

## DESAIN SISTEM PROTEKSI KATODIK ANODA KORBAN PADA JARINGAN PIPA PERTAMINA UPms V

Iswahyudi

Mahasiswa Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS

**Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA**

Dosen Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS

### Abstrak

Sistem proteksi katodik anoda korban adalah salah satu metode untuk mencegah serangan korosi dengan mengkorosikan logam anoda pada sel galvanik. Logam yang diproteksi diatur agar berperan sebagai katoda dalam suatu sel korosi dan pasangan yang ditempelkan adalah logam lain yang memiliki potensial elektrode yang lebih negatif sehingga berperan sebagai anoda.

Proses perancangan sistem proteksi mengacu pada NACE standard RP169-2002 "Control Of External Corrosion For Underground or submerged Metallic Piping System". Langkah yang paling pertama adalah mengukur resistivitas tanah dengan metode Wenner kemudian dilanjutkan perancangan sesuai dengan ketentuan NACE standard.

Nilai resistivitas tanah terukur di daerah perak sebesar 314.94 Ohm.cm, resistivitas dibawah 2000 Ohm.cm direkomendasikan Zink (ASTM B 418-88 Tipe II) sebagai anoda pada struktur bawah tanah sedangkan untuk bawah sungai digunakan aluminium (Al-Zn-In). Pipa API 5L Grade B, NPS 12" Sch.80, SMLS membutuhkan tiga (@ 25 kg) anoda aluminium dan pipa API 5L Grade B, NPS 12" Sch.40, ERW membutuhkan 19 (@ 25 kg) anoda zink alloy. Keluaran total arus anoda aluminium 1.282 A dan zink 5.459 A.

**Kata Kunci :** proteksi katodik, sacrificial anode, current density, jaringan pipa

### DESIGN OF SACRIFICIAL ANODE CATHODIC PROTECTION SYSTEM ON PERTAMINA UPms V BURRIED PIPELINE

#### Abstract

*Sacrificial anode cathodic protection system is one of method to prevent corrosion attack with corroding the metal anode at galvanic cell. The metal is protected properly arrange in order that as cathode at corrosion cell and the other metal is attached as anode which has potential more negative.*

*Protection system design refers to NACE standard RP 169-2002 "Control Of External Corrosion For Underground or Submerged metallic Piping System". The first step of design measure soil resistivity with Wenner method and it is continued the design appropriately based on NACE standard.*

*The average value of soil resistivity measured in Perak (north Surabaya) is 314.94 Ohm.cm. Zinc anode (ASTM B 418-88 Tipe II) is recommended under resistivity 2000 Ohm.cm as anode on submerged structure therefore Aluminum (Al-Zn-In) is used for under river condition or offshore structure. API 5L Grade B, NPS 12" Sch.80, SMLS pipe needs three aluminum anodes (@ 25 kg) and API 5L Grade B, NPS 12" Sch. 40, ERW pipe needs 19 anodes (@ 25 kg). Total current output of aluminum anode is 1.282 A and zinc is 5.459 A.*

**Keywords :** Cathodic Protection, sacrificial anode, current density, pipeline

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri minyak dan gas, penggunaan jaringan pipa merupakan salah satu elemen yang memegang peranan penting yaitu sebagai rantai produksi. Jaringan pipa digunakan sebagai alat distribusi berbagai kebutuhan industri misalnya minyak, air dan gas. Untuk mempermudah penataan dan penempatan jaringan pipa tersebut, maka jaringan pipa biasanya ditempatkan dalam

tanah. Namun penempatan jaringan pipa dalam tanah dapat mengakibatkan korosi pada pipa, hal ini terjadi karena tanah merupakan media yang korosif. Untuk mencegah terjadinya korosi pada jaringan pipa tersebut maka dilakukan langkah pencegahan, salah satunya dengan penerapan metode proteksi katodik.

Demikian juga pada PT.PERTAMINA UPms V yang berperan sebagai penyuplai minyak dan gas untuk kebutuhan masyarakat dan industri di Jawa Timur dan Bali. Salah satunya digunakan jaringan pipa sebagai jalur

distribusi minyak dan gas. Jaringan pipa yang tertanam dalam tanah milik PT.PERTAMINA UPms V dilindungi dari serangan korosi dengan menggunakan metode proteksi katodik anoda korban (*sacrificial anode*).

Pada perancangan ini akan dilakukan penerapan teknologi proteksi korosi secara *real* dengan mendesain sistem proteksi katodik metoda *sacrificial anode* berdasarkan data pengamatan lingkungan dan kebutuhan akan proteksi katodik pada jalur pipa bahan bakar milik PT. Pertamina UPms V.

### 1.2 Perumusan Masalah

Iustrasi latar belakang permasalahan di atas memaparkan bahwa jaringan pipa bawah tanah memerlukan perlindungan dari serangan korosi. Dengan harapan desain mampu memberikan perlindungan dari serangan korosi. Oleh karena itu fokus perencanaan sistem proteksi jaringan pipa bawah tanah sepanjang 1879 m ini dititikberatkan pada :

1. Berapa total aru proteksi yang diperlukan?  
Berapa jumlah anoda korban yang ideal digunakan, berapa berat anoda yang ideal dan layak digunakan, bagaimana konfigurasi penanaman anoda?
2. Seberapa besar onoda output sehingga mampu memproteksi selama waktu desain?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Perancangan ini bertujuan untuk mendesain proteksi katodik metode *sacrificial anode* pada salah satu jaringan pipa milik PT PERTAMINA UPms V agar proteksi katodik metode *sacrificial anode* pada jaringan pipa lebih mudah untuk dipahami dan dipelajari.

