

## **Kajian Sisa Umur Pakai Pipa Transportasi *Crude Oil Pipeline* E (SP 05 – SP 06) di Kecamatan Balongan Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat**

**Annisa Luthfiana Salahudin<sup>\*</sup>, Elfida Moralista, Sri Widayati**

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

\*aluthfiana6@gmail.com

**Abstract.** Crude oil transportation activities generally use pipelines, pipes that are made from metal. The use of metal pipes is done because the metal has good resistance to temperatures and pressures. Metal pipes can experience quality degradation caused by corrosion that occurs due to direct contact with the internal and external environment. The loss caused by this corrosion is a reduction in the thickness of the pipe which can cause leakage in the pipe and the remaining useful life of the pipe is low. Therefore, monitoring is needed, one of which is the study of the remaining life of the crude oil transportation pipeline so that transportation activities can proceed well. This research was conducted on a crude oil transportation pipe which has a length of 2,300 m located above and below the surface of the land. This research was conducted with the aim of knowing the type of corrosion, the corrosion control method applied, the corrosion rate (Corrosion Rate), and the remaining service life (Remaining Service Life) of the pipe. Environmental conditions at the study site had a soil pH that ranged from 5.8 - 6.2 which included in the acid category, environmental temperature ranged from 29 ° C - 30 ° C, and soil resistivity ranged from 2,114 - 3,431 ohms. in the category of highly corrosive to corrosive. The research methodology used is the measurement of the reduction in pipe thickness to determine the corrosion rate and the remaining service life (Remaining Service Life) 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 at 13 test points. The types of corrosion that occur in crude oil transportation pipelines are uniform corrosion and uniform corrosion. Corrosion control method which is applied internally is by adding corrosion inhibitors namely UOPTM UNICORTM C. While external corrosion control is done by coating method using Rust-Oleum Stops Rust Enamel Brush, wrapping method that uses Polyken The Berry Plastics CPG System 942/955 EN and Cathodic protection method of sacrificial anode system (SACP) uses magnesium (Mg) as sacrificial anode. Corrosion rate in the crude oil transportation pipeline is 0.34 - 0.44 mm / year which is included in the good category based on relative corrosion resistance. The remaining service life of the pipe is 4.42 - 10.60 years, and there are 23% test points that do not reach 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* umumnya menggunakan jalur-jalur pipa, pipa yang digunakan berbahan dasar logam. Penggunaan pipa logam ini dilakukan karena logam memiliki ketahanan yang baik terhadap temperatur dan tekanan. Pipa logam dapat mengalami penurunan kualitas yang disebabkan oleh adanya korosi yang terjadi akibat adanya kontak langsung dengan lingkungan internal dan eksternal. Kerugian yang ditimbulkan akibat adanya korosi ini adalah adanya pengurangan ketebalan pipa yang dapat menyebabkan terjadinya kebocoran pada pipa dan sisa umur pakai pipa menjadi rendah. Oleh karena itu, perlu dilakukannya *monitoring* salah satunya yaitu kajian sisa umur pakai pipa transportasi *crude oil* agar kegiatan transportasi dapat berjalan dengan baik. Penelitian ini dilakukan pada pipa transportasi *crude oil* yang memiliki panjang 2.300 m yang terletak di atas dan di bawah permukaan tanah dengan umur pipa 15 tahun. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui jenis korosi, metode pengendalian korosi yang diaplikasikan, laju korosi (*Corrosion Rate*), dan sisa umur pakai (*Remaining Service Life*) pipa. Kondisi lingkungan di lokasi penelitian memiliki pH tanah yaitu berkisar antara 5,8 – 6,2 yang termasuk ke dalam kategori asam, suhu lingkungan berkisar antara 29°C - 30°C, dan resistivitas tanah berkisar antara 2.114 – 3.431 ohm.cm termasuk ke dalam kategori *highly corrosive* sampai *corrosive*. Metodologi penelitian yang digunakan adalah pengukuran pengurangan ketebalan pipa untuk menentukan laju korosi (*Corrosion Rate*) dan sisa umur pakai (*Remaining Service Life*) pipa berdasarkan API 570. Pengukuran ketebalan aktual pipa dilakukan dengan menggunakan alat *Ultrasonic Thickness Gauge Panametrics MG 2 DL* pada 13 *test point*. Jenis korosi yang terjadi pada pipa transportasi *crude oil* adalah korosi merata (*Uniform Corrosion*) dan korosi erosi (*Erosion Corrosion*). Metode pengendalian korosi yang diaplikasikan secara internal adalah dengan penambahan inhibitor korosi yaitu UOP™ UNICOR™ C. Sedangkan pengendalian korosi secara eksternal dilakukan dengan metode *coating* menggunakan *Rust-Oleum Stops Rust Enamel Brush*, metode *wrapping* metode proteksi katodik sistem anoda korban (SACP) menggunakan magnesium (Mg) sebagai anoda korban. Laju korosi pada pipa transportasi *crude oil* ialah sebesar 0,34 - 0,44 mm/tahun yang termasuk ke dalam kategori *good* berdasarkan ketahanan korosi relatif. Sisa umur pakai pipa adalah 4,42 – 10,60 tahun, dan terdapat 23% *test point* yang tidak dapat mencapai umur desain pipa yaitu 20 tahun.

