

DESAIN PROTEKSI KATODIK ANODA KORBAN PADA PIPA BAWAH LAUT

Adli Syahmi¹ dan Dr. Ir. Sri Murti Adiyastuti, M.Sc.²

Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

¹adlimf@gmail.com dan ²adiyastuti@ocean.itb.ac.id

Abstrak. Jaringan pipa bawah laut atau *pipeline* merupakan salah satu infrastruktur yang digunakan dalam pemanfaatan sumber daya alam minyak dan gas. Desain dan konstruksi pipa harus dapat menjamin terjaganya keutuhan jaringan pipa bawah laut tersebut selama masa operasi. Penentuan ketebalan dinding pipa (*wall thickness*) merupakan salah satu tahap dalam perancangan struktur pipa bawah laut, bertujuan agar pipa mampu menanggung beban tekanan internal dari fluida yang terkandung di dalamnya serta beban tekanan eksternal dari lingkungan.

Korosi merupakan proses spontan yang tidak bisa dihentikan, tetapi bisa dikendalikan. Korosi mengakibatkan kerusakan serta penipisan material struktur yang akan menurunkan kekuatan struktur tersebut, dalam hal ini pipa bawah laut. Proteksi katodik anoda korban/*Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP) merupakan salah satu cara pengendalian korosi. Dengan adanya pengurangan laju korosi pada material logam tersebut, diharapkan kerusakan material logam akibat korosi akan diperlambat, yang berdampak pada masa pakai struktur yang akan lebih panjang sesuai dengan rencana. Dalam studi ini, akan dilakukan perancangan/desain proteksi katodik dengan metode anoda korban pada pipa bawah laut agar didapatkan jumlah anoda dan jarak pemasangan yang dibutuhkan untuk memproteksi pipa dari korosi, setelah sebelumnya dilakukan penentuan tebal dinding pipa, yang merupakan salah satu masukan pada desain proteksi katodik anoda korban.

Kata kunci: pipa bawah laut, tebal dinding pipa, korosi, proteksi katodik, anoda korban.

PENDAHULUAN

Minyak dan gas alam merupakan sumber daya mineral yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan manusia, terutama sebagai bahan bakar. Sumber daya mineral tersebut tersimpan di perut bumi, baik darat maupun laut lepas. Untuk dapat memanfaatkan sumber daya tersebut maka diperlukan suatu infrastruktur yang dapat mengangkut sumber daya dari sumbernya ke fasilitas pengolahan. Pengangkutan sumber daya mineral berupa fluida yang tersimpan di perut bumi, yang berada di laut lepas dapat dilakukan menggunakan kapal *tanker*. Selain kapal *tanker*, jaringan pipa atau *pipeline* juga dapat digunakan untuk memindahkan fluida dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Desain dan konstruksi yang dilakukan pada suatu jaringan pipa bawah laut harus dapat menjamin terjaganya keutuhan jaringan pipa bawah laut tersebut selama masa operasi. Penentuan ketebalan dinding pipa (*wall thickness*) merupakan salah satu tahap dalam perancangan struktur pipa bawah laut. Hal ini bertujuan agar pipa mampu menanggung beban tekanan internal dari fluida yang terkandung di dalamnya serta beban tekanan eksternal dari lingkungan.

Korosi merupakan proses yang terjadi secara spontan. Proses korosi tidak bisa dihentikan, tetapi bisa dikendalikan. Korosi mengakibatkan kerusakan serta penipisan material struktur yang akan menurunkan kekuatan struktur tersebut. Berbagai cara dilakukan untuk mengendalikan korosi internal maupun eksternal pada struktur pipa bawah laut. Cara yang dikenal umum adalah pelapisan (*coating*) material agar terisolasi dari lingkungan luar sehingga tidak bereaksi dengan unsur-unsur di alam seperti oksigen, serta proteksi katodik baik secara alami dengan memanfaatkan perbedaan potensial kedua material logam tersebut (proteksi katodik anoda korban/*Sacrificial Anode Cathodic Protection*/SACP), ataupun dengan aliran arus listrik buatan (proteksi katodik arus listrik buatan/*Impressed Current Cathodic Protection*/ICCP). Dengan adanya pengurangan laju korosi pada material logam tersebut, diharapkan kerusakan material logam akibat korosi akan diperlambat, yang berdampak pada masa pakai struktur tersebut yang akan lebih panjang sesuai dengan rencana.

