

## Pengaruh Laju Korosi Erosi Terhadap Lifetime Material Carbon Steel A53 Grade B, Stainless Steel 304, dan Stainless Steel 316 pada Aliran Weighed Juice Return Pipe di Industri Gula

Galih Inggrit Winarto<sup>1\*</sup>, Endah Wismawati<sup>2</sup>, Fipka Bisono<sup>3</sup>

Program studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>1,2</sup>

Program studi D-IV Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>3</sup>

Email: [galih.iwn@gmail.com](mailto:galih.iwn@gmail.com)<sup>1\*</sup>; [endahsaputra60@gmail.com](mailto:endahsaputra60@gmail.com)<sup>2</sup>; [fipkabizz@gmail.com](mailto:fipkabizz@gmail.com)<sup>3</sup>;

**Abstract** - Line weighed juice return pipe is used to return juice to the tank if overflow when entering the juice heater. Juice flows with 40-60°C temperature, 4.5-5.5 of PH values and carries sands. This line using Carbon Steel A53 material, there is a leakage occurs in the reducer due to erosion corrosion that effect to economic losses. This final project compares the effectiveness of using Carbon Steel A53, Stainless Steel 304 and Stainless Steel 316 materials from technical and economical factor. The technical factor is analyzed erosion rate with DNV RP 0501 standard and ANSYS modeling software, then analyzed corrosion rate using immersion test with 40,50, and 60°C of temperature, 4,5, 5, and 5,5 of PH values. The economic factor compares material prices and economic losses. The result of manual calculation and software modeled shows that the highest erosion corrosion rate is 1,5893 mmpy, and 1.590 mmpy. The lowest erosion corrosion rate is 0.0248 mmpy and 0.0208 mmpy. The highest lifetime value is 193,421 years and 246,407 years. The shortest lifetime value is 2,232 years and 2,230 years. From technical and economical analysis shows that the effective replacement is Stainless Steel 316 reducer material with the total cost Rp 187.622.269,2.

**Keyword:** Economic, Erosion Corrosion, Immersion Test, Leakage of reducer, Lifetime.

### Nomenclature

**Pd** = Design pressure pump [MPa]  
**PoS** = Operational pressure suction pump [MPa]  
**PoD** = Operational pressure discharge pump [MPa]  
**Td** = Design temperature [°C]  
**Top** = Operational temperature [°C]  
**Q** = Debit [m<sup>3</sup>/s]  
**Pm** = Density mixture [kg/m<sup>3</sup>]  
**dp** = Diameter partikel (pasir) [m]  
**m<sub>p</sub>** = Mass flow of sand [kg/s]  
**ρ<sub>p</sub>** = Densitas pasir [kg/m<sup>3</sup>]  
**μ<sub>m</sub>** = Kekentalan campuran [kg/m<sup>3</sup>]  
**ρ<sub>t</sub>** = Densitas material [kg/m<sup>3</sup>]  
**ID** = Inside diameter [m]  
**OD** = Outside diameter [m]  
**R** = Jari-jari [m]  
**A** = Luasan permukaan [m<sup>2</sup>]  
**V** = Kecepatan aliran [m/s]  
**E<sub>L</sub>** = Erosion rate [mm/year]  
**U<sub>p</sub>** = Kecepatan impact partikel [m/s]  
**A** = Sudut tumbukan [°]  
**n** = velocity exponent [-]  
**A<sub>dp</sub>** = Dimensionless parameter group [-]  
**At** = Area exposed to erosion [m<sup>2</sup>]  
**Cunit** = Unit conversion factor [-]  
**K** = Material erosion constant [(m/s)-n]

**GF** = Geometry factor [-]  
**F(α)** = Function characterizing ductility of material [-]  
**G** = Corrections function for particle diameter [-]  
**C1** = Particle size correction factor [-]  
**ID1** = Inside diameter terbesar [m]  
**ID2** = Inside diameter terkecil [m]  
**Aratio** = Area ratio between cross sectional area in reducer [-]  
**C2** = Unit conversion factor [-]  
**S** = Allowable stress [kg/cm<sup>2</sup>]  
**E** = Efisiensi joint [-]  
**Y** = Coefficient Y [-]  
**CA** = Corrosion allowance [-]  
**CR** = Corrosion rate  
**K** = Konstanta korosi  
**W** = Massa yang hilang  
**T** = Exposure time

