

ANALISIS DESAIN *SACRIFICIAL ANODE CATHODIC PROTECTION* PADA JARINGAN PIPA BAWAH LAUT

Fajar Alam Hudi¹ dan Rildova, Ph.D²

Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,
Jl Ganesha 10 Bandung 40132
fajaralamhudi@gmail.com dan rildova@ocean.itb.ac.id

Abstrak: Korosi merupakan permasalahan umum yang sering terjadi pada logam. Korosi merupakan kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Pada peristiwa korosi, logam akan mengalami oksidasi sedangkan udara akan mengalami reduksi. Korosi dapat dikatakan sebagai suatu peristiwa elektrokimia antara logam dengan lingkungannya. Secara sederhana, korosi dapat terjadi jika terdapat anoda, katoda, larutan elektrolit, dan kontak metalik antara katoda dengan anoda. Pada jaringan pipa bawah laut, permasalahan korosi sering sekali terjadi untuk itu diperlakukan suatu langkah pengendalian korosi. Salah satunya adalah dengan menggunakan metode *sacrificial anode cathodic protection* atau metode proteksi katodik dengan menggunakan anoda korban. Metode tersebut menjadi fokus dalam pengerjaan tugas akhir ini. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisis desain *sacrificial anode cathodic protection* untuk mendapatkan kebutuhan arus proteksi agar pipa dapat terlindungi dengan baik. Untuk itu dibutuhkan parameter desain pipa mencakup ketebalan dinding pipa (*wall thickness*), dan ketebalan selimut beton (*corrosion coating thickness*) sebelum dilakukan analisis desain *sacrificial anode cathodic protection*. Dari hasil analisis didapatkan nilai ketebalan dinding pipa sebesar 0.5 inch dan ketebalan selimut beton sebesar 2 inch. Dari hasil tersebut didapatkan kebutuhan arus proteksi pipa sebesar 1.29 A. Dalam melakukan analisis desain *sacrificial anode cathodic protection* terdapat beberapa kriteria perhitungan, yaitu kriteria kebutuhan anoda berdasarkan berat total anoda, kriteria kebutuhan anoda berdasarkan keluaran arus anoda, kriteria kebutuhan anoda berdasarkan *potential attenuation*, dan kriteria berdasarkan jarak maksimum pemasangan anoda. Dari keempat kriteria tersebut akan dipilih jarak pemasangan anoda terpendek sebagai rekomendasi hasil dari penggunaan anoda.

Kata kunci: *sacrificial anode, cathodic protection, wall thickness, corrosion coating thickness, korosi.*

PENDAHULUAN

Korosi merupakan permasalahan umum yang sering terjadi pada logam. Korosi merupakan kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Pada peristiwa korosi, logam akan mengalami oksidasi sedangkan udara akan mengalami reduksi. Dalam pembicaraan sehari-hari, korosi dikenal sebagai karat atau pengkaratan yang biasa terjadi pada besi atau baja. Pada dasarnya, logam yang diperoleh dari alam berada dalam kedudukan energi yang tinggi, bersifat temporer, dan akan kembali ke lingkungan alam sebagai mineral yang energinya lebih rendah. Proses kembalinya logam inilah yang dikenal sebagai proses korosi. Korosi merupakan proses alam yang tidak dapat dicegah, namun dengan teknologi yang berkembang pada saat ini, korosi dapat dikendalikan dengan menghambat laju korosi yang terjadi sehingga kerugian-kerugian yang terjadi akibat korosi dapat dikurangi.

DASAR TEORI

Korosi dapat dikatakan sebagai suatu peristiwa elektrokimia antara logam dengan lingkungannya. Secara sederhana, korosi dapat terjadi jika syarat-syarat berikut dibawah ini terpenuhi, yaitu:

1. Anoda

Adanya beda potensial menyebabkan timbulnya aliran arus listrik. Arus listrik mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah sedangkan elektron mengalir berlawanan dengan arah arus listrik. Potensial anoda lebih negatif dari katoda sehingga elektron di anoda mengalir melalui kontak metalik ke katoda.

2. Katoda

Katoda yang menerima elektron membuat terjadinya reaksi katodik pada permukaan katoda, dimana elektron akan berada di permukaan katoda dan bereaksi dengan ion positif dari elektrolit. Contohnya adalah pada reaksi elektron dengan H dalam membentuk molekul H₂ yang berupa gelembung gas sehingga katoda akan terproteksi dari korosi

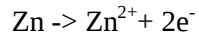
3. Larutan elektrolit

Larutan elektrolit berfungsi sebagai media penghantar listrik. Agar terbentuk suatu loop maka dibutuhkan elektrolut guna menghantarkan arus dari anoda menuju katoda.

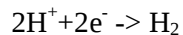
4. Adanya kontak metalik

Adanya kontak antara anoda dan katoda sehingga elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda. Elektron hanya bisa mengalir melalui kontak metalik. Elektron tidak bisa mengalir di dalam elektrolit.

Mekanisme korosi dalam elektrokimia dapat ditinjau dari potensial standar (reduksi) dimana suatu logam yang memiliki potensial reduksi lebih rendah dibandingkan dengan potensial reduksi sistem memiliki kecenderungan spontan untuk beroksidasi. Sebagai contoh logam Zn dicelupkan ke dalam larutan asam akan teroksidasi karena potensial reduksi Zn lebih rendah dibandingkan dengan potensial reduksi H₂.