### 1.4 Batasan Masalah dan Asumsi

Agar perancangan menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut:

- c) Analisa kimia tanah seperti pH, kandungan sulfat dan klorida diabaikan.
- d) Adanya arus liar (stray current) diabaikan dalam perhitungan.
  1. Analisa kimia tanah seperti pH, kandungan sulfat dan klorida diabaikan.
  2. Adanya arus liar (stray current) diabaikan dalam perhitungan.
  3. Proteksi korosi hanya diaplikasikan untuk permukaan luar pipa yang langsung kontak dengan tanah.
4. Perancangan sistem proteksi katodik mengacu pada :

- a) NACE standards
  - NACE Standard RP-0169-2002 *Control Of External Corrosion Of Underground or Submerged Metallic Piping System*,
  - A.W. Peabody, *Control of Pipeline Corrosion*, NACE International The Corrosion Society
- b) ASTM
  - ASTM G57 Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method.
- c) IPS (Iranian Petroleum Standard)
  - IPS-E-TP-270 / 2007 for Coating.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Perancangan ini dapat dijadikan sebagai salah satu model perancangan sistem proteksi katodik pada pipa bawah tanah sehingga akan memudahkan untuk dipelajari dan dipahami.

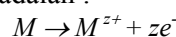
## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Mekanisme Korosi

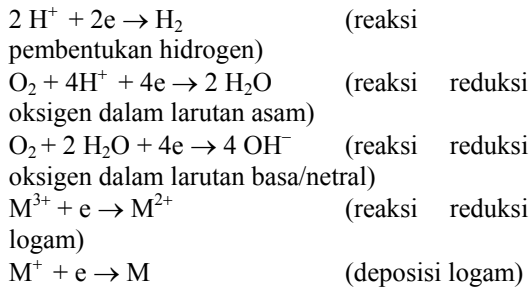
Korosi dapat diartikan sebagai perusakan suatu material karena bereaksi dengan lingkungannya<sup>1</sup>. Banyak ahli juga menyebutkan sebagai penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya<sup>2</sup>. Reaksi ini menghasilkan oksida logam, sulfida logam dan hasil reaksi lainnya.

Pada korosi basah reaksi yang berpengaruh adalah reaksi elektrokimia. Korosi elektrokimia biasanya terjadi pada lingkungan yang basah, pada temperatur yang relatif rendah, dengan berbagai bentuk korosi yang mengikuti mekanisme elektrokimia yaitu terjadi reaksi oksidasi (anodik) dan reaksi reduksi (katodik).

Reaksi oksidasi adalah reaksi yang menghasilkan pelepasan elektron dan berakibat terbentuknya ion-ion positif. Logam yang mengalami reaksi ini disebut sebagai *anoda*. Reaksi oksidasi pada logam M adalah :



Reaksi reduksi adalah reaksi yang menghasilkan penangkapan elektron. Logam yang mengalami reaksi ini disebut sebagai *katoda*. Reaksi reduksi yang sering terjadi adalah :



**2.2 Korosi Elektrokimia**

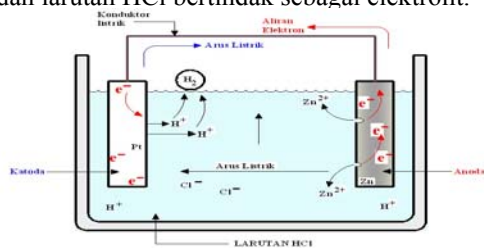
Korosi elektrokimia terjadi hanya jika keempat komponen tersebut terpenuhi :

1. Anoda  
Merupakan bagian logam yang berfungsi sebagai elektroda, dimana terjadi reaksi anodik. Reaksi anodik adalah reaksi yang menghasilkan elektron.  
 $\text{M} \rightarrow \text{M}^{+n} + \text{n e}^-$  ( n adalah valensi logam )
2. Katoda  
Merupakan elektroda yang mengalami reaksi katodik yang mengkonsumsi elektron.
3. Penghantar listrik  
Dimana diantara katoda dan anoda harus terdapat kontak listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir.
4. Elektrolit  
Merupakan suatu media yang bersifat menghantarkan arus listrik seperti air dan tanah.

Hubungan antara komponen-komponen tersebut dapat diketahui lebih detail dari contoh sel elektrokimia berikut ini. Salah satu contoh sel elektrokimia sederhana adalah antara seng (Zn) dan Platinum (Pt) dalam elektrolit HCl seperti ditunjukkan pada gambar 2.1.

Pada gambar 2.1 reaksi reduksi terjadi pada katoda dimana katoda menerima suplai elektron dari anoda dan pada anoda sendiri terjadi reaksi pelepasan elektron. Elektron mengalir dari anoda ke katoda melalui penghantar listrik karena ada perbedaan potensial dari kedua elektroda tersebut. Sedangkan elektrolit menjadi media aliran ion positif dari anoda.

Logam platinum bertindak sebagai katoda, sedangkan logam Zn bertindak sebagai anoda. Suatu kabel bertindak sebagai penghantar listrik dan larutan HCl bertindak sebagai elektrolit.

