

ANALISA POTENSI KEBOCORAN AKIBAT PENGARUH EROSI DAN WATER HAMMER TERHADAP LINE 04/SW- BES/04-003 SEA WATER COOLING SYSTEM

Bimarum Laksamana Agung^{1*}, Emie Santoso², Priyo Agus Setiawan³

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,
Surabaya, Indonesia^{1*3}

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri
Surabaya, Surabaya, Indonesia²

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

Abstract – Line pipe on one of the State Patrol Boats, a leak is located on the Sea Water Cooling System line 04 / SW-BES / 04-003 just before the Gate Valve. The line has the potential for erosion and water hammer because the cooling system does not have a special strainer as a filter for slug carried by sea water and the operation of valve openings is very often done on the system. To determine the specific phenomenon as the most dominant cause of leakage, a further calculation of erosion and water hammer was carried out on the line. The calculation results show that the thickness value does not meet the minimum thickness requirement in year 6 on the graph, which is 4.5 mm due to erosion in the system. While the value of the water hammer has a pressure increase of 29.4 bars with a recommended minimum thickness of 4.46 mm. In this case it can be concluded that the dominant cause of leakage is erosion which also affects the minimum thickness value when there is a pressure increase due to the water hammer. The solution that can be given in this case is giving Simplex S Strainer with filtering specifications up to 45 micrometers. The results of calculations carried out after the administration of the Simplex X Strainer show a fairly high pipeline lifetime of up to 70 years.

Keyword : Gate Valve, Erosi, Water Hammer, Ansys, PIPENET, Lifetime

Nomenclature

Re	= Reynold's number	e	= Ketebalan pipa (m)
ρ	= Massa Jenis (kg/m^3)	Δv	= Penurunan kecepatan fluida (m/s)
v	= Kecepatan Aliran (m/s)	\dot{m}	= Laju aliran massa fluida (kg/s)
Di	= Inside Diameter (m)	Δp	= Tekanan kejut (N/m^2)
Do	= Outside diameter pipa (m)	ΔP	= Jumlah kenaikan tekanan yang terjadi (Bar)
μ	= Viskositas Dinamik (N.s/m^2)	s	= Ketebalan minimum pipa (mm)
m	= Massa fluida (kg)	s_o	= Perhitungan ketebalan (mm)
V	= Volume Fluida (m^3)	c	= Jumlah dari <i>mechanical allowance</i> misalnya <i>thread</i> (ulir), <i>kedalaman groove</i> ataupun <i>corrosion allowance</i> pada material (mm)
Q	= Debit Aliran (m^3/s)	b	= Allowance for bending (mm)
A	= Luas Penampang Pipa (m^2)	P_c	= Design pressure (bar)
H	= Kedalaman aliran (meter)	d_a	= Outside diameter (mm)
t	= waktu (detik)	σ_{perm}	= Maximum permissible design stress (N/m^2)
\dot{E}_L	= Laju erosi (mm/year)	V	= Weld efficiency factor s (-)
\dot{m}_p	= Laju aliran massa partikel (kg/s)		
Tx	= Tebal pipa pada tahun tertentu (mm)		
Ta	= Tebal pipa awal (mm)		
α	= Kecepatan perambatan gelombang tekanan (m/s)		
k	= Bulk modulus (N/m^2)		
E	= Modulus elastisitas material (N/m^2)		

1. PENDAHULUAN

PT. Batam Expresindo Shipyard adalah salah satu perusahaan milik swasta yang bergerak dalam bidang repairing, upgrading dan building untuk kapal kelas menengah. Dalam hal ini Pemerintahan yang bergerak dalam penjagaan kesatuan keamanan laut memberikan kepercayaan kepada PT. Batam Expresindo Shipyard untuk melakukan kegiatan repairing dan upgrading pada salah satu kapal patrol laut milik negara. Project repairing dan upgrading kapal patrol laut milik negara direncanakan selesai dalam waktu pengerjakan selama 4 (empat) bulan terhitung mulai bulan September 2018 sampai bulan Desember 2018. Selama proses repairing dan upgrading berlangsung ditemukan salah satu masalah pada kapal patrol laut milik negara berupa potensi kebocoran pada salah satu jalur pipa Sea Water Cooling System yang digunakan sebagai sirkulasi pendingin ruangan pada kapal. Potensi kebocoran ini terletak pada daerah sekitar Gate Valve yang digunakan untuk mengatur buka-tutup aliran pada saat pergantian kerja 2 (dua) buah pompa utama Sea Water Cooling System. Dugaan potensi kebocoran ini disebabkan oleh dua hal yaitu tekanan kejut Water Hammer saat dilakukan buka-tutup aliran sehingga meningkatkan Pressure dalam aliran tersebut serta pengikisan tebal dinding pipa yang disebabkan oleh Erosi dikarenakan adanya Slug Particle dalam aliran air laut. Hal tersebut didukung dengan tidak adanya Strainer atau penyaring pada sistem Sea Water Cooling System yang menyebabkan ikutnya partikel padat berupa pasir laut dalam aliran.