Setiap atom Zn akan kehilangan 2 elektron dan melepaskan ion positif (kation) Zn²⁺ dimana kation terlepas dari logam dan terlarut sedangkan elektron akan tetap berada dalam logam. Lingkungan asam yang kaya akan H⁺ memiliki kecenderungan sebagai akseptor elektron sehingga membatasi akumulasi elektron dalam logam dengan cara bereaksi pada permukaan logam dengan membentuk H₂



Dalam perancangan struktur pipa bawah laut, terbentuknya korosi tidak dapat dihindarkan. Faktor kondisi lingkungan tempat struktur pipa bawah laut berada sangat mendukung terjadinya korosi. Korosi yang terjadi pada struktur pipa bawah laut akan menjadi sesuatu hal yang berbahaya jika tidak dilakukan usaha pencegahan, pengendalian, dan monitoring. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam mengendalikan korosi khususnya pada struktur pipa bawah laut yaitu:

1. Pemilihan Material Pipa

Saat ini, telah ditemukan berbagai bahan logam yang bisa dimanfaatkan untuk segala bentuk kegiatan industri di dunia ini. Namun, sayangnya dari sekian banyak logam yang telah ditemukan itu, bisa dikatakan bahwa tak banyak dari logam-logam yang telah ditemukan tersebut yang tahan terhadap jenis-jenis korosi. Salah satu upaya pencegahan korosi untuk efisiensi operasi dan pemeliharaan adalah dengan menggunakan logam-logam yang tahan terhadap beberapa jenis korosi tertentu yang secara potensial dikandung oleh suatu jenis proses produksi/pengolahan.

2. *Coating*

Pada struktur pipa bawah laut, lapisan pelindung (*coating*) merupakan penghalang pertama dalam menahan korosi. Pelapisan pelindung pada pipa bawah laut ini dimaksudkan untuk melindungi dan melapisi pipa dari lingkungannya agar secara fisik dapat efektif memisahkan baja dari lingkungannya yang berpotensi menimbulkan korosi. Pelapisan (*coating*) ini dapat berupa pelapisan dengan logam lain yang sifatnya lebih anodik.

3. Pemakaian Inhibitor

Inhibitor korosi merupakan zat organik dan anorganik yang bila ditambahkan ke dalam lingkungan yang korosif akan menghambat atau menurunkan laju korosi. Inhibitor korosi digunakan untuk melindungi pipa dari serangan korosi akibat aliran fluida. Umumnya inhibitor korosi ini berasal dari senyawa-senyawa organik dan anorganik yang mengandung gugus-gugus yang memiliki pasangan elektron bebas, seperti nitrit, kromat, fosfat. Pemakaian inhibitor pada pipa bawah laut biasanya

digunakan untuk menangani permasalahan korosi internal pada pipa. Korosi internal yang diakibatkan oleh aliran fluida yang memiliki fasa jamak yang terdiri dari air dan kontaminannya seperti O_2 , H_2S , CO_2 akan menyebabkan terjadinya korosi pada internal pipa. Untuk menghambat laju korosi pada internal pipa terjadi dengan cepat, diperlukan pengendalian terhadap korosi tersebut salah satunya dengan pemakaian inhibitor melalui teknologi *pigging*.

4. *Cathodic Protection*

Cathodic protection merupakan suatu metode perlindungan terhadap suatu logam dari serangan korosi. Jika terjadi korosi, perlindungan katodik dapat digunakan untuk menghentikan proses korosi tersebut. Meskipun demikian, perlindungan katodik hanya dapat mengentikan proses korosi tetapi tidak dapat mengembalikan material yang telah terkorosi sebelumnya. Pada dasarnya korosi merupakan proses elektrokimia dimana reaksi elektrokimia terjadi lewat pertukaran elektron. Sistem anti korosi pada perlindungan katodik menghalangi terjadinya reaksi korosi yang muncul dengan cara mencegah terjadinya pertukaran elektron.

Pada sistem sistem perlindungan katodik, proses korosi akan terjadi di anoda sedangkan untuk katodanya bebas dari korosi. Pada umumnya logam adalah anoda namun pada sistem perlindungan katodik logam berfungsi sebagai katoda sehingga akan terlindung dari korosi. Hal ini terjadi dengan cara mengalirkan elektron yang memiliki arus listrik lebih tinggi daripada yang dihasilkan oleh reaksi korosi pada anoda. Perlindungan katodik membutuhkan sumber arus listrik untuk mencegah serangan korosi pada logam. Metode *Cathodic Protection* yang biasa digunakan sebagai proteksi logam terhadap serangan korosi ada 2 (dua) jenis, yaitu:

- *Sacrificial Anode*

Arus listrik disuplai dari proses korosi yang terjadi pada sumber arus listrik yang terbuat dari logam aktif seperti zinc dan aluminium yang memiliki arus positif yang lebih besar daripada logam. Perbedaan potensial elektron ini menyebabkan adanya daya tarik elektron bebas negatif yang lebih besar daripada daya tarik ion-ion pada logam. Hal ini mengakibatkan sumber arus listrik tersebut akan ter. serang korosi dan sebaliknya logam akan terlindungi korosi.

- *Impressed Current*

Perbedaan antara sistem *Impressed Current* dengan sistem *Sacrificial Anode* ini terletak pada suplai arus yang diperoleh oleh logam yang akan diproteksi. Logam yang akan diproteksi disuplai oleh sumber tenaga eksternal, dalam hal ini adalah *rectifier*.

Pada Tugas Akhir ini, metode pengendalian korosi yang dipilih adalah metode *Cathodic Protection* dengan menggunakan sistem *Sacrificial Anode*.

