

# **PEDOMAN**

**Konstruksi dan Bangunan**

---

**Penanggulangan korosi tiang pancang pipa baja jembatan dengan proteksi katodik anoda korban**



**DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH**

## Daftar isi

Daftar isi .....	i
Prakata .....	iii
Pendahuluan .....	iv
1 Ruang lingkup .....	1
2 Acuan normatif .....	1
3 Istilah dan definisi .....	1
3.1 Anoda .....	1
3.2 Anoda korban .....	1
3.3 Asam .....	1
3.4 Basa .....	1
3.5 Bahan <i>backfill</i> .....	1
3.6 Elektrolit .....	2
3.7 Korosi baja .....	2
3.8 Katoda .....	2
3.9 Kepala jembatan .....	2
3.10 Nilai pH .....	2
3.11 Netral .....	2
3.12 Potensial .....	2
3.13 Proteksi .....	2
3.14 Proteksi katodik .....	2
3.15 Reaksi elektrokimia .....	2
3.16 Reaksi oksidasi .....	3
3.17 Reaksi reduksi .....	3
3.18 Rapat arus .....	3
3.19 Tahanan jenis .....	3
4 Prinsip umum proteksi katodik .....	4
4.1 Metoda arus terpasang ( <i>Impressed current</i> ) .....	4
4.2 Metoda anoda korban .....	4
4.2.1 Bahan anoda .....	6
5 Perencanaan proteksi katodik anoda korban .....	7
5.1 Penentuan luas tiang pancang baja .....	7
5.2 Pengukuran potensial tiang pancang .....	7
5.3 Pengukuran tahanan jenis air dan tanah .....	8
5.4 Identifikasi karakteristik anoda .....	9
5.5 Perhitungan tahanan anoda dalam air dan dalam tanah .....	9
5.5.1 Tahanan anoda dalam air .....	9
5.5.2 Tahanan anoda dalam tanah .....	9
5.6 Perhitungan arus yang dihasilkan anoda dalam air dan dalam tanah .....	9
5.7 Perhitungan umut proteksi dalam air dan dalam tanah .....	10

5.8	Pengukuran rapat arus dan perhitungan arus proteksi .....	10
5.9	Perhitungan kebutuhan minimum anoda .....	11
6	Penempatan dan posisi anoda korban .....	12
6.1	Penempatan anoda didalam air .....	12
6.2	Penempatan anoda didalam tanah atau tepat dipermukaan tanah .....	13
Lampiran A	Langkah-langkah penanggulangan korosi TPPB jembatan dan contoh perencanaan .....	14
Lampiran B	(informatif) Prinsip umum korosi tiang pancang pipa baja .....	15
Lampiran C	(informatif) Contoh perencanaan proteksi katodik dengan cara pengorbanan anoda .....	19
Lampiran D	(informatif) Daftar nama dan lembaga .....	24
Tabel 1	Deret nernst .....	5
Tabel 2	Bahan-bahan dan sifat anoda korban .....	6
Tabel B.1.2	Sifat dan korosifitas tanah terhadap tahanan jenis.....	17
Gambar 1	Proteksi katodik arus terpasang.....	4
Gambar 2	Proteksi katodik anoda korban.....	5
Gambar 3	Pengukuran potensial tiang pancang pipa baja dengan alat multimeter ..	8
Gambar 4	Rangkaian kutub-kutub dari batang elektroda.....	8
Gambar 5	Pengukuran rapat arus ( <i>current density</i> ).....	10
Gambar 6	Situasi lokasi tanah jembatan untuk proteksi katodik.....	12
Gambar 7	Posisi anoda korban harus berada 1 m di bawah muka air terendam.....	13
Gambar 8	Pemasangan anoda baiok dalam tanah.....	13
Gambar B.1	Reaksi pada anoda.....	15
Gambar B.2	Reaksi pada katoda .....	16
Gambar B.3	Proses korosi pada TPPB.....	16
Gambar B.4	Diagram potensial-pH teoritis untuk baja .....	17
Gambar B.5	Contoh pengukuran tahanan jenis air .....	18
Gambar B.6	Contoh pengukuran pH air.....	18
Bibliografi	.....	25

## Prakata

Pedoman penanggulangan korosi tiang pancang pipa baja jembatan dengan proteksi katodik anoda korban, dipersiapkan oleh Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan, melalui Gugus Kerja Bidang Konstruksi Jembatan dan Bangunan Jalan pada Sub Panitia Teknik Standardisasi Bidang Prasarana Transportasi. Pedoman ini diprakarsai oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Penyusunan pedoman ini mengacu pada standar-standar lain, baik berupa SNI maupun standar asing seperti British Standar dan ASM Hand Book. Pedoman ini merupakan pengembangan dari BS 7361 (1991) yang secara khusus dimaksudkan untuk aplikasi pada tiang pancang jembatan. Penulisan pedoman ini mengikuti BSN No. 8 Tahun 2000. Pedoman ini dibahas melalui forum konsensus melibatkan pakar bidang teknologi jembatan, jalan raya, pemerintah daerah, perguruan tinggi dan asosiasi profesi.

Pedoman ini dimaksudkan sebagai salah satu acuan umum dalam penanggulangan tiang pancang pipa baja jembatan di lingkungan berair dan atau tanah, akibat pengaruh korosifitas lingkungan sekitar jembatan.

## Pendahuluan

Di Indonesia telah banyak dibangun jembatan dengan komponen baja terutama jembatan rangka baja dengan pondasi tiang pancang pipa baja (TPPB). Jembatan-jembatan tersebut berada dalam lingkungan yang beriklim tropis dengan curah hujan, kelembaban, dan intensitas sinar matahari yang tinggi. Beberapa jembatan yang berada dalam lingkungan tersebut telah menunjukkan adanya kerusakan yang dipengaruhi oleh terjadinya korosi pada tiang pancang jembatan.

Tiang Pancang Pipa Baja (TPPB) umumnya sering berada pada lokasi air, tanah basah dan lumpur. Hal ini menyebabkan terjadinya korosi yang dapat menurunkan kekuatan dan keutuhan struktur tersebut.

Kerusakan jembatan akibat korosi ini mengarah kepada keruntuhan jembatan yang merupakan bencana, sehingga menyebabkan kerugian besar akibat perbaikan jembatan atau konstruksi ulang dan tertundanya lalu lintas. Karena itu, perlu dilakukan penanggulangan yang cepat dan sedini mungkin apabila dikemudian hari terjadi korosi pada TPPB. Salah satu sistem penanggulangan korosi tiang pancang pipa baja di lingkungan air dan atau tanah adalah dengan proteksi katodik anoda korban. Untuk perencanaan proteksi katodik anoda korban perlu dilakukan pemeriksaan terhadap tahanan jenis air dan tanah, nilai pH air dan tanah, potensial tiang pancang pipa baja, rapat arus, tinggi permukaan air, kelandaian tanah, dan jenis anoda yang digunakan.

Pelaksanaan proteksi katodik anoda korban harus berdasarkan perencanaan. Umur proteksi sistem proteksi katodik anoda korban sesuai yang diinginkan dapat direncanakan, hal ini tergantung antara lain kondisi lingkungan, kondisi konstruksi baja jembatan, dan karakteristik anoda logam seng (Zn), magnesium (Mg), aluminium (Al).

# Penanggulangan korosi tiang pancang pipa baja jembatan dengan proteksi katodik anoda korban

## 1 Ruang lingkup

Pedoman ini menjelaskan hal-hal mengenai penanggulangan korosi tiang pancang pipa baja (TPPB) jembatan dengan proteksi katodik anoda korban, terutama yang berkaitan dengan prinsip-prinsip umum tentang korosi TPPB, proteksi katodik, metode anoda korban, bahan anoda dan parameter yang digunakan untuk perencanaan proteksi katodik anoda korban. Penanggulangan korosi dengan proteksi katodik anoda korban dapat diterapkan juga untuk tiang pancang baja yang bukan pipa pada jembatan atau bangunan lain seperti dermaga.

## 2 Acuan normatif

SNI 03-6879-2002, *Metode pengujian pH tanah untuk korosi logam*

British Standard 7361 (1991), *"Cathodic protection" part 1, code of practice for land and marine application*

## 3 Istilah dan definisi

### 3.1

#### anoda

bagian logam bermuatan negatif yang berfungsi menarik elektron dari suatu katoda

### 3.2

#### anoda korban

anoda yang dikorbankan untuk melindungi baja yang mudah terkorosi dari lingkungan yang korosif

### 3.3

#### asam

suatu larutan yang mengandung konsentrasi ion Hidrogen ( $H^+$ ) yang melebihi konsentrasi ion Hidroksil ( $OH^-$ )

### 3.4

#### basa

suatu larutan yang mengandung konsentrasi ion Hidroksil ( $OH^-$ ) yang melebihi konsentrasi ion Hidrogen ( $H^+$ )

### 3.5

#### bahan backfill

suatu campuran yang terdiri dari 75% Gypsum ( $CaSO_4$ ), 20% Bentonite Clay, dan 5% Sodium Sulfat ( $Na_2SO_4$ )

**3.6****elektrolit**

ion-ion yang bermuatan dalam suatu larutan

**3.7****korosi baja**

menurunnya mutu baja akibat bereaksi dengan lingkungan secara elektrokimia yang berakibat mengalirnya arus listrik

**3.8****katoda**

bahan logam yang tidak terkorosi daripada logam lain yang potensialnya lebih tinggi