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

## 1. Pendahuluan

Indonesia kaya akan sumber daya alam diantaranya yaitu minyak dan gas bumi. Salah satu penggunaan minyak bumi di Indonesia yaitu sebagai BBM atau bahan bakar minyak. Pemanfaatan minyak dan gas bumi ini terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, hal tersebut dapat dilihat dari banyaknya penggunaan BBM di berbagai sektor industri.

Umumnya kegiatan transportasi *crude oil* dilakukan menggunakan media pipa. Bahan dasar dari pipa tersebut yaitu logam, logam yang biasa digunakan merupakan logam yang memiliki sifat ketahanan yang baik terhadap temperatur dan tekanan.

Pada kenyataannya pipa berbahan logam mudah mengalami reaksi oksidasi yang disebabkan oleh interaksi antara logam dengan lingkungan sekitarnya. Reaksi oksidasi tersebut mengakibatkan terjadinya korosi sehingga kualitas pipa berkurang. Korosi ini dapat

mengakibatkan adanya kebocoran pada pipa dan sisa umur pakai pipa menjadi rendah sehingga akan mengganggu proses distribusi minyak.

Kegiatan *monitoring* dan pemeliharaan diperlukan untuk menghindari terjadinya korosi, karena kerugian dari adanya korosi ini cukup besar dan akan mengganggu kegiatan distribusi *crude oil*. Maka dari itu salah satu upaya untuk mencegah terjadinya korosi, kerusakan pada pipa, serta sisa umur pakai pipa yang rendah adalah dengan melakukan kajian terhadap sisa umur pakai pipa agar kegiatan transportasi *crude oil* dapat berjalan dengan baik.

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*.
3. Mengetahui laju korosi (*Corrosion Rate/CR*) yang terjadi pada pipa transportasi *crude oil*.
4. 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:

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

### Korosi

Korosi merupakan peristiwa dari penurunan kualitas logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia logam dengan lingkungan di sekitarnya. Syarat dari terjadinya korosi yaitu adanya reaksi reduksi-oksidasi, anoda sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi, katoda sebagai tempat terjadinya reaksi reduksi, dan elektrolit sebagai lingkungan tempat katoda dan anoda ter-ekspose.

