

Kajian Korosi pada Pipa Transportasi *Crude Oil Pipeline B* (SP 02 – SP 03) di Kecamatan Balikpapan Kota Kota Balikpapan Provinsi Kalimantan Timur

Antasari Poetra Noerhadi*, Elfida Moralista, Iswandaru

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*Antasaripoetra.mining12064@gmail.com

Abstract. Crude oil transportation activities generally use pipelines. The pipes used are made of metal. Metal pipes are used because they have good resistance to high temperatures and pressures. Metal pipes can reduce quality caused by corrosion due to direct contact with the external and internal environment. Losses caused by corrosion on the pipes that cause leakage Pipes that can cause piping increase leakage and the remaining lifetime of the pipe is low. Therefore, it needs monitoring. One of them is about corrosion in transportation pipes. This research was carried out on a 2,900 m crude oil transportation pipeline with pipes hanging above the surface and some below the surface. This study discusses the types of corrosion, corrosion control methods, corrosion rates and the remaining service life of the pipe. Environmental research has meeting temperatures 22.2°C - 35.5°C, relative humidity 79% - 91%, soil pH 5.5 - 6.1 and soil resistivity 2,235 - 3,427 ohms. Cm belong to the very corrosive - corrosive category. The methodology used in this research is to measure the thickness of the pipe to measure the safety and lifetime of the pipe based on API 570. Measurement of the actual thickness of the pipe is carried out using the Ultrasonic Thickness Gauge Panametrics MG 2 DL tool at 16 test points. The types of corrosion that occur in crude oil transportation pipes are uniform corrosion and erosion corrosion. Corrosion control methods that are applied externally are the method of coating in the form of Rust-Oleum Stop Rust Enamel Brush, wrapping using The Berry Pastic CPG (Polyken) 942/955 and the cathodic protection method of Victim Anode (SACP) system using Magnesium (Mg) as an anode victim. Then the corrosion control method that is applied internally by using a corrosion inhibitor is UOP TM UNICOR TM C. The corrosion rate in the pipe is 0.14 to 0.21 mm / year and based on its relative corrosion resistance is included in the good category. The remaining service life of the pipe is 19.94 – 40. So that the pipe can still be used beyond the design life of the pipe, which is 20 years.

Keywords: Carbon Steel Pipe, Crude Oil, Corrosion Type, Corrosion Rate, Remaining Service Life.

Abstrak. Kegiatan transportasi crude oil pada umumnya menggunakan jalur-jalur pipa. Pipa-pipa yang digunakan tersebut berbahan dasar logam. Pipa logam digunakan karena memiliki ketahanan yang baik terhadap temperatur dan tekanan yang tinggi. Pipa logam dapat mengalami penurunan kualitas yang diakibatkan oleh korosi karena kontak langsung dengan lingkungan eksternal

dan internal. Kerugian yang ditimbulkan akibat korosi pada pipa ialah terjadinya pengurangan ketebalan pipa yang dapat menyebabkan pipa tersebut mengalami kebocoran dan sisa umur pakai pipa menjadi rendah. Oleh karena itu, diperlukan monitoring salah satunya ialah kajian mengenai korosi pada pipa transportasi crude oil agar kegiatan transportasi crude oil tidak terganggu. Penelitian ini dilakukan terhadap pipa transportasi crude oil sepanjang 2.900 m dengan kondisi pipa yang berada di atas permukaan dan di bawah permukaan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis korosi, metode pengendalian korosi, laju korosi dan sisa umur pakai pipa. Kondisi lingkungan di lokasi penelitian memiliki temperatur udara berkisar $22,2^{\circ}\text{C} - 35,5^{\circ}\text{C}$, kelembaban relatif 79% - 91%, pH tanah 5,5 - 6,1 dan resistivitas tanah 2.235 - 3.427 ohm.cm termasuk ke dalam kategori sangat korosif - korosif. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan pengukuran pengurangan ketebalan pipa untuk menentukan laju korosi dan sisa umur pakai pipa berdasarkan API 570. Pengukuran tebal aktual pipa dilakukan dengan menggunakan alat Ultrasonic Thickness Gauge Panametrics MG 2 DL pada 16 test point. Jenis korosi yang terjadi pada pipa transportasi crude oil yaitu korosi merata dan korosi erosi. Metode pengendalian korosi yang diaplikasikan secara eksternal adalah dengan metode coating berupa Rust-Oleum Stop Rust Enamel Brush, wrapping menggunakan The Berry Pastic CPG (Polyken) 942/955 dan metode proteksi katodik sistem Anoda Korban (SACP) menggunakan logam Magnesium (Mg) sebagai anoda korban. Kemudian metode pengendalian korosi yang diaplikasikan secara internal dengan menggunakan inhibitor korosi yaitu UOP TM UNICOR TM C. Laju korosi pada pipa adalah 0,14 sampai 0,21 mm/tahun dan berdasarkan ketahanan korosi relatifnya termasuk ke dalam kategori good. Sisa umur pakai pipa ialah 19,94 - 40 tahun. Sehingga pipa masih dapat digunakan melebihi umur desain pipa, yaitu 20 tahun.

