



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI KINERJA PELAPIS ORGANIK PIPA TERPENDAM  
DENGAN METODE INSPEKSI *CLOSE INTERVAL  
POTENTIAL SURVEY (CIPS)* DAN *DIRECT CURRENT  
VOLTAGE GRADIENT (DCVG)***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik (ST)**

**SURYADI  
0405040651**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL  
KEKHUSUSAN LOGAM  
DEPOK  
JULI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**






**Nama : Suryadi**  
**NPM : 0405040651**  
**Tanda Tangan : **  
**Tanggal : 07 Juli 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh ;  
Nama : Suryadi  
NPM : 0405040651  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Studi Kinerja Pelapis Organik Pipa Terpendam  
Dengan Metode Inspeksi *Close Interval Potential  
Survey (CIPS)* dan *Direct Current Voltage  
Gradient (DCVG)*.

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Andi Rustandi, MT (  )  
Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi M. Soedarsono, DEA (  )  
Penguji 2 : Deni Ferdian, ST, M.Sc (  )  
Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 07 Juli 2009

## KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji hanya milik Allah Dzat Yang Maha Tinggi Pencipta Alam Semesta, atas kehendak-Nya dan rahmat dari-Nya saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa kehendak dan rahmat Allah, serta bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari semasa melakukan studi hingga ke penulisan skripsi ini, kemungkinan akan banyak kesulitan yang akan saya hadapi dalam penulisan skripsi ini hingga selesai. Oleh sebab itu, saya mengucapkan puji syukur kepada Allah Azza wa Jalla dan terima kasih kepada:

1. Ir. Andi Rustandi, MT, sebagai dosen pembimbing yang telah banyak menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing saya dalam menyusun skripsi ini;
2. Para inspektor jalur pipa terpendam tanah yang bersedia membantu dalam memperoleh data-data yang saya perlukan;
3. Orang tua dan keluarga yang telah banyak memberikan dukungan baik moril maupun materiil, dan
4. Teman-teman yang membantu secara langsung dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, hanya Allah Azza wa Jalla-lah yang dapat membalas semua kebaikan yang telah mereka semua lakukan kepada saya dalam penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi ilmu pengetahuan.

Depok, 07 Juli 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini;

Nama : Suryadi  
NPM : 0405040651  
Program Studi : Logam  
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik Universitas Indonesia  
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**STUDI KINERJA PELAPIS ORGANIK PIPA TERPENDAM  
DENGAN METODE INSPEKSI CLOSE INTERVAL  
POTENTIAL SURVEY (CIPS) DAN DIRECT CURRENT  
VOLTAGE GRADIENT (DCVG)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 07 Juli 2009

Yang Menyatakan



(Suryadi)

## ABSTRAK

Nama : Suryadi  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Studi Kinerja Pelapis Organik Pipa Terpendam dengan Metode Inspeksi *Close Interval Potential Survey (CIPS)* dan *Direct Current Voltage Gradient (DCVG)*

Integritas jalur pipa terpendam sangatlah penting bagi keberlangsungan suplai minyak bumi dan produk turunannya dalam dunia industri perminyakan. Ancaman kerusakan yang dapat timbul akibat gangguan dari manusia maupun hewan dapat diminimalisir dengan memendam pipa di bawah tanah, namun ancaman baru berupa korosi timbul. Proteksi korosi dengan pelapis organik sebagai metode perlindungan yang murah banyak diaplikasikan dalam perlindungan jalur pipa terpendam. Metode ini juga dikombinasikan dengan sistem perlindungan katodik. Jalur pipa Cemara – Balongan sepanjang 28 Km dan Tambun – Cilamaya sepanjang 102 Km penyalur minyak mentah mengaplikasikan sistem proteksi pelapis organik sekaligus sistem proteksi katodik. Untuk mengkaji kinerja dari pelapis organik tersebut dilakukan inspeksi dengan dua buah metode yakni; *Close Interval Potential Survey (CIPS)* dan *Direct Current Voltage Gradient (DCVG) Survey*. Survei resistivitas tanah juga dilakukan untuk mengetahui profil resistivitas disekitar jalur pipa. Dari hasil CIPS yang dilakukan sekitar 75% dari total panjang jalur pipa Cemara – Balongan dan sekitar 1% dari total panjang jalur pipa Tambun – Cilamaya tidak terproteksi. Dari hasil survei DCVG yang dilakukan sekitar 89% jalur pipa Cemara – Balongan terdapat cacat pelapis dan pada jalur pipa Tambun – Cilamaya terdapat 6 titik cacat pelapis pada Km 7 – 12 (5,9%). Hasil survei resistivitas tanah pada jalur pipa Cemara – Balongan berada pada kisaran 500  $\Omega\text{cm}$  dan pada jalur pipa Tambun – Cilamaya berada pada kisaran 1000 – 4000  $\Omega\text{cm}$ . Berdasarkan hasil tersebut perlu dilakukan peningkatan efektifitas dari kinerja proteksi katodik anoda korban pada jalur pipa Cemara – Balongan dan perlu dilakukan pengkajian lebih dalam mengenai ancaman *AC Corrosion* pada jalur pipa Tambun – Cilamaya di Km 7 – 12. Secara keseluruhan kinerja pelapis organik pada kedua jalur pipa masih baik dinilai dari hasil survei CIPS dan DCVG yang menunjukkan ukuran cacat yang relatif kecil yang tidak dibutuhkan perbaikan akan tetapi yang perlu ditingkatkan adalah kinerja dan efektifitas sistem proteksi katodik sebagai pendukung.

**Kata Kunci:** *jalur pipa, pelapis organik, korosi, cips, dcvg*

## ABSTRACT

Name : Suryadi  
Study Program : Teknik Metalurgi dan Material  
Title : Study on Performance of Organic Coating of  
Underground Pipeline Using Inspection Methods of Close  
Interval Potential Survey (CIPS) and Direct Current  
Voltage Gradient (DCVG)

The integrity of underground pipeline transferring crude oil and its derivative product is very significant for the sustainability of the commodities being transferred on the petroleum industry. Threat of failure that may occur due to human or animal activities could be minimized by making it underground, but new threat which is corrosion then appears. Corrosion protection using organic coating as the cheap protection method is widely applied to protect the underground pipeline. This method is also often combined with cathodic protection system so an optimum combination of protection is gained and could last in a certain long period. Cemara – Balongan pipeline with length of 28 Km and Tambun – Cilamaya pipeline with length of 102 Km apply organic coating protection system also with cathodic protection system. To assess the performance of the organic coating protection system, two inspection methods are conducted which are; Close Interval Potential Survey (CIPS) and Direct Current Voltage Gradient (DCVG) Survey. Soil resistivity survey is also conducted to obtain the resistivity profile of the soil around the pipeline. Based on CIPS results, about 75% of total length of Cemara – Balongan pipeline and 1% of total length of Tambun – Cilamaya pipeline is unprotected. Based on the DCVG survey results, about 89% of holidays are investigated on Cemara – Balongan pipeline and 6 spots of holidays are investigated on Km 7 – 12 of the Tambun – Cilamaya pipeline (5.9%). The soil resistivity survey results show that Cemara – Balongan soil has resistivity of about 500  $\Omega$ cm and Tambun – Cilamaya soil has resistivity of about 1000 – 4000  $\Omega$ cm. Based on the results, an increasing on the performance and effectiveness of the cathodic protection is required on the Cemara – Balongan pipeline and a thorough assessment of AC Corrosion threat is required on Km 7 – 12 of the Tambun – Cilamaya pipeline. Generally speaking, the performance of the organic coating of both pipeline is still good assessed from the CIPS and DCVG survey results that exhibit small size of holidays that not need repair but the performance and effectiveness of the cathodic protection is need to be increased as its support.

**Keywords:** *pipeline, organic coating, corrosion, cips, dcvg*

## DAFTAR ISI

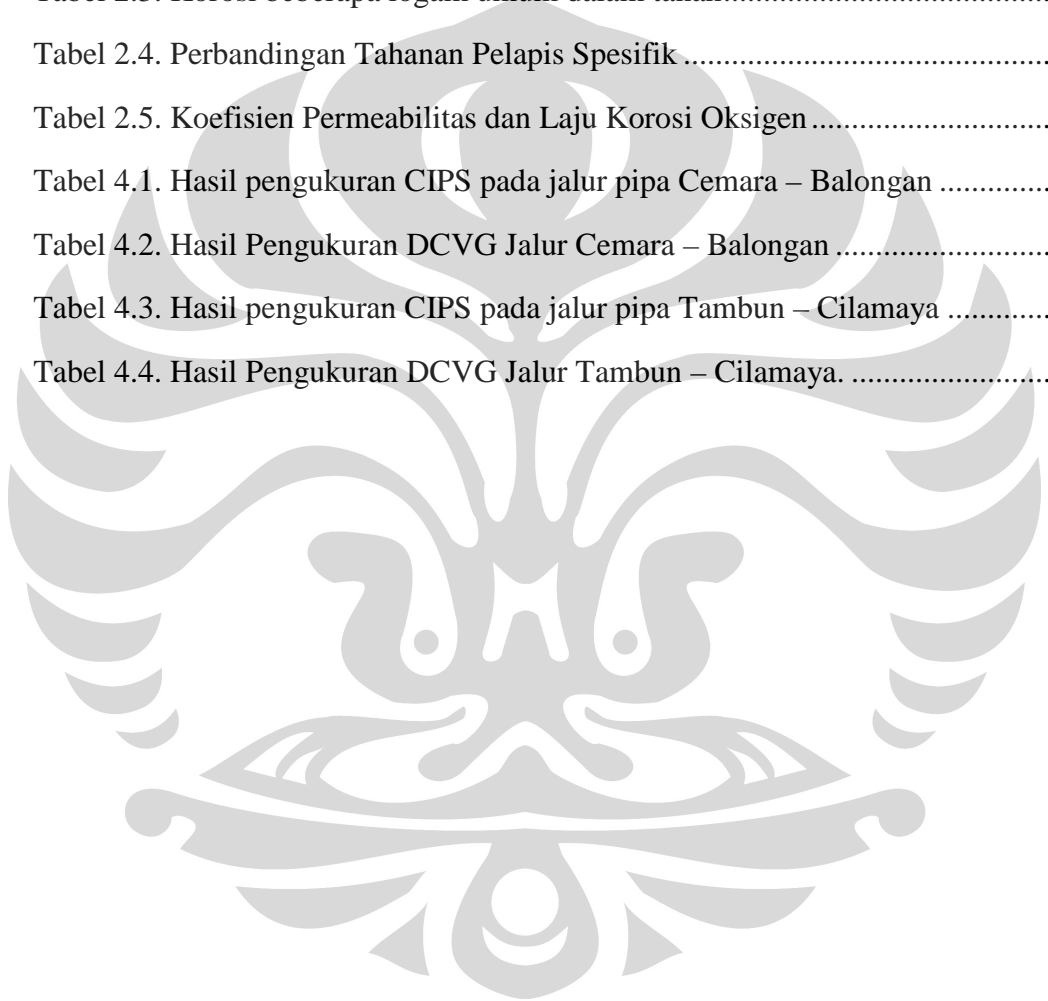
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Kajian .....	2
1.3. Ruang Lingkup Kajian .....	2
1.4. Sistematika Penulisan .....	2
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1. Teknologi Jalur Pipa Terpendam .....	4
2.1.1. Pengertian dan Cakupan .....	4
2.1.2. Jenis-jenis Jalur Pipa .....	4
2.1.3. Komponen Jalur Pipa .....	4
2.1.4. Keuntungan-keuntungan jalur pipa .....	5
2.2. Tanah Sebagai Media Korosi .....	6
2.3. Korosi .....	8
2.3.1. Pengertian Korosi .....	8
2.3.2. Laju Korosi .....	9
2.4. Perlindungan Korosi dengan Pelapis Organik .....	10
2.4.1. Deskripsi Pelapis Organik .....	10
2.4.2. Karakteristik Pelapis Organik .....	11
2.4.3. Sifat-sifat pelapis organik .....	12
2.4.4. Jenis-jenis Pelapis Organik .....	14
2.5. Metode Inspeksi Pipa Terpendam .....	22
2.5.1. Soil Resistivity Survey .....	22
2.5.2. Close Interval Potential Survey (CIPS) .....	26
2.5.3. Direct Current Voltage Gradient (DCVG) Survey .....	30



2.5.4. CIPS dan DCVG Combination .....	35
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b> .....	37
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	37
3.2. Alat dan Bahan.....	38
3.3. Prosedur Penelitian .....	38
3.3.1. Pengumpulan Data dan Informasi.....	38
3.3.1.1. Soil Resistivity Survey .....	38
3.3.1.2. Close Interval Potential Survey (CIPS)).....	39
3.3.1.3. Direct Current Voltage Gradient (DCVG) .....	42
<b>BAB 4 HASIL DAN ANALISIS</b> .....	45
4.1. Hasil .....	45
4.1.1. Jalur Pipa Cemara – Balongan.....	45
4.1.1.1. Data Teknis Pipa .....	45
4.1.1.2. Hasil Survei Jalur Pipa Cemara – Balongan .....	46
4.1.1.2.1. Soil Resistivity .....	46
4.1.1.2.2. Close Interval Potential Survey.....	46
4.1.1.2.3. Direct Current Voltage Gradient.....	47
4.1.2. Jalur Pipa Tambun – Cilamaya.....	49
4.1.2.1. Data Teknis Pipa .....	49
4.1.2.2. Hasil Survei Jalur Pipa Tambun – Cilamaya.....	50
4.1.2.2.1. Soil Resistivity .....	50
4.1.2.2.2. Close Interval Potential Survey.....	52
4.1.2.2.3. Direct Current Voltage Gradient.....	54
4.2. Analisis .....	57
4.2.1. Hasil Survei Jalur Pipa Cemara – Balongan.....	57
4.2.1.1. Soil Resistivity .....	57
4.2.1.2. Close Interval Potential Survey .....	57
4.2.1.3. Direct Current Voltage Gradient .....	58
4.2.2. Hasil Survei Jalur Pipa Tambun – Cilamaya.....	59
4.2.2.1. Soil Resistivity .....	59
4.2.2.2. Close Interval Potential Survey .....	60
4.2.2.3. Direct Current Voltage Gradient .....	63
<b>BAB 5 KESIMPULAN</b> .....	65
5.1. Kesimpulan .....	65
5.2. Saran .....	66
<b>DAFTAR ACUAN</b> .....	67

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Intensifitas Energi (IE) berbagai mode transportasi .....	6
Tabel 2.2. Klasifikasi kondisi lapisan tanah.....	7
Tabel 2.2. Hubungan antara resistivitas vs tingkat korosi .....	8
Tabel 2.3. Korosi beberapa logam umum dalam tanah.....	9
Tabel 2.4. Perbandingan Tahanan Pelapis Spesifik .....	13
Tabel 2.5. Koefisien Permeabilitas dan Laju Korosi Oksigen.....	14
Tabel 4.1. Hasil pengukuran CIPS pada jalur pipa Cemara – Balongan .....	47
Tabel 4.2. Hasil Pengukuran DCVG Jalur Cemara – Balongan .....	48
Tabel 4.3. Hasil pengukuran CIPS pada jalur pipa Tambun – Cilamaya .....	52
Tabel 4.4. Hasil Pengukuran DCVG Jalur Tambun – Cilamaya. ....	54



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Perbandingan biaya antara mode transportasi minyak bumi.....	5
Gambar 2.2. Ilustrasi sel korosi pipa terpendam.....	10
Gambar 2.3. Proses dan reaksi elektrokimia pada logam terlapis di dalam elektrolit .....	12
Gambar 2.4. <i>Soil Resistivity Box</i> .....	22
Gambar 2.5. <i>Soil Resistivity Meter</i> .....	23
Gambar 2.6. Skema Tongkat Shepard untuk pengukuran <i>soil resistivity</i> metode 2 pin.....	24
Gambar 2.7. Skema metode Wenner ( <i>Four-terminal</i> ) untuk pengukuran <i>soil resistivity</i> .....	24
Gambar 2.8. Grafik <i>Soil Resistivity</i> vs Jarak.....	25
Gambar 2.9. Tes poin pada jalur pipa terpendam .....	26
Gambar 2.10. Ilustrasi peralatan CIPS dan arah survei .....	27
Gambar 2.11. Peralatan CIPS dan operator survei di lapangan .....	28
Gambar 2.12. Grafik profil potensial pipa versus jarak .....	29
Gambar 2.13. Kriteria potensial proteksi jalur pipa.....	30
Gambar 2.14. Operator survei DCVG.....	31
Gambar 2.15. Skema arah survei DCVG tegak lurus .....	33
Gambar 2.16. Grafik hasil survei DCVG arah tegak lurus .....	33
Gambar 2.17. Skema arah survei DCVG sejajar.....	34
Gambar 2.18. Grafik hasil arah survei DCVG sejajar .....	35
Gambar 2.19. Kombinasi teknik survei CIPS dan DCVG untuk melokalisir letak cacat pelapis .....	36
Gambar 3.1. Prosedur menghubungkan <i>data logger</i> dengan <i>test point</i> .....	40
Gambar 3.2. Menyambung kabel <i>data probe</i> dengan <i>probe adapter</i> .....	40
Gambar 3.3. Menghubungkan <i>data logger</i> dengan <i>probe adapter</i> .....	41
Gambar 3.4. Skematika survei CIPS.....	42

Gambar 3.5. Rangkaian peralatan untuk survei DCVG.....	43
Gambar 3.6. Rangkaian <i>data probe</i> dan <i>voltmeter/data logger</i> untuk survei DCVG .....	44
Gambar 4.1. Peta satelit dan plot jalur pipa Cemara – Balongan .....	39
Gambar 4.2. Profil hasil survei nilai resistivitas tanah jalur pipa Cemara – Balongan .....	46
Gambar 4.3. Peta satelit dan plot jalur pipa Tambun – Cilamaya.....	49
Gambar 4.4. Profil Pengukuran <i>soil resistivity</i> jalur pipa Tambun – Cilamaya Km 0 – 30.....	50
Gambar 4.5. Profil Pengukuran <i>soil resistivity</i> jalur pipa Tambun – Cilamaya Km 31 – 60.....	51
Gambar 4.6. Profil Pengukuran <i>soil resistivity</i> jalur pipa Tambun – Cilamaya Km 60 – 90.....	51
Gambar 4.7. Profil Pengukuran <i>soil resistivity</i> jalur pipa Tambun – Cilamaya Km 90 – 102.....	51
Gambar 4.8 Cacat pelapis (%IR = 12.5) pada Km 4 – 5.....	59
Gambar 4.9. Cacat pelapis (%IR = 2.5) pada Km 20 – 21.....	59
Gambar 4.10. SUTET yang terletak di sekitar jalur pipa.....	60
Gambar 4.11. Grafik hasil survei CIPS yang mendapat interferensi dari SUTET	61
Gambar 4.12. Mekanisme induksi tegangan antara SUTET dengan jalur pipa ....	62
Gambar 4.13. Cacat kecil pada pelapis berkategori 1 dengan %IR <i>drop</i> 1,1 .....	63

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Tabel kondisi <i>test point</i> jalur pipa Cemara – Balongan .....	69
LAMPIRAN 2. Tabel kondisi <i>test point</i> jalur pipa Tambun – Cilamaya .....	70
LAMPIRAN 3. Tabel data hasil survei CIPS jalur pipa Cemara – Balongan .....	73
LAMPIRAN 4. Tabel data hasil survei DCVG jalur pipa Cemara – Balongan ...	73
LAMPIRAN 5. Tabel data hasil survei CIPS jalur pipa Tambun – Cilamaya .....	74
LAMPIRAN 6. Tabel data hasil survei DCVG jalur pipa Tambun – Cilamaya...	76
LAMPIRAN 7. Grafik hasil survei <i>Soil Resistivity</i> Cemara – Balongan.....	79
LAMPIRAN 8. Grafik hasil survei <i>Soil Resistivity</i> Tambun – Cilamaya.....	80
LAMPIRAN 10. Grafik hasil survei CIPS jalur pipa Cemara – Balongan Km 4 – Km 5.....	82
LAMPIRAN 11. Grafik hasil survei CIPS jalur pipa Tambun-Cilamaya Km 7 – Km 12.....	83

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Sistem jalur pipa terpendam banyak diaplikasikan pada bidang penyaluran minyak mentah, bahan bakar minyak, dan gas alam dari satu tempat ke tempat yang lainnya. Integritas dari sistem ini sangat berpengaruh pada keberlanjutan dari suplai minyak mentah, bahan bakar minyak, dan gas alam yang disalurkan. Kondisi pipa yang terpendam memberikan keuntungan yakni terminimalisirnya kerusakan yang diakibatkan campur tangan manusia sehingga memberikan dampak negatif bagi kondisi dan reliabilitas pipa. Akan tetapi, ada dampak negatif yang ditimbulkan yakni korosi yang dapat menyerang pipa terpendam sehingga integritas dari jalur pipa terganggu. Oleh karena itu diperlukan suatu mekanisme perlindungan korosi untuk jalur pipa tersebut.

Mekanisme perlindungan yang umum digunakan yakni Sistem Proteksi Korosi Eksternal berupa Pelapis Organik pada eksternal pipa yang ditopang dengan Sistem Proteksi Katodik baik dengan Anoda Korban (*sacrificial anode*) atau Arus Tanding (*impress current*). Dengan kehadiran sistem proteksi eksternal tersebut maka integritas jalur pipa lebih bergantung pada sistem perlindungan yang digunakan. Jika sistem perlindungan dalam kondisi baik maka integritas jalur pipa akan baik juga, namun jika sistem perlindungan tidak berfungsi dengan baik maka resiko kegagalan pipa akibat korosi (degradasi) oleh lingkungan dalam hal ini tanah akan terjadi dan integritas pipa menjadi terganggu yang berakibat pada kinerja pipa dalam menyuplai komoditas-komoditas diatas. Oleh sebab itu perlu dilakukan inspeksi berkala guna mengetahui kinerja sistem proteksi eksternal yang dipakai baik pelapis organik atau sistem proteksi katodik. Metode inspeksi yang umum digunakan yakni *close interval potential survey (CIPS)* dan *direct current voltage gradient (DCVG)*.

## 1.2. Tujuan Kajian

Tujuan dari kajian ini adalah untuk mempelajari kinerja dari pelapis organik (*organic coating*) pada pipa terpendam tanah dalam memproteksi pipa dari serangan korosi yang sering terjadi pada jalur pipa penyalur minyak atau bahan bakar yang terpendam tanah.

## 1.3. Ruang Lingkup Kajian

Pengambilan data dilakukan pada jalur pipa terpendam penyalur *crude oil* Cemara-Balongan dan Tambun-Cilamaya yakni dengan melakukan survei nilai potensial pipa. Secara garis besar, ruang lingkup kajian mengenai studi tentang kinerja pelapis organik (*organic coating*) yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Melakukan inspeksi kinerja pelapis organik di lapangan:
  - a. Melakukan survei nilai resistivitas tanah (*soil resistivity*) pada tanah yang dilalui jalur pipa.
  - b. Melakukan inspeksi nilai potensial per satuan jarak dengan metode inspeksi *Close Interval Potential Survey (CIPS)*.
  - c. Melakukan inspeksi cacat pada pelapis organik yang dipakai dengan metode inspeksi *Direct Current Potential Survey (DCVG)*.

## 1.4. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dibuat agar didapatkan kerangka alur berfikir yang logis, praktis dan terstruktur dari ide-ide yang dituangkan dalam tugas akhir ini. Adapun sistematika penulisan tersebut digambarkan dalam beberapa bab yang koheren satu dengan yang lainnya sebagai berikut:

### Bab 1 Pendahuluan

Membahas mengenai latar belakang, tujuan, ruang lingkup, dan sistematika penulisan laporan dari penelitian yang dilakukan.

## Bab 2 Dasar Teori

Menjelaskan dasar teori mengenai teknologi jalur pipa terpendam, korosi yang mempengaruhi integritasnya, proteksi dengan pelapis organik (*organic coating*), metode inspeksi *Close Interval Potential Survey (CIPS)*, metode inspeksi *Direct Current Voltage Gradient (DCVG)*, serta kombinasi dari kedua metode inspeksi tersebut untuk mengevaluasi kinerja dari pelapis organik dari pipa terpendam.

## Bab 3 Metodologi Penelitian

Menjelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan selama melakukan penelitian seperti perihal mengenai pengumpulan data dan informasi serta pengujian yang dilakukan baik berupa angka, gambar, maupun grafik.

## Bab 4 Hasil dan Analisis

Membahas mengenai hasil dan analisis terhadap data yang diperoleh dari pengujian dan inspeksi yang dilakukan dan membandingkannya dengan literatur sehingga diperoleh suatu analisis mengenai kinerja dari pelapis organik (*organic coating*) yang digunakan pada jalur pipa terpendam yang menjadi objek penelitian.

## Bab 5 Kesimpulan

Menjelaskan mengenai kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat diberikan guna meningkatkan kinerja dari pelapis organik yang digunakan sehingga integritas jalur pipa dapat terjaga.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Teknologi Jalur Pipa Terpendam

##### 2.1.1 Pengertian dan Cakupan

Istilah pipa diartikan sebagai sebuah saluran tertutup, biasanya berpenampang lingkaran. Bisa terbuat dari bermacam-macam material yang tepat seperti baja atau plastik. Istilah jalur pipa merujuk kepada sebuah segmen-segmen pipa yang terhubung sangat panjang, dengan pompa-pompa, katup-katup, dan alat-alat pengontrol, serta perlengkapan/fasilitas lain yang diperlukan untuk mengoperasikan sistem tersebut. Jalur pipa diperuntukkan untuk memindahkan suatu fluida (cairan atau gas), campuran dari fluida-fluida, padatan-padatan, campuran fluida-padatan, atau kapsul-kapsul (*freight-laden vessels* atau kendaraan yang digerakkan dengan fluida melalui sebuah pipa) [1].

##### 2.1.2 Jenis-jenis Jalur Pipa

Jalur-jalur pipa bisa dikategorikan dalam berbagai cara, tergantung pada komoditas yang disalurkan, ada; jalur pipa air, jalur pipa pembuangan, jalur pipa gas alam, jalur pipa minyak (untuk minyak bumi mentah), jalur pipa produk (untuk produk minyak bumi hasil pemurnian seperti bensin, solar, atau bahan bakar jet), jalur pipa padatan (*freight pipelines*) untuk bermacam-macam padatan, dan lain-lain. Berdasarkan tipe kubur atau topang dibedakan menjadi; *underground pipeline*, *aboveground pipeline*, *elevated pipeline*, *underwater (submarine) pipeline* [2].