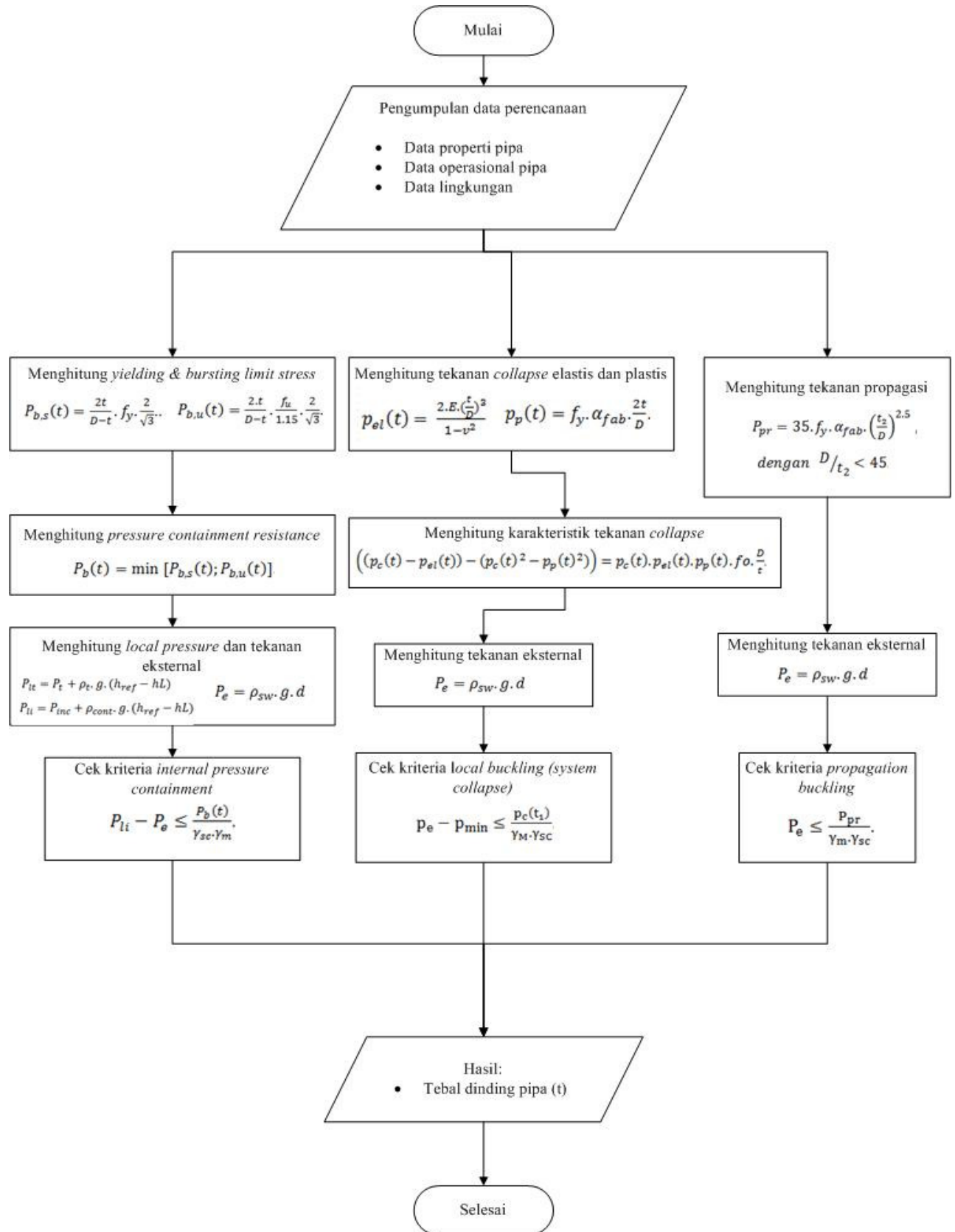
TEORI DAN METODOLOGI

Tebal dinding pipa (*wall thickness*) adalah nilai nominal ketebalan suatu pipa. Penentuan tebal pipa adalah satu pekerjaan yang sangat penting dan mendasar dalam mendesain sistem pipa bawah laut. Penentuan tebal pipa didasarkan pada kriteria desain yang disebabkan adanya tekanan internal dan atau tekanan eksternal hidrostatik yang bekerja pada pipa.

