

Analisis Laju Korosi Material API 5L X52 Pada *Underground Pipe* Dengan Proteksi *Coating*, Katodik Dan Inhibitor

Adetya Hafif Pratama¹, Budi Prasajo², Dianita Wardani³

Program studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1,2,3}

Email: adetya.hafif@student.ppns.ac.id¹; budiprasajo@ppns.ac.id²; dianitawardani@ppns.ac.id³;

Abstract - A company engaged in the exploration and distribution of crude oil faces corrosion problems in underground pipelines exposed to acidic soil conditions. To overcome this problem, an effective corrosion protection installation is needed to extend the life of the pipeline. This study evaluates the effectiveness of external corrosion protection of pipes using coating and coating + cathodic (SACP) methods using zinc anodes by conducting immersion tests according to ASTM G31-72 standards using HCl corrosion media and pH variations of 5; 5.5 and 6 adjusted to field conditions, as well as internal corrosion protection of pipes using inhibitor methods by installing corrosion coupons based on NACE RP0775 standards. The test results showed that the smallest corrosion rate occurred at pH 6 a value of 0.0077 mm/y for coating + cathodic protection (SACP) and 0.0107 mm/y for coating protection. Meanwhile, the internal side protected by inhibitor obtained a corrosion rate of 0.0152 mm/y.

Keyword: Corrosion Rate, Immersion Test, Coating, SACP.

Nomenclature

<i>fc</i>	Coatng breakdown
<i>tf</i>	Design life anoda (tahun)
<i>Ic</i>	Current demand (A)
<i>ic</i>	Current density (A/m ²)
<i>Ma</i>	Massa anoda (kg)
<i>μ</i>	Utilization factor (Ah/kg.tahun)
<i>ε</i>	Anoda capacity (Ah/kg)
<i>Cr</i>	Corrosion Rate (mm/y)
<i>K</i>	Konstanta
<i>W</i>	Weight loss (gram)
<i>A</i>	Luas area spesimen (cm ²)
<i>T</i>	Waktu pengujian (jam)
<i>D</i>	Density of Material (gr/cm ³)

1. PENDAHULUAN

Perusahaan eksplorasi minyak dan gas bumi di Kabupaten Tuban memiliki sistem distribusi minyak mentah melalui jalur perpipaan bawah tanah yang menggunakan material pipa API 5L X52 jenis *carbon steel*. Kondisi lingkungan yang asam dengan nilai pH tanah berkisar antara 5 hingga 5,9 menyebabkan potensi terjadinya korosi pada bagian eksternal pipa, terutama saat proteksi awal berupa *coating* mengalami kerusakan. Korosi dapat menurunkan kekuatan material dan berdampak pada efisiensi produksi [1]. Meskipun korosi tidak dapat dicegah sepenuhnya, laju korosi dapat dikendalikan melalui penerapan metode proteksi seperti *coating* ulang, inhibitor, dan proteksi katodik menggunakan *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP) [3].

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis laju korosi dari pipa API 5L X52 yang terpasang di bawah tanah dengan berbagai variasi proteksi korosi, yaitu kombinasi antara *coating*, katodik (dengan anoda *zinc*), dan inhibitor. Pengujian dilakukan melalui *immersion test* dengan media HCl pada pH 5, 5,5, dan 6 untuk mengetahui pengaruh kondisi lingkungan terhadap laju korosi eksternal, serta nilai dari laju korosi internal yang terdapat penambahan inhibitor korosi sebagai zat kimia yang berfungsi memperlambat reaksi korosi. Variasi pH ini dimaksudkan untuk mensimulasikan kondisi lingkungan tanah yang bersifat asam dan memengaruhi tingkat keparahan korosi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi proteksi korosi yang lebih efektif serta menjadi referensi teknis bagi pengelolaan sistem perpipaan pada proyek serupa di masa mendatang.

