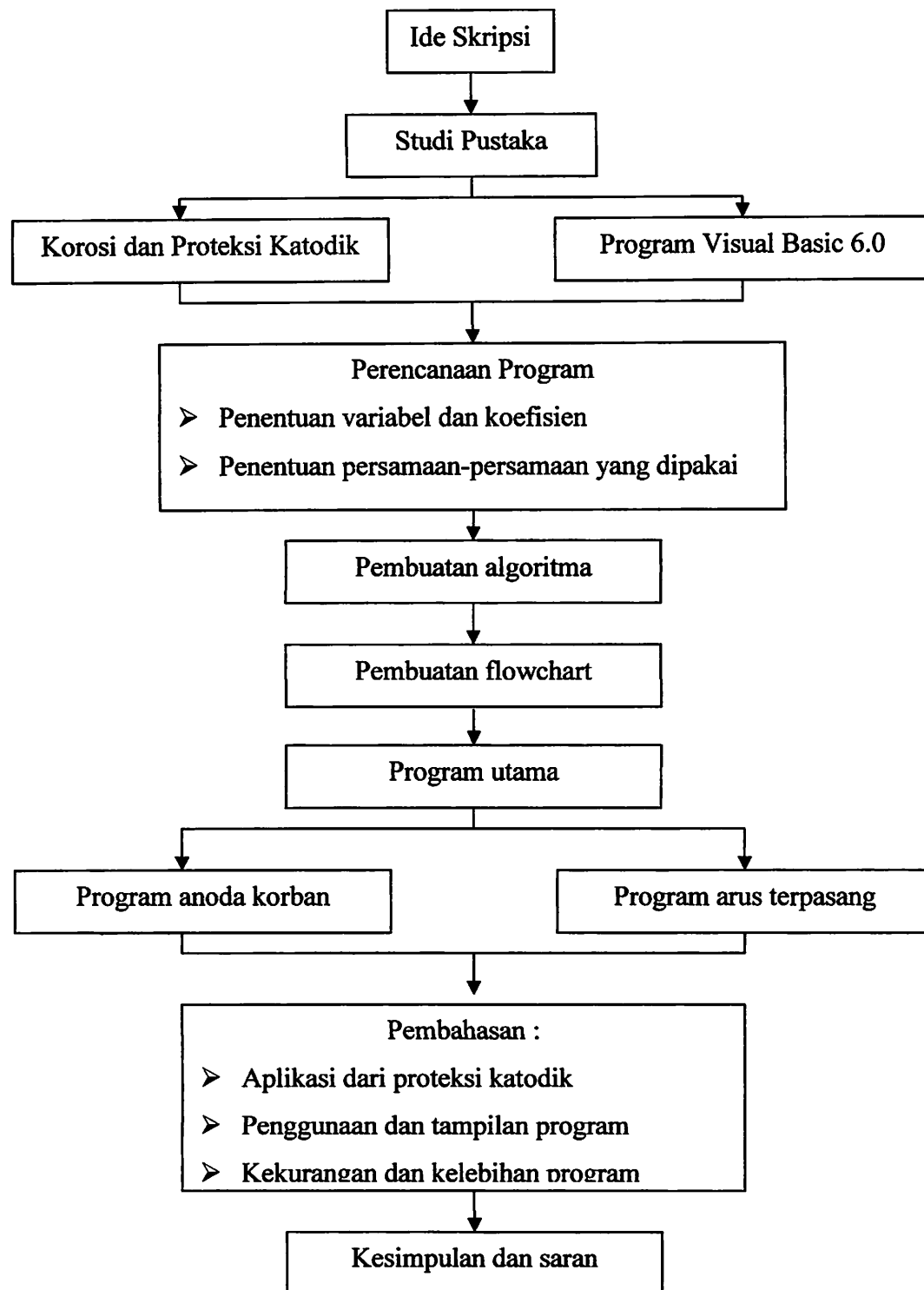
Private Sub Command2_Click()

Picture1.Visible = False

End Sub

**BAB III
METODOLOGI**

3.1 Kerangka Skripsi



Gambar 3.1 Kerangka skripsi

3.2. Tahapan Pelaksanaan

3.2.1. Konsep Skripsi

Ide dari pembuatan skripsi ini diperoleh dari adanya kebutuhan untuk merencanakan pencegahan korosi pada pipa atau bahan dari logam. Setelah itu, dibuatlah suatu konsep yaitu berupa pemrograman komputer untuk perencanaan umum pengendalian korosi pada pipa dengan menggunakan metode proteksi katodik.

3.2.2. Studi Pustaka

Meliputi pengumpulan sumber informasi yang diperlukan dari berbagai media (textbook, jurnal, browsing internet, laporan penelitian dan lain-lain). Informasi-informasi yang harus dikumpulkan sebagai dasar pemikiran dari pembuatan skripsi ini adalah :

- a. Korosi dan metode Proteksi Katodik (anoda korban dan arus terpasang)
 - Prinsip dan proses terjadinya korosi
 - Definisi dan prinsip proteksi katodik
 - Metode anoda korban dan metode arus terpasang, yang meliputi rumus-rumus yang dipakai dalam perhitungan.
- b. Program Visual Basic 6.0
- c. Diagram alir

3.2.3. Perencanaan Program

Program yang akan dibuat nantinya diharapkan dapat memberikan petunjuk pengisian langkah demi langkah secara jelas dan mudah dipahami, keterangan mengenai variabel-variabel tertentu, alternatif-alternatif pada tiap-tiap pengambilan keputusan, ketentuan-ketentuan yang harus dipenuhi, tampilan gambar pada item yang membutuhkan visualisasi, sekaligus dapat menampilkan hasil perhitungan. Dalam perencanaan program perlu ditentukan jenis-jenis persamaan, variabel dan koefisien yang akan dipergunakan. Program meliputi program utama, program metode anoda korban dan metode arus terpasang.

3.2.4. Pembuatan Algoritma

Setelah perencanaan program selesai dibuat, maka untuk menerjemahkannya ke bahasa pemrograman diperlukan algoritma. Algoritma adalah urutan langkah yang tepat dan pasti dalam memecahkan suatu masalah secara logis. Atau dengan kata lain algoritma merupakan pola pikir terstruktur yang berisi tahap-tahap penyelesaian masalah yang dapat disajikan dengan teknik tulisan maupun dengan gambar .

3.2.5. Pembuatan Diagram Alir (*Flowchart*)

Setelah pembuatan algoritma selesai dibuat, maka untuk menerjemahkannya ke bahasa pemrograman diperlukan juga diagram alir (*flowchart*). Diagram alir menggambarkan langkah-langkah pemrograman secara sistematis sehingga mempermudah pemrograman.

3.2.6. Pembahasan

Ada dua hal yang akan dibahas pada bagian ini adalah :

- a. Aplikasi dari proteksi katodik, yakni meliputi beberapa persamaan yang dapat digunakan untuk melakukan pendekatan dalam menyelesaikan beberapa permasalahan dan meliputi tentang cara penerapan proteksi katodik dilapangan.
- b. Penggunaan dan tampilan program, diberikan petunjuk langkah demi langkah cara penggunaan dan pengisian data untuk masing-masing tampilan layer, beserta tampilannya.
- c. Kelebihan dan kekurangan program, dibahas mengenai kelebihan yang mampu diberikan program serta kekurangan yang mungkin timbul.

3.2.7. Kesimpulan dan Saran

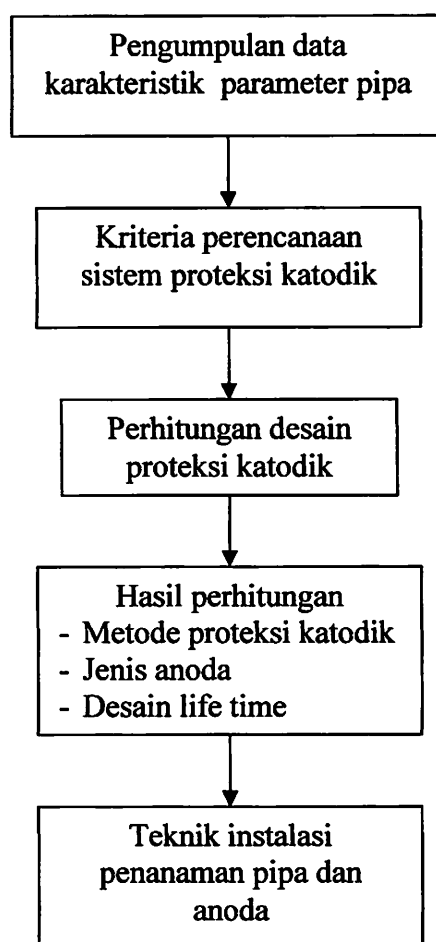
Dari bab-bab sebelumnya akan dapat diketahui hasil dari pembuatan program ini, baik kelebihan dan kekurangannya. Dari kekurangan-kekurangan yang mungkin timbul, perlu diberikan saran-saran untuk dijadikan sebagai dasar bagi penyempurnaan dan pengembangan program, sehingga penggunaan program ini akan semakin luas.

BAB IV

IMPLEMENTASI PROGRAM DAN PEMBAHASAN

4.1 Pelaksanaan Perencanaan Proteksi Katodik

Untuk mempermudah perencanaan sistem pengendalian korosi terhadap pipa distribusi air bersih yang ditanam dalam tanah hendaknya memperhatikan skema perencanaan proteksi katodik berikut ini.



Gambar 4.1 Skema Proteksi katodik.

4.1.1 Pengumpulan Data Karakteristik Parameter Pipa

Sebagai contoh data dari parameter karakteristik parameter pipa diambil dari obyek studi dari penelitian tugas akhir Dwi Handana, 1996 dengan judul Studi Evaluasi Penerapan Pencegahan Korosi Secara Katodik Pada Pipa Induk Distribusi Di Jalan Rajawali Surabaya, Teknik Lingkungan, ITS Surabaya.

4.1.1.1 Gambaran Umum Obyek Studi

Pipa induk distribusi air bersih yang berada di jalan Rajawali sampai jalan Kapasan Surabaya merupakan bagian dari paket II Sistem Distribusi Lingkaran Utara milik Perusahaan Daerah Air Minum Kotamadya Surabaya (PDAM-KMS) yang telah dipasang sejak tahun 1992. Disamping perpipaannya sendiri, pada waktu yang sama juga dilakukan pemasangan sistem pengendalian korosi pada pipa tersebut yaitu berupa pelapisan (coating) dan proteksi katodik.

Untuk pemasangan perpipaan dan instalasi proteksi katodik, dalam hal ini PDAM-KMS bekerja sama dengan :

- a. P.T. WEKA DWI SENTOSA sebagai perencana dari sistem proteksi katodik.
- b. P.T. MULTI STRUKTUR sebagai kontraktor pelaksana.
- c. P.T. SEHAT PRATAMA SEJATI sebagai konsultan supervisi.

4.1.1.2 Parameter Pipa

Karakteristik pipa induk distribusi yang diproteksi katodik adalah sebagai berikut :

- Material pipa = steel (baja)
- Diameter luar = 836,6 mm
- Tebal pipa = 8,74 mm
- Panjang pipa = 3650 m
- Tipe coating pipa = dicoating biasa

4.1.2 Kriteria Perencanaan Sistem Proteksi Katodik

Kriteria perencanaan yang digunakan perencana untuk perhitungan desain proteksi katodik adalah sebagai berikut :

- Desain life time = 40 tahun
- Resistivitas tanah (ρ_s) = 100 - 1000 ohm-cm, diukur pada setiap interval jarak 500 m disepanjang jalur pipa. Dalam hal ini tidak tersedia data hasil pengukuran pada setiap titik pengukurannya dan dalam perhitungan diambil nilai resistivitas 500 ohm-cm.
- beda potensial antara pipa dengan tanah (E_c) = 0,85 volt.

- Resistivitas backfill (ρ_b) = 50 ohm-cm.

4.1.3 Perhitungan Desain Proteksi Katodik

Diketahui : $L_p = 3650 \text{ m} = 365000 \text{ cm} = 12045 \text{ ft}$

$D = 836,6 \text{ mm} = 83,66 \text{ cm} = 2,76078 \text{ ft}$

$\rho_s = 500 \text{ ohm-cm}$

$E_c = 0,85 \text{ volt}$

$\rho_b = 50 \text{ ohm-cm}$

coating kurang baik, $i_d = 0,2 \text{ mA/ft}^2$

➤ Untuk pemilihan jenis metode proteksi katodik, hendaknya memperhitungkan terlebih dahulu kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode (di bab II). Dengan memperhitungkan kondisi eksisting, kelebihan dan kekurangan masing-masing metode maka perencana memilih proteksi katodik dengan metode sacrificial anoda (anoda korban).

➤ Total arus untuk proteksi

$$I_t = \frac{i_d}{1000} \cdot 3,14 \cdot D \cdot L_p$$

$$I_t = \frac{0,2}{1000} \cdot 3,14 \cdot 2,76078 \cdot 12045 = 20,6287 \text{ Ampere.}$$

➤ Kabel yang dipakai

Karena arus yang akan dilewatkan kabel sebesar 20,6287 Ampere, maka kabel yang sesuai untuk dipergunakan adalah kabel AWG tipe 4.0, sehingga $R_w = 0,00461 \text{ ohm}$.

➤ Anoda yang digunakan

Misal : dipergunakan anoda Zn tipe ZP 500, Spesifikasi :

- panjang (L) = 1525 mm = 152,5 cm = 5 ft

- lebar (W) = 70 mm = 7 cm

- tebal (T) = 70 mm = 7 cm

- diameter (d) = 12 mm = 1,2 cm = 0,0349 ft

- berat tiap anoda = 50 kg

- kapasitas arus anoda Zn (Q) = 780 Amp.jam/kg

- Tahanan internal anoda

$$R_a = \frac{1,5}{(L + 0,8W + 0,8T)}$$

$$R_a = \frac{1,5}{(152,5 + (0,8 \cdot 7) + (0,8 \cdot 7))}$$

$$= 0,0091 \text{ ohm}$$

- Tahanan anoda ke backfill

$$R_b = \frac{0,00521 \cdot \rho_b}{L} (2,3 \log \frac{8L}{d} - 1)$$

$$R_b = \frac{0,00521 \cdot 50}{5} (2,3 \log \frac{8 \cdot 5}{0,0394} - 1)$$

$$= 0,3082 \text{ ohm}$$

- Tahanan tanah

$$R_s = \frac{\rho_s}{2\pi L_p} (2,3 \log \frac{4L_p}{D_p} - 1)$$

$$R_s = \frac{1700}{2 \cdot 3,14 \cdot 500000} (2,3 \log \frac{4 \cdot 500000}{45,72} - 1)$$

$$= 0,0019 \text{ ohm}$$

- Tahanan anoda ke tanah

$$R_{vn} = R_a + R_b + R_s$$

$$R_{vn} = 0,0091 + 0,3082 + 0,0019 = 0,3193 \text{ ohm}$$

- Tahanan pipa ke tanah

Keadaan coating pipa kurang baik, maka :

$$R_p = 0,10 (R_{vn} + R_w)$$

$$R_p = 0,10 (0,3193 + 0,00461)$$

$$= 0,0323 \text{ ohm}$$

- Total tahanan

$$R_{cn} = R_{vn} + R_p + R_w$$

$$R_{cn} = 0,3193 + 0,0323 + 0,00461$$

$$= 0,3563 \text{ ohm}$$

- Output arus pada tiap-tiap anoda

$$I_g = \frac{E_c}{R_{cn}}$$

$$I_g = \frac{0,85}{0,3563}$$

$$= 2,3852 \text{ Ampere}$$

- Jumlah anoda yang diperlukan

$$G_n = \frac{I_t}{I_g}$$

$$G_n = \frac{20,6287}{2,3852}$$

$$= 8,64 \approx 9 \text{ buah}$$

- Umur tiap anoda

$$T = \frac{W \times Q}{8760 \times I_g}$$

$$T = \frac{50.780}{8760 \cdot 2,3422}$$

$$= 1,866 \text{ tahun}$$

- Periode waktu untuk dapat melindungi pipa = 1,866 tahun x 9 buah = 16,8 tahun.

Periode waktu yang didapat tidak memenuhi dengan perencanaan yaitu selama 40 tahun, maka dicari anoda dengan tipe yang lain.

- Anoda yang digunakan

Misal : dipergunakan anoda Zn tipe ZP 1840, Spesifikasi :

- panjang (L) = 1525 mm = 152,5 cm = 5 ft
- lebar (W) = 135 mm = 13,5 cm
- tebal (T) = 132 mm = 13,2 cm
- diameter (d) = 19 mm = 1,9 cm = 0,0590 ft
- berat tiap anoda = 184 kg
- kapasitas arus anoda Zn (Q) = 780 Amp.jam/kg

- Dengan perhitungan yang sama didapat periode waktu untuk melindungi pipa = 50,8 tahun.

Periode waktu yang didapat tidak memenuhi dengan perencanaan yaitu selama 40 tahun, maka dicari anoda dengan tipe yang lain.

➤ Anoda yang digunakan

Misal : dipergunakan anoda Mg bentuk Rectangular section tipe 145 MBS, spesifikasi

- panjang (L) = 559 mm = 55,9 cm = 1,8339 ft
- lebar (W) = 144 mm = 11,4 cm
- tebal (T) = 127 mm = 12,7 cm
- diameter (d) = 2 x r, dimana r = jari-jari tiap anoda

$$r = \sqrt{\frac{\text{Luas area anoda}}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{(11,4 \times 12,7)}{3,14}}$$

$$= 6,79 \text{ cm} = 0,2227 \text{ ft}$$

- berat tiap anoda = 14,5 kg
- kapasitas arus anoda Mg (Q) = 1100 Amp.jam/kg

➤ Dengan perhitungan yang sama didapat periode waktu untuk melindungi pipa = 14,7 tahun.

Periode waktu yang didapat tidak memenuhi dengan perencanaan yaitu selama 40 tahun, maka dicari anoda dengan tipe yang lain.

