

STUDI EVALUASI PENERAPAN PENCEGAHAN KOROSI SECARA KATODIK PADA PIPA INDUK DISTRIBUSI DI JALAN RAJAWALI – JALAN KAPASAN SURABAYA

CORROSION PREVENTION OF MAIN DISTRIBUTION PIPE IN RAJAWALI STREET-JALAN STREET KAPASAN, SURABAYA USING CATHODIC PROTECTION

Dwi Handana¹⁾ dan Hariwiko Indaryanto¹⁾
¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS

Abstrak

Dalam sistem penyediaan air bersih yang menggunakan pipa berdiameter besar di gunakan pipa dari logam. Sebagai upaya pencegahan terhadap korosi pipa digunakan pelapisan (*coating*) ataupun yang di kombinasikan dengan proteksi katodik sebagai proteksi pelengkap yang dimaksudkan untuk melindungi bagian pipa induk distribusi, yaitu menggunakan coating jenis coatlar yang dikombinasikan dengan proteksi katodik arus terpasang (*inspressed current*). Dari hasil analisis dan evaluasi sistem, ternyata dalam beberapa hal sistem proteksi katodik pada pipa induk distribusi ini tidak diterapkan secara baik khususnya dikarenakan kurang lengkapnya pendalaman faktor-faktor yang diperlukan untuk bahan pertimbangan baik dalam desain, pemasangan pipa maupun operasional.

Kata kunci : korosi, pelapisan, pipa induk, proteksi katodik

Abstract

Metal pipes with large diameter are mainly used for main distribution networks. As prevention effort to corrosion pipe used coating or combining by cathodic protection as protection complement intended to protect part of main distribution pipe, that is use the type of coating coatlar cathodic protection with impressed current. From result of analyst and system evaluation, in the reality in some cases system of cathodic protection at this mains distribution pipe was not operated properly due to poor design, construction, and maintenance.

Keywords : corrosion, coating, main pipe, cathodic protection

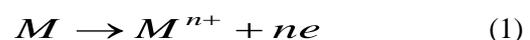
1. PENDAHULUAN

Korosi merupakan proses destruktif yang memengaruhi hampir semua logam. Konstruksi konstruksi dari logam seperti pipa untuk penyaluran air atau gas, bangunan reservoir atau tanki dari logam, konstruksi dari baja di laut, dan peralatan logam untuk proses pada industri, semuanya tidak lepas dari ancaman korosi.

Dalam sistem penyediaan air bersih terutama yang menggunakan pipa berdiameter besar biasanya di gunakan pipa logam. Perlindungan dari korosi terhadap pipa tersebut pada umumnya telah di terapkan dengan baik berupa pelapisan (*coating*), secara katodik, atau kombinasi dari keduanya. Upaya tersebut juga dilakukan pada pipa induk distribusi air bersih yang berada di Jl. Rajawali – Jl Kapasan Surabaya yaitu menggunakan sistem kombinasi an-

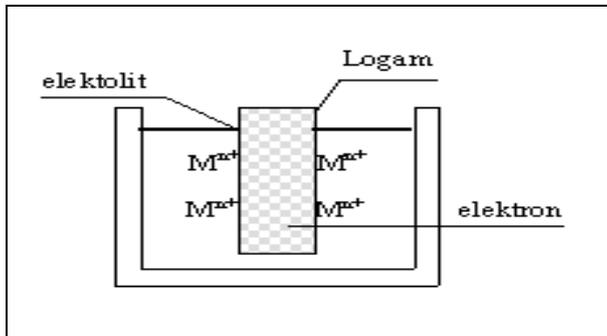
tara pelapisan (*coating*) dan proteksi katodik arus terpasang (*impressed curent*).