**3.9****kepala jembatan**

bangunan bawah jembatan yang berfungsi sebagai pemikul seluruh beban jembatan untuk kemudian beban tersebut didistribusikan pada pondasi

**3.10****nilai pH**

indek logaritma dari konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) di dalam suatu elektrolit. Berfungsi untuk mengetahui keasaman atau kebasaan dari suatu larutan

**3.11****netral**

suatu larutan yang mengandung konsentrasi ion Hidrogen ( $H^+$ ) sama dengan ion Hidroksil ( $OH^-$ )

**3.12****potensial**

selisih energi bebas ( listrik ) antara anoda dan katoda

**3.13****proteksi**

perlindungan suatu bahan (baja) yang mudah terkorosi dari lingkungan yang korosif

**3.14****proteksi katodik**

perlindungan bahan logam yang tidak terkorosi (katoda) dengan logam lain yang mempunyai potensial listrik yang lebih negatif dari logam yang diproteksi

**3.15****reaksi elektrokimia**

reaksi kimia yang diikuti dengan perpindahan elektron dan diikuti dengan reaksi oksidasi dan reduksi

**3.16****reaksi oksidasi**

reaksi yang menunjukkan adanya kenaikan valensi atau melepaskan elektron, berlangsung pada katoda. Contoh :  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{+2} + 2\text{e}$

**3.17****reaksi reduksi**

reaksi yang menunjukkan turunnya valensi dan menerima elektron

Contoh : Reduksi ion logam  $\text{Fe}^{+3} + \text{e} \rightarrow \text{Fe}^{+2}$

Reduksi oksigen (netral dan basa)  $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

**3.18****rapat arus**

jumlah aliran muatan persatuan luas dan persatuan waktu dengan satuan  $\frac{\text{mA}}{\text{m}^2}$

**3.19****tahanan jenis**

hambatan yang menghalangi perjalanan arus yang terjadi akibat aliran muatan listrik dengan satuan ohm ( $\Omega$ )

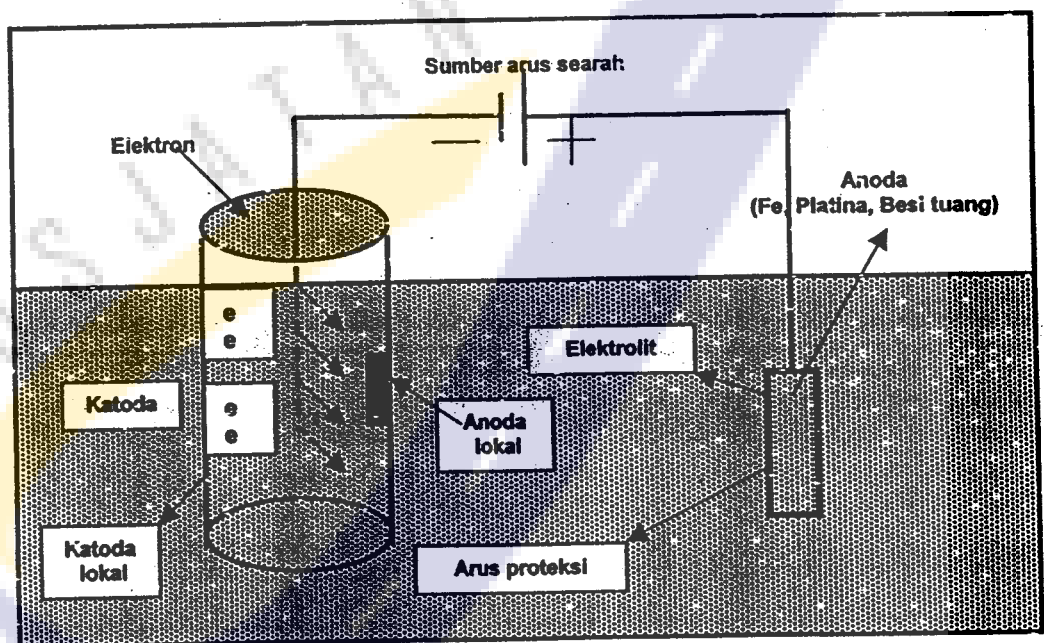
## 4 Prinsip umum proteksi katodik

Proteksi katodik adalah suatu teknik penanggulangan korosi komponen baja jembatan, khususnya pada bagian tiang pancang pipa baja yang berada dalam lingkungan air dan atau tanah. Terjadinya aliran elektron dari anoda ke katoda pada struktur baja di dalam elektrolit harus ditahan dengan memberikan aliran arus listrik melalui suatu anoda lain. Dengan menghubungkan anoda lain (anoda korban) dan struktur baja (katoda) yang dilindungi (diproteksi), yang mula-mula struktur baja (katoda sebelum diproteksi) arus yang keluar dari anoda ke katoda akan ditahan oleh arus anoda korban yang potensial lebih tinggi. Proteksi katodik terbagi dalam dua cara, yaitu:

1. Metoda arus terpasang (*impressed current*), prosesnya dikendalikan secara elektronik.
2. Metoda anoda korban (*sucricifial anoda*), prosesnya adalah korosi dua logam;

### 4.1 Metoda arus terpasang (*Impressed current*)

Metoda ini menggunakan sumber arus searah dari luar, misalnya *Transformer Rectifier*, *DC Generator*, dan lain-lain. Rangkaian dari sistem ini dapat dilihat pada gambar 1. sebagai berikut:

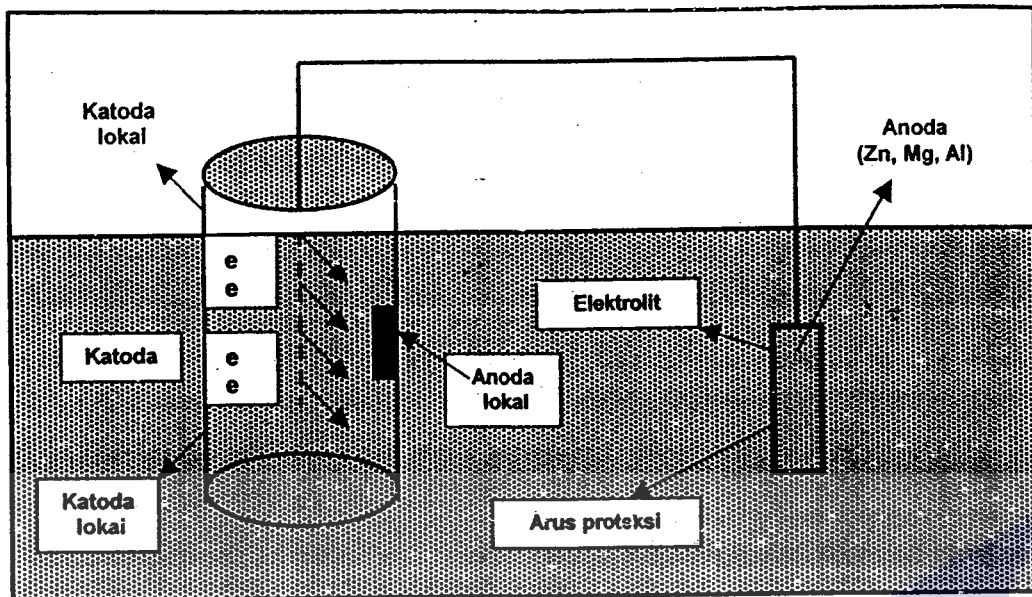


Gambar 1 Proteksi katodik arus terpasang

Arus listrik pada sistem ini dialirkan ke permukaan logam yang diproteksi melalui anoda pembantu, misalnya Anoda *Graphite*, Baja, Platina, dan Besi Tuang. Keuntungan besar dari metoda arus terpasang adalah bahwa sistem ini dapat menggunakan anoda yang tidak termakan. Metode ini tidak disinggung lebih jauh dalam pedoman ini, penjelasan, perencanaan dan tata cara perumusan metode ini akan disusun dalam pedoman terpisah,

### 4.2 Metoda anoda korban

Proses dari metoda ini adalah korosi logam, dengan sistem mengorbankan terhadap anoda. Gambar 2. menunjukkan rangkaian dari proses sistem ini.



Gambar 2 Proteksi katodik anoda korban

Logam yang dikorbankan (anoda Seng, Magnesium, dan Alumunium) harus mempunyai potensial listrik lebih negatif dari logam yang diproteksi yaitu tiang pancang pipa baja. Supaya terjadi aliran eiektron dari anoda ke katoda. Aliran elektron ini akan berlangsung terus sampai logam anoda yang dikorbankan untuk dipakai menutupi permukaan logam katoda ( tiang pancang pipa baja ). Pada anoda dan katoda terjadi reaksi:



Pada sistem dengan pengorbanan anoda sebagai sumber arus searah digunakan anoda reaktif dengan potensial jauh lebih negatif (lihat Tabel 1) dari logam yang diproteksi, misalnya yang biasa digunakan logam paduan Magnesium, Seng, dan Alumunium.