Kata Kunci: Pipa Baja Karbon, Crude Oil, Jenis Korosi, Laju Korosi, Sisa Umur Pakai.

1. Pendahuluan

Korosi merupakan suatu peristiwa kerusakan atau penurunan kualitas suatu bahan material (logam) yang disebabkan oleh terjadinya reaksi terhadap lingkungan. Dalam kegiatan transportasi minyak dan gas menggunakan peralatan yang berbahan dasar logam, diantaranya adalah pipa transportasi. Pipa transportasi dapat mengalami korosi pada saat berinteraksi dengan lingkungan. Lingkungan tersebut dapat berupa air, udara, gas, larutan asam yang dapat mengoksidasi logam.

Pipa berbahan dasar logam memiliki sifat ketahanan yang baik terhadap temperatur dan tekanan yang tinggi. Akan tetapi, pipa tersebut memiliki kelemahan yaitu mudah mengalami korosi karena kontak langsung dengan lingkungan eksternal dan internal yang mengakibatkan terjadinya pengurangan ketebalan pipa dimana mengakibatkan sisa umur pakai (*Remaining Service Life/RSL*) pipa menjadi rendah.

Untuk meningkatkan masa umur pakai pipa yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan penerapan sistem pengendalian korosi terhadap pipa transportasi maupun lingkungan tempat pipa berada, sehingga usia pakai pipa dapat bertahan dengan jangka waktu yang cukup lama. Oleh karena itu, diperlukan adanya kajian korosi pada pipa

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas, terdapat beberapa tujuan dari penelitian ini diantaranya yaitu :

1. Mengetahui jenis korosi yang terjadi pada pipa transportasi *crude oil*.
2. Mengetahui metode pengendalian korosi yang diaplikasikan pada pipa transportasi *crude*

- oil*.
- Mengetahui laju korosi (*Corrosion Rate/CR*) yang terjadi pada pipa transportasi *crude oil*.
 - Mengetahui sisa umur pakai (*Remaining Service Life/RSL*) pipa transportasi *crude oil*.

2. Landasan Teori

Material Logam

Logam merupakan suatu unsur, senyawa, atau paduan dengan sifat keras, tidak tembus cahaya, berkilau, dan memiliki konduktivitas listrik dan termal yang baik. Pipa merupakan suatu material yang memiliki bentuk silinder dan pada bagian tengah pipa ini terbuat dari logam maupun campuran bahan lain. Pipa logam merupakan media untuk mendistribusikan fluida dari satu tempat ke tempat lainnya, Pipa biasanya digunakan sebagai sarana transportasi guna mengalirkan fluida menuju tempat pengolahan dan produksi, fluida yang mengalir melalui pipa ini memiliki tekanan dan temperatur yang berbeda.

Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja karbon (*Carbon Steel*) merupakan material logam yang terdiri dari unsur utama komponen paduan dalam pembuatan baja. Unsur karbon yang dipadukan sebesar 0,12% sampai dengan 1,7%. Baja karbon juga dibagi menjadi tiga jenis yang dibedakan berdasarkan kandungan karbonnya, jenis-jenis baja karbon tersebut yaitu:

- Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*), merupakan baja dengan kandungan karbon < 0,30%.
- Baja Karbon Medium (*Medium Carbon Steel*), merupakan baja dengan kandungan karbon antara 0,3% sampai dengan 0,6%.
- Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*), memiliki kandungan karbon > 0,60%.