Korosi yang paling umum dipakai sekaligus yang digunakan sebagai dasar penggulangan korosi secara katodik adalah perusakan logam kaena reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Dengan adanya reaksi elektrokimia, sebaigian logam akan larut dan bergabung dengan elemen dari medium yang korosif menghasilkan suatu produk baru berupa senyawa oksida (karat) atau hasil reaksi lain yang lebih stabil. Bila sepotong logam (M) reaksi yang terjadi terdapat pada Persamaan 1.



Reaksi oksidasi tersebut akan segera mencapai ke-setimbangan, yaitu bila laju pembentukan ion logam + elektron atau ($M^{n+} + ne$) sama dengan laju

pembentukan logam dari larutan. Pada keadaan ini logam memiliki kelebihan elektron yang menyebabkan logam bermuatan listrik (potensial elektroda). Besarnya potensial elektroda ini tergantung pada kereaktifan (*chemical activity*) dari logam dan jenis elektrolitnya. Kecenderungan ini dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Double Electrical Layer Yang Terbentuk Pada Logam Dalam Medium Elektrolit.

Sumber : Suherman, 1987

Pengukuran besarnya potensial suatu elektroda dapat dilakukan dengan menggunakan hidrogen sebagai elektroda standart seperti dapat dilihat pada Tabel 1.

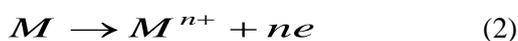
Tabel 1. Potensial Elektroda Standard (EMF Series)

Reaksi logam	Potensial, Eo (Volt)	Sifat
Au ³⁺ + 3e → Au	+1,498	↑ Referensi ↓
Pt ²⁺ + 2e → Pt	+1,200	
Ag ⁺ + e → Ag	+0,799	
Cu ²⁺ + 2e → Cu	+0,337	
H ⁺ + e → H	0,000	
Pb ²⁺ + 2e → Pb	-0,126	
Co ²⁺ + 2e → Co	-0,277	
Cd ²⁺ + 2e → Cd	-0,403	
Fe ²⁺ + 2e → Fe	-0,440	
Cr ³⁺ + 3e → Cr	-0,744	
Zn ³⁺ + 2e → Zn	-0,763	↓ Anodik
Al ³⁺ + 3e → Al	-0,1662	
Mg ²⁺ + 2e → Mg	-2,363	

Sumber : British Standard (1991)

Bila elektron yang terlepas dan terkumpul pada potongan logam tadi dapat mengalir ke suatu tempat lain maka keseimbangan akan terganggu dan reaksi akan berjalan ke kanan.

Secara umum reaksi yang terjadi pada peristiwa korosi pada anoda dan katoda dapat dilihat pada Persamaan 2 sampai Persamaan 7. Untuk anoda diperlihatkan pada Persamaan 2.

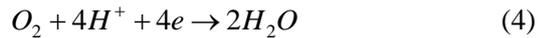


Sedangkan untuk katoda dapat dilihat pada Persamaan 3 sampai Persamaan 7.

Pembentukan hidrogen (Persamaan 3)



Reduksi oksigen/suasana asam (Persamaan 4).



Reduksi oksigen/suasana basa (Persamaan 5)



Reduksi ion logam (Persamaan 6)



Pembentukan logam (Persamaan 7)



Suatu reaksi korosi hanya dapat berlangsung bila terdapat komponen pembentuk sel korosi (sel galvanik) yaitu adanya beda potensial dan elektrolit.

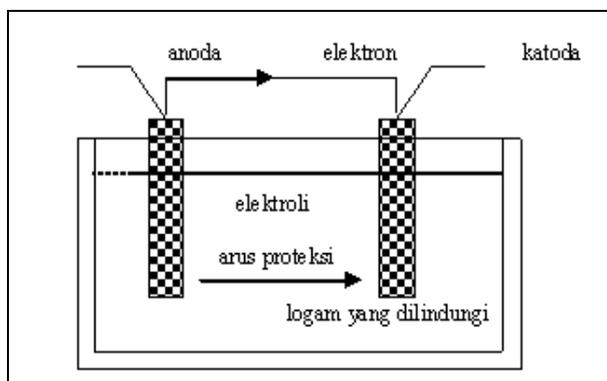
Faktor faktor yang mempengaruhi proses korosi baja dalam tanah terutama adalah sifat fisik dan kimia dari tanah. Beberapa faktor penting diantaranya adalah resistivitas tanah, potensial redoks, keasaman (pH) tanah, komponen terlarut dalam tanah dan kelembaban tanah.