Tabel 1 Deret nemst

Logam	Harga	Normal potensial dalam Volt	
Emas	$\text{Au}^{3+}$	+ 1,42	Katodik
Platina	$\text{Pt}^{2+}$	+ 1,20	
Perak	$\text{Ag}^{+}$	+ 0,80	
Tembaga	$\text{Cu}^{+}$	+ 0,34	
Hidrogen	$\text{H}^{+}$	+ 0,00	Dijadikan standar
Timbal	$\text{Pb}^{2+}$	- 0,13	
Timah Putih	$\text{Sn}^{2+}$	- 0,14	
Nikel	$\text{Ni}^{2+}$	- 0,25	
Kadmium	$\text{Cd}^{2+}$	- 0,40	Anodik
Besi	$\text{Fe}^{2+}$	- 0,43	
Khrom	$\text{Cr}^{2+}$	- 0,51	
Seng	$\text{Zn}^{2+}$	- 0,76	
Alumunium	$\text{Al}^{3+}$	- 1,67	
Magnesium	$\text{Mg}^{2+}$	- 2,34	
Natrium	$\text{Na}^{+}$	- 2,74	
Kalium	$\text{K}^{+}$	-2,92	
Lithium	$\text{Li}^{+}$	- 3,02	

Anoda reaktif dihubungkan dengan logam yang diproteksi, arus listrik dialirkan ke permukaan logam yang diproteksi melalui elektrolit.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses proteksi katodik yaitu :

- luas permukaan TPPB yang akan diproteksi, makin luas permukaan makin banyak anoda yang digunakan;
- beda potensial listrik antara anoda dan katoda, makin besar perbedaan makin besar arus proteksi dari anoda ke katoda;
- logam dan ukuran anoda, makin kecil tahanan anoda berarti makin sedikit penggunaan logam anoda. Makin kecil ukuran logam anoda makin besar tahanan anoda, berarti makin banyak penggunaan logam anoda.

#### 4.2.1 Bahan anoda

Anoda korban harus bersifat anodik terhadap baja di dalam lingkungan yang diamati, anoda ini harus mudah terkorosi. Lihat Tabel 2.

**Tabel 2 Bahan-bahan dan sifat anoda korban**

Sifat	Paduan Seng*	Paduan Aluminium**	Paduan Magnesium***
1	2	3	4
Komponen	Al : 0,4 – 0,6	Al : sisa	Al : < 0,01
	Cd : 0,075–0,125	Cu : < 0,006	Cu : 0,02
	Cu : < 0,005	Fe : < 0,1	Fe : < 0,03
( % )	Fe : < 0,0014	Hg : 0,02 – 0,05	Mg : rem
	Tb : < 0,15	Si : 0,11 – 0,21	Mn : 0,5 – 1,3
	Si : < 0,125	Zn : 0,3 – 0,5	Ni : 0,001
	Zn : sisa	Lain-lain, masing-masing < 0,02	Pb : < 0,01
			Sn : < 0,01
			Zn : 0,01
Kapasitas $E_{kor}$ ( SSC )	730 Ah·kg <sup>-1</sup> -0,1050 mV	2240 Ah·kg <sup>-1</sup> -0,1000 mV	1232 Ah·kg <sup>-1</sup> -0,1700 mV
Kerapatan kg·m <sup>-3</sup>	7060	2695	1765
Kapasitas Ah·kg <sup>-1</sup>	780	2,640	1,232
Pengausan( berat ) Kg – Ay <sup>-1</sup>	10,7	3,2	4,1
Pengausan ( volume ) ml – Ay <sup>-1</sup>	1518	1180	1196
Keluaran Am <sup>-2</sup>	6,5	6,5	10,8
$E_{kor}$ ( SSC ) mv	-1050	-1050	-1700

SSC = Ag/AgCl

\* = Spesifikasi Departemen AS untuk bahan Anoda Korban Seng membutuhkan pengontrolan lebih ketat dalam hal tingkat kemurnian dari pada bahan ini.

\*\* = Merk dagang *Impalloy*

\*\*\* = Merk dagang *Dow Chemical Company*

Bahan anoda korban yang umum untuk baja dalam air laut adalah Seng, Humphrey Davy dalam tahun 1824 melaporkan keberhasilan penggunaan anoda Seng untuk melindungi pelapis tembaga pada kapal perang. Seng digunakan untuk proteksi katodik di air laut dan air tawar, Seng khususnya sangat sesuai untuk proteksi katodik di kapal-kapal yang bergerak antara air laut dan air sungai ( muara sungai ). Anoda Seng yang digunakan untuk melindungi bantalan-bantalan tangki, pengubah panas, dan banyak komponen-komponen mekanis pada kapal, pembangkit listrik pantai, dan struktur-struktur di pantai. Anoda Magnesium adalah anoda korban yang biasa dispesifikasikan untuk penggunaan ditanam di dalam tanah. Khusus anoda Magnesium di Amerika Serikat tersedia dengan kemasan terbungkus lempung bentonit di dalam kantong kain. Bungkus ini menjamin bahwa anoda

akan bersifat konduktif lingkungan dan mudah terkorosi. Beberapa anoda Magnesium telah digunakan untuk struktur lepas pantai. Alumunium juga digunakan pada struktur lepas pantai di mana beratnya yang ringan dan menguntungkan, Alumunium tidak pasif di dalam air garam bila ada tambahan logam paduan tertentu seperti Titanium, Antimon, dan Merkuri.

## 5 Perencanaan proteksi katodik anoda korban

Perencanaan proteksi katodik anoda korban meliputi beberapa kegiatan antara lain:

- a) pengukuran luas tiang pancang pipa baja yang terdiri dari luas dalam air dan tanah;
- b) pengukuran potensial tiang pancang baja;
- c) pengukuran tahanan jenis air dan tanah tempat tiang pancang dipasang;
- d) Identifikasi karakteristik dan jenis anoda
- e) perhitungan tahanan anoda dalam air dan dalam tanah;
- f) perhitungan arus yang dihasilkan anoda dalam air dan dalam tanah;
- g) perhitungan umur proteksi dalam air dan dalam tanah;
- h) pengukuran rapat arus dan perhitungan arus proteksi yang diperoleh dari pengukuran luas permukaan luar pipa baja dalam air dan dalam tanah dikalikan dengan rapat arus dalam air dan dalam tanah;
- i) Penghitungan kebutuhan minimum anoda diperoleh dari arus proteksi dibagi dengan arus yang dihasilkan anoda.

### 5.1 Penentuan luas tiang pancang baja

Luas permukaan proteksi adalah luas seluruh permukaan tiang pancang baik yang ada di dalam air maupun dalam tanah. Dimensi tiang pancang bisa didapatkan pada as built drawing jembatan. Luas permukaan tiang pancang adalah :

$$D = 2\pi RH \dots \dots \dots (1)$$

Dimana

D = Luas permukaan tiang pancang terendam dan tertanam dalam m<sup>2</sup>

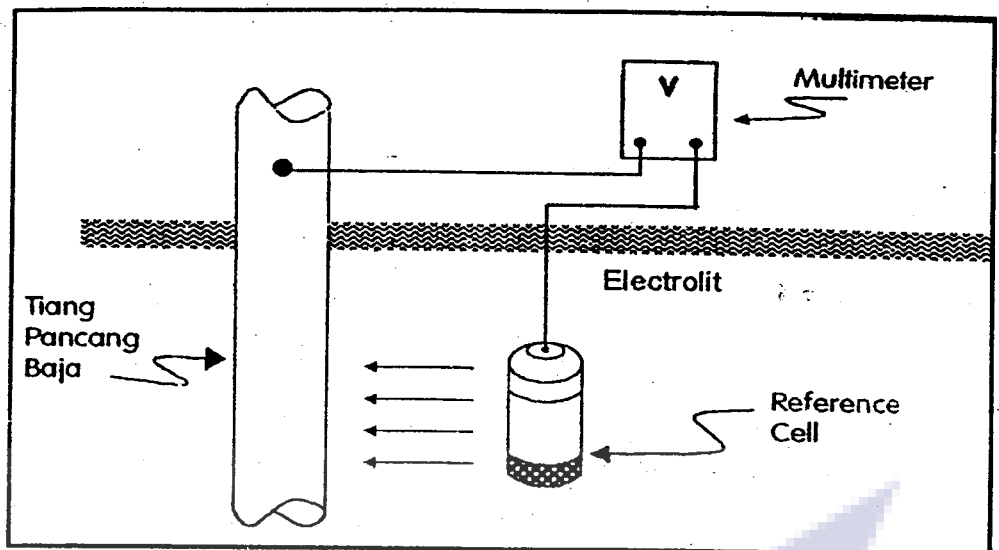
R = jari-jari tiang pancang, dalam m

H = Ketinggian tiang pancang, dalam m.

### 5.2 Pengukuran potensial tiang pancang

Pengukuran potensial tiang pancang pipa baja menggunakan alat Multimeter dengan elektroda pembanding jenis Cu/CuSO<sub>4</sub>, 5H<sub>2</sub>O jenuh atau jenis Ag/AgCl. Gambar alat multimeter dapat dilihat pada gambar 3.