➤ Anoda yang digunakan

Misal : dipergunakan anoda Zn tipe ZP 5000, Spesifikasi :

- panjang (L) = 2337 mm = 233,7cm
- lebar (W) = 216 mm = 21,6cm
- tebal (T) = 191 mm = 19,1cm
- diameter (d) = 115 mm = 11,5cm
- berat tiap anoda = 184 kg
- kapasitas arus anoda Zn (Q) = 780 Amp.jam/kg

➤ Dengan perhitungan yang sama didapat periode waktu untuk melindungi pipa = 34,8 tahun.

Periode waktu yang didapat tidak memenuhi dengan perencanaan yaitu selama 40 tahun, maka dicari anoda dengan tipe yang lain.

➤ Anoda yang digunakan

Misal : dipergunakan anoda Al tipe GP 350, Spesifikasi :

- panjang (L) = 1320 mm = 132 cm
- lebar (W) = 102 mm = 10,2 cm
- tebal (T) = 102 mm = 10,2 cm
- diameter (d) = 19 mm = 1,9 cm
- berat tiap anoda = 184 kg
- kapasitas arus anoda Al (Q) = 2600 Amp.jam/kg

➤ Dengan perhitungan yang sama didapat perioda waktu untuk melindungi pipa = 40,7 tahun.

Dari keempat anoda ditabelkan :

Tabel 4.1 hasil perhitungan masing-masing anoda

Jenis Anoda	Perioda Waktu
○ Anoda Zn tipe ZP 500	16,8 tahun
○ Anoda Zn tipe ZP 1840	50,8 tahun
○ Anoda Mg bentuk Rectangular section tipe 145 MBS	14,7 tahun
○ Anoda Zn tipe ZP 5000	34,8 tahun
○ Anoda Al tipe GP 350	40,7 tahun

Berdasarkan tabel diatas maka anoda yang dapat melindungi pipa selama 40 tahun adalah anoda jenis Al tipe GP 350.

4.1.4 Hasil Perhitungan Perencanaan

Dari perhitungan didapatkan kesimpulan hasil dari perencanaan adalah sebagai berikut :

- Metode proteksi yang digunakan adalah sacrificial anoda
- Jenis anoda yang digunakan adalah aluminium tipe GP 350
- Desain life time untuk melindungi pipa selama 40 tahun

Dengan melihat perhitungan tersebut terjadi pengulangan perhitungan sampai menemukan anoda yang sesuai dengan umur pipa perencanaan (trial dan error), maka akan sangat membantu apabila perhitungan dibantu dengan pembuatan suatu perangkat lunak, sehingga perhitungan dapat dilakukan lebih valid, mudah, cepat dan tepat.

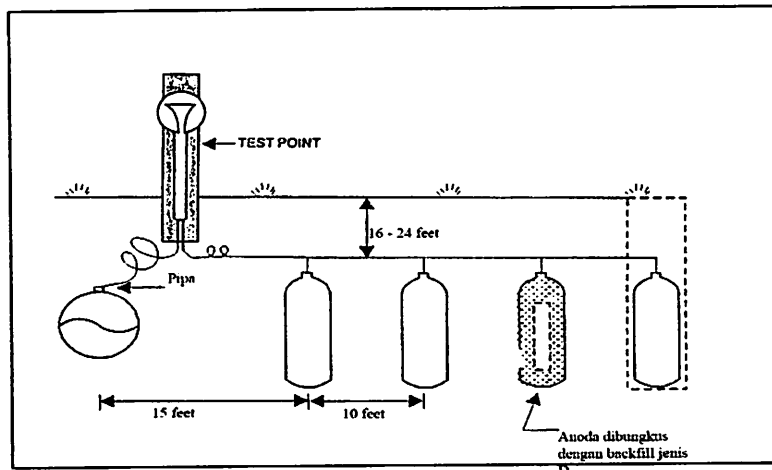
4.1.5 Teknik Instalasi Penanaman Pipa Dan Anoda

Sebelum anoda ditanam didalam tanah, terlebih dahulu harus dibungkus dengan backfill. Backfill yang cocok digunakan dalam perencanaan instalasi proteksi katodik ini adalah menggunakan backfill jenis D yang mempunyai nilai resistivitas 500 ohm-cm, karena backfill jenis D sangat cocok untuk tanah yang mempunyai resistivitas tanah yang rendah, yaitu 500 ohm-cm (dari perhitungan resistivitas tanah di jalan Rajawali).

Untuk keadaan tanah yang kering, kedalaman tambahan dapat meningkatkan performance anoda dengan pencapaian tanah yang resistivitasnya rendah. Setelah instalasi dilaksanakan, sebaiknya anoda dibasahi terlebih dahulu dengan air kira-kira 5 galon air, hal ini dimaksudkan agar anoda lebih cepat aktif dalam menyediakan arus yang diperlukan.

Dalam perencanaan ini diperlukan 9 anoda yang harus disediakan yaitu anoda aluminium tipe GP 350. Untuk pemasangan anoda secara multiple maka jarak antar anoda dapat ditentukan dengan melihat grafik penentuan jarak anoda pada metode sacrificial anoda. Dengan melihat hasil perpotongan antara resistivitas dengan jumlah anoda dalam grafik, maka jarak antara anoda didapat 10 feet.

Perencanaan ini juga diperlukan stasiun pengujian yaitu test point yang bertujuan untuk mengecek arus yang dikeluarkan anoda dan potensial pipa terhadap tanah. Dengan kata lain test point ini juga digunakan dalam pemantauan tingkat korosifitas terhadap pipa yang dilindungi. Jika diketahui arus yang dikeluarkan anoda menurun maka dapat dilakukan dengan penambahan anoda, sehingga kebutuhan arus untuk memproteksi pipa akan terpenuhi. Test point ini diletakkan antara anoda dan pipa yang diproteksi. Mekanisme instalasi pemasangannya dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2 Instalasi pemasangan pipa, anoda dan test point.

4.2. Pengaruh Kriteria Coating Pipa Terhadap Anoda

Maksud dengan pemberian coating terhadap pipa sebelum pipa diproteksi katodik adalah untuk memisahkan lingkungan dari logam dan mengendalikan lingkungan mikro pada permukaan logam, serta arus yang dibutuhkan dalam proteksi katodik tidak terlalu besar. Sesuai dengan perhitungan dalam penelitian yang dilakukan oleh Theresia, O. R. H, 1991. bahwa pemberian coating pada pipa sebelum diproteksi akan menghemat kebutuhan anoda sehingga arus yang dibutuhkan tidak terlalu besar. Hubungan keadaan pipa dan kebutuhan anoda dari perhitungan yang dilakukan oleh Theresia, O. R. H, 1991. adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hubungan keadaan pipa dan kebutuhan anoda

Keadaan Pipa	Kebutuhan Anoda
Tidak dicoating	13 buah
Dicoating kurang baik	1 buah
Dicoating dengan baik	-

Sumber : Theresia, O. R. H, 1991.

Jadi pemberian coating pada pipa sangat mempengaruhi jumlah anoda yang digunakan. Semakin pipa tersebut dicoating dengan baik maka kebutuhan anoda pun juga semakin sedikit.

4.3. Perencanaan Software Pipe Cathodik Protektor

Program dalam skripsi ini dinamakan dengan *Pipe Cathodik Protector* karena merupakan program perencanaan perlindungan pada pipa akibat dari korosi dengan menggunakan metode proteksi katodik. Yang terdiri dari program utama, sub program anoda korban dan sub program arus terpasang. Selanjutnya akan dibahas perencanaan masing-masing program.

4.3.1 Program Utama

Diprogram utama akan dibahas mengenai kondisi pipa dan keadaan tanah. Data masukan meliputi kondisi pipa, diameter luar pipa, jenis coating pipa, umur proteksi yang diinginkan, resistivitas tanah, serta pemilihan metode. Dari pilihan metode, program selanjutnya akan memasuki program sesuai dengan yang dipilih oleh pengguna.

4.3.1.1 Program Sacrificial Anode (Anoda Korban)

Program Sacrificial Anode (Anoda Korban) merupakan program perhitungan dan pemasangan anoda bagi metode proteksi anoda korban. Data masukan yang diminta adalah, jenis anoda dan backfill yang digunakan.

Jenis anoda yang dipakai berdasarkan tinjauan pustaka adalah Zinnode, Magnesium dan Aluminium. Anoda-anoda tersebut mempunyai data-data spesifikasi yang dapat digunakan pengguna untuk merencanakan perlindungan pipa sesuai dengan umur yang diharapkan. Jenis backfill yang digunakan ada 4 macam, yaitu tipe A, B, C dan D yang masing-masing mempunyai kegunaan pada kondisi yang berbeda-beda.

Hasil perhitungannya adalah apakah anoda yang dipilih dapat melindungi pipa sesuai dengan umur yang diharapkan. Apabila hasil dari perhitungan ternyata anoda yang dipilih tidak dapat melindungi pipa sesuai umur yang diharapkan, maka dapat mencari alternatif lain dalam pemilihan anoda dengan kembali ke menu utama. Hasil dari perhitungan-perhitungan ini dapat dicetak atau apabila masih ada yang perlu dirubah, pengguna dapat kembali ke program utama.

4.3.1.2 Program Impressed Current (Arus Terpasang)

Program ini merupakan program untuk perhitungan dan pemasangan anoda bagi metode arus terpasang. Data masukan yang diminta untuk perhitungan jumlah anoda adalah jenis anoda yang dipakai.

Jenis anoda pada metode ini berdasarkan tinjauan pustaka adalah High Silicon-Cast Iron dan Graphite Anode yang merupakan jenis yang diperuntukkan untuk pipa yang ditanam dalam tanah.

Hasil perhitungannya adalah apakah anoda yang dipilih dapat melindungi pipa sesuai dengan umur yang diharapkan. Apabila hasil dari perhitungan ternyata anoda yang dipilih tidak dapat melindungi pipa sesuai umur yang diharapkan, maka dapat mencari alternatif lain dalam pemilihan anoda dengan kembali ke menu utama. Hasil dari perhitungan-perhitungan ini dapat dicetak atau apabila masih ada yang perlu dirubah, pengguna dapat kembali ke program utama.

4.4 Algoritma

Algoritma program Pipe Cathodik Protektor adalah sebagai berikut :

1. Minta input parameter perencanaan :
 - 1.1. L_p (panjang pipa)
 - 1.2. D (diameter luar)
 - 1.3. Umur proteksi (tahun)
 - 1.4. Resistivitas tanah (ρ_s)
 - 1.5. Beda potensial antara pipa dengan tanah (E_c)
 2. Pilih kondisi permukaan pipa dengan 3 alternatif pilihan yaitu :
 - 2.1. Jika pipa dalam kondisi tercoating dengan baik, maka :
$$I_d = 0,005 \text{ mA/ft}^2$$
 - 2.2. Jika pipa dalam kondisi tercoating biasa, maka :
$$I_d = 0,2 \text{ mA/ft}^2$$
 - 2.3. Jika pipa dalam kondisi terbuka/tidak tercoating sama sekali, maka :
$$I_d = 0,005 \text{ mA/ft}^2$$
 3. Tampilkan (cetak kondisi permukaan pipa) hasilnya.
 4. Hitung total arus untuk proteksi katodik.
-

$$I_t = \frac{I_d}{1000} \times 3.14 \times D \times L_p$$

5. Pilih jenis kabel untuk mendapatkan nilai R_w . Jenis kabel didapat dari menyesuaikan nilai I_t dalam tabel jenis kabel. Penentuan jenis kabel dalam program dapat diperoleh dari 2 alternatif, yaitu :
 - 5.1. Dari database secara otomatis jenis kabel dan R_w didapat.
 - 5.2. Input jenis kabel dan nilai tahanan kabel (R_w) secara manual.
6. Tampilkan (cetak jenis kabel) hasilnya.
7. Pilih metode proteksi katodik, ada 2 alternatif pilihan, yaitu :
 - 7.1. Metode sacrificial anode, dengan persamaan-persamaan sebagai berikut ini :
 - 7.1.1. Pilih jenis anoda, ada 2 alternatif pilihan, yaitu :
 - 7.1.1.1. Dari database secara otomatis, nilai panjang (L), lebar (W), tebal (T), diameter (d), berat anoda (w) didapat.
 - 7.1.1.2. Input secara manual, nilai panjang (L), lebar (W), tebal (T), diameter (d), berat anoda (w).
 - 7.1.2. Tampilkan (cetak jenis anoda) hasilnya.
 - 7.1.3. Hitung tahanan internal anoda (R_a).

$$R_a = 1,5 / (L + 0,8W + 0,8T)$$
 - 7.1.4. Inputkan jenis backfill yang digunakan.
 - 7.1.5. Hitung tahanan anoda ke backfill (R_b)

$$R_b = 0,00521 \rho_b / L (2,3 (\log 8/L/d) - 1)$$
 - 7.1.6. Hitung tahanan tanah (R_s)

$$R_s = (\rho_s / 2 \cdot \pi \cdot L_p) (2,3 \log(4L_p/D_p) - 1)$$
 - 7.1.7. Hitung tahanan anoda ke tanah (R_{vn})

$$R_{vn} = R_a + R_b + R_s$$
 - 7.1.8. Hitung tahanan pipa ke tanah (R_p), ada 3 alternatif pilihan yang disesuaikan dengan kondisi pipa, yaitu :
 - 7.1.8.1. Jika pipa dalam kondisi tercoating dengan baik, maka :

$$R_p = 0,25 (R_{vn} + R_w)$$
 - 7.1.8.2. Jika pipa dalam kondisi tercoating biasa, maka :

$$R_p = 0,10 (R_{vn} + R_w)$$

7.1.8.3. Jika pipa dalam kondisi terbuka/tidak tercoating sama sekali, maka :

$$R_p = 0,05 (R_{vn} + R_w)$$

7.1.9. Hitung total tahanan (R_{cn})

$$R_{cn} = R_{vn} + R_p + R_w$$

7.1.10. Hitung output arus pada tiap-tiap anoda (I_g)

$$I_g = \frac{E_c}{R_{cn}}$$

7.1.11. Hitung jumlah anoda yang diperlukan (G_n)

$$G_n = \frac{I_t}{I_g}$$

7.1.12. Hitung umur tiap anoda (T)

$$T = \frac{W \times Q}{8760 \times I_g}$$

7.1.13. Hitung perioda waktu total untuk dapat melindungi pipa.

$$= G_n \times T$$

7.1.14. Apakah anoda yang dipilih sesuai dengan umur proteksi yang ditentukan ?, ada 2 alternatif kemungkinan, yaitu :

7.1.14.1. Memenuhi

7.1.14.2. Tidak memenuhi

7.1.15. Tampilkan (cetak) hasilnya.

7.1.16. Kembali ke pemilihan anoda.

7.2. Metode impressed current, dengan persamaan-persamaan sebagai berikut ini :

7.2.1. Pilih jenis anoda, ada 2 alternatif pilihan, yaitu :

7.2.1.1. Dari database secara otomatis, nilai output arus tiap anoda (I_g), berat tiap anoda (w), kecepatan pemakaian anoda (c) didapat.