##### 2.1.3 Komponen Jalur Pipa

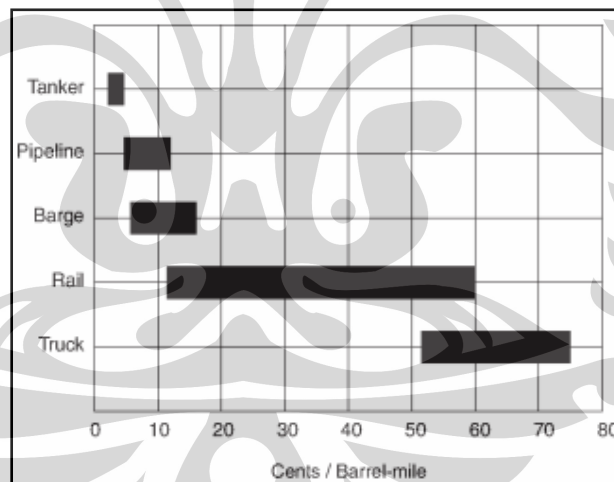
Sebuah jalur pipa merupakan sistem transportasi yang kompleks. Termasuk di dalamnya komponen-komponen seperti pipa, *fittings* (*valves*, *coupling*, dll), struktur *inlet* dan *outlet*, pompa (untuk cairan) dan kompresor

(untuk gas), dan perlengkapan tambahan (*flowmeters, pigs, transducers*, sistem proteksi katodik, dan sistem kendali otomatis termasuk komputer dan *programmable logic controllers*) [3]

#### 2.1.4 Keuntungan-keuntungan jalur pipa

Untuk menyalurkan fluida (cairan atau gas) dalam jumlah yang besar menggunakan jalur pipa merupakan metode yang paling banyak disukai. Keuntungan-keuntungan menggunakan jalur pipa adalah [3]:

- a. Ekonomis dalam berbagai kondisi, alasan mengapa ekonomis karena jalur pipa banyak diminati karena murah dan bisa menyalurkan sesuatu dalam jumlah yang besar, tidak bermasalah dengan permukaan tanah yang tidak rata, dan lagi bisa diaplikasikan pada lingkungan yang tidak ramah (seperti penyaluran melalui rawa). Perbandingan antara mode penyaluran ada pada gambar berikut:



Gambar 2.1. Perbandingan biaya antara mode transportasi minyak bumi

Henry Liu, *Pipeline Engineering* (New York:Lewis Publishers (CRC Press LLC), 2003)  
(telah diolah kembali)

- b. Konsumsi energi rendah, intensifitas energi (IE) sebuah jalur pipa besar lebih rendah dibandingkan truk, dan jauh lebih rendah dibandingkan kereta api rel. Intensifitas energi diartikan sebagai energi terpakai dalam menyalurkan kargo (unit berat) per jarak yang ditempuh (unit jarak),

satuannya adalah *Btu per ton-mile* (Btu/TM). Tabel 2.1 berikut ini memberikan informasi mengenai intensifitas energi berbagai macam mode transportasi.

Tabel 2.1. Intensifitas Energi (IE) berbagai mode transportasi

Mode	IE (Btu/TM)	Keadaan
Pesawat Terbang	37,000	Rata-rata
Truk	2300	Rata-rata
Jalan Kereta Api	680	Rata-rata
Jalur Air (tongkang)	540	Rata-rata
Jalur pipa (minyak)	450	Rata-rata
Jalur pipa <i>slurry</i> batu bara	1500	Diameter 3-ft, 300 mi
<i>Hydraulic Capsule Pipeline (HCP)</i>	700	Diameter 3-ft, 300 mi
<i>Pneumatic Capsule Pipeline (PCP)</i>	1800	Diameter 20-in, <i>Tubexpress system</i>

Henry Liu, *Pipeline Engineering* (New York:Lewis Publishers (CRC Press LLC), 2003)

(telah diolah kembali)

- c. Ramah lingkungan, hal ini karena faktanya kebanyakan jalur pipa adalah bawah tanah (*underground*).
- d. Aman bagi manusia
- e. Tidak dipengaruhi cuaca
- f. Otomatisasi tingkat tinggi
- g. Reliabilitas tinggi
- h. Sedikit sensitif terhadap inflasi
- i. Memberikan kenyamanan
- j. Sedikit rentan terhadap pencurian
- k. Penggunaan lahan yang efisien
- l. Keamanan tingkat tinggi

## 2.2. Tanah Sebagai Media Korosi

Lingkungan yang mengkorosi sebuah logam bisa apa saja: udara, air, dan tanah adalah yang umumnya akan tetapi segala sesuatu mulai dari jus tomat sampai darah yang kontak dengan logam, dan kebanyakan lingkungan adalah korosif [4]. Tanah diklasifikasikan sesuai dengan tekstur mereka: proporsi dari tanah, endapan lumpur (*silt*), dan lempung (*clay*) yang menyusun mereka. Lempung mempunyai ukuran partikel paling halus dengan diameter di bawah

0.002 mm, lempung berdiameter 0.002-0.020 mm, pasir halus berdiameter 0.02-0.20 mm, dan pasir kasar 0.20-2 mm.

Tanah juga umumnya akan mempunyai materi organik 1-5%, meskipun tanah gemuk (*peat*) akan mempunyai kandungan materi organik sebanyak 95%. Dalam tanah yang baik, sekitar 50% dari total volumenya berupa pori kosong antara partikel-partikel mineral, diisi oleh kelembaban dan udara. Kelembaban, biasanya hanya sebuah lapisan permukaan tipis pada partikel mineral, menyimpan garam terlarut dan gas. Udara dalam pori mengandung CO<sub>2</sub> sebanyak 10-20 kali dibandingkan dengan udara di atmosfer. Tanah berpasir yang baik salurannya cenderung menjadi non-korosif, sementara tanah gemuk (*peat*) dan lempung (*clay*) adalah yang paling parah (korosif). Tanah yang tidak ter-aerasi dikombinasikan dengan kandungan sulfat yang tinggi dan pH netral merupakan tempat perkembangbiakan yang sempurna bakteri pereduksi-sulfat yang menyebabkan serangan parah pada pipa [5].

Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan klasifikasi dari lapisan-lapisan tanah [6]:

Tabel 2.2. Klasifikasi kondisi lapisan tanah

Lapisan Tanah	Kondisi
Lapisan Permukaan	Biasanya berwarna gelap karena materi organik
Lapisan Organik	Sisa-sisa pembusukan tanaman
Lapisan <i>Eluviation</i>	Berwarna terang, hasil pelindian
Lapisan Akumulasi	Kaya akan oksida logam tertentu
Material Induk	Batuan dasar yang tidak lapuk dalam jumlah besar

Piere R. Roberge, *Corrosion Engineering: Principles and Practices* (New York: McGraw-Hill, 2008) hal 387 (telah diolah kembali)

Satu sifat paling penting dari tanah yang menentukan sifat korosifitasnya adalah tahanan listriknya (*soil resistivity*). Resistivitas  $\rho$  merupakan sifat dari konduktor listrik (dalam hal ini tanah), dimana:

$$R = \rho l/A \dots \dots \dots (2.1)$$

$R$  = tahanan, ohm ( $\Omega$ )

$l$  = panjang jalur konduksi (m)

$A$  = penampang melintang konduktor ( $m^2$ )

Tabel di bawah ini menunjukkan tingkat korosifitas medium tanah bagi logam yang berada di dalamnya [5].

Tabel 2.2. Hubungan antara resistivitas vs tingkat korosi

<b>Jangkauan Resistivitas</b>	<b>Korosi</b>
< 1000 $\Omega\text{cm}$	Sangat parah
1000-5000 $\Omega\text{cm}$	Parah hingga sedang
5000-15000 $\Omega\text{cm}$	Sedang hingga ringan
> 15000 $\Omega\text{cm}$	Ringan

Samuel A. Bradford, *Corrosion Control* (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993)  
hal 1-3 (telah diolah kembali)

Sel konsentrasi oksigen terbentuk secara cepat pada korosi bawah tanah, dengan  $O_2$  tinggi dekat dengan permukaan tanah tetapi hampir nol di bawah lapisan air. Tanah bersifat inhomogen; sedikit lempung mengandung kelembaban dan membentuk sebuah celah (*crevice*) di area kontak dengan logam, sedangkan wilayah berpasir menjadi daerah katoda dengan konsentrasi  $O_2$  tinggi. Materi-materi organik menyimpan kelembaban dan terdekomposisi menjadi bermacam-macam zat kimia korosif, dan korosi mikrobial juga mungkin terjadi [5].

## 2.3. Korosi

### 2.3.1 Pengertian Korosi

Korosi merupakan bentuk kerusakan logam yang disebabkan karena bereaksi dengan lingkungannya [4]. Secara umum, korosi pada logam dapat terjadi jika beberapa syarat berikut ada, yakni: anoda, katoda, elektrolit, dan hubungan listrik antara anoda dan katoda [7]. Adapun anoda adalah bagian logam yang melepaskan elektron, merupakan bagian yang cepat terdegradasi karena atom-atomnya berubah menjadi ion-ionnya. Katoda adalah tempat elektron ditangkap kembali, elektrolit merupakan pemicu terjadinya sel korosi karena menghantarkan arus listrik, sel korosi menjadi lengkap dengan adanya sambungan yang memungkinkan arus elektron mengalir dari anoda menuju katoda.

### 2.3.2 Laju Korosi

Laju korosi diartikan sebagai efek korosi pada sebuah logam per satuan waktu. Tipe laju korosi yang digunakan ditentukan oleh sistem teknis dan tipe dari efek korosi. Sehingga, laju korosi mungkin dinyatakan sebagai pertambahan kedalaman dari korosi per satuan waktu (laju penetrasi, contohnya, mils/yr) atau massa logam yang diubah menjadi produk korosi per satuan luas permukaan logam per satuan waktu (*weight loss*, contohnya, g/m<sup>2</sup>/yr) [8].

Dalam tanah logam yang paling banyak digunakan adalah baja karena kombinasi dari biaya, kekuatan, dan tingkat korosi moderat yang dimilikinya [5]. Akan tetapi baja yang terpendam dalam tanah akan mengalami korosi dengan laju korosi tertentu. Informasi tentang laju korosi tersaji pada tabel berikut ini;

Tabel 2.3. Korosi beberapa logam umum dalam tanah

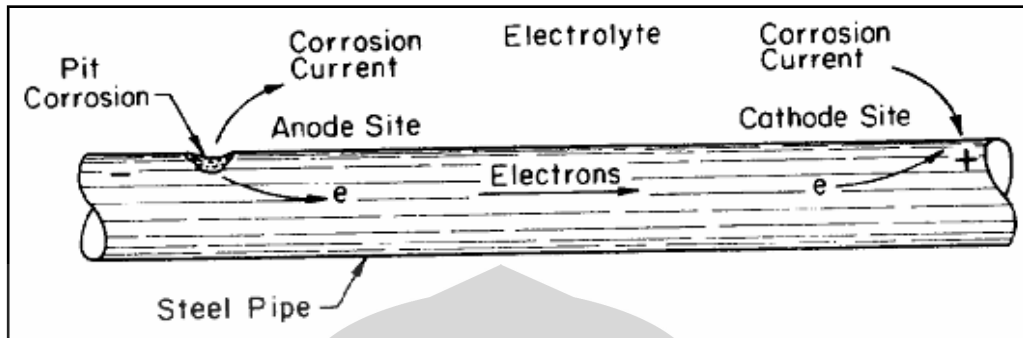
Logam	Laju Korosi (mm/thn)	Kedalaman Pit Maximum (mm)
<i>Clay loam, aerasi baik</i>		
Baja	0.012	1.72
Besi Ruang Kelabu	< 0.014	3.93
Aluminum	0.001	0.53
Tembaga, <i>tough pitch</i>	0.001	0.15
Yellow brass	0.001	< 0.15
Chemical lead	0.002	0.45
Seng	0.007	0.43
Baja galvanis	0.002	< 0.15
<i>Peat, S<sup>2-</sup> tinggi, aerasi buruk</i>		
Baja	0.064	2.98
Besi Ruang Kelabu	0.063	4.33
Aluminum	Rusak	1.6+
Tembaga, <i>tough pitch</i>	0.035	1.16
Yellow brass	0.065	2.63
Chemical lead	0.002	0.83
Seng	0.110	2.53
Baja galvanis	0.067	2.22

Samuel A. Bradford, *Corrosion Control* (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) hal 1-3

(telah diolah kembali)

Terkorosinya baja dikarenakan terbentuknya sel korosi yang disebabkan oleh perbedaan konsentrasi oksigen dalam tanah dimana lapisan tanah yang

konsentrasi oksigennya tinggi menjadi daerah katoda dan yang konsentrasi oksigennya rendah akan menjadi anoda.



Gambar 2.2. Ilustrasi sel korosi pipa terpendam

<http://www.usace.army.mil/publications/armymtm/TM5-811-7/chap2.pdf>

Bagian anoda terdapat pada daerah dengan nilai resistivitas yang rendah. Arus akan mengalir melalui elektrolit (dalam hal ini tanah) dari anoda menuju katoda yang lebih positif. Perbedaan nilai potensial menjadi tenaga pendorong untuk arus korosi.

## 2.4. Perlindungan Korosi dengan Pelapis Organik

### 2.4.1. Deskripsi Pelapis Organik

Pelapis protektif adalah produk yang mungkin paling luas digunakan untuk kontrol korosi. Digunakan untuk memberikan proteksi jangka panjang di bawah kondisi-kondisi korosif yang luas, mulai dari paparan atmosfer kondisi-kondisi proses kimia yang paling banyak meminta. Fungsi utama dari pelapis protektif adalah mengisolasi bagian reaktif struktur dari lingkungan yang korosif. Sebuah pelapis harus menyediakan sebuah penghalang kontinu terhadap sebuah substrat, dan ketidaksempurnaan apapun akan menjadi titik fokus bagi degradasi dan korosi dari substrat [9]. Pelapis (*coating*) umumnya tipis (< 5 mm atau 20 mils), khususnya 50-100  $\mu\text{m}$  (2-4 mils) [10]. Pada umumnya pelapis yang digunakan berbahan organik seperti polimer. Termasuk di dalam pelapis organik adalah cat (*paints*), resin (*resins*), lak (*lacquers*), dan pernis (*varnishes*).

Sebuah pelapis akan sangat efektif dalam mencegah korosi jika material pelapis [11]:

1. Adalah sebuah isolator listrik yang efektif
2. Dapat diaplikasikan tanpa mengalami retak-retak dan akan tetap begitu selama proses *backfilling*.
3. Merupakan sebuah lapisan sempurna dari awal yang akan tetap bertahan seiring waktu.

#### 2.4.2. Karakteristik Pelapis Organik

Berdasarkan *NACE Standard RP 0169-96 Section 5: External Coatings*, mengurutkan karakteristik dari pelapis yang diinginkan, yakni:

- a. Isolator listrik yang efektif
- b. Penghalang kelembaban yang efektif
- c. Mudah diaplikasikan
- d. Memiliki kemampuan untuk mencegah pembentukan cacat (*holiday*) seiring waktu pakai
- e. Sifat adhesi yang baik ke permukaan pipa
- f. Mampu bertahan terhadap penanganan normal, penyimpanan (radiasi sinar UV), dan pemasangan
- g. Kemampuan untuk mempertahankan tahanan listrik secara konstan seiring waktu pakai. Tahanan listrik yang efektif dari sebuah pelapis per luasan persegi bergantung pada:
  - Resistivitas material pelapis
  - Ketebalan pelapis
  - Ketahanan terhadap penyerapan kelembaban
  - Ketahanan terhadap transfer uap air
  - Ukuran dan frekuensi *holidays*
  - Resistivitas terhadap elektrolit
  - Ikatan/adhesi dari pelapis
- h. Ketahanan terhadap *disbonding*
- i. Mudah dalam perbaikan

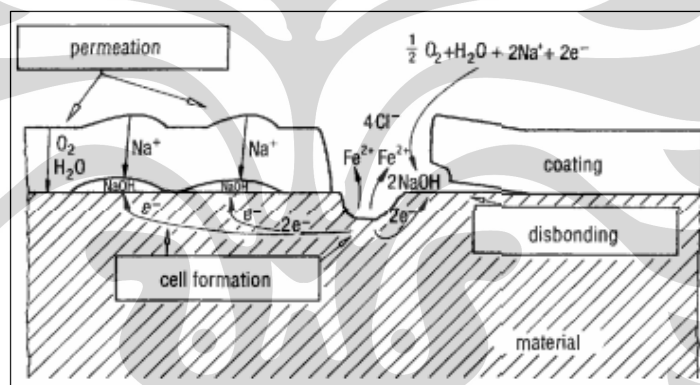


### 2.4.3. Sifat-sifat pelapis organik

Ada beberapa sifat penting yang harus diperhatikan ketika mendisain suatu pelapis untuk diterapkan dalam proteksi korosi, beberapa sifat tersebut yakni [12]:

#### a. Sifat-sifat listrik dan elektrokimia

Sifat ini erat kaitannya dengan ketahanan pelapis terhadap serangan *blistering* atau *cathodic disbonding*. *Blistering* atau *disbonding* dapat terjadi jika sifat permeabilitas dari pelapis sangat buruk sehingga mengijinkan molekul-molekul korosif ( $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ , dll) menembus pelapis dan membentuk sel korosi di antarmuka logam atau juga bisa disebabkan oleh kerusakan mekanik (tergores, dll). Ilustrasi di bawah ini menunjukkan proses-proses yang terjadi pada logam yang terlapis dalam elektrolit,



Gambar 2.3. Proses dan reaksi elektrokimia pada logam terlapis di dalam elektrolit

W. von Baekmann, dkk., *Handbook of Cathodic Corrosion Protection Third Edition* (USA: Gulf Professional Publishing (Elsevier Science), 1997) hal 155

Oleh karenanya hal-hal berikut sangat penting untuk diperhatikan;

- Permeabilitas pelapis terhadap material-material korosif, penembusan molekul-molekul ( $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ , dll), migrasi ion-ion (anion dan kation)
- Kerusakan mekanik terhadap pelapis yang memaparkan permukaan logam, mengijinkan reaksi korosi elektrokimia terjadi.

Tahanan pelapis yang baik sangat diperlukan guna mencegah terjadinya migrasi ion yang dapat menyebabkan *blistering*.

Tabel 2.4. Perbandingan Tahanan Pelapis Spesifik

Coating material	$\rho_D^a$ ( $\Omega$ cm)	$s$ (mm)	$r_u^x$ ( $\Omega$ m <sup>2</sup> )	$r_u^{0b}$ ( $\Omega$ m <sup>2</sup> )	$s$ (mm)	$r_u^c$ ( $\Omega$ m <sup>2</sup> )
Bitumen [4]	$>10^{14}$	4	$4 \times 10^9$	$3 \times 10^5$	4 to 10	$-10^4$
PE [4]	$10^{18}$	2	$2 \times 10^{13}$	$10^{11}$	2 to 4	$-10^5$
EP [4]	$10^{15}$	0.4	$4 \times 10^9$	$10^8$	0.4	$-10^4$
PUR tar [2]	$3 \times 10^{14}$	2	$6 \times 10^9$	$10^9$	2.5	

W. von Baeckmann, dkk., *Handbook of Cathodic Corrosion Protection Third Edition* (USA: Gulf Professional Publishing (Elsevier Science), 1997) hal 157

*Blistering* terjadi karena konduktivitas ion yang tinggi disebabkan rendahnya nilai tahanan spesifik pelapis. *Cathodic disbonding* terjadi karena adanya produksi ion OH<sup>-</sup> di dalam pori atau daerah yang rusak. Banyak investigasi telah menunjukkan bahwa *disbonding* dipengaruhi oleh pemilihan pelapis, dimana pelapis resin (misal EP) dengan banyak gugus adhesif polar menunjukkan superioritas di atas pelapis tebal (misal PE).

#### b. Sifat-sifat psikokimia

Sifat-sifat pelapis harus tetap konstan di bawah kondisi kerja untuk perlindungan korosi jangka panjang. Material pelapis harus benar-benar stabil terhadap lingkungan korosif. Jika pelapis yang memakai pigmen sebagai inhibitor korosi yang lama kelamaan akan habis bereaksi dengan zat-zat korosif maka proteksi dengan pelapis organik jenis polimer mengandalkan pada ketebalan yang lebih besar dan serendah mungkin permeabilitas dari zat-zat korosif. Berikut adalah tabel berisi informasi mengenai koefisien permeabilitas dan laju korosi akibat oksigen.

Tabel 2.5. Koefisien Permeabilitas dan Laju Korosi Oksigen

Coating material	Permeation coefficients (cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> bar <sup>-1</sup> )			$\frac{s}{(mm)}$	$\frac{w}{(\mu m a^{-1})}$
	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>		
ND PE	$2 \times 10^{-7}$	–	$10^{-8}$	3	0.9
HD PE	$6 \times 10^{-7}$	$7 \times 10^{-8}$	$2 \times 10^{-8}$	3	1.8
PUR tar	$4 \times 10^{-6}$	–	$5 \times 10^{-9}$	1	1.3
EP	$(1 \text{ to } 2) \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-8}$	$(0.5 \text{ to } 2) \times 10^{-9}$	0.5	0.3 to 1

W. von Baeckmann, dkk., *Handbook of Cathodic Corrosion Protection Third Edition* (USA: Gulf Professional Publishing (Elsevier Science), 1997) hal 170

#### c. Sifat-sifat mekanik

Sejak kerusakan pada pelapis meningkat pada saat pemindahan (*transport*), *backfilling*, dan pemasangan. Oleh karenanya pelapis harus tahan terhadap pengaruh-pengaruh mekanik. Hal tersebut membutuhkan adhesi yang baik dalam hal kupasan tinggi (*high peeling*) dan kekuatan geser, ketahanan dampak tinggi dan penetrasi rendah di bawah tekanan.

#### 2.4.4. Jenis-jenis Pelapis Organik

Jenis-jenis pelapis organik beragam macamnya mulai dari cat, resin, lak, dan pernis. Akan tetapi tidak semuanya akan dipaparkan dalam tulisan ini, yang akan dipaparkan secara detail adalah jenis pelapis organik yang berupa resin. Pelapis organik merupakan campuran kompleks dari substansi-substansi kimia yang dapat dikelompokkan menjadi empat kategori luas yakni; (1). *Binders*, (2) *volatile components*, (3) *pigments*, dan (4) *additives* [13].

##### 1. *Binders*

*Binders* adalah material yang membentuk lapisan tipis (*film*) kontinu yang menempel pada substrat (permukaan yang dilapisi), yang mengikat bersama-sama substansi lain dalam pelapis untuk membentuk lapisan tipis (*film*), dan memberikan permukaan luar yang cukup keras. *Binders* dalam hal ini adalah polimer. Dalam beberapa kasus, polimer ini disiapkan dan digabungkan ke dalam pelapis sebelum penggunaan; dalam kasus lain, polimerisasi akhir

terjadi setelah pelapis digunakan. *Binders* polimer dan prekursornya sering juga disebut *resin*. *Binders* mengatur secara luas sifat-sifat dari lapisan tipis (*film*) tersebut. Adapun beberapa jenis *binders* tersebut adalah sebagai berikut ini [14];

#### a. *Epoxies*

Dikarenakan kekuatannya, ketahanan kimia, dan adhesi ke substrat yang sangat baik, *epoxy* merupakan kelas yang paling penting dari cat anti korosi. Secara umum *epoxy* mempunyai fitur-fitur sebagai berikut:

- Sifat-sifat mekanik yang sangat kuat
- Adhesi yang sangat baik ke substrat logam
- Ketahanan air, asam, dan kimia yang sangat baik (ekselen)
- Ketahanan alkali yang lebih baik dibandingkan kebanyakan tipe polimer
- Rentan terhadap degradasi UV

Istilah *epoxy* merujuk kepada polimer termoseting yang dibuat dengan sebuah reaksi dari gugus *epoxide* (juga dikenal sebagai gugus *glycidyl epoxy*, atau *oxyrane*).

*Epoxy* dikenal rentan terhadap degradasi UV. Sinar UV dari matahari mengandung cukup energi untuk memutuskan ikatan tertentu dalam struktur polimerik yang telah *cured*. Hasilnya adalah terbentuknya serbuk-serbuk hasil degradasi yang mengandung pigmen yang dikenal sebagai istilah “*chalking*”. Problem ini diatasi dengan melapisi epoksi dengan pelapis lain yang mengandung *UV-resistant binder*. *Polyurethane* sering digunakan untuk tujuan ini karena struktur kimia yang sama dengan *epoxy* tapi tidak rentan terhadap degradasi UV.

#### b. *Acrylics*

*Acrylic* merupakan istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan sebuah keluarga dari polimer yang besar dan bervariasi. Karakteristik umum dari grup ini adalah:

- Stabilitas UV yang luar biasa

- Sifat-sifat mekanik yang baik, khususnya ketangguhan

*Acrylic* dikelompokkan ke dalam dua grup yakni; *acrylate* dan *methacrylate*. Polimer *acrylic* bisa digunakan pada formulasi pelapis *waterborne* dan *solvent-borne*. Untuk cat anti-korosi, istilah *acrylic* biasanya merujuk kepada formulasi *waterborne* atau *latex*. *Acrylic* dibentuk oleh reaksi polimerisasi radikal.

*Acrylic* bisa sedikit sensitif kepada lingkungan alkali – seperti yang bisa dihasilkan oleh permukaan seng (*zinc*), hal ini akan menyebabkan fenomena saponifikasi. Untuk menghindarinya diperlukan pemilihan kopolimer yang tepat. Kebanyakan pelapis *acrylic* adalah kopolimer, yang mana dua atau lebih polimer *acrylic* dicampur untuk membuat *binder*. Hal tersebut menggabungkan keuntungan dari masing-masing polimer, contohnya *poly(methyl methacrylate)* yang tahan terhadap saponifikasi.

#### c. *Polyurethane*

*Polyurethane* dibentuk oleh reaksi *isocyanate*, khususnya dengan gugus *hydroxyl*, *amine*, atau air. Dikelompokkan ke dalam dua grup tergantung pada mekanisme *curing*-nya, yakni: *moisture-cure urethane* dan *chemical-cure urethane*.

Kelas *polyurethane* memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Ketahanan air yang sangat baik (ekselen)
2. Ketahanan yang baik terhadap asam dan pelarut
3. Ketahanan alkali yang lebih baik dibandingkan polimer yang lain
4. Ketahanan abrasi yang baik dan, secara umum, sifat-sifat mekanik yang baik

Baik *moisture-cure urethane* dan *chemical-cure urethane* bisa dibuat dari *aliphatic* atau *aromatic isocyanate*.

***Aromatic polyurethane*** dibuat dari *isocyanate* yang mengandung rantai karbon tak-jenuh, contohnya; *toluene diisocyanate*. Dapat *cure* lebih cepat karena reaktivitas kimia yang lebih tinggi dari *polyisocyanate*, memiliki

ketahanan kimia dan pelarut yang lebih, dan kurang mahal dibandingkan *aliphatic* tetapi rentan terhadap radiasi UV. Kebanyakan digunakan untuk *primer* atau *intermediate coat* bersama *nonaromatic topcoat* yang memberikan perlindungan UV.

***Aliphatic polyurethane*** dibuat dari *isocyanate* yang tidak mengandung rantai karbon tak-jenuh. Mungkin memiliki struktur linear atau siklik; dalam struktur siklik, cincinnya jenuh. Ketahanan UV dari *aliphatic polyurethane* lebih tinggi dibandingkan *aromatic polyurethane*, yang menyebabkan karakteristik *weathering* yang lebih baik seperti *gloss* dan *color retention*. Cocok sebagai *topcoat* karena *high weatherability*.

