

Analisa Kegagalan Material pada Area Jalur Pipa M-2401B (AGITATOR) Menuju P-2401 (POMPA)

Iksan Prasetyo^{1*}, Budi Prasajo², Pekik Mahardhika³

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

Email: praretyo@gmail.com^{1*}

Abstract - In the chemical industry piping systems are the most important aspect in production. Material failures in the piping network in the chemical industry are often caused by corrosion and erosion, where interactions between the metal pipes and the fluid that flows happen. As happened in the short spool precisely on M-2401B (agitator) to P-2401 (pump) which has a leak. The fluid that is supplied is phosphoric acid which is pumped using a centrifugal pump. This final project analyzes the potential causes of leaks that occur in the short spool M-2401B towards P-2401 including analysis of corrosion potential using potentiostat testing, erosion potential refers to DNVGL-RP-0501, minimum thickness, life time. With the results of analysis and calculation, the company can minimize the potential for leakage in the short spool and then use FRP material as a coating and maintain the stability of production.

Keyword: Stainless Steel 316L, Corrosion Erosion, Potentiostat Test, Fiberglass Reinforced Pipe (FRP), Immersion Test, Minimum Wall Thickness, Lifetime.

Nomenclature

α	Sudut tumbukan [o]
A	Luasan permukaan [m ²]
Pd	Design pressure pump [MPa]
PoS	Operational pressure suction pompa [MPa]
PoD	Operational pressure discharge [MPa]
Td	Design temperature [°C]
To	Operational temperature [°C]
Q	Debit [m ³ /s]
ρ_m	Density mixture [kg/m ³]
dp	Diameter pasir [m]
\dot{m}_p	Mass flow of sand [kg/s]
pp	Densitas pasir [kg/m ³]
μ_m	Kekentalan campuran [kg/m.s]
pt	Densitas material [kg/m ³]
ID	Inside diameter [m]
OD	Outside diameter [m]
r	Jari-jari [m]
v	kecepatan aliran [m/s]
ER	Erosion rate [mm/year]
Up	Kecepatan impact [m/s]
n	velocity exponent [-]
Adp	Dimensionless parameter group [-]
At	Area exposed to erosion [m ²]
Cunit	Unit conversion factor [-]
K	Material erosion constant [(m/s)-n]
GF	Geometry factor [-]
F(α)	Function characterising ductility of material
G	Corrections function particle diameter [-]

1. PENDAHULUAN

Pada industri kimia sistem perpipaan merupakan aspek terpenting dalam menjalankan produksi. Kegagalan material pada jaringan perpipaan pada industri kimia sering disebabkan oleh korosi dan erosi, dimana terjadi interaksi antara logam pipa

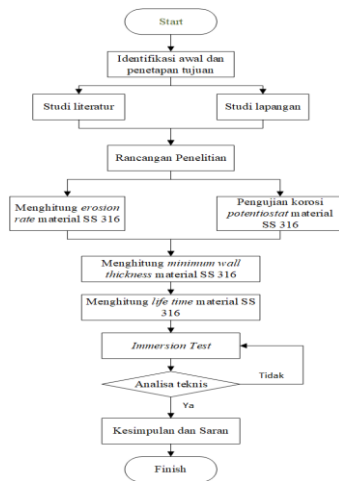
dengan fluida yang mengalir didalamnya. Seperti yang terjadi pada *spool* pendek tepatnya pada M-2401B (*agitator*) menuju P-2401 (*pump*) yang mengalami kebocoran. Bentuk *fluida* yang dialirkan adalah *asam phosphat* yang berbentuk *slurry* yang dipompa menggunakan *sentrifugal pump* M-2401B (*agitator*) menuju P-2401 (*pump*).

Pada tugas akhir ini akan menganalisa potensi-potensi penyebab kebocoran yang terjadi pada *spool* pendek M-2401B (*agitator*) menuju P-2401 (*pump*) meliputi analisa terhadap potensi korosi menggunakan pengujian *potentiostat*, potensi erosi mengacu pada DNVGL-RP-0501, ketebalan minimum, *life time*, serta menentukan pencegahan kebocoran yang tepat dan sesuai sistem operasi M-2401B (*agitator*) menuju P-2401 (*pump*) yang menggunakan material SS 316. Poin yang harus diperhatikan meliputi dimensi pipa, Ph fluida, debit aliran, diameter pasir yang terkandung dalam fluida, densitas fluida dan densitas material.