Sea Water Cooling System merupakan sistem yang digunakan untuk mendinginkan komponen pendingin ruangan pada kapal. Pada kapal patrol laut milik negara ini, Sea Water Cooling System digolongkan sebagai sistem pendingin terbuka karena sistem ini berhubungan langsung dengan air laut melalui seachest yang terletak pada dasar kapal. Pada dasarnya sistem pendingin bekerja untuk mereduksi panas yang dihasilkan oleh sistem pendingin ruangan pada kapal sehingga sistem pendingin pada kapal mampu bekerja secara optimal. Pada jalur pipa Sea Water Cooling System memiliki dimensi Nominal Pipe Size 125A schedule 40 dengan ukuran Outside Diameter sebesar 139,8 milimeter dan Inside Diameter sebesar 126.6 milimeter serta thickness sebesar 6,6 milimeter.

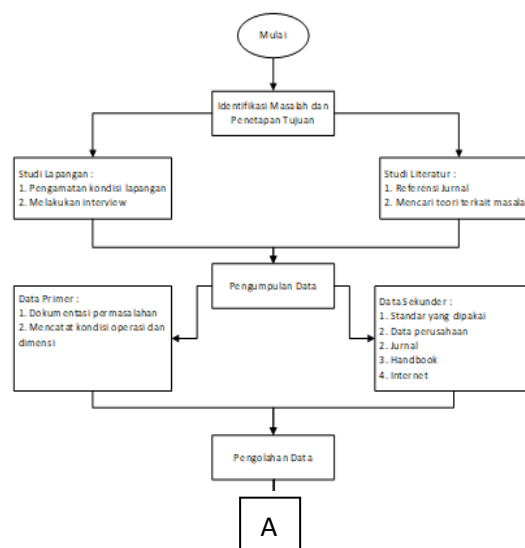
Pada analisa ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh pengikisan tebal dinding pipa yang diakibatkan oleh Erosi pada aliran terhadap nilai

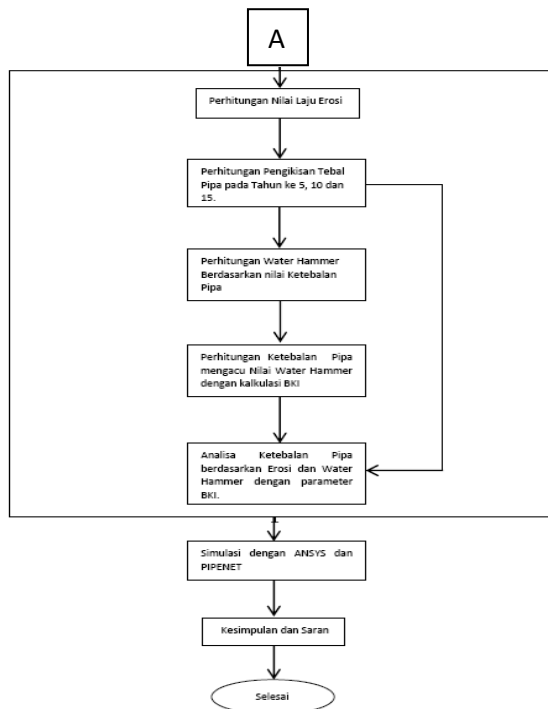
tekanan kejut yang dihasilkan oleh Water Hammer saat terjadi penutupan aliran secara mendadak. Analisa ini dilakukan dengan memvariasikan tahun sebagai patokan untuk perhitungan pengurangan tebal dinding pipa yang disebabkan oleh Erosi untuk menghitung nilai tekanan kejut yang disebabkan oleh Water Hammer akibat penutupan Gate Valve secara mendadak dalam sistem ini.