#### d. *Polyesters*

Pelapis *polyesters* dan *vinyl esters* telah digunakan sejak 1960-an. Adapun karakteristik mereka adalah sebagai berikut:

- Ketahanan pelarut dan kimia yang baik, khususnya ketahanan asam (*polyester* sering mempertahankan ketahanan kimia yang baik pada *elevated temperature*).
- Sambungan ester yang mudah terserang di bawah kondisi alkalin yang sangat kuat.

Karena *polyester* bisa diformulasikan untuk mentolerir pembentukan *film* yang sangat tebal, sehingga lebih populer sebagai *lining*. Sebagai pelapis tipis, biasanya digunakan untuk *coil-coated products*.

*Polyester* merupakan istilah yang sangat luas yang meliputi polimer termoset dan termoplastik. Dalam formulasi cat, hanya *polyester* termoset yang digunakan. *Polyester* untuk pelapis dibuat dari:

- ✓ Kondensasi sebuah alkohol dan sebuah asam organik, menghasilkan sebuah ester – ini adalah pre-polimer *polyester* tak jenuh. Ia kemudian dilarutkan di dalam sebuah monomer tak-jenuh (biasanya *styrene* atau sebuah monomer *vinyl-type* yang sama) untuk membentuk resin.
- ✓ *Crosslinking* dari pre-polimer *polyester* menggunakan monomer tak-jenuh – sebuah katalisator peroksida ditambahkan ke resin sehingga

sebuah reaksi adisi radikal bebas dapat terjadi, mengubah resin yang cair menjadi *film* yang padat.

Dalam sebuah lingkungan alkali, rantai ester dalam *polyester* bisa mengalami hidrolisis – sehingga ikatan putus dan kembali membentuk alkohol dan asam. Penambahan *fillers* dalam pelapis *polyester* sangat penting karena resin jenis ini amat sangat mudah membentuk tegangan dalam (*internal stresses*). Tegangan dalam *cured paint films* muncul karena dua faktor: *shrinkage* selama *curing* dan sebuah koefisien muai thermal yang tinggi.

#### e. Alkyds

Secara komersial digunakan sejak 1927-an. *Alkyds resin* merupakan di antara yang paling luas digunakan sebagai pelapis anti-korosi. Merupakan *one-component air-curing paints* dan, maka, cukup mudah digunakan. Relatif tidak mahal. Bisa diformulasikan menjadi pelapis *solvent-borne* dan *waterborne*. Adapun kerugian dari *alkyds* adalah:

- Setelah *cured*, mereka terus bereaksi dengan oksigen di atmosfer, menciptakan *crosslinking* tambahan dan kemudian kegetasan akibat penuaan pelapis.
- Tidak bisa mentolerir suasana alkali; maka, tidak cocok untuk permukaan seng (*zinc*) atau permukaan yang mana suasana alkali bisa diperkirakan terbentuk, seperti beton.
- Sedikit rentan terhadap radiasi UV, bergantung pada komposisi resin tertentu.
- Tidak cocok untuk kondisi kerja tercelup karena kehilangan adhesi ke substrat selama pencelupan dalam air.

Sebagai tambahan, harus diperhatikan bahwa resin *alkyd* umumnya menunjukkan sifat penghalang yang jelek terhadap uap kelembaban. Juga rentan terhadap fenomena saponifikasi yakni dalam lingkungan alkali rantai esternya akan putus dan kembali membentuk alkohol dan asam.

Dalam pembuatan resin *alkyd*, alkoholnya dlebihkan untuk alasan kontrol viskositas. Namun, dikarenakan alkohol mudah larut dalam air (*water-*

*soluble*) maka pelapis mudah menyerap air dan mengembang. Hal itu menyebabkan *alkyd* tidak cocok untuk kondisi servis tercelup air. Dikarenakan proses *curing*-nya terjadi akibat reaksi antara asam lemak jenuh dengan oksigen di atmosfer maka setelah mengering reaksi *crosslink* masih tetap berlanjut menghasilkan kegetasan seiring dengan penambahan usia. Kekurangan lainnya adalah terdegradasi dalam gelap, jika didiamkan dalam kegelapan untuk waktu yang lama akan menjadi lunak dan lengket. Reaksi tersebut umumnya teramati pada *alkyd* yang kandungan minyak biji raminya tinggi. Alasan mengapa cahaya penting untuk mempertahankan *cured film* masih belum jelas.

#### f. *Chlorinated Rubber*

*Chlorinated rubber* banyak dipergunakan dikarenakan sifat-sifat penghalang yang dimilikinya. Memiliki laju transmisi uap kelembaban yang sangat rendah dan juga kinerja yang baik dalam kondisi pencelupan. Karakteristik umum dari pelapis ini adalah sebagai berikut:

- Sifat penghalang uap dan air yang sangat baik.
- Ketahanan kimia yang baik tapi ketahanan pelarut yang jelek.
- Ketahanan panas yang jelek.
- Tingkat VOC yang terhitung tinggi
- Adhesi yang sangat baik kepada baja (ekselen).

Kimia dari *chlorinated rubber* sederhana yakni *polyisoprene rubber* di-klorinasi hingga kandungan yang tinggi sekitar 65%. Ia kemudian dilarutkan ke dalam pelarut, khususnya suatu campuran dari *aromatic* dan *aliphatic*; contohnya *xylene* atau *VM&P naphtha*.

Tidak mengalami mekanisme *crosslinking*; resin tidak mengalami reaksi kimia selama *cure*; *curing* terjadi karena penguapan pelarut; efeknya *film* terbentuk karena pengendapan. Bagaimanapun, klorin dalam molekul karet mengalami ikatan hidrogen. Ikatan tersebut menyebabkan pelapis ini memiliki sifat-sifat transmisi oksigen dan kelembaban yang sangat rendah. Karena *film* terbentuk akibat pengendapan maka sangat rentan oleh serangan



pelarut yang digunakan saat formulasi dan juga oleh jenis pelarut yang lain. Juga mudah terserang oleh asam karboksil organik seperti asam asetat dan asam semut (*formic acid*).

Deklorinasi cenderung terjadi pada pelapis jenis ini. Atom hidrogen pada suatu segmen dari molekul polimer bergabung dengan atom klorin pada segmen yang berdekatan untuk membentuk asam klorida (HCl). HCl yang terlepas meninggalkan ikatan rangkap yang karena pengaruh panas dan cahaya ikatan rangkap tersebut dapat *crosslinking* mengakibatkan penggetasan. HCl juga sebuah masalah; jika dalam kondisi lembab akan menghasilkan ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ) yang bisa menimbulkan korosi. HCl juga dapat mengkatalis kerusakan lebih lanjut dari resin. Deklorinasi meningkat seiring dengan paparan kepada panas dan cahaya sehingga resin jenis ini tidak cocok untuk aplikasi pada temperatur tinggi. Sensitivitas terhadap cahaya dapat dihilangkan dengan penambahan *pigment*.

g. *Epoxy esters*

Walaupun namanya *epoxy* tapi *epoxy ester* tidak benar-benar *epoxy*. Appleman menulis bahwa epoxy ester lebih tepat disebut sebagai *epoxy-modified alkyds*. Dibuat dengan pencampuran antara resin epoksi dengan minyak (kering atau sayuran) atau asam minyak kering. Epoksi ester tidak *crosslink* sebagaimana epoksi umumnya. Akan tetapi, resin dan minyak atau asam minyak kering diberikan temperatur tinggi dan atmosfer lembam (*inert*) untuk mempengaruhi reaksi esterifikasi. Hasilnya adalah *binder* yang *cure* karena oksidasi dan bisa diformulasikan menjadi cat satu-komponen.

h. *Polyethylene (LDPE)*

LDPE merupakan material semi-kaku, tembus cahaya dan polietilen yang pertama kali dikembangkan. Utamanya digunakan pada temperatur operasi normal. Sifat-sifat yang dimilikinya antara lain; ketangguhan, fleksibilitas, ketahanan terhadap kimia dan cuaca, dan penyerapan air yang rendah. Tahan korosi dan material ekstrusi kepadatan rendah yang menyediakan permeabilitas kelembaban yang rendah. Merupakan material

yang ringan dan mudah dibentuk, memiliki ketahanan impak yang tinggi dan sifat listrik yang sangat baik.

Kerugian dari LDPE adalah kekuatan, kekakuan, dan temperatur operasi maksimum yang rendah, mudah terbakar, ketahanan UV rendah, permeabilitas gas yang tinggi (khususnya CO<sub>2</sub>), dan rentan terhadap retak-tegang lingkungan (*environmental stress cracking*).

## 2. *Volatile components*

*Volatile components* termasuk ke dalam bagian besar dari macam-macam pelapis. Ia memainkan aturan penting dalam proses penggunaan pelapis; ia adalah cairan yang membuat pelapis cukup encer untuk penggunaan, dan ia menguap selama dan setelah penggunaan pelapis.

## 3. *Pigments*

*Pigments* merupakan partikel solid tak larut yang terbagi sangat halus yang tersebar di dalam pelarut dan tetap berada di dalam *binder* setelah pembentukan lapisan tipis (*film*). Secara umum, tujuan utama dari *pigment* adalah memberikan warna dan *opacity* kepada *film*. Bagaimanapun, ia juga mempunyai pengaruh penting pada karakteristik aplikasi dan pada sifat-sifat *film*.

## 4. *Additives*

*Additives* adalah material-material yang dimasukkan dalam jumlah yang kecil untuk memodifikasi beberapa sifat dari sebuah pelapis. Sebagai contoh; katalisator untuk reaksi polimerisasi, penstabil (*stabilizer*), dan pemodifikasi aliran (*flow modifier*).

## 2.5. Metode Inspeksi Pipa Terpendam

### 2.5.1 *Soil Resistivity Survey*

Pengukuran tahanan tanah perlu dilakukan untuk melihat kecenderungan dari arus listrik untuk mengalir dalam elektrolit (tanah). Hal ini berkenaan dengan konsumsi anoda yang digunakan. Jika terjadi kerusakan pada pelapis maka tingkat laju degradasi dari bagian pipa yang terekspos dengan elektrolit akan lambat untuk tahanan tanah yang tinggi, sebaliknya untuk tahanan tanah yang rendah maka laju degradasinya cepat. Untuk pengukuran tahanan tanah, metode yang digunakan bermacam-macam. Ada yang dalam skala laboratorium dan ada juga yang langsung melakukannya di lapangan.

Untuk skala laboratorium dilakukan pengambilan contoh tanah di sekitar jalur pipa dimana telah ditentukan interval pengambilan contoh tanahnya. Kemudian contoh tanah tersebut dimasukkan ke dalam *soil resistivity box* yang telah ditentukan dimensinya, kemudian pin-pin yang ada pada *soil resistivity box* dihubungkan ke *soil resistivity meter*. Nilai dari tahanan tanahnya kemudian ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini;

$$R = \frac{\rho \times L}{W \times D} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana  $L$  (panjang),  $W$  (lebar),  $D$  (tebal) merupakan dimensi dari *soil resistivity box* dan  $\rho$  adalah *resistivity*.



Gambar 2.4. *Soil Resistivity Box*

A.W. Peabody, *Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition* (USA:NACE International, 2001) hal 127



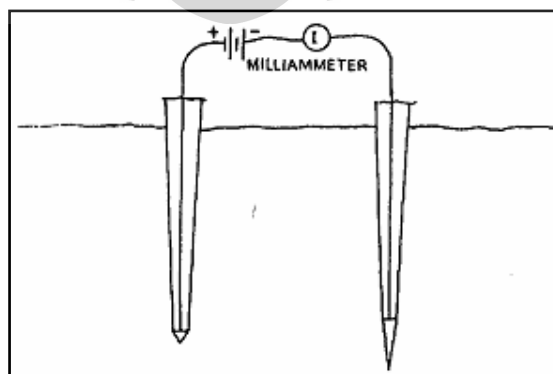
Gambar 2.5. *Soil Resistivity Meter*

A.W. Peabody, *Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition* (USA:NACE International, 2001) hal 106

Untuk skala lapangan, pengukuran *soil resistivity* umumnya dilakukan dengan metode 2-pin atau 4-pin. Pengukuran dilapangan sangat praktis karena dapat dilakukan tanpa harus mengambil contoh tanah dan memasukkannya ke dalam *soil resistivity box*. Berikut adalah metode 2-pin dan 4-pin [15]:

- *Two-terminal resistivity determination*

Prinsip dari metode ini adalah mengukur nilai tahanan yang timbul antara dua buah pin elektroda besi yang ditancapkan ke tanah dengan jarak tertentu yang telah ditentukan. Sumber arus untuk pengukuran tahanan (*resistance*) tanah didapatkan dari baterai 3V. Nilai *resistivity* kemudian diketahui dari *double range milliammeter* (0-25 dan 0-100) yang dapat langsung menyajikan nilai *resistivity* dalam ohm-cm (10.000-400 dan 500-100).



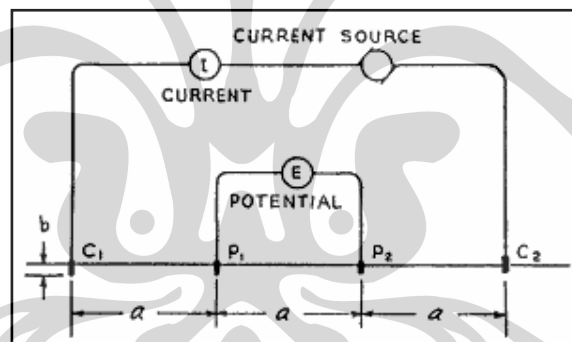
Gambar 2.6. Skema Tongkat Shepard untuk pengukuran *soil resistivity* metode 2 pin

Marshall E. Parker & Edward G. Peattie, *Pipeline Corrosion and Cathodic Protection Third Edition* (USA: Elsevier Science, 1999) hal 3

Alat ini cepat dalam penggunaan tetapi memberikan nilai resistivitas hanya dari sebagian kecil contoh tanah yang berada di sekitar elektroda. Katoda dibuat lebih besar untuk menghindari polarisasi, akurasinya 6% jika jarak antar ujung elektroda dibuat menjadi 8 inci..

- *Four-terminal resistivity determination*

Untuk mengakomodasi pengukuran pada contoh tanah yang lebih besar dan resistivitas pada kedalaman yang lebih besar, metode Wenner atau *Four-terminal* dapat digunakan. Prinsipnya sama dengan metode 2-pin yakni mengukur besar nilai tahanan listrik antara dua buah pin.



Gambar 2.7. Skema metode Wenner (*Four-terminal*) untuk pengukuran *soil resistivity*

Marshall E. Parker & Edward G. Peattie, *Pipeline Corrosion and Cathodic Protection Third Edition* (USA: Elsevier Science, 1999) hal 4

Nilai *soil resistivity* ( $\rho$ ) kemudian ditentukan menggunakan persamaan berikut ini;

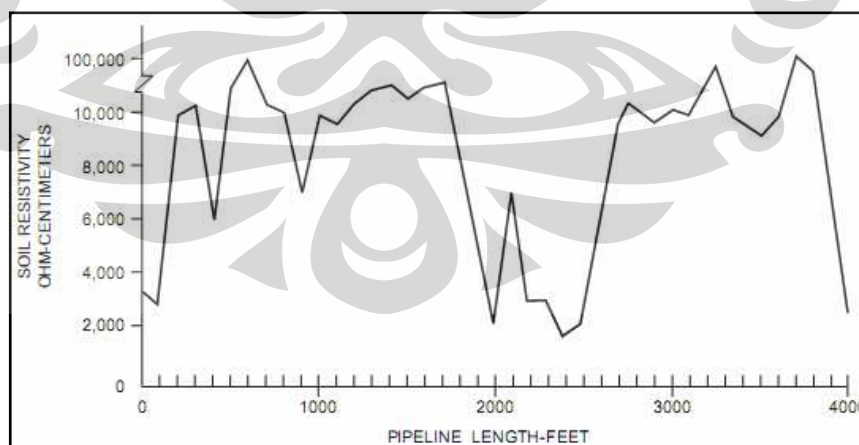
$$\rho = 2\pi a \frac{E}{I} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana,  $a$  = jarak antar tongkat elektroda,  $b$  = kedalaman elektroda tertancap,  $E$  = potensial yang terukur pada potensiometer, dan  $I$  = arus yang diberikan ke tanah.

Perlu diperhatikan bahwa nilai tahanan yang diukur adalah nilai tahanan antara 2 buah pin yang berada di dalam yakni P1 dan P2 sedangkan 2 buah pin lagi yang berada di bagian terluar rangkaian berfungsi dalam memberikan arus ke dalam tanah.

Nilai resistivitas yang didapatkan merupakan nilai resistivitas rata-rata dari tanah pada kedalaman yang kira-kira sama dengan jarak antar tongkat yang ditancapkan. Jika jalur pengukuran dengan 4-pin sejajar dengan jalur pipa bawah tanah atau struktur logam lainnya maka nilai resistivitas yang terukur akan lebih rendah dari yang seharusnya karena pengaruh struktur tersebut. Oleh karena itu, jalur pengukuran sebaiknya tegak lurus dengan jalur pipa atau struktur logam yang lain – paling tidak 15 ft.

Data yang nantinya diperoleh adalah berupa variasi nilai resistivitas tanah terhadap jarak yang dibuat pada saat pengukuran. Data ini kemudian diolah dengan menggunakan *spreadsheet* dan keluarannya berupa grafik *soil resistivity vs jarak* seperti yang ditunjukkan berikut ini;



Gambar 2.8. Grafik *Soil Resistivity vs Jarak*

A.W. Peabody, *Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition* (USA:NACE International, 2001) hal 85

Dari sajian grafik ini dapat diperoleh informasi mengenai profil resistivitas tanah yang dilalui jalur pipa. Data ini penting dalam hal perancangan kembali sistem proteksi katodik yang juga dikombinasikan dengan pelapis organik ataupun non-organik.

### 2.5.2 *Close Interval Potential Survey (CIPS)*

- Deskripsi CIPS

Survei Potensial Selang Tertutup atau *Close Interval Potential Survey (CIPS)* merujuk kepada pengukuran potensial sepanjang jalur pipa terpendam untuk mengkaji kinerja dari sistem proteksi katodik dan kondisi dari jalur pipa yang terlindungi secara katodik [16]. Potensial dari jalur pipa terpendam diukur melalui tes poin yang mencuat di permukaan tanah. Prinsip dari CIPS adalah merekam profil potensial dari sebuah jalur pipa secara keseluruhan dari total panjangnya dengan melakukan pembacaan potensial pada selang sekitar 1 m.



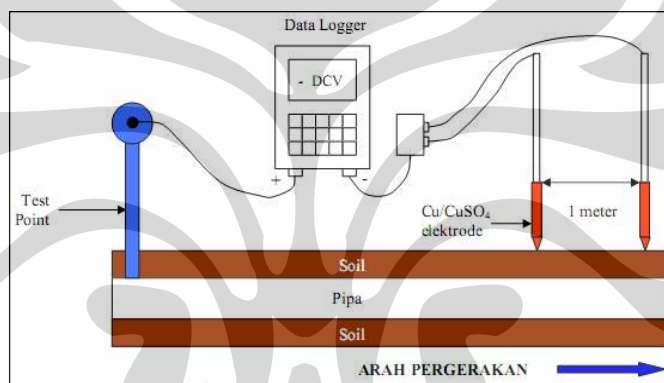
Gambar 2.9. Tes poin pada jalur pipa terpendam

- Metodologi

Secara prinsip pengukuran CIPS relatif mudah. Sebuah elektroda acuan dihubungkan ke jalur pipa pada sebuah tes poin, dan elektroda tersebut ditempatkan pada tanah di atas jalur pipa dengan selang 1 m untuk pengukuran beda potensial antara elektroda acuan dan jalur pipa. Elektroda acuan yang digunakan pada pengukuran potensial tersebut adalah *copper sulfate reference*

*electrode (CSE)*. Bagian sumbat, dengan penutup yang dibuka, harus jelas berkontak dengan kelembaban tanah. Hal ini mungkin butuh sedikit menggali pada permukaan tanah yang kering. Pada daerah yang amat sangat kering, mungkin dibutuhkan untuk melembabkan tanah di sekitar elektroda untuk memperoleh kontak yang baik. Rumput (terutama jika basah) tidak boleh kontak dengan elektroda karena akan mempengaruhi nilai potensial yang terbaca.

Perangkat lain yang digunakan yakni sebuah *data logger (voltmeter)* yang akan merekam potensial yang terukur, kemudian sebuah alat navigasi berupa *global positioning system (GPS)* yang dipergunakan untuk mengukur panjang jalur pipa yang telah disurvei. Dan juga dibutuhkan gulungan kawat tembaga yang akan dihubungkan pada tes poin.



Gambar 2.10. Ilustrasi peralatan CIPS dan arah survei

Pada praktek di lapangan, seorang operator akan menggondong sebuah *data logger* dan gulungan kawat tembaga kemudian seorang lagi akan bertugas sebagai penanda jalur pipa dengan menggunakan *pipe locator* berjalan didepan operator pertama. Sebelum melakukan survei, kawat tembaga dihubungkan pada kutub positif *data logger* kemudian ke koneksi pada tes poin lalu kabel pada elektroda acuan dihubungkan pada kutub negatif *data logger*. Perekaman potensial dilakukan sepanjang jalur pipa dengan selang 1 m seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.





Gambar 2.11. Peralatan CIPS dan operator survei di lapangan

Pierre R. Roberge, *Handbook of Corrosion Engineering* (New York: McGraw-Hill, 1999) hal 908

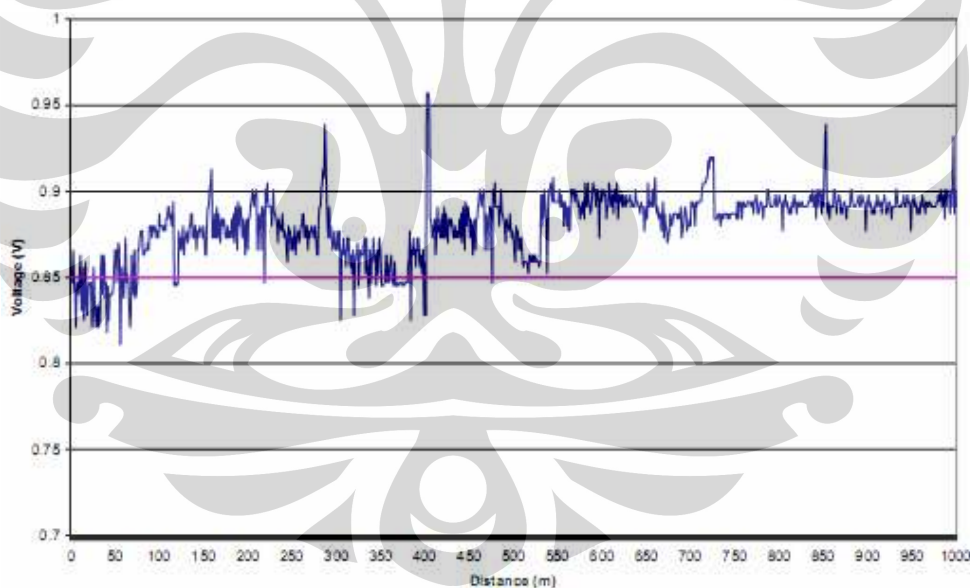
Idealnya dibutuhkan 3 orang dimana yang satu lagi bertugas menggulung kawat tembaga yang telah terpakai namun hal ini bisa dilakukan oleh orang yang bertugas sebagai penanda pipa karena pada prakteknya lokasi pipa telah dapat diketahui dari hasil survei sebelumnya. Dalam prakteknya, pengukuran CIPS sangat membutuhkan dukungan tenaga lapangan dan kebutuhan logistik, untuk mengatasi hambatan-hambatan di daerah-daerah tertentu, seperti pemukiman, jalan raya, dan halangan lainnya yang timbul pada saat survei pengukuran.

Berbagai cara harus ditempuh untuk membantu kelancaran survei, misalkan dengan merekatkan kawat tembaga ke jalan untuk menghindari putus. Oleh karena itu, kecepatan pergerakan survei sangat bergantung pada area yang disurvei. Pawson telah mengidentifikasi beberapa hal yang harus dilakukan oleh operator lapangan dalam mempersiapkan survei CIPS:

- a. Persiapan spesifikasi teknis secara detil untuk pelaksanaan survei
- b. Menandai dan membersihkan jalur pipa yang akan dilalui (berdasarkan ROW)
- c. Membuat pemberitahuan kepada para pemilik lahan yang akan disurvei dan pekerja lain yang berada pada jalur pipa

- d. Menandai ruang dimana terdapat *rectifier* dan struktur lain yang dapat mempengaruhi pengukuran
- e. Memeriksa kondisi dan fungsi dari *rectifier*, sambungan, isolasi yang ada
- f. Mengkarakterisasi efektifitas sistem proteksi katodik pada daerah-daerah rawan, seperti rawa, dll.
- g. Mengidentifikasi perubahan cuaca yang terjadi
- h. Menentukan spesifikasi format laporan survei pengukuran
- i. Memastikan kemampuan dan ketersediaan setiap personel

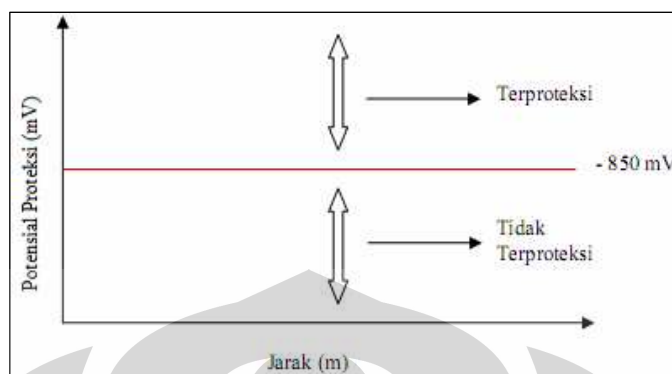
Data potensial yang terekam oleh *data logger* selama survei dilakukan kemudian diunduh ke dalam perangkat lunak *spreadsheet* yang kemudian akan diolah menjadi data grafik yang menyajikan profil dari potensial jalur pipa per selang 1 m yang disurvei. Gambar 2.12 berikut ini merupakan grafik profil potensial jalur pipa yang telah disurvei.



Gambar 2.12. Grafik profil potensial pipa versus jarak

Dari grafik tersebut kemudian dapat dilakukan penilaian/pengkajian dari perubahan nilai potensial pipa. Adanya penurunan yang terlalu tajam apakah disebabkan oleh proteksi katodik yang mengalami kerusakan/kegagalan atau disebabkan oleh adanya kerusakan pada pelapis (*coating*) pada daerah tersebut. Pengkajian dilakukan dengan melihat apakah potensial yang terekam masih

masuk ke dalam kriteria proteksi katodik atau tidak, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.13 berikut ini.