Pencegahan korosi dapat dilakukan dengan perlakuan tertentu berdasarkan mekanisme terjadinya korosi dan faktor-faktor yang mempengaruhi korosi. Beberapa metode pencegahan korosi yang umum di terapkan adalah dengan pemilihan bahan konstruksi yang tepat, pelapisan, penggunaan inhibitor, proteksi katodik, proteksi anodik.

Konsep dasar pencegahan korosi logam dengan proteksi katodik adalah teori elektrokimia. Dimana dalam suatu sel elektrokimia selalu terdiri dari 3 komponen yaitu anoda, katoda dan medium elektrolit. Dengan dasar prinsip elektrokimia tersebut, maka proteksi katodik hanya dapat diterapkan pada logam yang terekspos dalam medium elektrolit seperti pipa logam dalam tanah, tangki logam da-

lam tanah dan kapal laut atau struktur logam di laut lainnya (Nasution, 1988).

Pencegahan korosi pada logam dengan proteksi katodik dilakukan dengan cara menyuplai elektron atau dengan kata lain memberikan sejumlah tertentu arus listrik searah (*direct current*) ke logam yang dimaksud sehingga potensial logam terhadap lingkungan akan turun. Bila arus listrik searah diberikan dalam jumlah yang cukup, maka penurunan potensial logam ini akan mencapai level tertentu yang disebut dengan potensial proteksi katodik dimana logam secara teknis dianggap tidak terkorosi lagi. Sistem proteksi katodik ini merupakan rangkaian tertutup listrik arus searah seperti terlihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Prinsip Proteksi Katodik

Sumber : Sulaiman, 1987

Menurut pendapat para ahli, korosi dianggap berhenti bila konsentrasi ion logam di sekitar $\leq 10^{-6}$ mol/liter. Bila angka ini diterapkan pada korosi besi yang terjadi pada temperatur baku $T = 298$ K dengan $R = 8,3143$ joule/mol^oK, muatan elektron (F) = 96.494 coloumb/mol dan valensi (n) ion besi (Fe^{2+})=2, maka potensial pada kondisi ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Nernst.

Dari persamaan Nernst, besi akan berhenti terkorosi (mulai terjadi reduksi) bila potensialnya -0,933 volt terhadap elektroda referensi tembaga sulfat (CSE). Dimana angka tersebut di dapat dalam keadaan baku, sedangkan dalam praktek menunjukkan bahwa besi/baja sudah tidak terkorosi bila nilai potensialnya adalah -0,845 volt (CSE) dan secara umum angka ini digunakan sebagai kriteria proteksi katodik untuk baja/besi.

Efek efek dan gangguan yang terjadi dalam aplikasi proteksi katodik diantaranya adalah efek sekunder, efek arus bolak balik dan efek arus sesat.

Efek sekunder ini terjadi bila pemberian potensial pada struktur yang di proteksi terlalu besar (*over protection*). Efek yang terjadi adalah meningkatnya alkalinitas disekitar struktur yang diproteksi katodik oleh reaksi katodik yang membentuk ion OH. Efek arus bolak balik ini terjadi bila struktur yang diproteksi berdekatan dengan kabel listrik arus bolak balik (AC). Adanya arus bolak-balik akan mempengaruhi arus proteksi katodik. Sedangkan efek arus sesat ini menyebabkan korosi akan terjadi pada struktur sekunder yaitu pada area dimana arus meninggalkan struktur proteksi.