### 1. PENDAHULUAN

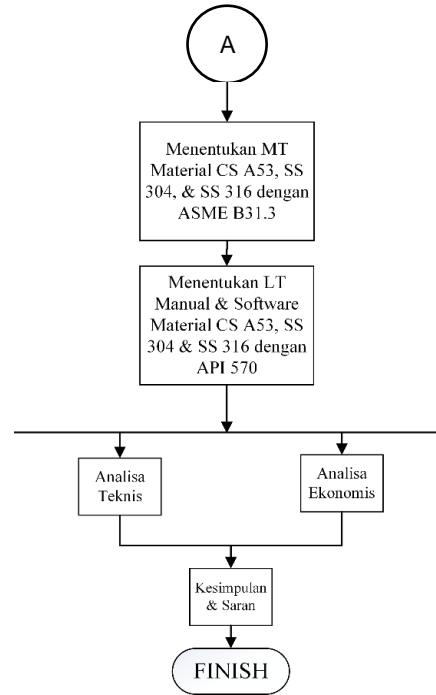
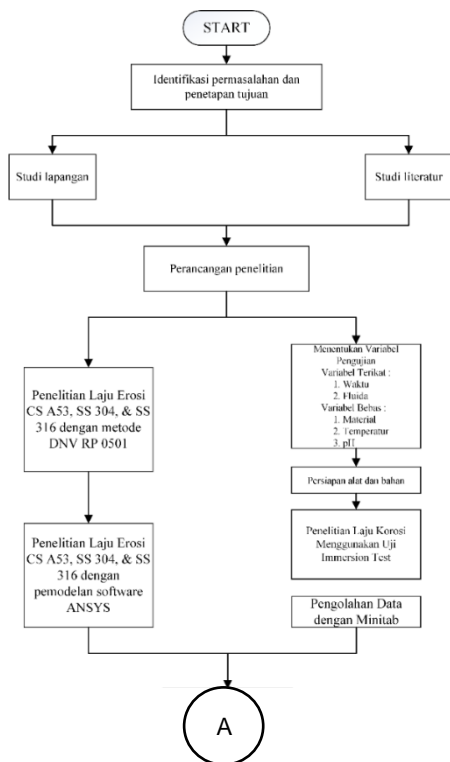
Korosi erosi merupakan faktor yang dapat menyebabkan kebocoran pada equipment, dimana dengan fluida yang korosif mengalir membawa partikel padat akan menyerang pada equipment seperti pipa, reducer, hingga valve. Di stasiun pemurnian nira pada industri gula terdapat line weighed juice return pipe yang berfungsi

mengembalikan nira ke weighed juice tank jika terjadi aliran berlebih ketika nira tersebut masuk juice heater. Nira mengalir dengan suhu 40-60°C, dengan kadar pH yakni 4,5-5,5 dan membawa pasir yang bersifat erosif. Waktu operasional pabrik masih 2 tahun namun sudah terjadi kebocoran pada reducer. Berdasarkan latar belakang tersebut, pada penelitian ini akan menganalisa pengaruh laju korosi erosi terhadap material Carbon Steel A53, Stainless Steel 304 dan Stainless Steel 316. Penelitian ini akan dilakukan dengan pengujian korosi menggunakan metode weight loss yang mengacu pada standar ASTM G31 – 72. Kemudian perhitungan laju erosi manual mengacu pada standar DNV – RP O501 dan dilakukan pemodelan software ANSYS. Dari nilai korosi erosi yang diperoleh kemudian dijumlahkan untuk digunakan dalam menentukan lifetime equipment masing-masing material. Segi ekonomis dihitung nilai kerugian akibat pengadaan ampas tebu sebagai bahan bakar boiler dan perbandingan harga dari pembelian 3 jenis material. Dari analisa teknis dan ekonomis digunakan sebagai acuan dalam menentukan material mana yang paling efektif untuk mengganti material reducer yang bocor..