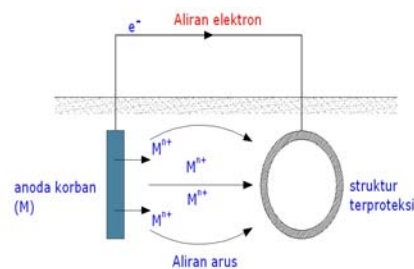


Gambar 2.1 Sel korosi elektrokimia sederhana

Pada saat oksidasi terjadi di anoda, ion Zn dilepas menuju elektrolit. Elektron yang dilepas oleh reaksi oksidasi mengalir menuju katoda melalui penghantar listrik. Pada saat itu, katoda mengalami reaksi reduksi, dimana elektron pada permukaan katoda bergabung dengan ion H<sup>+</sup> dalam elektrolit membentuk gas hidrogen. Pada elektrolit terdapat ion Zn<sup>2+</sup> hasil oksidasi logam Zn. Ion logam Zn<sup>2+</sup> ini akan bereaksi dengan ion Cl<sup>-</sup> yang berasal dari elektrolit. Dengan demikian reaksi oksidasi dan reduksi berlangsung dengan ditandai terbentuknya ion Zn<sup>2+</sup> di anoda untuk tiap-tiap molekul gas hidrogen yang terbentuk.

**2.3 Proteksi Katodik Metode Anoda Korban (Sacrificial Anode)**

Proteksi katodik dengan sistem anoda tumbal dapat dijelaskan dengan prinsip sel galvanik. Dalam suatu sel galvanik anoda yang terkorosi, sedangkan katoda tidak terkorosi. Dalam proteksi katodik dengan metode anoda tumbal logam, yang diproteksi diatur agar berperan sebagai katoda dalam suatu sel korosi dan pasangan yang ditempelkan adalah logam lain yang memiliki potensial elektrode yang lebih negatif sehingga berperan sebagai anoda.



Gambar 2.2 Skema diagram *Sacrificial Anode* pada pipa

Adapun keuntungan dan kekurangan sistem anoda korban adalah sebagai berikut :

1. Keuntungan :
  - Tidak memerlukan tenaga listrik dari luar
  - Pemasangan relatif mudah dan murah untuk struktur yang relatif kecil
  - Cocok untuk daerah padat struktur
  - Distribusi arus merata dan tidak perlu biaya operasional
  - Tidak memerlukan pemeliharaan, kecuali inspeksi rutin
2. Kekurangan :
  - Keluaran arus anoda terbatas, padahal makin lama makin diperlukan arus lebih besar karena degradasi dengan lapis lindung.

- Tidak efektif untuk lingkungan yang resistivitas tanah terlalu tinggi
- Untuk struktur yang besar diperlukan anoda banyak jumlahnya.

**2.4 Kriteria Proteksi Bagi Baja dan Besi Tuang**

Untuk memastikan apakah proteksi katodik yang diaplikasikan sesuai dengan prinsip kerjanya, diperlukan suatu metode dan kriteria penilaian. Pengendalian korosi eksternal dapat dicapai pada berbagai tingkatan polarisasi katodik bergantung kondisi lingkungan yang dihadapi.

Ketiga kriteria utama proteksi katodik pada pipa baja atau besi tuang yang terpendam dalam tanah atau terbenam dalam air menurut NACE Standard adalah :

- 850 mV (CSE) terhadap proteksi katodik yang diaplikasikan, potensial ini dapat di ukur dengan anoda pembeding Cu-CuSO<sub>4</sub>.
- Potensial polarisasi -850 mV terhadap CSE (*Copper Saturated Electrode*),
- Polarisasi minimum 100 mV.

**2.5 Anoda**

Ada tiga jenis anoda yang umum digunakan di lapangan, yaitu paduan Magnesium (Mg), paduan Seng (Zn), dan paduan Aluminium (Al).

*Anoda Magnesium* terutama digunakan untuk lingkungan tanah karena daya dorong listriknya paling tinggi dan keluaran arusnya juga besar. Selain itu anode Magnesium juga digunakan untuk air tawar/rawa dan tangki air. Penggunaannya di air laut sangat terbatas.

*Anoda seng* adalah yang paling dapat diandalkan dan sangat luas penggunaannya, baik untuk lingkungan tanah dengan resistivitas rendah maupun lingkungan laut. Belakangan ini anoda seng terdesak oleh anoda aluminium untuk penggunaan lepas pantai. Tetapi untuk pipa dan struktur yang berada pada lumpur, anoda seng masih dapat diandalkan.

*Anoda aluminium* yang merupakan pendatang baru telah mendesak anoda seng karena lebih ekonomis untuk penggunaan di lepas pantai. Anoda aluminium tidak digunakan dalam keadaan murni, karena mudah membentuk lapisan pasif. Pada tabel dibawah ini dapat kita lihat berbagai macam propertis dari masing-masing anoda korban.