Gambar 2.13. Kriteria potensial proteksi jalur pipa

- Keuntungan dan batasan

Teknik CIPS memberikan profil yang lengkap mengenai potensial pipa-tanah yang menunjukkan status dari tingkat perlindungan katodik. Penafsiran dari hasil, termasuk identifikasi cacat, tidak secara jelas dapat diperoleh dari hasil survei. Sebenarnya, survei yang dilakukan tidak mengindikasikan tingkat kerusakan parah akibat korosi karena potensial bukan ukuran untuk kecepatan korosi. Seluruh pipa harus disurvei dan membutuhkan logistik yang sangat penting. Teknik ini tidak bisa dilakukan pada daerah tertentu seperti daerah beraspal, jalan, sungai, dll.

### 2.5.3 *Direct Current Voltage Gradient (DCVG) Survey*

- Deskripsi DCVG

Survei Gradien Tegangan Arus Searah atau *Direct Current Voltage Gradient (DCVG)* merupakan teknik terkini untuk menemukan cacat pada jalur pipa terkubur berpelapis dan untuk membuat penilaian tentang tingkat keparahan cacat. Teknik ini mengandalkan efek pokok dari gradien potensial yang terbentuk di tanah pada daerah cacat pelapis karena arus proteksi katodik yang bekerja. Secara umum, makin besar ukuran cacat maka makin besar pula gradien yang terbentuk. Data DCVG sangat rumit hubungannya dengan kinerja keseluruhan

dari sistem proteksi katodik karena ia memberikan sebuah indikasi dari aliran arus dan arahnya di dalam tanah.

- Metodologi

Gradien potensial diukur oleh seorang operator di antara dua elektroda acuan (biasanya tipe Cu/CuSO<sub>4</sub> pekat), terpisah sejauh 0,5 meter. Sebuah sinyal DC terpulsa diberikan kepada jalur pipa untuk pengukuran DCVG. Sinyal masukan terpulsa meminimalisir interferensi dari sumber-sumber arus lain (sistem proteksi katodik lain, jalur lintas rel listrik, efek *telluric*). Sinyal ini bisa diperoleh dengan sebuah interuptor pada *rectifier* yang ada atau dengan pulsa arus sekunder terlapis pada arus “tetap” proteksi katodik yang ada.



Gambar 2.14. Operator survei DCVG

<http://www.zangsetiz.com/Field-2.htm> (telah diolah kembali)

Operator menelusuri jalur pipa mengamati jarum dari milivoltmeter untuk mengidentifikasi lokasi cacat. (sistem DCVG yang terkini tidak lagi menggunakan jarum akan tetapi sudah sistem digital). Operator lebih baik berjalan tepat di atas jalur pipa namun hal ini tidak terlalu dibutuhkan. Keberadaan cacat ditengarai oleh defleksi jarum yang bertambah seiring dengan didekatinya lokasi cacat, tidak ada defleksi jarum ketika operator tepat berada di atas lokasi cacat, dan defleksi jarum yang berkurang ketika operator menjauh dari lokasi cacat. Hal ini diklaim bahwa lokasi cacat dapat diketahui dengan akurasi 0.1 sampai 0.2 m yang menjadi keuntungan pada saat penggalan.

Fitur tambahan dari teknik DCVG adalah bahwa cacat dapat dikategorikan dengan menggunakan faktor ukuran perkiraan. Ukuran cacat merupakan hal yang

penting untuk mengetahui cacat yang kritis dan memprioritaskan perbaikan. *Leeds* dan *Grapiqlia* telah menyediakan detail tentang prosedur penentuan ukuran cacat. Sebuah *ranking* empiris yang didasarkan pada harga %IR telah diadopsi ke dalam istilah-istilah umum sebagai berikut;

- 0 – 15% IR (“kecil”): biasanya tidak diperlukan perbaikan
- 16 – 35% IR (“sedang”): perbaikan mungkin direkomendasikan
- 36 – 60% IR (“besar”): direkomendasikan perbaikan dini
- 61 – 100% IR (“sangat besar”): direkomendasikan perbaikan segera

Parameter %IR ditentukan melalui persamaan teoritis yang dipengaruhi oleh variable potensial jalur pipa relatif terhadap lapisan tanah yang jauh dari tes poin. Dimana potensial jalur pipa ( $V_t$ ) tersusun atas dua komponen;

$$V_t = V_i + V_s \dots\dots\dots(2.4)$$

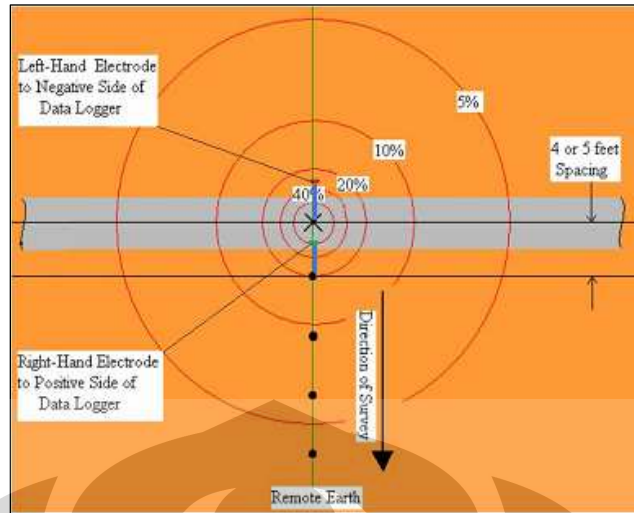
Dimana  $V_i$  adalah potensial antara pipa dengan permukaan tanah dan  $V_s$  adalah potensial antara lapisan tanah yang mengelilingi pipa dengan tanah yang jauh dari tes poin. Harga %IR didefinisikan sebagai berikut;

$$\%IR = \frac{V_s}{V_t} \dots\dots\dots(2.5)$$

Terdapat dua jenis arah inspeksi pada DCVG yakni arah tegak lurus dan arah sejajar dengan garis pusat pipa.

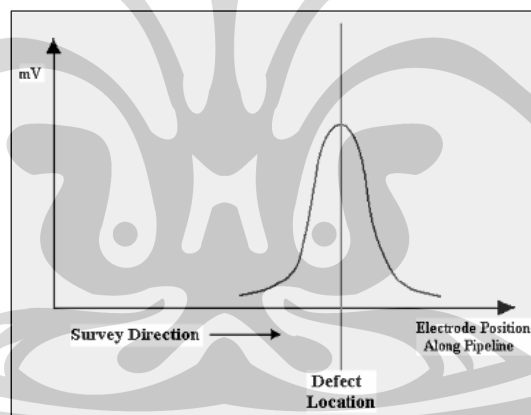
### 1. Teknik Survei DCVG Arah Tegak Lurus

Dilakukan dengan arah survei tegak lurus pusat pipa yakni sepanjang jalur pipa yang diduga mengalami penurunan nilai potensial proteksi yang drastis dari hasil interpretasi data CIPS.



Gambar 2.15. Skema arah survei DCVG tegak lurus

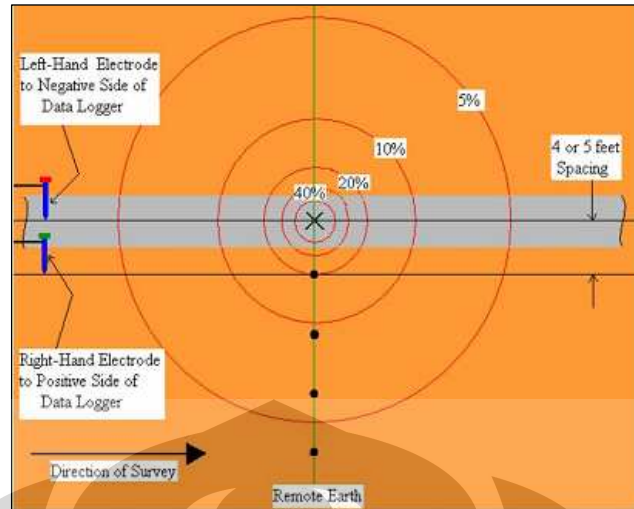
Ketika probe bergerak akan dihasilkan profil grafik berupa kenaikan nilai potensial mendekati positif pada daerah yang mengalami cacat pelapisan (*coating holiday*).



Gambar 2.16. Grafik hasil survei DCVG arah tegak lurus

## 2. Teknik Survei DCVG Arah Sejajar

Dilakukan dengan arah survei sejajar pusat pipa yakni hanya pada titik yang diduga mengalami penurunan nilai potensial proteksi yang drastis dari hasil interpretasi data CIPS.

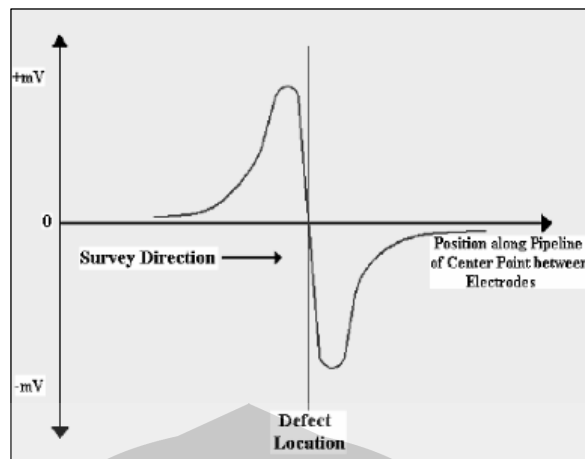


Gambar 2.17. Skema arah survei DCVG sejajar

Pada metode ini, lokasi dari *coating defect* ditunjukkan dengan adanya simpangan dari nilai beda potensial, dimana:

- Pada saat pergerakan *data probe* mendekati area yang mengalami *coating defect*, nilai beda potensial akan meningkat dan bernilai positif.
- Pada saat *data probe* berada tepat diatas lokasi pipa yang mengalami *coating defect*, beda potensial yang terbaca di *voltmeter* adalah nol.
- Pada saat *data probe* menjauhi area yang mengalami *coating defect*, nilai beda potensial akan semakin menurun dan bernilai negatif.

Grafik di bawah ini merupakan profil gradien tegangan yang timbul ketika operator berjalan mendekati lokasi cacat terjadi kenaikan potensial, kemudian potensial berada pada titik nol (lokasi cacat), dan ketika operator meninggalkan lokasi cacat maka terjadi penurunan potensial.



Gambar 2.18. Grafik hasil arah survei DCVG sejajar

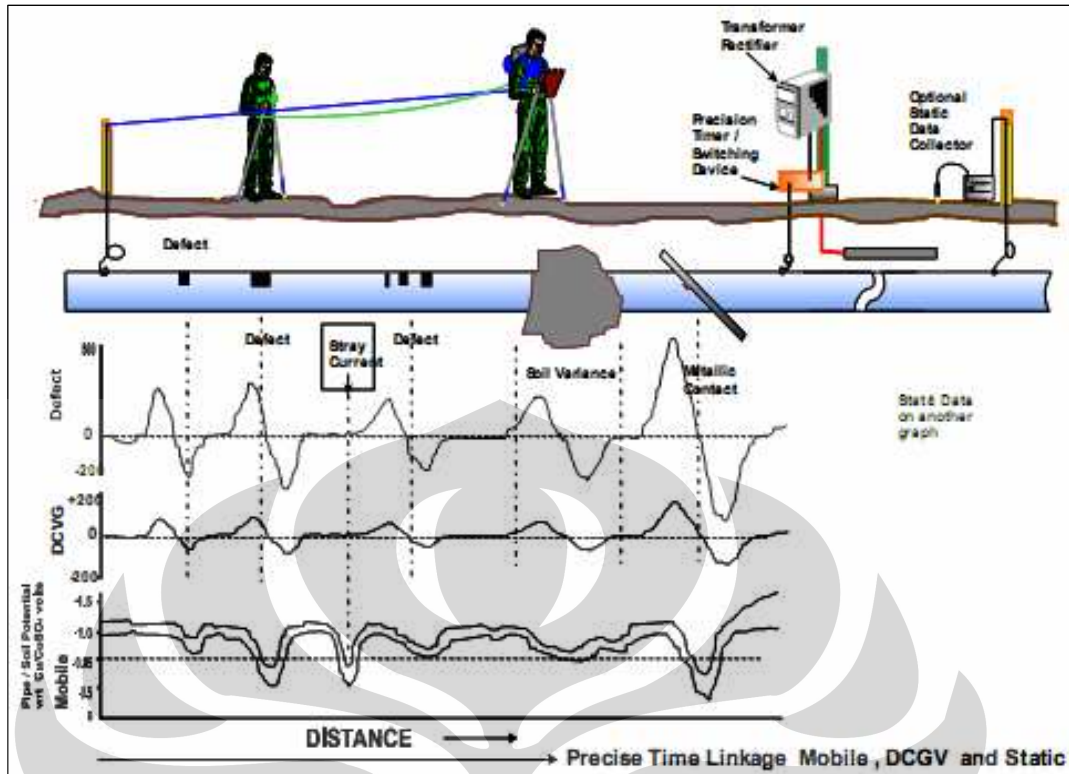
- Keuntungan dan Batasan

Pada dasarnya teknik DCVG secara khusus cocok untuk sistem proteksi katodik di daerah-daerah dengan kepadatan struktur terkubur yang tinggi. Ini merupakan kondisi yang paling sulit untuk survei. Peralatan DCVG relatif sederhana. Meskipun tingkat keparahan dapat ditentukan untuk cacat pelapis, sistem pemeringkatan bersifat empiris dan tidak menyediakan informasi kecepatan korosi secara kuantitatif. Laju perkembangan tim survei bergantung pada jumlah cacat yang ada. Hambatan medan sama seperti pada teknik CIPS.

#### 2.5.4 CIPS dan DCVG Combination

Kombinasi dari metode CIPS dan DCVG merupakan perkembangan lebih lanjut dari teknik survei jalur pipa. Adapun maksud dari kombinasi ini bukanlah dua jenis metode tersebut dapat dilakukan sekaligus dengan satu instrumen dan dalam satu kali survei. Kombinasi yang dimaksud adalah me-*superimpose* grafik CIPS dengan DCVG. Pengkombinasian ini utamanya lebih ditujukan untuk melokalisir keberadaan dari cacat pelapis yang terjadi sehingga bisa dilakukan usaha perbaikan pada daerah cacat. *Superimpose* dua buah profil bisa dilakukan setelah survei CIPS dan DCVG selesai dilakukan, dari *superimpose* inilah diketahui mana titik yang terdapat cacat pelapis. Kombinasi survei CIPS dan DCVG juga bisa dilakukan dengan melakukan survei DCVG hanya pada titik yang mengalami penurunan potensial proteksi dari hasil survei CIPS.





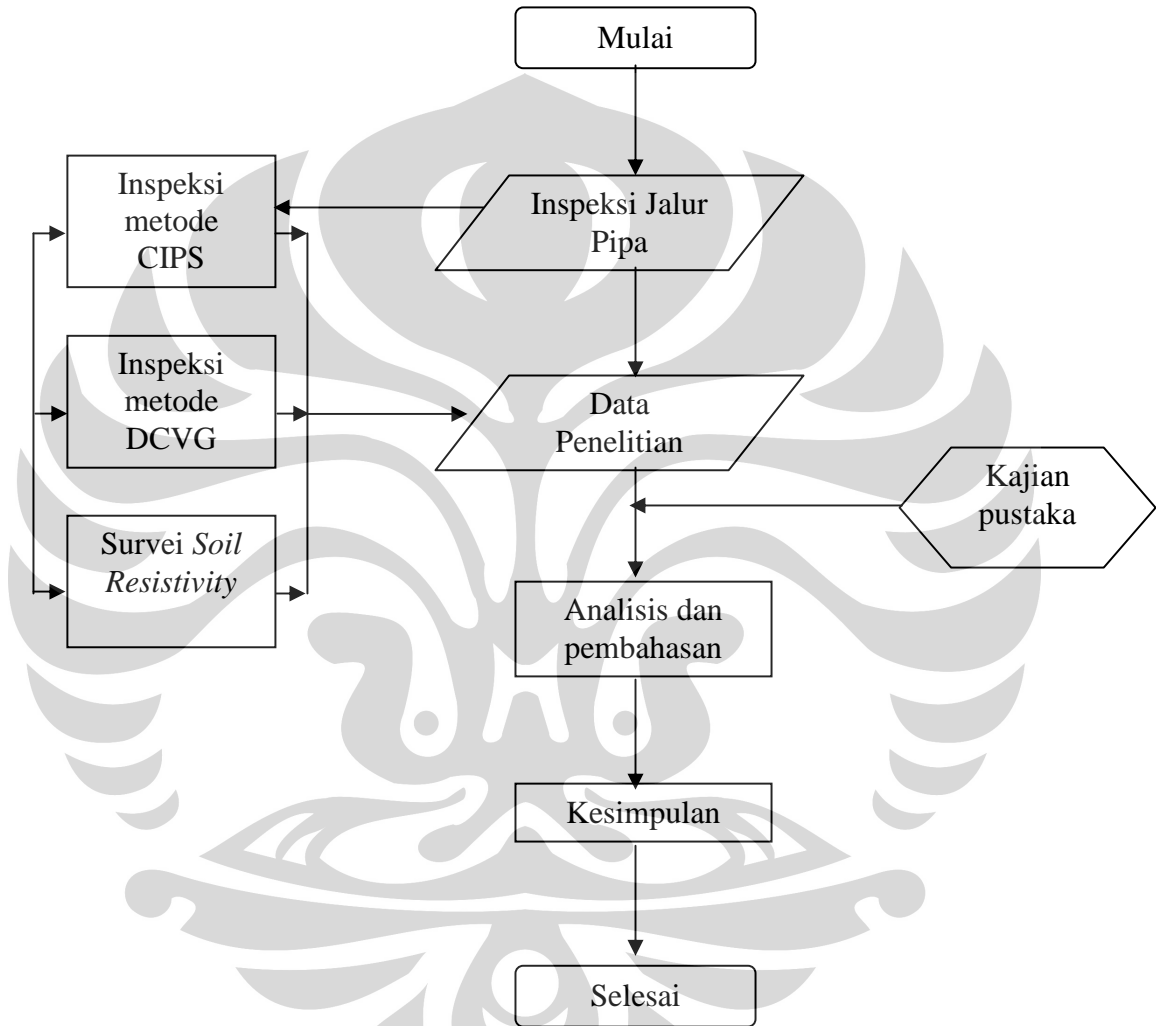
Gambar 2.19. Kombinasi teknik survei CIPS dan DCVG untuk melokalisir letak cacat pelapis

Neil Webb *et al*, *Combined External Coating and Cathodic Protection Assessment Techniques – A Case Study for A Pipeline in West Africa* (The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 8<sup>th</sup> International Corrosion Conference)

Terlihat bahwa pada profil CIPS – setelah dilakukan survei DCVG – titik yang mengalami polarisasi yang jauh di bawah kriteria proteksi katodik terdapat cacat pelapis yang menyebabkan kerusakan pada pipa.

**BAB 3**  
**METODE PENELITIAN**

**3.1. Diagram Alir Penelitian**



Pengambilan data dan informasi dilakukan seluruhnya di lapangan (Jalur pipa penyalur *crude oil* Cemara-Balongan dan Tambun-Cilamaya).

### 3.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang dipergunakan dalam penelitian adalah:

1. *CIPS Data Logger*
2. *DCVG Data Logger*
3. Elektroda Acuan Cu/CuSO<sub>4</sub>
4. *Soil Resistivity Tester*
5. *GPS Tracker*
6. Kabel Tembaga
7. Kunci Pas
8. Kamera Digital
9. *Cutter*
10. Selotip

### 3.3. Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Pengumpulan Data dan Informasi

Dalam penelitian ini data dan informasi diperoleh dari survei yang langsung dilakukan di lapangan (Jalur pipa *crude oil* Cemara-Balongan dan Tambun-Cilamaya). Adapun survei yang dilakukan adalah sebagai berikut:

##### 3.3.1.1. *Soil Resistivity Survey*

Survei dilakukan pada jalur pipa penyalur *crude oil* di SP Cemara menuju fasilitas pemurnian di Balongan dan juga dari SP Tambun menuju *Booster Compressor Station* di Cilamaya. Survei resistivitas tanah dilakukan dengan menggunakan metode *Wenner Method* yang terdiri dari 4 buah *metal probe* dan *soil resistance meter*. Tujuan dari survei ini adalah untuk mengetahui profil resistivitas tanah yang ada di sepanjang jalur pipa. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai resistivitas tanah dengan *Wenner Method*:

$$\rho = 2\pi AR \dots \dots \dots (3.1)$$

$\rho$  = resistivitas tanah ( $\Omega\text{cm}$ )

$A$  = jarak antar pin (cm)

$R$  = hambatan tanah ( $\Omega$ )

$\pi = 3.1416$

### 3.3.1.2. *Close Interval Potensial Survey (CIPS)*

Survei dilakukan pada jalur pipa penyalur *crude oil* di SP Cemara menuju fasilitas pemurnian di Balongan dan juga dari SP Tambun menuju *Booster Compressor Station* di Cilamaya. Survei potensial dilakukan dengan menggunakan perlengkapan CIPS berupa *CIPS data logger*, Elektroda Acuan Cu/CuSO<sub>4</sub>, *probe adapter*, Kabel Tembaga, dan *Safety pack*. Survei ini bertujuan untuk mengetahui integritas dari jalur pipa khususnya berkaitan dengan efektifitas kerja dari Sistem Proteksi Katodik. Adapun SOP untuk survei CIPS adalah sebagai berikut:

#### 1. Persiapan

##### 1.1. Peralatan

Berbagai peralatan yang perlu dipersiapkan untuk survei adalah sebagai berikut:

- *CIPS Data logger* dengan *impedance* minimum 10 M $\Omega$  lengkap dengan aksesorisnya.
- *Data Probes* (elektroda standard Cu/CuSO<sub>4</sub>) 1 pasang (dua *data probe*)
- *Probe Adapter*
- Kabel dengan ukuran minimum 30 AWG.
- Perlengkapan *Safety* untuk Personil (*Helmet, Safety Boot, Google, Gloves*)

##### 1.2. Persiapan

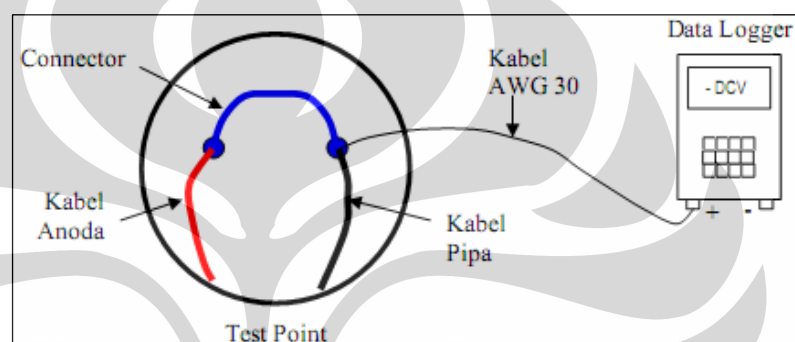
- Membaca dan menentukan posisi pipa.
- Pembersihan jalur pipa jika diperlukan.

##### 1.3. Pengukuran potensial pipa, potensial proteksi pipa, dan potensial anoda pada *test point* (prosedur terpisah).

## 2. Setting Peralatan

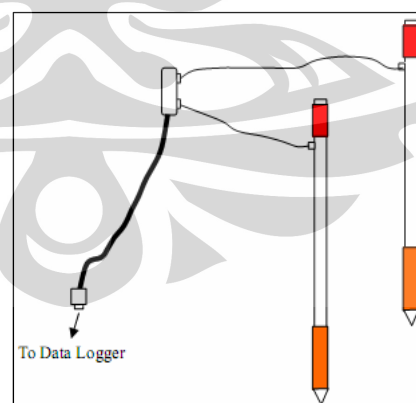
### 2.1. Rangkaian Peralatan

- Pada *Test Point*, pastikan kabel pipa terhubung dengan kabel anoda (kondisi sistem proteksi katodik bekerja).
- Rangkai Peralatan dengan langkah – langkah sebagai berikut:
  - o Hubungkan Kabel Pipa/Anoda dengan kabel AWG 30 yang terhubung dengan positif dari *data logger*.



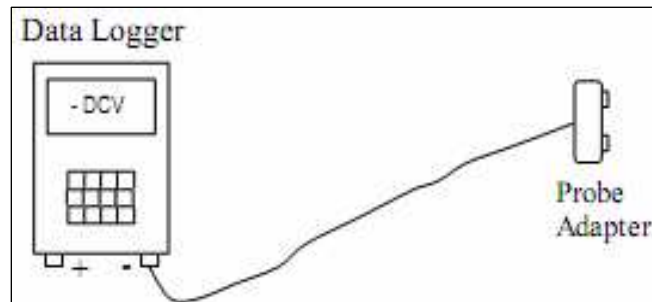
Gambar 3.1. Prosedur menghubungkan *data logger* dengan *test point*

- o Hubungkan kedua *data probe* pada *probe adapter*.



Gambar 3.2. Menyambung kabel *data probe* dengan *probe adapter*

- o Sambungkan *Data Probe/Probe Adapter* dengan negatif dari *data logger*.



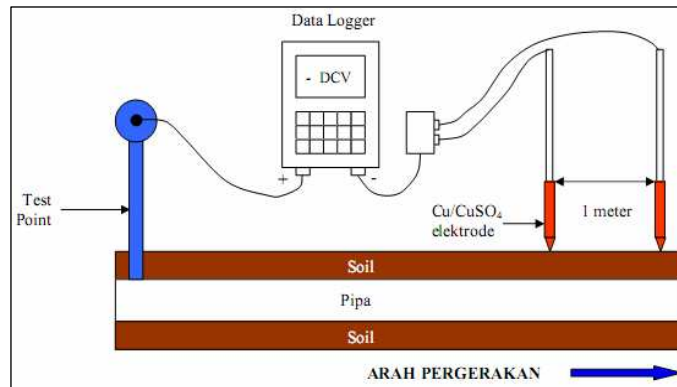
Gambar 3.3. Menghubungkan *data logger* dengan *probe adapter*

- *Setting Data Logger* sesuai dengan *User Manual* dari alat CIPS.
- Masukkan *default* untuk pembacaan potensial proteksi minimum sebesar -850 mV, dan set alarm (jika ada).
- Kalibrasi bacaan *data probe* (kedua *data probe* menunjukkan nilai bacaan potensial yang sama pada lokasi yang sama).

### 3. Pengambilan data Potensial proteksi

#### 3.1. Pengambilan data Potensial proteksi.

- Survei CIPS dilakukan tepat diatas permukaan tanah dimana pipa terpendam.
- Pengambilan data (*data logging*) dilakukan setiap interval 1 meter dari pergerakan *data probe* (metode *data logging* tergantung dari jenis *data probe* – *continuous probe* atau *push button probe*).
- Pastikan rangkaian peralatan tidak terputus selama pengambilan data.
- Ilustrasi survei CIPS seperti terlihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Skematika survei CIPS

- Jalur pipa yang melewati sungai, jalan raya, bangunan dan sebagainya sehingga *data logging* tidak bisa dilakukan, pada peralatan *data logger* diberi tanda akan adanya halangan tersebut berikut jarak yang hilang.