2. METODOLOGI

2.1 Metodologi Penelitian

Berikut ini adalah metodologi yang digunakan dalam melakukan analisa :





2.2 Erosion Rate

Perhitungan *erosion rate* digunakan untuk menentukan besar pengikisan dinding bagian dalam mengacu pada DNV RP O501 2015, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\dot{E}L = 2,5 \times 10^{-5} \times V^{2.6} \times \dot{m}p \times D^{-2} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- $\dot{E}L$ = Laju Erosi (mm/year)
- $\dot{m}p$ = Laju Aliran Massa *Slug* (kg/s)
- V = Kecepatan Fluida (m/s)
- D = *Outside diameter* (m)

2.3 Water Hammer

Perhitungan nilai tekanan kejut berdasarkan nilai tebal pipa yang telah ter-erosi yang digunakan sebagai data input pada persamaan.

2.3.1 Kecepatan Rambat Gelombang

Gelombang tekanan yang timbul pada gejala pukulan air sebagai kecepatan perambatan gelombang tekanan didalam pipa di formulasikan dari modulus bulk fluida dan modulus bulk elastisitas pipa dihitung guna untuk mencari berapa besar tekanan kejut yang dihasilkan dari *water hammer* dapat dinyatakan dengan rumus berikut (Choon, Aik, Aik, & Hin, 2012) :

$$\alpha = \sqrt{\frac{\frac{k}{\rho}}{1 + \frac{k}{E} \times \frac{DI}{e}}} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

- α = Kecepatan perambatan gelombang tekanan (m/s)
- k = Bulk modulus (N/m²)
- ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)
- E = Modulus elastisitas material (N/m²)
- DI = *Inside diameter* (meter)
- e = Ketebalan pipa (meter)

2.3.2 Penurunan Kecepatan Fluida

Dalam mencari nilai tekanan kejut perlu diketahui terlebih dahulu nilai penurunan kecepatan fluida yang dapat dihitung guna untuk mencari berapa besar tekanan kejut yang dihasilkan dari *water hammer* melalui persamaan berikut ini (Choon et al., 2012) :

$$\Delta v = \frac{\dot{m}}{\rho \times A} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

- Δv = Penurunan kecepatan fluida (m/s)
- \dot{m} = Laju aliran massa (kg/s)
- ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)
- A = Luas penampang diameter dalam pipa (m²)

2.3.3 Tekanan Kejut

Tekanan kejut yang diakibatkan oleh penyempitan luas penampang yang disebabkan oleh penutupan valve dapat dihitung dengan persamaan berikut (Choon et al., 2012) :

$$\Delta p = \Delta v \times \alpha \times \rho \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

- Δp = Tekanan kejut (N/m²)
- Δv = Penurunan kecepatan fluida (m/s)
- α = Perambatan kecepatan gelombang tekanan (m/s)
- ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

2.3.4 Kenaikan Tekanan Total

Kenaikan tekanan total yang diakibatkan oleh tekanan kejut dapat dihitung dengan persamaan berikut ini (Choon et al., 2012) :

$$\Delta P = \text{Tekanan normal} + \Delta p \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

- ΔP = Jumlah kenaikan tekanan yang terjadi (Bar)
- Δp = Tekanan kejut (Bar)

2.3 Perhitungan Ketebalan Berdasarkan BKI

Berikut ini adalah persamaan ketebalan pada pipa menurut standar Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Volume III Section 11 page 14 (For, Constrction, & Units, 2009) :

$$s = s_o + c + b \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

- s = Ketebalan minimum pipa (mm)
- s_o = Perhitungan ketebalan (mm)
- c = Jumlah dari *mechanical allowance* misalnya *thread* (ulir), kedalaman *groove* ataupun *corrosion allowance* pada material (mm)

b = *Allowance for bending* (mm)

Nilai s_o ditentukan dengan :

$$s_o = \frac{d_a \cdot P_c}{20 \cdot \sigma_{perm} \cdot V + P_c} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

- s_o = Perhitungan ketebalan (mm)
- P_c = *Design pressure* (bar)
- d_a = *Outside diameter* (mm)
- σ_{perm} = *Maximum permissible design stress* (N/m²)