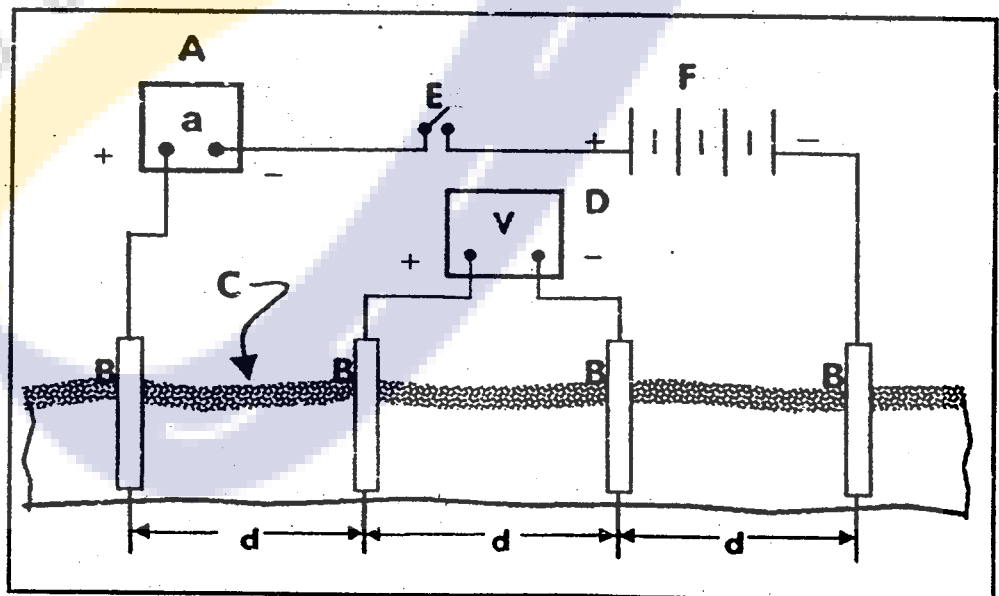
Baja akan terproteksi dari korosi apabila besarnya potensial terhadap elektroda pembanding Cu/CuSO<sub>4</sub> adalah kurang dari -0,850 Volt dan besarnya potensial terhadap elektroda pembanding elektroda Ag/AgCl kurang dari -0,805 Volt. Sebaliknya, baja terproteksi tidak tercapai bila potensial lebih dari -0,850 Volt elektroda pembanding Cu/CuSO<sub>4</sub>, atau potensial lebih dari -0,805 Volt elektroda pembanding Ag/AgCl.



Gambar 3 Pengukuran potensial tiang pancang pipa baja dengan alat multimeter

### 5.3 Pengukuran tahanan jenis air dan tanah

Tahanan jenis terhadap air dan/atau tanah yang ada di sekitar lokasinya mempengaruhi besarnya tingkat korosifitas dari tiang pancang pipa baja jembatan. Derajat korosifitas tanah, khususnya pada daerah abutment ditentukan dengan menggunakan alat *resistivity megger*. Set pada area lokasi jembatan dilakukan dengan beberapa variabel jarak ( $d$ ) dengan memindahkan batang elektroda pada garis lurus. Gambar tahanan jenis air dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Rangkaian kutub-kutub dari batang elektroda

Keterangan gambar :

A adalah Amperemeter  
B adalah batang elektroda  
C adalah permukaan tanah  
d adalah jarak garis anoda

D adalah Voltmeter  
E adalah tombol  
F adalah baterai  
V adalah Resistimeter

## 5.4 Identifikasi karakteristik anoda

Anoda yang akan digunakan diidentifikasi karakteristik dan jenisnya, terutama untuk mengetahui komposisi bahan anoda, ukuran, berat bersih, berat kotor, *core*, *potensial* dan *density*. Data ini biasanya tertulis pada pembungkus anoda ketika dibeli dari penyalur.

## 5.5 Perhitungan tahanan anoda dalam air dan dalam tanah

### 5.5.1 Tahanan anoda dalam air

Tahanan anoda dalam air dihitung dengan rumus:

$$R = \frac{C}{2\pi L} \left\{ \ln \left( \frac{2L}{r} \right) - 1 \right\} \dots \dots \dots (2)$$

di mana:

R = Tahanan anoda dalam air,  $\Omega$

C = Tahanan jenis air,  $\Omega$  cm

L = Panjang anoda, cm

r = Jari-jari anoda, cm

### 5.5.2 Tahanan anoda dalam tanah

Tahanan anoda dalam tanah dihitung dengan rumus:

$$R_v = \frac{0,00521C}{L} \left\{ 2,3 \log \left( \frac{8L}{d} \right) - 1 \right\} \dots \dots \dots (3)$$

di mana:

Rv = Tahanan anoda vertikal dalam tanah,  $\Omega$

C = Tahanan jenis tanah,  $\Omega$  cm

L = Panjang anoda, feet

d = Diameter anoda, feet

## 5.6 Perhitungan arus yang dihasilkan anoda dalam air dan dalam tanah

Arus yang dihasilkan anoda tergantung pada bentuk anoda, tahanan dari lingkungan, potensial dari struktur/pipa ( $E_2$ ) yang biasanya -0,8 Volt Ag/AgCl dan potensial anoda ( $E_1$ ). Jadi arus yang dihasilkan anoda dihitung dengan rumus:

$$I_0 = \frac{(E_1 - E_1') - E_2}{R} \dots \dots \dots (4)$$

di mana:

$I_0$  = arus yang dihasilkan anoda, Ampere

$E_1$  = potensial anoda, Volt

$E_1'$  = potensial drop, Volt

$E_2$  = potensial pipa, Volt

R = tahanan anoda,  $\Omega$

### 5.7 Perhitungan umur proteksi dalam air dan dalam tanah

Umur proteksi dihitung dengan rumus:

$$T = \frac{W \times C}{I_0 \times 8760} \dots \dots \dots (5)$$

di mana :

T = Umur proteksi

W = Berat anoda, kg

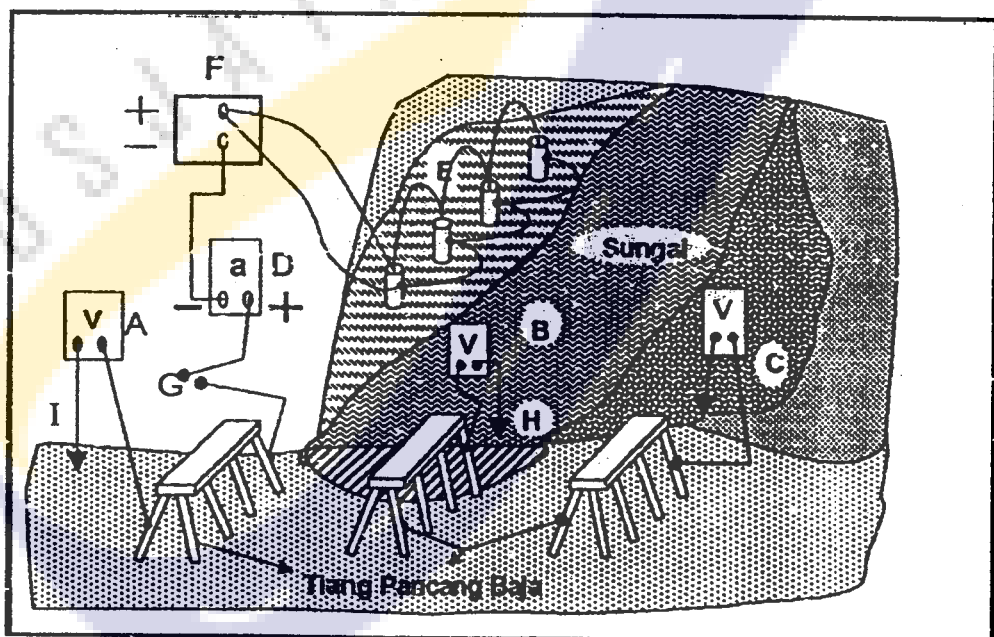
C = Kapasitas anoda, Ampere jam/kg

$I_0$  = Arus yang dihasilkan anoda, Ampere

8760 = Konversi dari tahun ke jam

### 5.8 Pengukuran rapat arus dan perhitungan arus proteksi

Rapat arus diperlukan untuk kebutuhan jumlah arus proteksi struktur baja tiang pancang. Pengukuran rapat arus menggunakan alat seperti *Adjustable DC Power Source* yang dilengkapi dengan Voltmeter, DC Ampermeter, Switch (tombol), batang elektroda sebagai penyalur arus. Pengukuran Rapat Arus ( *Current Density* ) dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Pengukuran rapat arus (*current density*)

Keterangan gambar :

A, B, C adalah Voltmeter

D adalah DC meter

G adalah Switch (tombol)

E adalah Batang Elektroda dengan jarak  $\pm 30480$  cm dari TPPB

F adalah *Adjustable DC Source*

H adalah *Refrence Cell*

I adalah *Remote Copper Sulfat Refrence Electrode*

Dengan memperkirakan luas permukaan baja ( $m^2$ ) atau ( $feet^2$ ) maka rapat arus dapat dihitung.