Korosi

Korosi merupakan proses perusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan sekitarnya. Korosi juga bisa diartikan sebagai peristiwa alamiah yang terjadi pada bahan dan merupakan proses kembalinya bahan ke kondisi semula saat bahan ditemukan dan diolah dari alam. Korosi juga merupakan hasil destruktif dari reaksi kimia antara logam atau paduan logam dengan lingkungannya. Atom logam di alam hadir dalam senyawa kimia (misalnya mineral). Korosi mengembalikan logam ke keadaan gabungan dalam senyawa kimia yang mirip atau bahkan identik dengan mineral dari mana logam diekstraksi. Dengan demikian, korosi telah disebut metalurgi ekstraktif secara terbalik.

Beberapa faktor penyebab terjadinya korosi seperti udara, air, tanah, dan zat kimia. Berikut merupakan reaksi korosi pada pipa baja:

- Oksidasi

$$\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^{-}$$
 - Reduksi
 - Dalam kondisi lingkungan $\text{pH} < 7$ (asam)

$$\text{O}_2 + 4\text{H}^{+} + 4\text{e}^{-} \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$$
 - Dalam kondisi lingkungan $\text{pH} \geq 7$ (netral dan basa)

$$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^{-} \longrightarrow 4\text{OH}^{-}$$
- Bereaksi dengan lingkungan : $2\text{Fe}^{2+} + 4\text{OH}^{-} \longrightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_2$
 $2\text{Fe}(\text{OH})_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3$ ↓ (produk korosi) ↓

American Petroleum Institute (API) 570

American Petroleum Institute (API) 570^[4], merupakan standar yang diterapkan dalam perpipaan. Terdapat beberapa rumus untuk menentukan sisa umur pakai pipa, yaitu *Thickness Required* (Tr), *Maximum Allowable Working Pressure* (MAWP), dan laju korosi (CR)

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pada pipa transportasi *crude oil pipeline B* (SP 02 – SP 03), material pipa yang digunakan pada pipa transportasi adalah API 5L Grade B yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,28%. Berdasarkan kandungan karbon tersebut, material pipa ini termasuk ke dalam jenis *low carbon*

steel. Crude oil yang ditransportasikan memiliki °API Gravity sebesar 35,98 dan termasuk dalam kategori *Light Crude Oil* berdasarkan klasifikasi *crude oil*.

Data Lingkungan

Data lingkungan ini merupakan data penunjang yang digunakan sebagai tambahan untuk faktor eksternal pipa atau faktor lingkungan yang mempengaruhi korosi, diantaranya yaitu:

1. Jenis tanah daerah penelitian yaitu *Organosol*
2. pH tanah daerah kegiatan penelitian berkisar antara 5,5 – 6,1 yang termasuk ke dalam kategori asam.
3. Resistivitas tanah berkisar antara 2.235 – 3.427 ohm.cm yang termasuk ke dalam kategori *highly corrosive* sampai *corrosive*
4. Temperatur udara rata – rata 22,2 – 35,5°C

Contoh Perhitungan Pada Test Point 1

Tabel 1. Contoh Parameter Perhitungan pada *Test Point 1*

No	Parameter	Nilai
1	Umur Pipa (Tahun)	21
2	<i>Design pressure</i> (P) (psi)	750
3	<i>Design Factor</i>	0,72
4	<i>Wield Joint Factor</i> (E)	1
5	<i>Specified Minimum Yield Strength</i> (SMYS) (psi)	35.000
6	<i>Allowable Stress Value</i> (S) (S=0,72 x SMYS) (psi)	25.200
7	<i>Corrosion Allowance</i> (CA) (mm)	0
8	Tebal Nominal (mm)	12,70
9	Tebal Aktual (mm)	9,74
10	<i>Diameter Pipa</i> (D) (mm)	273,1