Sacrificial anode merupakan suatu sistem perlindungan terhadap korosi yang sering digunakan pada struktur pipa bawah laut. Hal ini dikarenakan proses instalasi yang sederhana dan tidak membutuhkan media penghantar arus listrik lain. Metode *sacrificial anode* juga dikenal sebagai *galvanic anode*, dimana cara kerja dan sumber arus yang digunakan berasal dari reaksi galvanis dari anoda itu sendiri. Prinsip dasar dari sistem anoda korban adalah dengan menciptakan elektrokimia galvanis dimana dua logam yang berbeda dihubungkan secara elektrik dan ditanam dalam elektrolit alam (tanah atau air). Dalam sel logam yang berbeda tersebut, logam yang lebih aktif dalam seri galvanik akan menjadi anoda terhadap logam yang kurang aktif dan terkonsumsi selama reaksi elektrokimia. Logam yang kurang aktif akan menerima proteksi katodik pada permukaannya karena adanya aliran listrik melalui elektrolit dari logam anodik dan logam yang diproteksi tersebut akan menerima elektron. Terdapat jenis-jenis *sacrificial anode* diantaranya *bracelet anodes* dan *sled anode*.



Gambar 1 *Bracelet Anode*



Gambar 2 Sled Anode

Dalam mendesain *sacrificial anode* dibutuhkan parameter desain pipa untuk mengetahui besar arus proteksi yang dibutuhkan. Dalam hal ini, parameter desain pipa yang dibutuhkan adalah ketebalan dinding pipa dan ketebalan selimut beton.

Dalam melakukan analisis desain *sacrificial anode cathodic protection*, terdapat beberapa kriteria perhitungan kebutuhan anoda dalam melindungi pipa dari serangan korosi. Kriteria tersebut adalah sebagai berikut

1. Kriteria perhitungan berdasarkan berat total anoda
2. Kriteria perhitungan berdasarkan keluaran arus anoda
3. Kriteria perhitungan berdasarkan *potential attenuation*
4. Kriteria berdasarkan jarak pemasangan maksimum anoda.

Keempat kriteria tersebut akan dibandingkan untuk mendapatkan jarak terpendek pemasangan anoda di sepanjang pipa bawah laut.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dalam menganalisis desain *sacrificial anode cathodic protection* dibutuhkan beberapa parameter desain pipa. Parameter desain pipa tersebut adalah ketebalan dinding pipa dan ketebalan selimut beton. Pada tugas akhir ini, dilakukan analisis mengenai desain ketebalan dinding pipa dan desain kestabilan pipa bawah laut untuk mendapatkan ketebalan selimut beton yang digunakan untuk kepentingan analisis desain *sacrificial anode cathodic protection*.

Rekapitulasi hasil perhitungan untuk mendapatkan nilai dari ketebalan dinding pipa dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1 Hasil perhitungan pengecekan ketebalan dinding pipa

Kondisi	Criteria Utility	Criteria Acceptable
Instalasi		
<i>Pressure Containment</i>	0.391	OK
<i>System Collapse</i>	0.056	OK
<i>Combined Loading</i>	0.523	OK
<i>Propagation Buckling</i>	0.215	OK
Hidrotes		
<i>Pressure Containment</i>	0.416	OK
<i>System Collapse</i>	0.056	OK
<i>Combined Loading</i>	0.423	OK
<i>Propagation Buckling</i>	0.215	OK
Operasi		
<i>Pressure Containment</i>	0.547	OK
<i>System Collapse</i>	0.117	OK
<i>Combined Loading</i>	0.953	OK
<i>Propagation Buckling</i>	0.462	OK

Rekapitulasi hasil perhitungan analisis desain kestabilan pipa bawah laut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2 perhitungan pengecekan desain kestabilan pipa bawah laut

No	Kondisi	Faktor Keamanan Lateral	Faktor Keamanan Vertikal
1	Instalasi	7.025	1.905
2	Hidrotes	10.747	2.384
3	Operasi	1.447	1.989
4	Operasi Terkorosi	1.222	1.835

Dari kedua hasil perhitungan parameter desain pipa tersebut, dapat diketahui parameter yang dibutuhkan untuk melakukan analisis desain *sacrificial anode cathodic protection* yaitu

Tabel 3 Parameter desain pipa untuk kepentingan desain *sacrificial anode cathodic protection*

Parameter	Satuan	Nilai
Tebal Dinding Pipa	<i>inch</i>	0.5
Tebal Selimut Beton	<i>inch</i>	2

Kedua parameter tersebut dibutuhkan untuk mendesain *sacrificial anode cathodic protection*. Dengan mendesain *sacrificial anode cathodic protection*, akan diketahui besar arus proteksi yang dibutuhkan untuk melindungi pipa dari serangan korosi.

Analisis desain *sacrificial anode cathodic protection* yang dilakukan pada tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui kebutuhan arus yang dibutuhkan agar anoda dapat memproteksi pipa dari serangan korosi. Kebutuhan arus yang dibutuhkan anoda nantinya akan dilakukan pengecekan terhadap kebutuhan arus akhir dari anoda tersebut. Selain itu, analisis desain ini dilakukan untuk mengetahui jumlah anoda yang dibutuhkan dan jarak pemasangan anoda yang dibutuhkan. Analisis desain dilakukan berdasarkan beberapa kriteria, yaitu:

- Kriteria kebutuhan anoda berdasarkan berat total anoda.
- Kriteria kebutuhan anoda berdasarkan keluaran arus total anoda.
- Kriteria kebutuhan anoda berdasarkan *potential attenuation*.
- Kriteria kebutuhan anoda berdasarkan jarak maksimum pemasangan.