### 3.3.1.3. *Direct Current Voltage Gradient (DCVG)*

Survei dilakukan pada jalur pipa penyalur *crude oil* di SP Cemara menuju fasilitas pemurnian di Balongan dan juga dari SP Tambun menuju *Booster Compressor Station* di Cilamaya. Survei potensial dilakukan dengan menggunakan perlengkapan DCVG berupa *DCVG data logger*, *Current interrupter*, Elektroda Acuan Cu/CuSO<sub>4</sub>, *DC power supply*, dan *Safety pack*. Survey DCVG dilakukan untuk mendeteksi adanya cacat pelapis (*coating*) pada struktur pipa yang terpendam. Adapun SOP untuk survei CIPS adalah sebagai berikut:

1. Persiapan
  - 1.1. Peralatan

Beberapa peralatan yang digunakan untuk survei DCVG adalah sebagai berikut:

- *DCVG Data Logger*
- *Current Interrupter*
- *DC Power Supply* (12 kV, 10 Ampere)
- *Data Probe* (Elektroda Cu/CuSO<sub>4</sub>)

- Perlengkapan *Safety* untuk Personil (*Helmet, Safety Boot, Google, Gloves*)

## 1.2. *Setting* peralatan

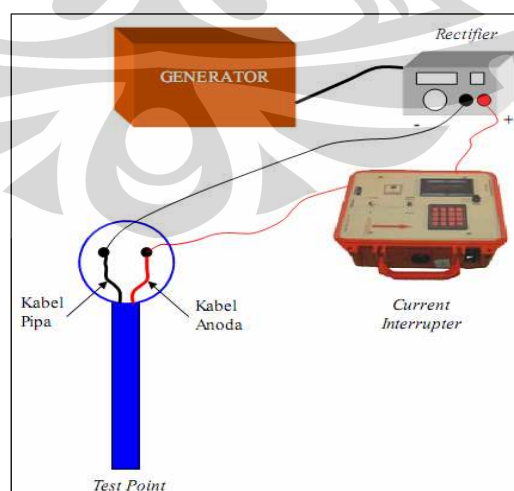
### 1.3. Persiapan

- Membaca dan menentukan posisi pipa.
- Pembersihan jalur pipa jika diperlukan.

## 2. *Setting* Peralatan

### 2.1. Rangkaian Peralatan

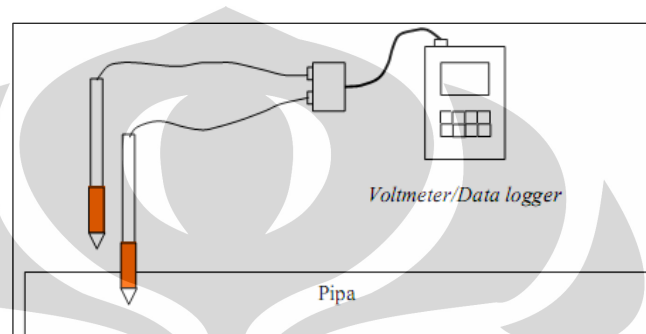
- Untuk bisa mendapatkan data *IR drop* yang terbaca pada alat (*data logger*), diperlukan *swing potential* yang cukup. Sehingga pada Sistem Proteksi Katodik dengan metode *sacrificial anode* dibutuhkan arus dari luar (dari *DC power supply*).
- Pada *Test Point*, pastikan kabel pipa tidak terhubung dengan kabel anoda.
- Hubungkan kutub positif dari *DC Power Supply* dengan Kabel anoda dan kutub negatifnya dengan Kabel Pipa.
- *Current Interrupter* dipasang seri terhadap salah satu aliran arus dari *DC Power Supply* ke anoda atau yang ke struktur pipa.



Gambar 3.5. Rangkaian peralatan untuk survei DCVG



- Setting alat *Current Interrupter* sesuai dengan manual dari alat.
- Setting On/Off potensial (*Interrupter cycle*) pada *Current Interrupter*.  
Tipikal *cycle* dari *interrupter* adalah 8 detik On dan 2 detik Off (NACE RP 0502-2002).
- Setting *reading method* dari data logger disesuaikan dengan *Current Interrupter*.



Gambar 3.6. Rangkaian *data probe* dan *voltmeter/data logger* untuk survei DCVG

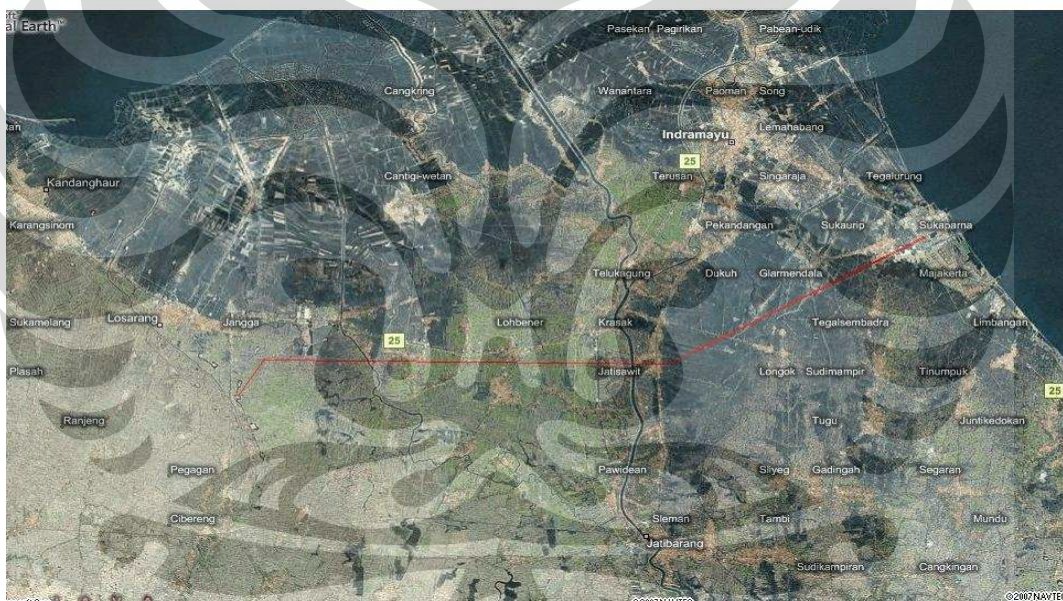
## BAB 4

### HASIL DAN ANALISIS

#### 4.1. Hasil

##### 4.1.1 Jalur Pipa Cemara – Balongan

Jalur pipa Cemara – Balongan merupakan jalur pipa terpendam sepanjang 28 km yang merupakan pipa transport untuk *crude oil* dari SP Cemara menuju fasilitas pengolahan minyak di Balongan. Lokasi jalur pipa masih dalam wilayah Kabupaten Indramayu Propinsi Jawa Barat (garis merah pada foto).



Gambar 4.1. Peta satelit dan plot jalur pipa Cemara – Balongan

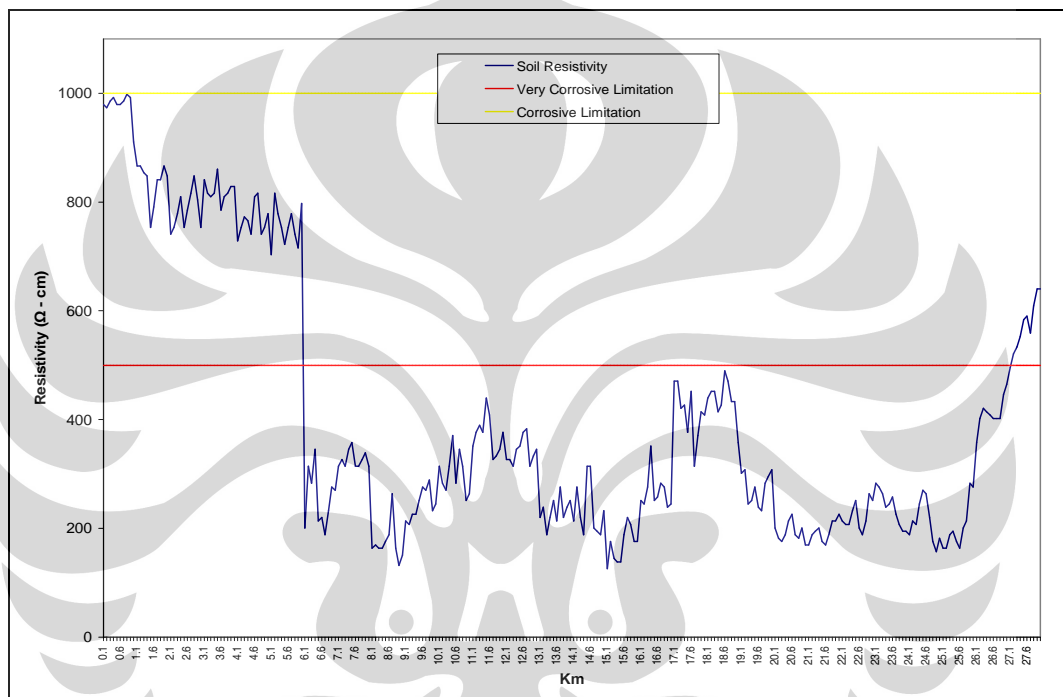
##### 4.1.1.1. Data Teknis Pipa

<u>JALUR PIPA CEMARA – BALONGAN</u>	
TAHUN DIBANGUN	: 2003
KONSTRUKSI	: WELDED, UNDERGROUND
SPEKIFIKASI PIPA	: API 5L GR. B
DIA. & PANJANG	: 8", 28.000 METER
PROTEKSI KATODIK	: Mg SACRIFICIAL ANODE
COATING	: Wrapping Tape

#### 4.1.1.2. Hasil Survei Jalur Pipa Cemara – Balongan

##### 4.1.1.2.1. Soil Resistivity

Survei nilai resistivitas tanah dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran *Wenner 4 Pin* dengan jarak antar pin sebesar 1 m, pengukuran nilai resistivitas tanah dilakukan dengan interval 100 m dari total panjang jalur pipa. Berikut adalah profil hasil survei nilai resistivitas tanah.



Gambar 4.2. Profil hasil survei nilai resistivitas tanah jalur pipa Cemara – Balongan

##### 4.1.1.2.2. Close Interval Potential Survey

CIPS yang dilakukan pada jalur Cemara – Balongan dimulai dari Balongan sebagai titik awal (0 Km) menuju SP Cemara (titik 28 Km). Namun demikian, data hasil survei CIPS yang ditampilkan dalam laporan ini dimulai dari SP Cemara sebagai km 0 sampai di Balongan sebagai km 28. Tabel berikut ini menyajikan data-data potensial tanah-ke-pipa yang telah diperoleh dari hasil survei CIPS pada jalur pipa Cemara – Balongan.

Tabel 4.1. Hasil pengukuran CIPS pada jalur pipa Cemara – Balongan

No	Km	Potensial Proteksi Rata – rata (mV)	Kondisi Proteksi Katodik
1	Km 1	> -850	Tidak Terproteksi
2	Km 2	> -850	Tidak Terproteksi
3	Km 3	> -850	Tidak Terproteksi
4	Km 4	> -850	Tidak Terproteksi
5	Km 5	> -850	Tidak Terproteksi
6	Km 6	> -850	Tidak Terproteksi
7	Km 7	> -850	Tidak Terproteksi
8	Km 8	< -850	Terproteksi
9	Km 9	< -850	Terproteksi
10	Km 10	< -850, kecuali 250 m menuju Km 19	Terproteksi
11	Km 11	< -850	Terproteksi
12	Km 12	> -850	Tidak Terproteksi
13	Km 13	> -850	Tidak Terproteksi
14	Km 14	> -850	Tidak Terproteksi
15	Km 15	< -850	Terproteksi
16	Km 16	> -850	Tidak Terproteksi
17	Km 17	> -850	Tidak Terproteksi
18	Km 18	< -850	Terproteksi
19	Km 19	> -850	Tidak Terproteksi
20	Km 20	> -850	Tidak Terproteksi
21	Km 21	> -850	Tidak Terproteksi
22	Km 22	> -850	Tidak Terproteksi
23	Km 23	> -850	Tidak Terproteksi
24	Km 24	< -850	Terproteksi
25	Km 25	> -850, kecuali radius 3 meter dari TP	Tidak Terproteksi
26	Km 26	> -850, kecuali radius 3 meter dari TP	Tidak Terproteksi
27	Km 27	> -850, kecuali radius 3 meter dari TP	Tidak Terproteksi
28	Km 28	> -850, kecuali 100 m dari TP 57 - TP 56	Tidak Terproteksi

#### 4.1.1.2.3. *Direct Current Voltage Gradient*

Dari data hasil survey CIPS sebenarnya bisa digunakan untuk melokalisir daerah mana saja dari jalur pipa yang terindikasi mengalami cacat *coating*. Tetapi untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti dari cacat *coating* yang telah terindikasi, dilakukan survey DCVG di sepanjang jalur pipa. Hasil survey DCVG berupa lokasi yang mengalami cacat *coating* serta ukuran cacat yang terjadi serta kategori cacat *coating* tersebut berdasarkan standar *NACE RP 0502-2002 (Standard Recommended Practice for Pipeline External Corrosion Direct Assessment*

*Methodology*). Berikut adalah tabel yang menyajikan data-data hasil survei DCVG pada jalur pipa Cemara – Balongan.

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran DCVG Jalur Cemara – Balongan

No	Km	Lokasi	% IR	Kategori Cacat
1	Km 1	Jarak 720 m dari Km 0	1.19	Kategori 1
2	Km 2	Jarak 650 m dari Km 1	2	Kategori 1
3	Km 3	Jarak 470 m dari Km 2	1.35	Kategori 1
4	Km 4	Jarak 850 m dari Km 3	2.9	Kategori 1
5	Km 5	Jarak 650 m dari Km 4	12.5	Kategori 1
6	Km 6	Jarak 900 m dari Km 5	2.7	Kategori 1
7	Km 7	Jarak 120 m dari Km 6	1.9	Kategori 1
8	Km 8	-	0	-
9	Km 9	-	0	-
10	Km 10	Jarak 500 m dari Km 9	6	Kategori 1
11	Km 11	Jarak 280 m dari Km 10	2.45	Kategori 1
12	Km 12	Jarak 830 m dari Km 11	1.5	Kategori 1
13	Km 13	Jarak 180 m dari Km 12	2	Kategori 1
14	Km 14	Jarak 946 m dari Km 13	2.1	Kategori 1
15	Km 15	Jarak 964 m dari Km 14	2	Kategori 1
16	Km 16	Jarak 36 m dari Km 15	1	Kategori 1
17	Km 17	Jarak 533 m dari Km 16	1.8	Kategori 1
18	Km 18	Jarak 634 m dari Km 17	2	Kategori 1
19	Km 19	Jarak 346 m dari Km 18	1.5	Kategori 1
20	Km 20	Jarak 29 m dari Km 19	2.5	Kategori 1
21	Km 21	Jarak 153 m dari Km 20	2	Kategori 1
22	Km 22	Jarak 40 m dari Km 21	2.23	Kategori 1
23	Km 23	Jarak 435 m dari Km 22	1.89	Kategori 1
24	Km 24	-	0	-
25	Km 25	Jarak 365 m dari Km 24	2.1	Kategori 1
26	Km 26	Jarak 40 m dari Km 25	1.79	Kategori 1
27	Km 27	Jarak 968 m dari Km 26	2	Kategori 1
28	Km 28	Jarak 90 m dari Km 27	1.95	Kategori 1

### 4.1.2 Jalur Pipa Tambun – Cilamaya

Jalur pipa Tambun – Cilamaya merupakan jaringan pipa untuk mengalirkan *crude oil* dari SP Tambun menuju *Booster Compressor Station* di Cilamaya. Total panjang jalur tersebut adalah  $\pm 102$  Km. Lokasi jalur pipa melewati beberapa Kabupaten di Propinsi Jawa Barat, yaitu Bekasi, Cikarang, Karawang dan Subang.



Gambar 4.3. Peta satelit dan plot jalur pipa Tambun – Cilamaya

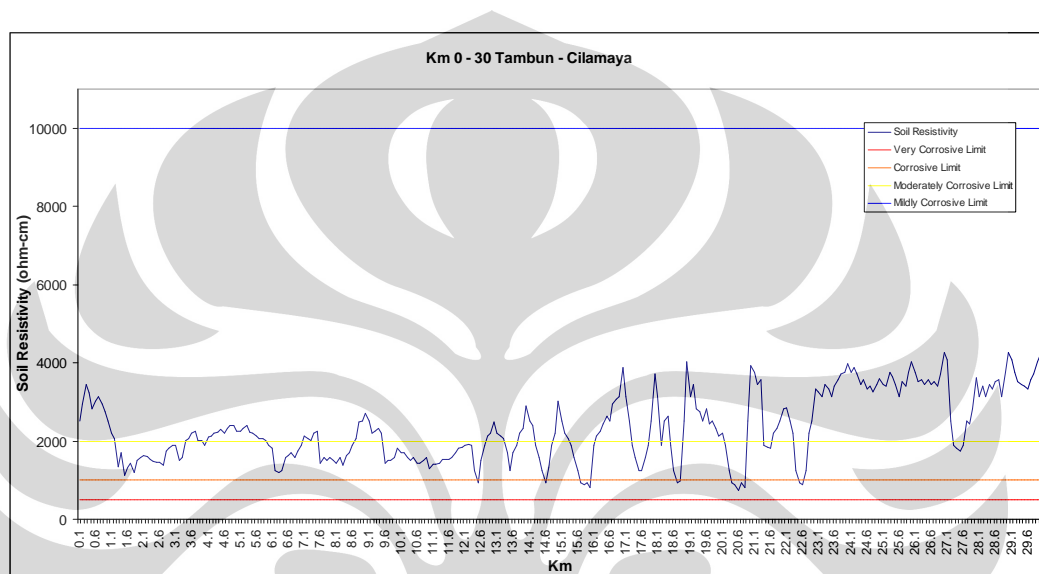
#### 4.1.2.1. Data Teknis Pipa

<u>JALUR PIPA TAMBUN – CILAMAYA</u>	
TAHUN DIBANGUN	: 2005
KONSTRUKSI	: <i>WELDED, UNDERGROUND</i>
SPEKIFIKASI PIPA	: API 5 LX-42
DIA. & PANJANG	: 8" & 102.000 METER
PROTEKSI KATODIK	: <i>SACRIFICIAL ANODE</i>
PELAPIS ( <i>COATING</i> )	: <i>PE Coating + Field Joint Coating</i>

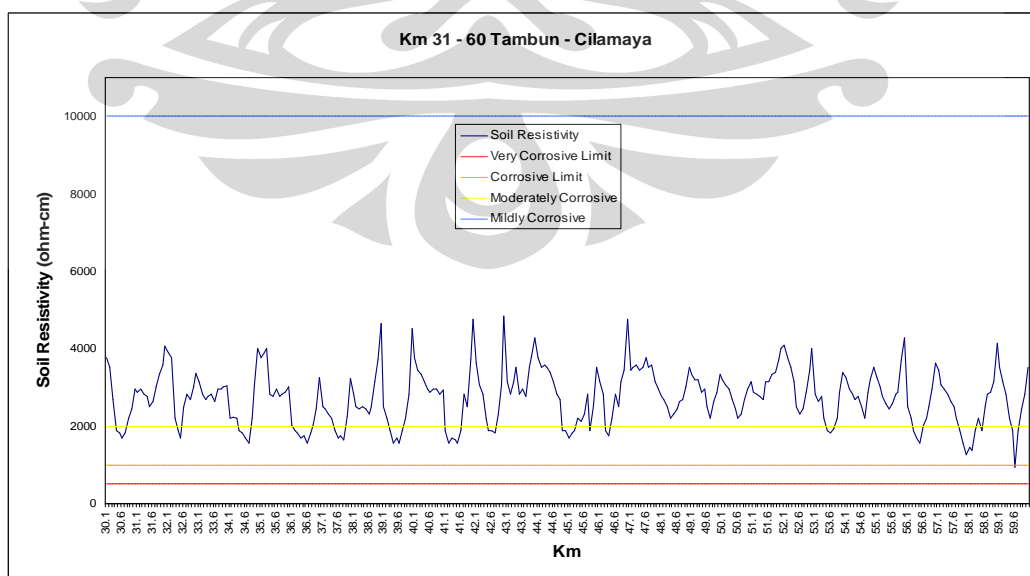
#### 4.1.2.2. Hasil Survei Jalur Pipa Tambun – Cilamaya

##### 4.1.2.2.1. Soil Resistivity

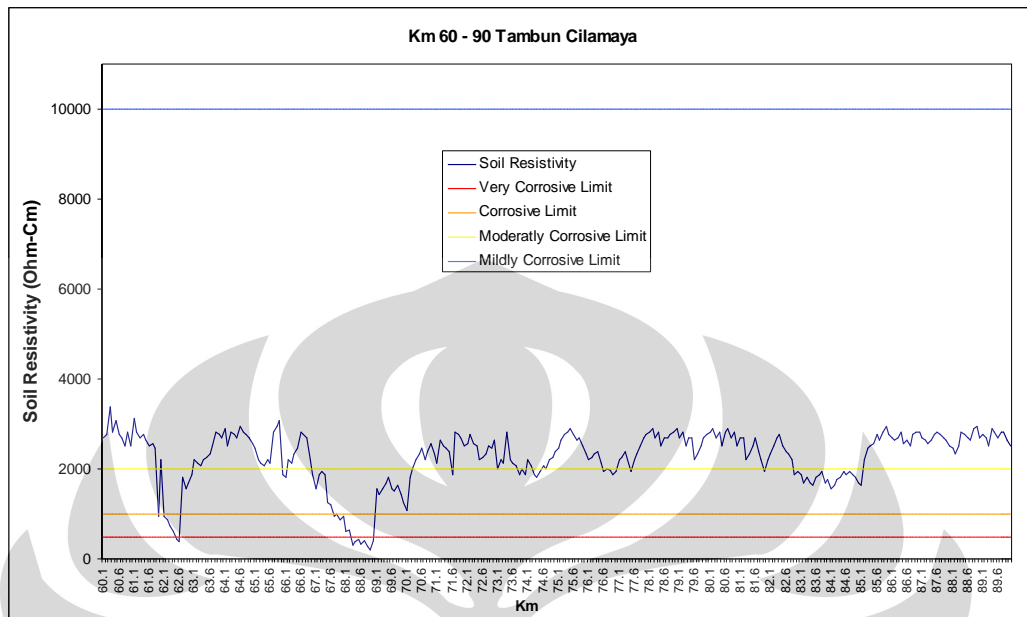
Survei nilai resistivitas tanah dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran *Wenner 4 Pin* dengan jarak antar pin sebesar 1 m, pengukuran nilai resistivitas tanah dilakukan dengan interval 100 m dari total panjang jalur pipa. Berikut ini adalah profil resistivitas tanah yang dihasilkan.



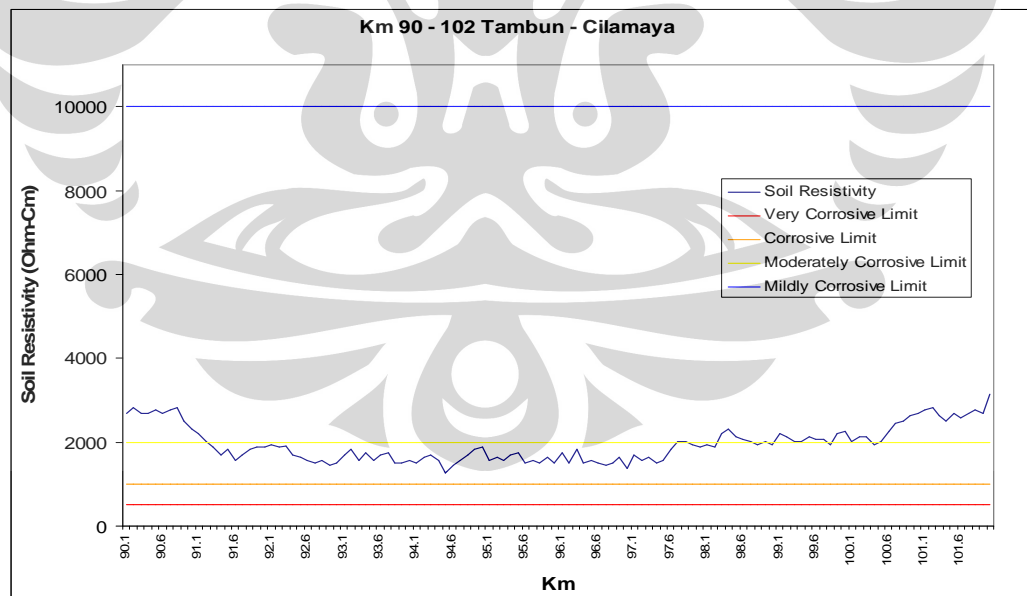
Gambar 4.4. Profil Pengukuran *soil resistivity* jalur pipa Tambun – Cilamaya Km 0 – 30



Gambar 4.5. Profil Pengukuran *soil resistivity* jalur pipa Tambun – Cilamaya Km  
31 – 60



Gambar 4.6. Profil Pengukuran *soil resistivity* jalur pipa Tambun – Cilamaya Km  
60 – 90



Gambar 4.7. Profil Pengukuran *soil resistivity* jalur pipa Tambun – Cilamaya Km  
90 – 102



#### 4.1.2.2.2. *Close Interval Potential Survey (CIPS)*

CIPS yang dilakukan pada jalur Tambun – Cilamaya dimulai dari SP Tambun sebagai titik awal (0 Km) menuju *Booster Compressor Station* di Cilamaya (titik 102 Km). Berikut ini adalah tabel yang menyajikan data-data potensial tanah-ke-pipa yang telah diperoleh dari hasil survei CIPS pada jalur pipa Cemara – Balongan.