Sumber: Hasil Kegiatan Skripsi, 2020

1. Thickness Required (tr)

$$\begin{aligned} \text{Thickness Required (tr)} &= \frac{P \times D}{2 \times S \times E} + CA \\ &= \frac{750 \text{ psi} \times 273,1 \text{ mm}}{2 \times 25.200 \text{ psi} \times 1} + 0 \\ &= 4,06 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Maximum Allowance Working Pressure (MAWP)

$$\begin{aligned} \text{MAWP} &= \frac{2 \times S \times E \times t_{\text{aktual}}}{D} \\ &= \frac{2 \times 25.200 \text{ psi} \times 1 \times 9,74 \text{ mm}}{273,1 \text{ mm}} \\ &= 1.797,49 \text{ psi} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Laju korosi (Corrosion Rate)

$$\begin{aligned} \text{Laju Korosi} &= \frac{t_{\text{nominal}} - t_{\text{aktual}}}{t} \\ &= \frac{12,70 \text{ mm} - 9,74 \text{ mm}}{21 \text{ tahun}} \\ &= 0,1409 \text{ mm/tahun} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Sisa Umur Pakai (*Remaining Service Life/RSL*) Pipa

$$\begin{aligned} &= \frac{9,74 \text{ mm} - 4,06 \text{ mm}}{0,1409 \text{ mm/tahun}} \\ &= 40,28 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Tabel 2. Laju Korosi dan Sisa Umur Pakai Pipa Transportasi *Crude Oil*

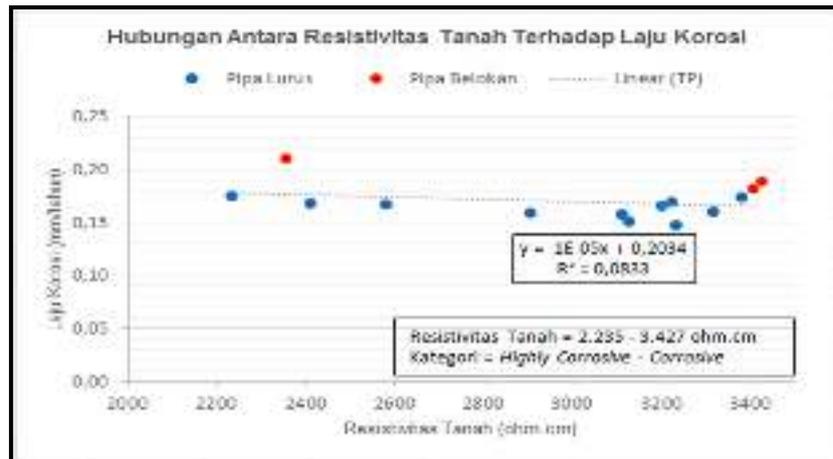
Test Point	Jarak (m)	Kedalaman Pipa (m)	Identitas Area	Jenis Pipa	Tebal Nominal (mm)	Tebal Aktual (mm)	Pengurangan Ketebalan (mm)	Thickness Required (mm)	Laju Korosi (mm/tahun)	Sisa umur Pakai Pipa (tahun)
TP-1	20	1,5	Pipa Lurus	Atas Permukaan	12,7	9,74	2,96	4,06	0,141	40,28
TP-2	200	1,5	Pipa Belokan	Bawah Permukaan	12,7	9,73	3,97	4,06	0,189	24,61
TP-3	400	1,5	Pipa Lurus	Bawah Permukaan	12,7	9,04	3,66	4,06	0,174	28,56
TP-4	600	1,5	Pipa Lurus	Bawah Permukaan	12,7	9,15	3,55	4,06	0,180	30,00
TP-5	800	1,5	Pipa Lurus	Bawah Permukaan	12,7	9,22	3,49	4,06	0,165	31,11
TP-6	1000	1,5	Pipa Lurus	Bawah Permukaan	12,7	9,39	3,32	4,06	0,158	33,64
TP-7	1200	1,5	Pipa Lurus	Bawah Permukaan	12,7	9,07	3,63	4,06	0,175	28,94
TP-8	1400	1,5	Pipa Belokan	Bawah Permukaan	12,7	8,97	3,73	4,06	0,293	19,96
TP-9	1600	1,5	Pipa Lurus	Bawah Permukaan	12,7	9,17	3,53	4,06	0,155	30,39
TP-10	1800	1,5	Pipa Lurus	Bawah Permukaan	12,7	9,19	3,51	4,06	0,167	30,67
TP-11	2000	1,5	Pipa Lurus	Bawah Permukaan	12,7	9,37	3,33	4,06	0,138	33,47
TP-12	2200	1,5	Pipa Lurus	Bawah Permukaan	12,7	9,53	3,17	4,06	0,151	36,22
TP-13	2400	1,5	Pipa Lurus	Bawah Permukaan	12,7	9,61	3,09	4,06	0,147	37,00
TP-14	2600	1,5	Pipa Lurus	Bawah Permukaan	12,7	9,34	3,36	4,06	0,16	32,97
TP-15	2800	1,5	Pipa Belokan	Bawah Permukaan	12,7	8,80	3,91	4,06	0,181	26,80
TP-16	3000	1,5	Pipa Lurus	Atas Permukaan	12,7	9,19	3,51	4,06	0,171	29,67