Misal: pembacaan angka arus = 200 mA  
 pembacaan potensial = -0,850 Volt  
 perkiraan luas permukaan baja =  $100 m^2$   
 jadi rapat arus =  $\frac{200mA}{100m^2} = 2 \frac{mA}{m^2}$   
 arus proteksi ( $I_p$ ) = luas permukaan luar pipa baja dalam air dan dalam tanah x rapat arus dalam air dan dalam tanah

### 5.9 Penghitungan kebutuhan minimum anoda

Kebutuhan minimum anoda dihitung dengan rumus:

$$\gamma_a = \frac{I_p}{I_0} \dots \dots \dots (6)$$

di mana:

$\gamma$  = Kebutuhan minimum anoda, buah

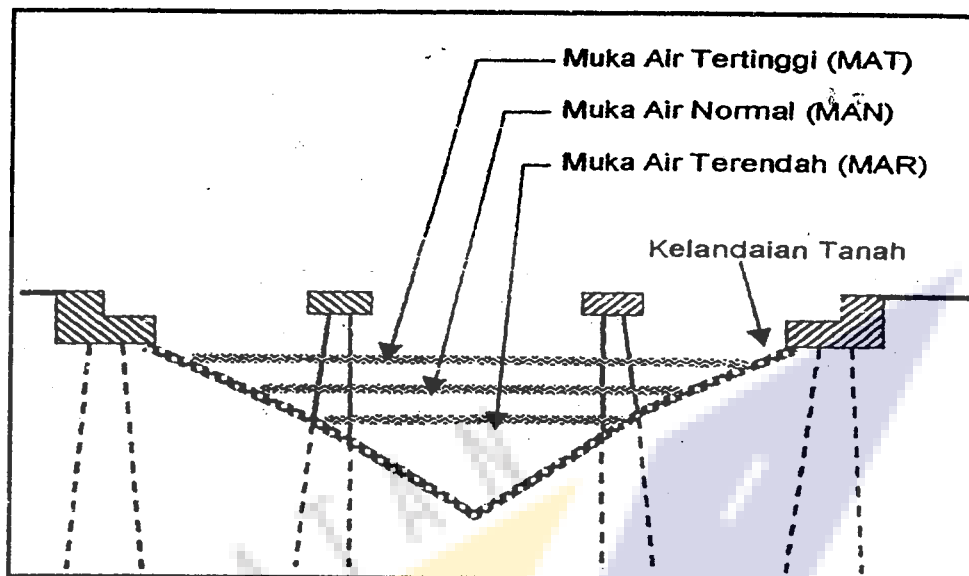
$I_p$  = Arus proteksi, Ampere

$I_0$  = Arus yang dihasilkan anoda, Ampere

arus proteksi ( $I_p$ ) = luas permukaan luar pipa baja dalam air dan dalam tanah x rapat arus dalam air dan dalam tanah

## 6 Penempatan dan posisi anoda korban

Sistem proteksi katodik hanya efektif pada lingkungan berair atau lembab. Karena itu, anoda korban pada sistem proteksi katodik harus selalu dalam keadaan terendam atau ditanam pada tanah yang basah. Untuk dapat menempatkan anoda korban dengan baik, perlu dilakukan pengecekan terhadap tinggi muka air minimum dan kelandaian dasar sungai.



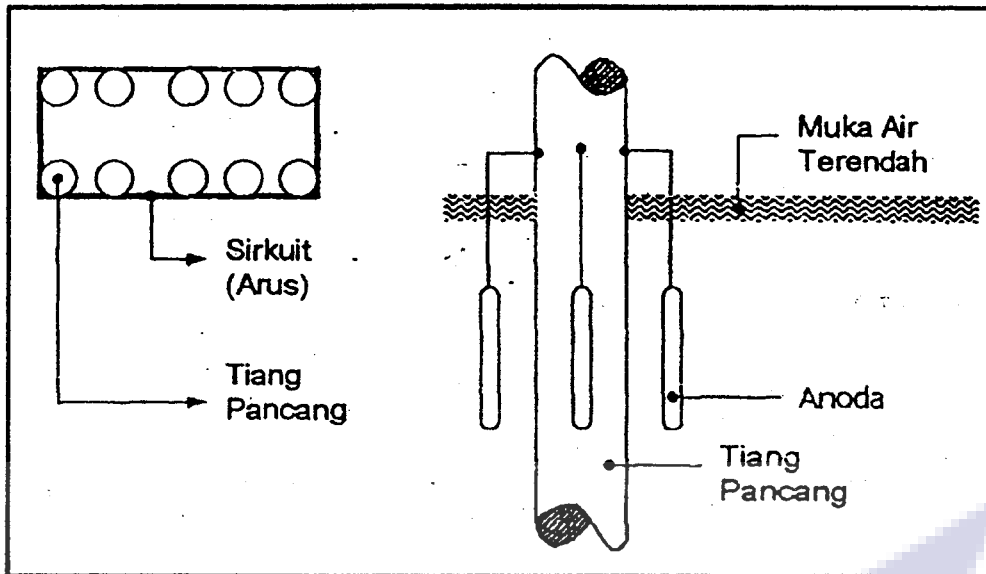
Gambar 6 Situasi lokasi tanah jembatan untuk proteksi katodik

Pada prinsipnya arus yang dihasilkan anoda harus dapat mengalir pada tiang pancang pipa baja yang akan diproteksi. Untuk itu, perlu dibuat loop tertutup dengan cara:

- Tiang-tiang pancang pipa baja tiap bagian jembatan, satu sama lain dihubungkan antara lain dengan besi profil, besi beton  $\phi$  1" (2,54 cm) sehingga membentuk suatu sirkuit tertutup;
- Anoda didistribusikan secara merata pada tiang pancang pipa baja dengan jumlah sesuai kebutuhan.

### 6.1 Penempatan anoda di dalam air

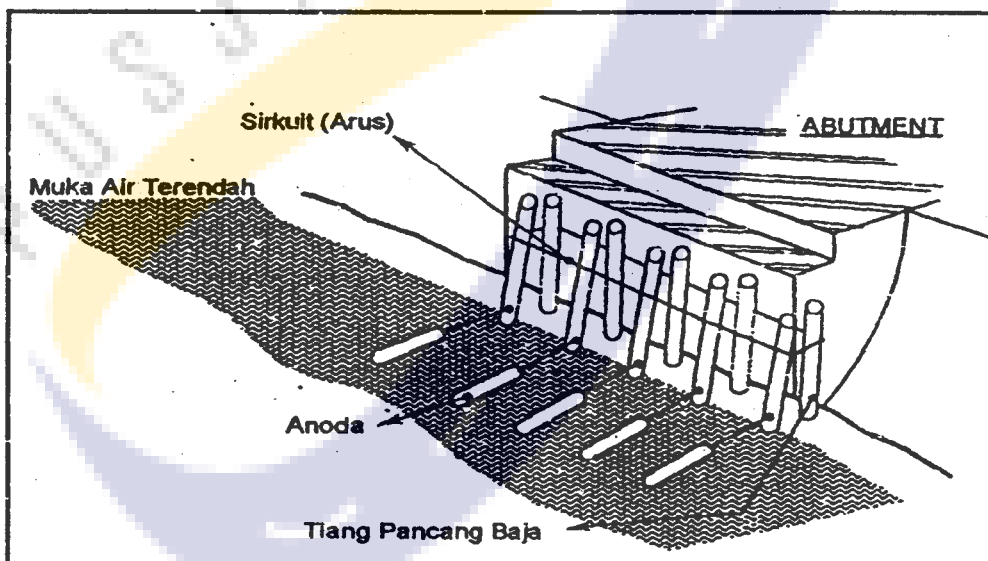
Anoda pada sistem proteksi anoda korban harus ditempatkan pada daerah di bawah permukaan air terendah agar anoda selalu terendam air, sedangkan titik penghubung (las) dapat bebas di atas permukaan air. Gambar posisi anoda dapat dilihat pada gambar 7. :



**Gambar 7** Posisi anoda korban harus berada 1 m di bawah muka air terendam

## 6.2 Penempatan anoda di dalam tanah atau tepat di permukaan tanah

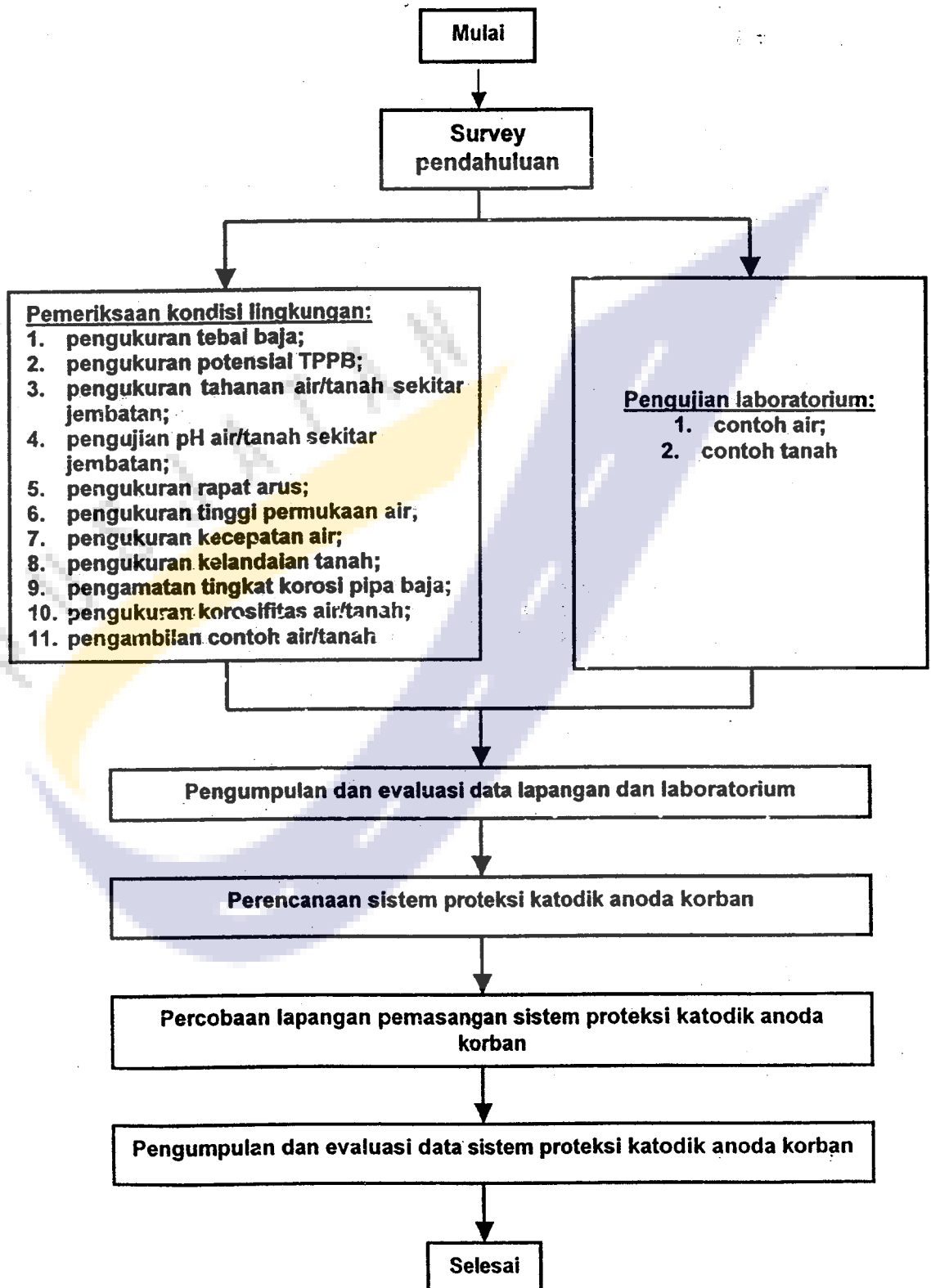
Apabila anoda harus ditanam atau ditempatkan tepat di permukaan tanah dasar sungai, anoda diupayakan ditanam mengikuti kelandaian dasar sungai. Gambar situasi untuk penempatan seperti ini dapat dilihat pada gambar 8.