2. METODOLOGI

2.1 Persiapan Pengujian

Spesimen pengujian menggunakan pipa API 5L X52 yang kemudian dipotong dengan ukuran 50 mm × 25 mm dengan ketebalan berkisar antara 1,6 hingga 3 mm sesuai standar ASTM G31-72 [5]. Jumlah spesimen uji disesuaikan dengan variasi pengujian yang dilakukan, dengan total 18 spesimen. Metode uji yang digunakan adalah immersion test dengan media korosi HCL dan pH 5; 5,5 dan 6 yang disesuaikan kondisi sebenarnya. Untuk rancangan spesimen pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1: Rancangan Spesimen Pengujian

No	Jenis Proteksi	Nilai pH	Waktu (Jam)	Kode Material
1	Tanpa Proteksi	5	336	A1-1
2	Tanpa Proteksi	5	336	A1-2
3	Coating	5	336	B1-1
4	Coating	5	336	B1-2
5	Coating + Katodik(SACP)	5	336	C1-1
6	Coating + Katodik(SACP)	5	336	C1-2
7	Tanpa Proteksi	5,5	336	A2-1
8	Tanpa Proteksi	5,5	336	A2-2
9	Coating	5,5	336	B2-1
10	Coating	5,5	336	B2-2
11	Coating + Katodik(SACP)	5,5	336	C2-1
12	Coating + Katodik(SACP)	5,5	336	C2-2
13	Tanpa Proteksi	6	336	A3-1
14	Tanpa Proteksi	6	336	A3-2
15	Coating	6	336	B3-1
16	Coating	6	336	B3-2
17	Coating + Katodik(SACP)	6	336	C3-1
18	Coating + Katodik(SACP)	6	336	C3-2

2.2 Pengaplikasian Coating

Tahap pertama untuk pengaplikasian *coating* adalah dilakukan *sandblasting* untuk membersihkan permukaan spesimen agar terhindar dari kotoran, debu dan minyak yang dapat mengganggu proses pengaplikasian *coating* [4]. Selain itu *sandblasting* juga digunakan untuk menciptakan tekstur kasar yang diperlukan sebesar 40-80 mikron. Setelah itu dilakukan pelapisan *coating primer* menggunakan bahan cat *epoxy* dengan ketebalan 100-150 mikron. Pelapisan kedua yaitu *top coat* dengan ketebalan 100-150 mikron.

2.3 Perancangan Kebutuhan Proteksi Katodik

Pada tahap ini, dilakukan perhitungan perancangan kebutuhan proteksi katodik berdasarkan DNV RP-B401 sebagai berikut.

1. Perhitungan *coating breakdown*

$$fc = a \cdot b \cdot \frac{tf}{2} \quad (1)$$

Keterangan :

fc = *Coatng breakdown*

a dan b = Konstanta yang bergantung pada properties lapisan dengan lingkungannya

tf = *Design life* anoda (tahun)

2. Perhitungan kebutuhan arus anoda

$$Ic = A \cdot ic \cdot fc \quad (2)$$

Keterangan :

Ic = *Current demand* (A)

A = Luas permukaan (m²)

ic = *Current density* (A/m²)

fc = *Coating breakdown*

3. Perhitungan kebutuhan massa anoda

$$Ma = \frac{Ic \cdot tf \cdot 8760}{\mu \cdot \epsilon} \quad (3)$$

Keterangan :

Ma = Massa anoda (kg)

Ic = *Current demand* (A)

tf = *Design life* (tahun)

μ = *Utilization factor* (Ah/kg.tahun)

ε = *Anoda capacity* (Ah/kg)

2.4 Pengujian Spesimen

Penelitian ini menggunakan *immersion test* dengan metode kehilangan berat dari spesimen uji. Sebelumnya dilakukan Penimbangan awal spesimen dilakukan untuk mengetahui massa sebelum pengujian berlangsung. Selanjutnya, spesimen dicelupkan ke dalam gelas yang berisi larutan HCL dan dengan variasi pH 5; 5,5; 6. Spesimen direndam selama 336 jam. Setelah pengujian, spesimen dilakukan penimbangan akhir yang akan diselisihkan dengan hasil penimbangan awal untuk mengetahui kehilangan berat dari spesimen.