7.2.1.2. Input secara manual, nilai output arus tiap anoda (I_g), berat tiap anoda (w), kecepatan pemakaian anoda (c).

7.2.2. Tampilkan (cetak jenis anoda) hasilnya.

7.2.3. Hitung jumlah anoda

$$G_n = \frac{I_t}{I_g}$$

7.2.4. Hitung umur tiap anoda (T)

$$T = \frac{W}{C \times I_g}$$

7.2.5. Hitung perioda waktu total untuk dapat melindungi pipa.

$$= G_n \times T$$

7.2.6. Apakah anoda yang dipilih sesuai dengan umur proteksi yang ditentukan ?, ada 2 alternatif kemungkinan, yaitu :

7.2.6.1. Memenuhi

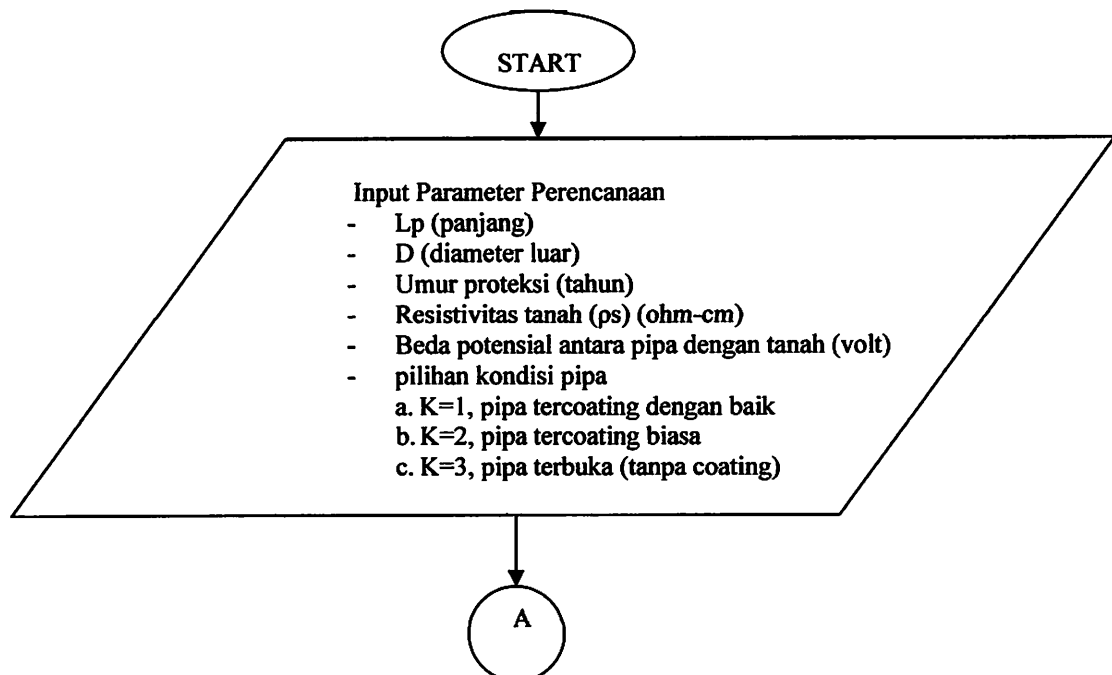
7.2.6.2. Tidak memenuhi

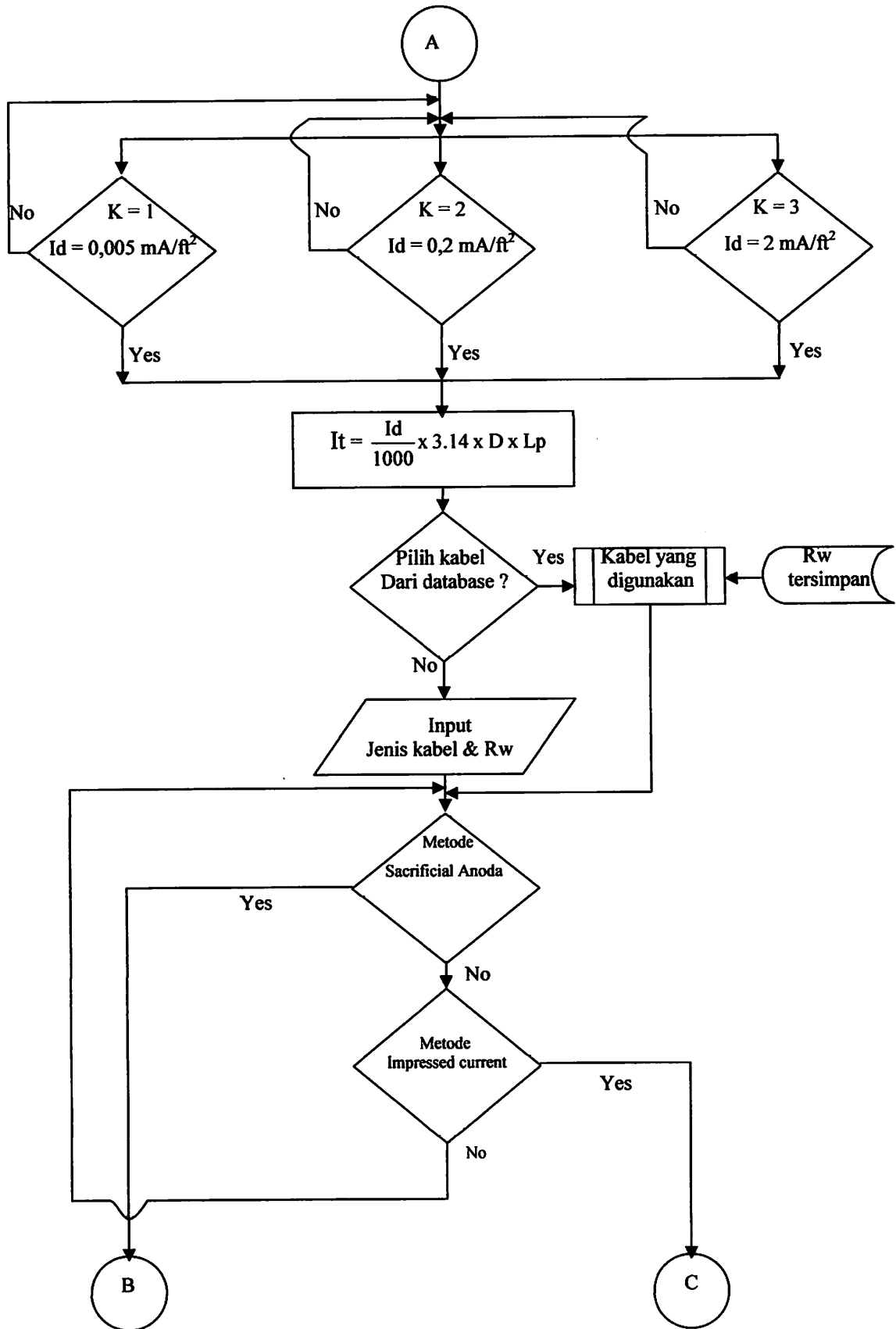
7.2.8. Tampilkan (cetak) hasilnya.

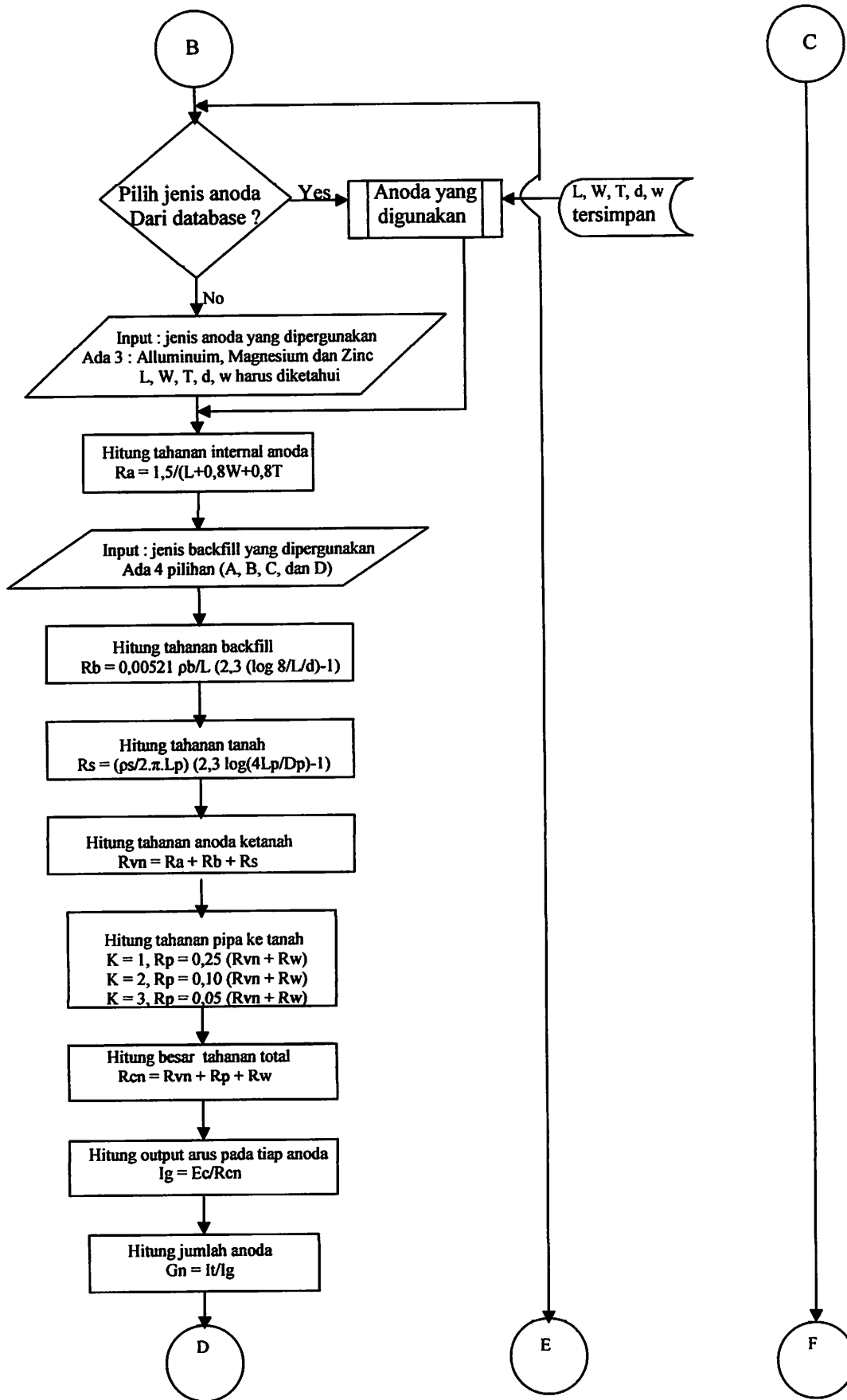
7.2.9. Kembali ke pemilihan anoda

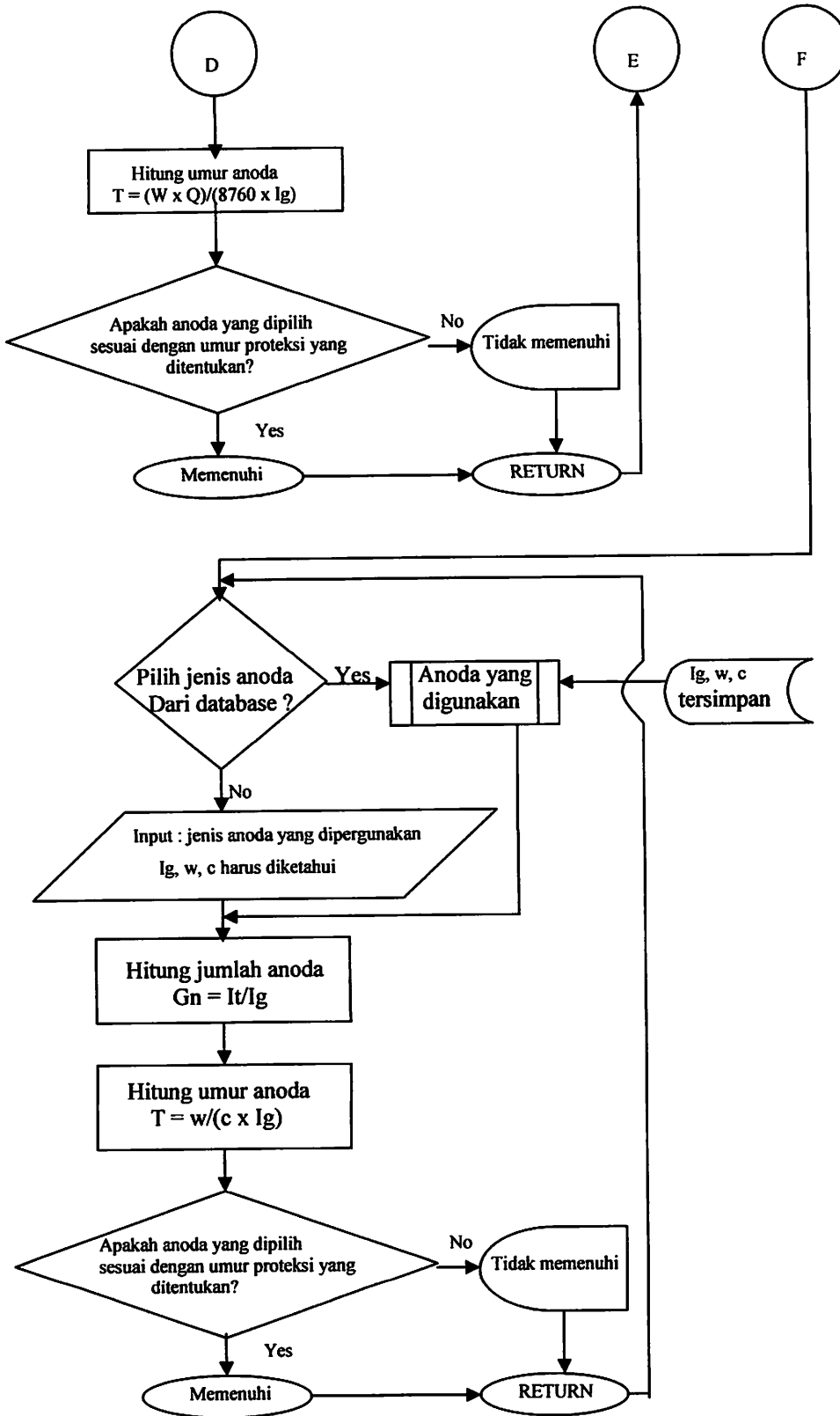
4.5 Diagram Alir

Diagram alir (*Flowchart*) program Pipe Cathodik Protektor adalah sebagai berikut :









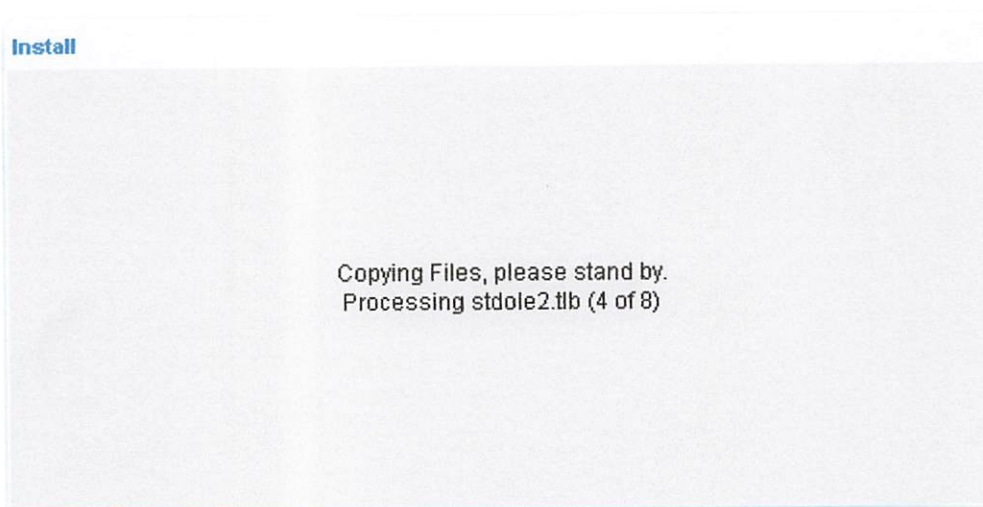
Gambar 4.3 Bagan Alir Proteksi Katodik.

4.6 Penggunaan dan Tampilan Program

Hasil aplikasi disajikan dalam bentuk file setup yang dapat diinstall pada sistem komputer dengan Sistem Operasi *Windows*. Proses pembentukan file setup dilakukan dengan aplikasi **Package and Deployment Wizard** yang tersedia pada VB6.

4.6.1 Instalasi Program

1. Jalankan file **setup.exe**, maka akan ditampilkan jendela setup prepare. Disini terjadi proses copy file-file pendukung setup ke dalam sistem lokal secara *temporary*.

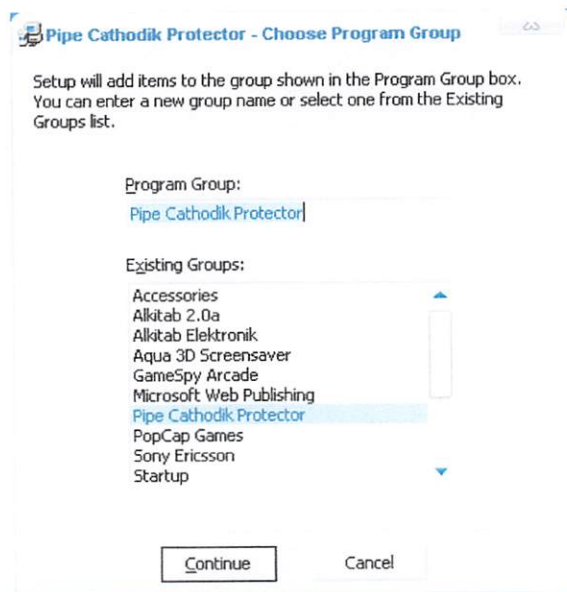


Gambar 4.4 *Setup Prepare*.

Setelah proses *prepare* selesai akan ditampilkan jendela **“Pipe Cathodik Protector”**. Pilih **change directory** untuk mengubah *directory* penginstalan. Kemudian tekan tombol diatas *directory* yang bergambar komputer.

Gambar 4.5 Menentukan *Directory* Penginstallan.

2. Selanjutnya menentukan group menu pada *start menu*. Kemudian klik tombol **Continue**, maka proses install akan dimulai.



Gambar 4.6 Memilih Grup Program.



Gambar 4.7 Proses Install.

3. Tunggu beberapa saat sampai ditampilkan kotak pesan bahwa proses setup telah selesai.



Gambar 4.8 Install Complete.

4. Proses instalasi telah selesai, dan program telah siap digunakan. Buka aplikasi melalui **Start Menu** → **All Programs** → **Pipe Cathodik Protector**.



4.9 Gambar Aplikasi pada Start Menu.

4.6.2 Menjalankan Program

1. Pilih **Start Menu**→**All Programs**→**Pipe Cathodik Protector** → **Pipe Cathodik Protector**. Tunggu beberapa saat sampai aplikasi program terbuka. Tampilan pertama yang keluar adalah sebagai berikut :



Gambar 4.10 Cover Program.

Setelah itu akan keluar form pertama :

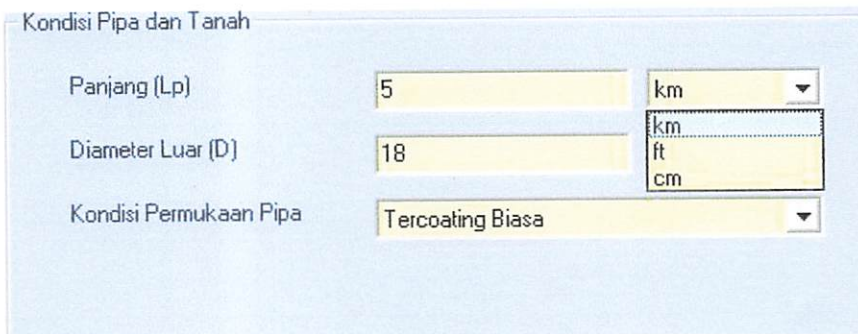
Gambar 4.11 Form Pertama.

Tampak dari gambar 4.11 bahwa dititle bar telah tertulis **Perencanaan Pengendalian Korosi - (Parameter Perencanaan)** yang menunjukkan bahwa file yang sedang dibuka diberi nama parameter perencanaan.