**Gambar 8** Pemasangan anoda balok dalam tanah

## Lampiran A (normatif)

### Langkah-Langkah Penanggulangan Korosi TPPB Jembatan dan Contoh Perencanaan



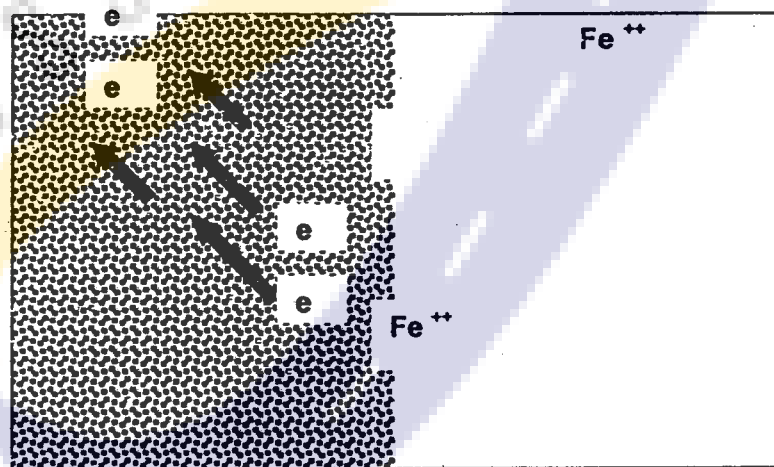
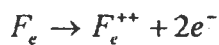
## Lampiran B (Informatif)

### B.1 Prinsip umum korosi tiang pancang pipa baja

#### B.1.1 Korosi tiang pancang pipa baja

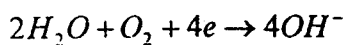
Korosi tiang pancang pipa baja adalah menurunnya mutu tiang pancang pipa baja akibat bereaksi dengan lingkungan secara elektrokimia. Korosi akan terjadi apabila terdapat anoda, katoda, elektrolit, dan hubungan listrik antara anoda dan katoda. Anoda dan katoda terjadi apabila terdapat dua logam yang memiliki potensial listrik yang berbeda. Pada tiang pancang pipa baja, anoda dan katoda dapat terbentuk akibat mutu baja yang tidak seragam atau lingkungan yang menyebabkan terjadinya perbedaan potensial listrik pada bagian-bagian tiang pancang pipa baja. Apabila pada anoda dan katoda ini terdapat hubungan listrik (kontak satu sama lain) dan keduanya berada pada lingkungan air atau tanah yang bersifat elektrolit dan memiliki tahanan jenis yang rendah, maka akan terjadi proses korosi dimana bagian baja yang berfungsi sebagai anoda akan rusak dan membentuk karat. Dengan demikian, maka tebal baja tiang pancang pipa baja tersebut akan terus menerus berkurang sejalan dengan laju korosinya.

Reaksi pada anoda:

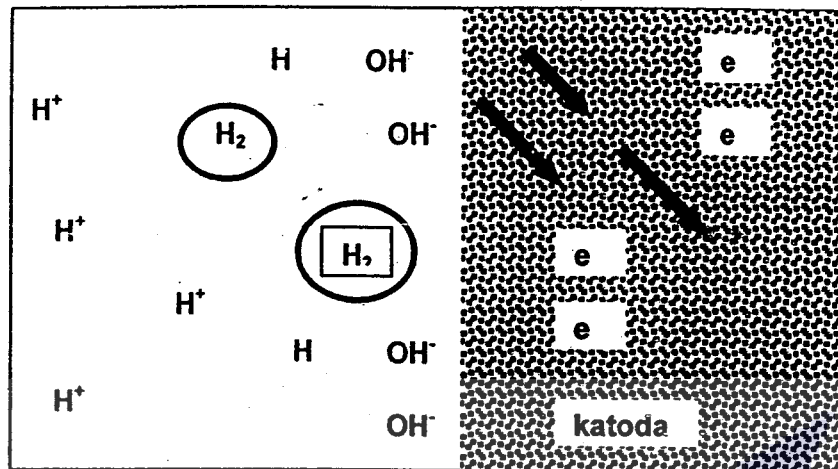


Gambar B.1 Reaksi pada anoda

Reaksi pada katoda:



Karena reaksi pada anoda menghasilkan elektron dan reaksi pada katoda membutuhkan elektron, maka baja akan berkarat

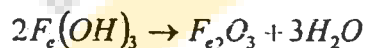


Gambar B.2 Reaksi pada katoda

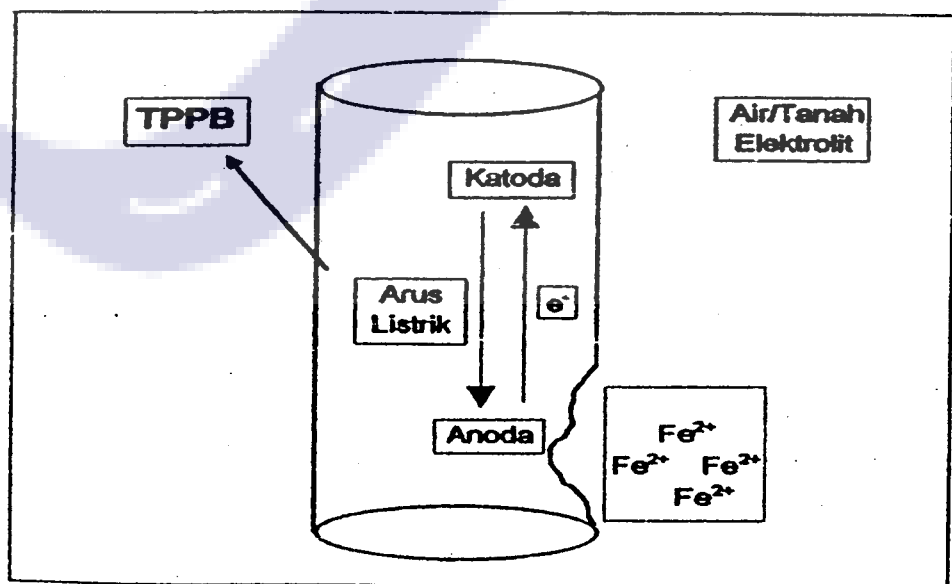
Besi akan berkarat dalam udara atau air bila ada oksigen yang larut dari udara, maka reaksinya sebagai berikut:



Karena pengaruh panas, maka *Ferry hidroksida* akan terurai (*dehydrates*) membentuk besi oksida dengan persenyawaan sebagai berikut:

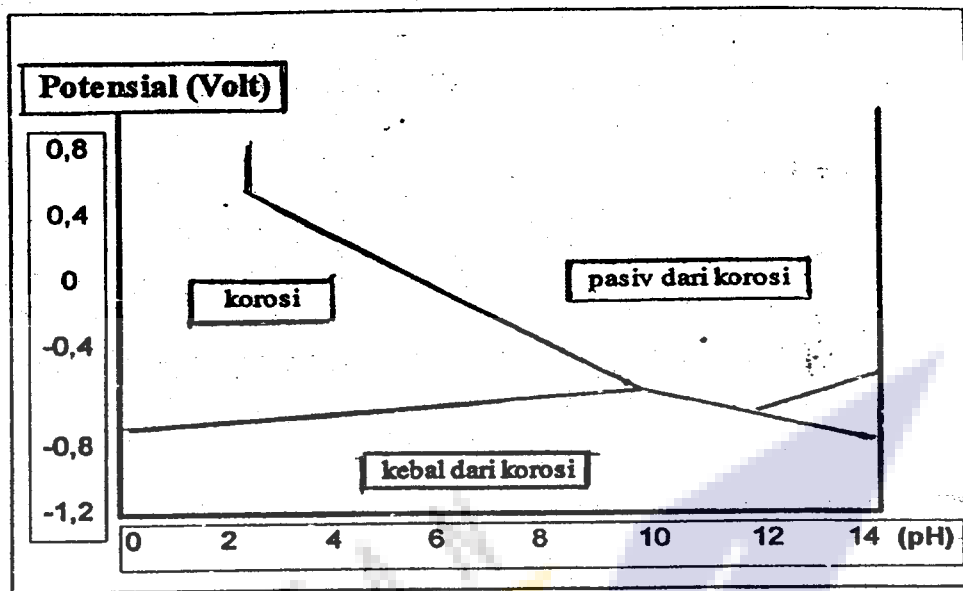


Proses Korosi Pada TPPB dapat dilihat pada gambar 3. berikut :