Tabel 2.1 Perbandingan ketiga sifat anoda korban

Sifat	Mg	Zn	Al
Massa jenis, Kg/m <sup>3</sup>	1765	7060	2695
Potensial,(V),CSE	-1.5 s/d-1.7	-1.05	-1.10
Driving Force, V	0.5 – 0.8	0.25	0.25
Kapasitas, Ah/Kg	1200	780	2700
Efisiensi, %	50	95	50 – 95
Keluaran Arus, A/m <sup>2</sup>	10.8	6.5	6.5
Pengausan (kg/A.y)	4.1	10.7	3.2
Pengausan (m <sup>3</sup> /A.y)	2.29 x 10 <sup>-3</sup>	1.15 x 10 <sup>-3</sup>	1.18 x 10 <sup>-3</sup>

Sumber : Sulistijono. **Diktat Kuliah Korosi**, 1999. Surabaya: Fakultas Teknologi Industri ITS

**2.6 Tahanan Anoda**

Tahanan anoda terhadap elektrolit (*The anode to elektrolit resistance*) merupakan parameter sangat penting untuk memprediksikan keluaran arus (current output) sebuah anoda<sup>4</sup>. Arus mengalir melalui mekanisme perpindahan ion-ion dalam tanah. Sebelum mengukur tahanan anoda, maka sangat perlu untuk menentukan nilai resistivitas tanah<sup>7</sup>.

Rumus tahanan anoda bervariasi berdasarkan bentuk geometri anoda<sup>4</sup>.

1. Bentuk silinder (*Long slender stand off L ≥ 4 r*)

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln\left(\frac{4L}{r}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots 2.1$$

2. Bentuk Silinder (*Short slender stand off L < 4 r*)

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L} \left\{ \ln\left[ \frac{2L}{r} \left( 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L}\right)^2} \right) \right] + \frac{r}{2L} \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L}\right)^2} \right\} \dots\dots\dots 2.2$$

3. Bentuk anoda Plate (*Sunde Formula*)

$$R_a = \frac{\rho}{2S} \dots\dots\dots 2.3$$

4. Bentuk gelang (*bracelet*) dan bentuk lain (*McCoy Formula*)

$$R_a = \frac{0.315 \rho}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana :

- $R_a$  = Tahanan anoda (Ohm)
- $\rho$  = Resistivitas tanah (Ohm-cm)
- $L$  = Panjang anoda (cm)
- $A$  = Permukaan anoda (cm<sup>2</sup>)
- $S$  = Panjang, lebar rata-rata anoda (cm)
- $r$  = Jari-jari anoda (cm)

**2.7 Keluaran Arus Anoda (Anoda Output)**

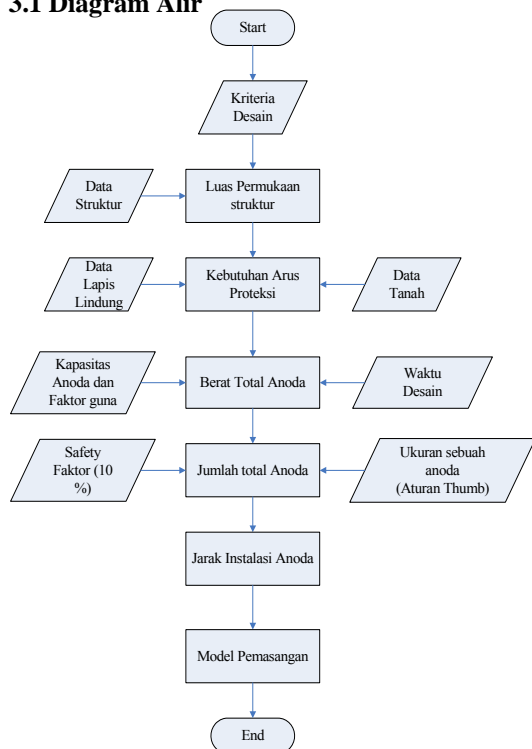
Keluaran arus anoda adalah sejumlah arus listrik yang dapat dialirkan oleh anoda untuk mencapai batasan proteksi maksimum yang telah ditentukan sebelumnya<sup>9</sup>. Pada Metode *sacrificial anode* keluaran arus sangat tergantung dari bentuk atau luas permukaan anoda, model pemasangan, pengaruh lingkungan yaitu tingkat resistivitas tanah, potensial proteksi dari struktur dan potensial anoda terukur.

$$I = \frac{[ E_2 - E_1 ]}{R} \dots\dots\dots 2.5$$

- Dimana :  $I$  = Anoda Out Put (A)  
 $E_2$  = Potensial Proteksi (V)  
 $E_1$  = Potensial Operasi Anoda (V)  
 $R$  = Tahanan Anode (Ohm)

**3. METODELOGI PERANCANGAN**

**3.1 Diagram Alir**



**3.2 Tahapan Perencanaan Teknis Sistem Proteksi Katodik**

**2.2.1 Pengumpulan data**

Perancangan model proteksi katodik merupakan terapan teori korosi dan pengendalian korosi ke kondisi Praktek lapangan. Mekanisme awal adalah tahapan pengumpulan data yang akan memberikan informasi mengenai kondisi jaringan pipa yang akan diproteksi baik kondisi lapis lindung, dimensi dan kerusakan-kerusakan yang pernah terjadi sekaligus kondisi lingkungan, meliputi :

- a) Struktur yang hendak diproteksi yaitu jenis material pipa dan dimensinya.
- b) Karakteristik lapis lindung.
- c) Resistivitas tanah
- d) Struktur disekitar pipa yaitu *road crossing* dan jembatan,
- e) Standar proteksi yang digunakan,

**3.2.2 Survei Resistivitas tanah**

Survei tahanan jenis tanah dilakukan dengan menggunakan metode Wenner (ASTM G 57). Untuk mendukung survei tahanan jenis tanah maka digunakan peralatan adalah sebagai berikut.