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

1. Oksidasi  

$$\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^{-}$$
2. 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 :  $2 \text{Fe}^{2+} + 4\text{OH}^{-} \longrightarrow 2 \text{Fe}(\text{OH})_2$   

$$2 \text{Fe}(\text{OH})_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow \text{ (produk korosi) } \downarrow$$

**American Petroleum Institute (API) 570**

American Petroleum Institute (API)570<sup>[4]</sup>, 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* E (SP 05 – SP 06), 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 21,1 dan termasuk dalam kategori *Heavy 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 *Gleisol*
2. pH tanah daerah kegiatan penelitian berkisar antara 5,8 – 6,2 yang termasuk ke dalam kategori asam.
3. Resistivitas tanah berkisar antara 2.114 – 3.431 ohm.cm yang termasuk ke dalam kategori *highly corrosive* sampai *corrosive*
4. Temperatur udara rata – rata 22,9 - 30°C

**Contoh Perhitungan Pada Test Point 1**

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

No	Parameter	Nilai
1	Umur Pipa (Tahun)	15
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)	7,38
10	<i>Diameter</i> Pipa (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)

$$\begin{aligned}
 \text{MAWP} &= \frac{2 \times S \times E \times t_{\text{aktual}}}{D} \\
 &= \frac{2 \times 25.200 \text{ psi} \times 1 \times 7,38 \text{ mm}}{273,1 \text{ mm}} \\
 &= 1.361,96 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Laju korosi (*Corrosion Rate*)

$$\begin{aligned}
 \text{Laju Korosi} &= \frac{t_{\text{nominal}} - t_{\text{aktual}}}{t} \\
 &= \frac{12,70 \text{ mm} - 7,38 \text{ mm}}{15 \text{ tahun}}
 \end{aligned}$$

$$= 0,3547 \text{ mm/tahun}$$

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

$$= \frac{7,38 \text{ mm} - 4,06 \text{ mm}}{0,3547 \text{ mm/tahun}}$$

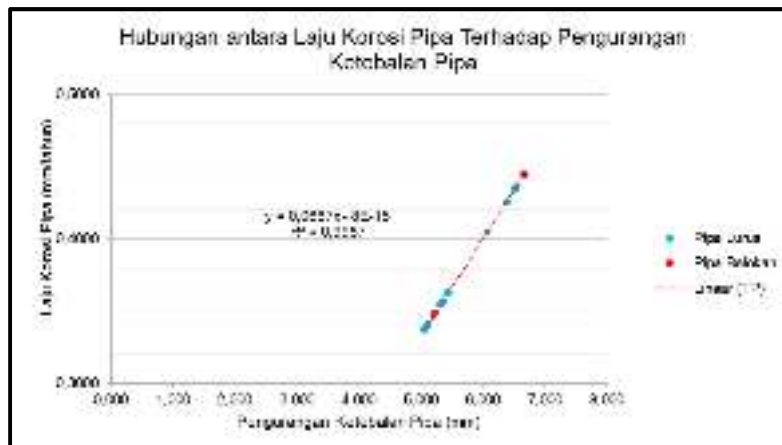
$$= 9,35 \text{ tahun}$$

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

Test Point	Jarak (m)	Letak Pipa	Identitas Pipa	Tebal Nominal (mm)	Tebal Aktual Pipa (mm)	Pengurangan Ketebalan Pipa (mm)	Thickness Required (mm)	Laju Korosi (mm/tahun)	Sisa Umur Pakai (Tahun)
1	25	Atas Permukaan	Pipa Lurus	12,70	7,38	5,320	4,06	0,3547	9,35
2	200	Bawah Permukaan	Pipa Belokan	12,70	6,03	6,670	4,06	0,4447	4,42
3	400	Bawah Permukaan	Pipa Lurus	12,70	6,16	6,540	4,06	0,4360	4,81
4	600	Bawah Permukaan	Pipa Lurus	12,70	7,35	5,350	4,06	0,3567	9,21
5	800	Bawah Permukaan	Pipa Lurus	12,70	7,47	5,230	4,06	0,3487	9,77
6	1.000	Bawah Permukaan	Pipa Lurus	12,70	7,59	5,110	4,06	0,3407	10,35
7	1.200	Bawah Permukaan	Pipa Lurus	12,70	7,64	5,060	4,06	0,3373	10,60
8	1.400	Bawah Permukaan	Pipa Lurus	12,70	7,49	5,210	4,06	0,3473	9,86
9	1.600	Bawah Permukaan	Pipa Lurus	12,70	7,38	5,320	4,06	0,3547	9,35
10	1.800	Bawah Permukaan	Pipa Lurus	12,70	7,26	5,440	4,06	0,3627	8,81
11	2.000	Bawah Permukaan	Pipa Lurus	12,70	6,32	6,380	4,06	0,4253	5,30
12	2.200	Bawah Permukaan	Pipa Belokan	12,70	6,19	6,510	4,06	0,4340	4,90
13	2.300	Atas Permukaan	Pipa Lurus	12,70	6,63	6,070	4,06	0,4047	6,34