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Diagram Alir

Metode penelitian ini ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 1 di bawah ini



Gambar 1. Diagram alir penelitian

### 2.2 Formula Matematika

Formula yang digunakan dalam perhitungan-perhitungan pada jurnal ini meliputi:

#### 1. Laju Korosi

Berdasarkan standar ASTM G31 – 72, untuk mendapatkan nilai laju korosi menggunakan formula sebagai berikut.[5]

$$Cr = \frac{K \cdot W}{D \cdot A \cdot T} \quad (1)$$

Dimana,

Cr = Corrosion Rate (Laju Korosi) (mm/y)

K = Konstanta ( $8,76 \times 10^4$ )

W = Massa yang hilang (gram)

D = Density ( $\text{gram/cm}^3$ )

A = Luasan Area ( $\text{cm}^2$ )

T = Durasi pengujian (hour)

#### 2. Kecepatan

Dalam menghitung kecepatan di setiap equipment menggunakan formula sebagai berikut  $v = Q/A$

Dimana,

V = Kecepatan rata-rata fluida yang mengalir (m/s)

Q = Debit fluida ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

A = Luasan penampang ( $\text{m}^2$ )

Laju Erosi

Berdasarkan DNV RP O501 untuk menghitung laju erosi pada pipa diperlukan langkah – langkah sebagai berikut.[2]

### 3. Menghitung Laju Erosi EL

$$EL = 2.5 \times 10^{-5} \times U \times 2.6 \times \dot{m}_p \times ID \dots \dots \dots (2)$$

Dimana,

- EL = erosion rate (mm/year)
- U = kecepatan fluida (m/s)
- $\dot{m}_p$  = laju massa partikel (kg/s)
- ID = inside diameter pipa (m)

Berdasarkan DNV RP O501 untuk menghitung laju erosi pada reducer diperlukan langkah – langkah sebagai berikut.[2]

- Menghitung A target

$$A_{target} = \frac{\pi}{4 \cdot \sin(\alpha)} \cdot (ID1^2 \dots \dots \dots (3)$$

Dimana,

- $A_{target}$  = luasan yang terkena erosi (m<sup>2</sup>)
- $\alpha$  = sudut tumbukan (°)
- ID1 = inside diameter besar (m)
- ID2 = inside diameter kecil (m)

- Menghitung A ratio

$$A_{ratio} = 1 - \frac{ID1^2}{ID2^2} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana,

- A ratio = rasio luasan antara cross sectional area reduction dan upstream area of flow reducer (-)
- ID1 = inside diameter besar (m)
- ID2 = inside diameter kecil (m)

- Menghitung kecepatan partikel

$$U_p = V_{m,2} = V_{m,1} \cdot \left( \frac{ID1^2}{ID2^2} \right) \dots \dots \dots (5)$$

Dimana,

- $U_p$  = kecepatan tumbukan partikel (m/s)
- $V_m$  = kecepatan fluida
- ID1 = inside diameter besar (m)
- ID2 = inside diameter kecil (m)

- Menghitung correction factor C2

$$\left[ \frac{10^6 \cdot d_p}{30 \cdot \rho_m^{1/2}} \right] < 1, C_2 = \left[ \frac{10^6 \cdot d_p}{30 \cdot \rho_m^{1/2}} \right] \dots \dots \dots (6)$$

Dimana,

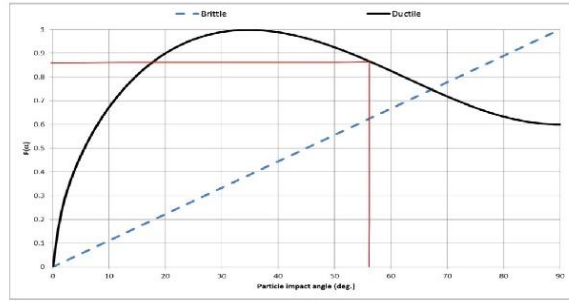
- $D_p$  = diameter partikel (m)
- $\rho_m$  = densitas fluida campuran (kg/m<sup>3</sup>)

- Menghitung unit conversion factor

$$C_{unit} = 1000 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 = 3.15 \cdot 10^{10}$$

- Menentukan nilai fungsi F( $\alpha$ )

