



ANALISA PENEMPATAN DAN KEBUTUHAN PROTEKSI KATODIK PADA SISTEM PIPA GAS BAWAH LAUT *OFFSHORE* DARI PULAU PEMPING KE TANJUNG UNCANG BATAM

Nur Azisah, Daeng Paroka dan Wahyuddin
Departemen Teknik Kelautan Universitas Hasanuddin
Jl. Bonto Marannu, Kampus Unhas Gowa, Indonesia

Abstrak

Korosi merupakan suatu permasalahan yang sering terjadi pada rangkaian pipa bawah laut. Hal ini dikarenakan material pipa logam yang dipasang di lingkungan yang memiliki tingkat korosifitas tinggi. Walaupun korosi tidak dapat dihindari atau dihilangkan, namun dapat dikendalikan untuk meminimalisir kerusakan pada pipa dengan melakukan perancangan proteksi katodik. Salah satunya adalah dengan menggunakan metode anoda korban. Penelitian ini bertujuan untuk membuat rancangan pengendalian laju korosi pada pipa bawah laut sepanjang 13,5 km, berdiameter 16 inci untuk umur desain 45 tahun dimana kebutuhan proteksi tiap meter pipa dianggap sama. Anoda yang digunakan adalah anoda gelang dengan panjang 400 mm dan tebal 40 mm yang berbahan paduan aluminium. Dalam perancangan proteksi katodik ini, penulis mengacu pada ketentuan DNVGL-F103 dan ISO 15589-2. Dari hasil penelitian ini, akan di dapatkan total anoda yang dibutuhkan untuk memproteksi pipa serta jarak pemasangan antar anoda. Berdasarkan total anoda tersebut, dapat diketahui estimasi biaya yang diperlukan dalam pembuatan proteksi katodik.

Kata Kunci: *Pipa, Proteksi, Korosi, Anoda Korban, DNVGL, ISO.*

Abstarct

Corrosion is a problem that often occurs in submarine pipelines. This is because the metal pipe material is installed in environments that have a high level of corrosivity. Although corrosion cannot be avoided or eliminated, it can be controlled by cathodic protection. One of them is the sacrificial anode method. The aim of this research is to design a corrosion rate control in an underwater pipe along 13.5km, with a diameter of 16 inches for a design life of 45 years. The anode used is a 400 mm long and 40 mm thick anode made of aluminum alloy. In designing this cathodic protection, the writer refers to DNVGL-F103 and ISO 15589-2. From the results of this study, we will get the total anode needed to protect the pipe and the installation distance between the anodes. Based on the total anode, it can be seen the estimated cost needed in making cathodic protection.

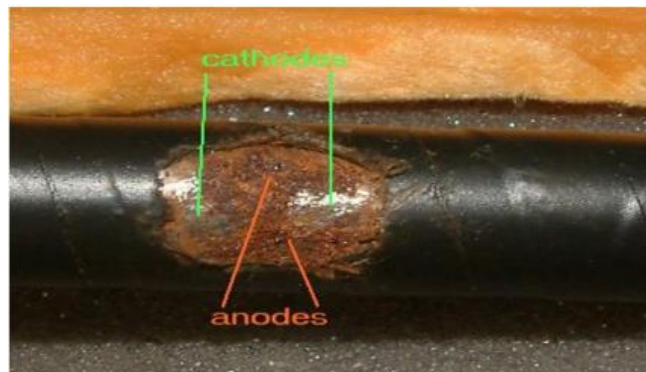
Keyword: *Pipe, Protection, Corrosion, Sacrificial Anode, DNVGL, ISO.*

1. PENDAHULUAN

Daerah pengoperasian struktur mempunyai pengaruh yang berbeda-beda terhadap penyerangan korosi. Beberapa kandungan air laut yang mempengaruhi tingkat korosi antara lain: salinitas, temperatur, dan zat-zat yang terkandung di dalamnya seperti gas-gas yang terlarut [1][2].