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:

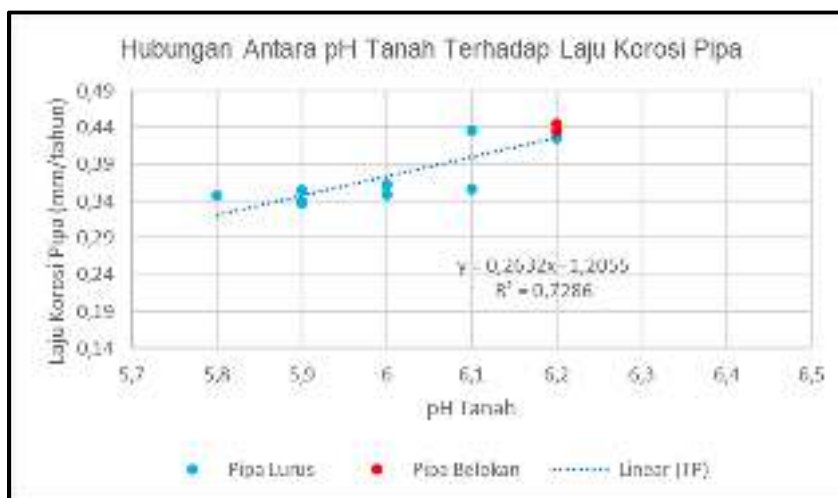
**Gambar 1.** Grafik Hubungan Antara Laju Korosi Pipa terhadap Pengurangan Ketebalan Pipa

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa pengurangan ketebalan pipa akan berbanding lurus dengan laju korosi. Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 1**, yang mana semakin besar laju korosi pipa maka pengurangan ketebalan pipa pun akan semakin besar, begitupun sebaliknya. Berdasarkan hasil korelasi pada **Gambar 1** nilai regresi yang didapatkan yaitu 0,9987 atau hampir mendekati 1 yang menandakan bahwa keterkaitan antara kedua variabel yaitu pengurangan ketebalan pipa dengan laju korosi sangat tinggi.



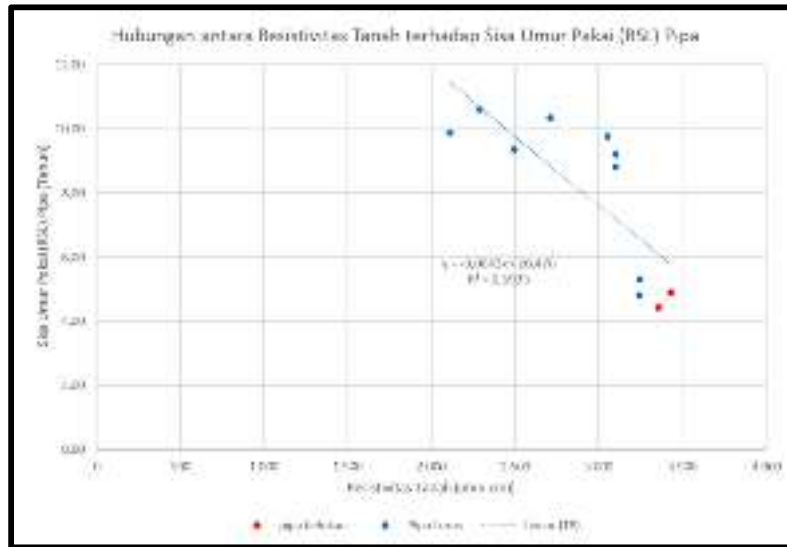
**Gambar 2.** Grafik Hubungan Antara Resistivitas Tanah terhadap Laju Korosi

