

## ANALISIS PERBEDAAN LAJU KOROSI HASIL PENGUJIAN *WEIGHT LOSS* DAN POLARISASI PADA PIPA DENGAN PENGUJIAN KOROSI STANDAR ASTM G59 DAN ASTM G31

Margono Sugeng<sup>1\*</sup>, Fajar Maulana Ismail<sup>2</sup>, Januar Purbo Utomo<sup>3</sup>

<sup>1,3)</sup> Universitas Dian Nusantara, Jakarta

<sup>2)</sup> Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta

Corresponding Author: [margono.sugeng@undira.ac.id](mailto:margono.sugeng@undira.ac.id)



Diterima : 04/03/2022  
Direvisi : 16/04/2022  
Dipublikasi : 17/04/2022

**Abstract:** *In the application of the steam distribution pipe is not always good, frequent damage to the pipe can indicate damage caused by corrosion. Related to that, the corrosion theme is analyzed using API 5L Grade B pipe material. The results of the weight loss test with a submerged surface area of 196 cm<sup>2</sup>, the corrosion rate that occurs is 1.30783 and the remaining pipe life is  $\pm 2$  years, the results of the Cyclic potentiodynamic polarization test with a surface area of 1 cm<sup>2</sup> produces a corrosion rate of 0.031982 mmpy and remaining life of  $\pm 158$  years. The type of corrosion that occurs as a result of testing based on visual observations is pitting corrosion.*

**Keywords:** *Corrosion Rate, Weight Loss, Potentiodynamic, Steam Pipe, API 5L Grade B.*

**Abstrak:** Dalam pengaplikasian pipa distribusi uap tidak selalu baik, sering terjadi kerusakan pada pipa yang dapat diindikasikan kerusakan disebabkan oleh korosi. Terkait dengan itu, tema korosi untuk dianalisis menggunakan material pipa API 5L Grade B. Hasil dari pengujian weight loss dengan luas permukaan terendam adalah 196 cm<sup>2</sup> laju korosi yang terjadi adalah 1,30783 dan sisa umur pipa  $\pm 2$  tahun, hasil pengujian polarisasi Cyclic potentiodynamics dengan luas permukaan 1 cm<sup>2</sup> menghasilkan laju korosi 0,031982 mmpy dan sisa umur  $\pm 158$  tahun. Jenis korosi yang terjadi akibat pengujian berdasarkan pengamatan visual adalah korosi pitting

**Kata Kunci:** Corrosion Rate, Weight Loss, Potentiodynamic, Steam Pipe, API 5L Grade B.

### PENDAHULUAN

Sistem perpipaan adalah suatu sistem yang digunakan untuk transportasi fluida antar peralatan dari suatu tempat ke tempat yang lain sehingga proses produksi dapat berlangsung. Sistem perpipaan secara umum terdiri dari komponen-komponen, flange, nozzle, instrumentasi, peralatan, penyangga pipa, dan komponen khusus. Dalam dunia industri, biasanya dikenal beberapa istilah mengenai sistem perpipaan seperti piping dan pipeline. Piping adalah sistem perpipaan disuatu plant, sebagai fasilitas untuk mengantarkan fluida antara satu peralatan ke peralatan lainnya untuk melewati proses-proses tertentu. Piping ini tidak akan keluar dari satu wilayah plant. Sedangkan pipeline adalah sistem perpipaan untuk mengantarkan atau mengalirkan fluida antara satu plant ke plant lainnya yang biasanya melewati beberapa daerah.

Salah satu penerapan system pemipaan adalah pada system pembangkitan energi yang berasal dari panas bumi. Sumber panas bumi merupakan suatu energi alami yang prosesnya tanpa campur tangan manusia, dan menjadi energi yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan pembangkit listrik. Pembangkitan ini memanfaatkan uap panas yang dialirkan melalui pipa, yang salah satu jenisnya adalah pipa baja karbon.