Menggunakan grafik pada Gambar 2 di bawah ini



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

- Menghitung erosion rate

$$EL = \frac{K \cdot F(\alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot U_p^n}{\rho_t \cdot A_t} \cdot G \cdot C_2 \cdot GF \cdot \dot{m}_p \cdot C_{unit} \dots \dots (7)$$

Dimana :

- $E_L$  = erosion rate (mm/year)
- $\dot{m}_p$  = laju massa partikel (kg/s)
- $\alpha$  = sudut tumbukan (°)
- K = konstanta material [(m/s)<sup>-n</sup>]
- $U_p$  = kecepatan tumbukan partikel (m/s)
- n = exponent velocity pada table 2.2 (-)
- $\rho_t$  = densitas dari material target (kg/m<sup>3</sup>)
- $A_t$  = luasan yang terkena erosi (m<sup>2</sup>)
- $A_{ratio}$  = rasio luasan antara cross sectional area reduction dan upstream area of flow reducer (-)
- $C_2$  = correction factor dari ukuran partikel (-)
- $C_{unit}$  = unit conversion factor (-)

### 4. Konversi Laju Erosi dari Software

Satuan laju erosi yang didapat dari pemodelan software ANSYS adalah kg/m<sup>2</sup>s, untuk mengubahnya menjadi mm/year menggunakan formula berdasarkan jurnal internasional hasil konferensi NACE International Conference : Shanghai Section yang berjudul Evaluation of Different Modelling Methods Used for Erosion Prediction, oleh Mysara Eissa Mohyald sebagai berikut :[1]

$$EL \left( \frac{mm}{year} \right) = \frac{EL \left( \frac{kg}{m^2 \cdot s} \right)}{\rho_t \left( \frac{kg}{m^3} \right)} \cdot 1000 \left( \frac{mm}{m} \right) \cdot 3600 \cdot \left( \frac{s}{hr} \right) \cdot 24 \cdot \left( \frac{hr}{day} \right) \cdot 365 \left( \frac{day}{year} \right) \dots \dots \dots (8)$$

Dimana,

- EL = Erosion rate
- $\rho_t$  = Densitas material (kg/m<sup>3</sup>)

### 5. Lifetime

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

$$Lifetime = \frac{T_{acc}-T_m}{EL+CR} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana,  
 Tacc = Actual thickness (mm)  
 Tm = Minimum wall thickness (mm)  
 EL = Erosion rate (mm/year)  
 CR = Corrosion rate (mm/year)

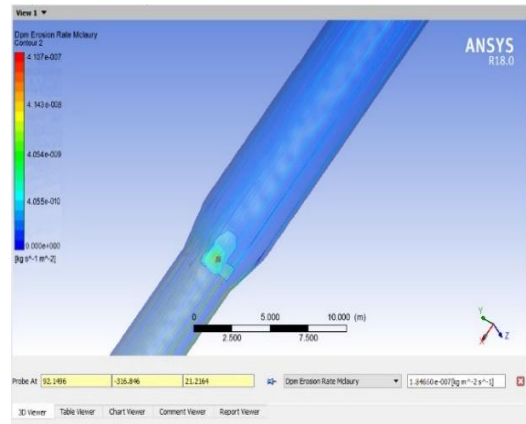
**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1. Perhitungan Laju Erosi Manual & Software**

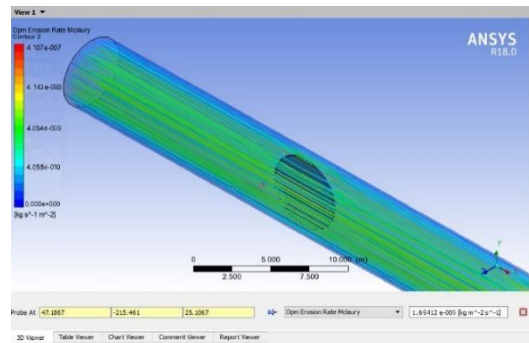
Dari hasil perhitungan laju erosi manual yang mengacu standar DNV RP O501, dan pemodelan software ANSYS didapatkan hasil laju erosi pada equipment untuk masing-masing material yang ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini. Contoh hasil pemodelan laju erosi pada pipa, reducer, dan valve material Carbon Steel A53 masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3,4, dan 5.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Laju Erosi Secara Manual dan Software

