

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.

Muhammad Wahyu^{1*}, Budi Prasajo², Endah Wismawati³

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

Email: wahyucuz13@gmail.com^{1*}; budiprasajo1968@ppns.ac.id^{2*}; endahw@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - Corrosion erosion is one of the important problems that often occur in piping systems with slurry phosphoric acid fluids. PT. Petro Jordan Abadi is one of the companies that has serious problems with frequent leakage on its pipeline due to erosion corrosion in the R-2304 to P-2302-B (*suction*). Points to consider include the dimensions of pipe equipment, elbow and reducer, flow discharge, fluid diameter contained in fluid, fluid density and material density, market price of equipment either *Super Duplex 2507* or *Hastelloy G-30*. Highest speed value based on manual calculation and ANSYS software modeling occurs in the reducer of 4.718 m/s and 4.741 m/s. The highest rate of erosion corrosion in the reducer with an average value of 0.61486 mm/year and the lowest erosion corrosion rate in pipes with an average value is 0.49749 mm/year. The shortest life time value occurs in the reducer (*Super Duplex 2507*) with an average value of 12 years and the longest life time value in pipes and elbows (*Hastelloy G-30*) with an average of 26 years. Based on the economic calculations, material that have the cheapest value is *Hastelloy G-30* worth Rp. 346,599,995.

Keyword: Velocity, Erosion Corrosion, Minimum Wall Thickness, Lifetime, Economic.

Nomenclature

α	sudut tumbukan ($^{\circ}$)
<i>Rcurvature</i>	radius of curvature (-)
A	dimensionless parameter group (-)
ρ_m	densitas fluida campuran (kg/m ³)
ID	inside diameter (m)
ρ_p	densitas partikel (kg/m ³)
μ_m	viskositas fluida campuran (kg/m.s)
Up	kecepatan tumbukan partikel (m/s)
γ_c	critical particle diameter (-)
G	the particle size correction (-)
γ	dp/ID (-)
A _t	luasan yang terkena erosi (m ²)
EL	Laju Erosi (mm/year)
K	material konstanta [(m/s) ⁻ⁿ]
n	velocity exponent
ρ_t	density material (kg/m ³)
C1	model/geometry factor (-)
GF	faktor geometri (-)
\dot{m}	laju massa partikel (kg/s)
Cunit	unit faktor konversi (-)
Tacc	Actual thickness (mm)
Tm	Minimum wall thickness (mm)
CR	Corrosion rate (mm/year)

1. PENDAHULUAN

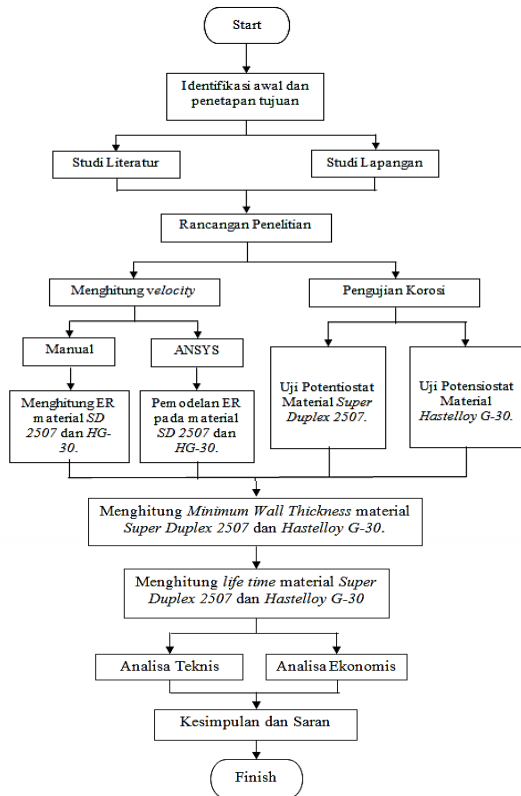
Korosi erosi merupakan salah satu masalah penting penyebab terjadinya kegagalan pada material, baik itu pada sistem perpipaan maupun suatu *equipment* yang ada di dunia industri. Dalam proses produksi pada jalur perpipaan dari