V = *Weld efficiency factor* s (-)

Nilai σ_{perm} ditentukan dengan mengambil nilai terendah dari kalkulasi :

$$\sigma_{perm} = \text{minimum} \left(\frac{R_{m,20^\circ}}{A}, \frac{R_{eH,t}}{B}, \frac{R_{p0,2t}}{B} \right) \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

- R_{m,20°} = *Specified minimum tensile strength at room temperature* (lihat table)
- R_{eH,t} = *Specified minimum yield stress at design temperature or;* (lihat table)
- R_{p0,2t} = *Minimum value of the 0,2 % proof stress at design temperature*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perhitungan Erosion Rate

Dari perhitungan *erosion rate* menggunakan persamaan 1, didapatkan nilai *erosion rate* pada setiap variasi tahun.

Tabel 1. Nilai *Erosion Rate*

Tahun	Erosion Rate	Satuan
1	0,38	mm/year
5	0,28	mm/year
10	0,25	mm/year
15	0,23	mm/year

3.1 Hasil Perhitungan Kenaikan Tekanan

Dari perhitungan kenaikan tekanan total menggunakan persamaan 2, 3, 4, dan 5 didapatkan nilai tekanan total pada setiap variasi tahun.

Tabel 2. Nilai Kenaikan Tekanan

Tahun	Tekanan Total	Satuan
1	34,8	Bar
5	32,1	Bar
10	29,4	Bar
15	26,3	Bar

3.3 Hasil Perhitungan Tebal Minimum

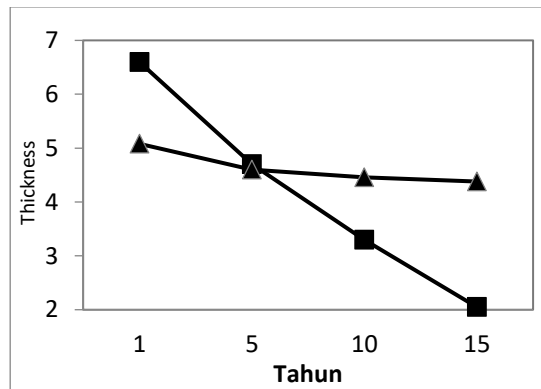
Dari perhitungan tebal minimum sesuai standar BKI didapatkan nilai tebal minimum pada variasi tahun.

Tabel 3. Nilai Tebal Minimum

Tahun	Tebal	Satuan
1	5,08	mm
5	4,6	mm
10	4,46	mm
15	4,38	mm

3.4 Pembahasan

Berdasarkan kalkulasi yang telah dilakukan maka dapat dibuat grafik untuk menentukan kapan kebocoran terjadi.



Gambar 3.9 Grafik Hasil

Dimana :

- = Perhitungan Thickness Berdasarkan Erosi
- ▲ = Perhitungan Thickness Berdasarkan BKI

Dapat dilihat pada perpotongan grafik tersebut menunjukkan bahwa pada tahun ke-6 ketebalan sudah tidak memenuhi standard an berpotensi terjadi kebocoran.

3.5 Solusi

Berdasarkan permasalahan yang terjadi maka dapat disimpulkan bahwa penyebab kebocoran

yang paling dominan adalah erosi. Maka dari itu solusi yang dapat diberikan adalah pemasangan Strainer Simplex S dengan spesifikasi penyaringan 45 mikrometer. Kalkulasi pada sistem setelah dilakukan pemasangan strainer adalah sebagai berikut dengan toleransi slug dianggap 1% :

$$\begin{aligned} \dot{E}_L &= 2,5 \times 10^{-5} \times V^{2.6} \times \dot{m} \times D^{-2} \dots\dots\dots(1) \\ &= 2,5 \times 10^{-5} \times 2,5^{2.6} \times 0,3 \times 0,1398^{-2} \\ &= 0,03 \text{ mm/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lifetime} &= \frac{T_{ac}-T_{min}}{\dot{E}_L} \\ &= \frac{6,6 \text{ mm}-4,5 \text{ mm}}{0,03 \text{ mm/year}} \\ &= 70 \text{ tahun} \end{aligned}$$