2.5 Perhitungan Laju Korosi Eksternal

Perhitungan laju korosi berdasarkan standar ASTM G31-72 sebagai berikut :

$$Cr = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \quad (4)$$

Keterangan :

Cr = *Corrosion Rate*

K = Konstanta

W = *Weight loss* (gram)

A = Luas area spesimen (cm²)

T = Waktu pengujian (jam)

D = *Density of Material* (gr/cm³)

2.6 Perhitungan Laju Korosi Internal

Perhitungan laju korosi internal mengacu pada pemasangan *corrosion coupon* menggunakan standar NACE RP0775. *Corrosion coupon* adalah potongan kecil logam yang digunakan untuk mengevaluasi laju korosi internal pipa dalam suatu sistem melalui pengukuran penurunan berat logam setelah terpapar lingkungan korosif. Lama waktu paparan menjadi salah satu faktor penting dalam analisis data hasil uji kupon korosi. Pemasangan dengan durasi paparan jangka pendek, yaitu antara 15 hingga 45 hari, sementara pemasangan dengan durasi paparan yang lebih panjang, berkisar antara 60 hingga 90 hari [2]. Berikut merupakan perhitungan laju korosi mengacu pada standar NACE RP0775 :

$$Cr = \frac{3,65 \times 10^5 \times W}{A \times T \times D} \quad (5)$$

Keterangan :

Cr = *Corrosion rate* (mm/y)

W = *Weight loss* (gram)

A = Luas permukaan (mm²)

T = Lama pemasangan (hari)
D = *Density of coupon metal* (g/cm³)

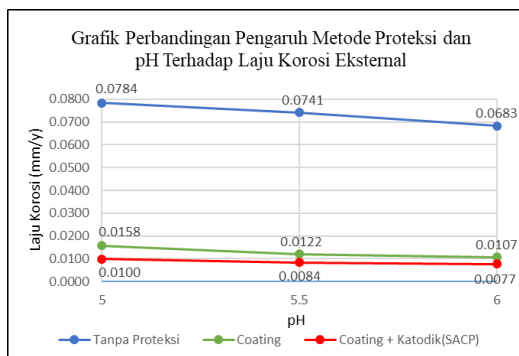
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Laju Korosi Eksternal

Perhitungan laju korosi eksternal dilakukan dengan menggunakan persamaan 4, yang memerlukan data pendukung berupa luas permukaan, kehilangan massa, durasi pengujian, dan densitas material. Berikut adalah hasil perhitungan laju korosi pada spesimen uji.

Tabel 2: Laju Korosi Eksternal

Kode Material	Jenis Proteksi	pH	Weight Loss (gr)	Luas Permukaan (cm ²)	Laju Korosi (mm/y)	Rata-rata (mm/y)
			W	A	Creks	
A1-1	Tanpa Proteksi	5	0.0692	29.430483	0.0780	0.0784
A1-2	Tanpa Proteksi	5	0.0696	29.324883	0.0787	
B1-1	Coating	5	0.0120	29.227123	0.0136	0.0158
B1-2	Coating	5	0.0158	29.102483	0.0180	
C1-1	Coating + Katodik(SACP)	5	0.0078	29.347123	0.0088	0.0100
C1-2	Coating + Katodik(SACP)	5	0.0098	29.102483	0.0112	
A2-1	Tanpa Proteksi	5.5	0.0652	29.037403	0.0745	0.0741
A2-2	Tanpa Proteksi	5.5	0.0648	29.163883	0.0737	
B2-1	Coating	5.5	0.0113	29.269283	0.0128	0.0122
B2-2	Coating	5.5	0.0102	29.313763	0.0115	
C2-1	Coating + Katodik(SACP)	5.5	0.0090	29.367123	0.0102	0.0084
C2-2	Coating + Katodik(SACP)	5.5	0.0058	29.324883	0.0066	
A3-1	Tanpa Proteksi	6	0.0602	29.321763	0.0681	0.0683
A3-2	Tanpa Proteksi	6	0.0602	29.163883	0.0685	
B3-1	Coating	6	0.0109	29.395763	0.0123	0.0107
B3-2	Coating	6	0.0081	29.269283	0.0092	
C3-1	Coating + Katodik(SACP)	6	0.0062	29.108483	0.0071	0.0077
C3-2	Coating + Katodik(SACP)	6	0.0073	29.171603	0.0083	