Dari data hasil pengukuran diketahui bahwa nilai resistivitas tanah di sekitar lingkungan pipa transportasi *crude oil* berkisar antara 2.114 – 3.431 ohm.cm dan termasuk ke dalam kategori *corrosive* hingga *highly corrosive*. Resistivitas tanah ini akan mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada pipa karena resistivitas tanah merupakan faktor eksternal yang dapat mempengaruhi laju korosi, walaupun sebelum pipa dimasukkan ke dalam tanah sebelumnya telah dilakukan pengendalian seperti pemakaian *coating*, *wrapping*, dan proteksi katodik. Seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 2** didapatkan regresi sebesar 0,5766 yang menandakan bahwa hubungan antara resistivitas tanah (X) terhadap laju korosi pipa (Y) cukup berkaitan.



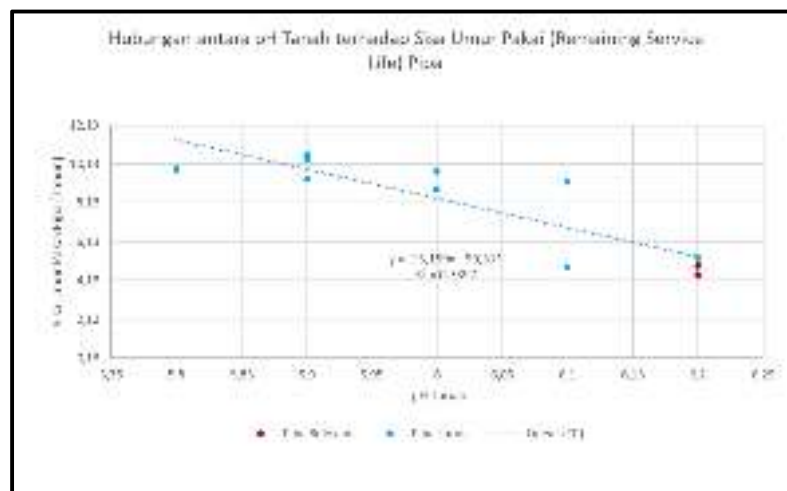
**Gambar 3.** Grafik Hubungan Antara pH Tanah terhadap Laju Korosi

pH tanah dapat mempengaruhi laju korosi, berdasarkan hasil pengukuran di sekitar lingkungan pipa transportasi *crude oil* masuk ke dalam kategori pH asam, karena pH di daerah tersebut berkisar antara 5,8 – 6,2. Kondisi pH tanah yang asam ini akan mempengaruhi laju korosi, yang mana semakin asam pH tanah maka laju korosinya akan semakin tinggi. Pada **Gambar 3** yang berupa grafik hubungan antara pH tanah terhadap laju korosi didapatkan regresi sebesar 0,7286 menandakan bahwa hubungan antara keduanya cukup berkaitan



**Gambar 4.** Grafik Hubungan Resistivitas Tanah terhadap Sisa Umur Pakai Pipa

Seperti yang telah diketahui bahwa resistivitas tanah akan mempengaruhi laju korosi yang pastinya juga akan mempengaruhi sisa umur pakai pipa tersebut. Pada **Gambar 4** yang berupa hubungan antara resistivitas tanah (X) terhadap sisa umur pakai pipa (Y) didapatkan regresi sebesar 0,5933 yang menandakan bahwa faktor eksternal pipa yaitu resistivitas tanah cukup mempengaruhi terhadap sisa umur pakai. Dari kedua grafik tersebut dapat diketahui bahwa resistivitas tanah cukup mempengaruhi laju korosi dan sisa umur pakai pipa.



**Gambar 5.** Grafik Hubungan pH Tanah terhadap Sisa Umur Pakai Pipa

Pada **Gambar 5** berupa grafik hubungan antara pH tanah terhadap sisa umur pakai pipa didapatkan regresi sebesar 0,7393 yang menandakan bahwa hubungan antara pH tanah dengan laju korosi cukup berikaitan. Dari kedua grafik tersebut dapat diketahui bahwa pH tanah yang asam akan semakin meningkatkan laju korosi dan memperpendek sisa umur pakai pipa transportasi *crude oil*.