Beberapa informasi atau data-data yang diperlukan dalam aplikasi proteksi katodik pipa baja dalam tanah adalah parameter fisik dan kimia tanah, data pipa yang akan diproteksi, meliputi dimensi pipa dan jenis coating yang digunakan, jenis anoda yang digunakan, spesifikasi *backfill*, jenis kabel yang digunakan serta struktur sekunder.

Beberapa hal yang perlu di perhatikan dalam pemasangan proteksi katodik meliputi isolating joint yang merupakan tipe sambungan pipa yang dilengkapi dengan isolator untuk mencegah kontak langsung antara pipa yang akan diproteksi katodik dengan pipa lain yang berhubungan, sistem anoda, test point yang digunakan sebagai stasiun pengujian (tempat pengukuran) potensial proteksi pipa dan arus yang dikeluarkan oleh anoda. Pada test point ini arus yang terpasang lebih sederhana yaitu terdiri dari satu kabel konduktor yang menghubungkan ke pipa induk. Serta membuat kontak dengan pipa untuk keperluan pemasangan kabel konduktor ke anoda maupun ke test point dilakukan dengan memindahkan coating secara hati-hati dan kabel konduktor di hubungkan ke pipa dengan cara pengelasan/disoder.

Tindakan yang diperlukan dalam operasional dan pemeliharaan instalasi proteksi katodik adalah survey potensial proteksi, pengukuran dan pengaturan out put arus, cek terhadap kondisi instalasi dan perbaikan terhadap bagian-bagian yang mengalami gangguan atau kerusakan.

Survey potensial merupakan istilah lain dari pengukuran potensial proteksi pipa yang digunakan untuk menguji keberhasilan sistem proteksi katodik yang telah dipasang, sekaligus sebagai sarana untuk pemantauan operasionalnya. Adapun alat yang digunakan untuk survey adalah *saturated copper sulfate electrode*. Peletakan alat ini adalah sedekat

mungkin dengan pipa sehingga kesalahan akibat IR drop (potensial jatuh) dapat diturunkan.

Pemantauan terhadap operasional sistem proteksi katodik anoda korban perlu dilakukan secara rutin meliputi pengukuran potensial proteksi pipa, pengukuran out put arus anoda dan cek secara visual terhadap kondisi instalasi. Pemantauan sistem perlu dilakukan tiap 3 bulan atau setiap tahun bila termasuk inspeksi terhadap korosi arus sesaat pada struktur lain.

Pemantauan operasional pada sistem pemeliharaan instalasi proteksi katodik arus terpasang pada dasarnya sama seperti pada sistem anoda korban. Namun demikian mengingat struktur yang diproteksi pada umumnya besar, maka pengukuran potensial secara khusus melalui survey dengan interval yang pendek hanya perlu dilakukan setiap 5 sampai 10 tahun.

2. METODOLOGI.

Pada evaluasi ini data yang digunakan sebagai bahan informasi meliputi data sekunder dan data primer. Data primer meliputi data potensial proteksi pipa, dan pengamatan kondisi visual instalasi proteksi katodik. Sedangkan untuk data sekunder meliputi usulan perencanaan, *assbuilt drawing*.

Selanjutnya dilakukan peninjauan yang didasarkan dari beberapa aspek antara lain perencanaan, pemasangan instalasi dan operasional. Kemudian hasil evaluasi

3. HASIL DAN ANALISA

Tingkat korosifitas tanah merupakan aspek penting yang terlebih dulu harus diketahui dalam perencanaan suatu sistem pencegahan korosi pada pipa baja dalam tanah karena pada dasarnya upaya pencegahan korosi tersebut hanya diperlukan apabila pipa baja yang dimaksudkan berada pada lingkungan tanah yang korosif.

Untuk mengetahui kondisi korosifitas tanah diperlukan data tentang faktor faktor yang berpengaruh pada proses korosi baja dalam tanah diantaranya resistivitas tanah, pH, potensial redoks, sulfida dan kandungan air. Pedoman penentuan tingkat korosifitas tanah tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Pedoman Penentuan Tingkat Korosifitas Tanah.