Korosi merupakan salah satu masalah utama dalam dunia industri. Tentunya karena korosi menyebabkan kegagalan pada material yang berujung pada kerusakan pada peralatan atau kegagalan pada operasi yang menimbulkan kerugian yang tidak sedikit seperti pada gambar 1. Pengendalian korosi dapat dilakukan dengan berbagai cara. Untuk mengendalikan serangan korosi internal dibagian dalam pipa, dapat dilakukan dengan menggunakan metode *lining* atau menggunakan inhibitor [3][4]. Untuk mencegah korosi pada bagian luar pipa dapat dilakukan dengan cara mengubah lingkungan sekitar pipa menjadi tidak korosif. Upaya lain untuk mengendalikan serangan korosi pada bagian luar pipa juga dapat dilakukan dengan menggunakan *coating*. Selain kedua metode tersebut, pengendalian korosi dapat menggunakan sistem proteksi katodik. Proteksi

katodik dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu metode *impressed current* dan metode anoda korban (*sacrificial/galvanic anode*) [5].



Gambar 1. Korosi [9]

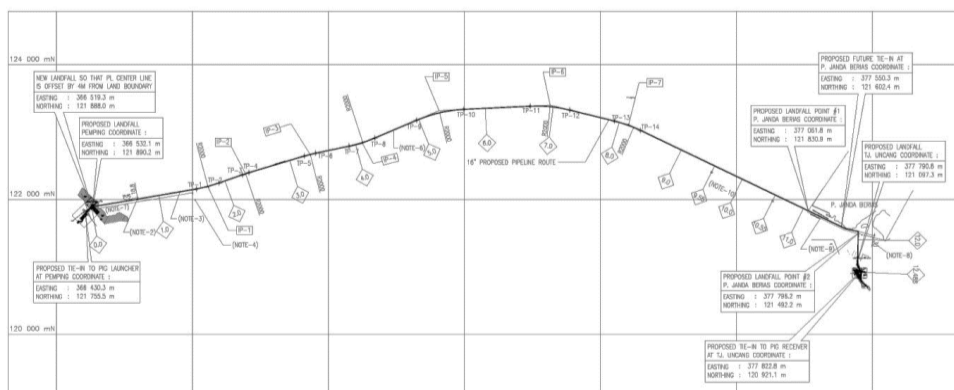
Sistem proteksi katodik menggunakan metode *Sacrificial Anode* (anoda korban) yang disimulasikan untuk mengevaluasi kinerja Sistem Pipa Gas Bawah Laut Diameter 16” Sepanjang + 13.5 Km Dari Orf Di Pulau Pemping Ke Plant Gate Pembangkit Listrik Tanjung Uncang. Pada perencanaan, pipa akan menerima beban yang berbeda (seperti beban gelombang) sehingga memerlukan penanganan (dalam hal ini perawatan dan juga pemberian sacrificial anoda) yang berbeda juga. Untuk itu dilakukan suatu analisis untuk mengetahui kebutuhan proteksi katodik dari sistem perpipaan bawah laut. Dari hasil analisis ini, diketahui kebutuhan lapisan proteksi katodik yang akan digunakan pada sistem perpipaan dan dibuat suatu perencanaan sistem pipa yang dapat sesuai dengan ketentuan pemesan dan dapat dipertanggung jawabkan.

2. METODE

Proteksi adalah perlindungan terhadap suatu benda agar benda tersebut dapat tetap bekerja dengan optimal tanpa adanya gangguan. Berbagai macam proteksi dilakukan oleh perusahaan dan industri – industri salah satunya adalah proteksi katodik. Proteksi katodik adalah sebuah sistem proteksi dimana sebuah struktur dilindungi menggunakan metoda reaksi oksidasi yang terjadi pada 2 buah logam. Struktur yang dapat dilindungi oleh proteksi katodik memiliki banyak jenis diantaranya seperti pipa bawah tanah, tangki timbun ataupun tangki penyimpanan, bahkan bagian hulu kapal laut [6].

2.1. Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jumlah proteksi katodik yang dibutuhkan pada Pipa gas 16 inci sepanjang ± 13,5 km yang dipasang dari Pulau Pemping (Pemping ORF) ke Tanjung Uncang (Batam ORF). Peta rute pemasangan dapat dilihat pada Gambar 2. Sistem pipa gas dirancang dengan tekanan 550-710 Psig pada titik yang diterima dengan kapasitas aliran gas maksimum 125 MMscfd untuk memenuhi kebutuhan transportasi di masa depan. Kedua belah pihak akan menggunakan volume gas ini untuk kepentingannya sendiri untuk menggerakkan pembangkit listrik turbin gas baru, yang akan dibangun di Tanjung Uncang Batam dengan kapasitas terpasang sekitar 210MW.