Kontak langsung antara pipa dengan gas cepat atau lambat akan menyebabkan korosi pada pipa. Permasalahan korosi dapat mengakibatkan bertambahnya potensi pencemaran oleh gas terhadap lingkungan akibat kegiatan eksplorasi dan eksploitasi berlangsung, seringkali terjadi kerusakan pada pipa yang bisa jadi diindikasikan karena bahan pipa penyalur itu sendiri, kerusakan tersebut antara lain akibat korosi. Berdasarkan pengamatan visual jenis korosi yang terjadi dari pengujian *weight loss* dan polarisasi potensio dinamik siklik adalah korosi sumuran.

## KAJIAN PUSTAKA

### Pipa Baja API 5L Grade B

Pipa adalah sebuah silinder berongga yang digunakan untuk mengalirkan fluida, dalam bentuk cair atau gas, terbuat dari berbagai macam bahan, antara lain adalah baja. Fluida yang mengalir memiliki temperatur dan tekanan yang berbeda. Pipa biasanya diidentikan dengan istilah tube, bedanya Pipa biasanya ditentukan berdasarkan nominalnya sedangkan tube adalah salah satu jenis pipa yang ditetapkan diameternya. Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur peneras.

Salah satunya adalah Baja API 5L Grade B, yang digunakan dalam sistem perpipaan dan diproduksi berdasarkan standart API (*American Petroleum Institute*). Baja API 5L Grade B memiliki kadar karbon sebesar 0.22% dan termasuk dalam baja karbon sedang (*API 5L Specification For Line Pipe 2004*). Komposisi kimia dan sifat mekaniknya dapat dilihat pada Tabel-1 berikut:

Tabel-1 Komposisi Kimia API 5L Grade B

Standard	Grade B	Chemical Composition (Max)								Tension Test		
		C	Si	Mn	P	S	V	Ti	Nb	Yield Strength (MPa)	Ultimate TS (MPa)	Elongation (%)
API5L GrB	PLS 2	0.22	0.45	1.2	0.025	0.015	0.050	0.4	0.05	245-450	415-760	23

### Prinsip Dasar Korosi

Korosi adalah proses pengrusakan logam akibat reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungannya. Korosi atau karat juga merupakan kerusakan suatu logam akibat reaksi kimia yang membuat logam mengalami penurunan sifat mekanik. Korosi ini terjadi ketika permukaan logam bersentuhan dengan berbagai senyawa yang ada di sekitarnya seperti oksigen atau air yang menjadi senyawa baru yang tidak dikehendaki. Efek dari korosi ini dapat berupa perubahan warna logam ataupun lubang pada logam. Laju korosi dapat berpengaruh terhadap

ketebalan atau kehilangan berat pada baja di mana permukaan logam terkorosi secara merata di seluruh area yang telah terpapar. Proses korosi cepat atau lambat akan menyebabkan degradasi suatu logam atau hilangnya bagian logam, yang secara umum ditandai dengan: (1) Logam menipis, berlubang, dan bisa terjadi retakan; (2) Sifat fisik dan sifat mekanis berubah menurun, dan penampilan menjadi kurang baik., Ketahanan material pipa dalam menghadapi peristiwa korosi pada suatu kondisi tertentu mempunyai laju korosi yang berbeda, yang secara umum dapat digolongkan berdasarkan Tabel 2. berikut :

Tabel-2 Corrosion Of MPY Equivalent Metric- Rate Expression

Relative Corrosion Resistance	Mpy	mm/yr	µm/yr	Nm/h	Pm/s
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excelent	1 – 5	0.02 – 0.1	25 – 100	02 – 10	1 – 5
Good	1 – 5	0.1 – 0.5	100 – 500	10 – 50	20 – 50
Fair	20 – 50	0.5 – 1	500 – 1000	50 – 150	20 – 50
Poor	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000	150 – 500	50 – 200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