Data data tanah	Hasil pengukuran	Point
Resistivitas (ohm-cm)	<700	10
	700-1000	8
	1000-1200	5
	1200-1500	2
	1500-2000	1
	>2000	0
pH	0-2	5
	2-4	3
	4-6.5	0*
	6.5-7.5	0*
	7.5-8.5	0
	>8.5	3
Potensial redoks (mVolt)	<100	0
	50-100	3,5
	0-50	4
Kandungan air	>0	5
	Selamanya basah	2
	basah sebagian	1
	Umumnya kering	0
Sulfida	Positif	3,5
	Trace	2
	Negatif	0

Keterangan :

Total point :

0 : bebas korosif

0-4 : korosif ringan

5-10 : korosif sedang

>10 : sangat korosif

*) Bila sulfida positif dan potensial redoks negatif, maka point 3 ditambahkan pada angka 0

Sumber : Nasution, 1988

Menurut Fontan dan Greene (1989) pada kondisi tanah dimana termasuk katagori korosif ringan, maka aplikasi proteksi katodik dianggap tidak perlu pada kondisi tersebut.

Metode pencegahan korosi yang diterapkan pada pipa induk ini adalah sistem kombinasi antara pelapis dan menggunakan lapis lindung *coatlar (coatlar coating)* dan proteksi katodik arus terpasang (*impressed current*).

Penerapan sistem pencegahan korosi dengan menggunakan sistem kombinasi menguntungkan karena seluruh penampang pipa dapat terlindungi. Dengan adanya coating pada pipa dapat menekan kebutuhan arus listrik untuk proteksi katodik. Selain itu dengan arus yang rendah tersebut dapat pula mengurangi efek negatif yang timbul dari operasional sistem proteksi katodik terhadap lingkungan.

Pemilihan metode proteksi katodik antara sistem arus terpasang dan sistem anoda korban perlu mempertimbangkan keuntungan dan kerugian dari masing-masing metode yang akan digunakan tersebut.

Dengan mempertimbangkan keuntungan dan kerugian dari masing-masing sistem, sistem arus terpasang lebih sesuai untuk diterapkan.

Dalam penggunaan anoda kita harus mengetahui sifat masing-masing anoda terhadap lingkungan dan pengausan (kapasitas arus). Untuk itu pemilihan anoda ini diperlukan data parameter kimiawi tanah di lokasi pipa khususnya kandungan ion klorida.

Ditinjau dari lokasi perpipaan yang berdekatan dengan pantai sehingga air tanah cenderung dipengaruhi oleh intrusi air laut, maka dalam hal ini perlu menjadi pertimbangan bahwa jenis anoda yang digunakan harus aplikatif untuk kondisi tersebut.

Jenis-jenis anoda yang dapat digunakan dalam sistem proteksi katodik arus terpasang diantaranya adalah paduan platina, yaitu platina-titanium (Ti-Pt), Platina-Niobium (Ni-Pt) dan Platina-Tantalum (Ta-Pt). Paduan besi, yaitu baja, cast iron, besi-silikon dan besi-silikon-kromium. Grafit, magnetit, timbal-perak.

Dari jenis-jenis anoda diatas yang dapat diaplikasikan untuk lingkungan tanah dan air adalah paduan besi dan grafit, sedangkan jenis anoda lainnya memiliki aplikasi khusus untuk air laut.

Sistem proteksi katodik yang telah diterapkan adalah menggunakan hasil perhitungan praktis yang mengasumsikan kebutuhan rapat arus proteksi sebesar 25 mA/m^2 , resiko kerusakan coating $R = 5 \%$ (efisiensi coating 95%) serta faktor keamanan untuk total arus sebesar 50%

Rapat arus proteksi sebesar 25 mA/m^2 adalah rapat arus yang dibutuhkan untuk proteksi struktur baja telanjang (tanpa coating) yang berada dalam tanah dengan resistivitas $300\text{--}1.000 \text{ ohm-cm}$. Karena adanya coating yang diasumsikan memiliki efisiensi perlindungan sebesar 95% , maka luas penampang pipa yang mengalami kerusakan coating dan membutuhkan proteksi katodik tinggal 5% dari luasan total.