- ❖ Aki Yuasa dengan laju pengisian arus 0.5 A x 10 jam dan maksimum Arus 0.7 Amper.



Gambar 3.1 Aki Yuasa.

- ❖ Kabel tembaga merek Eterna 2.5 mm<sup>2</sup> (SNI)



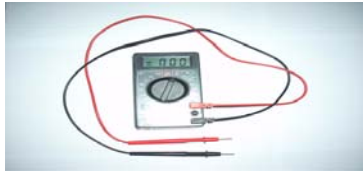
Gambar 3.2 Kabel tembaga.

- ❖ Empat buah pin mild steel dengan dimensi sama



Gambar 3.3 *mild steel* dengan panjang 30 cm, diameter 8 mm

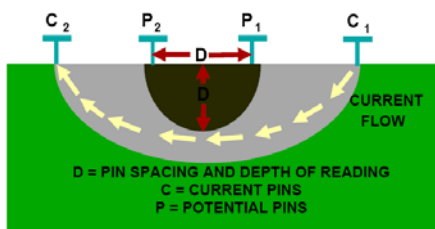
- ❖ Multitester



Gambar 3.4 Multitester DT830D merek MASDA

Adapun prosedur pengukurannya sebagai berikut:

- a. Memasukkan empat pin baja ke dalam tanah pada jarak yang tetap dalam satu garis lurus. Selanjutnya hubungkan masing-masing pin pada instrumen pengukur seperti gambar berikut:



Gambar 3.5 Konfigurasi metode *Wenner*

Jarak antar pin dapat ditentukan menggunakan meteran. Jarak ini mewakili pengukuran tahanan jenis dari kedalaman elektrolit dengan variasi 1.5; 3 dan 6 meter.

- b. Dua pin terluar ( $C_1$  dan  $C_2$ ) merupakan elektrode arus, sedang dua pin pada bagian dalam ( $P_1$  dan  $P_2$ ) merupakan elektrode potensial yang mengukur penurunan potensial karena adanya hambatan dari elektrolit (tanah) ketika arus AC dilewatkan diantara pin-pin terluar.
- c. Mengukur nilai hambatan secara langsung pada instrumen Megger dan menghitung nilai tahanan jenisnya sesuai persamaan berikut:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \dots\dots\dots 3.1$$

dimana :

- $\rho$  = tahanan jenis tanah (Ohm-cm)
- $a$  = jarak antar pin (cm)
- $R$  = hambatan yang terukur (Ohm)
- $\pi$  = 3.14159

- d. Harus diperhatikan bahwa pengukuran yang dilakukan dengan cara ini menunjukkan nilai rata-rata tahanan jenis tanah pada kedalaman tertentu terkait dengan jarak antara pin-pin yang berdekatan. Kedalaman pin (electrode) tidak boleh melebihi nilai  $a/20$ .

### 3.3 Perencanaan Teknis dan Perhitungan

Melihat dari diagram alir di atas maka langkah-langkah perencanaan rancang bangun sistem proteksi katodik anoda tumbal dapat dijabarkan secara garis besar meliputi :

- 1) Menentukan tahanan jenis tanah.
- 2) Memperkirakan total arus yang diperlukan yang mana akan bergantung pada agresivitas lingkungan, sifat dasar lapis lindung, luas struktur, dan material konstruksi yang digunakan.
- 3) Pemilihan anoda korban yang sesuai ; hitung berat total anoda untuk waktu desain yang dibutuhkan.
- 4) Menentukan ukuran anoda untuk memenuhi keluaran total arus dan kebutuhan distribusi arus
- 5) Menghitung jarak pemasangan anoda berdasarkan panjang total pipa.
- 6) Mempertimbangkan fasilitas untuk proses pemantauan atau *monitoring*.

Langkah-langkah perhitungan proteksi katodik anoda tumbal adalah sebagai berikut :

1. Menghitung luas struktur pipa ( $A$ )

$$A = \pi \times D \times L \dots\dots\dots 3.2$$

2. Menghitung arus total ( $I_p$ ).

$$I_p = A \times i_c \times f \dots\dots\dots 3.3$$

Dimana :

- $i_c$  = Kerapatan arus dari logam yang akan dilindungi ( $\text{mA/m}^2$ ).
- $f$  = *Coating Breakdown* (Pertamina standar rata-rata 5 % per tahun)

3. Menghitung kebutuhan berat total anoda selama waktu desain ( $W_0$ ).

$$W_0 = \frac{I_p \times t \times 8760}{u \times C} \dots\dots\dots 3.4$$

dimana :

- $t$  = Waktu proteksi (Y)
- $C$  = Kapasitas anoda anoda (Ah /kg)
- $U$  = Faktor Guna

4. Menghitung jumlah anoda ( $n$ ).

$$n = \frac{W_0}{w} \dots\dots\dots 3.5$$

dimana :  $w$  = Berat sebuah anoda (kg)

5. Menghitung jarak pemasangan antar anoda ( $S_a$ ).

$$S_a = \frac{L}{\text{Jumlah anoda}} \dots\dots\dots 3.6$$

#### 4. HASIL PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN

##### 4.1.1 Data struktur yang diproteksi

Material pipa : Baja karbon rendah

Pipe specification :