Tabel 4.3. Hasil pengukuran CIPS pada jalur pipa Tambun – Cilamaya

No	Km	Potensial Proteksi Rata – rata (mV)	Kondisi Proteksi Katodik
1	Km 1	< -850	Terproteksi
2	Km 2	< -850	Terproteksi
3	Km 3	< -850	Terproteksi
4	Km 4	< -850	Terproteksi
5	Km 5	< -850	Terproteksi
6	Km 6	< -850	Terproteksi
7	Km 7	< -850	Terproteksi
8	Km 8	< -850	Terproteksi
9	Km 9	< -850	Terproteksi
10	Km 10	< -850	Terproteksi
11	Km 11	< -850	Terproteksi
12	Km 12	< -850	Terproteksi
13	Km 13	< -850	Terproteksi
14	Km 14	< -850	Terproteksi
15	Km 15	< -850	Terproteksi
16	Km 16	< -850	Terproteksi
17	Km 17	< -850	Terproteksi
18	Km 18	< -850	Terproteksi
19	Km 19	< -850	Terproteksi
20	Km 20	< -850	Terproteksi
21	Km 21	< -850	Terproteksi
22	Km 22	< -850	Terproteksi
23	Km 23	< -850	Terproteksi
24	Km 24	< -850	Terproteksi
25	Km 25	< -850	Terproteksi
26	Km 26	> -850	Tidak Terproteksi
27	Km 27	< -850	Terproteksi
28	Km 28	< -850	Terproteksi
29	Km 29	< -850	Terproteksi
30	Km 30	< -850	Terproteksi
31	Km 31	< -850	Terproteksi
32	Km 32	< -850	Terproteksi
33	Km 33	< -850	Terproteksi
34	Km 34	< -850	Terproteksi

35	Km 35	< -850	Terproteksi
36	Km 36	< -850	Terproteksi
37	Km 37	< -850	Terproteksi
38	Km 38	< -850	Terproteksi
39	Km 39	< -850	Terproteksi
40	Km 40	< -850	Terproteksi
41	Km 41	< -850	Terproteksi
42	Km 42	< -850	Terproteksi
43	Km 43	< -850	Terproteksi
44	Km 44	< -850	Terproteksi
45	Km 45	< -850	Terproteksi
46	Km 46	< -850	Terproteksi
47	Km 47	< -850	Terproteksi
48	Km 48	< -850	Terproteksi
49	Km 49	< -850	Terproteksi
50	Km 50	< -850	Terproteksi
51	Km 51	< -850	Terproteksi
52	Km 52	< -850	Terproteksi
53	Km 53	< -850	Terproteksi
54	Km 54	< -850	Terproteksi
55	Km 55	< -850	Terproteksi
56	Km 56	< -850	Terproteksi
57	Km 57	< -850	Terproteksi
58	Km 58	< -850	Terproteksi
59	Km 59	< -850	Terproteksi
60	Km 60	< -850	Terproteksi
61	Km 61	< -850	Terproteksi
62	Km 62	< -850	Terproteksi
63	Km 63	< -850	Terproteksi
64	Km 64	< -850	Terproteksi
65	Km 65	< -850	Terproteksi
66	Km 66	< -850	Terproteksi
67	Km 67	< -850	Terproteksi
68	Km 68	< -850	Terproteksi
69	Km 69	< -850	Terproteksi
70	Km 70	< -850	Terproteksi
71	Km 71	< -850	Terproteksi
72	Km 72	< -850	Terproteksi
73	Km 73	< -850	Terproteksi
74	Km 74	< -850	Terproteksi
75	Km 75	< -850	Terproteksi
76	Km 76	< -850	Terproteksi
77	Km 77	< -850	Terproteksi
78	Km 78	< -850	Terproteksi
79	Km 79	< -850	Terproteksi
80	Km 80	< -850	Terproteksi
81	Km 81	< -850	Terproteksi
82	Km 82	< -850	Terproteksi
83	Km 83	< -850	Terproteksi
84	Km 84	< -850	Terproteksi

85	Km 85	< -850	Terproteksi
86	Km 86	< -850	Terproteksi
87	Km 87	< -850	Terproteksi
88	Km 88	< -850	Terproteksi
89	Km 89	< -850	Terproteksi
90	Km 90	< -850	Terproteksi
91	Km 91	< -850	Terproteksi
92	Km 92	< -850	Terproteksi
93	Km 93	< -850	Terproteksi
94	Km 94	< -850	Terproteksi
95	Km 95	< -850	Terproteksi
96	Km 96	< -850	Terproteksi
97	Km 97	< -850	Terproteksi
98	Km 98	< -850	Terproteksi
99	Km 99	< -850	Terproteksi
100	Km 100	< -850	Terproteksi
101	Km 101	< -850	Terproteksi
102	Km 102	< -850	Terproteksi

#### 4.1.2.2.3. *Direct Current Voltage Gradient (DCVG)*

Pengukuran DCVG pada jalur pipa Tambun – Cilamaya mengindikasikan bahwa mayoritas dari jalur pipa tersebut *coating*-nya masih dalam kondisi baik, mengingat tidak terdeteksinya %*IR Drop* pada saat dilakukan pengukuran dengan DCVG. Berikut ini adalah tabel yang menyajikan data-data hasil survei DCVG pada jalur pipa Tambun – Cilamaya.

Tabel 4.4. Hasil Pengukuran DCVG Jalur Tambun – Cilamaya.

No	Km	% IR	Lokasi	Kategori Cacat
1	Km 1	0	-	Tidak Terdeteksi
2	Km 2	0	-	Tidak Terdeteksi
3	Km 3	0	-	Tidak Terdeteksi
4	Km 4	0	-	Tidak Terdeteksi
5	Km 5	0	-	Tidak Terdeteksi
6	Km 6	0	-	Tidak Terdeteksi
7	Km 7	0.8	230 m dari Km 6	Kategori 1
8	Km 8	1.1	50 m dari Km 7	Kategori 1
9	Km 9	0.4	870 m dari Km 8	Kategori 1
10	Km 10	1	670 m dari Km 9	Kategori 1
11	Km 11	0.9	85 m dari Km 10	Kategori 1
12	Km 12	2.4	60 m dari Km 11	Kategori 1
13	Km 13	0	-	Tidak Terdeteksi
14	Km 14	0	-	Tidak Terdeteksi
15	Km 15	0	-	Tidak Terdeteksi

16	Km 16	0	-	Tidak Terdeteksi
17	Km 17	0	-	Tidak Terdeteksi
18	Km 18	0	-	Tidak Terdeteksi
19	Km 19	0	-	Tidak Terdeteksi
20	Km 20	0	-	Tidak Terdeteksi
21	Km 21	0	-	Tidak Terdeteksi
22	Km 22	0	-	Tidak Terdeteksi
23	Km 23	0	-	Tidak Terdeteksi
24	Km 24	0	-	Tidak Terdeteksi
25	Km 25	0	-	Tidak Terdeteksi
26	Km 26	0	-	Tidak Terdeteksi
27	Km 27	0	-	Tidak Terdeteksi
28	Km 28	0	-	Tidak Terdeteksi
29	Km 29	0	-	Tidak Terdeteksi
30	Km 30	0	-	Tidak Terdeteksi
31	Km 31	0	-	Tidak Terdeteksi
32	Km 32	0	-	Tidak Terdeteksi
33	Km 33	0	-	Tidak Terdeteksi
34	Km 34	0	-	Tidak Terdeteksi
35	Km 35	0	-	Tidak Terdeteksi
36	Km 36	0	-	Tidak Terdeteksi
37	Km 37	0	-	Tidak Terdeteksi
38	Km 38	0	-	Tidak Terdeteksi
39	Km 39	0	-	Tidak Terdeteksi
40	Km 40	0	-	Tidak Terdeteksi
41	Km 41	0	-	Tidak Terdeteksi
42	Km 42	0	-	Tidak Terdeteksi
43	Km 43	0	-	Tidak Terdeteksi
44	Km 44	0	-	Tidak Terdeteksi
45	Km 45	0	-	Tidak Terdeteksi
46	Km 46	0	-	Tidak Terdeteksi
47	Km 47	0	-	Tidak Terdeteksi
48	Km 48	0	-	Tidak Terdeteksi
49	Km 49	0	-	Tidak Terdeteksi
50	Km 50	0	-	Tidak Terdeteksi
51	Km 51	0	-	Tidak Terdeteksi
52	Km 52	0	-	Tidak Terdeteksi
53	Km 53	0	-	Tidak Terdeteksi
54	Km 54	0	-	Tidak Terdeteksi
55	Km 55	0	-	Tidak Terdeteksi
56	Km 56	0	-	Tidak Terdeteksi
57	Km 57	0	-	Tidak Terdeteksi
58	Km 58	0	-	Tidak Terdeteksi
59	Km 59	0	-	Tidak Terdeteksi

60	Km 60	0	-	Tidak Terdeteksi
61	Km 61	0	-	Tidak Terdeteksi
62	Km 62	0	-	Tidak Terdeteksi
63	Km 63	0	-	Tidak Terdeteksi
64	Km 64	0	-	Tidak Terdeteksi
65	Km 65	0	-	Tidak Terdeteksi
66	Km 66	0	-	Tidak Terdeteksi
67	Km 67	0	-	Tidak Terdeteksi
68	Km 68	0	-	Tidak Terdeteksi
69	Km 69	0	-	Tidak Terdeteksi
70	Km 70	0	-	Tidak Terdeteksi
71	Km 71	0	-	Tidak Terdeteksi
72	Km 72	0	-	Tidak Terdeteksi
73	Km 73	0	-	Tidak Terdeteksi
74	Km 74	0	-	Tidak Terdeteksi
75	Km 75	0	-	Tidak Terdeteksi
76	Km 76	0	-	Tidak Terdeteksi
77	Km 77	0	-	Tidak Terdeteksi
78	Km 78	0	-	Tidak Terdeteksi
79	Km 79	0	-	Tidak Terdeteksi
80	Km 80	0	-	Tidak Terdeteksi
81	Km 81	0	-	Tidak Terdeteksi
82	Km 82	0	-	Tidak Terdeteksi
83	Km 83	0	-	Tidak Terdeteksi
84	Km 84	0	-	Tidak Terdeteksi
85	Km 85	0	-	Tidak Terdeteksi
86	Km 86	0	-	Tidak Terdeteksi
87	Km 87	0	-	Tidak Terdeteksi
88	Km 88	0	-	Tidak Terdeteksi
89	Km 89	0	-	Tidak Terdeteksi
90	Km 90	0	-	Tidak Terdeteksi
91	Km 91	0	-	Tidak Terdeteksi
92	Km 92	0	-	Tidak Terdeteksi
93	Km 93	0	-	Tidak Terdeteksi
94	Km 94	0	-	Tidak Terdeteksi
95	Km 95	0	-	Tidak Terdeteksi
96	Km 96	0	-	Tidak Terdeteksi
97	Km 97	0	-	Tidak Terdeteksi
98	Km 98	0	-	Tidak Terdeteksi
99	Km 99	0	-	Tidak Terdeteksi
100	Km 100	0	-	Tidak Terdeteksi
101	Km 101	0	-	Tidak Terdeteksi
102	Km 102	0	-	Tidak Terdeteksi

## 4.2. Analisis

### 4.2.1 Hasil Survei Jalur Pipa Cemara – Balongan

#### 4.2.1.1. *Soil Resistivity*

Pada grafik resistivitas tanah (Gambar 4.2) terlihat bahwa terdapat sebaran nilai resistivitas tanah yang rendah, berada di bawah 500  $\Omega\text{cm}$ , mulai pada Km 6 hingga Km 27. Rendahnya nilai resistivitas tanah pada kilometer tersebut dapat disebabkan oleh karena jalur pipa Cemara – Balongan melintasi areal persawahan yang luas. Areal persawahan merupakan tanah dengan kadar air yang tinggi dan juga banyak substansi organik yang telah mengalami pembusukan.

Jangkauan Resistivitas	Korosi
< 1000 $\Omega\text{cm}$	Sangat parah
1000-5000 $\Omega\text{cm}$	Parah hingga sedang
5000-15000 $\Omega\text{cm}$	Sedang hingga ringan
> 15000 $\Omega\text{cm}$	Ringan

Dengan nilai resistivitas tanah yang rendah tersebut maka tanah di areal persawahan masuk ke dalam kategori tingkat korosifitas sangat parah. Pipa yang tidak diproteksi baik dengan proteksi katodik ataupun pelapis organik akan cepat terkorosi pada medium tanah seperti ini.

#### 4.2.1.2. *Close Interval Potential Survey*

Hasil pengukuran di sepanjang jalur tersebut menunjukkan adanya beberapa bagian dari jalur pipa yang dalam kondisi yang secara ideal tidak terproteksi (ditunjukkan dengan bacaan potensial terproteksi yang lebih besar dari -850 mV). Terlihat pada Tabel 4.1 sebagian besar kondisi proteksi katodik tidak bekerja, sekitar 7 Km atau 25%, yang masih terproteksi, dari total jalur pipa. Hal ini mungkin dapat disebabkan oleh karena anoda pada sistem proteksi katodik telah berkurang efektifitasnya sehingga arus proteksi yang dikeluarkan berkurang.

Kerusakan pipa akibat korosi tidak langsung begitu saja dijustifikasi hanya melalui data keluaran survei CIPS karena masih ada sistem proteksi pelapis organik yang masih bekerja. Justifikasi mengenai telah terjadi kerusakan pipa akibat korosi baru bisa dilakukan melalui data keluaran survei DCVG. Dari data

tersebut dapat diperkirakan lokasi dan ukuran dari cacat pelapis organik sehingga kerusakan akibat korosi pada lokasi tersebut dapat ditengarai seketika oleh karena telah terjadi kerusakan pada pelapis organik yang digunakan.

#### 4.2.1.3. *Direct Current Voltage Gradient*

Hasil pengukuran DCVG pada Tabel 4.2, memperlihatkan bahwa umumnya cacat *coating* yang terjadi di sepanjang jalur pipa Cemara - Balongan masuk dalam kategori 1 berdasarkan *NACE RP-0502-2002 point A6.4*. Dimana pada kategori 1 disebutkan % IR berkisar dari 1 – 15%. Dengan kondisi cacat *coating* yang masuk dalam kategori 1, maka cacat pelapis yang terjadi pada jalur pipa Cemara – Balongan merupakan jenis cacat pelapis ringan, dimana tidak perlu dilakukan perbaikan terhadap pelapis pada area yang mengalami cacat. Dalam hal ini yang perlu dilakukan adalah memperbaiki sistem proteksi katodik sebagai perlindungan jangka panjang terhadap struktur eksternal pipa yang terbuka.

##### Contoh Perhitungan % IR dari DCVG.

$$\begin{aligned} \text{Formula \% IR} &= \text{Total mV/IR Drop} \times 100\% \\ \text{Total mV} &= \text{Total Reading Positive Potentials} \end{aligned}$$

##### Contoh : Posisi di Km 4 – 5 (+ 40 m setelah TP 8 Cemara)

$$\begin{aligned} \text{Total mV} &= 15.3 + 12.5 + 10.2 + 2.6 \\ &= 40.6 \end{aligned}$$

##### *Additional DC Power Supply*

$$\begin{aligned} \text{On Position} &= - 1446 \text{ mV} \\ \text{Off Position} &= - 1121 \text{ mV} \\ \text{IR Drop} &= 325 \text{ mV} \\ \% \text{ IR Drop} &= 40.6/325 \times 100\% \\ &= 12.5 \% \end{aligned}$$

Untuk mengetahui kondisi dari pelapis yang sebenarnya maka dilakukan penggalian pada Km 4 – 5 dengan %IR drop 12.5% dan pada Km 20 – 21 dengan %IR drop 2.5%, berikut gambarnya.



Gambar 4.8 Cacat pelapis (%IR = 12.5) pada Km 4 – 5



Gambar 4.9. Cacat pelapis (%IR = 2.5) pada Km 20 – 21

Dari gambar di atas jika diamati maka terdapat cacat pelapis pada daerah lipatan dari *wrapping tape*. Terjadinya cacat kecil di bagian tersebut mungkin karena bagian tepi *wrapping tape* adalah bagian yang mudah sobek atau terkelupas jika terkena beban mekanik dari lingkungan sekitar. Mengenai profil potensial hasil survei CIPS dari kedua Km tersebut dapat dilihat di lampiran.

## 4.2.2 Hasil Survei Jalur Pipa Tambun – Cilamaya

### 4.2.2.1. *Soil Resistivity*

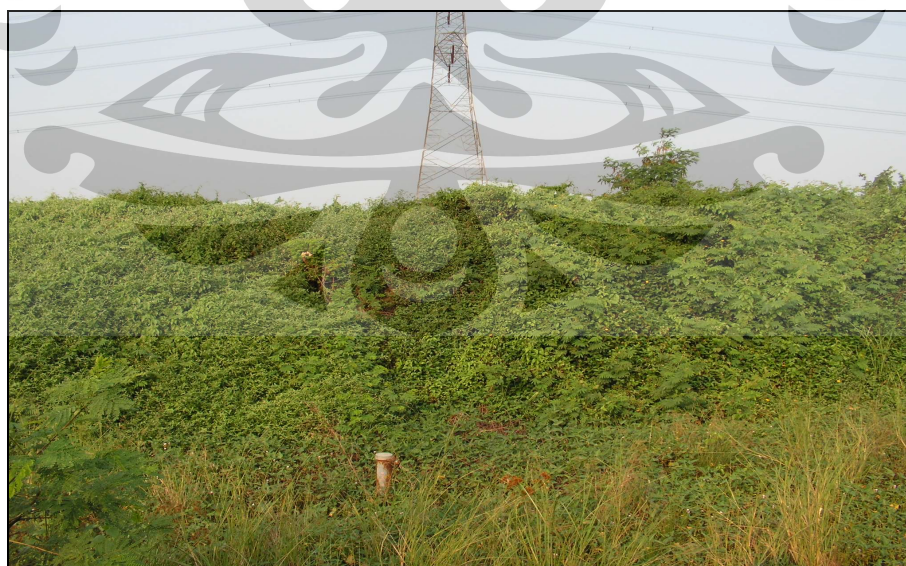
Dari grafik resistivitas tanah (Gambar 4.4 – Gambar 4.7) dapat dilihat bahwa nilai resistivitas tanah sepanjang jalur pipa memiliki tren yang konstan yakni berada disekitar kriteria korosif moderat. Berbeda dengan profil resistivitas



tanah yang diperoleh dari daerah Cemara – Balongan dimana nilai resistivitas tanahnya pada kisaran di bawah 500  $\Omega\text{cm}$ , nilai resistivitas tanah pada jalur pipa Tambun – Cilamaya berada pada kisaran 1000 – 4000  $\Omega\text{cm}$ . Kisaran tersebut dikarenakan kondisi tanah yang berbeda, jika di Cemara – Balongan merupakan area persawahan maka di Tambun – Cilamaya merupakan kombinasi dari berbagai jenis tanah mulai dari yang basah sedang hingga tanah kering di area permukiman. Kisaran 1000 – 4000  $\Omega\text{cm}$  menunjukkan bahwa tingkat korosifitas tersebut tidak akan banyak berpengaruh pada kinerja sistem proteksi katodik maupun pelapis organik yang digunakan.

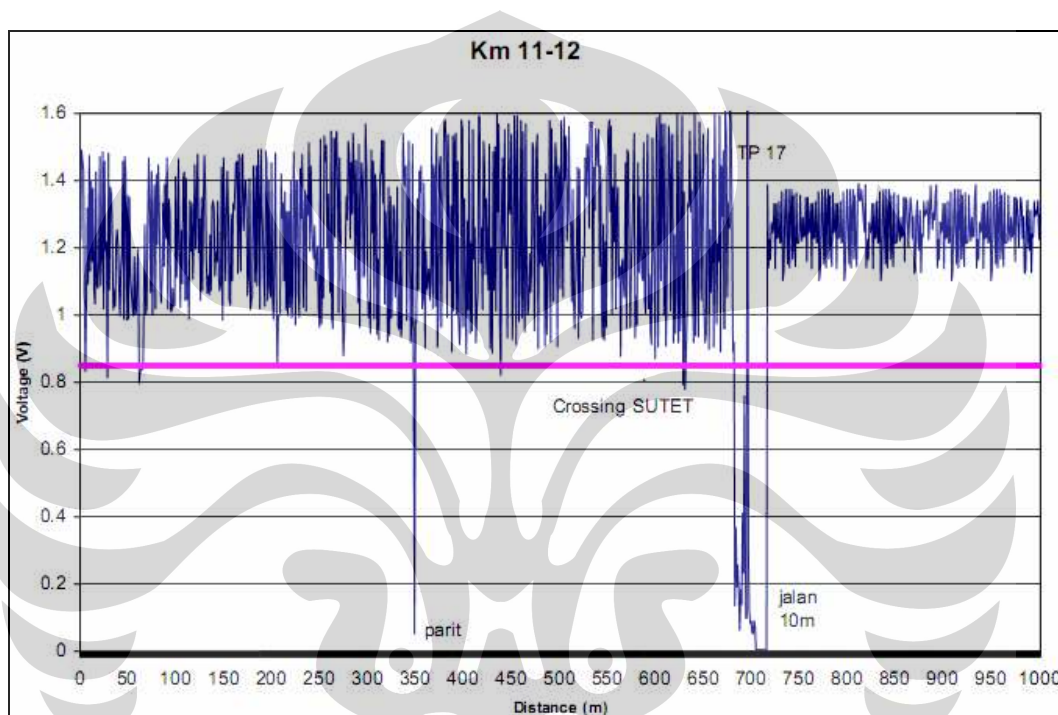
#### 4.2.2.2. *Close Interval Potential Survey*

Dari data yang didapatkan diperoleh indikasi bahwa sistem proteksi katodik yang dipergunakan masih bekerja dengan baik dan juga tidak ada indikasi dari pelapis yang digunakan ada yang mengalami kerusakan yang parah pada titik tertentu. Walaupun tidak terdapat indikasi kerusakan yang parah pada sistem proteksi jalur pipa baik sistem proteksi katodiknya ataupun pelapisnya namun ada hal lain yang perlu diperhatikan karena berpotensi mengancam integritas jalur pipa. Hal lain tersebut adalah Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) yang melintasi jalur pipa.



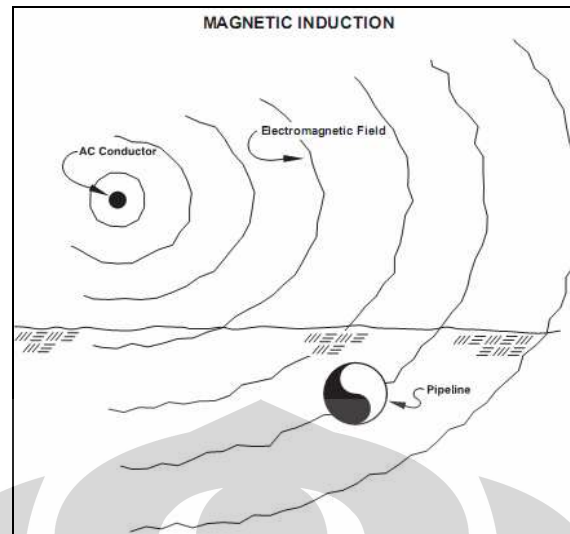
Gambar 4.10. SUTET yang terletak di sekitar jalur pipa

Adanya SUTET menyebabkan interferensi pada jalur pipa yang mengganggu pembacaan pada saat survei CIPS dilakukan. Nilai potensial yang terbaca menjadi lebih negatif (mengalami penurunan) dari nilai potensial yang terbaca pada TP sebelumnya. Pada TP 12 – TP 17 nilai potensial yang terbaca berada pada kisaran  $-1,2\text{V}$ — $-1,4\text{V}$  sedangkan pada TP sebelumnya nilai potensial yang terbaca berada pada kisaran  $-1,2\text{V}$ . Berikut adalah profil potensial pada daerah di bawah SUTET;



Gambar 4.11. Grafik hasil survei CIPS yang mendapat interferensi dari SUTET

Interferensi yang disebabkan arus AC ini dapat memberikan dampak negatif bagi jalur pipa terutama pada daerah *joint*. Pengaruh yang ditimbulkan dari arus AC ini dikenal sebagai *AC Induced Corrosion*. Korosi jenis ini merupakan ancaman yang penting terhadap integritas jalur pipa terpendam, karena laju korosi lokal yang sangat tinggi yang dihasilkan. Dapat menyebabkan laju korosi (*metal loss*) sebesar 1 mm per tahun [17]. *AC Induced Corrosion* terjadi pada cacat kecil pelapis (*small coating holidays*) pada jalur pipa yang terlapis dengan baik ketika jalur pipa terkena induksi arus bolak-balik (AC) [17].



Gambar 4.12. Mekanisme induksi tegangan antara SUTET dengan jalur pipa

Richard W. Bonds, P.E., *The effect of overhead AC power lines pralleling ductile iron pipelines*  
(Ductile Iron Pipe Reseach Association)

Korosi jenis ini terjadi jika jalur pipa sejajar dengan kabel dari SUTET, tegangan pada SUTET menghasilkan medan elektromagnetik yang akan menginduksi struktur logam di sekitarnya dan arus dapat mengalir pada struktur tersebut. Menurut sebuah penelitian yang dilakukan di Jerman diketahui bahwa:

- Korosi tidak terjadi pada rapat arus AC  $< 20 \text{ A/m}^2$ .
- Laju korosi  $> 0.1 \text{ mm/yr}$  dapat terjadi pada rapat arus AC  $> 100 \text{ A/m}^2$ .
- Untuk rapat arus AC  $\geq 20 \text{ A/m}^2$ , kriteria potensial proteksi yang biasa digunakan untuk proteksi katodik tidak bekerja.

Tidak hanya faktor rapat arus saja yang mempengaruhi korosi jenis ini, pelapis dengan kekuatan dielektrik yang tinggi, resistivitas tanah yang rendah juga mempengaruhi terjadinya korosi. Kekuatan dielektrik yang tinggi menyebabkan arus induksi tertahan dalam pipa dan tidak mengalir kembali ke tanah, resistivitas tanah yang rendah memudahkan arus induksi mengalir ke jalur pipa melalui tanah. Adapun solusi untuk masalah ini adalah memasang *grounding system*, yang kompatibel dengan sistem proteksi katodik yang digunakan, pada jalur pipa yang berdekatan dengan SUTET sehingga mereduksi rapat arus AC di bawah  $20 \text{ A/m}^2$ .

#### 4.2.2.3. *Direct Current Voltage Gradient*

Pengukuran DCVG pada area dari jalur pipa yang terindikasi mengalami *AC Interference* (menunjukkan adanya penurunan potensial proteksi yang fluktuatif) menghasilkan %IR *Drop* yang relatif sangat kecil. Sehingga bisa diperkirakan keluar masuknya arus *interference* banyak dipengaruhi oleh area *joint*. Berikut disajikan data pada Km 7 – 12 yang menunjukkan cacat pelapis kategori 1.

No	Km	% IR	Lokasi	Kategori Cacat
7	Km 7	0.8	230 m dari Km 6	Kategori 1
8	Km 8	1.1	50 m dari Km 7	Kategori 1
9	Km 9	0.4	870 m dari Km 8	Kategori 1
10	Km 10	1	670 m dari Km 9	Kategori 1
11	Km 11	0.9	85 m dari Km 10	Kategori 1
12	Km 12	2.4	60 m dari Km 11	Kategori 1

Pada Km 7-12 terjadi %IR *drop* yang berbeda-beda yang menandakan bahwa terdapat cacat pada pelapis pipa terpendam. Kemudian pada Km 8 dengan %IR *drop* 1,1 dilakukan penggalian dan didapati cacat yang relatif kecil yang mungkin dikarenakan gaya mekanik dari tanah atau proses penanganan pada saat transportasi atau instalasi. Dari besarnya %IR *drop* yang dihitung maka jenis cacat tersebut masuk ke dalam kategori 1 sesuai dengan *NACE RP 0502-2002*. Berikut adalah gambar yang menunjukkan hal tersebut.