Pada halaman ini pengguna diminta untuk mengisi data-data :

➤ Panjang pipa

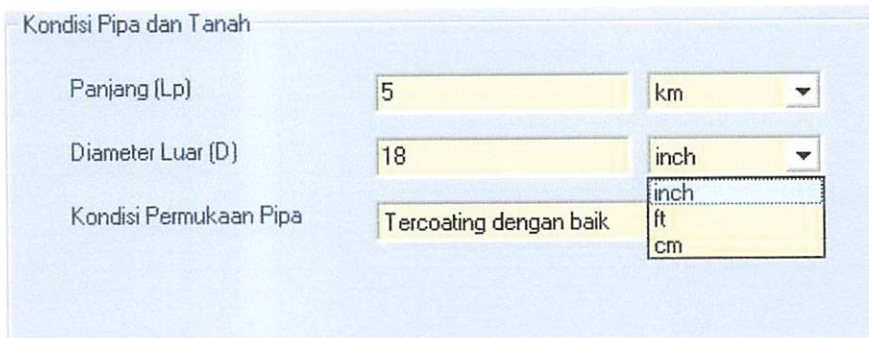
Adalah panjang jalur pipa distribusi yang akan diproteksi. Satuan yang disediakan antara lain km, ft, cm. Satuan dapat dipilih dengan mengklik tanda ▼ disebelah kanan box satuan seperti pada gambar 4.12 dibawah ini :



Gambar 4.12 Pull-down untuk panjang pipa.

➤ Diameter pipa

Adalah besar diameter pipa distribusi yang akan diproteksi. Satuan yang disediakan antara lain inchi, ft, cm. Satuan dapat dipilih dengan mengklik tanda ▼ disebelah kanan box satuan seperti pada gambar 4.13 dibawah ini :



Gambar 4.13 Pull-down untuk diameter pipa.

➤ Kondisi permukaan pipa

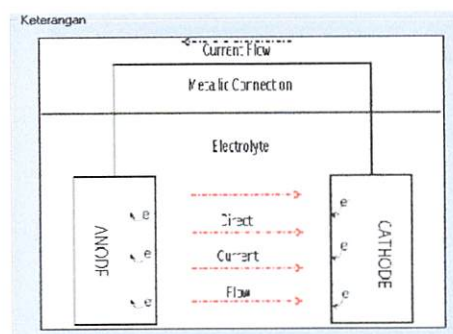
Menunjukkan jenis coating dari pipa, terdapat 3 pilihan yaitu tercoating dengan baik, tercoating biasa, terbuka. Untuk memilih kondisi permukaan

pipa yaitu dengan mengklik tanda ▼ disebelah kanan box pilihan kondisi coating seperti pada gambar 4.14. :

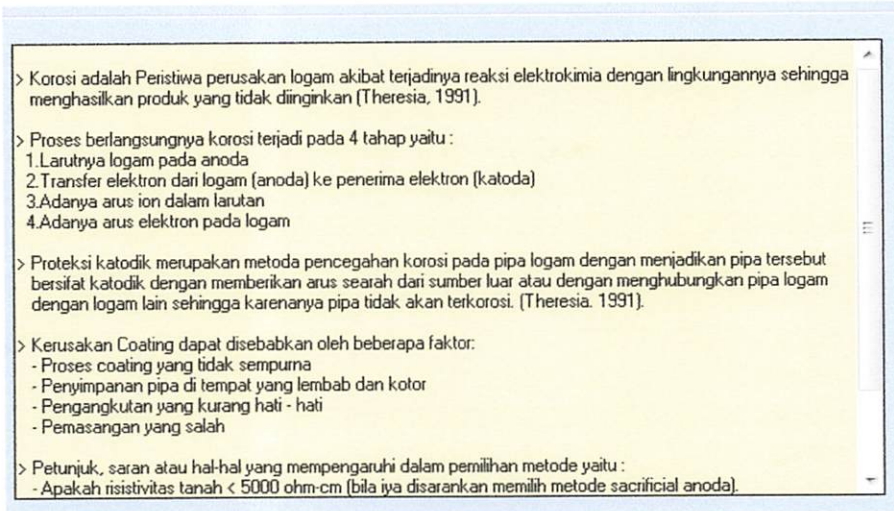
Gambar 4.14 Pull-down kondisi permukaan pipa.

- Umur proteksi
Diisi berdasarkan perencanaan (*design life*).
- Resistivitas tanah
Harus diketahui atau dilakukan perhitungan terlebih dahulu di studi lain.
- Potensial proteksi katodik
Di ukur beda potensial antara pipa dengan tanah.
- Resistivitas backfill
Diisi sesuai perencanaan dengan memperhatikan kesesuaian kondisi tanah dan anoda.

Ditampilan pada tahap ini juga ditampilkan gambar dan keterangan yang mendukung dan memberikan petunjuk mengenai program. Gambar dan keterangan tersebut seperti pada gambar 4.15 dan 4.16 yaitu :

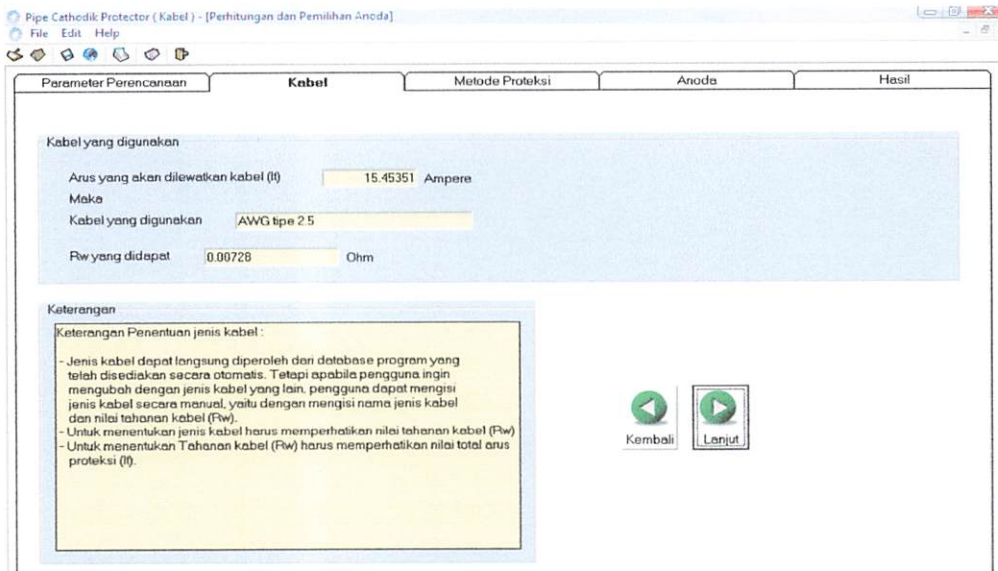


Gambar 4.15 keterangan gambar program.



Gambar 4.16 keterangan petunjuk program.

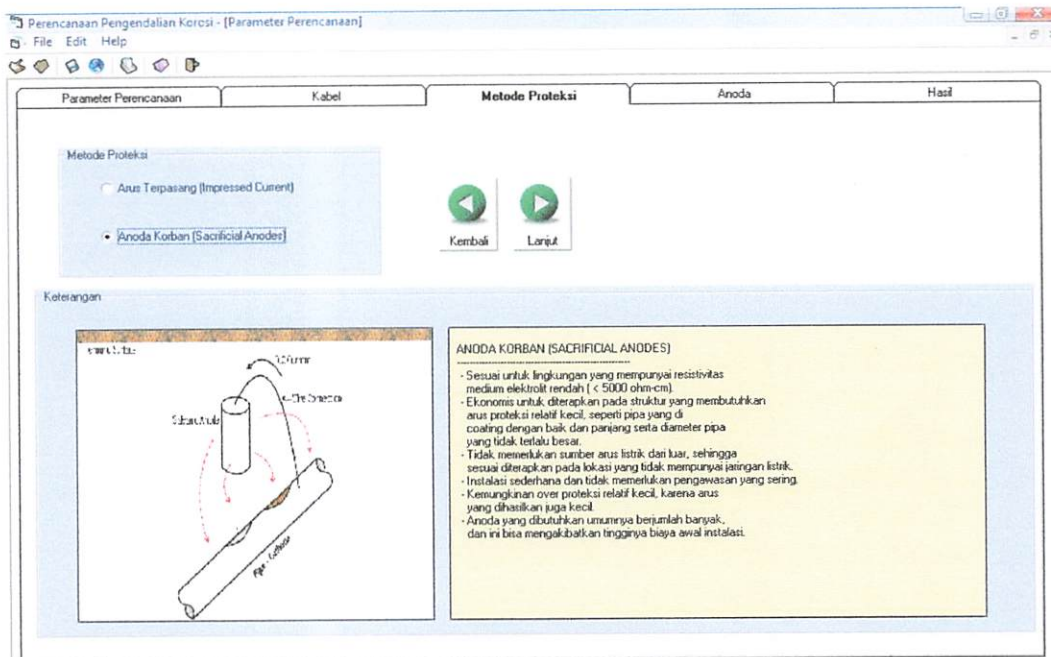
2. Setelah semua data masukan yang dibutuhkan terisi lengkap, anda bisa melanjutkan ketahap selanjutnya, yaitu melihat jenis kabel apa yang digunakan dalam perencanaan ini dengan meng-klik **Lanjut**. Jenis kabel secara otomatis didapat dari database sesuai dengan tabel kabel yang disediakan, atau dapat juga diisi manual dengan kabel jenis lain berdasarkan jenis kabel terbaru. Tampilan kabel yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.17 yaitu :



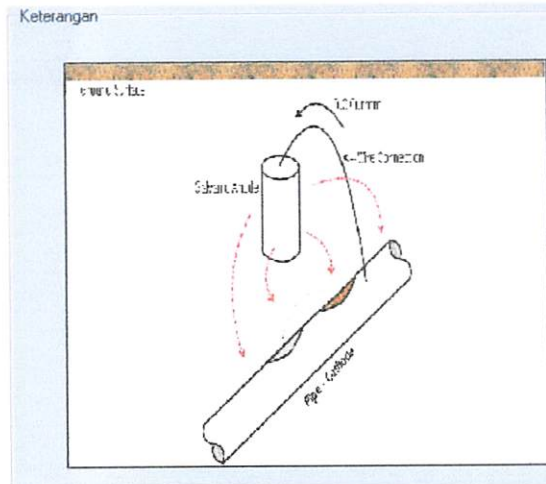
Gambar 4.17 Pilihan kabel.

Pada tahap ini bisa kembali ke tahap sebelumnya dengan meng-klik **kembali** apabila ada keinginan perbaharuan data masukan.

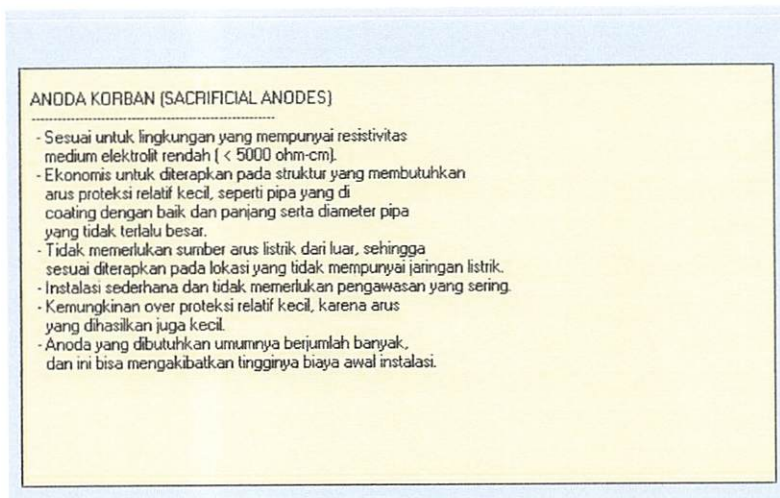
3. Dengan meng-klik **lanjut** untuk ketahap selanjutnya, yaitu tahap pemilihan metode, apakah metode Anoda korban atau Arus terpasang yang akan dipilih dalam perencanaan. Pemilihan metode ini dipilih sesuai dengan pilihan perancang dengan memperhatikan kondisi tanah, area perencanaan atau kelebihan dan kelemahan masing-masing metode. Tampilan pada tahap ini adalah pada gambar 4.18 yaitu :



Tahap ini juga menampilkan gambar dan keterangan mengenai kekurangan atau kelebihan masing-masing metode, hal ini akan membantu perancang dalam menentukan metode yang akan digunakan. Untuk tampilan gambar dan keterangan akan muncul dengan meng-klik sesuai dengan metode yang dipilih, atau dengan kata lain gambar dan keterangan akan berubah sesuai dengan metode perencanaan yang dipilih. Sebagai contoh adalah pada gambar 4.19 dan 4.20 yaitu :



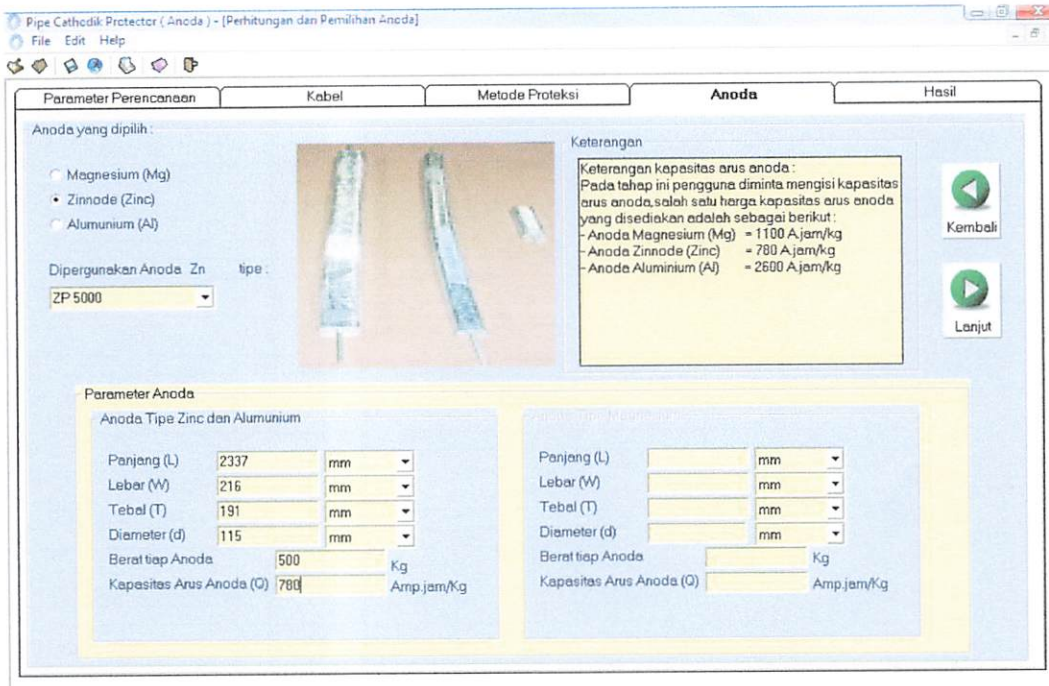
Gambar 4.19 Contoh keterangan gambar dengan metode anoda korban.



Gambar 4.20 Contoh keterangan petunjuk dengan metode anoda korban.

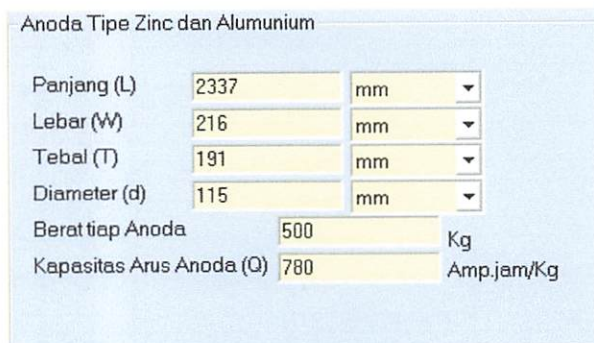
4. Dengan meng-klik **Lanjut**, pada tahap selanjutnya adalah pemilihan jenis anoda. Tahap ini pengguna diwajibkan untuk memilih jenis anoda yaitu Magnesium, Zinnode dan Aluminium (contoh untuk metode anoda korban). Tahap ini juga tersimpan database jenis-jenis anoda untuk metode anoda korban maupun arus terpasang secara otomatis, sehingga mempermudah bagi pengguna. Tetapi juga dapat dilakukan secara manual, yaitu dengan menentukan anoda lain yang tidak disediakan dalam database. Pemilihan manual atau otomatis tersebut adalah tergantung pada perancang itu sendiri berdasarkan ada tidaknya jenis anoda tersebut dipasaran maupun dari segi faktor ekonomis. Pemilihan secara manual

yaitu dengan mengisi panjang anoda, lebar, tebal, diameter berat anoda dan kapasitas arus anoda. Setiap pilihan jenis anoda akan ditampilkan contoh gambar dari anoda tersebut, dengan kata lain gambar akan berubah sesuai dengan jenis anoda yang dipilih. Tampilan tahap ini adalah seperti pada gambar 4.21 dan 4.22 yaitu :

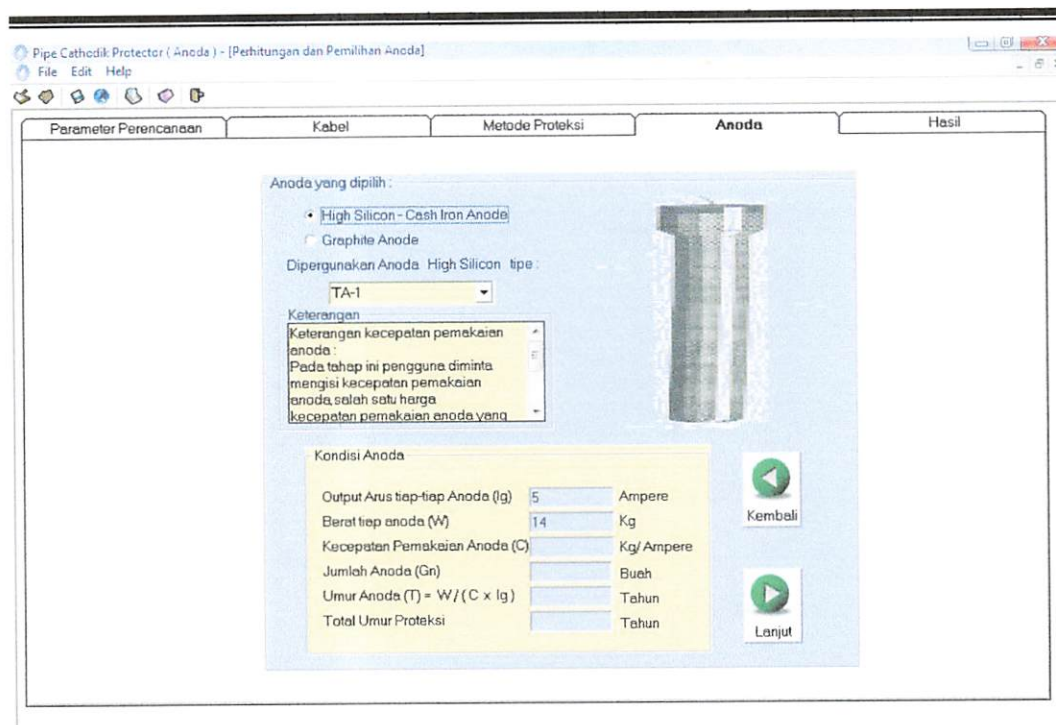


Gambar 4.21 pilihan jenis anoda untuk metode anoda korban.