Gambar 2. Rute Pemasangan Pipa

2.2. Metode Anode Korban

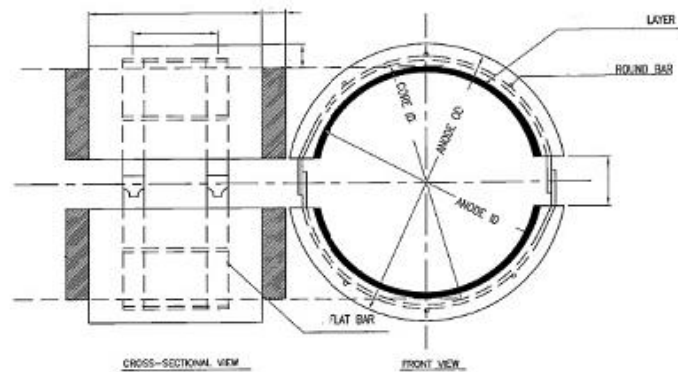
Dalam penentuan hal tersebut, digunakan sebuah metode penentuan proteksi anoda pada pipa bawah laut yaitu metode *sacrificial anode* atau anoda korban. Sistem ini dikenal juga dengan *galvanic anode*, di mana cara kerja dan sumber arus yang digunakan berasal hanya dari reaksi galvanis anoda itu sendiri. Prinsip dasar dari sistem anoda korban adalah hanya dengan cara menciptakan sel elektrokimia galvanic dimana dua logam yang berbeda dihubungkan secara elektris dan ditanam dalam elektrolit alam (tanah atau air) [7]. Ada beberapa keuntungan yang diperoleh jika menggunakan sistem anoda korban, yaitu:

- Tidak memerlukan arus tambahan dari luar, karena arus proteksi berasal dari anodanya itu sendiri
- Pemasangan dilapangan relatif lebih sederhana
- Perawatannya mudah
- Ditinjau dari segi biaya, sistem ini lebih murah dibanding sistem arus tanding
- Kemungkinan menimbulkan efek interfensi kecil
- Kebutuhan material untuk sistem anoda korban relatif sedikit yaitu anoda, kabel, dan *test box*.

2.3. Gelang Anoda

Dalam desain perlindungan katodik, perhitungan akan dilakukan untuk memastikan anoda yang cukup tersedia untuk menyediakan total arus yang dibutuhkan untuk melindungi pipa selama masa desainnya. Kepadatan arus awal dan akhir diperiksa untuk memastikan bahwa anoda dapat memberikan keluaran arus yang cukup untuk mempolarisasi pipa sepanjang masa pakainya [8].

Desain perlindungan katodik yang di gunakan adalah ISO 15589-2 dan DNV RP F103. Sistem Perlindungan katodik yang akan digunakan adalah *Half Shelf Sacrificial Anode*, seperti yang terlihat pada gambar 3 untuk bagian *offshore pipeline* yang akan melindungi pipa sepanjang 13,5 km berdiameter 16 inci serta dengan umur desain berkisar selama 45 tahun.



Gambar 3. Anoda Gelang (DNV-RP-F103)

Dalam desain perlindungan katodik, perhitungan akan dilakukan untuk memastikan anoda yang cukup tersedia untuk menyediakan total arus yang dibutuhkan untuk melindungi pipa selama masa desainnya. Kepadatan arus awal dan akhir diperiksa untuk memastikan bahwa anoda dapat memberikan keluaran arus yang cukup untuk mempolarisasi pipa sepanjang masa pakainya. Data anoda yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

Parameter	Nilai
Celah gelang anoda (<i>gap</i>)	75 mm
Desain umur anoda	45 Tahun
Jenis Bahan Anoda	Paduan aluminium (Al-Zinc-In)
Efisiensi Elektrokimia dalam Air Laut pada Suhu Sekitar (25°C)	2000 A-jam / kg
Ketebalan anoda (t_a)	40 mm
Massa jenis anoda (ρ_a)	2750 kg/m ³
Panjang anoda (L_{at})	400 mm
Core thickness (t_{core})	6 mm
Inti per anoda (n_{core})	2
Ketebalan lapisan internal anoda (t_{ac})	0.1 mm
Resistivitas Di Air Laut.	0,21ohm-m (<i>typical</i>)

Faktor Pemanfaatan Anoda	0.80
Toleransi diameter luar pipa (ODtol)	0 mm
Toleransi diameter dalam pipa (IDtol)	0 mm
Toleransi fabrikasi (Ftol)	0%
Lebar inti (Wcore)	50 mm
Maksimum jarak antar anoda (sesuai spesifikasi) (M_{AS})	300 m

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan kebutuhan anoda membutuhkan beberapa kriteria desain sesuai permintaan. Kriteria tersebut antara lain adalah data *pipeline* (Tabel 1), data operasional pipa (Tabel 2) di lokasi pemasangan pipa yaitu dari Pulau Pemping (Pemping ORF) ke Tanjung Uncang (Batam ORF) dan data anoda yang akan dipasang (Tabel 3).