1. API 5L Grade B, NPS 12" Sch.80, SMLS
2. API 5L Grade B, NPS 12" Sch.40, ERW

Panjang pipa baja

1. API 5L Grade B, NPS 12" Sch.80, SMLS : 69 m
2. API 5L Grade B, NPS 12" Sch.40, ERW : 1810 m

Panjang pipa perjalur : 1879 m

Penambahan unsur paduan pada pipa dimaksudkan untuk meningkatkan kekuatan dan ketangguhan pipa. Pada pipa jenis API 5L Grade B, NPS 12" Sch. 80, SMLS *tensile strenght* lebih besar dari API 5L Grade B, NPS 12" Sch. 40, ERW sehingga mampu menahan pembebanan yang lebih besar. Masing-masing jenis pipa tersebut mempunyai karakteristik baik *chemical composition* dan *mechanical requirement* seperti terlihat pada table dibawah ini.

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B NPS 12 "

Jenis Pipa	C %	Mn %	P %	S %	Ti %	V %	Ni %
Sch. 80, SMLS	0.28	1.2	0.03	0.03	0.040	≤ 0.15	≤ 0.15
Sch. 40, ERW	0.26	1.2	0.03	0.03	0.025	≤ 0.15	≤ 0.15

Sumber : Specification for Line Pipe American Petroleum Institute, 2000

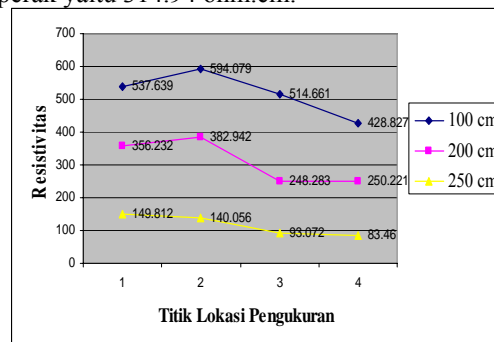
##### 4.1.2 Data Lapis Lindung

- a) Material Lapis lindung : Polyethylene
- b) Merek wrapping : Talon Tape
- c) Spesifikasi lapis lindung : Polyethylene tape dengan Talon TT 50/20 untuk inner wrap dan Talon TT 75/20 untuk outter wrap
- d) Tegangan Uji : 6.5 KVolt (untuk tebal wrapping ± 1,5 mm –reference ASTM G 62-87)
- e) Sistem wrapping : 2 x pemabalutan, bentuk spiral overlapping 2 inch

##### 4.1.3 Data Pemeriksaan Kondisi Tanah

Proses pengukuran mensyaratkan lokasi survei berupa tanah datar yang cukup lapang. Pada tiap lokasi dilakukan tiga kali pengukuran dengan variasi jarak antar pin 1 meter ; 2 meter dan 2.5 meter. Jarak lokasi pengukuran satu dengan yang lain minimal terpisah sejauh 400 m.

Nilai tahanan tanah rata-rata dikawasan perak yaitu 314.94 ohm.cm.



Gambar 4.1 Grafik resistivitas tanah pada tiap lokasi pengukuran.

Hasil survei di atas menunjukkan adanya penurunan tahanan jenis tanah di area Perak terhadap pertambahan jarak antar pin. Dengan demikian, pada lapisan tanah yang semakin dalam aktifitas korosi semakin meningkat.

#### 4.2 Perhitungan Perancangan

##### 4.2.1 Luas Permukaan yang diproteksi (SA)

Luas permukaan pipa baja yaitu :

1. API 5L Grade B, NPS 12" Sch. 80, SMLS yang dilindungi adalah :

$$A = \pi \times 0.3048 \text{ m} \times 69 \text{ m} \\ = 66.07 \text{ m}^2 \\ = \mathbf{66.07 \text{ m}^2 / \text{Jalur}}$$

2. API 5L Grade B, NPS 12" Sch. 40, ERW

$$A = \pi \times 0.3048 \text{ m} \times 1.810 \text{ m} \\ = 1,777.18 \text{ m}^2 \\ = \mathbf{1,777.18 \text{ m}^2 / \text{Jalur}}$$

##### 4.2.2 Kebutuhan Total Arus (Ip)

Total arus yang dibutuhkan oleh masing-masing pipa dapat dihitung dengan pers. 3.3 yaitu :

Tabel 4.2 Kebutuhan total arus proteksi untuk masing-masing pipa

Jenis Pipa	Lingkun- gan	Kebutuhan arus total proteksi Ip (A)		
		Initial	Mean	Final
Seamless Sch.80	Bawah Suangai	0.198	0.693	0.1783
ERW Sch.40	Tanah	0.444	1.778	0.355

Pada tabel 4.10 Kebutuhan arus proteksi berbeda untuk kondisi-kondisi masa desain. Pada awal desain kebutuhan arus proteksi lebih kecil dibandingkan dengan masa pertengahan dan akhir. Kebutuhan arus proteksi sangat bervariasi terhadap waktu, semakin lama semakin meningkat. Hal ini menandakan coating

mulai mengalami kemunduran fungsinya. Pada final kondisi ini mengalami penurunan sekali lagi, dikarenakan massa anoda mulai berkurang karena mulai habis termakan.