Untuk satuan panjang, lebar, tebal, diameter disediakan beberapa satuan yang dapat dipilih oleh pengguna, yaitu : mm, cm, dan ft dengan mengklik tanda ▼ pada kanan satuan. Tampilannya adalah seperti pada gambar 4.21

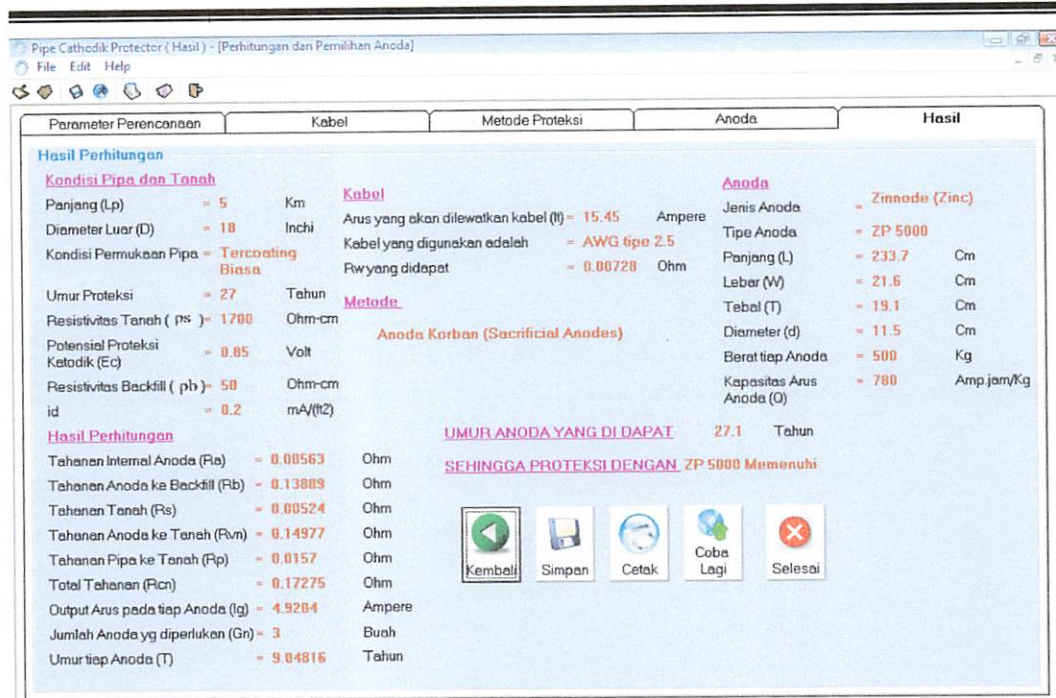


Gambar 4.22 Contoh parameter anoda untuk metode anoda korban yaitu dengan anoda tipe ZP5000.

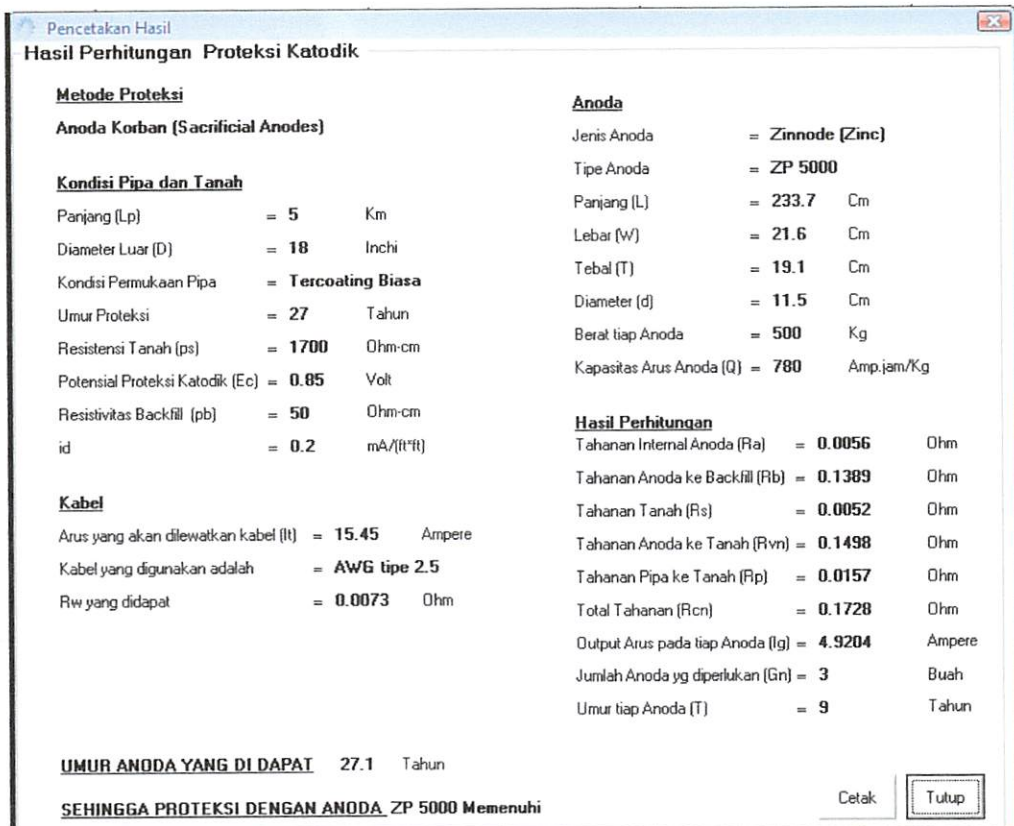


Gambar 4.23. pilihan jenis anoda untuk metode arus terpasang.

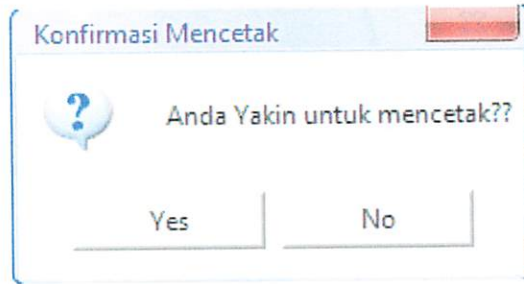
5. Dengan meng-klik **lanjut**, tahap selanjutnya adalah hasil dari perhitungan, apakah anoda yang dipilih tersebut sesuai dengan umur proteksi yang diharapkan atau tidak. Tahap ini pengguna dapat melihat semua hasil perhitungan dari awal sampai akhir dan memungkinkan pengguna untuk mencetak hasil perhitungan tersebut, yaitu dengan meng-klik **cetak**, contoh tampilannya adalah pada gambar 4.24. Setelah di klik **cetak**, maka ada pilihan konfirmasi (gambar 4.26) apakah yakin data akan dicetak, apabila yakin dicetak maka diklik **Yes**, apabila tidak ingin mencetaknya maka diklik **No**. Pengguna juga dapat kembali ke tahap awal dengan meng-klik **coba lagi** apabila diperlukan, karena ketidak kesesuaian anoda yang dipilih dengan umur proteksi yang diharapkan. Atau pengguna juga dapat menyimpan data tersebut apabila suatu saat data tersebut dibutuhkan dengan meng-klik **Simpan**. Apabila pengguna sudah menemukan anoda yang sesuai dengan umur yang diharapkan atau pengguna ingin keluar bisa meng-klik **Selesai**. Tampilan dari hasil perhitungan tersebut adalah pada gambar 4.24, yaitu :



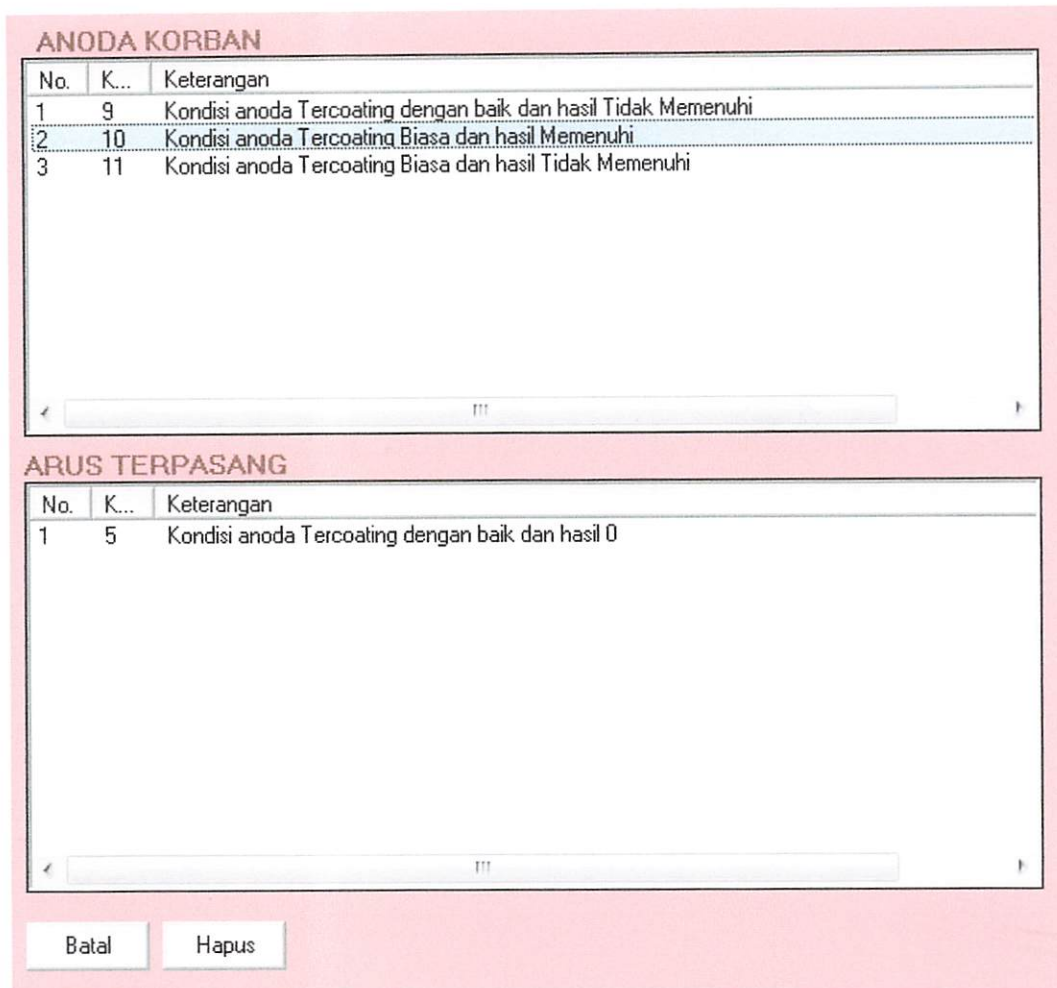
Gambar 4.24 contoh hasil perhitungan.



Gambar 4.25 Pencetakan hasil.



Gambar 4.26 Konfirmasi cetak.



Gambar 4.27 contoh data simpanan.

4.6.3 Keterangan Menu Bar

Adalah digunakan untuk mempermudah pengguna dalam menjalankan perintah-perintah. Menu bar tersebut berisi file, edit dan help yang perinciannya adalah dibawah ini :

Keterangan Menu Bar

➡ File

1. Data baru
Untuk melakukan perhitungan dengan memasukkan data parameter baru.
2. Buka data
Untuk membuka data hasil perhitungan yang telah di simpan sebelumnya
3. Simpan data
Untuk melakukan penyimpanan data hasil perhitungan.
4. Hapus data
Untuk menghapus data hasil perhitungan yang telah disimpan sebelumnya.
5. Cetak data
Untuk melakukan pencetakan data hasil perhitungan melalui perangkat printer.
6. Keluar program
Untuk keluar dari program.

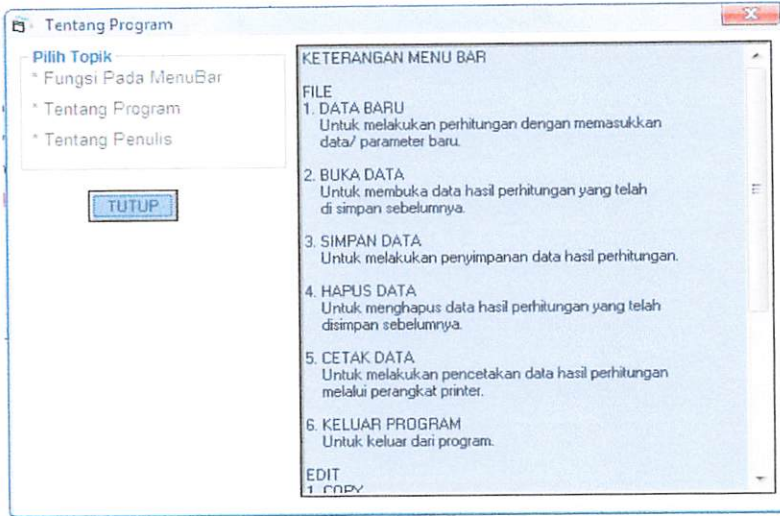
➡ EDIT

1. Copy
Untuk menyalin data.
2. Cut
Untuk memindah data.
3. Paste
Untuk meletakkan data dari proses copy atau cut.
4. Clear
Untuk membersihkan data dari kotak inputan.

➡ HELP

1. Tentang program

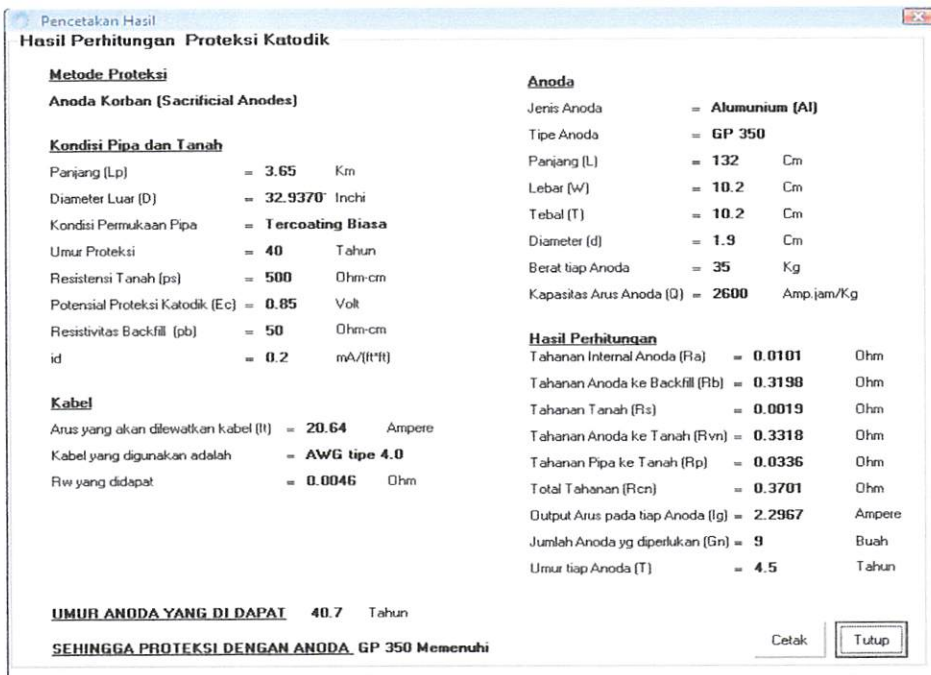
Berisi keterangan menu bar, tentang program dan tentang penulis. Tampilan dari menu *help* tersebut adalah seperti pada gambar 4.28.



Gambar 4.28 contoh keterangan menubar untuk *Help*.

4.7 Penyelesaian Kasus Menggunakan Software Pipe Cathodik Protektor

Dari contoh kasus pengendalian korosi pipa distribusi air bersih di jalan Rajawali Surabaya, hasil perhitungannya dengan menggunakan software Pipe Cathodik Protektor yang menggunakan metode sacrificial anoda dengan anoda Al tipe GP 350 adalah sebagai berikut :



Gambar 4.29 Contoh hasil perhitungan.

4.8 Kelebihan dan Kekurangan Program

Seperti halnya program-program komputer lain, program Pipe Cathodik Protector ini juga mempunyai beberapa kelebihan dan kelemahan seperti dijelaskan berikut ini.

4.8.1 Kelebihan Program Pipe Cathodik Protektor

1. Memberikan hasil perhitungan secara cepat dan tepat bila dibandingkan dengan perhitungan secara manual.
2. Menampilkan keterangan dan gambar yang dapat membantu pengguna dalam mengambil keputusan dalam mendesain.
3. Mampu menyimpan dan memanggil data sehingga pengguna dapat mencoba beberapa alternatif desain sampai menemukan yang dirasa terbaik.
4. Dapat mencetak hasil perhitungan.
5. Hasil perhitungan lebih valid dibanding dengan cara manual, karena dalam program ini karakter sampai 7 digit dibelakang koma desimal.