**Metode Ultrasonic Thickness Meter**

Laju korosi yang mengalami korosi merata ditentukan dengan menggunakan metode kehilangan berat, yaitu metode dengan cara mengukur ketebalan, *Electrical resistance probe* maupun elektrokimia, dengan menggunakan perbandingan data komisioning dengan hasil *Ultrasonic Thickness Meter* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut;

$$CR = \frac{Ta - Tu}{umur\ pipa} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- CR = laju korosi (mm/yr)
- Ta = tabal awal (mm)
- Tu = tebal ukur (mm)

$$RSL = \frac{Tu - Tr}{CR} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- RSL = Sisa Umur Pipa (Tahun).
- Tu = Tebal Ukur (mm).
- Tr = Tebal required (mm)

**Metode Kehilangan Berat**

Metode kehilangan berat adalah metode pengukuran korosi yang paling banyak digunakan adalah menggunakan lempengan logam, yang di tempatkan di dalam system dan dibiarkan untuk korosi. Lempengan logam digunakan untuk mengetahui laju korosi melalui *wight loss* (Jones 1992). Lempengan logam kemungkinan paling banyak digunakan untuk mendeteksi serangan permanen dari perubahan korosivitas.

Persamaan untuk menghitung laju korosi pada metode weight loss adalah sebagai berikut:

$$RSL = \frac{K.W}{D.A.T} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

- K = konstanta konstanta laju korosi..
- W = kehilangan berat (gram)
- D = densitas (gram/cm<sup>3</sup>)
- A = luas permukaan yang terendam (cm<sup>2</sup>)
- T = waktu (jam)

### Metode Polarisisasi

Mekanisme korosi pada lingkungan larutan adalah reaksi elektrokimia. Oleh karena itu berbagai macam pengujian elektrokimia telah banyak dikembangkan. Keuntungan dari metode elektrokimia ini adalah kemampuannya mendeteksi laju korosi yang sangat rendah, durasi percobaan yang relative singkat dan mudah dilakukan.

Metode elektrokimia melibatkan penentuan sifat antar muka yang spesifik dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu: (a) Perbedaan potensial pada antarmuka. Potensial pada permukaan terkorosi diperoleh dari polarisasi anodik-katodik. Potensial merupakan parameter yang mudah diamati. Nilai potensial ini berhubungan dengan sistem termodinamika, yang memberikan informasi tentang keadaan suatu sistem; (b) Laju reaksi sebagai densitas arus. Densitas arus dapat diketahui melalui polarisasi anodik-katodik logam, sehingga diperoleh densitas arus ikor; (c) Impedansi permukaan. Permukaan logam yang terkorosi dan tidak terkorosi dapat dibedakan melalui karakteristik impedansinya (Roberge, 2000).

Beberapa metode polarisasi dapat digunakan untuk uji korosi. Pada metode polarisasi potensiodinamik potensial elektroda (spesimen logam) divariasi dengan diberi arus listrik pada elektrolit. Metode ini merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk uji ketahanan korosi (Roberge, 2000). Pada metode polarisasi potensiodinamik nilai ikor diperoleh melalui ekstrapolasi tafel pada daerah linier katodik dan daerah linier anodik,

Polarisasi potensiodinamik adalah suatu metode untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan hubungan potensial dan arus anodik/katodik. Jika logam berada dalam kontak dengan larutan yang bersifat korosif, maka pada permukaan logam dapat terjadi reaksi reduksi dan reaksi oksidasi secara bersamaan disebabkan pada permukaan logam terbentuk banyak mikrosel mikroanoda dan mikrokatoda. Korosi logam terjadi jika terdapat arus anodik yang besarnya sama dengan arus katodik, walaupun tidak ada arus yang di berikan dari luar system. Hal ini disebabkan ada perbedaan potensial antara logam dan larutan sebagai lingkungannya. beda potensial ini dinamakan potensial korosi, E<sub>corr</sub>. Jika ke dalam system sel elektrokimia diberikan arus searah dari luar (Sumber DC) atau ditambah zat yang dapat mempengaruhi potensial sel, maka potensial logam akan lebih positif atau lebih negative dibandingkan potensial korosinya, menghasilkan arus anodik atau arus katodik. Perubahan potensial pada logam dinamakan polarisasi atau over potensial. Karakteristik polarisasi logam ditentukan berdasarkan kurva polarisasi potensiodinamik yang menyatakan aliran arus atau log arus sebuah fungsi potensial yang dibangkitkan. Polarisisasi atau over potensial,  $\eta$ , adalah

perubahan potensial elektrokimia setengah sel dari posisi kesetimbangan dengan lingkungannya pada suatu proses elektrodik. Hubungan over potensial dan arus dapat digunakan untuk mengungkapkan laju korosi.