#### 4.2.3 Kebutuhan Berat Total Anoda Selama Waktu Desain (W<sub>o</sub>)

Total berat (W<sub>o</sub>) anoda yang dibutuhkan oleh masing-masing jenis pipa selama 20 tahun dapat dihitung dengan pers. 3.4 yaitu :

Tabel 4.3 Berat total masing-masing anoda terpakai.

Jenis Pipa	Jenis Anoda	Kebutuhan total berat anoda W <sub>o</sub> (Kg)
		Kondisi Maintenance
Seamless Sch.80	Al	52.90
ERW Sch.40	Zink	469.84

Pada tabel 4.11 kebutuhan berat anoda sangat tergantung dari luas struktur yang diproteksi, semakin besar struktur maka anoda terpakai akan semakin besar pula.

#### 4.2.4 Jumlah Anoda yang dibutuhkan (n)

Jumlah anoda terpakai untuk masing-masing jenis pipa selama 20 tahun ditabulasikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.4 Jumlah anoda terpakai selama waktu desain

Jenis Pipa	Berat Total anoda (kg)	Jenis Anoda	Jumlah anoda (unit/buah)
Seamless Sch.80	52.90	Aluminium	3
ERW Sch.40	1469.84	Zink	19

#### 4.2.5 Jarak Pemasangan Anoda Korban (S<sub>a</sub>)

Maka jarak pemasangan anoda untuk masing-masing jenis pipa ditabulasikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.5 Jarak pemasangan masing-masing anoda

Jenis Pipa	Panjang Pipa (m)	Jenis Anoda	Jarak Pasang anoda S <sub>a</sub> (m)
Seamless Sch.80	69	Al	23
ERW Sch.40	1810	Zink	96

### 4.3 Pemeriksaan Keluaran Arus Anoda

#### 4.3.1 Tahanan Anoda

tahanan masing-masing tanahan anoda ditabulasikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.5 Tahanan masing-masing anoda terhadap tanah

Jenis Anoda	Resistivitas Tanah (ohm.cm)	Panjang & lebar rata-rata anoda (cm)	Tahanan anoda tanah (Ohm)
Aluminium	314.94	224.4	0.702
Zink	314.94	180.3	0.873

#### 4.3.2 Keluaran Arus Anoda (Anoda Output)

keluaran arus masing-masing anoda dapat kita tentukan sebagai berikut :

1. Keluaran arus sebuah anoda aluminium pada pipa baja API 5L Grade B, NPS 12" Sch. 80, SMLS

$$I = \frac{(-0.8 - (-1.1))}{0.702 \Omega} = 0.427 A$$

Keluaran arus total anoda aluminium adalah 3 x 0.427 = **1.282 A/Jalur**

2. Keluaran arus sebuah anoda zink pada pipa baja API 5L Grade B, NPS 12" Sch. 40, ERW

$$I = \frac{(-0.8 - (-1.05))}{0.873 \Omega} = 0.287 A$$

Keluaran arus total anoda zink adalah 19 x 0.287 = **5.459 A/Jalu**

Dari perhitungan keluaran total arus anoda baik zink dan aluminium memenuhi proteksi yang diperlukan. Untuk lebih jelasnya dapat kita tabulasikan dalam bentuk table dibawah ini.

Tabel 4.6 Kebutuhan arus versus anode current output

Jenis Anoda	Kebutuhan arus Proteksi (A)	Total anode output (A)
Aluminium (Al-Zn-In)	0.693	1.282
Zink (ASTM B418-88 Tipe II)	1.778	5.459

Kebutuhan arus proteksi memenuhi kriteria yang diterapkan yaitu total keluaran arus anoda (arus proteksi aplikatif) melebihi arus proteksi

teoritis (perhitungan awal) yang dibutuhkan sehingga perancangan ini boleh diterapkan untuk perlindungan pipa bahan bakar MDF dan MFO. Kelebihan arus proteksi anoda disebabkan pada perhitungan diasumsikan faktor guna anoda sebesar 80 % dan keamanan 10 %. Namun hal itu tidak menjadi masalah karena pada *river crossing* dan *cross road*, kebutuhan arus proteksi anoda menjadi lebih besar sebagai modal modifikasi dilapangan. Jika kebutuhan arus masih melebihi, maka pemasangan resistor dapat dilakukan anoda dan pipa sehingga over proteksi dapat dikurangi.

## 5. PENUTUP

### 5.1 Simpulan

Sistem proteksi ini dijadikan sebagai pelindung dari serangan korosi dengan beberapa pertimbangan antara lain :

1. Struktur jaringan pipa yang diproteksi relatif kecil sehingga proteksi anoda korban sangat sesuai untuk diterapkan.
2. Jalur pipa dimulai dari Instalasi Bandaran dan Instalasi Perak milik PT.PERTAMINA UPms V dengan panjang masing-masing 1879 m.
3. Sistem proteksi mengkombinasikan dua anoda yang berbeda pada tiap-tiap jalur pipa, karena lingkungan yang dilalui pipa. Untuk pipa yang berada dalam tanah (API 5L Grade B, NPS 12" Sch.40, ERWP) menggunakan High - purity Zink alloy sedangkan pipa yang berada dibawah sungai Kalimas Perak (API 5L Grade B, NPS 12" Sch.80, SMLS) menggunakan aluminium anode.
4. Penggunaan sistem proteksi sacrificial anode lebih murah dan pemeliharaannya juga tidak terlalu sulit dan kemungkinan terjadi over proteksi relatif kecil.
5. Jumlah anoda aluminium yang dibutuhkan untuk jenis pipa API 5L Grade B, NPS 12" Sch.80, SMLS sebanyak 3 buah, sedangkan untuk anoda zink yaitu 19 buah.
6. Nilai tahanan jenis tanah rata-rata yang diperoleh dari survei resistivitas tanah mengindikasikan bahwa tanah pada lingkungan sekitar jalur pipa (**314.94 Ohm-cm**) sangat korosif. Oleh sebab itu diperlukan pemantauan potensial proteksi secara periodik untuk memastikan arus proteksi memenuhi nilai  $-0.85$  V (Cu/CuSO<sub>4</sub>) setelah sistem proteksi terpasang.