4.8.2 Kekurangan Program Pipe Cathodik Protektor

1. Jenis-jenis anoda yang dimasukkan sebagai database terbatas, sehingga perlu meng-update program untuk disempurnakan.
2. Apabila dalam satu kasus belum terdapat data resistivitas tanah, maka program ini masih belum dapat dipergunakan.
3. Belum adanya keterangan mengenai cara pemasangan anoda serta pemeliharaannya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pembuatan program dan pengaplikasiannya, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Korosi dapat dikendalikan lajunya dengan menggunakan 2 metode proteksi katodik yaitu anoda korban dan arus terpasang
2. Program Pipe Cathodik Protector membantu pengguna untuk merencanakan pengendalian korosi dengan cepat dan tepat pada pipa yang ditanam dalam tanah dengan menggunakan 2 metode proteksi katodik yaitu metode anoda korban dan metode arus terpasang di banding dengan cara manual.
3. Program Pipe Cathodik Protector memberikan hasil perhitungan anoda yang sesuai dengan umur proteksi yang diharapkan dengan memasukkan data inputan kondisi pipa, kondisi tanah dan jenis anoda.
4. Program Pipe Cathodik Protector mampu memberikan alternatif pemilihan anoda yang terbaik sekaligus mencetak dan dapat disimpan hasil perhitungan untuk sewaktu-waktu dipanggil kembali.
5. Program Pipe Cathodik Protector dilengkapi menu *Help* yang dapat membantu pengguna dalam mengoperasikan program tersebut.

5.2. Saran

Saran-saran yang dapat diberikan untuk kelanjutan dan penyempurnaan pengerjaan pembuatan program ini antara lain :

1. Perlunya suatu penelitian lebih lanjut untuk validasi program.
2. Penambahan jenis-jenis anoda sebagai database yang harus selalu diperbaharui.
3. Perlu adanya keterangan mengenai cara pemasangan anoda pada jaringan pipa serta pemeliharanya.
4. Penambahan analisa ekonomi dari instalasi pada program.

DAFTAR PUSTAKA

- Candra. S, 2004. Pembuatan Software Sistem Penyaluran Air Buangan Dengan Program Visual Basic. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan, ITS, Surabaya.
- Delina, M, 2007. Pembuatan Perangkat Lunak Pembantu Perancangan Proteksi Katodik Sistem Anoda Korban, Thesis Program Studi Material Science Program Pasca Sarjana, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Handana, D, 1996. Studi Evaluasi Penerapan Pencegahan Korosi Secara Katodik Pada Pipa Induk Distribusi Di Jalan Rajawali Surabaya. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan, ITS, Surabaya.
- Hanisaroso E, 2006. Pembuatan Program Untuk Penyajian Informasi Jalan Di Kabupaten Sidoarjo Dengan Menggunakan Visual Basic 6.0 Dan Map Object 2.1. Tugas Akhir Jurusan Teknik Geodesi ITN, Malang.
- Pandia, H, 2006. Pemrograman Dengan Visual Basic
- Peabody, A. W, 1970. Control Of Pipeline Corrosion, National Association Of Corosion Engineers, Houston.
- Sari, R, 2007. Analisis Penyelesaian Puzzle Sudoku Dengan Menerapkan Algoritma *Backtracking* Memanfaatkan Bahasa Pemrograman Visual Basic 6.0 dan Database Microsoft Access 2003. Skreipsi Jurusan Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Manajemen Informatika Komputer Stmik Asia, Malang.
- Theresia, O. R. H., 1991. Pencegahan korosi pada bagian luar pipa yang ditanam didalam tanah dengan proteksi katodik, Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan, ITS, Surabaya.
- http://id.answers.yahoo.com/question/index;_ylt=AtjPljWf1WS3CL7JIINstboRg_x.;_ylv=3?qid=20080115224400AAN8YUV&show=2#yan-answers, Maret 2007.
- <http://korosi-indonesia.blogspot.com/>, Agustus 2007.
- http://id.wikipedia.org/wiki/Proteksi_katodik, Maret 2007.
- <http://www.komputasi.lipi.go.id/utama.cgi?tampilpublikasi&1014224401&1187096394&>, Maret 2007.
-

Daftar Pustaka

<http://www.migas.indonesia.com/index.php?module=article&sub=article&act=view&id=2039>, Maret 2007.

http://search.yahoo.com/search?p=proteksi+katodik&ei=UTF-8&fr=yfp-t-501&fp_ip=ID&xargs=0&pstart=1&b=5, Agustus 2007.

<http://www.pdamsby.go.id/pengumuman.asp?pengumuman=462&Tgl=3/2/2007%20:42:23%20PM&d=0&save=>, Agustus 2007.

www.corrosionsource.com. Bammel-N. Houston, STE. 3000 Houston, TX 77014 USA.

www.farwst.com. Desember 2006. Farwest Corrosion Control Company, 1480 West Artesia Blvd, Gardena, California 90248-3215, USA.

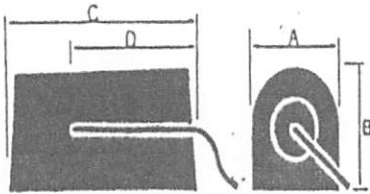
www.mesaproduct.com. Desember 2006. MESA Corrosion Control Inc, P. O. Box 52608, Tulsa, OK 74152-0608, USA.

www.usbr.gov. Desember 2006. Bureau of Reclamation – USA Departement of the Interior, 1849 C Street NW, Washington DC 20240-001, USA.

LAMPIRAN A
SACRIFICIAL ANODE

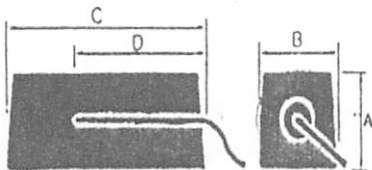
Magnesium Pipelines Anodes

a. D-Section



Anode type	A mm	B mm	C mm	D mm	Magnesium weight kg	Total weight of anode complete with backfill kg
23 MB 23 VB	89	92	203	127	2.3	5.1
41 MB 41 VB	89	92	441	302	4.1	8.7
77 MB 77 VB	114	114	527	330	7.7	15.9
100 MB 100 VB	122	122	559	362	10.0	20.5
145 MB 145 VB	152	140	603	362	14.5	29.5
232 MB 232 VB	159	164	622	362	23.2	46.9
273 MB 273 VB	108	102	1524	1018	27.3	unpacked

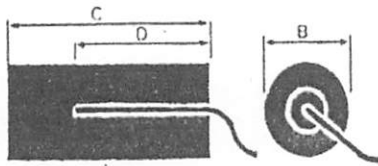
b. Rectangular Section



Anode type	A mm	B mm	C mm	D mm	Magnesium weight kg	Total weight of anode complete with backfill kg
41 MBS 41 VBS	102	102	229	127	4.1	8.7
77 MBS 77 VBS	102	102	432	302	7.7	15.9
145 MBS 145 VBS	127	114	559	362	14.5	29.5

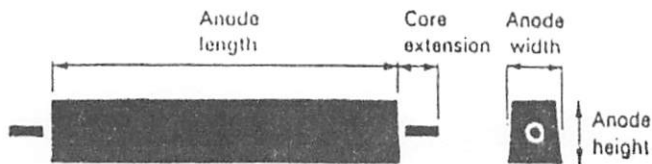
Lampiran

c. Circular Section



Anode type	B mm	C mm	D mm	Magnesium weight kg	Total weight of anode complete with backfill kg
100 MBC 100 VBC	108	622	362	10.0	20.5
227 MBC 227 VBC	200	425	305	22.7	45.9

Zinc Anodes

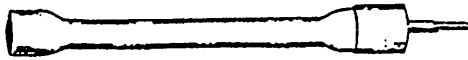


Anode type ZP	Anode length mm	Anode width mm	Anode height mm	Core extension mm	Core diameter mm	Net weight kg	Gross weight kg
86	1020	35	35	152	6	8.6	9.3
134	1525	35	35	152	6	13.4	14.3
500	1525	70	70	152	12	50.0	52.0
652	915	102	102	152	19	65.2	68.0
1086	1525	102	102	152	19	108.6	113.0
1840	1525	135	132	152	19	184.0	189.0
3160	1550	184	159	152	25	316.0	323.0
5000	2337	216	191	152	115	500.0	559.0

LAMPIRAN B
IMPRESSED CURRENT

Lampiran

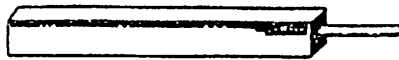
Kinds of Anodes	Main Elements	Consumption Rate (kg/A, Yr)	Current Density (A/dm ²)
High Silicon – Cast Iron Anode	Si 14,5% Cr 4,5%	0.1 – 1.0	0.05 – 0.8
Graphite Anode	C	0.4 – 1.3	0.05 – 0.1



HIGH SILICON CAST IRON ANODE
TYPE FSD-15M



TUBULAR ANODES
TYPE TA



GRAPHITE ANODES
TYPE GL

Standard High Silicon Cast Iron Anode Dimensions

Type	Dimensions (mm)	Body Wt. (kg)	Rated Current Output (Amp)
TA-1	67φ x 1500	14	5.0
TA-3	67φ x 2100	29	10.0
FSD-15D	50φ x 1500	20	2.0
FSD-15M	50φ x 1500	23	2.5
FSD-15E	75φ x 1500	48	4.5

Standard Graphite Anode Dimensions

Type	Dimensions (mm)	Body Wt. (kg)	Rated Current Output (Amp)
GA-10	75φ x 1000	8.5	3.0
GA-15	75φ x 1500	11.0	4.0
GL-50	50 x 50 x 1800	8.6	4.0
GL-75	75 x 75 x 1800	19.1	6.0

LAMPIRAN C
JENIS KABEL

Lampiran

Copper conductor	Number of strands	Diameter of strands		Cross sectional area of conductor (calculated)		Single conductor weight per km run	Single conductor resistance per metre run at 20° C	Typical DC current ratings (US to 90° C UK enclosed ratings) amps
		Inch	mm	sq in	sq mm			
18	1	0.0403		0.00127	0.823		21359	-
10	1		1.13		1.003	9.0	18100	11
16	1	0.0508		0.00203	1.31		13452	-
15	1		1.38		1.496	13.3	12100	13
14	1	0.0641		0.00323	2.08		8432	15
2.5	1		1.78		2.49	22.2	7280	18
12	1	0.0808		0.00513	3.31		5315	20
4.0	7		0.85		3.972	36.1	4610	24
10	1	0.1019		0.00816	5.26		3340	30
6.0	7		1.04		5.95	54.0	3080	31
8	1	0.1285		0.013	8.37		2101	40
10	7		1.35		10.02	90.8	1830	42
6	7	0.0612		0.0208	13.3		1345	55
16	7		1.70		15.89	145	1150	56
4	7	0.0772		0.033	21.14		850	70
25	7		2.14		25.18	229	727	73
3	7	0.0867		0.041	26.68		673	80
2	7	0.0974		0.052	33.65		532	95
35	19		1.53		34.93	317	524	90
1	19	0.0664		0.066	42.45		423	110
50	19		1.78		47.28	429	387	145
1/0	19	0.0745		0.083	53.43		335	125
2/0	19	0.0837		0.1045	67.45		266	145
70	19		2.14		68.34	620	208	185
3/0	19	0.0940		0.132	85.07		211	165
95	19		2.52		94.76	860	193	230
4/0	19	0.1055		0.166	107.16		167	195
120	19		2.03		119.75	1086	153	260
250	37	0.0822		0.196	126.68		141.4	270
150	37		2.25		147.11	1334	124.0	355
300	37	0.0900		0.235	151.86		118.1	300
350	37	0.0973		0.275	177.50		101.1	325
185	37		2.52		184.54	1673	99.1	405
400	37	0.1040		0.314	202.78		88.6	360
240	61		2.25		242.54	2199	75.4	480
500	37	0.1162		0.392	253.15		70.9	405
300	61		2.52		304.2	2759	60.1	560
600	61	0.0992		0.471	304.2		59.1	455
700	61	0.1071		0.550	354.5		50.5	490
750	61	0.1109		0.589	380.1		47.2	500
400	61		2.85		389.1	3528	47.0	580
800	61	0.1145		0.628	405.2		44.3	515
900	61	0.1215		0.709	456.3		39.4	555
500	61		3.20		490.6	4448	36.6	600
1000	61	0.1280		0.785	508.4		35.4	585
650	127		2.52		633.4	5744	28.3	810
1250	91	0.1172		0.982	633.4		28.3	645
1500	91	0.1284		1.178	760.2		23.6	700
800	127		2.85		810.2	7340	22.1	-
1750	127	0.1174		1.375	886.9		20.2	735
2000	127	0.1255		1.571	1013.6		17.7	775
1000	127		3.20		1021.4	9260	17.6	-

LAMPIRAN D
BACKFILL

ASBURY Carbon Anode Backfills for Cathodic Protection

Why Carbon Backfill?

With the right carbon anode backfill, anode to earth resistance is decreased, since the backfill column functions as the anode rather than just the anode material itself. Gas blockage and drying tendencies are decreased by the increased anodic reaction surface area. Anode life is increased by the shift of the oxidation reaction from the anode surface to the backfill surface. Also, the backfill maintains hole integrity and prevents cave-in.

Since the purpose of the carbonaceous backfill is to provide an electronic path for current flow, low resistivity, particle size, and specific gravity are important backfill properties. Low resistivity favors electronic current flow to the backfill / ground interface. Small particle size and high density favor electronic current flow between the anode material and backfill by improving contact between the anode material and the backfill.



Five Carbon Anode Backfills

- **Asbury 218-L Backfill** is an industry standard calcined petroleum coke. It is a perfect choice in situations where backfill must be top loaded. The density and angular nature of Asbury 218-L allow it to settle quickly into position. Asbury 218-L is a coarsely screened product. The large size of the particles ensures that the backfill will be permeable to gas even in situations when over-compaction has taken place.
- **Asbury 218-R Backfill** is a finer grade of calcined petroleum coke than used in Asbury 218-L. It is the best choice in situations where the backfill must be top loaded into a smaller diameter well. The density and angular nature of Asbury 218 Series cokes allow them to settle quickly into position. Asbury 218-R provides good gas permeability due to a low fines content. It is suitable for both conventional and deep well systems.
- **Asbury 251 Backfill** is a calcined fluid petroleum coke, superior to breeze coke in density and resistance. The spherical particle shape is optimum for slurry applications. The high density ensures that the backfill will pack tightly when either pumped or top loaded. The

- Asbury 251-P Backfill** is a calcined fluid petroleum coke manufactured to provide the lowest possible resistance for a calcined fluid coke. Asbury introduces a conductive additive during the production process, which lowers resistivity and improves the wettability of normal Asbury 251 Backfill. Asbury 251-P is the superior choice for backfill in critical deep well or conventional ground beds when low resistivity is the major consideration.
- Asbury 4518 "Flo Coke" Backfill** is a spherically shaped petroleum coke. It is very dense, which promotes settling when used in deep well systems. The particles are very resistant to crushing forces, making it one of the hardest products available to the corrosion protection industry. The high density and particle hardness make 4518 "Flo Coke" a candidate for top-loading deep wells and for conventional ground beds.

General Properties

Property	218-L	218-R	251	251-P	4518
Resistivity, ohm-inch*	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
Resistivity, ohm-cm*	0.05	0.05	0.03	0.02	0.03
Carbon (L.O.I. method)	99.0	99.0	99.8%	99.8%	99.9%
Moisture	0.10%	0.10%	0.07%	0.07%	0.02%
Ash	0.35%	0.35%	0.12%	0.13%	0.10%
VCM	0.30%	0.30%	0.02%	0.02%	0/22%
Sulfur	3.75%	3.75%	5.8%	5.8%	4.3%
Bulk Density (lbs/ft3)	46-50	48-53	64-72	64-72	62-66
General Sizing**					
+ 4 Mesh	+4M < 10%	+4M 25%	+20M <5%		4M 10%
+ 8 Mesh	+8M > 90%	+8M > 70%	+100M >70%		+20M > 80%
- 8 Mesh	-8M < 10%	-8M < 5%	-100M Balance		-20M 10%
Applications	Use for Ground Beds & Deep Wells				

* Resistivity is measured at 150 PSI.

** M is abbreviation for Mesh

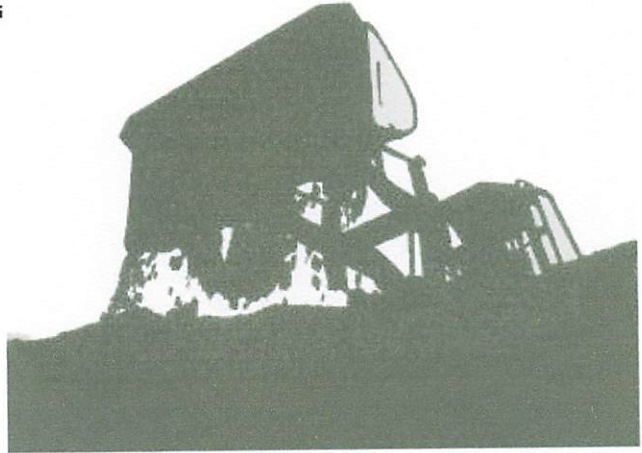
Packaging: Asbury Carbon Backfills are available from Farwest in 50 lb bags on 2500 lb pallets. They are also available on request in one-ton super-sacks, in drums, or in bulk. Please contact Farwest for special packaging requirements.

[Click here for volume & weight calculations.](#)

Lampiran

About Asbury Carbons

Asbury Carbons, Inc. was founded in 1895. Today, Asbury Carbons is one of the world's largest processors of graphite in all its forms, with ten production operations throughout the United States and Canada. With strict manufacturing standards, Asbury carbon anode backfill products set the standard for the industry.



LAMPIRAN E
POWER SUPPLY/RECTIFIER

Model ES / TufBox Cathodic Protection Rectifier by Universal Rectifier, Inc.

DC Rectifier for Easy Mounting in TufBox Enclosure

Model ES / TufBox

The **Model Model ES / TufBox Cathodic Protection Rectifier** combines the superb electrical features of **Universal Rectifiers's Model ES** with a **TufBox enclosure** for outdoor mounting. The unit is sturdy, secure, and easy to install and service.