Sumber: Hasil Kegiatan Skripsi, 2020

Berdasarkan hasil dari perhitungan yang telah dilakukan pada tiap *test point* nantinya akan didapatkan laju korosi dan sisa umur pakai pipa, hasil pengolahan data tersebut akan dibahas dalam bentuk grafik., sebagai berikut :

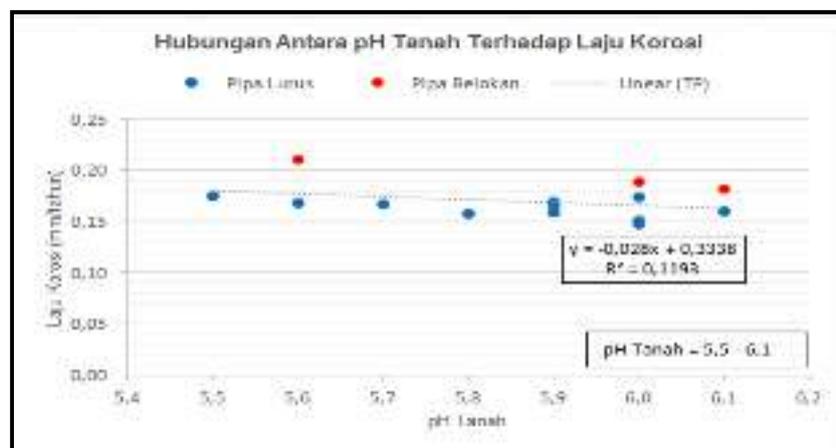
**Gambar 1.** Grafik Hubungan Antara Laju Korosi Terhadap Pengurangan Ketebalan Pipa

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa hubungan antara laju korosi dengan pengurangan ketebalan pipa signifikan. Artinya, semakin tinggi nilai laju korosi yang terjadi maka akan semakin besar pengurangan ketebalan yang dialami oleh pipa, begitupun sebaliknya. Berdasarkan pada **Gambar 1** diperoleh nilai regresi yaitu 0,98 atau hampir mendekati 1 yang membuktikan bahwa keterkaitan antara kedua variabel tersebut sangat tinggi.



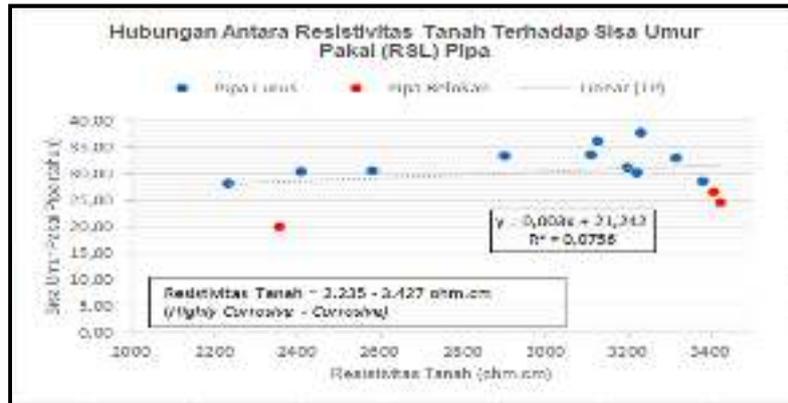
Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Resistivitas Tanah Terhadap Laju Korosi