4. KESIMPULAN

Hasil dari pembahasan dan analisa yang telah dilakukan ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan manual nilai laju erosi pada tahun-1 memiliki nilai sebesar 0,38 mm/tahun, pada tahun-5 sebesar 0,28 mm/tahun, pada tahun-10 sebesar 0,25 mm/tahun dan pada tahun-15 memiliki nilai sebesar 0,23 mm/tahun.
2. Nilai laju erosi pada variasi tahun yang telah dihitung memiliki nilai ketebalan pipa pada tahun-1 6,6 mm, pada tahun-5 4,7 mm, pada tahun-10 3,3 mm dan pada tahun-15 2 mm.
3. Perubahan ketebalan pipa merubah nilai Water Hammer pada variasi tahun. Besar nilai tekanan kejut pada tahun-1 sebesar 34,8 bar, pada tahun-5 sebesar 32,2 bar, pada tahun-10 sebesar 29,4 bar dan pada tahun ke-15 sebesar 26,3 bar.
4. Nilai ketebalan yang disarankan oleh Biro Klasifikasi Indonesia dapat dihitung dengan hasil ketebalan pada tahun-1 sebesar 5,08 mm, pada tahun-5 sebesar 4,6 mm, pada tahun-10 sebesar 4,46 mm dan pada tahun ke-15 sebesar 4,38 mm.
5. Hasil analisa nilai ketebalan yang dihitung berdasarkan besar laju erosi dan nilai besar tekanan kejut dapat dilihat pada gambar grafik 4.6 Tahun-Thickness dan dapat dilihat perpotongan grafik menggambarkan

bahwa ketebalan sudah tidak memenuhi standar pada tahun ke-6.

6. Hasil perhitungan dan analisa dapat diambil kesimpulan bahwa penyebab kebocoran yang paling dominan adalah erosi. Perhitungan thickness dengan menggunakan faktor tekanan kejut masih memenuhi syarat sedangkan berdasarkan kalkulasi erosi thickness sudah tidak memenuhi syarat pada tahun ke-6. Maka dari itu dapat diambil kesimpulan bahwa permasalahan ini disebabkan oleh erosi.
7. Dari penyebab kebocoran yang paling dominan maka solusi yang dapat diberikan adalah pemasangan Strainer Simplex type S Filter. Dengan nilai lifetime sebesar 70 tahun.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Choon, T. W., Aik, L. K., Aik, L. E., & Hin, T. T. (2012). Investigation of Water Hammer Effect Through Pipeline System. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 2(3), 6. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.2.3.196>
- [2] DNV GL. (2015). *Managing sand production and erosion*.
- [3] For, G., Constrction, T. H. E., & Units, O. (2009). Biro Klasifikasi Indonesia Edition 2009, III, 279.
- [4] Henry Liu. (2003). *Pipeline Engineering*. Lewis Publishers. <https://doi.org/10.1201/9780203506684>
- [5] Ken, S. L., Kerr, S. L., & Engr, C. (2016). Effect of Valve Operation on Water Hammer, 52(1), 12.
- [6] Mills, D., & Mason, J. S. (1977). Particle size effects in bend erosion. *Wear*, 44(2), 311–328. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(77\)90147-8](https://doi.org/10.1016/0043-1648(77)90147-8)
- [7] Mohyaldin, M. E., Elkhatib, N., & Ismail, M. C. H. E. (2011). Evaluation of Different Modelling Methods Used for Erosion Prediction. *NACE Corrosion Changhai Conference & Expo Changhai, China*, (11005), 19.
- [8] Wahyu, G. A. ., Santoso, E., & Setiawan, A. P. (2017). ANALISA PENGARUH WATER HAMMER TERHADAP PIPE STRESS JALUR PIPA AVTUR TERMINAL ISG TANJUNG PERAK – DPPU BANDARA JUANDA, 42, 4
- [9] Pratama, Y. (2017). ANALISA

*PENGARUH EROSI TERHADAP
LIFETIME JALUR PIPA AVTUR
TERMINAL ISG TANJUNG PERAK –
DPPU.*

- [10] Ridwan. (2014). Aliran Fluida. *Aliran Fluida*, (2), 5.
<https://doi.org/10.1088/1674-1137/41/7/076001>
- [11] Zuck, D. (1971). Osborne reynolds, 1842-1912, and the flow of fluids through tubes. *British Journal of Anaesthesia*, 43(12), 1175–1182.
<https://doi.org/10.1093/bja/43.12.1175>