7. Setelah hasil pengujian keluaran arus anoda aluminium sebesar 1.282 A dan anoda *zinc* sebesar 5.459 A. Kebutuhan arus proteksi teoritis untuk anoda aluminium dan anoda zinc masing-masing adalah 0.693 A dan 1.778 A. Sehingga disimpulkan bahwa anoda output memenuhi jumlah arus anoda diperlukan. Artinya memenuhi kriteria untuk arus yang diperlukan.

### 5.2 Saran

Adapun ide atau saran pada perancangan proteksi katodik sacrificial anode yaitu :

1. Perencanaan yang baik tidak menjamin sepenuhnya kesuksesan dalam system proteksi katodik, hal terpenting lainnya yang mendukung keberhasilan sistem proteksi katodik adalah proses penerapannya dilapangan dan pemeriksaan yang dilakukan secara rutin.
2. Untuk daerah yang melintasi bawah jalan raya (*crossing*), harus mendapatkan perlakuan yang lebih dimana pipa yang berada dibawah jalan raya harus diberi ventilasi agar tidak terjadi korosi akibat *aerasi differential* (perbedaan kadar oksigen dalam tanah). Pipa harus di tutupi oleh *cassing* yang berfungsi sebagai pemberi ruang udara bagi pipa seperti terlihat pada gambar dibawah ini.
3. Sebaiknya testpoint terdistribusi merata pada jaringan pipa di dekat anoda, sehingga monitoring terhadap pipa dapat sepenuhnya diterapkan. Data dari satu atau dua *testpoint* tidak bisa mewakili nilai proteksi pada pipa secara keseluruhan. Ini menjadi sangat penting karena kawasan Perak sangat dekat dengan bibir pantai dimana serangan korosi sangat ekstrem. Salah satu solusinya yaitu pemasangan *testpoint* jenis *subsurface*. *Testpoint* ini bisa dipasang pinggir jalan, taman atau ditempat umum, karena testpoint ini dirancang untuk kondisi demikian sehingga pemantauan potensial proteksi merata pada seluruh jaringan pipa.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Mars, G. Fontana. **Corrosion Engineering, 3<sup>rd</sup> edition**.1967. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
2. Trethewey, K.R. dan J. Chamberlain. 1991. **Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan**. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.

3. Baxter, D. Britton, J. 2006. "Offshore Cathodic Protection". **Deepwater Corrosion Services Inc**, 2-3.
4. Meillier, A. 2000."A Review of Galvanic Anode Cathodic Protection Design Procedure". **Corrosion Control Services Limited**, 1:21.
5. Dwight, H. B. December 1936."Calculations of Resistances to Ground" . **Electrical Engineering**, 1319:1329.
6. McCoy, J. E. Juni 1970 "Corrosion Control by Cathodic Protection" . **Transactions of the Institute of Marine Engineering**, Vol. 82, No 6,; 82-86.
7. Williamson, A. I. and Jameson, J. 2002 "Design and Coating Selection Considerations for Successful Completion Of Horizontal Directionally Drilled (HDD) Crossing". Shaw Pipe Protection Limited, 4-5.
8. DNV Recommended Practice RP B401 (1993), Cathodic Protection Design, Det Norke Veritas Industry AS, Hovik, 1993
9. Sheir, L. L, R. A. Jarman, G. T. Burstein. **Corrosion Control, vol. 2.** 1994. Oxford : Butter Worth – Heinemann Ltd.
10. NACE Standard RP0169-2002, **Control Of External Corrosion Of Underground or Submerged Metallic Piping System**, Houston, TX : NACE.
11. Marsahall E.Parker, Edward G. Peatie. **Pipe-line Corrosion dan Cathodic Protection, 3<sup>rd</sup> edition** 1984. Texas: Gulf Publishing Company.
12. Peabody, William. **Cathodic Protection for Pipeline, 4<sup>th</sup> edition.** 1970. Texas : National Association of Corrosion Engineers.
13. Sulistijono. **Diktat Kuliah Korosi**, 1999. Surabaya: Fakultas Teknologi Industri ITS
14. A.Sulaiman, Karyanto H.1992 “**Corrosion control dan Monitoring**”, Jakarta: Workshop Pertamina.
15. NACE Standard RP0169-2002, **Control Of External Corrosion Of Underground or Submerged Metallic Piping System**, Houston, TX : NACE.
16. Peabody, A.W. 2001. **Control of Pipeline Corrosion 2<sup>nd</sup> Edition.** Diedit oleh Ronald L. Bianchetti. Houston, TX : NACE International.