Tabel 1. Data Propertis Pipa dan Material yang Digunakan

Parameter	Unit	Nilai
Panjang Pipa (\pm)	km	13.5
Diameter luar pipa	mm (inch)	406.4 (16)
Ketebalan dinding pipa	mm (inch)	12.7 (0.5)
Spesifikasi material	-	Carbon Steel
Tebal pelindung beton	mm	40
Rujukan grade bahan	-	API 5L Grade X60 MO PSL2 CS
Panjang sambungan pipa	m	12.2
Tebal lapisan korosi	mm	50
<i>Field joint coating</i>	mm	220

Tabel 2. Data Operasional Pipa

Parameter	Unit	Nilai
Pemasangan Pipa	-	<i>Exposed</i> (tidak terkubur)
Umur Desain	tahun	45
Temperature lokasi pemasangan pipa	$^{\circ}\text{C}$	25
<i>Content temperature</i>	$^{\circ}\text{C}$	40
Temperatur permukaan anoda	$^{\circ}\text{C}$	30

Tabel 3. Data Anoda yang Digunakan

Parameter	Nilai
Celah gelang anoda (<i>gap</i>)	75 mm
Desain umur anoda	45 Tahun
Jenis Bahan Anoda	Paduan aluminium (Al-Zinc-In)
Efisiensi Elektrokimia dalam Air Laut pada Suhu Sekitar (25°C)	2000 A-jam / kg
Ketebalan anoda (t_a)	40 mm
Massa jenis anoda (ρ_a)	2750 kg/m ³
Panjang anoda (L_{at})	400 mm
<i>Core thickness</i> (t_{core})	6 mm
Inti per anoda (n_{core})	2
Ketebalan lapisan internal anoda (t_{ac})	0.2 mm
Resistivitas Di Air Laut.	0,21ohm-m (<i>typical</i>)
Faktor Pemanfaatan Anoda	0.80
Toleransi diameter luar pipa (ODtol)	0 mm
Toleransi diameter dalam pipa (IDtol)	0 mm
Toleransi fabrikasi (Ftol)	0%
Lebar inti (Wcore)	50 mm
Maksimum jarak antar anoda (sesuai spesifikasi) (M_{AS})	300 m

3.1. Penentuan Total Anoda yang Dibutuhkan

Dalam penentuan total anoda yang dibutuhkan untuk memproteksi pipa, terdapat 4 faktor yang memengaruhi, yaitu:

a. Berdasarkan massa anoda [3]

1) Persamaan yang digunakan untuk menentukan total anoda berdasarkan massa anoda:

$$N_{mcd} = \frac{M_{tot}}{M_{ad}} \quad (1)$$

2) Persamaan yang digunakan untuk menentukan jarak antar anoda berdasarkan massa anoda:

$$SP_m = \frac{\frac{(L_{end}-L_{start})}{L_j}}{N_{mcd}} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (1), N_{mcd} adalah jumlah anoda yang di butuhkan (buah), M_{tot} adalah Total massa anoda yang dibutuhkan (kg) dan M_{ad} adalah Massa per Anoda (kg).

Berdasarkan persamaan (2), SP_m adalah Rata-rata persyaratan jarak antar anoda (m), L_{end} adalah Panjang akhir pipa (m), L_{start} adalah panjang awal pipa (m), dan L_j adalah Panjang sambungan pipa (m).

b. Berdasarkan Kepadatan Arus

1) Persamaan yang digunakan untuk menentukan total anoda berdasarkan kepadatan arus:

$$N_{fcd} = \frac{I_{cf}}{I_{af}} \quad (3)$$

2) Persamaan yang digunakan untuk menentukan jarak antar anoda berdasarkan kepadatan arus:

$$SP_f = \frac{\frac{(L_{end}-L_{start})}{L_j}}{N_{fcd}} \quad (4)$$

Berdasarkan persamaan (3), N_{fcd} adalah jumlah anoda yang di butuhkan (buah), I_{cf} adalah kepadatan arus rata-rata (A) dan I_{af} adalah Output arus akhir anoda (A).