Gambar 1. Grafik Perbandingan Pengaruh Metode Proteksi dan pH Terhadap Laju Korosi Eksternal

Dari Gambar 1. menunjukkan nilai laju korosi terbesar terjadi pada kondisi tanpa proteksi dan pH 5 dengan nilai sebesar 0,0784 mm/y dan nilai laju korosi terkecil pada kondisi terproteksi *coating* + katodik dan pH 6 dengan nilai sebesar 0,0077 mm/y. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan laju korosi disebabkan jenis proteksi dan pH media korosi. Kondisi ini dimungkinkan karena spesimen yang telah diberi proteksi korosi tidak mengalami kontak langsung dengan media korosif, sehingga mampu secara signifikan memperlambat laju korosinya.

3.2 Perhitungan Laju Korosi Internal

Perhitungan laju korosi internal berdasarkan standar NACE RP0775 pada pemasangan *corrosion coupon* yang ditempatkan di dalam sistem yang beroperasi untuk mengalami eksposur langsung terhadap fluida, sehingga *coupon* akan mengalami penurunan berat (*weight loss*) dengan rumus perhitungan pada persamaan 5.

Tabel 3: Laju Korosi Internal

ΔW (gr)	A (inc2)	T (hari)	D (gr/cm ³)	Cr (mm/y)
0.0551	2.99	87	7.86	0.0152

4. KESIMPULAN

Dari seluruh rangkaian penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perhitungan laju korosi eksternal menggunakan metode *weight loss* dari uji celup, diperoleh bahwa laju korosi tertinggi terjadi pada kondisi tanpa proteksi dengan pH 5, yaitu sebesar 0,0784 mm/tahun. Sebaliknya, laju korosi terendah terjadi pada spesimen yang terproteksi *coating* + katodik pada pH 6, dengan nilai 0,0077 mm/tahun. Penurunan laju korosi dipengaruhi oleh jenis proteksi yang digunakan. Hal ini disebabkan karena spesimen yang diberi perlindungan tidak langsung bersentuhan dengan lingkungan korosif, sehingga laju korosinya berkurang secara signifikan. Selain itu, laju korosi juga dipengaruhi oleh tingkat keasaman media; semakin rendah pH (semakin asam), maka laju korosi cenderung meningkat.
2. Perhitungan laju korosi internal dengan metode *weight loss* melalui pemasangan *corrosion coupon* menggunakan standar NACE RP0775 didapatkan nilai sebesar 0,0152 mm/y.
3. Perhitungan menunjukkan bahwa *lifetime* terpanjang terjadi pada kondisi dengan proteksi *coating* + katodik serta pH 6, yaitu 96,0067 tahun. Sedangkan *lifetime* terpendek ada pada kondisi tanpa perlindungan dan pH 5, yaitu 74,8297 tahun. Ini membuktikan bahwa peningkatan pH dari 5 ke 6 dapat memperpanjang umur material pada semua jenis proteksi. Lingkungan yang lebih asam (pH rendah) mempercepat korosi dan memperpendek umur material.

5. PUSTAKA

- [1] Haryono, & Evy Ernawati, E. (2023). Laju Korosi Pada Baja Api 5L Grade B Dalam Medium Limbah Minyak Bumi Dengan Inhibitor Sikloheksilamina. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, Vol. 07 (No. 41-48).
- [2] NACE RP0775, (2005). *Standard Recommended Practice: Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of*

Corrosion Coupons in Oilfield Operations.
NACE International.

- [3] Panganggit, B. Y., Prasajo, B., & Erawati, Ika. (2023). Pengaruh Jenis *Coating* Terhadap Laju Korosi dan *Lifetime* Pada Pipa SS400 di Lingkungan Air Tanah dan Air Laut. *Proceeding National Conference of Piping Engineering and its Application, Vol 8th* (No. 2656-0933).
- [4] Yasripin, Ahmad, M. M., & Bisono, F. (2024). Pengaruh Variasi Tekanan, Waktu, dan Jenis *Abrasive* Material Terhadap Faktor Kebersihan Pada Proses Pembuatan *Ducting Exhaust*. Tugas Akhir Teknik Perpipaan: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [5] ASTM G31-72. (2004). *Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*. West Conshohocken: ASTM International.