Materi al	Equipme nt	Laju Erosi Manual (mm/yea r)	Laju Erosi Software (mm/yea r)
CS A53	Pipa	0,008	0,006
	Reducer	0,740	0,741
	Valve	0,008	0,006
SS 304	Pipa	0,008	0,005
	Reducer	0,733	0,733
	Valve	0,008	0,005
SS 316	Pipa	0,008	0,004
	Reducer	0,729	0,730
	Valve	0,008	0,004



Gambar 4. Pemodelan laju erosi pada reducer CS A53



Gambar 5. Pemodelan laju erosi pada butterfly valve CS A53

**3.2. Perhitungan Laju Korosi**

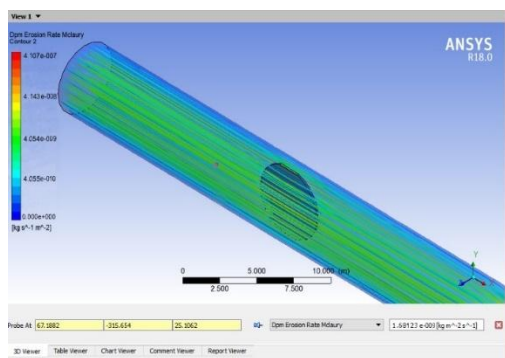
Dari pengujian immersion dengan variasi PH 4,5,5, dan 5,5 kemudian suhu 40,50,dan 60°C dengan durasi pengujian 48 jam, dan perhitungan laju korosi yang mengacu pada standar ASTM G-31 dan G1, didapatkan nilai laju korosi tertinggi dan terendah pada masing-masing material seperti ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Laju Korosi tertinggi pada tiap material.

pH	Suhu	Material	Laju Korosi
4,5	60	CS A53	0,8493
4,5	60	SS 304	0,0419
4,5	60	SS 316	0,0314

Tabel 3. Hasil Perhitungan Laju Korosi terendah pada tiap material.

pH	Suhu	Material	Laju Korosi
5,5	40	CS A53	0,4663
5,5	40	SS 304	0,0184
5,5	40	SS 316	0,0168

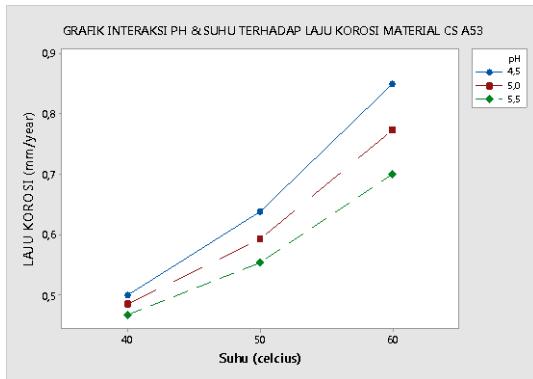


Gambar 3. Pemodelan laju erosi pada pipa CS A53

**3.3 Grafik Pengolahan Data Minitab**

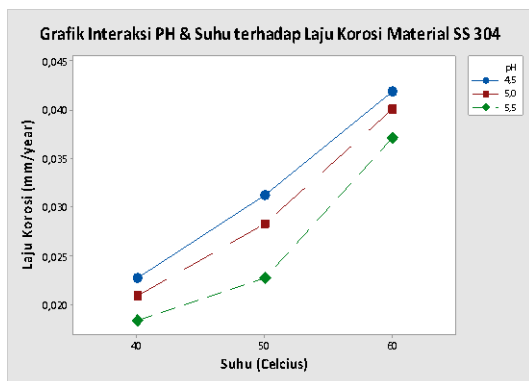
Dari nilai laju korosi yang sudah diperoleh, dilakukan pengolahan data menggunakan software minitab untuk mengetahui pengaruh PH dan suhu terhadap lifetime setiap material. Gambar 6 di bawah ini merupakan grafik

interaksi PH dan suhu terhadap laju korosi untuk material *Carbon Steel A53*.