Adapun kriteria desain dalam penentuan tebal dinding pipa menggunakan acuan *recommended practice* DNV-OS-F101 *Submarine Pipeline Systems* sebagai berikut:

- kriteria *internal pressure containment*
menentukan ketebalan dinding pipa berdasarkan kriteria *hoop stress* akibat tekanan *incidental* fluida pada pipa agar tidak terjadi *bursting*
- kriteria *local buckling (system collapse)*
menentukan ketebalan dinding pipa berdasarkan kriteria tekanan *collapse* yang dapat mengakibatkan *buckling* suatu lokasi pada pipa
- kriteria *propagation buckling*
menentukan ketebalan dinding pipa berdasarkan kriteria tekanan propagasi *buckling*, yaitu tekanan yang dapat mengakibatkan merambatnya *buckling* dari satu lokasi pada pipa ke lokasi pipa yang lain.

Tahapan dari proses penentuan tebal dinding pipa digambarkan pada diagram alir berikut:



Gambar 1 Diagram alir tahapan penentuan tebal dinding pipa

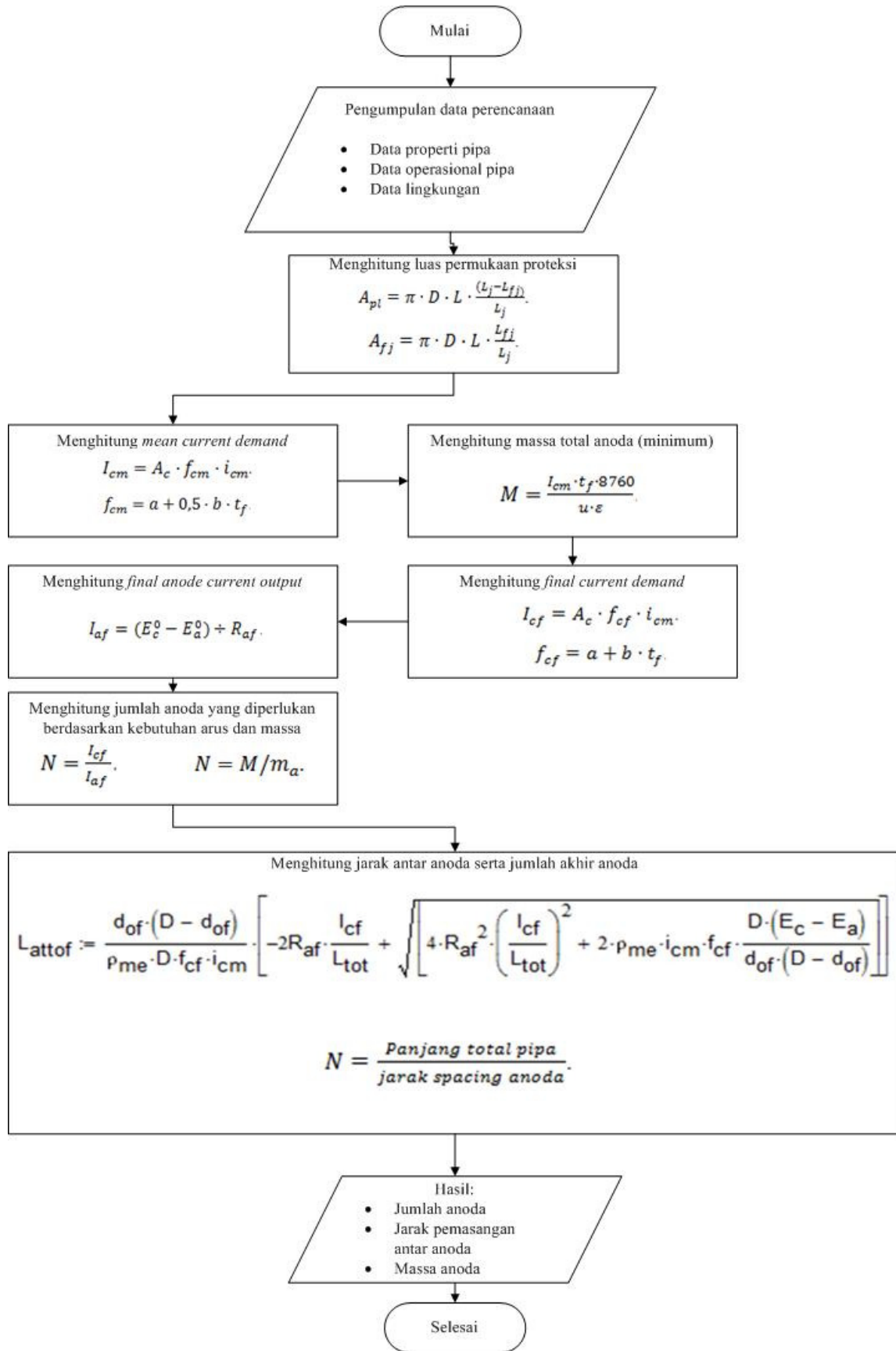
Setelah tebal dinding pipa didapatkan, dilakukan desain proteksi katodik anoda korban menggunakan *recommended practice* DNV-RP-F103 *Cathodic Protection of Submarine Pipelines by Galvanic Anodes* sebagai berikut:

- menghitung luas permukaan proteksi
menghitung luas permukaan pipa yang akan diproteksi
- menghitung *mean current demand*
menentukan *mean coating breakdown factor* serta kebutuhan arus listrik rata-rata yang diperlukan untuk memproteksi pipa.
- menghitung *final current demand*
menentukan *final coating breakdown factor* kebutuhan arus listrik yang diperlukan untuk memproteksi pipa hingga masa akhir layan
- menghitung massa anoda yang memenuhi *mean current demand*
menghitung massa anoda yang dibutuhkan untuk memproteksi pipa sesuai dengan arus listrik rata-rata yang dibutuhkan
- menghitung *final anode current output*
menentukan keluaran arus listrik anoda yang dibutuhkan untuk memproteksi pipa serta jumlah anoda yang dibutuhkan untuk memenuhi arus listrik akhir yang dibutuhkan
- menghitung jumlah dan jarak antar anoda
menentukan jumlah anoda yang diperlukan serta jarak pemasangan antar anoda.

Tahapan dari perhitungan desain proteksi katodik anoda korban di atas bertujuan untuk menentukan jumlah anoda berdasarkan:

- kriteria massa anoda minimal yang dibutuhkan untuk melindungi struktur
- kriteria keluaran arus listrik anoda minimal yang dibutuhkan untuk melindungi struktur
- kriteria jarak pemasangan anoda minimal yang dibutuhkan untuk menjamin efektivitas aliran arus listrik proteksi pada struktur.

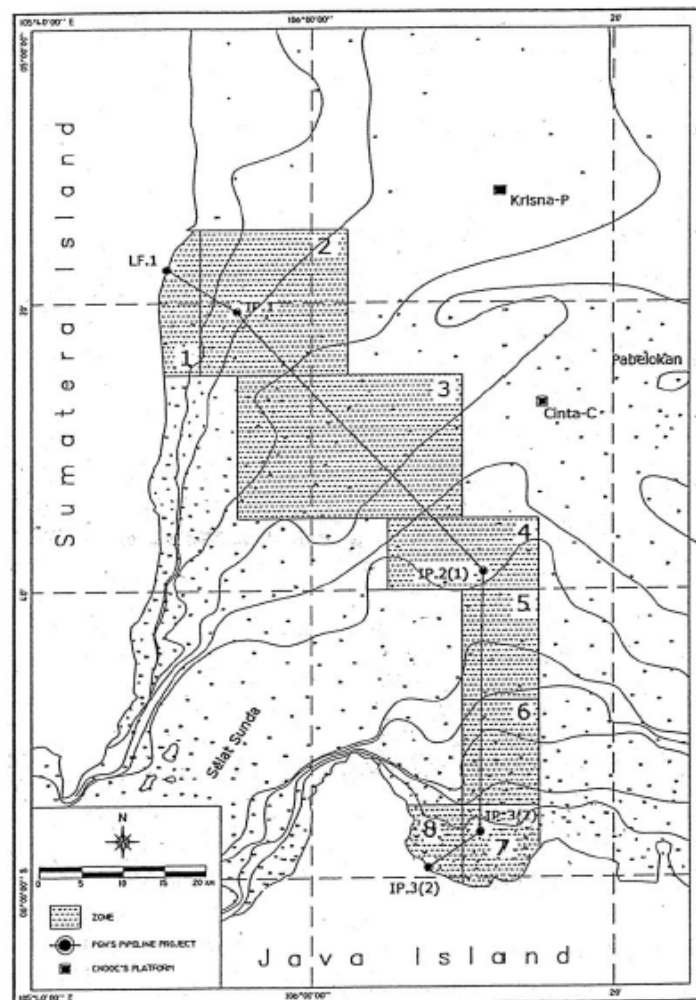
Adapun di bawah ini merupakan bagan alir dari keseluruhan proses studi tugas akhir berikut:



Gambar 2 Diagram alir desain proteksi katodik anoda korban

HASIL DAN ANALISIS

Data pipa yang digunakan adalah data South Sumatra-West Java (SSWJ) milik PT. Perusahaan Gas Negara Tbk. (Persero) (PGN). Pipa berukuran 32" yang dibentangkan dari Labuhan Maringgai, Sumatra Selatan hingga Cilegon, Jawa Barat. Panjang total pipa adalah 105 km dan terbagi ke dalam 8 zona. Untuk desain ketebalan pipa, dilakukan perhitungan untuk tiap-tiap zona. Adapun untuk desain proteksi katodik, perhitungan dilakukan sesuai variasi tebal pipa yang dihasilkan serta resistivitas lingkungan. Peta lokasi dan data zonasi pipa diberikan sebagai berikut:



Gambar 3 Peta lokasi pipa gas bawah laut
(sumber: PT. PGN Tbk.)

Tabel 1 Data zonasi pipa

Zona	<i>From KP</i> (km)	<i>to KP</i> (km)	Panjang Pipa per Zona (km)
Zona 1	0	1,2	10
	1,2	5,4	
	5,4	6,05	
	6,05	6,55	
	6,55	10	
Zona 2	10	20	19
	20	25	
	25	29	
Zona 3	29	40	19
	40	45	
	45	48	
Zona 4	48	59	11
Zona 5	59	74	15
Zona 6	74	80	12
	80	84,9	
	84,9	86	
Zona 7	86	92	6
Zona 8	92	94,25	13
	94,25	94,75	
	94,75	98,707	
	98,707	105	

(sumber: PT. PGN Tbk.)

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan hasil berupa tebal dinding pipa yang disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2 Hasil tebal dinding pipa untuk tiap zona

Zona	Hasil (mm)
1	18,07
2	18,07
3	18,07
4	20
5	21,57
6	20
7	18,07
8	18,07

Dari hasil perhitungan di atas, terdapat tiga besaran tebal dinding pipa yang direkomendasikan, yaitu:

- tebal dinding pipa sebesar **18,07 mm** untuk **zona 1-3 dan zona 7-8**, dengan panjang total pipa adalah **67 km**
- tebal dinding pipa sebesar **20 mm** untuk **zona 4 dan zona 6**, dengan panjang total pipa adalah **23 km**
- tebal dinding pipa sebesar **21,57 mm** untuk **zona 5**, dengan panjang total pipa adalah **15 km**.

Perhitungan dalam proteksi katodik dibagi berdasarkan tebal dinding pipa dan resistivitas lingkungan. Dari hasil sebelumnya, terdapat tiga jenis tebal dinding pipa yang akan menjadi masukan dalam perhitungan desain proteksi katodik. Selain itu, menurut regulasi MIGAS, pipa yang berada pada kedalaman kurang dari 13 meter harus dikubur. Pipa yang terkubur menghadapi resistivitas yang berbeda dengan pipa yang langsung terekspos air laut. Pipa terkubur menghadapi resistivitas *sea mud* sedangkan pipa yang tidak terkubur menghadapi resistivitas air laut. Dari ketentuan ini, maka pipa di zona 1 dan zona 8 berada pada kondisi terkubur (*buried*). Adapun pipa di zona 2 hingga zona 7 berada pada kondisi tidak terkubur. Maka, perhitungan akan dibagi ke dalam 3 bagian, yaitu:

- **bagian 1**, pipa dengan tebal dinding **18,07 mm** dan panjang **23 km** berada pada kondisi **terkubur (zona 1 & 8)**
- **bagian 2**, pipa dengan tebal dinding **20 mm** dan panjang **23 km** berada pada kondisi **tidak terkubur (zona 4 & 6)**

- **bagian 3**, pipa dengan tebal dinding **18,07 mm** dan panjang **44 km** berada pada kondisi **tidak terkubur (zona 2-3 & 7)**
- **bagian 4**, pipa dengan tebal dinding **21,57 mm** dan panjang **15 km** berada pada kondisi **tidak terkubur (zona 5)**

Berikut merupakan data resistivitas lingkungan yang digunakan:

- air laut : 25 ohm.cm
- *sea mud* : 150 ohm.cm

Berikut merupakan data anoda yang digunakan:

- jenis : aluminium (untuk bagian dengan resistivitas 25ohm.cm) & seng (untuk bagian dengan resistivitas 150 ohm.cm)
- densitas : 2750 kg/m³ (aluminium) & 6900 kg/m³ (seng)
- tebal : 90 mm
- panjang : 150 mm
- *half shell gap* : 70 mm
- massa satuan : 100,681 kg (aluminium) & 251,617 kg (seng)

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 3 Jarak pemasangan anoda

Bagian	Hasil (m)
1	121,509
2	404,296
3	404,215
4	404,35

Pada perhitungan bagian 1, jarak pemasangan sebesar 121,509 m sudah memenuhi syarat ISO 15589-2 sebesar 300 m, dengan jumlah anoda sebesar 190 buah. Adapun pada bagian 2, 3 dan 4 jarak pemasangan melebihi syarat sehingga jarak pemasangan pada ketiga bagian tersebut diambil sebesar 300 m mengikuti standar ISO. Oleh karena itu, jumlah anoda pada ketiga bagian tersebut bertambah banyak ketika diambil jarak pemasangan sebesar 300 m dibandingkan ketika menggunakan jarak perhitungan sebenarnya. Adapun perbandingan tersebut disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4 Perbandingan jumlah anoda dari jarak hasil perhitungan dan jarak diambil 300 meter sesuai dengan rekomendasi ISO

Bagian	Jumlah anoda (jarak hasil perhitungan) (buah)	Jumlah anoda (jarak diambil 300 m) (buah)
2	57	77
3	109	147
4	38	50

Massa total anoda yang digunakan didapatkan dengan mengalikan jumlah anoda dengan massa satuan anoda (m_a). Hasilnya disajikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 5 Rekapitulasi data kebutuhan anoda per bagian pipa

Bagian	Jumlah anoda (buah)	Massa anoda total (kg)	Jarak pemasangan (m)
1 (seng)	190	$2,268 \times 10^4$	121,509
2 (aluminium)	77	$3,663 \times 10^3$	300
3 (aluminium)	147	$6,993 \times 10^3$	300
4 (aluminium)	50	$2,379 \times 10^3$	300

KESIMPULAN

Dari hasil studi tugas akhir, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Dari hasil perhitungan di atas, terdapat tiga besaran tebal dinding pipa yang direkomendasikan, yaitu:
 - tebal dinding pipa sebesar 18,07 mm untuk zona 1-3 dan zona 7-8, dengan panjang total pipa adalah 67 km
 - tebal dinding pipa sebesar 20 mm untuk zona 4 dan zona 5, dengan panjang total pipa adalah 23 km
 - tebal dinding pipa sebesar 21,57 mm untuk zona 5, dengan panjang total pipa adalah 15 km.

Tabel 6 Hasil tebal dinding pipa untuk tiap zona

Zona	Hasil (mm)
1	18,07
2	18,07
3	18,07
4	20
5	21,57
6	20
7	18,07
8	18,07

Rekomendasi di atas akan lebih ekonomis dibandingkan menggunakan tebal pipa maksimal yaitu 21,57 mm untuk diaplikasikan ke semua *section* pipa sepanjang 105 km. Hasil dari perhitungan tebal dinding pipa akan dijadikan masukan dalam perhitungan desain proteksi katodik. Jika dibandingkan dengan data hasil perhitungan tebal dinding pipa yang dilakukan oleh pihak PT. PGN, terdapat perbedaan nilai tebal dinding tersebut di mana untuk bagian (*section*) pipa **LF-1 hingga KP 40,0** dan **KP 80,0 hingga LF-3** didapatkan tebal dinding sebesar **19,05 mm**, sedangkan pada bagian pipa **KP 40,0 hingga KP 80,0** didapatkan tebal dinding sebesar **22,22 mm**. Hal ini dapat disebabkan beberapa hal seperti asumsi koefisien/faktor yang digunakan seperti faktor kelas keamanan serta pembagian *section* pipa dalam perhitungan (semakin banyak *section* dapat semakin akurat perhitungan). Akan tetapi, perbedaan nilai perhitungan yang dihasilkan tidak terlampau jauh dengan nilai perhitungan dari PT. PGN. Perbandingan keduanya diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 7 Perbandingan tebal dinding hasil perhitungan dengan tebal dinding hasil perhitungan PT. PGN