#### 4. Kesimpulan

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

1. Jenis korosi yang terjadi pada pipa transportasi *crude oil* (SP 05 – SP 06) adalah korosi merata (Uniform Corrosion) dan korosi erosi (*Erosion Corrosion*).

2. Metode pengendalian korosi diaplikasikan secara eksternal dan internal pada pipa transportasi *crude oil*. Untuk internal pipa dilakukan penambahan inhibitor UOP<sup>TM</sup> UNICOR<sup>TM</sup> C. Sedangkan untuk eksternal pipa diaplikasikan metode *coating* dengan menggunakan *Rust Enamel Brush*, metode *wrapping* dengan menggunakan *Polyken The Berry Plastics CPG System 942/955 EN*, dan dilakukan proteksi katodik dengan sistem anoda korban, yang mana anoda korban yang digunakan adalah magnesium (Mg).
3. Laju korosi pipa transportasi *crude oil* adalah 0,3373 sampai dengan 0,4447 mm/tahun sehingga berdasarkan ketahanan korosi relatif, laju korosi tersebut masuk ke dalam kategori *good*.
4. Sisa umur pakai (*Remaining Service Life*) pipa transportasi *crude oil* sebesar 4,42 – 10,60 tahun, dan terdapat 23% *test point* yang tidak dapat mencapai umur desainnya yaitu 20 tahun.

## 5. Saran

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

1. Sebaiknya kegiatan inspeksi atau monitoring dilakukan lebih intensif pada pipa belokan dan pipa yang memiliki tingkat korosivitas yang tinggi.
2. Perlu dilakukannya *re-coating* dan *re-wrapping* pada bagian pipa yang mengalami kerusakan.
3. Perlu dilakukan evaluasi terhadap jenis dan konsentrasi inhibitor yang digunakan
4. Sebaiknya perlu dilakukan pengkajian lebih dalam terhadap internal pipa yang menjadi penyebab korosi..

## Daftar Pustaka

- [1] Akbar, Fatwa Ath-thaariq; Moralista, Elfida; Sriyanti, 2017, “Penentuan Laju Korosi dan *Remaining Service Life* (RSL) Pipa Transportasi Jalur 1 di PT. Pertamina (Persero) Terminal BBM Balongan Indramayu Jawa Barat – Plumpang Jakarta Utara”, Prosiding Spesia Teknik Pertambangan (Februari, 2017) ISSN: 2460-6499. P 433-439 Universitas Islam Bandung.
- [2] Anonim “API 570 Inspector’s Examination”, Pressure Piping Inspector, American Petroleum Institute
- [3] Anonim, 2002, “ASME B 31.4 Pipeline Transportasi System for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids”, The American Society of Mechanical Engineers, United States.
- [4] Fontana, Mars G, 1987, “*Corrosion Engineering 3rd Edition*”, MC Grawhill, New York.
- [5] Gapsari, Femiana, 2017 “Pengantar Korosi”, Malang, Universitas Brawijaya, UB Press, Diakses pada tanggal 26 April 2020.
- [6] Jonnes, Danny A, 1991, “*Principle and Prevention of Corrosion*”, New York, Masmillan Publishing Company.
- [7] Moralista, Elfida, 2001, “Studi Efektivitas Inhibisi Kalsium Nitrit dan Natrium Dikromat pada Korosibaja Tulangan Galvanis dalam Larutan Pori Beton. Artifisial dengan *Electrochemical Impedance Spectroscopy*”, Institut Teknologi Bandung (ITB).
- [8] Roberge, Pierre, 2008, “*Corrosion Engineering: Principles and Praticce*”, New York, Mc Grawhil.
- [9] Smith. William F, 1989, “*Foundations and Materials Science and Engineering*”, New York, Javad Hashemi.