2. METODOLOGI.

2.1. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menganalisa potensi penyebab kebocoran serta dilakukan pengujian terkait ketahanan material dan menentukan pencegahan kebocoran yang tepat dan sesuai. Berikut Gambar 1.1 merupakan diagram alir penelitian :



Gambar 1.1 Diagram alir penelitian

2.2. Formula Matematika

Formula yang digunakan dalam perhitungan pada penelitian ini meliputi :

1. Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Metode yang digunakan untuk menghitung laju korosi adalah dengan metode elektrokimia atau polarisasi. Polarisasi adalah proses pengutuban ion hidrogen secara kimia listrik sehingga terbentuk gas hidrogen dengan bantuan pengikatan elektron yang dihasilkan dari proses degradasi logam.

$$\text{Laju Korosi (mmpy)} = K_1 \times \frac{i_{corr}}{\rho} \times E_w \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

- K1 = Berdasarkan ASTM G-102 hal. 3
- i_{corr}* = Berdasarkan grafik tabel penguji metode polarisasi potensiostat.
- ρ = densitas material (g/cm3)
- E_w = equivalent weight (g/mol)

Ada beberapa satuan yang biasa dipakai dalam menghitung laju korosi. Maka untuk memudahkan pembaca, tabel 2.1 dibawah ini adalah tabel pengkonversian satuan laju korosi :

Tabel 2.1 Konversi satuan laju korosi

	mA cm ²	mm year ⁻¹	mpy	g m ⁻² day ⁻¹
mA cm ²	1	3.28 M/nd	129 M/nd	8.95 M/n
mm year ⁻¹	0.306 nd/M	1	39.4	2.74 d
mpy	0.00777 nd/M	0.0254	1	0.0694 d
g m ⁻² day ⁻¹	0.112 nM	0.365 /d	14.4 /d	1

(Sumber :ASTM G1-03 Standart Practice for Preparing,Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Speciment)

Tabel 2.2 Klasifikasi ketahanan material berdasarkan laju korosi

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

Sumber : Denny A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion, hal 34

(Sumber :Denny A. Jones, Principles and Preparation of Corrosion hal 34)

2. Laju Erosi

Berdasarkan DNV RP0501 untuk menghitung laju erosi pada pipa diperlukan persamaan sebagai berikut:

$$E_L = 2.5 \times 10^{-5} \times U^{2.6} \times m_p \times ID^{-2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

- E_L = erosion rate (mm/year)
- U = kecepatan fluida (m/s)
- m_p = laju massa partikel (kg/s)
- ID = inside diameter pipa (m)

3. Minimum Thickness

Ketebalan minimal diperlukan dalam desain pipa untuk mengetahui kemampuan pipa dalam menahan tekanan fluida. Fluida yang mengalir secara kontinyu maupun tidak akan kontak dengan dinding pipa, hal itu juga berpotensi pipa mengalami penegetrosan sedikit demi sedikit. Perhitungan tebal minimum berdasarkan (ASME B31.3, 2014) adalah sebagai berikut :

$$T_m = \frac{P \cdot D}{2(SEW + PY)} + CA \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- T_m = minimum required thickness (mm)
- P = design pressure (Psi)
- OD = outside diameter (mm)
- S = stress value for material (-) (dari tabel A-1 ASME B31.3)
- E = quality factor (-) (dari tabel A-1A atau A-1B ASME B31.3)
- W = weld joint strange (-)
- Y = coefficient (-) (dari tabel 304.1.1 ASME B31.3 (Tabel 2.3))
- CA = corrosion allowance (-)

Tabel 2.3 Karakteristik korosi lingkungan

Factor	SCC	Fatigue corrosion	Hydrogen induced cracking
Stress	Static tensile	Cyclic + tensile	Static tensile
Aqueous corrosive	Specific to the alloy	Any	Any
Temperature increase	Accelerates	Accelerates	< Ambient: Increases > Ambient: Increases
Pure metal	Resistant	Susceptible	Susceptible
Crack morphology	Transgranular Intergranular Branched	Transgranular Unbranched Blunt tip	Transgranular Intergranular Unbranched Sharp tip
Corrosion products in cracks	Absent	Present	Absent
Crack surface appearance	Cleavagelike	Beach marks and/or striations	Cleavagelike
Cathodic polarization	Suppresses	Suppresses	Accelerates
Near maximum strength	Susceptible but minor	Accelerates	Accelerates