Berikut merupakan hasil perhitungan dari analisis desain *sacrificial anode cathodic protection*.

Kriteria Kebutuhan Anoda Berdasarkan Berat Total Anoda

1. Mean Current Demand

Tabel 4 Mean current demand

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	<i>Pipeline Surface Area</i>			
	<i>Pipeline Coated</i>	$A_{pl} := \pi \cdot D \cdot L \cdot \left(\frac{L_j - L_{fj}}{L_j} \right)$	5013	m ²
	<i>Field Joint Coated</i>	$A_{fj} := \pi \cdot D \cdot L \cdot \frac{L_{fj}}{L_j}$	305.13	m ²

2	<i>Mean Coating Breakdown Factor</i>			
	<i>Pipeline Coating</i>	$f_{cm_{pl}} := a_{pl} + 0.5 \cdot b_{pl} \cdot t_r$	0.0013	-
	<i>Field Joint Coating</i>	$f_{cm_{fj}} := a_{fj} + 0.5 \cdot b_{fj} \cdot t_r$	0.013	-
3	<i>Mean Current Demand</i>			
	<i>Pipeline Coated</i>	$I_{cm_{pl}} := A_{pl} \cdot f_{cm_{pl}} \cdot i_{cm}$	0.652	A
	<i>Field Joint Coated</i>	$I_{cm_{fj}} := A_{fj} \cdot f_{cm_{fj}} \cdot i_{cm}$	0.397	A
	<i>Total Mean Current Demand</i>	$I_{cm_{tot}} := I_{cm_{pl}} + I_{cm_{fj}}$	1.048	A

Tabel diatas merupakan hasil perhitungan dari *Mean Current Demand* dimana dari hasil perhitungan ini akan diperoleh kebutuhan arus rata-rata yang diperlukan oleh anoda untuk memproteksi pipa. Dari perhitungan ini, akan didapatkan nilai dari berat bersih anoda yang digunakan.

2. *Total Anode Net Mass*

Tabel 5 *Total anode net mass*

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	<i>Total Anode Net Mass</i>	$M := \frac{I_{cm_{tot}} \cdot t_r}{u \cdot \varepsilon}$	91.834	kg

3. *Initial Anode Net Mass*

Tabel 6 *Initial anode net mass*

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	<i>Initial Anode Net Mass</i>	$m_a := V_a \cdot \rho_a$	43.402	kg

Tabel diatas merupakan hasil perhitungan dari berat bersih anoda dan berat satuan anoda yang dibutuhkan. Dari hasil perhitungan ini bisa didapatkan banyaknya jumlah anoda yang dibutuhkan untuk memproteksi pipa.

4. *Required Number of Anode*

Tabel 7 *Required number of anode*

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	<i>Required Number of Anode to Meet Total Anode Net Mass</i>	$N_m := \left(\frac{M}{m_a} \right)$	3	-

5. Required Anode Spacing

Tabel 8 Required anode spacing

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	Anode Spacing to Meet Total Anode Net Mass	$L_{sm} := \left(\frac{L}{N_m \cdot L_j} \right)$	142	Join pipa

Dari hasil perhitungan kriteria berdasarkan berat total anoda, dapat diperoleh jumlah anode yang dibutuhkan untuk memproteksi pipa dari serangan korosi adalah 3 buah dengan jarak pemasangan sejauh 142 join pipa atau sekitar 1732.4 m.

Kriteria Kebutuhan Anoda Berdasarkan Keluaran Arus Anoda

1. Final Current Demand

Tabel 9 Final current demand

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	<i>Pipeline Surface Area</i>			
	<i>Pipeline Coated</i>	$A_{pl} := \pi \cdot D \cdot L \cdot \left(\frac{L_j - L_{fj}}{L_j} \right)$	5013	m ²
	<i>Field Joint Coated</i>	$A_{fj} := \pi \cdot D \cdot L \cdot \frac{L_{fj}}{L_j}$	305.13	m ²
2	<i>Final Coating Breakdown Factor</i>			
	<i>Pipeline Coating</i>	$fcf_{pl} := a_{pl} + b_{pl} \cdot t_r$	0.0016	-
	<i>Field Joint Coating</i>	$fcf_{fj} := a_{fj} + b_{fj} \cdot t_r$	0.016	-
3	<i>Final Current Demand</i>			
	<i>Pipeline Coated</i>	$Icf_{pl} := A_{pl} \cdot fcf_{pl} \cdot i_{cm}$	0.802	A
	<i>Field Joint Coated</i>	$Icf_{fj} := A_{fj} \cdot fcf_{fj} \cdot i_{cm}$	0.488	A
	<i>Total Final Current Demand</i>	$Icf_{tot} := Icf_{fj} + Icf_{pl}$	1.29	A

Tabel diatas merupakan hasil perhitungan dari *final current demand* dimana dari perhitungan tersebut dapat diketahui besar kebutuhan arus dalam memproteksi pipa.