Zona	<i>From KP</i> (km)	<i>to KP</i> (km)	Tebal Dinding Hasil Perhitungan (mm)	Tebal Dinding Hasil Perhitungan PT. PGN (mm)	
Zona 1	0	1,2	18,07	19,05	
	1,2	5,4			
	5,4	6,05			
	6,05	6,55			
	6,55	10			
Zona 2	10	20	18,07	22,22	
	20	25			
	25	29			
Zona 3	29	40	18,07		22,22
	40	45			
	45	48			
Zona 4	48	59	20		
Zona 5	59	74	21,57		
Zona 6	74	80	20	19,05	
	80	84,9			
	84,9	86			
Zona 7	86	92	18,07		
Zona 8	92	94,25	18,07		19,05
	94,25	94,75			
	94,75	98,707			
	98,707	105			

2. Selain kapasitas elektrokimia, resistivitas lingkungan menjadi faktor pertimbangan dalam pemilihan jenis material anoda pada desain proteksi katodik anoda korban. Untuk lingkungan dengan resistivitas rendah (kurang dari 100 ohm.cm, seperti pada lingkungan air laut terbuka/ *open sea water*) digunakan jenis material anoda aluminium yang memiliki kapasitas elektrokimia lebih tinggi dari *zinc*. Akan tetapi, untuk resistivitas yang lebih tinggi (lebih dari 100 ohm.cm, seperti pada lingkungan *sea mud*) digunakan material *zinc*, dikarenakan pada lingkungan dengan resistivitas tinggi aluminium dapat membentuk lapisan oksida sehingga mengalami *passivation* yang menyebabkan arus listrik yang dihasilkan tidak optimal. Dari hasil perhitungan desain proteksi katodik, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 8 Jarak pemasangan anoda

Bagian	Hasil (m)
1	121,509
2	404,296
3	404,215
4	404,35

Pada perhitungan bagian 1, jarak pemasangan sebesar 121,509 m sudah memenuhi syarat ISO 15589-2 sebesar 300 m, dengan jumlah anoda sebesar 190 buah. Adapun pada bagian 2, 3 dan 4 jarak pemasangan melebihi syarat sehingga jarak pemasangan pada ketiga bagian tersebut diambil sebesar 300 m mengikuti standar ISO. Oleh karena itu, jumlah anoda pada ketiga bagian tersebut bertambah banyak ketika diambil jarak pemasangan sebesar 300 m dibandingkan ketika menggunakan jarak perhitungan sebenarnya. Adapun perbandingan tersebut disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 9 Perbandingan jumlah anoda dari jarak hasil perhitungan dan jarak diambil 300 meter sesuai dengan rekomendasi ISO

Bagian	Jumlah anoda (jarak hasil perhitungan) (buah)	Jumlah anoda (jarak diambil 300 m) (buah)
2	57	77
3	109	147
4	38	50

Massa total anoda yang digunakan didapatkan dengan mengalikan jumlah anoda dengan massa satuan anoda (m_a). Hasilnya disajikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 10 Rekapitulasi data kebutuhan anoda per bagian pipa

Bagian	Jumlah anoda (buah)	Massa anoda total (kg)	Jarak pemasangan (m)
1 (seng)	190	$2,268 \times 10^4$	121,509
2 (aluminium)	77	$3,663 \times 10^3$	300
3 (aluminium)	147	$6,993 \times 10^3$	300
4 (aluminium)	50	$2,379 \times 10^3$	300

REFERENSI

- ASM International . 2000. *Corrosion: Understanding the Basics*.
- Bai, Yong. 2001. *Pipeline and Risers*. Elsevier Science Ltd.
- DET NORSKE VERITAS. 2007. *Recommended Practice DNV-OS-F101 Submarine Pipeline Systems*.
- DET NORSKE VERITAS. 2010. *Recommended Practice DNV-RP-B401 Cathodic Protection Design*.
- DET NORSKE VERITAS. 2010. *Recommended Practice DNV-RP-F103 Cathodic Protection of Submarine Pipelines by Galvanic Anodes*.
- El-Reedy, A. Mohamed. 2012. *Offshore Structures: Design, Construction and Maintenance*. Elsevier Inc.
- Guo, Boyun, et al. 2005. *Offshore Pipelines*. Elsevier Inc.

International Organization for Standardization. 2004. *ISO 15589-2 Petroleum and natural gas industries — Cathodic protection of pipeline transportation systems — Part 2: Offshore pipelines*.

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