R-2304 menuju P-2302 B (*suction*) di unit *Digester Area* fluida yang mengalir adalah PAS (*Phosporic Acid Slurry*) sering terjadi korosi dan erosi adalah *equipmentnya* seperti seperti *elbow* dan *reducer* di sistem perpipaan R-2304 menuju P-2302-B (*suction*). Berdasarkan masalah tersebut, maka pada penelitian ini akan menganalisa 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 di PT. Petro Jordan Abadi - Gresik. Penelitian ini akan dilakukan dengan pengujian korosi metode *potentiostat* yang mengacu pada standar ASTM G-102 dan perhitungan manual yang mengacu pada standar DNVGL – RP O501 serta dilakukan analisa pemodelan kecepatan aliran dan laju korosi erosi dengan *software ANSYS 17.2*. kemudian dilakukan perhitungan *minimum wall thickness* untuk mengetahui ketebalan minimal yang diijinkan, selanjutnya menghitung umur dari perbandingan kedua material tersebut. Dan dilakukan perhitungan ekonomis dari segi harga material, perbaikan, hingga pemasangan kembali *equipment* yang dianalisa.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menganalisa perbandingan hasil perhitungan manual dan pemodelan *software ANSYS 17.2* serta dilakukan pengujian terkait ketahanan material. Berikut Gambar 1. merupakan diagram alir penelitian:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Formula Matematika

Formula yang digunakan dalam perhitungan – perhitungan pada penelitian ini meliputi:

1. Laju Erosi

Berdasarkan DNVGL-RP O501 untuk menghitung laju erosi pada elbow diperlukan langkah – langkah sebagai berikut.

- Menghitung sudut tumbukan (α)

$$\alpha = \arctan \left(\frac{1}{\sqrt{2 \cdot R_{curvature}}} \right) \quad (1)$$

dimana,

α = sudut tumbukan ($^{\circ}$)
 $R_{curvature}$ = radius of curvature (-)

- Menghitung the dimensionless parameter group (A)

$$A = \frac{\rho_p^2 \cdot \tan(\alpha) \cdot U_p \cdot ID}{\rho_p \cdot \mu_m} \quad (2)$$

dimana,

A = dimensionless parameter group (-)
 ρ_m = densitas fluida campuran (kg/m^3)
 α = sudut tumbukan ($^{\circ}$)
 ID = inside diameter (m)
 ρ_p = densitas partikel (kg/m^3)
 μ_m = viskositas fluida campuran (kg/m.s)
 U_p = kecepatan tumbukan partikel (m/s)

- Menentukan nilai critical particle diameter

$$\gamma_c = \frac{\rho_m}{\rho_p \cdot [1.88 \cdot \ln(A) - 6.04]} \quad , \quad \gamma_c < 0,1 \quad (3)$$

dimana,

γ_c = critical particle diameter (-)
 ρ_m = densitas fluida campuran (kg/m^3)
 ρ_p = densitas partikel (kg/m^3)
 A = the dimensionless parameter group (-)

- Menghitung the particle size correction fungsi G

$$G = \begin{cases} \frac{\gamma}{\gamma_c}, \gamma < \gamma_c \\ 1, \gamma \geq \gamma_c \end{cases} \quad (4)$$

dimana,

G = the particle size correction (-)
 γ_c = critical particle diameter (-)
 γ = dp/ID (-)

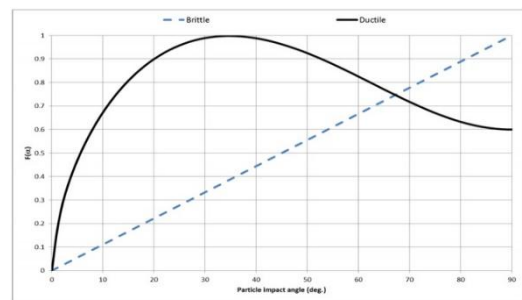
- Menghitung the characteristic pipe bend area exposed to erosion

$$A_t = \frac{\pi}{4 \cdot \sin(\alpha)} \quad (5)$$

dimana,

A_t = luasan yang terkena erosi (m^2)
 ID = inside diameter pipa (m)
 α = sudut tumbukan ($^{\circ}$)