2. Final Current Output

Tabel 10 Final current output

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	Final Current Output	$I_{af} := \frac{E_c - E_a}{R_{af}}$	1.71	A

3. Required Number of Anode

Tabel 11 Required number of anode

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	Required Number of Anode to Meet Final Anode Current Output	$N_r := \left(\frac{I_{cf_{tot}}}{I_{af}} \right)$	1	-

4. Required Anode Spacing

Tabel 12 Required anode spacing

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	Anode Spacing to Meet Final Anode Current Output	$L_{af} := \left(\frac{L}{N_r \cdot L_j} \right)$	428	Join pipa

Dari hasil perhitungan kriteria berdasarkan berat total anoda, dapat diperoleh jumlah anode yang dibutuhkan untuk memproteksi pipa dari serangan korosi adalah 1 buah dengan jarak pemasangan sejauh 428 join pipa atau sekitar 5221.6 m.

Perbandingan Kriteria Berdasarkan Berat Total Anoda dan Keluaran Arus Anoda

1. Required Number of Anode

Tabel 13 Required number of anode

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	Required Number of Anode to Meet Total Anode Net Mass	$N_m := \left(\frac{M}{m_a} \right)$	3	-

2	Required Number of Anode to Meet Final Anode Current Output	$N_r := \left(\frac{I_{cf_{tot}}}{I_{af}} \right)$	1	-
3	Required Number of Anode	$N := \max(N_r, N_m)$	3	-

2. Required Anode Spacing

Tabel 14 Required anode spacing

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	Anode Spacing to Meet Total Anode Net Mass	$L_{sm} := \left(\frac{L}{N_m \cdot L_j} \right)$	142	Join pipa
2	Anode Spacing to Meet Final Anode Current Output	$L_{af} := \left(\frac{L}{N_r \cdot L_j} \right)$	428	Join pipa
3	Required Anode Spacing	$L_s := \min(L_{af}, L_{sm})$	142	Join pipa

Dari hasil perbandingan kedua kriteria diatas, yaitu kriteria berdasarkan berat total anoda dan keluaran arus anoda diperoleh jumlah anode yang diperlukan untuk melindungi pipa dari serangan korosi adalah 3 buah dengan jarak pemasangan 142 join pipa atau sekitar 1732.4 m. hasil dari perbandingan kriteria ini nantinya akan dibandingkan lagi dengan kriteria *potential attenuation* dan kriteria jarak pemasangan maksimum.

Kriteria Kebutuhan Anoda Berdasarkan Kriteria *Potential Attenuation*

Pengecekan *Potential Attenuation* bertujuan untuk mengetahui panjang efektif anoda di sepanjang pipa yang akan diproteksi. Dari perhitungan ini akan diketahui kebutuhan anoda di sepanjang pipa untuk memproteksi pipa dari serangan korosi.

Tabel 15 Kriteria kebutuhan anoda berdasarkan kriteria *potential attenuation*

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	Pipeline Protection Distance Cover	$L_{tot} := \left(\frac{L_s}{2} \right) \cdot L_j$	866.2	m
2	Surface Area of Linepipe Coated Protection Distance Covered	$A_{at_{pl}} := \pi \cdot D \cdot L_{tot} \cdot \left(\frac{L_j - L_{fj}}{L_j} \right)$	830.711	m ²

3	Surface Area of Field Joint Coated Protection Distance Covered	$A_{at_{fj}} := \pi \cdot D \cdot L_{tot} \cdot \frac{L_{fj}}{L_j}$	50.565	m ²
4	Final Current Demand of Linepipe Coated Protection Distance Covered	$lat_{pl} := A_{at_{pl}} \cdot f_{cf_{pl}} \cdot i_{cm}$	0.133	A
5	Final Current Demand of Field Joint Coated Protection Distance Covered	$lat_{fj} := A_{at_{fj}} \cdot f_{cf_{fj}} \cdot i_{cm}$	0.081	A
6	Total Final Current Demand Pipeline Protection Distance Covered	$lat_{tot} := lat_{pl} + lat_{fj}$	0.214	A
7	Final Current Demand for Attenuation	$I_{cf} := lat_{tot}$	0.214	A
8	Final Coating Breakdown Factor	$f_{cf} := \frac{f_{cm_{pl}} \cdot (L_j - L_{fj})}{L_j} + f_{cf_{fj}} \cdot \frac{L_{fj}}{L_j}$	0.002143	-
9	Attenuation Result			
	$L_{att} := \frac{d \cdot (D - d)}{\rho_{me} \cdot D \cdot f_{cf} \cdot i_{cm}} \left[-2 \cdot R_{af} \cdot \frac{I_{cf}}{L_{tot}} + \sqrt{4 \cdot R_{af}^2 \cdot \frac{I_{cf}^2}{L_{tot}^2} + 2 \cdot \rho_{me} \cdot i_{cm} \cdot f_{cf} \cdot \frac{D}{d \cdot (D - d)} \cdot (E_c - E_a)} \right]$			
Jarak pemasangan anoda berdasarkan <i>potential attenuation</i>			3213	m

Tabel diatas merupakan perhitungan dari pengecekan terhadap *potential attenuation* dimana jarak pemasangan anoda sebesar 3213 m dengan jumlah anoda yang dibutuhkan adalah sebanyak 2 buah.

Kriteria Kebutuhan Anoda Berdasarkan Kriteria Jarak Pemasangan Maksimum

Berdasarkan hasil perhitungan dan perbandingan kriteria diatas, dapat disimpulkan bahwa jarak pemasangan anoda lebih dari ketentuan yang telah ditetapkan dalam DNV RP F103 *Cathodic Protection of Submarine Pipelines by Galvanic Anodes* sebesar 300 m. Oleh karena itu, jarak pemasangan anoda mengikuti ketentuan standar DNV RP F103 dengan jarak 300 m.