Dari data hasil pengukuran diketahui bahwa nilai resistivitas tanah di sekitar lingkungan pipa transportasi *crude oil* berkisar antara 2.357 – 3.427 ohm.cm dan termasuk ke dalam kategori *corrosive* hingga *highly corrosive*. Resistivitas tanah ini dapat mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada pipa karena resistivitas tanah merupakan faktor eksternal yang dapat mempengaruhi laju korosi, namun pada aktualnya faktor eksternal tidak akan terlalu berpengaruh, karena kondisi pipa sebelum dimasukkan kedalam tanah telah dilakukan pengendalian seperti *coating*, *wrapping*, dan proteksi katodik. Seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 2** didapatkan regresi sebesar 0,0833 yang menandakan bahwa hubungan antara resistivitas tanah dengan laju korosi tidak berkaitan.



Gambar 3. Grafik Hubungan Antara pH Tanah Terhadap Laju Korosi

pH tanah dapat mempengaruhi laju korosi, berdasarkan hasil pengukuran pH tanah diketahui pH tanah pada daerah sekitar pipa transportasi adalah 5,5-6,1. Menandakan tanah pada daerah tersebut asam. Kondisi pH tanah yang asam ini akan mempengaruhi laju korosi, yang mana semakin asam pH tanah maka laju korosinya akan semakin tinggi. Namun jika dilihat pada **Gambar 3** bahwa pH tanah tidak terlalu mempengaruhi laju korosi, hal ini dibuktikan dengan nilai R sebesar 0,1193, dimana hal ini menandakan bahwa hubungan antara pH tanah dengan laju korosi tidak terlalu berkaitan.



Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Resistivitas Tanah Terhadap Sisa Umur Pakai Pipa

Seperti yang telah diketahui bahwa resistivitas tanah dapat mempengaruhi laju korosi yang pastinya juga akan mempengaruhi sisa umur pakai pipa tersebut. Pada **Gambar 4** yang merupakan hubungan antara resistivitas tanah terhadap sisa umur pakai pipa diperoleh nilai regresi sebesar 0,0756 yang menandakan bahwa hubungan antara resistivitas tanah dengan sisa umur pakai pipa tidak berkaitan. Dari kedua grafik tersebut dapat diketahui bahwa resistivitas tanah tidak mempengaruhi laju korosi dan sisa umur pakai pipa.



Gambar 5. Grafik Hubungan Antara pH Tanah Terhadap Sisa Umur Pakai Pipa

Pada **Gambar 5** yang merupakan grafik hubungan antara pH tanah terhadap sisa umur pakai pipa diperoleh nilai regresi sebesar 0,1097 yang menandakan bahwa hubungan antara pH tanah dengan sisa umur pakai pipa tidak berkaitan. Dari kedua grafik tersebut dapat diketahui bahwa pH tanah yang asam tidak mempengaruhi laju korosi dan sisa umur pakai pipa transportasi *crude oil* pada penelitian ini.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian serta analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Jenis korosi yang terjadi yaitu korosi merata (uniform corrosion) dan korosi erosi (erosion corrosion).
2. Metode pengendalian korosi yang diaplikasikan secara eksternal dengan coating menggunakan Rust Oleum Stop Rust Enamel Brush, wrapping menggunakan Polyken The Berry Plastics CPG System 942/955 EN dan proteksi katodik sistem anoda korban dengan Magnesium sebagai anoda korbannya. Sedangkan metode pengendalian korosi yang diaplikasikan secara internal adalah menggunakan inhibitor korosi yaitu UOP TM UNICOR TM C.