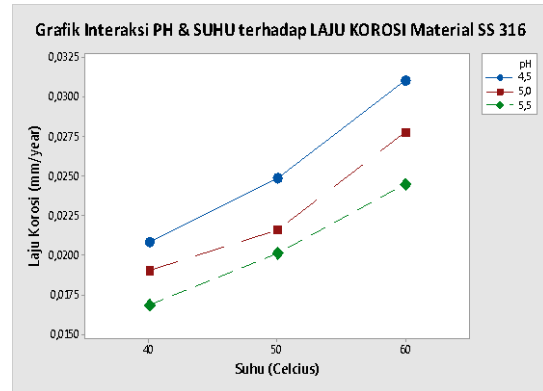
Gambar 6. Grafik interaksi PH dan suhu terhadap laju korosi material CS A53

Grafik tersebut menunjukkan bahwa ketika suhu tinggi sedangkan PH rendah, maka nilai laju korosi meningkat. Sebaliknya jika suhu rendah dengan PH yang tinggi maka nilai laju korosi rendah. Kemudian pada Gambar 4.16 di bawah ini merupakan grafik interaksi PH dan suhu terhadap laju korosi untuk material *Stainless Steel 30*



Gambar 7. Grafik interaksi PH dan suhu terhadap laju korosi material SS 304

Grafik tersebut menunjukkan bahwa ketika suhu tinggi sedangkan PH rendah, maka nilai laju korosi meningkat. Sebaliknya jika suhu rendah dengan PH yang tinggi maka nilai laju korosi yang kecil, maka dengan PH dan suhu tersebut tidak berpengaruh besar terhadap laju korosi material *Stainless Steel 304*. Kemudian pada Gambar 4.17 di bawah ini merupakan grafik interaksi PH dan suhu terhadap laju korosi untuk material *Stainless Steel 316*.



Gambar 8. Grafik interaksi PH dan suhu terhadap laju korosi material SS 316

Grafik tersebut menunjukkan bahwa ketika suhu tinggi sedangkan PH rendah, maka nilai laju korosi meningkat. Sebaliknya jika suhu rendah dengan PH yang tinggi maka nilai laju korosi rendah. Akan tetapi dengan nilai laju korosi yang semakin kecil, maka dengan PH dan suhu tersebut tidak berpengaruh besar terhadap laju korosi material *Stainless Steel 316*.

### 3.4 Perhitungan Lifetime Manual & Software

Hasil laju korosi dijumlahkan dengan nilai laju erosi untuk menentukan *lifetime equipment* masing-masing material. Nilai *lifetime* paling pendek dibandingkan dengan waktu kebocoran yang terjadi yaitu 2 tahun. Hasil tersebut dapat digunakan untuk menentukan material mana yang tepat untuk dipakai. Hasil perhitungan *lifetime* paling pendek untuk setiap *equipment* secara manual dan *software* ditunjukkan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. *Lifetime equipment manual dan software*

Material	Equipment	Tm (mm)	Tacc (mm)	CRER Manual (mmpy)	CRER software (mmpy)	Lifetime Manual (year)	Lifetime Software (year)
CS A53	Pipa	8,18	3,727	0,8573	0,8553	5,194	5,207
	Reducer	7,11	3,563	1,5893	1,5903	2,232	2,230
	Valve	8,18	3,649	0,8573	0,8563	5,285	5,292
SS 304	Pipa	8,18	3,727	0,0499	0,0479	152,919	159,306
	Reducer	7,11	3,563	0,7749	0,7749	8,675	8,675
	Valve	8,18	3,649	0,0499	0,0469	152,919	162,704
SS 316	Pipa	8,18	3,727	0,0394	0,0394	193,421	246,407
	Reducer	7,11	3,563	0,7714	0,7604	8,840	9,847
	Valve	8,18	3,649	0,0394	0,0394	193,421	246,407

Hasil perhitungan *lifetime* paling panjang untuk setiap *equipment* secara manual dan *software* ditunjukkan pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. *Lifetime equipment manual dan software*

Material	Equipment	Tm (mm)	Tacc (mm)	CR ER Manual	CR ER software	Lifetime Manual	Lifetime Software
CS A53	Pipa	8,18	3,727	0,4743	0,4723	9,389	9,42
	Reducer	7,11	3,563	1,2063	1,2073	2,941	2,93
	Valve	8,18	3,649	0,4743	0,4733	9,554	9,57
SS 304	Pipa	8,18	3,727	0,0264	0,0244	289,273	313,0
	Reducer	7,11	3,563	0,7514	0,7514	8,946	8,94
	Valve	8,18	3,649	0,0264	0,0234	289,273	326,4
SS 316	Pipa	8,18	3,727	0,0248	0,0208	307,391	419,4
	Reducer	7,11	3,563	0,7458	0,7468	9,013	10,04
	Valve	8,18	3,649	0,0248	0,0208	307,391	419,4