Rekomendasi Hasil Perhitungan Desain *Sacrificial Anode Cathodic Protection*

Berikut dibawah ini merupakan rekomendasi hasil desain dari perhitungan *sacrificial anode cathodic protection* berdasarkan kriteria desain dan pengecekan *potential attenuation*.

Tabel 16 Rekomendasi hasil perhitungan desain *sacrificial anode cathodic protection*

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	<i>Number of Anode</i>	$N_{an} := \text{ceil} \left(\frac{L}{\text{Result}_{att}} \right)$	18	-
2	<i>Distance Protected Covered by one Anode</i>	$L_{an} := \frac{L}{N_{an}}$	290.389	m
3	<i>Anode Spacing based on Number of Pipe Joint</i>	$S_{an} := \text{floor} \left(\frac{L_{an}}{L_j} \right)$	23	
4	<i>Total Anode Weight Based on Anode Result Recommended</i>	$M_{res} := N_{an} \cdot m_a$	781.237	kg

Analisis Perhitungan Desain *Sacrificial Anode Cathodic Protection*

Salah satu kriteria yang harus terpenuhi dalam melakukan analisis desain *sacrificial anode cathodic protection* ini adalah pemenuhan kebutuhan terhadap arus proteksi *cathodic protection* terhadap logam yang akan dilindungi. Keluaran arus dari *cathodic protection* yang direncanakan dan dianalisis harus lebih besar daripada kebutuhan arus proteksi agar proteksi dapat berjalan dengan baik dan menyeluruh sepanjang pipa. Dari hasil perhitungan analisis desain *sacrificial anode cathodic protection* berdasarkan standar DNV RP F103, diketahui bahwa kebutuhan arus proteksi sebesar 1.29 A. Dari hasil perhitungan tersebut juga diketahui bahwa *bracelet anode* yang direncanakan menghasilkan arus proteksi akhir sebesar 1.71 A yang menandakan kriteria proteksi terpenuhi.

Jika dilihat dari kebutuhan anoda untuk melindungi pipa dari serangan korosi, hasil perhitungan berdasarkan masing-masing kriteria dengan ketentuan standar DNV RP F103 terdapat perbedaan yang sangat jauh mengenai jumlah anoda yang digunakan. Jika dari hasil perhitungan anoda yang dibutuhkan hanya sebanyak 3 buah, namun berdasarkan ketentuan jarak maksimum pemasangan anoda mencapai 18 buah. Hal ini bisa dinilai tidak ekonomis karena hanya dengan 3 buah anoda saja sudah bisa melindungi pipa dari serangan korosi sepanjang jalur pipa.

Jika mengacu pada ketentuan yang telah ditetapkan, maka jumlah anode yang digunakan sebanyak 18 buah dengan jarak pemasangan sejauh 290.398 m atau setara dengan 23 join pipa. Pemilihan jumlah pipa berdasarkan kriteria ketentuan jarak pemasangan maksimum anoda ini memang sangatlah tidak ekonomi karena perbedaan yang terlalu jauh antara perhitungan dengan ketentuan. Untuk itu, penulis merekomendasikan untuk mengganti paduan material pipa dan mengubah properti anoda. Material yang direkomendasikan adalah material paduan *Zinc*.

Berikut merupakan properti anoda yang terbuat dari material paduan *zinc*.

Tabel 17 Properti material anoda paduan seng

Parameter	Satuan	Nilai
Material		<i>ZInc Alloy</i>
<i>Anode density</i>	kg/m ³	6700
<i>Design life</i>	years	20
<i>Seawater resistivity</i>	Ohm.cm	25
<i>Anode type</i>	-	<i>Bracelet Anode (12.75 inch)</i>
<i>Anode utilisation factor</i>	-	0.8
<i>Anode capacity</i>	A.hr/kg	780
<i>Anode Length</i>	mm	150
<i>Anode Half Shell Gap</i>	mm	70
<i>Design Protective Potential</i>	V	-0.7
<i>Design Closed Circuit Anode Potential</i>	V	-1.1

Selain penggantian material dari aluminium ke seng (Zinc), panjang dari anoda yang awalnya 300 mm diperkecil menjadi 150 mm. Selain itu, penggunaan *coating* pada *field joint pipe* yang semula menggunakan 3LPP diganti dengan tipe yang lebih rendah. Penggantian *coating* ini akan berpengaruh terhadap nilai dari *coating breakdown factor* pada perhitungan kriteria kebutuhan anoda berdasarkan kriteria berat total anoda. Dari penggantian material paduan anoda, *field joint coating*, dan perubahan panjang anoda didapatkan hasil sebagai berikut.