(sumber : handbook corrosion)

Tabel 2.4 Values of Coefficient Y (ASME B31.3 2016)

Material	Temperature, °C (°F)						
	482 (900) and Below	510 (950)	538 (1,000)	566 (1,050)	593 (1,100)	621 (1,150)	649 (1,200) and Above
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7
Nickel alloys UNS Nos. N06617, N08800, N08810, and N08875	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Gray iron	0.0
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

(Sumber : ASME B31.3 Table 304.1.1 values of coefficient Y for t < D/6)

4. Life Time Material

Setiap material memiliki sisa umur atau *lifetime* akibat dari faktor pemakaian. Pipa yang *terinstall* dan beroperasi semakin lama akan semakin menurun kualitasnya. Penurunan kualitas juga berpengaruh pada daya tahan material atau umur material.

Perhitungan lifetime mengacu standart API 570 seperti persamaan 2.8 berikut : (API 570, 2016)

$$Tr = \frac{t_{acc-tm}}{EL/CR} \dots\dots\dots(2.4)$$

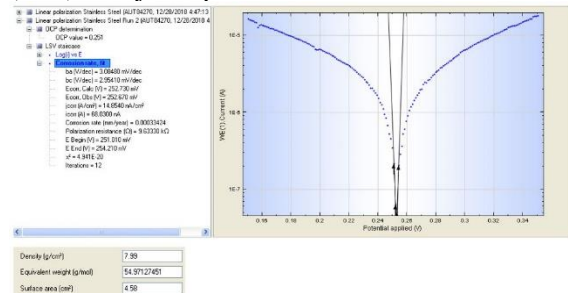
Dimana :

- Tr = remant lifetime (years)
- Tac = actual thickness (mm)
- Tm = thickness minimum (mm)
- EL = erosion rate (mm/years)
- CR = corrosion rate (mm/years)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Polarisasi Linier-Potentiostat Autolab (PGSTAT302N)

Pengujian dilakukan pada setiap material pipa yang terdapat pada aliran M-2401B (*agitator*) menuju P-2401 (*suction*). Material yang diuji adalah *stainless steel* 316L, dengan media pengkorosifan menggunakan fluida *Phosporic Acid Slurry* (PAS). Hasil pengujian korosi menggunakan alat potensiostat untuk material *stainless steel* 316L dengan menggunakan fluida *Phosporic Acid Slurry* (PAS) ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Hasil pengujian *potentiostat* *Stainless Steel* 316L fluida *Phosporic Acid Slurry* (PAS)

3.2. Perhitungan Laju Korosi dari Hasil Pengujian Potentiostat

Perhitungan laju korosi untuk pipa *Stainless Steel* 316L adalah sebagai berikut :

$$I_{corr} = 14,8540 \mu A/cm^2$$

$$\rho = 7,99 g/cm^3$$

$$K1 = 3,27 \times 10^{-3} mm \text{ gr}/\mu A \text{ cm yr}$$

$$EW = 54,971 g/mol$$

Bedasarkan data yang diperoleh seperti ditunjukkan diatas maka dapat dilakukan perhitungan laju korosi dengan persamaan (1) sebagai berikut :

$$\text{Laju Korosi (mmpy)} = K1 \frac{I_{corr}}{\rho} EW = 0,3341 \text{ mmpy}$$

3.3. Perhitungan Kecepatan Fluida

Kecepatan pada pipa akan dihitung menggunakan perhitungan manual. Data kecepatan merupakan nilai pertama yang didapatkan untuk mengetahui laju erosi pada pipa. Berikut perhitungan manual kecepatan pada pipa dengan persamaan sebagai berikut :

$$A = 0,019 m^2$$

$$Q = 0,14 m^3/s$$

$$V = 7,431 m/s$$

3.4. Perhitungan *Errorsion Rate*

Standar perhitungan untuk menentukan laju erosi pada pipa mengacu pada *standart* DNVGL RP-O501. Pipa yang digunakan pada perhitungan berupa pipa berukuran 6". Data yang dibutuhkan untuk menentukan laju erosi tertera pada perhitungan dengan persamaan 2.2 di bawah ini :