Electrical Features

- Circuit breaker.
- Ammeter.
- 03 coarse and 6 fine taps.
- Silicon rectifying elements.
- Surge protection.
- AC and DC lightning protection.
- AC input terminal block.
- Electrical assembly only 13" high x 5" wide x 5.5" deep.
- 120V AC single phase input.
- Standard models for 6V-5A, 6V-10A, 12V-5A, 12V-10A, 20V-5A, 20V-10A, 30V-5A, 40V-5A.
- Other models available up to 200 Watt DC output.



Mechanical Features

- Aluminum construction.
- Below-grade entry for wiring.
- Side panels slide up and out.
- Open Tufbox provides easy access to front and rear of junction box and to below-grade wiring.
- All test points easy to reach with measuring devices.
- Using optional extra "side mounting blocks," slotted poles can be attached for mounting markers and other equipment.

Cathodic Protection Pulse Rectifier Model 2015 "Pulser" by Farwest Corrosion

Short duration, high voltage pulses for corrosion protection of buried structures, such as pipelines or casings.



Wall-mount or pole-mount configuration.

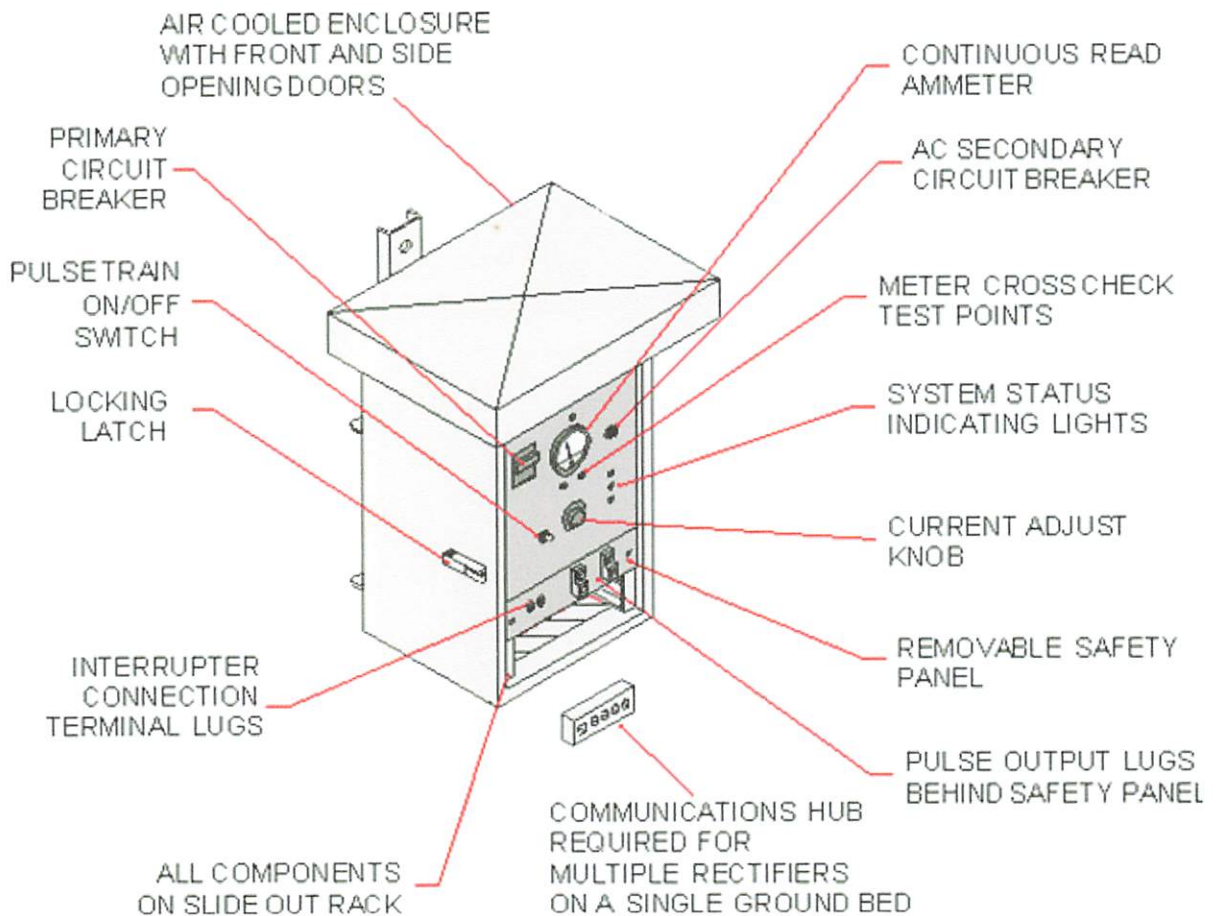
The Model 2015 Pulse Rectifier, manufactured by Farwest Corrosion Control Company, is a new generation, air cooled, cathodic protection power supply (rectifier) capable of providing 15 amps of DC output current. This new unit is designed for ease of installation, operation and servicing, and has the look and feel of a conventional cathodic protection rectifier. Operation is as simple as turning on the power switch and dialing in the appropriate amount of protective current. U.S. Patent No. 6,224,742 B1, Canadian Patent Pending.

Installation flexibility. Model 2015 "Pulser" is available for wall mount, pole mount, pad mount installation, or for use in ornamental cabinets. The photo to the right shows a dual installation in a cabinet. Where multiple structures are located at a common location, several Pulse Rectifiers may be installed on a common anode ground bed. In this case, each rectifier will still provide independently controlled, constant current to each individual structure. This can provide a substantial cost savings by eliminating the need for additional anode ground beds.

Pulse rectifier technology has proven to provide superior current distribution on underground structures, and more importantly, cathodic interference to adjacent structures is greatly reduced.



Pulse Rectifier Description



The Model 2015 Pulse Rectifier (Pulser) is an air-cooled DC power supply that is designed to work as any conventional rectifier with the added benefit of increased current distribution and reduced cathodic interference on adjacent buried structures. The major components consist of the pulse module, power transformer and control/monitoring panel.

Pulse Module: The pulse power module is the main component of the Pulser. The module consists of the power conversion circuitry that converts the AC to high voltage DC output pulses. It also contains the control, monitoring and communication circuitry. All solid-state power components are mounted on a massive aluminum heat sink. The main circuit board and associated components are also mounted to the heat sink and are protected by a steel housing. The output of the rectifier is electronically controlled to maintain a "constant current" during operation.

Main Power Transformer: The main power transformer is a single phase, toroidal isolation transformer. Toroidal transformers offer improved power efficiency, are lighter weight and are more compact than conventional laminated core power transformers.

Control/Monitoring Panel: This main panel controls and monitors the operational status of the system and contains the following components:

- An output control dial (10-turn potentiometer) provides the means for adjusting the pulse output current.
- A single, continuous reading ammeter displays system current output. Panel-mounted jacks are provided for cross checking meter accuracy.
- The pulse train interrupt switch is available to interrupt the pulse output without switching off the main rectifier power.
- Primary and secondary circuit breakers.
- System status indicating lights.
- Recessed potentiometers are included to adjust pulse width and frequency to improve performance on a site-specific basis.

Enclosures: A number of different enclosure types are available including an industry standard rectifier type cabinet as well as other commercially available decorative cabinets. With a compact physical dimension of 12" x 12" x 16", the 2015 Pulser can even be located in existing, customer supplied cabinets. The standard rectifier type enclosure is manufactured from 11-gauge cold rolled steel with a thermally fused, multistage coating, white in color.

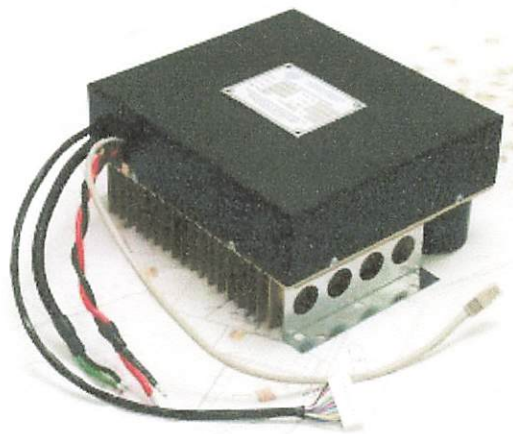
AC Input Section: The standard available AC input configuration is 115/230 volt, single phase. Customer specified AC inputs are also available as a special order.

Removable Safety Panel: This removable panel shields the high voltage pulse output lugs, the AC secondary interconnect, and access to interrupter connection lugs. These lugs allow for the use of a portable interrupter. It is important to note that a portable interrupter only interrupts a low voltage, low current signal rather than the pulse output. This allows the use of virtually all types of commercially available, portable current interrupters.

[Please click here for power diagram.](#) Image is 745 pixels wide, so set your monitor to at least 800-pixel width for a sharp image.

Serviceability Features

- On the standard rectifier type enclosure, front and side opening doors are provided for easy installation and servicing.
- The entire rectifier assembly is built on a slide-out chassis allowing easy removal from the cabinet for service.
- The major electronic components are enclosed in a single module housing.
- A pulse interrupt circuit is provided which will function with any portable current interrupter.
- Temperature monitoring devices are built into the system. These devices monitor critical electronic component operating temperatures. If the operating temperature should exceed a maximum range, the pulse module output will be interrupted until the temperature reduces to a safe operating level. At that time, the system will automatically restart and return to previous operating parameters.
- For structures that require in excess of 15 amps of protective current, additional rectifiers can be added to the same structure and operated in parallel to provide the required current.
- For multiple structures at a common location, additional rectifiers may be installed on a common anode ground bed. Each rectifier will provide an independently controlled, constant current to each structure.



Model 2015 "Pulser" pulse module

Theory of Operation

The Pulser produces very short duration, very high voltage, direct current electrical pulses for cathodically protecting buried metallic structures, such as pipelines and well casings, from external corrosion.

Pipelines, well casings, and other steel structures buried in soil, corrode. Cathodic Protection has been used to mitigate corrosion for many years. Sufficient direct electrical current (DC) is caused to flow from the soil to the surface of the structure. Typically, the negative lead from a DC rectifier is connected to the structure to be protected, and the positive lead to an anode bed. The ground bed usually consists of one or more rods, called anodes, fabricated from expendable materials such as graphite or silicon steel. The anodes are buried in deep wells, or shallow holes or trenches, in the vicinity of the structure to be protected. The process is called Cathodic Protection, because protective cathodic reactions are caused to take place on the surface of the structure being protected.

The DC current mitigates corrosion by electrochemically reducing any corrosive oxygen molecules and hydrogen ions that may be adsorbed on the surface of the structure in contact with the soil. As additional molecules and ions diffuse from the soil and become adsorbed onto the steel surface, they are also reduced by the continuously flowing direct current. There are certain drawbacks to conventional cathodic protection, however. Current flows in the ground continuously in a relatively large three-dimensional envelope. If there are other foreign metallic structures buried in the soil within the current envelope, damage in terms of metal loss will very likely occur to the foreign structures. Also, the "throw", or distance down the pipeline or well casing, that can be protected, is limited by the magnitude of the current reaching the more distant corroding surfaces.

The corrosive oxygen molecules and hydrogen ions, adsorbed on the surface of the buried structure, are electrochemically reduced within microseconds after the application of cathodic current. Before the corrosion reactions can begin again, additional molecules and ions must diffuse to the surface of the structure from the surrounding soil and become adsorbed. The destructive diffusion and adsorption processes are orders of magnitude slower than the protective reduction process, particularly when the ions are not being driven by a continuously applied cathodic protection voltage.

With Pulse Cathodic Protection the corrosive molecules and ions are electrochemically reduced with very short duration but very high current pulses. Since throw is a function of current magnitude, the very high pulsed currents result in greatly improved throw down the length of the structure. Because of the natural electrical characteristics of the structure/anode system, the greatly improved high current throw is further enhanced by the inductive and capacitive redistribution of that current.

Also, the very short duration pulses are separated by relatively long "off" intervals. The pulse voltage is applied for less than 20% of the total time. Thus, the continuous current envelope and the resulting interference on foreign structures is greatly reduced.

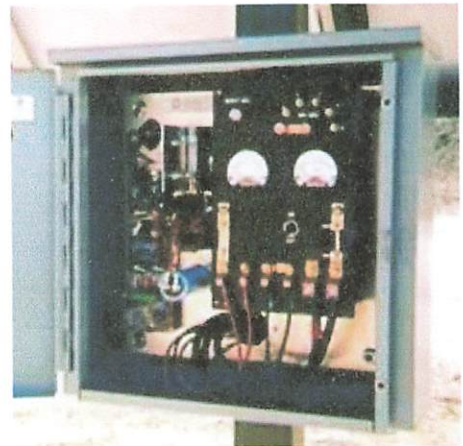
Solar Power Supply Charge / Output Controllers for Cathodic Protection

Reliable Electric Power for Cathodic Protection at Remote Sites

Charge / Output Controller

Controller:

The LP Hoying Co. charge / output controller provides a precise, electronic charge regulator to control battery terminal voltage during charging and an efficient wattage converter for stepping the voltage down to the required power supply output level. This unique feature allows the solar panels to operate at their peak power point for longer periods of time during the day. Printed circuit board LED indicators illustrate battery charging and converter functions.



- **Standard features** include temperature compensation on the charge circuitry and load drop for lead acid battery protection during extended cold weather, or sunless periods. PC board is environmentally sealed: low loss FET's are used in battery charging and converter circuitry: Continuous potentiometer adjustment and solid-state circuitry are provided for fine current control. All functions are engraved into the instrument panel. Continuous reading voltmeter and ammeter are standard. Compression lugs are provided for battery, solar and load connections.
- **Reduced Energy at Night (REN)** type is designed to provide 100% of the daytime current rating during daytime solar energy periods and a minimum of 1/2 the daytime current rating of the power supply at night. This approach works on well casings and coated pipelines where the structure maintains polarization and can be polarized during the daytime. Only a fraction of the current required to initially polarize a structure is needed to maintain polarization once the structure is polarized. The size and quantity of components required are reduced which results in lower total power supply costs.
- **Continuous Voltage Output (CVO)** type is designed for use in areas where a constant voltage is needed to provide protection at the set level 24 hours a day. Once set, the output voltage stays at the set point and current output changes as the ground-bed resistance changes. A magnetic circuit breaker is provided for over current protection.

LVIP & NVIP solar power supplies provide constant voltage, current and potential control modes.

- **Constant Voltage Control mode:** In this mode of operation, the power supply output voltage is adjusted up or down by the operator and is held constant at the set point. The rectifier's output current changes as load resistance changes.

- **Constant Current Control mode:** When a constant current power supply is specified, the operator has the ability to adjust the output current to a maximum desired level. The power supply automatically adjusts its output voltage to maintain the desired current level as load resistance changes.
- **Constant Potential Control mode:** The operator has the capability of setting the desired reference to structure potential. A permanent reference half-cell is required for the constant potential power supply to operate in this mode. The reference cell to structure potential is sensed by the controller and compared to set the potential programmed by the operator. If there is a difference between the two, the power supply automatically adjusts its output to compensate for the difference.

For additional information, please see:

[Solar Power Supply Types](#) & [Solar Power Supply Components](#)

Reduced Energy at Night (REN) Type Controllers



- **When a lower cost solar power supply is needed,** a Reduced Energy at Night (REN) type supply may be the answer. If you have a structure with little interference, such as a well casing with a good cement job or a coated pipeline, and the structure maintains polarization and can be polarized during the daytime, a REN type power supply will do the job. Only a fraction of the current required to initially polarize a structure is needed to maintain polarization once the structure is polarized.
- **The Reduced Energy at Night (REN)** power supply is designed to provide 100% of the daytime current rating during daytime solar energy periods and a minimum of 1/2 the daytime current rating of the power supply at night. This reduces the size and quantity of components required resulting in lower power supply costs. REN type regulators provide the customer with the ability to adjust the output voltage electronically from zero to the rated output of the power supply. The unit automatically drops to 50% of the daytime output current during periods of darkness.
- **REN type units** are shipped with all required components for easy installation in the field.

Continuous Voltage Output (CVO) Type Controllers

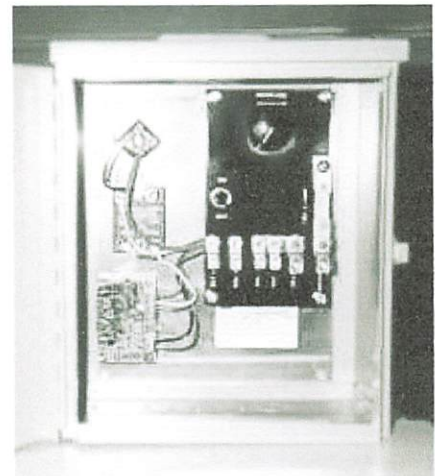
- **CVO type power supplies** were developed for use in areas where protection is needed at a constant level. These supplies can provide the rated voltage output continuously, 24 hours a day. The charge regulator features temperature compensation and load drop for lead-acid battery protection during extended cold weather or sunless periods.
- All functions are engraved into the instrument panel. Continuous reading voltmeter and ammeter are standard. Compression lugs are provided for battery, solar, and load connections.
- Continuous potentiometer adjustment and solid-state circuitry are provided for fine current control.
- Available with NiCad or lead-acid battery. Specify the battery type wanted.
- A heavy-duty, lockable battery enclosure with recessed padlock openings and hinged lid is standard. It provides plenty of space for the battery and allows easy access for service.
- CVO units are furnished complete with stand and all hardware required for field assembly.
- Anti-theft hardware is provided for added security.
- Support pole lengths are optional, up to 20 foot long. 10-foot pole length is standard.
- Standard voltage ratings are 4, 6, 8, 10, 12 and 24 volts.