Gambar 4.13. Cacat kecil pada pelapis berkategori 1 dengan %IR *drop* 1,1

Jika terjadi kerusakan yang cukup besar pada pelapis pipa maka akan terindikasi pada grafik hasil survei CIPS penurunan nilai potensial proteksi yang jauh dari kriteria  $-850$  mV (CSE) untuk kriteria proteksi katodik pipa baja. Namun hal itu tidak terlihat pada grafik hasil survei CIPS. Mengenai kerusakan yang terjadi dan masih dalam kategori 1 mungkin disebabkan tidak hanya oleh kesalahan pada saat transportasi ataupun instalasi, cacat pelapis kategori 1 ini mungkin juga disebabkan oleh kerusakan mekanik yang berasal dari pergerakan tanah dimana terdapat fraksi bebatuan kecil hingga sedang yang berkontak dengan permukaan pelapis sehingga menimbulkan cacat seperti yang terlihat pada gambar 4.13 di atas.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

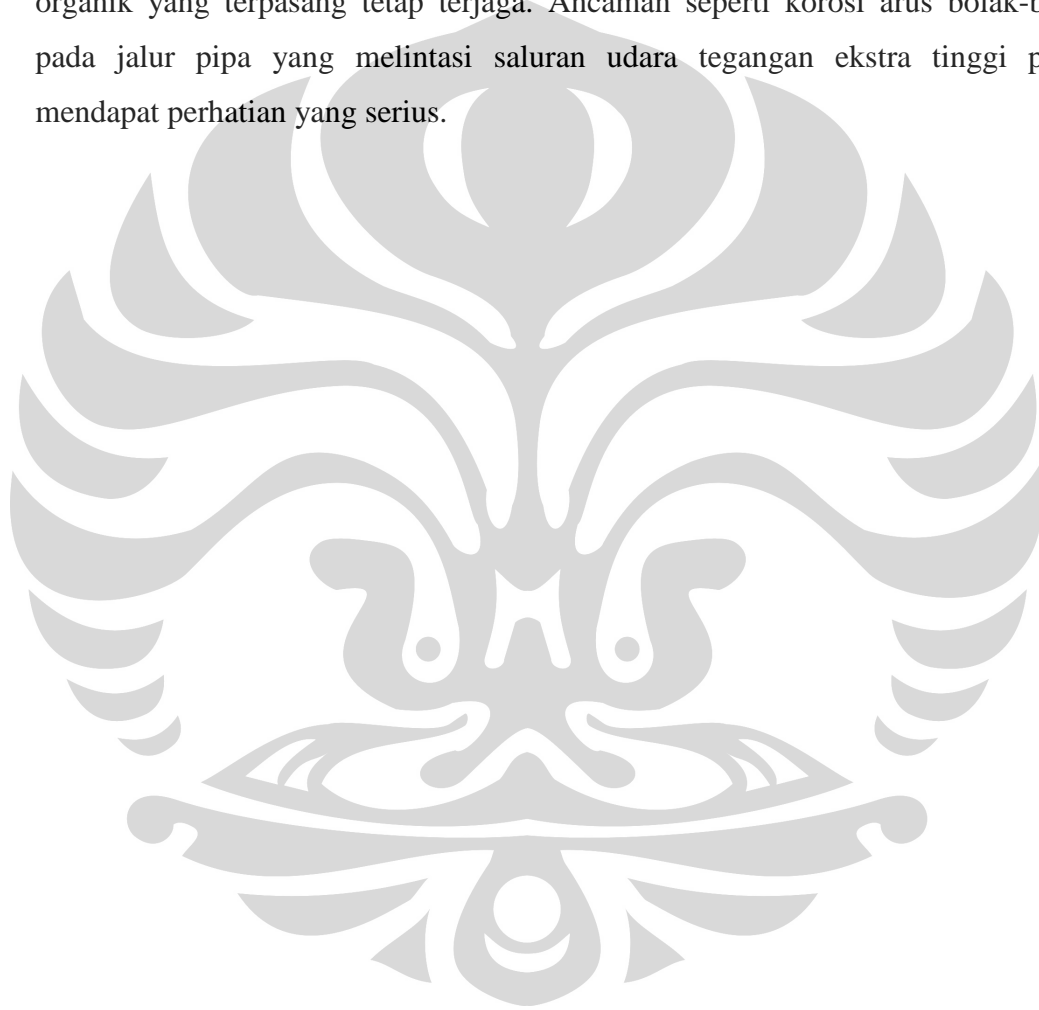
#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Resistivitas tanah di daerah jalur pipa Cemara – Balongan berada pada kisaran  $< 500 \Omega\text{cm}$  dan masuk pada kategori korosi sangat parah. Resistivitas tanah di daerah jalur pipa Tambun – Cilamaya berada pada kisaran  $1000 - 4000 \Omega\text{cm}$  dan masuk pada kategori korosi sedang.
2. Sekitar 75% dari total jalur pipa Cemara – Balongan tidak terproteksi dengan baik dengan potensial proteksi  $> -850 \text{ mV}$ . Sekitar 99% dari total jalur pipa Tambun – Cilamaya terproteksi dengan baik dengan potensial proteksi  $< -850 \text{ mV}$ .
3. Hasil survei DCVG pada jalur pipa Cemara – Balongan menunjukkan cacat pelapis sebesar 89% dari total panjang jalur pipa. Hasil survei DCVG pada jalur pipa Tambun – Cilamaya menunjukkan 6 titik (5.9%) cacat pelapis pada Km 7 – 12.
4. Secara keseluruhan kinerja pelapis organik pada jalur pipa Cemara – Balongan dan Tambun – Cilamaya masih baik berdasarkan hasil survei CIPS dan DCVG.
5. Pelapis organik masih efektif dalam melindungi jalur pipa karena didukung oleh kinerja proteksi katodik yang masih baik secara keseluruhan.

## 5.2. Saran

Saran dari penulis adalah dilakukan pengkajian yang berkesinambungan terhadap kinerja pelapis sehingga integritas jalur pipa tidak terganggu. Untuk sistem proteksi katodik jalur pipa Cemara – Balongan perlu dilakukan peningkatan efektifitas karena terjadi penurunan kinerja/efektifitas berdasarkan hasil survei CIPS, hal ini penting agar daya dukung terhadap sistem pelapis organik yang terpasang tetap terjaga. Ancaman seperti korosi arus bolak-balik pada jalur pipa yang melintasi saluran udara tegangan ekstra tinggi perlu mendapat perhatian yang serius.



## DAFTAR REFERENSI

- [1] Henry Liu, *Pipeline Engineering* (New York: Lewis Publishers (CRC Press LLC), 2003) hal 3
- [2] Henry Liu, *Pipeline Engineering* (New York: Lewis Publishers (CRC Press LLC), 2003) hal 11
- [3] Henry Liu, *Pipeline Engineering* (New York: Lewis Publishers (CRC Press LLC), 2003) hal 12-16
- [4] Samuel A. Bradford, *Corrosion Control* (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) hal 1-3
- [5] Samuel A. Bradford, *Corrosion Control* (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) hal 137-138
- [6] Piere R. Roberge, *Corrosion Engineering: Principles and Practice* (New York: McGraw-Hill Book Company, 2008) hal 387
- [7] J.R. Davis, *Introduction to Surface Engineering for Corrosion and Wear* (ASM International, 2001) hal 11-14
- [8] ASM Handbook, *Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection Volume 13A* (ASM International, 2003) hal 1015
- [9] Pierre R. Roberge, *Handbook of Corrosion Engineering* (New York: McGraw-Hill, 1999) hal 781
- [10] Samuel A. Bradford, *Corrosion Control* (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) hal 224
- [11] A.W. Peabody, *Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition* (USA:NACE International, 2001) hal 7
- [12] W. von Baeckmann, dkk., *Handbook of Cathodic Corrosion Protection Third Edition* (USA: Gulf Professional Publishing (Elsevier Science), 1997) hal 155



[13] Zeno W. Wicks, Jr., dkk., *Organic Coatings Science and Technology Third Edition* (USA: John Wiley & Sons, Inc., 2007) hal 4

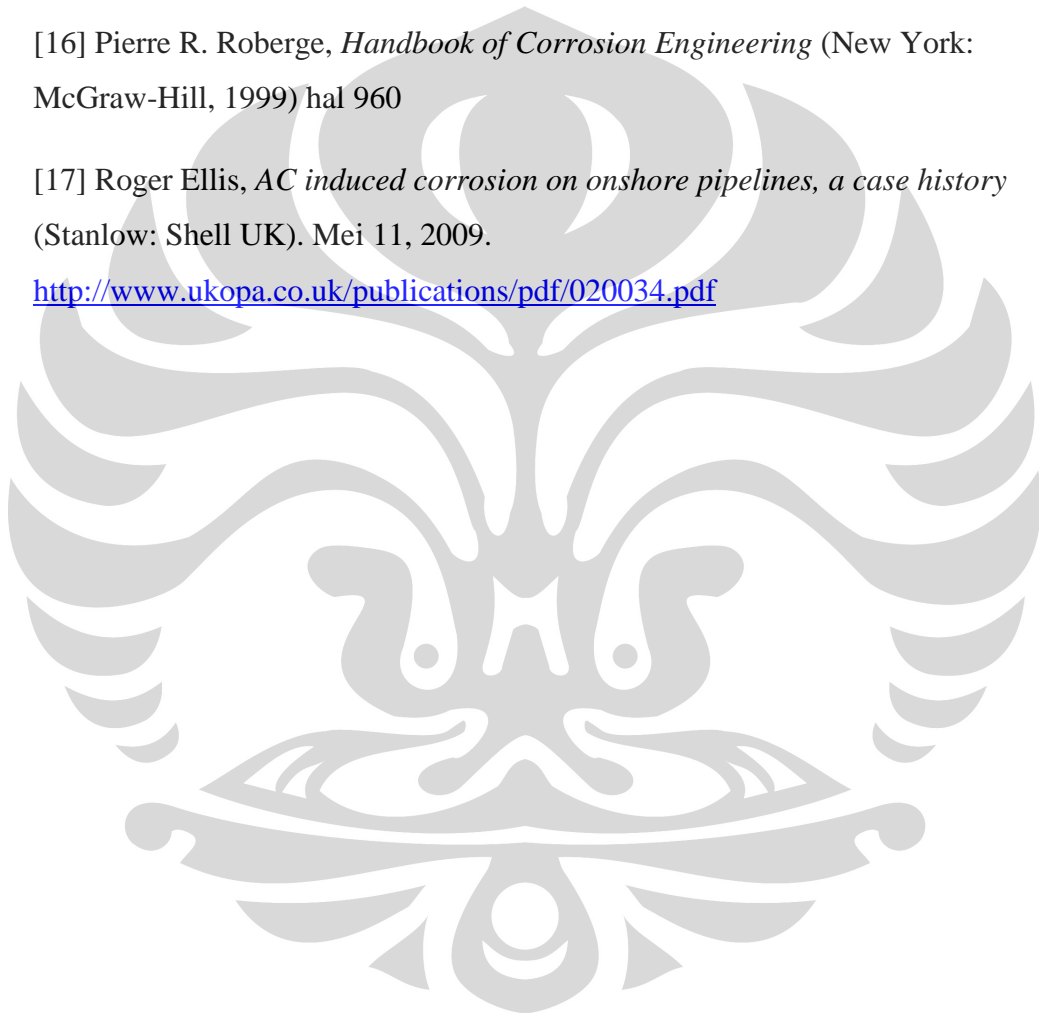
[14] Amy Forsgren, *Corrosion Control Through Organic Coatings* (USA: CRC Press Taylor & Francis Group, 2006) hal 11

[15] Marshall E. Parker & Edward G. Peattie, *Pipeline Corrosion and Cathodic Protection Third Edition* (USA: Elsevier Science, 1999) hal 3-5

[16] Pierre R. Roberge, *Handbook of Corrosion Engineering* (New York: McGraw-Hill, 1999) hal 960

[17] Roger Ellis, *AC induced corrosion on onshore pipelines, a case history* (Stanlow: Shell UK). Mei 11, 2009.

<http://www.ukopa.co.uk/publications/pdf/020034.pdf>



LAMPIRAN 1. Tabel kondisi *test point* jalur pipa Cemara – Balongan

No	Test Point	Kondisi	Lingkungan	Hasil Pengukuran Potensial*			Arus Proteksi (mA)
				Anode (V)	Pipa (V)	Proteksi (V)	
1	TP-0	Baik	SP Cemara	- 1.650	- 0.760	- 1.003	0.7
2	TP-01	Test Box Kosong	Persawahan	-	-	-	-
3	TP-02	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
4	TP-03	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
5	TP-04	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
6	TP-05	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
7	TP-06	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
8	TP-07	Baik	Persawahan	- 1.570	- 0.830	- 0.945	0.46
9	TP-08	Test Box Kosong	Persawahan	-	-	-	-
10	TP-09	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
11	TP-10	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
12	TP-11	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
13	TP-12	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
14	TP-13	Baik	Persawahan	-1.430	- 0.768	- 0.920	1.3
15	TP-14	Baik	Persawahan	- 1.560	- 0.780	- 1.010	1.2
16	TP-15	Baik	Persawahan	-1.670	- 0.800	- 1.100	1.9
17	TP-16	Baik	Persawahan	- 1.570	- 0.800	- 1.024	1.1
18	TP-17	Baik	Persawahan	- 1.600	- 0.810	- 1.025	2.3
19	TP-18	Baik	Persawahan	- 1.375	- 0.790	- 0.880	2
20	TP-19	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
21	TP-20	Test Box Kosong	Persawahan	-	-	-	-
22	TP-21	Baik	Pemukiman Penduduk	- 1.645	- 0.750	- 0.955	2.2
23	TP-22	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
24	TP-23	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
25	TP-24	Baik	Persawahan	- 1.465	- 0.805	- 0.935	1.8
26	TP-25	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
27	TP-26	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
28	TP-27	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
29	TP-28	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
30	TP-29	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
31	TP-30	Test Box Kosong	Persawahan	-	-	-	-
32	TP-31	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
33	TP-32	Baik	Persawahan	- 1.585	- 0.786	- 0.917	1.9
34	TP-33	Baik	Persawahan	-1.634	-0.799	-0.925	1.8
35	TP-34	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
36	TP-35	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
37	TP-36	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
38	TP-37	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
39	TP-38	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
40	TP-39	Test Box Kosong	Persawahan	-	-	-	-
41	TP-40	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
42	TP-41	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-

43	TP-42	Baik	Persawahan	- 1.345	- 0.760	- 0.899	2.7
44	TP-43	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
45	TP-44	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
46	TP-45	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
47	TP-46	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
48	TP-47	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
49	TP-48	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
50	TP-49	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
51	TP-50	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
52	TP-51	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
53	TP-52	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
54	TP-53	Tidak Ditemukan	Persawahan	-	-	-	-
55	TP-54	Baik	Persawahan	- 1.579	- 0.804	- 1.024	3.1
56	TP-55	Baik	Kebun	- 1.600	- 0.790	- 1.115	0.9
57	TP-56	Baik	Storage Tank	- 1.640	- 0.825	- 1.287	0.4

LAMPIRAN 2. Tabel kondisi *test point* jalur pipa Tambun – Cilamaya

No	Test Point	Kondisi	Lingkungan	Hasil Pengukuran Potensial (Cu/CuSO <sub>4</sub> )			Arus Proteksi (mA)
				E Anode (mV)	E Pipa (mV)	E Proteksi (mV)	
1	TP-00	Baik	SP Tambun	1576	765	1209	0.404
2	TP-01	Tidak Ditemukan	Sawah	-	-	-	-
3	TP-02	Tidak Ditemukan	Sawah	-	-	-	-
4	TP-03	Tidak Ditemukan	Sawah	-	-	-	-
5	TP-04	Tidak Ditemukan	Pemukiman	-	-	-	-
6	TP-05	Baik	Pemukiman	1589	769	1285	0.773
7	TP-06	Baik	Sungai, Kebun	1607	780	1299.5	0.718
8	TP-07	Tidak Ditemukan	Kebun	-	-	-	-
9	TP-08	Baik	Kebun	1542	770	1262	0.575
10	TP-09	Baik	Lap.Bola, kebun	1534	772	1259	0.545
11	TP-10	Baik	Kebun	1457	746	1207.5	0.529
12	TP-11	Tidak Ditemukan	Semak	-	-	-	-
13	TP-12	Baik	Kebun, sawah	1554	749	1257.5	0.688
14	TP-13	Baik	Sawah	1549	750	1255.5	0.648
15	TP-14	Tidak Ditemukan	Semak	-	-	-	-
16	TP-15	Baik	Sawah, Jaringan SUTET	1498	751	1230.5	0.815
17	TP-16	Tidak Ditemukan	Sawah	-	-	-	-
18	TP-17	Baik	Pekarangan Rumah	1543	754	1254.5	0.723
19	TP-18	Baik	Pemukiman	1543	756	1255.5	0.694
20	TP-19	Baik	Semak, Sawah	1548	757	1258.5	0.618
21	TP-20	Baik	Semak, Sawah	1549	770	1265.5	0.746
22	TP-21	Baik	Semak, Sawah	1534	760	1253	0.673
23	TP-22	Tidak Ditemukan	Semak, Sawah	-	-	-	-
24	TP-23	Baik	Semak, Sawah	1578	748	1269	0.514
25	TP-24	Tidak Ditemukan	Semak, Sawah	-	-	-	-
26	TP-25	Baik	Semak, Sawah	1533	749	1247	0.527
27	TP-26	Baik	Semak, Kebun	1576	771	1279.5	0.560
28	TP-27	Baik	Semak, Sawah	1564	767	1271.5	0.589

29	TP-28	Baik	Semak, Sungai, Jalan	1522	751	1242.5	0.564
30	TP-29	Tidak Ditemukan	Pemukiman, Kebun	-			
31	TP-30	Baik	Sawah, Kebun	1587	753	1276	0.640
32	TP-31	Baik	Pekarangan Rumah	1534	753	1249.5	0.360
33	TP-32	Baik	Kebun, Pemukiman	1547	748	1253.5	0.341
34	TP-33	Baik	Pemukiman	1539	754	1252.5	0.361
35	TP-34	Baik	Pemukiman	1601	747	1280	0.359
36	TP-35	Baik	Pemukiman	1536	753	1250.5	0.349
37	TP-36	Baik	Pemukiman	1523	746	1240.5	0.338
38	TP-37	Baik	Pemukiman	1522	767	1250.5	0.493
39	TP-38	Tidak Ditemukan	Pemukiman	-			
40	TP-39	Baik	Tepi Sungai	1538	749	1249.5	0.393
41	TP-40	Tidak Ditemukan	Semak, Rawa	-			
42	TP-41	Tidak Ditemukan	Semak, Rawa	-			
43	TP-42	Tidak Ditemukan	Semak, Rawa	-			
44	TP-43	Tidak Ditemukan	Semak, Rawa	-			
45	TP-44	Baik	Tepi Sungai	1533	780	1262.5	0.470
46	TP-45	Tidak Ditemukan		-			
47	TP-46	Tidak Ditemukan	Rawa, Pabrik, SKG	-			
48	TP-47	Tidak Ditemukan		-			
49	TP-48	Baik	Semak, Pemukiman	1546	774	1266	0.367
50	TP-49	Baik	Semak, Pemukiman	1536	770	1259	0.533
51	TP-50	Baik	Rawa, Semak, Pemukiman	1547	768	1263.5	0.550
52	TP-51	Baik	Semak, Sawah	1538	760	1255	0.588
53	TP-52	Baik	Sawah, Jalan Tol	1530	758	1250	0.536
54	TP-53	Baik	Semak, Sawah	1560	769	1270.5	0.485
55	TP-54	Baik	Semak, Kebun	1541	768	1260.5	0.425
56	TP-55	Baik	Pekarangan Rumah	1543	766	1260.5	0.463
57	TP-56	Tidak Ditemukan	Sawah, Semak	-			
58	TP-57	Tidak Ditemukan	Sawah, Semak	-			
59	TP-58	Tidak Ditemukan	Sawah, Semak	-			
60	TP-59	Baik	Sawah, Rawa	1578	767	1279	0.370
61	TP-60	Baik	Padang Rumput, Rawa, Sungai	1598	766	1288	0.380
62	TP-61	Baik	Padang Rumput, Rawa	1567	769	1274	0.591
63	TP-62	Baik	Padang Rumput, Rawa	1604	784	1300	0.668
64	TP-63	Baik	Padang Rumput, Rawa	1634	759	1302.5	0.499
65	TP-64	Baik	Padang Rumput	1612	766	1295	0.548
66	TP-65	Baik	Padang Rumput, Bukit, Sawah	1621	780	1306.5	0.382
67	TP-66	Tidak Ditemukan	Area Jalan Tol	-			
68	TP-67	Baik	Padang Rumput, Bukit	1634	766	1306	0.443
69	TP-68	Baik	Padang Rumput, Bukit	1523	778	1256.5	0.420
70	TP-69	Baik	Padang Rumput, Bukit	1522	757	1245.5	0.446
71	TP-70	Baik	Padang Rumput, Bukit	1562	768	1271	0.460
72	TP-71	Baik	Padang Rumput, Bukit, Jalan Tol	1528	754	1247	0.360
73	TP-72	Tidak Ditemukan	Rawa, Sungai, Kompleks Peruri	-			
74	TP-73	Baik	Padang Rumput, Bukit	1563	759	1267	0.474
75	TP-74	Baik	Padang Rumput, Bukit	1582	758	1276	0.450
76	TP-75	Baik	Padang Rumput, Bukit, Rawa	1591	764	1283.5	0.491
77	TP-76	Rusak	Padang Rumput, Bukit	1562	766	1270	0.449

78	TP-77	Rusak	Sungai, Padang Rumput	1593	749	1277	0.540
79	TP-78	Tidak Ditemukan	Padang Rumput, Sungai	-			
80	TP-79	Baik	Semak, Padang Rumput	1583	768	1281.5	0.486
81	TP-80	Tidak Ditemukan	Semak Belukar	-			
82	TP-81	Baik	Padang Rumput, Sungai	1574	769	1277.5	0.481
83	TP-82	Baik	Padang Rumput	1573	767	1276	0.456
84	TP-83	Baik	Padang Rumput	1598	774	1292	0.499
85	TP-84	Baik	Padang Rumput	1577	748	1268.5	1.309
86	TP-85	Baik	Rawa, Jalan Tol	1578	768	1279	0.870
87	TP-86	Baik	Pemukiman, Semak	1584	746	1271	0.585
88	TP-87	Baik	Rel KA, Padang Rumput	1583	767	1281	0.488
89	TP-88	Baik	Padang Rumput	1582	770	1282	0.466
90	TP-89	Baik	Padang Rumput	1585	776	1286.5	0.538
91	TP-90	Baik	Padang Rumput, Sawah	1581	769	1281	0.550
92	TP-91	Baik	Padang Rumput	1573	770	1277.5	0.946
93	TP-92	Baik	Sawah, rawa	1567	774	1276.5	3.000
94	TP-93	Baik	Padang Rumput	1591	776	1289.5	0.831
95	TP-94	Baik	Padang Rumput	1592	779	1291.5	0.605
96	TP-95	Baik	Padang Rumput, Rawa	1592	768	1286	0.518
97	TP-96	Baik	Padang Rumput, Sungai, Rawa	1572	767	1275.5	0.514
98	TP-97	Tidak Ditemukan	Padang Rumput, Rawa	-			
99	TP-98	Baik	Padang Rumput	1578	779	1284.5	0.616
100	TP-99	Baik	Padang Rumput	1598	770	1290	0.542
101	TP-100	Tidak Ditemukan	Padang Rumput	-			
102	TP-101	Baik	Padang Rumput	1563	772	1273.5	0.563
103	TP-102	Baik	Padang Rumput	1563	752	1263.5	0.525
104	TP-103	Baik	Padang Rumput	1576	770	1279	0.461
105	TP-104	Baik	Padang Rumput	1586	780	1289	0.497
106	TP-105	Baik	Padang Rumput	1564	753	1264.5	0.460
107	TP-106	Baik	Padang Rumput	1599	742	1276.5	0.535
108	TP-107	Baik	Padang Rumput	1546	737	1247.5	0.530
109	TP-108	Baik	Padang Rumput, Rawa	1541	746	1249.5	0.701
110	TP-109	Baik	Padang Rumput, Rawa	1572	778	1281	0.713
111	TP-110	Baik	Padang Rumput	1546	756	1257	0.497
112	TP-111	Baik	Padang Rumput, Rawa	1523	767	1251	0.463
113	TP-112	Tidak Ditemukan	Kebun	-			
114	TP-113	Baik	Kebun, Padang Rumput	1560	760	1266	0.473
115	TP-114	Baik	Padang Rumput	1563	763	1269	0.470
116	TP-115	Tidak Ditemukan	Kebun	-			
117	TP-116	Baik	Padang Rumput, Rawa	1564	776	1276	0.664
118	TP-117	Baik	Rawa, Sawah	1578	770	1280	0.715
119	TP-118	Baik	Rawa, Sawah	1587	754	1276.5	0.797
120	TP-119	Baik	Rawa, Sawah	1598	767	1288.5	0.821
121	TP-120	Baik	Rawa, Sawah	1574	769	1277.5	0.799
122	TP-121	Baik	Rawa, Sawah	1587	767	1283	0.801
123	TP-122	Tidak Ditemukan	Rawa, Sawah	-			
124	TP-123	Baik	Rawa, Sawah	1592	774	1289	0.630
125	TP-124	Baik	Rawa, Sawah	1597	752	1280.5	0.626
126	TP-125	Baik	Rawa, Sawah	1604	787	1301.5	0.594
127	TP-126	Baik	Padang Rumput, Sawah	1612	746	1285	0.494

128	TP-127	Baik	Padang Rumput	1602	773	1293.5	0.482
-----	--------	------	---------------	------	-----	--------	-------

LAMPIRAN 3. Tabel data hasil survei CIPS jalur pipa Cemara – Balongan

No	Km	Potensial Proteksi Rata – rata (mV)	Kondisi Proteksi Katodik
1	Km 1	> -850	Tidak Terproteksi
2	Km 2	> -850	Tidak Terproteksi
3	Km 3	> -850	Tidak Terproteksi
4	Km 4	> -850	Tidak Terproteksi
5	Km 5	> -850	Tidak Terproteksi
6	Km 6	> -850	Tidak Terproteksi
7	Km 7	> -850	Tidak Terproteksi
8	Km 8	< -850	Terproteksi
9	Km 9	< -850	Terproteksi
10	Km 10	< -850, kecuali 250 m menuju Km 19	Terproteksi
11	Km 11	< -850	Terproteksi
12	Km 12	> -850	Tidak Terproteksi
13	Km 13	> -850	Tidak Terproteksi
14	Km 14	> -850	Tidak Terproteksi
15	Km 15	< -850	Terproteksi
16	Km 16	> -850	Tidak Terproteksi
17	Km 17	> -850	Tidak Terproteksi
18	Km 18	< -850	Terproteksi
19	Km 19	> -850	Tidak Terproteksi
20	Km 20	> -850	Tidak Terproteksi
21	Km 21	> -850	Tidak Terproteksi
22	Km 22	> -850	Tidak Terproteksi
23	Km 23	> -850	Tidak Terproteksi
24	Km 24	< -850	Terproteksi
25	Km 25	> -850, kecuali radius 3 meter dari TP	Tidak Terproteksi
26	Km 26	> -850, kecuali radius 3 meter dari TP	Tidak Terproteksi
27	Km 27	> -850, kecuali radius 3 meter dari TP	Tidak Terproteksi
28	Km 28	> -850, kecuali 100 m dari TP 57 - TP 56	Tidak Terproteksi

LAMPIRAN 4. Tabel data hasil survei DCVG jalur pipa Cemara – Balongan

No	Km	Lokasi	% IR	Kategori Cacat
1	Km 1	Jarak 720 m dari Km 0	1.19	Kategori 1
2	Km 2	Jarak 650 m dari Km 1	2	Kategori 1
3	Km 3	Jarak 470 m dari Km 2	1.35	Kategori 1
4	Km 4	Jarak 850 m dari Km 3	2.9	Kategori 1