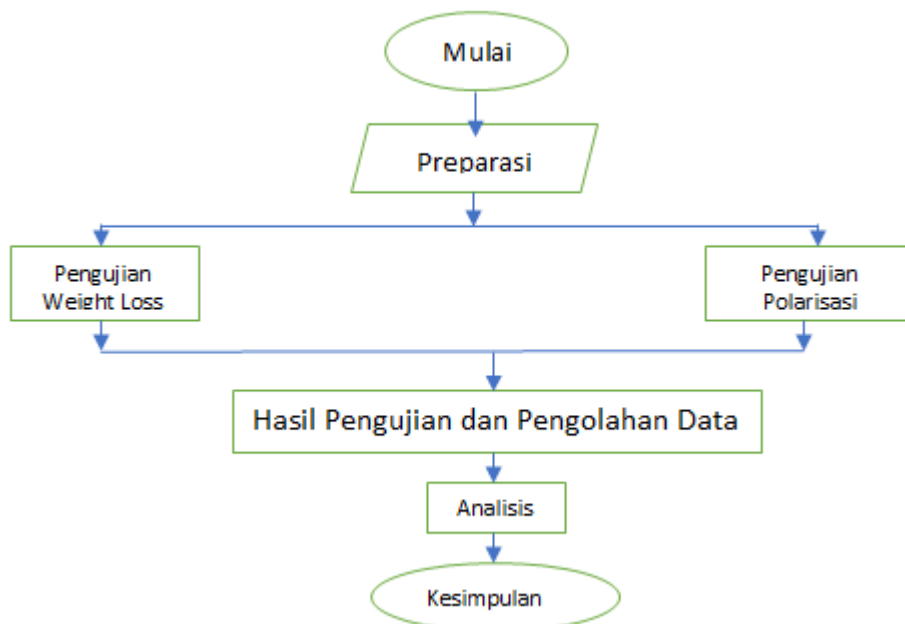
### Faktor Terjadinya Korosi

Laju korosi pada lingkungan netral normalnya adalah 1 mpy atau kurang, umumnya problem korosi disebabkan oleh air tetapi ada beberapa faktor selain air yang mempengaruhi laju korosi, diantaranya (ASM Handbook 2003), yaitu: Faktor kandungan gas dan padatan larutan, Faktor temperature, Seleksi material, dan Faktor pH.

## METODE PENELITIAN

### Diagram Alir Penelitian

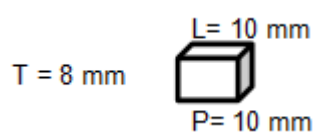
Proses penelitian yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini mengikuti diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### Preparasi Spesimen

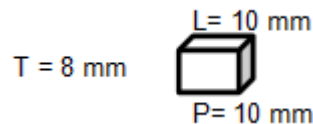
Preparasi sampel dilakukan untuk mendapatkan sampel yang sesuai dengan standar yang digunakan dalam pengujian weight loss, Polaris potensiodinamik siklik. Memotong specimen dimana batang baja API 5L Grade B memiliki dimensi panjang dan lebar untuk Polaris potensiodinamik siklik memiliki dimensi panjang 1 cm x lebar 1 cm x tebal 0.8 cm sebanyak 1 buah, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Penampang Benda Uji

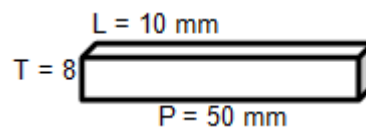
### Preparasi Sampel

Preparasi sampel dilakukan untuk mendapatkan sampel yang sesuai dengan standar yang digunakan dalam pengujian weight loss, Polaris potensiodinamik siklik. Memotong specimen dimana batang baja API 5L Grade B memiliki dimensi panjang dan lebar untuk Polaris potensiodinamik siklik memiliki dimensi panjang 1cm x lebar 1 cm x tebal 0.8 cm sebanyak 1 buah, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Penampang Benda Uji

Memotong specimen dimana batang baja API 5L Grade B memiliki dimensi panjang dan lebar untuk weight loss memiliki dimensi panjang 1cm x lebar 5 cm x tebal 0.8 cm sebanyak 10 buah, Gambar 4.