Berdasarkan persamaan (4), SP_f adalah Rata-rata persyaratan jarak antar anoda (m), L_{end} adalah Panjang akhir pipa (m), L_{start} adalah panjang awal pipa (m), dan L_j adalah Panjang sambungan pipa (m).

c. Berdasarkan faktor pelemahan anoda

1) Persamaan yang digunakan untuk menentukan total anoda berdasarkan faktor pelemahan anoda:

$$N_m = \frac{L_{end}-L_{start}}{\text{jarak antara 2 sambungan}} \quad (5)$$

2) Persamaan yang digunakan untuk menentukan jarak antar anoda berdasarkan faktor pelemahan anoda:

$$SP_m = \frac{\frac{(L_{end}-L_{start})}{L_j}}{N_{mar}} \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan (5), N_m adalah jumlah anoda yang di butuhkan (buah).

Berdasarkan persamaan (6), SP_m adalah Rata-rata persyaratan jarak antar anoda (m), L_{end} adalah Panjang akhir pipa (m), L_{start} adalah panjang awal pipa (m), dan L_j adalah Panjang sambungan pipa (m).

d. Berdasarkan jarak maksimal antar anoda [2]

1) Persamaan yang digunakan untuk menentukan total anoda berdasarkan jarak maksimal antar anoda:

2)

$$N_{mar} = \frac{L_{end}-L_{start}}{M_{AS}} \quad (7)$$

- 3) Persamaan yang digunakan untuk menentukan jarak antar anoda berdasarkan jarak maksimal antar anoda:

$$SP_{mas} = \frac{(L_{end} - L_{start})}{L_j} \cdot N_{mar} \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan (5), N_{mar} adalah jumlah anoda yang di butuhkan (buah).

Berdasarkan persamaan (6), SP_{mas} adalah Rata-rata persyaratan jarak antar anoda (m), L_{end} adalah Panjang akhir pipa (m), L_{start} adalah panjang awal pipa (m), dan L_j adalah Panjang sambungan pipa (m).

Berdasarkan faktor diatas, di ketahui bahwa faktor yang digunakan dalam menentukan jumlah dan jarak pemasangan antar anoda adalah faktor jarak maksimal antar anoda (biasanya digunakan pada rangkaian pipa panjang). Untuk mengetahui apakah perhitungan yang dihasilkan sesuai dengan yang dibutuhkan dilapangan, maka perlu digunakan persamaan rasio kecenderungan retak, yaitu:

$$CPR = \frac{\pi \times L_{at} \times ID_a}{5 \times t_a^3} \quad (9)$$

Dimana:

CPR adalah Rasio kecenderungan retak, nilai π : 3.14159265358979323846, nilai ID_a adalah diameter dalam anoda (mm), nilai t_a adalah ketebalan anoda (mm). Dalam penentuan rasio keretakan ini, nilai CPR harus kurang dari 5mm^{-1} .

3.2. Rekapitulasi Hasil Penelitian

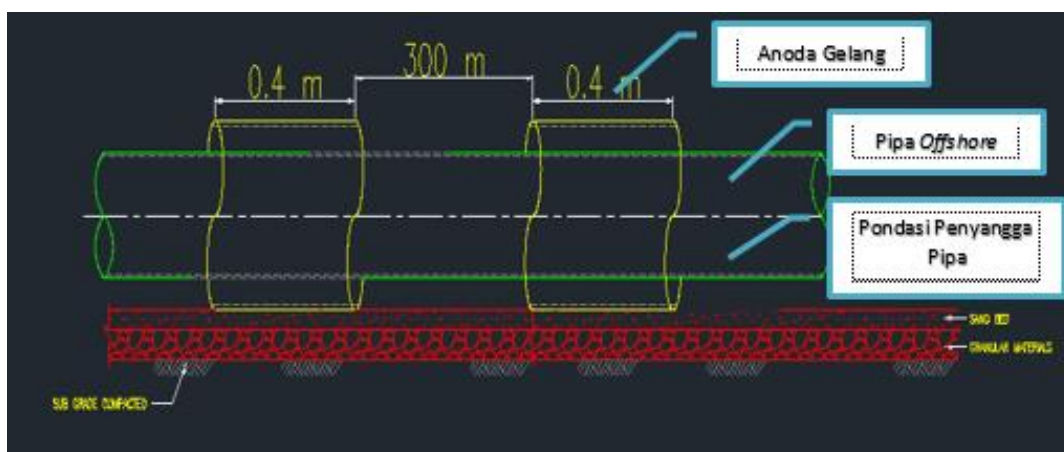
Berdasarkan persamaan yang digunakan, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Penelitian