$$ER = 2,5 \times 10^{-5} \cdot U_p^{2,6} \cdot ID^{-2} \cdot m_p$$

dengan,
 U_p = Kecepatan *impact* partikel, m/s
 = 8,946 m/s

ID = Diameter dalam pipa, m
 = 0,168 m (dari Tabel 4.2)

m_p = *rate* massa dari pasir, kg/s
 = 1,044 kg/s (dari Tabel 4.1)

$$ER_{(SS \ 316L)} = 0,27558 \text{ mm/year}$$

Setelah didapatkan nilai laju erosi dari perhitungan manual, kemudian hasil perhitungan tersebut ditambahkan dengan nilai laju korosi dari data hasil pengujian *potentiostat* untuk mendapatkan nilai laju korosi erosi. Seperti pada Tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1 Nilai Laju Korosi Erosi

No	Equipment	Material	Laju korosi erosi
1	Pipa	SS 316L	0,60968 mm/year

Sumber : Hasil perhitungan manual

3.5. Perhitungan *Minimum Wall Thickness* SS 316L

Perhitungan ketebalan minimal berdasarkan code standard ASME B31.3 (*Process Piping*) yang tercantum pada persamaan 2.7. Di bawah ini tertera beberapa parameter tersebut seperti ditunjukkan pada Tabel di bawah :

Tabel 3.2 Data dari Industri

Parameter	Keterangan
Fluida	<i>Phosporic Acid Slurry</i> (PAS)
<i>Line List</i>	M-2401B menuju P-2401 (<i>suction</i>)
Temperatur	90 °C (operasi) 105 °C (desain)
Tekanan	0,1 (Mpa) 14,5038 (psi)

Sumber : Data perusahaan

Tabel 3.3 Satuan *Properties* Perhitungan *Wall Thickness* (SS 316L)

P (psi)	Do (inch)	S (psi)	W	E	Y	C
Pipa						
14,5038	6	38700	1	1	0,4	0,02

Keterangan :

P = Tekanan desain (psi)

Do = Diameter luar (inch)

S = *Allowable stress* (psi)

W = *Weld joint strength* (ASME B31.3 paragraf 302.3.5)

E = Efisiensi sambungan (ASME B31.3 Tabel A-1B hal 361)

Y = Koefisien Y (ASME B31.3 Tabel 304.1.1 hal.48)

C = *the assumed tolerance* (0,02 in. / 0.5 mm)

$$t = \frac{P \cdot Do}{2(S \cdot E \cdot W + P \cdot Y)} + CA$$

$$t = 0,025 \text{ mm}$$

$$tm = t + c$$

dengan,

$$t = 0,001 \text{ inch}$$

$$c = 0,02 \text{ inch}$$

$$t_m = 0,533 \text{ mm}$$

3.6. Perhitungan Life Time SS 316L

Perhitungan umur material bertujuan untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap fluida, *pressure*, dan *temperature* berdasarkan persamaan 2.4 yang mengacu pada API 570 sebagai berikut :

$$Tr = \frac{t_{acc} - t_m}{CR}$$

Keterangan :

Tr = *Remant Lifetime* (years)

t_{acc} = *Actual Thickness* (mm)

t_m = *Minimum Required design thickness* (mm)

CR = *Corrosion Erosion rate* (mm/years)

Material yang digunakan pada pada *spool* pendek aliran M-2401B (*agitator*) menuju P-2401 (*suction*) menggunakan material *stainless steel* 316L dengan ketebalan aktual dapat dilihat pada tabel 3.4 yaitu sebesar 7 mm dan fluida yang melewati adalah *Phosporic Acid Slurry* (PAS).

Tabel 3.4 Hasil Perhitungan Laju Korosi Erosi Pipa 6"

No	Material	Tebal Actual (t _{acc})	Tebal Minimum (t _m)	Laju Korosi Erosi (CR) (mm/year)
1	Stainless Steel 316L	7 mm	0,533 mm	0,60968

Sumber : Perhitungan Manual

Material *Stainless Steel* 316L

$$Tr = \frac{t_{acc} - t_m}{CR}$$

Keterangan :

$$t_{acc} = 7 \text{ mm}$$

$$t_m = 0,533 \text{ mm}$$

$$CR = 60968 \text{ mm/years}$$

$$TR = 10,607 \text{ year}$$

3.7. Material FRP

Fiber reinforced plastic atau sering diterjemahkan menjadi serat gelas adalah kaca cair yang ditarik menjadi serat tipis dengan garis tengah sekitar 0,005 mm - 0,01 mm. Serat ini dapat dipintal yang kemudian diresapi dengan resin sehingga menjadi bahan yang kuat dan tahan korosi untuk digunakan sebagai badan mobil dan bangunan kapal.