Gambar 4. Ukuran Benda Uji

Pengampelasan sampel yang dilakukan dengan mengampelas sample yang digunakan menggunakan mata gerinda ampelas grade 80. Pengampelasan ini bertujuan untuk menghilangkan lapisan anti karat (*Coating*) yang diberikan pada permukaan produk selain itu pengampelasan ini juga digunakan jika terbentuk lapisan oksidasi pada spesimen.

Pengambilan foto spesimen untuk dokumentasi pengamatan visual sebelum dimulai proses penelitian. Pengukuran dan penimbangan berat awal specimen sebagai data acuan dalam penghitungan dengan metode *weight loss*.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian *weight loss* merupakan pengujian kehilangan berat, dimana berat awal dari masing-masing logam API 5L Grade B tersebut ditimbang terlebih dahulu kemudian dilakukan perendaman atau pencelupan ke dalam larutan NaCl 3,5% sesuai prosedur pengujian *weight loss* ini berstandar ASTM G31 dan ASTM G72. Pada pengujian *weight loss* dengan cara dicelup kedalam larutan NaCl 3,5% sebanyak 200 ml jumlah specimen 10 buah dengan waktu 120 jam me nhasilkankehilangan berat seperti yang ada di Tabel 3.

Tabel 3. Kehilangan Berat

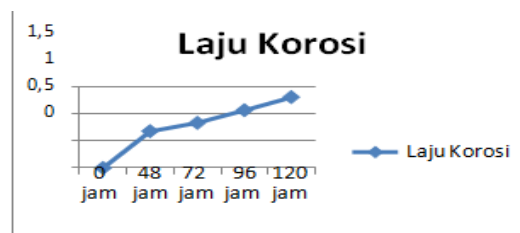
Spesimen/jam	0 jam	48 jam	72 jam	96 jam	120 jam
A	0	0,014	0,015	0,017	0,028
B	0	0,001	0,003	0,004	0,007
C	0	0,017	0,020	0,026	0,034
D	0	0,017	0,022	0,027	0,032
E	0	0,016	0,019	0,027	0,029
F	0	0,009	0,012	0,015	0,020
G	0	0,017	0,023	0,029	0,035
H	0	0,018	0,022	0,028	0,030
I	0	0,017	0,020	0,026	0,030
J	0	0,017	0,020	0,026	0,031

Di dalam Tabel 4 menunjukkan kehilangan berat setiap specimen, jumlah kehilangan berat 0 setiap specimen. Setelah itu setiap specimen ditimbang ulang setelah 48 jam, 72 jam, 96 jam, dan 120 jam, yang menunjukkan peningkatan kehilangan berat benda uji yang dicelupkan kedalam larutan NaCl 3,5%, terlihat bahwa kehilangan berat dan laju korosi bertambah dengan seiring dengan penambahan waktu.

Tabel 4. Kehilangan Berat Dan Laju Korosi Rata- Rata

Waktu	Kehilangan dalam satuan gram (g)	Laju korosi (mmpy)
0 jam	0	0
48 jam	0,0143 g	0,67761
72 jam	0,0176 g	0,83398
96 jam	0,0225 g	1,06617
120 jam	0,0276 g	1,30783

Hal ini relevan dengan grafik Gambar 5 yang menunjukkan hubungan antara laju korosi dengan waktu pengujian, terlihat bahwa laju korosi bertambah seiring dengan penambahan waktu. Terkait dengan hal ini, ada beberapa factor penyebab, antara lain adalah factor produksi dan ketidaksempurnaan pada saat preparasi sample.