Deskripsi	Unit	Nilai
Diameter luar pipa	mm	406.4
Panjang sambungan pipa	m	12.2
Panjang pipa	m	135000
Luas permukaan pipa	m ²	172360
Umur desain	Tahun	45
Tebal anoda	mm	40
Massa jenis anoda	Kg/m ³	2750
Panjang anoda	mm	400
Jarak antar anoda	m	300
Total anoda yang dibutuhkan	buah	450

3.3. Jarak Antar Anoda

Penempatan/pemasangan anoda korban dideskripsikan pada Gambar 4. Rancangan dipasang dengan cara di las termit untuk menghubungkan antara anoda korban dengan pipa baja.



Gambar 4. Usulan pemasangan anoda (tanpa penskalaan)

3.4. Rancangan Biaya yang Dibutuhkan

Rancangan biaya yang akan diperlukan dalam pengadaan per anoda gelang diketahui melalui situs penjualan material internasional [10]. Dengan menggunakan harga maksimal, diketahui analisis biayanya adalah:

Tabel 5. Analisa ekonomis proteksi katodik anoda tumbal

No	Jenis Anoda	Total Unit (Buah)	Biaya Material Satuan (Rp)	Total (Rp)	Keterangan
1	Gelang	450	731.034	328,965,300	<i>Packaged Al-Alloy Half Bracelet Squared Ends</i>
Jumlah				Rp 328.965.300	

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan pengolahan data mengenai analisis kebutuhan sistem proteksi katoda metode anoda korban dengan menggunakan anoda berupa anoda gelang, berikut merupakan kesimpulan yang didapatkan.

Total anoda yang dibutuhkan untuk pipa sepanjang 13,5 km dan umur desain selama 45 tahun adalah 450 buah dan berat keseluruhan anoda adalah 21671.66 kg. Panjang masing-masing anoda adalah 400 mm, tebal anoda 40mm, dan luas permukaan per anoda adalah 0.623 m². Jarak pemasangan antar anoda yang digunakan adalah 300m. Biaya yang dibutuhkan untuk pembuatan proteksi katodik ini adalah Rp328.965.300 dengan harga per anoda Rp 731.034.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang pertama ingin saya tujukan kepada Departemen Teknik Kelautan Universitas Hasanuddin yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan segala tugas dan penelitian selama perkuliahan. Kedua, ucapan terima kasih saya sampaikan kepada PT. ZEE Indonesia yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama kerja praktek serta dalam pengambilan data dari proyek perusahaan yang pernah dikerjakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bethune, K. and Hartt, "A Novel Approach to Cathodic Protection Design for Marine Pipelines: Part II- Applicability of the Slope Parameter Method", presented at Corrosion, paper no.00674, 2000.
- [2] DNV GL-RP F103, Cathodic Protection Of Submarine Pipelines, Det Norske Veritas Industry AS, Hovik, 2016.
- [3] ISO 15589-2, "Petroleum, Petrochemical and natural gas industries-Cathodic Protection of pipeline transportation system - Part 2:Offshore Pipelines", International Organization for Standardization, Washington, DC, 2012.
- [4] Jones, D.A., Principles and Prevention of Corrosion, First Edition, Macmillan Inc., New York, pg. 437-445,1992.
- [5] Kurnia, Dadang, PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI KATODIK (CP) ANODA KORBAN PADA PIPA BAJA, Universitas Pamulang : Pamulang, 2016.
- [6] Mulyono, Pribadi Ridzky.,PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI ANODA TUMBAL PADA PIPA BAJA API 5L GRADE B DENGAN VARIASI JUMLAH COATING YANG DIPASANG DALAM TANAH, Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya, 2017.
- [7] Peabody,Control of Pipeline Corrosion 2nd edition, 2001.
- [8] Sunde, E.D., Earth Conduction Effects in Transaction Systems, Dover Publishing Inc., New York, NY, pg. 70-73, 1968.
- [9] [www.corrosion-doctors.org/Inhibitors/lesson1_1 .htm](http://www.corrosion-doctors.org/Inhibitors/lesson1_1.htm). Diakses pada 29 April 2020
- [10] www.bukalapak.com. Diakses pada tanggal 30 Juni 2020