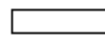


Tabel 3.5 Data Material FRP

Equipment	OD (mm)	ID (mm)	Density (kg/m3)
Spool Pipa 6"	168	154	1660,8

3.8. Perhitungan Luas Area

Perhitungan luas area dilakukan untuk menghitung luasan spesimen FRP yang terpapar oleh fluida pada saat pengujian. Didapatkan hasil luas area total yang terpapar fluida. Fluida yang di gunakan adalah *Phosporic Acid Slury* (PAS). Perhitungan yang di gunakan seperti pada tabel 3.5 :

Tabel 3.5 Gambar dan Rumus Perhitungan Luas Permukaan

No	Gambar	Rumus
1	Area 1 dan 2 	$L = (p \times l) - (\pi r^2)$
2	Area 3 dan 4 	$L = (p \times l)$
3	AREA 5 & 6 	$L = p \times t$
4	AREA 7 	$L = 2\pi r t$
Total Luas Permukaan		$L_{acc} = \text{bidang 1} + \text{bidang 2} + \text{bidang 3} + \text{bidang 4} + \text{bidang 5} + \text{bidang 6} + \text{bidang 7}$

Luas area spesimen FRP

$$\text{Luas area 1} = p \times l - (\pi \times r^2) = 74,738 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas area 2} = p \times l - (3,14 \times r^2) = 74,738 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas area 3} = p \times t = 4,400 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas area 4} = p \times t = 4,400 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas area 5} = l \times t = 4,300 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas area 6} = l \times t = 4,300 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas area 7} = 2 \times \pi \times r \times t = 0,942 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas Total} = \text{Luas 1} + \text{Luas 2} + \text{Luas 3} + \text{Luas 4} + \text{Luas 5} + \text{Luas 6} + \text{Luas 7} = 167,818 \text{ cm}^2$$

Dari perhitungan luas tersebut, didapatkan hasil luasan total setiap spesimen yang terpapar oleh media asam phosphat.

3.9. Perhitungan Kecepatan

Perhitungan kecepatan dilakukan dengan cara manual. Data perhitungan kecepatan yang dihasilkan kemudian akan digunakan untuk menghitung RPM yang akan di gunakan untuk pengujian. Berikut langkah-langkah menghitung kecepatan aliran :

Diameter pipa 6"

$$ID = 154 \text{ mm}$$

$$OD = 168 \text{ mm}$$

$$Q = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Menghitung kecepatan aliran :

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot ID^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (0,154)^2$$

$$= 0,019 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,14 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,019 \text{ m}^2}$$

$$= 7,431 \text{ m/s}$$

Dari perhitungan di atas ditemukan kecepatan fluida asam fosfat adalah 7,431 m/s. Setelah itu dikonversi menjadi satuan rpm yang digunakan dalam pengujian.

$$Rpm = \frac{60.000 \times \text{speed in m/s}}{\pi \times \text{diameter (mm)}} = 290 \text{ rpm}$$

3.10. Uji Immersion Test

Dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan pengujian terhadap material FRP dengan *immersion test*, yaitu *immersion test* pada fluida bergerak. Sebelum melakukan pengujian dilakukan pengukuran berat awal yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan hasil sebelum dan sesudah pengujian.

Pengujian *immersion test* fluida bergerak dilakukan selama 18 jam dengan suhu fluida sebesar 90°C. Kecepatan putaran yang dilakukan pada proses uji yaitu sebesar 290 rpm. Setelah dilakukannya pengujian *immersion test* selama 18 jam pada spesimen FRP. Dilakukan pengukuran berat kembali untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada setiap spesimen.