Gambar B.3 Proses korosi pada TPPB

Lingkungan di mana tiang pancang pipa baja berada sangat mempercepat korosi yang terjadi. Beberapa parameter yang mempengaruhi tingkat besarnya korosi terhadap baja dapat dilihat pada gambar B.4. :



Gambar B.4 Diagram potensial-pH teoritis untuk baja

### B.1.2 Pengaruh lingkungan terhadap korosifitas

Besarnya korosifitas dari tiang pancang pipa baja jembatan sangat dipengaruhi oleh hasil pengukuran terhadap tahanan jenis (*resitivity*) air dan/atau tanah, potensial pipa baja, keasaman/kebasaan (pH) air dan tanah, padat arus, tinggi permukaan air, kecepatan air, keadaan tanah.

Tabel B.1.2 Sifat dan korosifitas tanah terhadap tahanan jenis

No.	Tahanan Jenis	Kriteria
1.	$\leq 1000 \Omega \text{ cm}$	Sangat korosif
2.	$(1000 - 5000) \Omega \text{ cm}$	Korosif
3.	$(5000 - 50000) \Omega \text{ cm}$	Cukup korosif
4.	$\geq 50000 \Omega \text{ cm}$	Sedikit korosif

Derajat korosifitas air, prinsip pemeriksaannya sama dengan derajat korosifitas tanah yaitu menggunakan alat *resitivity megger*, hanya tempatnya yang berbeda, yaitu *soil box* yang diisi dengan air.

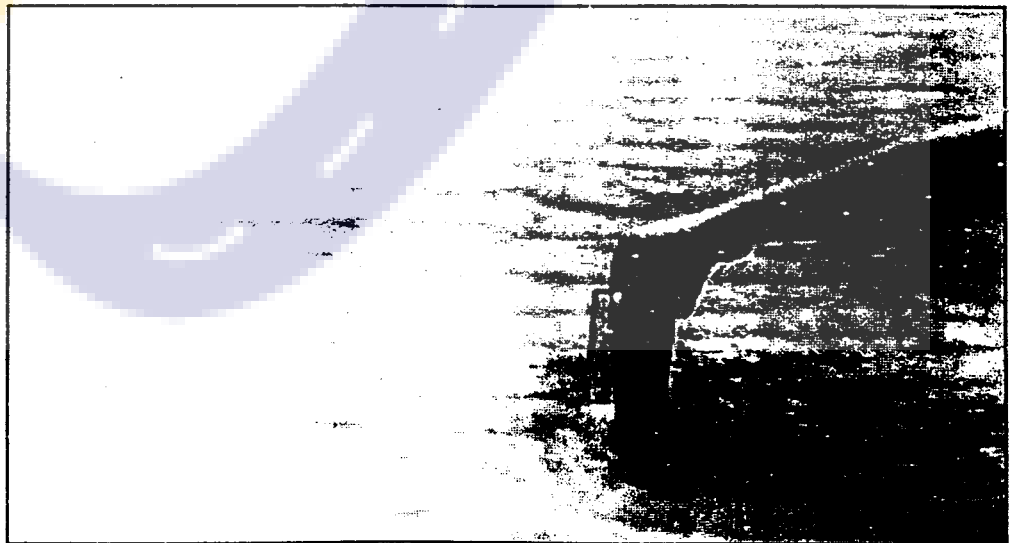


**Gambar B.5 Contoh pengukuran tahanan jenis air**

Besarnya pH air dan/atau tanah terhadap korosifitas tiang pancang pipa baja jembatan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di sekitarnya. Berdasarkan besarnya harga pH ada tiga kondisi yang terjadi, yaitu:

- Nilai pH < 7 lingkungan bersifat asam;
- Nilai pH = 7 lingkungan bersifat netral;
- Nilai pH > 7 lingkungan bersifat basa.

Pengukuran pH air dan tanah di sekitar jembatan menggunakan alat pH meter. Gambar alat pH meter dapat dilihat pada gambar B.6.



**Gambar B.6 Contoh pengukuran pH air**

## Lampiran C (Informatif)

### C.1 Contoh perencanaan proteksi katodik dengan cara pengorbanan anoda

#### C.1.1 Proteksi katodik untuk pengamanan korosi Jembatan Muara Tembesi

Jembatan Muara Tembesi dibangun pada lokasi KM Jambi 86 dengan menggunakan pondasi Tiang Pancang Pipa Baja (TPPB). TPPB dilapisi dengan cat *coal tar epoxy* untuk pengamanan korosi. Pengecatan dengan *coal tar epoxy* saja belum menjamin TPPB bebas dari serangan korosi terutama untuk bagian TPPB di dalam air dan di dalam tanah mengingat:

– Bagian TPPB dalam air

Besar kemungkinan adanya cacat pada *coal tar epoxy* berupa *crack*, *porous*, atau terkelupas yang terjadi pada waktu.

- ♦ pelaksanaan pengecatan;
- ♦ pelaksanaan pembangunan jembatan

– Bagian TPPB dalam tanah

Dapat dipastikan adanya cacat pada *coal tar epoxy* berupa pengelupasan/goresan yang terjadi pada waktu pelaksanaan perancangan.

Terjadinya serangan korosi akibat adanya cacat pada *coal tar epoxy* diatasi dengan cara proteksi katodik. Desain proteksi katodik ini dibuat dengan umur proteksi  $\pm 10$  tahun. Sesuai dengan kondisi lingkungan setempat jembatan Muara Tembesi dan arus proteksi yang dibutuhkan, maka proteksi katodik dengan cara pengorbanan anoda adalah yang paling tepat untuk dilaksanakan. Prosedur perhitungan desain dijabarkan dalam lampiran ini.

### C.2 Perhitungan

#### C.2.1 Tiang pancang pipa baja

##### C.2.1.1 Luas permukaan luar

No.	Bagian Jembatan	Luas Permukaan Luar M <sup>2</sup>		Keterangan
		Dalam Air	Dalam Tanah	
1.	Kepala jembatan 1	-	558	Diameter pipa = 50,8 cm
2.	Pilar 1	357	536	
3.	Pilar 2	326	345	
4.	Pilar 3	402	380	
5.	Pilar 4	424	358	
6.	Pilar 5	380	402	
7.	Pilar 6	380	402	
8.	Pilar 7	201	581	
9.	Kepala jembatan 2	-	558	

##### C.2.1.2 Lapisan (*coating*) : Coal tar epoxy.

##### C.2.1 Tahanan jenis

Air : 10.000  $\Omega$  cm  
Tanah :  $\pm 3.700$   $\Omega$  cm

## C.2.2 Anoda

### C.2.2.1 Untuk kepala jembatan 1, 2, dan pilar 7 (dalam tanah)

Jenis	: <i>High Purity Magnesium 70 VT /Dimet Standard</i>
Kapasitas	: 1230 Ampere jam/kg
Ukuran	: 152,4 x 5,1 x 5,1 cm
Berat bersih	: 7,0 kg
Berat kotor	: 7,4 kg
Core	: 15,2 cm
Potensial	: -1,7 Volt (Ref. Cell Ag/AgCl)

### C.2.2.2 Untuk pilar 1 s/d 6 (dalam air)

Jenis	: <i>Standard Magnesium Ribbon 3,7 MR/Dimet Standard</i>
Kapasitas	: 1230 Ampere jam/kg
Ukuran	: 0,95 x 1,9 cm
Berat	: 0,37 kg/m
Core	: $\phi$ 0,32 cm
Potensial	: -1,7 Volt (Ref. Cell Ag/AgCl)

## C.2.3 Tahanan anoda

Tahanan anoda dihitung dengan rumus:

### C.2.3.1 Dalam tanah

$$R_v = \frac{0,00521\rho}{L} \left\{ 2,3 \log \frac{8.L}{d} - 1 \right\}$$

di mana :  $R_v$  = tahanan anoda vertikal dalam tanah,  $\Omega$   
 $\rho$  = tahanan jenis bahan *backfill* /tanah,  $\Omega$  cm  
 $L$  = panjang anoda, *feet*  
 $d$  = diameter, *feet*

untuk:

$\rho$  tanah = 3700  $\Omega$  cm  
 $\rho$  *back fill* = 50  $\Omega$  cm  
 $L$  = 8 *feet*  
 $d$  = 0,5 *feet*  
 Ukuran *back fill* = 6" x 8" (15,24 cm x 20,32 cm)  
 Tahanan dalam (*Internal resistance*) = 0,072  $\Omega$   
 Tahanan anoda dalam tanah ( $R_v$ ) = 9,268822  $\Omega$