Gambar-5 Grafik Laju Korosi (mmpy)

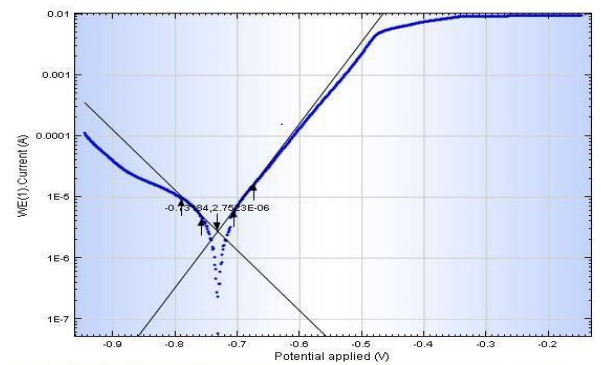
Ketahanan suatu material logam dalam menghadapi peristiwa korosi pada suatu kondisi tentu dapat menghasilkan laju korosi yang berbeda, oleh karena itu dapat dilihat hasil pengujian *weight loss*, laju korosi yang terjadi sebesar 1,30783 mmpy. Menurut Tabel 5 (*Corrosion Of MPY Equivalent Metric-Rate Expression*) ditunjukkan korosi yang terjadi pada pipa API 5L grade B terhadap NaCl 3,5% adalah buruk (poor).

Tabel 5. *Corrosion Of MPY Equivalent Metric- Rate Expression*

Relative Corrosion Resistance	Mpy	mm/yr	µm/yr	Nm/h	Pm/s
Outstanding	<1	<0.02	<25	<2	<1
Excellent	1 – 5	0.02 – 0.1	25 – 100	02 – 10	1 – 5
Good	1 – 5	0.1 – 0.5	100 – 500	10 – 50	20 – 50
Fair	20 – 50	0.5 – 1	500 – 1000	50 – 150	20 – 50
Poor	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000	150 – 500	50 – 200
Unacceptable	200+	5+	5000 +	500 +	200 +

Faktor pada korosi yang terjadi setelah pengujian adalah karena klorida yang dapat menyerang lapisan mild steel. Larutan ini menyebabkan terjadinya pitting, *crevice corrosion* dan juga menyebabkan pecahnya paduan. Selain chloride factor pH mempengaruhi terjadinya korosi, pada saat pengujian weight loss pH pada larutan NaCl 3,5% adalah 4, korosi yang terjadi akan semakin cepat karena tingkat keasaman larutan yang cukup tinggi.

Polarisasi potensiodinamik adalah suatu metode untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan hubungan potensial dan arus anodik/katodik. Jika logam berada dalam kontak dengan larutan yang bersifat korosif. Pada pengujian polarisasi menggunakan larutan NaCl 3,5%, sedangkan alat pengujian menggunakan software NOVA AUTOLAB (Maulana) menghasilkan grafik pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva Polaris Tafel

Dari kurva polarisasi tafel pada gambar-6 didapatkan hasil uji polaris tafel seperti pada tabel 6.

Tabel 6. Analisis Polaris Tafel

Kecepatan Pengamatan (V/S)	Arus Korosi / Icorr ( $\mu\text{A}/\text{Cm}^3$ )	Potensial Korosi / Ecorr (Mv)	Laju Korosi (Mmpy)
0,005	2,75230	-732.460	0,031982

Tabel 6 menunjukkan kecepatan pengamatan pada software NOVA adalah 0,005 V/s, arus korosi (Icorr) yang terjadi pada benda uji 2,75230  $\mu\text{A}/\text{cm}^3$ , ptensial korosi (Ecorr) yang terjadi pada benda uji - 732.460 mV, dan laju korosi yang terjadi pada benda uji adalah 0,031982 mmpy. Pengujian *weight loss* dan polarisasi potensiodinamik siklik menggunakan larutan yang sama yaitu NaCl 3,5%, menghasilkan laju korosi dan sisa umur yang berbeda, jika diperhatikan lebih teliti perbedaan dari kedua pengujian tersebut adalah luas permukaan yang pada masing-masing pengujian, karena perbedaan luas permukaan tersebut mengakibatkan konsentrasi laju korosi yang berbeda.