Sebagai safety factor diasumsikan sebesar 50% dari kebutuhan arus terhitung yang digunakan untuk mengatasi ketidakmerataan distribusi arus proteksi pada pipa dimana bagaian yang lebih dekat dengan anoda akan memperoleh rapat arus yang lebih be-

sar serta untuk meningkatkan kebutuhan arus aki-bat menurunnya efisiensi coating.

Kriteria yang digunakan adalah pertama-tama rapat arus, $CD = 0,1 \text{ mA/m}^2$ dengan asumsi kualitas pelapisan buruk sehingga diambil harga terbesar dari range kebutuhan rapat arus. Kemudian safety faktor diambil sama yaitu 50% , dan memiliki spesifikasi anoda sama, yaitu jenis besi-silikon-kromium dengan berat $49,1 \text{ kg}$.

Perhitungan kebutuhan arus :

- luas area pipa yang di proteksi (A_p)

$$\begin{aligned} A_p &= \pi \cdot D_p \cdot L_p \\ &= 3,14 \cdot 0,8366 \cdot 3.650 \\ &= 9.588 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

- Kebutuhan arus Proteksi (I).

$$\begin{aligned} I &= A_p \cdot CD & CD &= 0,1 \text{ mA/m}^2 \\ &= 9.588 \cdot 0,0001 \\ &= 0,9588 \\ &= 1 \text{ Ampere.} \end{aligned}$$

Bila diambil safety factor yang sama 50% maka total arus yang digunakan menjadi $1,5 \text{ Ampere}$.

Kebutuhan jumlah anoda.

- Berat anoda total (W_t)

$$\begin{aligned} W_t &= I_t \cdot Y \cdot K_s \\ &= 1,5 \cdot 40 \cdot 0,5 \\ &= 30 \text{ Kg} \end{aligned}$$

- Jumlah anoda (N).

$$\begin{aligned} N &= W_t / W_a \\ &= 30 / 49,1 \\ &= 1 \text{ unit.} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas jelas kiranya bahwa desain yang telah diterapkan sangat berlebihan bila ditinjau dari keperluan arus proteksi teoritis, karena untuk proteksi katodik pipa tersebut secara teoritis telah cukup dengan suplai arus sebesar $1,5 \text{ ampere}$ dengan hanya menggunakan 1 unit anoda jenis besi silikon kromium seberat $49,1 \text{ kg}$.

Instalasi proteksi katodik pada pipa induk distribusi ini dipasang bersamaan dengan pemasangan pipa. Hal ini sangat baik terutama mengingat kondisi tanah yang korosif, sehingga pencegahan korosi pada pipa sangat diperlukan sejak dini. Beberapa hal dalam pemasangan peralatan instalasi proteksi katodik yang harus diperhatikan karena sangat menunjang bahkan dapat menentukan keberhasilan penerapan sistem proteksi katodik yaitu isolating joint dipasang dengan tujuan agar arus searah untuk proteksi katodik tidak menjalar keluar dari sis-

tem yaitu pipa lain yang berhubungan yang tidak direncanakan untuk diproteksi katodik, pemasangan sistem anoda (*ground bed*), pemasangan kabel konduktor, pencegahan efek arus sesat (*stray current*) dan pemasangan tes pos (*test point*).