### 3.5 Perhitungan Ekonomis

Hasil total biaya untuk penggantian material didapat dari perhitungan kerugian akibat pengadaan ampas tebu dijumlahkan dengan harga tiap-tiap material *reducer* sebagai berikut :

Tabel 6. Total biaya penggantian material

Equipment	Jenis Material	Harga	Biaya Kerugian	Total Biaya
Reducer	Carbon Steel A53	Rp 193.830,78		Rp 186.831,0
	Stainless Steel 304	Rp 750.252,62	Rp 186.637.500,00	Rp 187.387,0
	Stainless Steel 316	Rp 984.769,24		Rp 187.622,0

Dari hasil perhitungan total biaya penggantian material di atas, maka material yang paling efektif untuk penggantian *reducer* adalah *Stainless Steel 316* yang memiliki nilai *lifetime* paling lama yakni 10 tahun walaupun dengan harga sedikit lebih mahal dari *Stainless Steel 304*.

### 4. KESIMPULAN

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

1. Dari hasil penelitian, nilai laju erosi terbesar terjadi pada *reducer* yakni 0,740 mm/year pada hitungan manual dan 0,741 pada hitungan *software* dengan material *Carbon Steel A53*. Sedangkan yang paling kecil pada *valve* yakni 0,008 mm/year pada hitungan manual dan 0,004 mm/year pada hitungan *software* untuk material *Stainless Steel 316*.
2. Nilai laju korosi terbesar terjadi pada suhu 60 °C dengan PH 4,5 yakni 0,8493 mm/year yang terjadi pada material *Carbon Steel A53*, sedangkan yang paling kecil pada suhu 40 °C dengan PH 5,5 yakni 0,0168 untuk material *Stainless Steel 316*.
3. Nilai *lifetime* yang paling pendek yakni 2,232 tahun pada perhitungan manual, dan 2,230 tahun pada perhitungan *software* untuk *equipment reducer* dengan material *Carbon Steel A53* yang berarti jika dibandingkan dengan kurun waktu kebocoran pada pabrik maka sudah terbukti.
4. Nilai *lifetime* paling panjang yakni 307,391 tahun pada perhitungan manual, dan 419,499

tahun pada perhitungan *software* untuk *equipment* pipa dan *valve* dengan material *Stainless Steel 316*.

5. Jika dilakukan pergantian material berdasarkan aspek teknis dan ekonomis maka material yang tepat adalah *Stainless Steel 316* dengan biaya Rp 187.622.269,2.

### 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. Ibu Endah Wismawati, selaku dosen pembimbing I yang selalu memberi pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan jurnal tugas akhir.
3. Bapak Fipka Bisono, selaku dosen pembimbing II yang selalu memberi pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan jurnal tugas akhir.
4. Pembimbing dari industri gula yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu.
5. Senior Teknik Perpipaan yang selalu memberi dukungan dan berbagi pengalaman.
6. Teman-teman seperjuangan Teknik Perpipaan 2014 yang selalu memberikan semangat dan kebersamaan

### 6. PUSTAKA

- [1] ANSYS. (2013). ANSYS Fluent Tutorial Guide. USA: ANSYS Inc.
- [2] DNV-GL. (2015). Dert Norske Veritas Germanischer Lloyd RP-0501.
- [3] Institute, A. P. (2016). API 570. Dalam Piping Inspection Code: In-service, rating, repair, and alteration of piping system..
- [4] Mohyald, M. E. (2011). Evaluation of Different Modelling Methods Used for Erosion Prediction.
- [5] Rizki Ornelasari, M. (2015). Analisa Laju Korosi Pada Stainless Steel 304 Menggunakan Metode ASTM G31-72 Pada Media Nira. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya..
- [6] Yunan, A. M. (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. Parkerin (Pabrik Kertas Indonesia). Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.