Kriteria Kebutuhan Zinc Anode Berdasarkan Berat Total Anoda

Tabel 18 Kriteria kebutuhan zinc anode berdasarkan berat total anoda

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	<i>Total Anode Net Mass</i>	$M := \frac{I_{cm_{tot}} \cdot t_r}{u \cdot \varepsilon}$	448.549	kg
2	<i>Initial Anode Net Mass</i>	$m_a := V_a \cdot \rho_a$	53.851	kg
3	<i>Required Number of Anode to Meet Total Anode Net Mass</i>	$N_m := \left(\frac{M}{m_a} \right)$	9	-
4	<i>Anode Spacing to Meet Total Anode Net Mass</i>	$L_{sm} := \left(\frac{L}{N_m \cdot L_j} \right)$	47	Join pipa

Kriteria Kebutuhan Zinc Anode Berdasarkan Keluaran Arus Anoda

Tabel 19 Kriteria kebutuhan zinc anode berdasarkan keluaran arus anoda

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	<i>Total Final Current Demand</i>	$I_{cf_{tot}} := I_{cf_j} + I_{cf_{pl}}$	1.778	A
2	<i>Final Current Output</i>	$I_{af} := \frac{E_c - E_a}{R_{af}}$	1.935	A
3	<i>Required Number of Anode to Meet Final Anode Current Output</i>	$N_r := \left(\frac{I_{cf_{tot}}}{I_{af}} \right)$	1	-
4	<i>Anode Spacing to Meet Final Anode Current Output</i>	$L_{af} := \left(\frac{L}{N_r \cdot L_j} \right)$	428	Join pipa

Perbandingan Kriteria Berdasarkan Berat Total Anoda dan Keluaran Arus Anoda

1. Required number of zinc anode

Tabel 20 Required number of zinc anode

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	Required Number of Anode to Meet Total Anode Net Mass	$N_m := \left(\frac{M}{m_a} \right)$	9	-
2	Required Number of Anode to Meet Final Anode Current Output	$N_r := \left(\frac{I_{cf_{tot}}}{I_{af}} \right)$	1	-
3	Required Number of Anode	$N_{\text{min}} := \max(N_r, N_m)$	9	-

2. Required zinc anode spacing

Tabel 21 Required zinc anode spacing

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	Anode Spacing to Meet Total Anode Net Mass	$L_{sm} := \left(\frac{L}{N_m \cdot L_j} \right)$	47	Join pipa
2	Anode Spacing to Meet Final Anode Current Output	$L_{af} := \left(\frac{L}{N_r \cdot L_j} \right)$	428	Join pipa
3	Required Anode Spacing	$L_s := \min(L_{af}, L_{sm})$	47	Join pipa

Kriteria Kebutuhan Zinc Anode Berdasarkan Kriteria Potential Attenuation

Tabel 22 Kriteria kebutuhan zinc anode berdasarkan kriteria *potential attenuation*

No	Perhitungan	Rumus	Hasil	Satuan
1	<i>Attenuation Result</i>			
	$L_{att} := \frac{d \cdot (D - d)}{\rho_{me} \cdot D \cdot f_{cf} \cdot i_{cm}} \left[-2 \cdot R_{af} \cdot \frac{l_{cf}}{L_{tot}} + \sqrt{4 \cdot R_{af}^2 \cdot \frac{l_{cf}^2}{L_{tot}^2} + 2 \cdot \rho_{me} \cdot i_{cm} \cdot f_{cf} \cdot \frac{D}{d \cdot (D - d)} \cdot (E_c - E_a)} \right]$			
	Jarak pemasangan anoda berdasarkan cek <i>potential attenuation</i>		2712	m

Kriteria Kebutuhan Anoda Berdasarkan Kriteria Jarak Pemasangan Maksimum

Berdasarkan hasil perhitungan dan perbandingan kriteria diatas, meskipun paduan material anoda yang digunakan lebih rendah daripada paduan material anoda sebelumnya, hasil tetap menunjukkan bahwa jarak pemasangan anoda seng lebih dari ketentuan yang telah ditetapkan dalam DNV RP F103 *Cathodic Protection of Submarine Pipelines by Galvanic Anodes* sebesar 300 m. Namun setidaknya terdapat perbedaan dari jumlah anoda dan jarak pemasangan anoda pada paduan material seng ini. Pada paduan material anoda seng ini, jumlah anoda yang dibutuhkan sebanyak 9 anoda dengan jarak pemasangan sejauh 47 join pipa. Jauh lebih mendekati dibandingkan penggunaan paduan material aluminium. Disamping itu, anoda paduan seng lebih ekonomis dibanding anoda paduan aluminium.

Untuk itu sebagai rekomendasi, dengan mengikuti ketentuan jarak pemasangan anoda yang telah ditetapkan, jumlah kebutuhan anoda untuk melindungi pipa sejauh 5227 m sebanyak 18 buah dengan jarak pemasangan sejauh 290.389 m atau setara dengan 23 join pipa dengan menggunakan paduan aluminium seng (*Zinc*).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil analisis studi kasus yang mencakup desain *sacrificial anode cathodic protection*, analisis ketebalan dinding pipa, dan analisis kestabilan pipa bawah laut, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Dari hasil analisis studi kasus yang mencakup desain *sacrificial anode cathodic protection*, analisis ketebalan dinding pipa, dan analisis kestabilan pipa bawah laut, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah melalui tahapan analisis desain ketebalan dinding pipa dan kestabilan pipa bawah laut dalam berbagai kondisi, telah didapatkan nilai dari ketebalan dinding pipa dan tebal *concrete coating* yang memenuhi kriteria desain. Ketebalan dinding pipa yang digunakan untuk kepentingan desain *sacrificial anode cathodic protection* sebesar 0.5 inch. Sementara tebal *concrete coating* yang digunakan adalah 2 inch.
2. Pada perhitungan desain *sacrificial anode cathodic protection*, berdasarkan standar DNV RP F103, dengan nilai ketebalan dinding pipa dan ketebalan *concrete coating* didapatkan besar arus proteksi yang dibutuhkan untuk memproteksi pipa yaitu sebesar 1.29 A.
3. Dimensi *bracelet anode* paduan aluminium dengan rincian tebal 2 inch, dan panjang 0.3 m mampu menghasilkan arus sebesar 1.71 A. Dengan ini pipa dapat terproteksi dengan baik.
4. Berdasarkan hasil perhitungan analisis desain *sacrificial anode cathodic protection* berdasarkan kriteria berat total anoda dibutuhkan jumlah anoda sebanyak 3 buah untuk memproteksi jalur pipa bawah laut sepanjang 5227 m dengan jarak proteksi per anodenya sepanjang 1732.4 m atau setara dengan 142 join pipa.
5. Berdasarkan hasil perhitungan analisis desain *sacrificial anode cathodic protection* berdasarkan kriteria keluaran arus dibutuhkan jumlah anoda sebanyak 1 buah untuk memproteksi jalur pipa bawah laut sepanjang 5227 m.
6. Berdasarkan hasil perhitungan kriteria *potential attenuation*, didapatkan jarak efektif anoda dalam melindungi pipa sepanjang 5227 m dari serangan korosis adalah sejauh 3213 m.
7. Dari hasil perhitungan berdasarkan beberapa kriteria seperti kriteria berat total anoda, kriteria keluaran arus anoda, dan kriteria *potential attenuation*, jarak pemasangan anoda melebihi ketentuan yang telah ditetapkan dalam standar DNV RP F103. Berdasarkan ketentuan jarak pemasangan maksimum dengan mengacu pada ketentuan DNV RP F103 maka jumlah anoda yang dibutuhkan sebanyak 18 anoda yang diinstall tiap 23 joint pipa dengan total berat keseluruhan anode sebesar 781.237 kg untuk dapat memproteksi pipa sepanjang 5227 m.