Pada saat operasional, sistem proteksi katodik ini perlu dilkakukan pengujian dan pemantauan (monitoring) karena kondisi operasional juga menentukan keberhasilan penerapan sistem proteksi. Tindakan yang paling dominan dalam pengujian maupun monitoring adalah melalui survey potensial proteksi pipa dan pengukuran output arus dan voltase pada sumber *transformer-rectifier*. Transformer-rectifier yang digunakan sebagai sumber arus dalam proteksi katodik ini memiliki kapasitas output maksimal sebesar 18 ampere, 24 volt. Sedangkan saat pengukuran potensial proteksi pipa ini dilakukan dengan pengamatan pada sumber arus, ternyata kapasitas output maksimum yang dapat dicapai adalah 12 amper, 24 volt.

Dari hasil analisa dan evaluasi yang meliputi peninjauan terhadap aspek desain, aplikasi pemasangan, operasional sistem proteksi katodik pada pipa distribusi ini, terlihat adanya beberapa hal yang memerlukan pembahasan secara bersama mencakup ketiga aspek yang ditinjau, diantaranya adalah perbedaan kebutuhan arus proteksi antara teoritis dengan praktek, kondisi operasional sistem proteksi katodik serta potensial pipa yang berfluktuasi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN.

4.1. Kesimpulan

Dalam beberapa hal, sistem ini tidak di terapkan secara baik terutama karena kurangnya pendataan tentang faktor-faktor yang sangat diperlukan untuk bahan pertimbangan baik dalam desain, aplikasi maupun operasional. Data data yang seharusnya ada adalah parameter fisik dan kimia tanah dan struktur sekunder yang ada di lokasi perpipaan. Dari segi operasional, sistem ini juga kurang diperhatikan dimana suplai arus listrik tidak teratur sesuai dengan kebutuhan sehingga kondisi pipa masih jauh di bawah level minimum potensial proteksi katodik yang berlaku secara umum yaitu $-0,85$ volt terhadap elektroda referensi standart copper

sulfat (Cu/CuSO_4) yang mengindikasikan bahwa pipa belum terlindung dari korosi. Proteksi katodik sebagai metode pencegahan korosi pada pipa baja dalam tanah tidak sesuai untuk diterapkan di lokasi yang telah banyak dengan struktur logam bawah tanah ataupun dilokasi dimana dekat pipa yang akan diproteksi katodik terdapat kabel listrik bawah tanah yang mengalir arus bolak balik dengan tegangan yang tinggi.

4.2. Saran.

Perlu dilakukan inspeksi lebih lanjut terhadap sistem anoda (*groundbed*) pada instalasi proteksi katodik pipa induk distribusi di jalan Rajawali-jalan Kapasan Surabaya, karena berdasarkan hasil survey lapangan menunjukkan adanya indikasi kerusakan atau gangguan pada bagaian ini. Mengingat efek yang merugikan serta kondisi yang pada umumnya sulit untuk mencapai keberhasilan, maka sebagai upaya pencegahan terhadap korosi pipa tersebut sebaiknya dilakukan optimalisasi sistem proteksi coating yang berkaulitas tinggi. Kriteria potensial proteksi katodik yang digunakan sebagai ukuran bahwa suatu struktur besi/baja yang terlindung dari korosi, hendaknya tidak berdasarkan pada konsensus yang berlaku umum yaitu minimum $-0,85$ volt (CSE), tetapi kriteria tersebut perlu disesuaikan dengan kondisi medium tempat struktur besi atau baja yang dimaksud berada.

DAFTAR PUSTAKA

- British Standard. (1991). **Cathodic Protection**. BS 7361. Code of Practice For Land and Marine Application. Part 1.
- Fontan. M.G. dan Greene.N.D. (1989) **Corrosion Engineering**. McGraw-Hill Book Co
- Nasution. S. (1988). **Penentuan Jenis Pipa Dan Perlindungannya Terhadap Korosi**. Laporan seminar, ITB,
- Suherman. W. (1987) **Pengetahuan Bahan**. Jurusan Teknik Mesin. FTI-ITS. Surabaya.
- Sulaiman. A. (1987) **Dasar Dasar Korosi**. Puslitbang Metalurgi-LIPI