Hasil dari pengujian *weight loss* dengan luas permukaan yang terendam adalah 196  $\text{cm}^2$  mengakibatkan kehilangan berat di seluruh bidang. Rata-rata kehilangan berat yang terjadi pada pengujian *weight loss* adalahh 0,0276 gram. dimana laju korosi yang terjadi pada bahan pipa API 5L Grade B dihitung menggunakan persamaan rumus maka hasilnya adalah 1,30783. Setelah di hitung menggunakan persamaan rumus (2) maka sisa umur pipa adalah  $\pm 2$  tahun, sedangkan jenis korosi yang terjadi pada pengujian weight loss berdasarkan pengamatan visual adalah korosi sumuran (pitting corrosion) karena terjadi pada permukaan yang terendam larutan NaCl 3,5%.



Hasil pengujian polarisasi potensiodinamik siklik dengan luas permukaan  $1 \text{ cm}^2$  menghasilkan kecepatan pengamatan pada software NOVA adalah  $0,005 \text{ V/s}$ , arus korosi ( $I_{\text{corr}}$ ) yang terjadi pada benda uji  $2,75230 \mu\text{A/cm}^3$ , potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ) yang terjadi pada benda uji  $-732.460 \text{ mV}$ , dan laju korosi yang terjadi pada benda uji adalah  $0,031982 \text{ mmpy}$ . Setelah di hitung menggunakan persamaan rumus (3) maka sisa umur  $\pm 158$  tahun. Jenis korosi yang terjadi akibat dilakukannya pengujian polarisasi potensiodinamik siklik berdasarkan pengamatan visual adalah korosi sumuran (*pitting corrosion*) karena terjadi pada permukaan yang terendam larutan NaCl 3,5% dan diberikan arus searah dari luar.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

Setelah dilaksanakan pengujian, pengolahan data, dan analisa data didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Laju korosi yang terjadi setelah pengujian adalah Pengujian weight loss :  $1,30783 \text{ mmpy}$  dan Pengujian Polaris tabel :  $0,031982 \text{ mmpy}$
2. Setelah diketahui laju korosi diketahui sisa umur pemakaian yaitu: Pengujian weight loss :  $\pm 2$  tahun dan Pengujian Polaris tabel :  $\pm 158$  tahun
3. Perbedaan laju korosi dari pengujian weight loss dan polarisasi potensiodinamik siklik diakibatkan dari luas permukaan yang difokuskan.
4. Berdasarkan pengamatan visual jenis korosi yang terjadi dari pengujian weight loss dan polarisasi potensiodinamik siklik adalah korosi sumuran
5. Faktor yang menyebabkan korosi setelah pengujian menggunakan larutan NaCl 3,5% adalah kandungan Chloride yang menyerang lapisan logam dan faktor pH yang cukup asam yaitu pH 4.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Adnyana, D. N. (2018). Korosi pada baja karbon.  
API (American Petroleum Institute). (2004). API 5L—Specification for Line Pipe  
ASM Handbook. Vol 13A. (2003). Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection  
ASME B.31G. (1991). Manual for determining the remaining strength of corroded pipeling.  
Budi. Utomo. (2009). Jenis korosi dan penanggulangannya. KAPAL. Vol 6. No 2.  
Jenis beban dalam system pemipaan. (2014). Sumber : (<http://www.idpipe.com/2014/11/jenis-beban-dalam-sistem-pemipaan.html>)  
Jones. Denny. (1992). Prinsiple and prevention of corrosion. New York: mcmillan publishing company  
Jurnal.of. energy. and. power. engineering.8. (2014). The life assessment of API 51 Grade B geothermal pipeline in correlation with corrosion under insulation.  
Meryanalinda, Andi Rustadi. Penghitungan dan analisa laju korosi dan sisa umur pipa gas API 5L Grade B menggunakan standar ASME B.31.8 dan API 570 serta perangkat lunak Rstreng pada PT. X