Gambar 3.2 Pengurangan berat pada spesimen FRP sebelum dan sesudah pengujian

Dari hasil pengujian di atas, didapatkan pengurangan berat pada spesimen sebanyak 0,0005 g. Setelah itu, dilakukan perhitungan *Corrosion rate* dengan mengacu pada standart ASTM G31.

3.11. Perhitungan Corrosion Rate

Setelah didapatkan hasil pengurangan pada spesimen, maka dilakukan perhitungan *corrosion rate* dengan mengacu pada standart ASTM G31. Berikut langkah-langkah perhitungan yang dilakukan:

$$\text{Corrosion rate} = \frac{k \cdot w}{A \cdot T \cdot \rho}$$

Diketahui :

- k = Constant factor
- Time = Time of exposure (h)
- ρ material = Density (g/cm³)
- W = weight lose (g)
- A = luas area (cm²)

Immersion Test Spesimen FRP

Diketahui :

- k = 87600
- Time = 18 jam
- ρ material = 1,6608 g/cm³
- W = 0,0003 g
- A = 167,818 cm²

$$\text{Corrosion rate} = \frac{k \cdot w}{A \cdot T \cdot \rho} = 0,004 \text{ mm/years}$$

Dari hasil perhitungan manual *corrosion rate* di atas, didapatkan nilai *corrosion rate* sebesar 0,006

mm/years pada spesimen FRP yang selanjutnya akan digunakan untuk perhitungan *life time* dengan mengacu pada standart API 570.

3.12. Perhitungan Minimum Thickess FRP

Perhitungan *minimum thickness* nantinya akan di gunakan dalam perhitungan *ilife time*, sedangkan untuk FRP yang termasuk dalam kategori material *non logam*, rumus yang digunakan berdasarkan API 15 HR dan merujuk pada data operasi perusahaan. Berikut langkah-langkah perhitungan yang dilakukan:

$$T_{RP} = \frac{PN \cdot ID}{2 Sf \cdot Ss - PN}$$

Dimana :

- PN : Design pressure (psi)
- ID : inside diameter pipa (inch)
- Sf : Serfice factor (0,67)
- Ss : Long Term Hydrostatic Strenght (LCL 95%)

T_{RP} : minimum wall thickness (mm)

minimum wall thickness FRP

Dimana :

- PN : 14,5038 psi
- ID : 2,00 inch
- Sf : 0,67
- Ss : 16911,4 psi

$$T_{RP} = \frac{PN \cdot ID}{2 Sf \cdot Ss - PN} = 0,032534 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan manual *minimum wall thickness* FRP di atas, didapatkan nilai *minimum wall thickness* FRP sebesar 0,032534 mm pada spesimen FRP yang selanjutnya akan digunakan untuk perhitungan *life time* dengan mengacu pada standart API 570.

3.13. Perhitungan Life Time FRP

Perhitungan umur material bertujuan untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap fluida, *pressure*, dan *temperature* yang mengacu pada API 570 sebagai berikut :

$$Tr = \frac{t_{acc} - t_m}{CR}$$

Dimana :

- Tr = Remant Lifetime (years)
- tacc = Actual Thickness (mm)
- t_m = Minimum Required desaign thickness (mm)
- CR = Corrosion Erosion rate (mm/years)

Life Time FRP

Dimana :

- tacc = 4,3 mm
- t_m = 0,032534 mm
- CR = 0,004 mm/years

$$Tr = \frac{t_{acc} - t_m}{CR} = \frac{4,3 \text{ mm} - 0,032534 \text{ mm}}{0,004 \text{ mm/years}} = 1066,86 \text{ years}$$