### C.2.3.2 Dalam air

$$R_v = \frac{\rho}{2\pi.L} \left\{ \ln \left( \frac{2.L}{r} \right) - 1 \right\}$$

di mana :  $R$  = tahanan anoda vertikal dalam air,  $\Omega$   
 $\rho$  = tahanan jenis bahan air,  $\Omega$  cm  
 $L$  = panjang anoda, cm  
 $r$  = jari-jari efektif anoda, cm

untuk:

$$\begin{aligned}\rho &= 10.000 \, \Omega \, \text{cm} \\ L_1 &= 3000 \, \text{cm} \\ L_2 &= 4400 \, \text{cm} \\ r &= 0,159 \, \text{cm}\end{aligned}$$

Ukuran *back fill* = 6" x 8" (15,24 cm x 20,32 cm)

Tahanan dalam (*Internal resistance*) = 0,072  $\Omega$

Tahanan anoda dalam air :  $R_1 = 5,06026 \, \Omega$  (untuk  $L_1$ )

$R_2 = 3,588712 \, \Omega$  (untuk  $L_2$ )

### C.2.4 Arus yang dihasilkan anoda

Dihitung dengan rumus:

$$I_0 = \frac{(E_1 - E_1^1) - E_2}{R}$$

di mana:  $I_0$  = arus yang dihasilkan anoda, Ampere  
 $E_1$  = potensial anoda, Volt  
 $E_1^1$  = potensial drop, Volt  
 $E_2$  = potensial pipa, Volt  
 $R$  = tahanan anoda,  $\Omega$

untuk:

□ Dalam tanah:

$$E_1 = -1,7 \, \text{Volt}$$

$$E_1^1 = -0,185 \, \text{Volt}$$

$$E_2 = -0,85 \, \text{Volt}$$

$$R = 9,268822 \, \Omega$$

Arus yang dihasilkan anoda ( $I_0$ ) = 0,071746 Ampere

□ Dalam air:

$$E_1 = -1,7 \, \text{Volt}$$

$$E_1^1 = -0,2 \, \text{Volt}$$

$$E_2 = -0,85 \, \text{Volt}$$

$$R_1 = 5,06026 \, \Omega$$

$$R_2 = 3,588712 \, \Omega$$

Arus yang dihasilkan:  $I_{01} = 0,131416 \, \text{Ampere}$  (untuk  $L_1$ )

$I_{02} = 0,185303 \, \text{Ampere}$  (untuk  $L_2$ )

### C.2.5 Umur proteksi

Dihitung dengan rumus:

$$T = \frac{W \times C}{I_0 \times 8760}$$

di mana:  $T$  = umur proteksi  
 $W$  = berat anoda, kg  
 $C$  = kapasitas anoda, Ampere jam/kg  
 $I_0$  = arus yang dihasilkan anoda, Ampere  
 $8760$  = konversi dari tahun ke jam

untuk:

□ Dalam tanah:

$$W = 7,0 \, \text{kg}$$

$$C = 1230 \, \text{Ampere jam/kg}$$

$$I_0 = 0,071746 \, \text{A}$$

Umur proteksi ( $T$ ) =  $\pm 13$  tahun

- Dalam air:
  - $W_1 = 12,1672 \text{ kg (untuk } L_1)$
  - $W_2 = 17,15635 \text{ kg (untuk } L_2)$
  - $C = 1230 \text{ Ampere jam/kg}$
  - $I_1 = 0,131416 \text{ Amperè}$
  - $I_2 = 0,185303 \text{ Ampere}$
  - Umur proteksi T ( $T_1$  dan  $T_2$ ) =  $\pm 13$  tahun

### C.2.6 Arus proteksi

Radat arus tiang pancang pipa baja dilapisi *coal tar epoxy*, di dalam air =  $1 \text{ mA/m}^2$ , di dalam tanah =  $4 \text{ mA/m}^2$ . Total arus proteksi pada tiap bagian jembatan adalah sebagai berikut:

Total arus proteksi = luas permukaan luar pipa baja dalam air dan dalam tanah X rapat arus dalam air dan dalam tanah.

No.	Bagian Jembatan	Luas permukaan luar $\text{m}^2$		Rapat arus ( $\text{mA/m}^2$ )		Arus proteksi (A) ( $I_p$ )		Total arus proteksi (A) ( $I_p$ )	
		Dalam Air	Dalam Tanah	Dalam Air	Dalam Tanah	Dalam Air	Dalam Tanah	1 grup TPPB ( $I_p$ )	1 TPPB
1.	Kepala jembatan 1	-	558	1	4	-	2,232	2,232	0.2232
2.	Pilar 1	357	536	1	4	0,357	2,144	2,501	0.178643
3.	Pilar 2	326	345	1	4	0,326	1,380	1,706	0.121857
4.	Pilar 3	402	380	1	4	0,402	1,520	1,922	0.137286
5.	Pilar 4	424	358	1	4	0,424	1,432	1,856	0.132571
6.	Pilar 5	380	402	1	4	0,380	1,608	1,988	0.142
7.	Pilar 6	380	402	1	4	0,380	1,608	1,988	0.142
8.	Pilar 7	201	581	1	4	0,201	2,324	2,525	0.180357
9.	Kepala jembatan 2	-	558	1	4	-	2,232	2,232	0.2232

Catatan : TPPB = Tiang Pancang Pipa Baja  
 Jumlah TPPB pada kepala jembatan = 10 buah  
 Jumlah TPPB pada pilar 1 s/d 7 = 14 buah.

### C.2.7 Kebutuhan minimum anoda

Dihitung dengan rumus:

$$\gamma_a = \frac{I_p}{I_o}$$

di mana:  $\gamma_a$  = jumlah minimum anoda, buah  
 $I_p$  = arus proteksi, Ampere  
 $I_o$  = arus yang dihasilkan anoda, Ampere

Kebutuhan minimum anoda untuk tiap bagian jembatan adalah sebagai berikut :

No.	Bagian Jembatan	$I_p$ , Ampere	$I_o$ , Ampere	Kebutuhan Minimum Anoda ya'± bh
1.	Kepala jembatan 1	2,232	0,0717	31
2.	Pilar 1	2,501	0,1853	13
3.	Pilar 2	1,706	0,1314	13
4.	Pilar 3	1,922	0,1314	15
5.	Pilar 4	1,856	0,1314	14
6.	Pilar 5	1,988	0,1314	15
7.	Pilar 6	1,988	0,1314	15
8.	Pilar 7	2,525	0,0717	35
9.	Kepala jembatan 2	2,232	0,0717	31

### C.2.8 Kebutuhan bahan *backfill*

#### C.2.8.1 Komposisi bahan *backfill*, %

- o Gypsum ( $\text{CaSO}_4$ ) : 75
- o Bentonite clay : 20
- o Sodium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) : 5

#### C.2.8.2 Kebutuhan total bahan *backfill* ± 350 lt dengan perincian

- o Gypsum ( $\text{CaSO}_4$ ) =  $0,75 \times 350 \text{ lt}$  = 262,50 lt
- o Bentonite clay =  $0,2 \times 350 \text{ lt}$  = 70,00 lt
- o Sodium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) =  $0,05 \times 350 \text{ lt}$  = 17,50 lt

Total = 350,00 lt

**Lampiran D  
(Informatif)****Daftar nama dan lembaga****1) Pemrakarsa**

Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kimpraswil

**2) Penyusun**

<b>Nama</b>	<b>Lembaga</b>
Dra. Lien Suharlinah	Pusat Litbang Prasarana Transportasi
N. Retno Setiati ST, MT.	Pusat Litbang Prasarana Transportasi

**Bibliografi :**

1. A.W. Peabody (1970), *"Principles of Cathodic Protection"*, Nace Basic Corrosion Course, Chapter 5, National Association of Corrosion Engineers;
2. British Standard 7361 ( 1991 ), *"Cathodic Protection" Part 1, Code of Practice for Land and Marine Application. Hal. 89; 20;*
3. F.L. Laque (1969), *"Introduction to corrosion, Nace Basic Corrosion Course, Chapter 2, National Association of Corrosion Engineers;*
4. H. Rachmat Supardi, ( 1997 ) *" Korosi "*, Bandung;
5. Irman Nurdin ( 1983 ), *"Then Fourth Conference of The Road Engineering Association of Asia and Australia"*, Vol. 3; Jakarta. Hal. 232 – 246;
6. Irman Nurdin ( 1986 ), *" Penanggulangan Korosi Komponen Baja Jembatan "*;
7. KGS. Achmad Abdurrohman ( 1996 ), *" Sistem Proteksi Anoda Korban Tiang Pancang Pipa Baja Jembatan, Jurnal Puslitbang Jalan 3 ( XIII ) "*;
8. K.R. Trethewey And J. Chamberlain ( 1995 ), *"Corrosion for Science and Engineering Second"* Longman Singapore. Hal. 375 – 395;
9. LL. Sheir ( 1978 ), *"Corrosion" Vol. 2 Newnes – Butter Worths, London. Hal. 11; 34;*
10. Laporan Proteksi Katodik Jembatan Kedung Gede II (1983), Kerawang;
11. Laporan Proteksi Katodik Jembatan Muara Tembesi (1981), Jambi;
12. Laporan Proteksi Katodik Jembatan Karawasan (1981), Palembang;
13. Laporan Proteksi Katodik Jembatan Tellolama (1985), Ujung Pandang;
14. Robert H Herdersback ( 1992 ), *"Cathodic Protection" Corrosion ASM International USA, ASM Hand Book, Vol 13. Hal. 466 – 469.*