8. Dengan mempertimbangkan faktor ekonomis dalam mendesain *sacrificial anode cathodic protection*, penulis merekomendasikan untuk mengganti properti anoda yang digunakan seperti jenis material paduan anoda, panjang anoda, dan juga jenis *field joint coating* yang digunakan. Dari penggantian properti anoda tersebut, direkomendasikan paduan anoda yang digunakan adalah paduan material anoda *zinc*, dengan panjang anoda 150 mm, dan menggunakan jenis *coating 2B Heat Shrink Sleeve* didapatkan hasil perhitungan jumlah anoda yang dibutuhkan untuk memproteksi pipa sepanjang 5227 m dari serangan korosi sebanyak 9 buah dengan jarak pemasangan sejauh 573.4 m atau setara dengan 47 join pipa.
9. Rekomendasi penggunaan anoda tetap mengacu pada ketentuan jarak maksimum penggunaan berdasarkan standar DNV RP F103 dengan jumlah anoda sebanyak 18 anoda dengan jarak pemasangan sejauh 290.398 m atau setara dengan 23 join pipa namun dengan penggunaan properti pipa yang baru, yaitu material paduan *zinc*, dengan panjang anoda 150 mm, dan dengan jenis *field joint coating 2B Heat Shrink Sleeve* menggantikan penggunaan anoda jenis paduan aluminium dengan panjang anoda 300 mm, dan jenis *field joint coating 3LPP*. Jika dilihat dari jumlah kebutuhan anoda dari hasil perhitungan berdasarkan perbandingan kriteria berat total anoda, kriteria keluaran anoda, dan kriteria *potential attenuation*, pemilihan dan penggunaan material properti anoda yang baru tersebut jauh lebih ekonomis dibanding properti anoda sebelumnya.

Saran

Beberapa saran yang dapat disampaikan setelah melakukan desain dan analisis *sacrificial anode cathodic protection* adalah sebagai berikut:

1. Analisis desain *sacrificial anode cathodic protection* menggunakan tipe anoda berupa *bracelet anode*, sedangkan terdapat tipe anoda korban lainnya yang dapat digunakan untuk melindungi pipa bawah laut dari serangan korosi, yaitu *sled anode*. Untuk itu perlu dilakukan studi komparasi antara *sled anode* dengan *bracelet anode* untuk mengetahui efektifitas masing-masing tipe anoda korban tersebut dalam melindungi pipa bawah laut dari serangan korosi.
2. Diperlukan analisis mengenai pipa eksisting bawah laut yang telah terkorosi dalam hal penanganannya terhadap korosi.

DAFTAR PUSTAKA

Copper Development Association.(1986). *Material for Seawater Pipeline System*. CDA Publication TN38.

International Standard. (2004). ISO 15589-2 *Petroleum and Natural Gas Industries-Cathodic Protection of Pipeline Transportation System-Offshore Pipeline*.

Mousselli, A. H. (1985). *Offshore Pipeline Design, Analysis, and Method*. Oklahoma: Penn Well Books.

Peabody, A.W. (2001). *Peabody's Control of Pipeline Corrosion*.NACE International.

Sianturi, F. C. (2008). Laporan Tugas Akhir. *Desain dan Analisis Instalasi Struktur Pipa Bawah Laut*.

Veritas Offshore Technology and Services A/S. (2000). *DNV OS F101 Submarine Pipeline System*.

Veritas Offshore Technology and Services A/S. (1988). *DNV RP E305 On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*.

Veritas Offshore Technology and Services A/S. (2010). *DNV RP F102 Pipeline Field Joint Coating and Field Repair of Linepipe External Coatings*.

Veritas Offshore Technology and Services A/S. (2010). *DNV RP F103 Cathodic Protection of Submarine Pipeline by Galvanic Anodes*

Veritas Offshore Technology and Services A/S. (2011). *DNV RP F106 Factory Applied Coatings for External Corrosion Control*.