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian “Analisa Kegagalan Material Pada Area *Spool* Pendek *Line* M-2401B (*Agitator*) To P-2401 (*Pump*)” yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian *potentiostat* dengan media pengkorosifan menggunakan fluida *Phosporic Acid Slurry* (PAS), nilai laju korosi material *Stainless Steel* 316L didapatkan nilai sebesar 0,3341 *mmpy*.
2. Hasil perhitungan manual *erosion rate* pada pipa area *spool* pendek *line* M-2401B (*agitator*) menuju P-2401 (*pump*), nilai laju erosi material *Stainless Steel* 316L didapatkan nilai sebesar 0,27558 *mmpy*.
3. Hasil perhitungan manual *minimum thickness* pada pipa material *Stainless Steel* 316L dengan parameter sistem operasi area *spool* pendek *line* M-2401B (*agitator*) menuju P-2401 (*pump*) didapatkan nilai *minimum thickness* sebesar 0,533 mm.
4. Setelah dilakukan perhitungan dari pengujian *potentiostat*, *erosion rate*, dan *minimum thickness* terhadap material *Stainless Steel* 316L pada area *spool* pendek *line* M-2401B (*agitator*) menuju P-2401 (*pump*) didapatkan nilai *life time* material *Stainless Steel* 316L sebesar 10,607 *years*.
5. Hasil pengujian *immersion test* yang dilakukan terhadap material *Fiberglass Reinforced Plastic* (FRP) dengan *service condition* pada area *spool* pendek *line* M-2401B (*agitator*) menuju P-2401 (*pump*) berkadar pH fluida 1,7 dan *temperature* operasi 90 °C dapat bertahan tahun yakni 1066,86 *years*.
6. Dari segi teknis dilihat dari ketahanan material mengacu pada hasil laju korosi dan perhitungan *lifetime* sudah cukup jelas bahwa material FRP dapat dijadikan sebagai pencegahan terhadap kebocoran pada sistem perpipaan. Dengan hasil analisa teknis yang dilakukan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa perusahaan dapat menghemat biaya dan efisiensi waktu jika menggunakan material FRP sebagai pelapisan sistem perpipaan dalam upaya pencegahan kebocoran, selain itu pelapisan menggunakan material FRP juga bertahan lebih lama sehingga dapat menjaga kestabilan produksi.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam pembuatan penelitian ini. Pihak yang dimaksud adalah:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan materi, motivasi, kasih sayang, do'a, dan nasehat hidup bagi penulis.
2. Bapak Budi Prasajo, selaku dosen pembimbing I yang selalu memberi pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan jurnal tugas akhir.

3. Bapak Pekik Mahardhika, selaku dosen pembimbing II yang selalu memberi pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan jurnal tugas akhir.
4. Keluarga besar program studi Teknik Perpipaan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] API 570. (2016). *Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems* (Fourth Edi). Washington.
- [2] ASME B31.3. (2014). *Process Piping (ASME Code for Pressure Piping, B31)*. New York, USA: THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS.
- [3] ASTM G102. (1994). *Standard Practice for Calculation of Information from Electrochemical Corrosion Rates and Related Measurements*.
- [4] DNV RP0501. (2015). *RECOMMENDED PRACTICE RP 0501 EROSION WEAR IN PIPING SYSTEMS REVISION*.
- [5] Putra, A. A., Prasajo, B., & Sidi, P. (2017). Analisa Kerusakan Water Wall Tube Pada Coal Boiler (Studi Kasus PT Ecogreen Oleochemicals Batam). *2nd Conference on Piping Engineering and Its Application*, 3–6. Retrieved from <http://journal.ppns.ac.id/index.php/CPEAA/article/view/416/372>
- [6] Shochib, M., & Maryanta. (2013). ANALISIS SISTEM PROTEKSI KOROSI UNTUK PIPA PETROLEUM GAS, MATERIAL API-5L X52 (ø 20”, Sch. 40, 8560m). *Jurnal Keilmuan Dan Terapan Teknik*, 02, 72–80. Retrieved from <http://journal.unigres.ac.id/index.php/WahanaTeknik/article/view/511>
- [7] Wahyu, M., Prasajo, B., & Wismawati, E. (2018). Pengaruh Fluida Phosporic Acid Slurry Terhadap Laju Korosi Erosi pada Material Super Duplex 2507 dan Hastelloy G-30 pada Sistem Perpipaan R-2304 Menuju P-2302-B (Suction) di PT. Petro Jordan Abadi - Gresik. *3rd Conference on Piping Engineering and Its Application*, 163–168. Retrieved from <http://journal.ppns.ac.id/index.php/CPEAA/article/view/538/718>
- [8] Yunan, A. M., Prasajo, B., & Wismawati, E. (2017). Analisa Laju Erosi dan Perhitungan Lifetime Terhadap Material *Stainless Steel* 304, 316, dan 317 pada Aliran Reject 1st Cleaner to 2nd Cleaner OCC Line Voith Unit Sp 3-5 di PT.PAKERIN (Pabrik Kertas Indonesia). *2nd Conference on Piping*