- Mencari nilai $F(\alpha)$ menggunakan sudut (α) dari grafik di bawah ini



Gambar 2. Grafik Nilai $F(\alpha)$

- Mencari nilai model/geometry factor (C1)
 $C1 = 2.5$ (6)

- Mencari nilai unit conversion factor (m/s → mm/year)
 $C_{unit} = 1000 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 = 3,15 \cdot 10^{10}$ (7)

- Menghitung erosion rate
 $EL = \frac{K \cdot F(\alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot U_p^n}{\rho_t \cdot A_t} \cdot G \cdot C1 \cdot GF \cdot \dot{m}_p \cdot C_{unit}$ (8)

Keterangan:

EL = Laju Erosi (mm/year)
 K = material konstanta [(m/s)⁻ⁿ]
 α = sudut tumbukan ($^{\circ}$)
 U_p = kecepatan tumbukan partikel (m/s)
 n = velocity exponent
 ρ_t = density material (kg/m^3)
 A_t = luasan yang terkena erosi (m^2)
 G = the particle size correction (-)
 C1 = model/geometry factor (-)
 GF = faktor geometri (-)

\dot{m} = laju massa partikel (kg/s)
 Cunit = unit faktor konversi (-)

2. Lifetime

Dalam menghitung *lifetime* menggunakan standar API 570, karena yang terjadi adalah korosi dan erosi maka *thickness* material dikurangi *minimum wall thickness* kemudian dibagi dengan laju korosi ditambah dengan laju erosi seperti formula di bawah ini:

$$Lifetime = \frac{T_{acc} - T_m}{CR} \quad (9)$$

dimana,

T_{acc} = *Actual thickness* (mm)

T_m = *Minimum wall thickness* (mm)

CR = *Corrosion rate* (mm/year)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

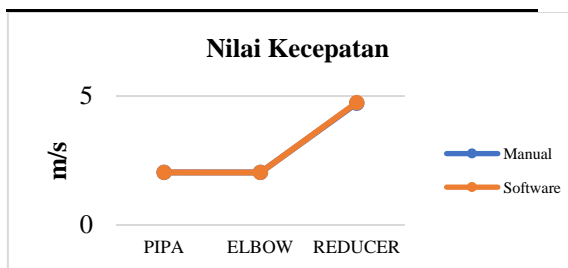
Dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan hasil perhitungan kecepatan manual dan pemodelan *software* ANSYS, kemudian kedua material dilakukan pengujian *potentiostat* untuk mendapatkan hasil laju korosi yang nantinya akan dijadikan data untuk ditambahkan ke hasil perhitungan laju erosi. Setelah itu dilakukan perhitungan *minimum wall thickness*, yang mana selanjutnya hasil tersebut digunakan untuk mencari nilai *lifetime* dari kedua material. Dan terakhir dilakukan analisa perhitungan ekonomis.

3.1 Perhitungan Kecepatan

Dari hasil nilai hitung kecepatan secara manual pada semua *equipment*.

Tabel 1: Hasil perhitungan kecepatan secara manual dan *software*

Equipment	Nilai Kecepatan (m/s)	
	Software	Manual
Pipa	2,037	2,037
Elbow	2,035	2,037
Reducer	4,741	4,718



Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai Kecepatan

3.2 Pengujian Potentiostat

Dari hasil pengujian polarisasi *linier-Potentiostat Autolab* (PGSTAT302N) didapatkan nilai laju korosi seperti pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2: Nilai Laju Korosi