5	Km 5	Jarak 650 m dari Km 4	12.5	Kategori 1
6	Km 6	Jarak 900 m dari Km 5	2.7	Kategori 1
7	Km 7	Jarak 120 m dari Km 6	1.9	Kategori 1
8	Km 8	-	0	-
9	Km 9	-	0	-
10	Km 10	Jarak 500 m dari Km 9	6	Kategori 1
11	Km 11	Jarak 280 m dari Km 10	2.45	Kategori 1
12	Km 12	Jarak 830 m dari Km 11	1.5	Kategori 1
13	Km 13	Jarak 180 m dari Km 12	2	Kategori 1
14	Km 14	Jarak 946 m dari Km 13	2.1	Kategori 1
15	Km 15	Jarak 964 m dari Km 14	2	Kategori 1
16	Km 16	Jarak 36 m dari Km 15	1	Kategori 1
17	Km 17	Jarak 533 m dari Km 16	1.8	Kategori 1
18	Km 18	Jarak 634 m dari Km 17	2	Kategori 1
19	Km 19	Jarak 346 m dari Km 18	1.5	Kategori 1
20	Km 20	Jarak 29 m dari Km 19	2.5	Kategori 1
21	Km 21	Jarak 153 m dari Km 20	2	Kategori 1
22	Km 22	Jarak 40 m dari Km 21	2.23	Kategori 1
23	Km 23	Jarak 435 m dari Km 22	1.89	Kategori 1
24	Km 24	-	0	-
25	Km 25	Jarak 365 m dari Km 24	2.1	Kategori 1
26	Km 26	Jarak 40 m dari Km 25	1.79	Kategori 1
27	Km 27	Jarak 968 m dari Km 26	2	Kategori 1
28	Km 28	Jarak 90 m dari Km 27	1.95	Kategori 1

LAMPIRAN 5. Tabel data hasil survei CIPS jalur pipa Tambun – Cilamaya

No	Km	Potensial Proteksi Rata – rata (mV)	Kondisi Proteksi Katodik
1	Km 1	< -850	Terproteksi
2	Km 2	< -850	Terproteksi
3	Km 3	< -850	Terproteksi
4	Km 4	< -850	Terproteksi
5	Km 5	< -850	Terproteksi
6	Km 6	< -850	Terproteksi
7	Km 7	< -850	Terproteksi
8	Km 8	< -850	Terproteksi
9	Km 9	< -850	Terproteksi
10	Km 10	< -850	Terproteksi
11	Km 11	< -850	Terproteksi
12	Km 12	< -850	Terproteksi
13	Km 13	< -850	Terproteksi
14	Km 14	< -850	Terproteksi
15	Km 15	< -850	Terproteksi
16	Km 16	< -850	Terproteksi

17	Km 17	< -850	Terproteksi
18	Km 18	< -850	Terproteksi
19	Km 19	< -850	Terproteksi
20	Km 20	< -850	Terproteksi
21	Km 21	< -850	Terproteksi
22	Km 22	< -850	Terproteksi
23	Km 23	< -850	Terproteksi
24	Km 24	< -850	Terproteksi
25	Km 25	< -850	Terproteksi
26	Km 26	> -850	Tidak Terproteksi
27	Km 27	< -850	Terproteksi
28	Km 28	< -850	Terproteksi
29	Km 29	< -850	Terproteksi
30	Km 30	< -850	Terproteksi
31	Km 31	< -850	Terproteksi
32	Km 32	< -850	Terproteksi
33	Km 33	< -850	Terproteksi
34	Km 34	< -850	Terproteksi
35	Km 35	< -850	Terproteksi
36	Km 36	< -850	Terproteksi
37	Km 37	< -850	Terproteksi
38	Km 38	< -850	Terproteksi
39	Km 39	< -850	Terproteksi
40	Km 40	< -850	Terproteksi
41	Km 41	< -850	Terproteksi
42	Km 42	< -850	Terproteksi
43	Km 43	< -850	Terproteksi
44	Km 44	< -850	Terproteksi
45	Km 45	< -850	Terproteksi
46	Km 46	< -850	Terproteksi
47	Km 47	< -850	Terproteksi
48	Km 48	< -850	Terproteksi
49	Km 49	< -850	Terproteksi
50	Km 50	< -850	Terproteksi
51	Km 51	< -850	Terproteksi
52	Km 52	< -850	Terproteksi
53	Km 53	< -850	Terproteksi
54	Km 54	< -850	Terproteksi
55	Km 55	< -850	Terproteksi
56	Km 56	< -850	Terproteksi
57	Km 57	< -850	Terproteksi
58	Km 58	< -850	Terproteksi
59	Km 59	< -850	Terproteksi
60	Km 60	< -850	Terproteksi
61	Km 61	< -850	Terproteksi
62	Km 62	< -850	Terproteksi
63	Km 63	< -850	Terproteksi
64	Km 64	< -850	Terproteksi
65	Km 65	< -850	Terproteksi
66	Km 66	< -850	Terproteksi



67	Km 67	< -850	Terproteksi
68	Km 68	< -850	Terproteksi
69	Km 69	< -850	Terproteksi
70	Km 70	< -850	Terproteksi
71	Km 71	< -850	Terproteksi
72	Km 72	< -850	Terproteksi
73	Km 73	< -850	Terproteksi
74	Km 74	< -850	Terproteksi
75	Km 75	< -850	Terproteksi
76	Km 76	< -850	Terproteksi
77	Km 77	< -850	Terproteksi
78	Km 78	< -850	Terproteksi
79	Km 79	< -850	Terproteksi
80	Km 80	< -850	Terproteksi
81	Km 81	< -850	Terproteksi
82	Km 82	< -850	Terproteksi
83	Km 83	< -850	Terproteksi
84	Km 84	< -850	Terproteksi
85	Km 85	< -850	Terproteksi
86	Km 86	< -850	Terproteksi
87	Km 87	< -850	Terproteksi
88	Km 88	< -850	Terproteksi
89	Km 89	< -850	Terproteksi
90	Km 90	< -850	Terproteksi
91	Km 91	< -850	Terproteksi
92	Km 92	< -850	Terproteksi
93	Km 93	< -850	Terproteksi
94	Km 94	< -850	Terproteksi
95	Km 95	< -850	Terproteksi
96	Km 96	< -850	Terproteksi
97	Km 97	< -850	Terproteksi
98	Km 98	< -850	Terproteksi
99	Km 99	< -850	Terproteksi
100	Km 100	< -850	Terproteksi
101	Km 101	< -850	Terproteksi
102	Km 102	< -850	Terproteksi

LAMPIRAN 6. Tabel data hasil survei DCVG jalur pipa Tambun – Cilamaya

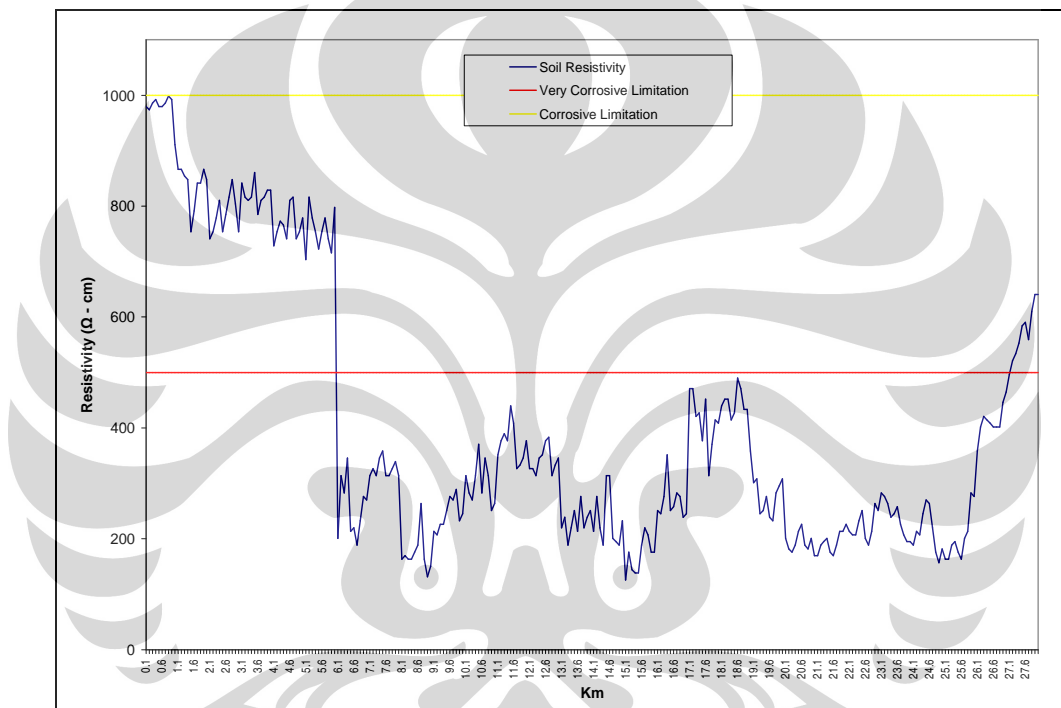
No	Km	% IR	Lokasi	Kategori Cacat
1	Km 1	0	-	Tidak Terdeteksi
2	Km 2	0	-	Tidak Terdeteksi
3	Km 3	0	-	Tidak Terdeteksi
4	Km 4	0	-	Tidak Terdeteksi
5	Km 5	0	-	Tidak Terdeteksi
6	Km 6	0	-	Tidak Terdeteksi
7	Km 7	0.8	230 m dari Km 6	Kategori 1

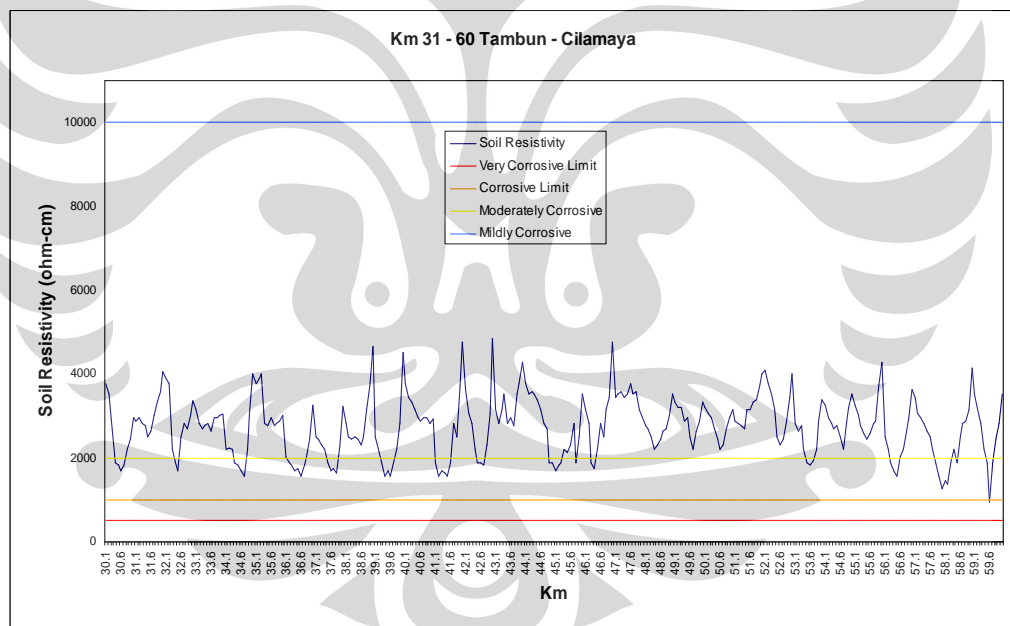
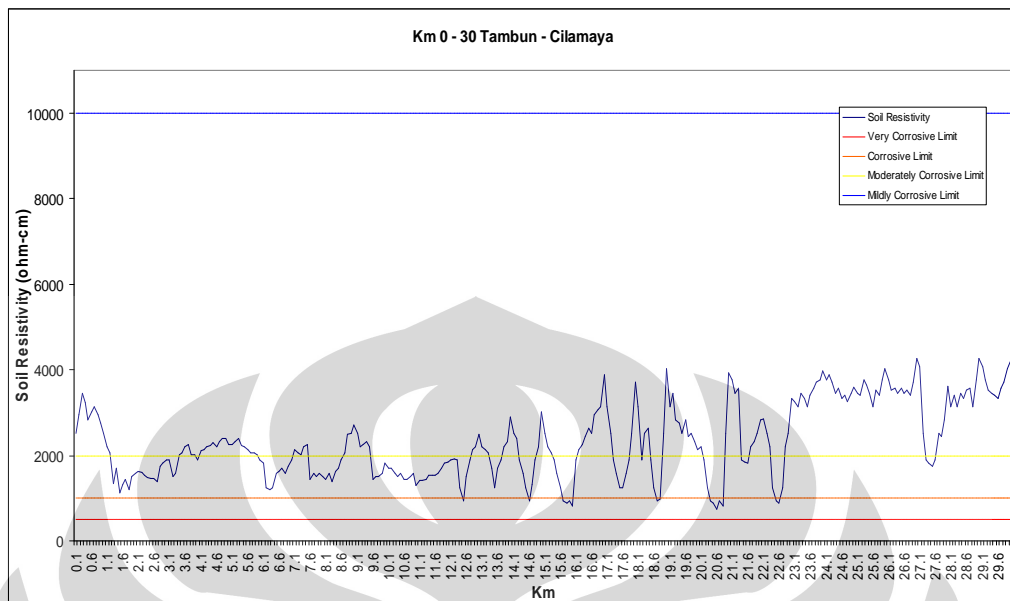
8	Km 8	1.1	50 m dari Km 7	Kategori 1
9	Km 9	0.4	870 m dari Km 8	Kategori 1
10	Km 10	1	670 m dari Km 9	Kategori 1
11	Km 11	0.9	85 m dari Km 10	Kategori 1
12	Km 12	2.4	60 m dari Km 11	Kategori 1
13	Km 13	0	-	Tidak Terdeteksi
14	Km 14	0	-	Tidak Terdeteksi
15	Km 15	0	-	Tidak Terdeteksi
16	Km 16	0	-	Tidak Terdeteksi
17	Km 17	0	-	Tidak Terdeteksi
18	Km 18	0	-	Tidak Terdeteksi
19	Km 19	0	-	Tidak Terdeteksi
20	Km 20	0	-	Tidak Terdeteksi
21	Km 21	0	-	Tidak Terdeteksi
22	Km 22	0	-	Tidak Terdeteksi
23	Km 23	0	-	Tidak Terdeteksi
24	Km 24	0	-	Tidak Terdeteksi
25	Km 25	0	-	Tidak Terdeteksi
26	Km 26	0	-	Tidak Terdeteksi
27	Km 27	0	-	Tidak Terdeteksi
28	Km 28	0	-	Tidak Terdeteksi
29	Km 29	0	-	Tidak Terdeteksi
30	Km 30	0	-	Tidak Terdeteksi
31	Km 31	0	-	Tidak Terdeteksi
32	Km 32	0	-	Tidak Terdeteksi
33	Km 33	0	-	Tidak Terdeteksi
34	Km 34	0	-	Tidak Terdeteksi
35	Km 35	0	-	Tidak Terdeteksi
36	Km 36	0	-	Tidak Terdeteksi
37	Km 37	0	-	Tidak Terdeteksi
38	Km 38	0	-	Tidak Terdeteksi
39	Km 39	0	-	Tidak Terdeteksi
40	Km 40	0	-	Tidak Terdeteksi
41	Km 41	0	-	Tidak Terdeteksi
42	Km 42	0	-	Tidak Terdeteksi
43	Km 43	0	-	Tidak Terdeteksi
44	Km 44	0	-	Tidak Terdeteksi
45	Km 45	0	-	Tidak Terdeteksi
46	Km 46	0	-	Tidak Terdeteksi
47	Km 47	0	-	Tidak Terdeteksi
48	Km 48	0	-	Tidak Terdeteksi
49	Km 49	0	-	Tidak Terdeteksi
50	Km 50	0	-	Tidak Terdeteksi
51	Km 51	0	-	Tidak Terdeteksi

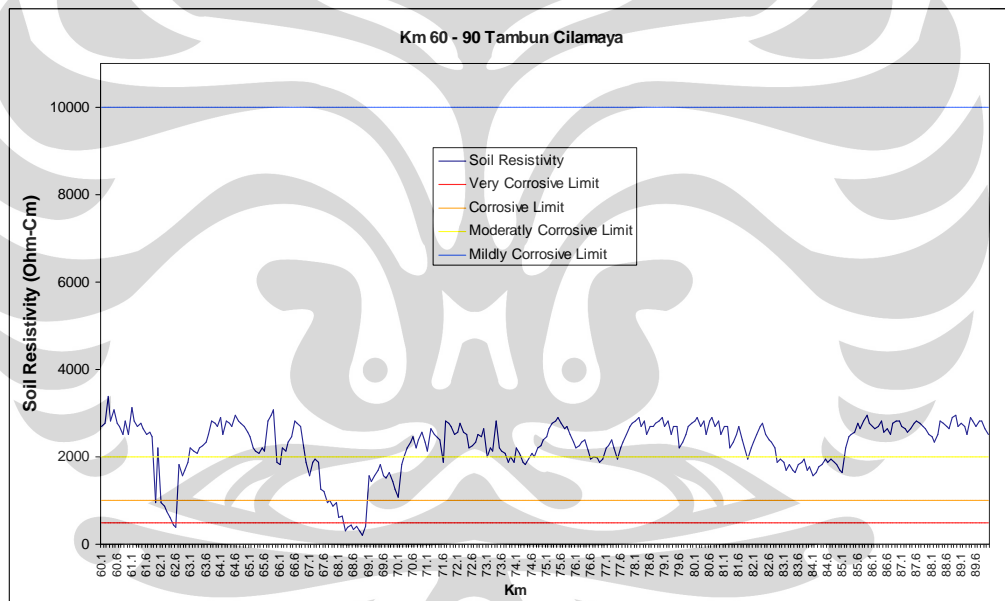
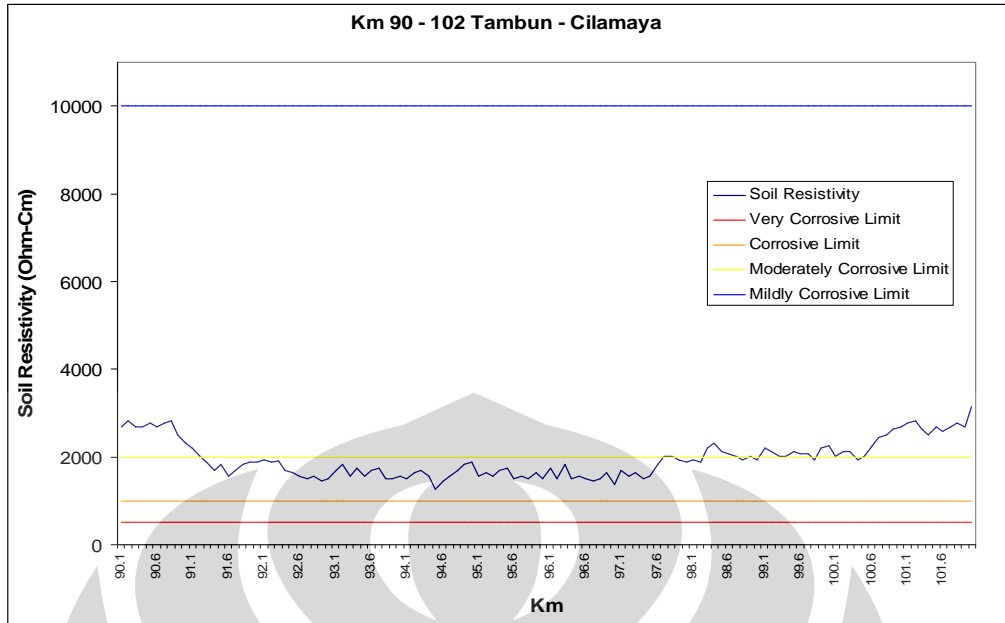
52	Km 52	0	-	Tidak Terdeteksi
53	Km 53	0	-	Tidak Terdeteksi
54	Km 54	0	-	Tidak Terdeteksi
55	Km 55	0	-	Tidak Terdeteksi
56	Km 56	0	-	Tidak Terdeteksi
57	Km 57	0	-	Tidak Terdeteksi
58	Km 58	0	-	Tidak Terdeteksi
59	Km 59	0	-	Tidak Terdeteksi
60	Km 60	0	-	Tidak Terdeteksi
61	Km 61	0	-	Tidak Terdeteksi
62	Km 62	0	-	Tidak Terdeteksi
63	Km 63	0	-	Tidak Terdeteksi
64	Km 64	0	-	Tidak Terdeteksi
65	Km 65	0	-	Tidak Terdeteksi
66	Km 66	0	-	Tidak Terdeteksi
67	Km 67	0	-	Tidak Terdeteksi
68	Km 68	0	-	Tidak Terdeteksi
69	Km 69	0	-	Tidak Terdeteksi
70	Km 70	0	-	Tidak Terdeteksi
71	Km 71	0	-	Tidak Terdeteksi
72	Km 72	0	-	Tidak Terdeteksi
73	Km 73	0	-	Tidak Terdeteksi
74	Km 74	0	-	Tidak Terdeteksi
75	Km 75	0	-	Tidak Terdeteksi
76	Km 76	0	-	Tidak Terdeteksi
77	Km 77	0	-	Tidak Terdeteksi
78	Km 78	0	-	Tidak Terdeteksi
79	Km 79	0	-	Tidak Terdeteksi
80	Km 80	0	-	Tidak Terdeteksi
81	Km 81	0	-	Tidak Terdeteksi
82	Km 82	0	-	Tidak Terdeteksi
83	Km 83	0	-	Tidak Terdeteksi
84	Km 84	0	-	Tidak Terdeteksi
85	Km 85	0	-	Tidak Terdeteksi
86	Km 86	0	-	Tidak Terdeteksi
87	Km 87	0	-	Tidak Terdeteksi
88	Km 88	0	-	Tidak Terdeteksi
89	Km 89	0	-	Tidak Terdeteksi
90	Km 90	0	-	Tidak Terdeteksi
91	Km 91	0	-	Tidak Terdeteksi
92	Km 92	0	-	Tidak Terdeteksi
93	Km 93	0	-	Tidak Terdeteksi
94	Km 94	0	-	Tidak Terdeteksi
95	Km 95	0	-	Tidak Terdeteksi

96	Km 96	0	-	Tidak Terdeteksi
97	Km 97	0	-	Tidak Terdeteksi
98	Km 98	0	-	Tidak Terdeteksi
99	Km 99	0	-	Tidak Terdeteksi
100	Km 100	0	-	Tidak Terdeteksi
101	Km 101	0	-	Tidak Terdeteksi
102	Km 102	0	-	Tidak Terdeteksi

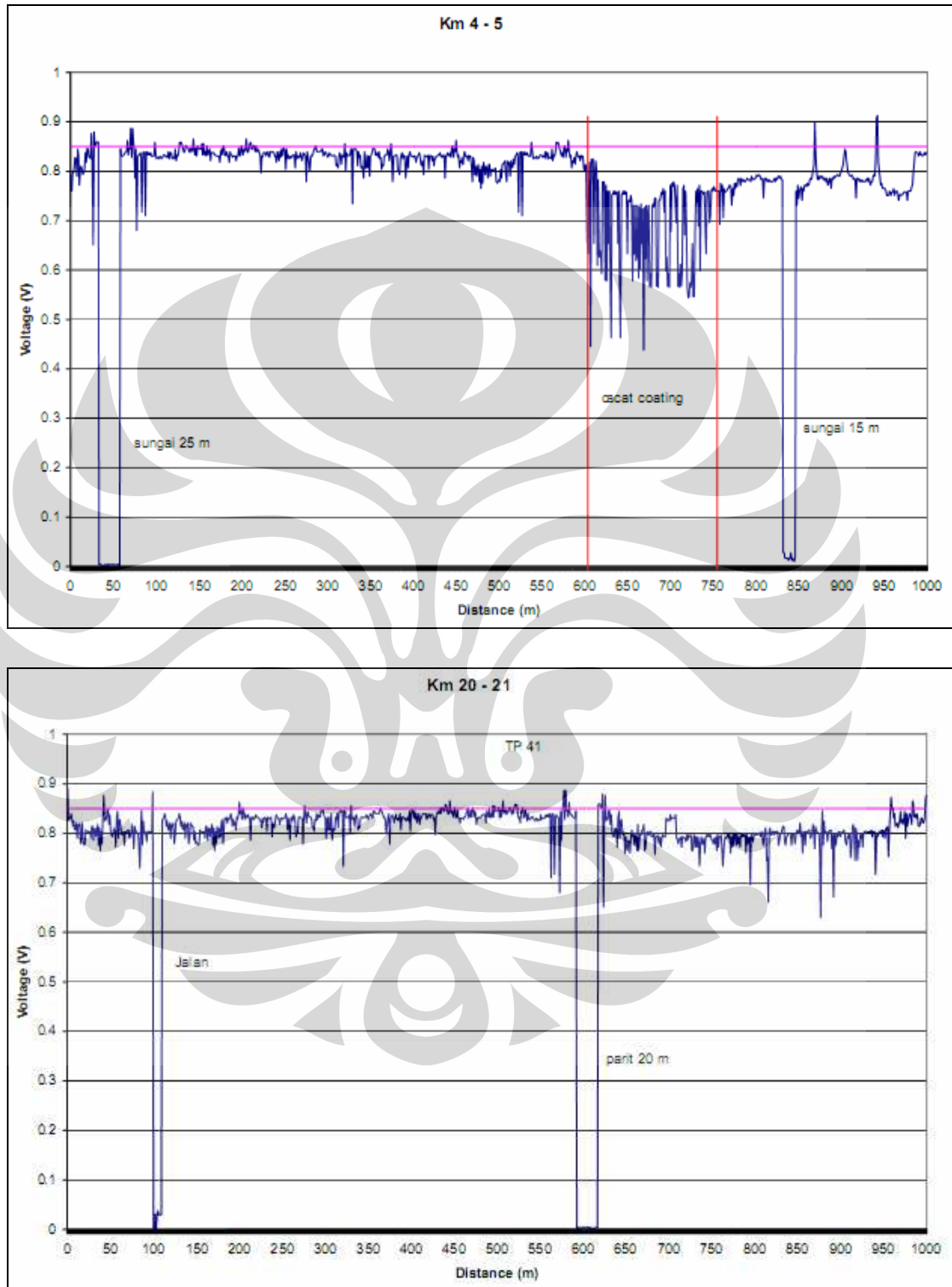
LAMPIRAN 7. Grafik hasil survei *Soil Resistivity* Cemara – Balongan



LAMPIRAN 8. Grafik hasil survei *Soil Resistivity* Tambun – Cilamaya



LAMPIRAN 10. Grafik hasil survei CIPS jalur pipa Cemara – Balongan Km 4 – Km 5



LAMPIRAN 11. Grafik hasil survei CIPS jalur pipa Tambun-Cilamaya Km 7 – Km 12