For additional information, please see:
[Solar Power Supply Types](#) & [Solar Power Supply Components](#)

Low-Voltage Regulator for Solar Power Supplies Model HCS-4/6

- **HCS-4/6 charge / output controllers** provide a precise, electronic charge regulator to control battery terminal voltage during charging of 4 V or 6 V or batteries and can handle up to 40 A of solar collector current. The regulator uses a power rheostat for ground bed current control.
- **This basic regulator is designed for long life and serviceability.** All serviceable components are exposed and easy to get to. A 16-gauge painted steel enclosure with hinged, lockable doors is standard.
- **An LED indicator lamp** on the printed circuit board shows battery charging functions. The board is environmentally sealed. Low loss FET's are used in the battery charging circuitry. Charge voltage temperature compensation is provided. A circuit breaker provides current protection. A .001-ohm shunt is provided to monitor output current.



Skipst

- **All functions are engraved into the instrument panel.** A continuous reading voltmeter and ammeter are optional. Output adjustment is by means of a rheostat. Compression

Solar Power Supply Components for Cathodic Protection

Reliable Electric Power for Cathodic Protection at Remote Sites

Included Equipment

Structure:

- Sturdy single pole. Ten-foot long steel support structures are provided with units requiring up to four solar panels. All necessary hardware, wire, and conduit are provided with each system. Theft resistant hardware is provided for all mechanical connections. The support structure is designed for easy field assembly and installation. Heavy gauge steel enclosures with hinged lids and sturdy lock hasps are provided for battery box and regulator.

Solar Panels:

- Efficient solar cells deliver superior watts per square foot of module surface area compared to competitive products. Reduced solar array area results in significant system cost savings.
- Each solar cell is manufactured with a unique and proprietary bypass diode function that prevents power loss and undesirable heat generation if a module is temporarily shaded.
- Crystalline solar cells, low iron, tempered glass front surface, EVA / Tedlar laminate, anodized aluminum frame.



Battery:

- NiCad batteries, manufactured to stringent quality standards in facilities certified to ISO 9001, rank among the highest quality batteries available from any manufacturer anywhere in the world.
 - Extremely long life of 25 years plus, exceptional reliability, wide operating temperature range of -40°F to 140°F, excellent cycling capability, exceptional resistance to shock and vibration.
 - Very simple maintenance with no specific gravity checks, visible electrolyte levels.
 - 48 hours of NiCad battery autonomy or 100 hours of lead-acid autonomy supplied standard with REN units.
 - Standard lead-acid batteries are absorbed electrolyte type designed for solar application and carry a five-year warranty. Other battery types are also available.
 - Battery voltage matches or exceeds voltage rating of the power supply.
 - REN (Reduced Energy at Night) units are available in most sizes. Six-volt units are standard with output to 60 watts. Twelve-volt units are standard with output to 120 watts.
 - CVO (Constant Voltage Output) units are available in 4, 6, 8, 10, 12 or 24-volt
-

Alcad NiCad Batteries

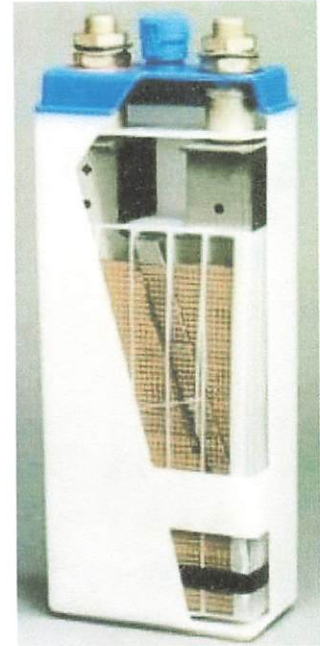
The Nickel Cadmium Difference

In today's technological world, we all depend on electricity available on demand. When you require battery power or when you are suddenly deprived of your main power supply, that is when Alcad nickel cadmium batteries come into their own, as a completely reliable, self-contained source of power.

Alcad Technology

Alcad nickel cadmium batteries are designed to be absolutely reliable for 25 years and more. All that is necessary to achieve such longevity is simple maintenance. Outstanding reliability is just one feature of an Alcad nickel-cadmium battery. Other features are:

- Extremely long life - 25 years plus exceptional reliability.
- Wide range of operating temperatures: -40°F +140°F (-10°C +60°C).
- Good capacity at low temperatures.
- Excellent resistance to high-temperature aging.
- Resistant to electrical abuse (both over-charge and over-discharge).
- Excellent cycling capability.
- Accepts high rates of charge.
- Excellent shelf life in filled condition. Storage in any state of charge. Very good charge retention Very simple maintenance. No specific gravity checks.
- Excellent resistance to shock and vibration.
- Low installation costs. No special battery room required. Easy connection of cells.



Construction

The manufacture of Alcad nickel-cadmium batteries is a combination of electrochemistry and precision mechanical and electrical engineering. The heart of every cell is a series of steel pockets which are made from finely perforated steel strip filled with active materials - nickel in the positive plate and cadmium in the negative.

Product ranges are available in both plastic and stainless steel containers. Plastic container cells, details of which are given in this data sheet, offer a number of features such as translucency so that electrolyte levels are visible to aid maintenance, corrosion resistance in wet and saline conditions, and ease of assembly. Polypropylene, with its high impact resistance, is used for the majority of the Alcad cell ranges.

All Alcad plastic cased nickel-cadmium cells are fitted with flip-top flame arresting vents as standard, and are UL recognized.

Kyocera Photovoltaic Modules

Kyocera KC120-1

Multi-crystal solar electric panel with 36 cells. Laminated with glass in an aluminum frame. Suitable for all applications in all climates.

- Length: 56.1
- Width: 25.7"
- Depth: 2.2"
- Power rating: 120 watts
- Current at rated power: 7.1 A
- Voltage at rated power: 16.9 V



Kyocera KC80

Multi-crystal solar electric panel with 36 cells. Laminated with glass in an aluminum frame. Suitable for all applications in all climates.

- Length: 38.4"
- Width: 25.7"
- Depth: 2.2"
- Power rating: 80 watts
- Current at rated power: 4.73 A
- Voltage at rated power: 16.9 V



Kyocera KC60

Multi-crystal solar electric panel with 36 cells. Laminated with glass in an aluminum frame. Suitable for all applications in all climates.

- Length: 29.6"
- Width: 25.7"
- Depth: 2.2"
- Power rating: 60 watts
- Current at rated power: 3.55 A
- Voltage at rated power: 16.9 V



LAMPIRAN F
LIST PROGRAM

Lampiran

- Perhitungan untuk anoda korban

```
Sub itungan_al_zn_korban()
  If frame_al.Enabled Then
    konversi_1
    berat1 = CSng(txt_berat1.Text)
    q1 = CSng(txt_q1.Text)
  ElseIf frame_mg.Enabled Then
    konversi_2
    berat1 = CSng(txt_berat2.Text)
    q1 = CSng(txt_q2.Text)
  End If

  'menghitung tahanan internal anoda (Ra)
  ra = 1.5 / (vL1(1) + (0.8 * vW1(1)) + (0.8 * vT1(1)))

  'menghitung Tahanan anoda ke backfill (Rb)
  a = (0.00521 * pb) / vL1(2)

  b = ((Log(8 * vL1(2) / vD1(2)) / Log(10)) * 2.3) - 1
  rb = a * b

  'menghitung tahanan tanah (Rs)
  a = (ps / (2 * 3.14 * vlp(2)))
  b = ((Log(4 * vlp(2) / vD(2)) / Log(10)) * 2.3) - 1
  rs = a * b

  'menghitung tahanan anoda ke tanah (Rvn)
  rvn = ra + rb + rs

  'menghitung tahanan pipa ke tanah (Rp)
  Select Case id
  Case 0.005:
    rp = 0.25 * (rvn + rw)
  Case 0.2:
    rp = 0.1 * (rvn + rw)
  Case 2:
    rp = 0.05 * (rvn + rw)
  End Select
```

Lampiran

Case 2:

$rp = 0.05 * (rvn + rw)$

End Select

'menghitung total tahanan (Rcn)

$rcn = rvn + rp + rw$

'menghitung output arus pada tiap anoda (Ig)

$ig = ec / rcn$

'menghitung jumlah anoda yg diperlukan (Gn)

$gn = (it / ig)$

'menghitung umur tiap anoda (T)

$t = (berat1 * q1) / (8760 * ig)$

'menghitung periode waktu untuk dapat melindungi pipa

$hasil = t * Round(gn, 0)$

'isi kondisi pipa dan tanah

$lbl_hlp.Caption = vlp(0)$

$lbl_hdp.Caption = vD(0)$

$lbl_hkondisi.Caption = vkondisi$

$lbl_humur.Caption = umur$

$lbl_hps.Caption = ps$

$lbl_hec.Caption = ec$

$lbl_hpb.Caption = pb$

$lbl_hid.Caption = id$

'isi kabel

$lbl_hit.Caption = Round(it, 2)$

$lbl_hkabel.Caption = vkabel$

$lbl_hrw.Caption = Round(rw, 5)$

'isi metode proteksi

$lbl_hmetode.Caption = vmetode$

'isi anoda

$lbl_hanoda.Caption = vanoda$

$lbl_htipean.Caption = vtpan$

Lampiran

```
lbl_hl.Caption = vL1(1)
lbl_hw.Caption = vW1(1)
lbl_ht.Caption = vT1(1)
lbl_hd.Caption = vD1(1)
lbl_hberat.Caption = berat1
lbl_hq.Caption = q1

'isi hasil perhitungan
lbl_hra.Caption = Round(ra, 5)
lbl_hrb.Caption = Round(rb, 5)
lbl_hrs.Caption = Round(rs, 5)
lbl_hrvn.Caption = Round(rvn, 5)
lbl_hrp.Caption = Round(rp, 5)
lbl_hrcn.Caption = Round(rcn, 5)
lbl_hig.Caption = Round(ig, 5)
lbl_hgn.Caption = Round(gn, 0)
lbl_humur_t.Caption = Round(t, 5)
lbl_umur.Caption = Round(hasil, 1)

If hasil <= (umur + 1) And hasil >= (umur - 1) Then
    ketemu = "Memenuhi"
Else
    ketemu = "Tidak Memenuhi"
End If

lbl_hasil.Caption = vtpan & " " & ketemu
End Sub
```

- Perhitungan untuk impress current

```
Sub hitung_umur_impres()
    On Error GoTo salah
    ig = CSng(txt_ig_impres.Text)
    w = CSng(txt_w_impres.Text)
    c = CSng(txt_c_impres.Text)
    t = w / (c * ig)
    gn = it / ig
    tot = gn * t
    lbl_gn_impres.Caption = Round(gn, 2)
    lbl_t_impres.Caption = Round(t, 2)
    lbl_tot_impres.Caption = Round(tot, 2)
End Sub
```

Lampiran

```
'mengisi hasil
  'isi kondisi pipa dan tanah
  lbl_hlp.Caption = vlp(0)
  lbl_hdp.Caption = vD(0)
  lbl_hkondisi.Caption = vkondisi
  lbl_humur.Caption = umur
  lbl_hps.Caption = ps
  lbl_hec.Caption = ec
  lbl_hpb.Caption = pb
  lbl_hid.Caption = id

'isi kabel
  lbl_hit.Caption = Round(it, 2)
  lbl_hkabel.Caption = vkabel
  lbl_hrw.Caption = Round(rw, 4)

'isi metode proteksi
  lbl_hmetode.Caption = vmetode
'isi anoda
  lbl_hanoda.Caption = vanoda
  lbl_htipean.Caption = vtpan
  lbl_hig2.Caption = ig
  lbl_hw2.Caption = w
  lbl_hc2.Caption = c

  lbl_humur2.Caption = Round(t, 2)
  lbl_hgn2.Caption = Round(gn, 2)
  lbl_umur.Caption = Round(tot, 2)

  If tot <= (umur + 1) And tot >= (umur - 1) Then
    ketemu = "Memenuhi"
  Else
    ketemu = "Tidak Memenuhi"
  End If
  lbl_hasil.Caption = vtpan & " " & ketemu
  Exit Sub
salah:
End Sub
```

LEMBAR PERSEMBAHAN

TERIMA KASIH PENGGERANKU :

Puji syukur, Alhamdulillah..... Aku Panjatkan pada Allah SWI yang telah menunjukkan jalan untu menempuh segala cobaan selama menyelesaikan skripsi ini. Dan hanya Allah SWI lah yang memberikan rahmat-Nya saat segalanya mulai redup, saat keyakinan akan pudar, Allah SWI lah yang membukakan jalan untuk menjadi makhluk yang dapat membuat penciptanya selalu tersenyum dan bangga. Semoga Allah SW akan terus memberikan petunjuk dan selalu menaungi hidup ini untuk menjadi hamba yang SOLEH.... AMIN.....

TERIMA KASIH UNTUK ORANG TUAKU :

Untuk Bapak dan Ibu yang selalu memberikan aku perhatian, nasehat, semangat dan materi untuk selalu terus melangkah maju tanpa harus kenal lelah dari kecil hingga aku menjadi seorang Sarjana. Dan doa-doanya yang selalu melindungi aku. Dengan setulus hati aku haturkan terima kasih untuk semua Bapak dan Ibu berikan kepada aku tanpa pamrih. Semoga suatu saat nanti aku dapat memberikan sesuatu yang lebih berharga dan terbaik serta kebahagiaan untuk mu Bapak-Ibu. Dan aku akan selalu berusaha untuk membahagiakan kalian.

Makasih..... Ya ALLAH, Lindungilah mereka.....

TERIMA KASIH UNTUK ADIKKU :

1^Buat adikku yang tercinta Ratih Sulistyaningrum. Mch ya.... Atas dukungan, bantuan serta doa yang ta pernah ada putusya. Aku berharap buat kalian juga bisa menyelesaikan studi dengan sebaik-baiknya, bia Bapak-Ibu bangga pada kita, bahwa usaha mereka membesarkan, mendidik dan membimbing tidak sia-sia. Kita harus bisa buktikan bahwa KITA BISA jadi kebanggaan Bapak-Ibu. Selalu lah SHOLAT dan BERDOA.....

TERIMA KASIH UNTUK KERABATKU :

Untuk kerabat-kerabatku hanya bisa ucapkan banyak terimakasih :

Keluarga Besar Pak De Di Alm. Keluarga Besar Pak De Adi, Keluarga Besar Pak De To, Keluarga Besar Pa Lek Edi, Keluarga Besar Pak Lek Man. Mbah Ridwan Alm(Maaf mbah aku hanya bisa meraih Sarjana Tekni bukan Sarjana Hukum). Buat mbah Putri cepet sembuh. Mas To (RenCanaNe AnaK'E JeneNge SopO PesenQ ojo FernAndes, he...). Mas Von (Eleng TaNggal 31 mei...bUka' Kado). Mbok'E (goRengNo Tempe). Dan Untuk semua kerabat yang namanya tidak dicantumkan, Aku hanya bisa membalas dengan DOA.....Amin.

TERIMA KASIH BUAT SOBAT-SOBATKU :

Buat sobat-sobat Padi, Eh..salah, buat SobatQ di Taji dan sekitarnya, n Band (Y'opo BuBar Ta?...), Sigit (oJ nggMok aE), HugEt (piYe duNia keGeLapan?...), gLeh (oJo TsuNami aE), IneZ (mkCh ya uDah ngeNalin a ma Se2Org), RungKut n Andik (yaNg TabAh bwI kalian), yUdi (siLih CBR'E yO...), R3Ina (kQ g nGunDan C??), Sudi (mKcH puiSix).

Buat TeMen kost kLAsMan (kaPan duNia keGeLapan), Dody (suWun Seng Akh yO wEs BanTu2 neN ndi2 aE), Timo (semangat Pegawai Negri), PaUL (piYe BB, HugO's, The FlaMe??), HugEt (Ing MaDy KimPar), TegOh Bali (diAntO'i), AmuI (seNgade Lawan), GuLem (nyLih KoCoMotoMu), Eko (iKi Lh KemoJeng), n Pak Andik yang selalu jd Pak kost, Impi curhst n Party).

Semua teman2 TL Cow Cakap: Yudha_Ank mama, Putut_Nista, Erwin_Pak yanto, Payjo_Clubing Gofur_Takupas, Teguh_Cirut, Zaky_Meong, Bayu_MbahKar, Dody_Juragan Pulsa, Aziz_Komen, Popy_Jombang, Bang Hermawan_bangSMS, W3ldan_Playboy, Yudis_Sok2an, Widhi-Kadhe-Wazone_Won Mbali, Andik_Virgines, Roni_Tukang Las, Topik_Osama, Putu_MasBoy, Sa'id_Pay, Cew2 Cantik : (Indra_Ma Lily_kanelop, Mbok_Desi, Ajeng_king, Wulan_Tiwul, Diah_Beyah, Eva_MaPah), <Club Ceria>. Devi_Budha Eka_Oye, Nensi_Aremanita, Ina_Strypties, Manik_Trenggalek, Noy_Yo, Ika_Nkong, Lily_batosai, Evelin in love, Eva_7610, Nila_Nganjuk, Novia_Bos Tidar, Nini_manis.

Thank's To Padi, deWa 19, Ungu, KanGen Band, KrisPatih, SamsOns, Agnes Monica, Black Eye piZZ, Justin Timberlake, FerGie, Pussy cat dolls, My chemical romance, Metallica, Gun N roses, story of The year DJ Redian, DJ MILa, DJ SisCa, DJ abaz, Splash Band, Infinity Band, KYowa band dll yang selalu menghiburQ disaat seNang n susah.

MksH bwI motor Vega 99 S 7892 EK, dan Jupiter 06 K 2918 EN yang setia MengantarQ keMana2. MkCh bwI para waNita yang pernah Menjadi pahatan HatiQ yang selalu menSupport aQ dan menEmANtQ disaat seNang dan susah. Aq Anggap ini sMua AdL BingKisan KalbuQ.

SpEsial wOmen (aIha), MKCh bGt, u adL seOrang yang bisa meMbaI aQ keMbaLi meNjadi di2n Van dulu daRi duniA keGeLapan yang PERnah MenghaMpiriQ aQ Masih MenYimpan seMua kenAnga iNdah tlg qI & aQ yakin suatu saat nanti qI pasti Akan bias b'stAu. Amien.....