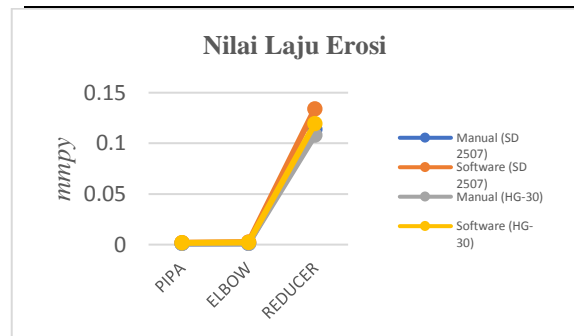
Material	Percobaan	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Rata-rata (mmpy)
Super Duplex 2507	1	0,65192	0,64719
	2	0,65164	
	3	0,63802	
Hastelloy G-30	1	0,33251	0,34492
	2	0,34791	
	3	0,35434	

3.3 Perhitungan Laju Erosi

Dari hasil perhitungan manual yang sesuai dengan standar DNVGL-RP O501 didapatkan hasil laju erosi yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 3 di bawah ini.

Tabel 3: Hasil Perhitungan Laju Erosi Secara Manual dan *Software*

Equipment	Nilai Laju Erosi (mmpy)			
	Super Duplex 2507		Hastelloy G-30	
	Manual	Software	Manual	Software
Pipa	0,00111	0,00179	0,00111	0,00171
Elbow	0,00121	0,00235	0,00115	0,00214
Reducer	0,11378	0,13407	0,10796	0,11939



Gambar 4. Grafik Nilai Laju Erosi

3.4 Perhitungan Minimum Wall Thickness

Dari hasil perhitungan *minimum wall thickness* yang mengacu pada ASME B31.3 didapatkan nilai ketebalan minimal *equipmentnya* yang ditunjukkan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4: Nilai Minimum Wall Thickness Semua Equipment

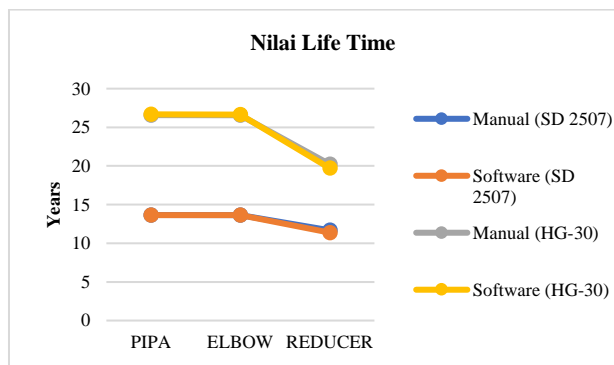
No	Equipment	Minimum Wall Thickness	
		Super Duplex 2507 (mm)	Hastelloy G-30 (mm)
1	Pipa 16"	0,584	0,634
2	Elbow 16"	0,584	0,634
3	Reducer 16"x10"	0,559	0,593

3.5 Perhitungan Lifetime

Dari hasil perhitungan *lifetime* yang mengacu pada API 570 didapatkan nilai umur pada kedua material.

Tabel 5: Hasil Perhitungan Life Time Seluruh Equipment

No	Equipment	Life Time	
		Manual	Software
Super Duplex 2507			
1	Pipa 16"	13,753 tahun	13,738 tahun
2	Elbow 16"	13,751 tahun	13,726 tahun
3	Reducer 16"x10"	11,749 tahun	11,444 tahun
Hastelloy G-30			
4	Pipa 16"	25,621 tahun	25,722 tahun
5	Elbow 16"	25,618 tahun	25,690 tahun
6	Reducer 16"x10"	19,668 tahun	19,183 tahun



Gambar 5. Grafik Nilai Lifetime

3.6 Perhitungan Ekonomis

Perhitungan ekonomis terhadap penggantian *equipment* pada *line* R-2304 menuju P-2302-B didapatkan nilai seperti pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6: Hasil perhitungan ekonomis semua material

Rencana Penggantian Material			
Material	Biaya	Penggantian (Range 24 tahun)	Total Biaya
Carbon Steel	Rp. 112.994.189	4	Rp. 451.976.755
Super Duplex 2507	Rp. 243.830.063	2	Rp. 487.660.127
Hastelloy G-30	Rp. 346.599.995	1	Rp. 346.599.995