3. Laju korosi yang terjadi pada pipa transportasi crude oil pipeline B (SP 02 – SP 03) berkisar antara 0,1409 mm/tahun sampai 0,2109 mm/tahun dan berdasarkan ketahanan korosi relatif tergolong dalam kategori good.
4. Sisa umur pakai pipa atau Remaining Service Life (RSL) pipa transportasi crude oil pipeline B (SP 02 – SP 03) yaitu berkisar antara 19,94 tahun sampai dengan 40 tahun, sehingga pipa masih dapat digunakan melebihi umur desain pipa, yaitu 20 tahun.

5. Saran

Berdasarkan hasil kegiatan penelitian, penulis dapat memberi saran sebagai berikut :

1. Perlunya dilakukan monitoring lebih intensif terhadap lokasi yang memiliki kondisi tanah dengan nilai resistivitas dan pH yang rendah serta pada pipa yang berbelok.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan memperhatikan faktor kecepatan aliran fluida terhadap laju korosi pipa.
3. Perlunya dilakukan evaluasi terhadap jenis dan konsentrasi inhibitor.

Daftar Pustaka

- [1] Ananda, Dwi Cahyo, Moralista, Elfida, Yuliadi, 2020. “Penentuan Laju Korosi Dan Sisa Umur Pakai Pipa pada Jalur Pipa Produksi Naphtha Oil dari Oxygen Stripper Receiver 31-V-101 ke Oxygen Stripper Balongan, Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat”. Prosiding Spesia Teknik Pertambangan (Februari 2020), ISSN : 2460-6499 ; P 133-140, Universitas Islam Bandung, Bandung.
- [2] Anonim, 2015, “Inspector’s Examination, Pressure Piping Inspector (API 570)”. American Petroleum Institute, Washington DC.
- [3] Anonim, 2015, “Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (ASME 36.1)”. American Society of Mechanical Engineers, New York.
- [4] Anonim, 2012, “Pipeline Transportation System for Liquids and Slurries (ASME 31.4)”, American Society of Mechanical Engineers, New York.
- [5] Anonim, 2012, “Petroleum and Natural Gas industries Steel Pipe for Pipeline Transportation System ISO 3183”. Swiss Association For standarzitation, Winterthur.
- [6] Fauzan, Muhammad Djamal, Moralista, Elfida, Noor, Fauzi, 2019, “Penentuan Laju Korosi dan Sisa Umur Pakai (Remaining Service Life / RSL) Pada Jalur Pipa Transportasi Gas SP Subang – SP Citarik Di PT Pertamina EP Asset 3 Subang Field, Kecamatan Subang, Kabupaten Subang Provinsi Jawa Barat”. Prosiding Spesia Teknik Pertambangan (Agustus 2019), ISSN : 2460-6499 ; P 433-439, Universitas Islam Bandung, Bandung.
- [7] Jonnes, Danny A. 1991. “Principles and Prevention of Corrosion”. New York. Macmillan Publishing Company.
- [8] Kenneth R Trethewey dan John Chamberlain, 1991 “Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa”. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [9] Moralista, Elfida. 2005. “Studi Efektivitas Inhibisi Kalsium Nitrit dan Natrium Dikromat pada Korosi Baja Tulangan Galvanis dalam Larutan Pori Beton Artifisial dengan Electrochemical Impedance Spectroscopy”. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [10] Moralista, Elfida, Zaenal dan Chamid, Chusharini, 2005. “Studi Upaya Peningkatan Umur Pakai Konstruksi Bangunan melalui Penghambatan Korosi Baja Tulangan Beton dengan Menggunakan Inhibitor Korosi”. Jurnal Penelitian & Pengabdian (2 Juli – Desember 2005), ISSN : 1693-699X ; P 104-112, Universitas Islam Bandung, Bandung.
- [11] Utomo, Budi, 2009, “Jenis Korosi dan Penanggulangnya”. Universiitas Diponegoro.
- [12] Zhang, 2013, “Crude Oil Hydrocarbon Composition Characteristic and oil Viscosity Prediction in The Northern Songliao Basin”. Southwest Petroleum University, Cengdu.
- [13] Sutardi (2005), “Aplication of Dimensional Analysis for Turbulent Boundary Layer Modeling on a Flat Plate”. Teknik Mesin 5.
- [14] Smith, William F, 1996, “Principles of Materials Science and Engineering Third Edition”. New York, Mc Grawhil.