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisa pada hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kecepatan aliran yang paling tinggi terjadi di *reducer*, dari perhitungan manual didapatkan nilai sebesar 4,718 m/s dan pemodelan *software* ANSYS tidak jauh berbeda yaitu sebesar 4,741 m/s.
2. Nilai laju erosi tertinggi terletak di *reducer* yang menggunakan material *Super Duplex 2507*, nilai yang didapatkan dari perhitungan manual adalah sebesar 0,11378 *mmpy* dan dengan pemodelan *software* ANSYS sebesar 0,13407 *mmpy*. Sedangkan nilai laju erosi terendah terletak di pipa yang menggunakan material *Hastelloy G-30*, dengan perhitungan

manual sebesar 0,00111 *mmpy* dan pemodelan *software* ANSYS sebesar 0,00171 *mmpy*.

3. Dari hasil pengujian *potentiostat*, nilai laju korosi material *Super Duplex 2507* lebih besar dibandingkan material *Hastelloy G-30*. Nilai laju korosi material *Super Duplex 2507* sebesar 0,64719 *mmpy*, sedangkan *Hastelloy G-30* sebesar 0,34492 *mmpy*.
4. Nilai *minimum wall thickness* yang dibutuhkan pada material *Hastelloy G-30* lebih besar dibandingkan material *Super Duplex 2507* pada semua *equipment*, hal ini disebabkan karena nilai *Allowable Stress* yang dimiliki material *Hastelloy G-30* lebih kecil dibandingkan material *Super Duplex 2507*.
5. Dari hasil perhitungan keseluruhan *equipment*, nilai *life time* material *Hastelloy G-30* lebih lama dibandingkan material *Super Duplex 2507*. Dimana material *Hastelloy G-30* mampu bertahan hingga 25,722 tahun atau 26 tahun lamanya, sedangkan *Super Duplex 2507* hanya mampu sampai 11,444 tahun atau 12 tahun saja.
6. Hasil analisa perhitungan ekonomis apabila dilakukan perbaikan atau penggantian, material *Hastelloy G-30* memiliki nilai ekonomis yang lebih sedikit dibandingkan material *Super Duplex 2507*. Material *Hastelloy G-30* hanya membutuhkan biaya sekitar Rp. 346.599.995, sedangkan material *Super Duplex 2507* membutuhkan biaya sekitar Rp. 487.660.127.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

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. Ibu Endah Wismawati, selaku dosen pembimbing II yang selalu memberi pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan jurnal tugas akhir.
4. Pembimbing dari PT. PJA yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu.
5. Keluarga besar program studi Teknik Perpipaan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ansari. (2012). *Two-Phase Gas/Liquid-Solid Flow Modelling in 90° Bends and Its Effect on Erosion*.

- [2] ANSYS. (2013). *ANSYS Fluent Tutorial Guide*. U.S.A: ANSYS, Inc.
- [3] API 570. (2016). *Piping Inspection Code: In-Service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems*. Washington DC: American Petroleum Institute.
- [4] ASME B31.3. (2012). *Process Piping*. USA: The American Society of Mechanical Engineering.
- [5] ASTM G-05. (1999). *Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements*.
- [6] ASTM G-102. (1994). *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*.
- [7] DNVGL-RP-0501. (2015). *Managing sand production and erosion*.
- [8] Tidar, F. R. (2015). Analisa Pemilihan Material *Stainless Steel* yang Menyebabkan Terjadinya *Stress Corrosion Cracking* dengan Fluida Asam *Phosphat* (H_3PO_4).
- [9] Wildan. (2016). Analisa pengaruh perubahan laju aliran terhadap laju erosi dari *production separator menuju gas scrubber*. *Proceeding 1st Conference of Piping Engineering and its Application*.
- [10] Wuhuan Engineering Co.,LTD. (2010). *Data Sheet for PT. Petro Jordan Abadi Gresik. Outokumpo Hight Performance Stainless*.
- [11] Yunan, M. A. (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)*. *Proceeding 2nd Conference of Piping Engineering and its Application*.

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)