



2580-2798 (e)
2588-6225 (p)

Inovtek Polbeng: Jurnal Inovasi Teknologi Politeknik Negeri Bengkalis
(Bengkalis State Polytechnic Technology Innovation Journal)

journal homepage: <https://jurnal.polbeng.ac.id/index.php/IP/index>

PENILAIAN RESIKO DAN PENJADWALAN INSPEKSI SISTEM PERPIPAAN HYDRANT DI KAPAL

Ekky Nur Budiyanto^{1*}, Adi Wirawan Husodo², M. Ellang Naufal³, Lisa Candra M.⁴, Pekik Mahardhika⁵

^{1,2,3,4,5}Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Jl. Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia 60111

Corresponding Author: ^{1*}ekky@ppns.ac.id

Article Info

Abstract

Keywords:

Risk, Scheduling, RBI, Pipe, Ship Hydrants

Article history:

Received: 19/11/24

Last revised: 25/11/24

Accepted: 28/11/24

Available online: 29/11/24

Published: 30/11/24

DOI:<https://10.35314/nbd54b83>

Abstrak

Sistem Hydrant merupakan sistem pencegah kebakaran yang wajib ada di setiap Kapal. Salah satu yang menjadi prioritas dalam sistem hydrant adalah bagian dari pipa itu sendiri. Pipa Hydrant memerlukan inspeksi rutin untuk mengurangi resiko terjadinya kegagalan pada sistem pemadaman kebakaran. Penilaian risiko bisa dilakukan dengan menggunakan metode *Risk Based Inspection*. Hasil dari penilaian RBI dijadikan sebagai acuan untuk Penjadwalan Inspeksi Sistem perpipaan hydrant. Pipa hydrant menggunakan beberapa diameter diantaranya 2", 3", 4", 6" dan 8". Setelah dilakukan pendekatan berdasarkan pada faktor kerusakan total berasal dari *external corrosion*. Faktor Sistem Manajemen mendapatkan nilai 0,268 berdasarkan pada pertanyaan topik manajemen. Perhitungan nilai peluang kegagalan terletak pada pipa dengan diameter 2" pada saat RBI Date 5,79E-04 dan 8,95E-03 Plan Date. Konsekuensi kegagalan memiliki nilai berdasarkan pengaruh laju kebocoran, *inventory mass* dan jenis kebocoran. Luasan konsekuensi maksimal pada pipa 6" sebesar 217,154 m² dan 8" 211,589 m². Risiko 2", yaitu sebesar 0.0684 m²/yr, dan pada Plan date resiko terbesar pada pipa 3", yaitu sebesar 1.1209 m²/yr. Namun pipa 2" pada saat Plan date juga mempunyai resiko yang termasuk tinggi yaitu sebesar 1.0561 m²/yr. Berdasarkan pada analisa yang didapat maka pelaksanaan yang dapat dilakukan diawal 5 tahun untuk pipa ukuran 2",3",6" dan 8". Sedangkan untuk pipa 4" dilakukan diawal 6 tahun sejak instalasi

Abstract

The Hydrant System is a fire prevention system that must exist in every ship. One of the priorities in the hydrant system is the part of the pipe itself. Hydrant pipes require regular inspections to reduce the fire suppression system's failure risk. Risk assessment can be done using the Risk Based Inspection method. The results of the RBI assessment are used as a reference for scheduling the inspection of the hydrant piping system. Hydrant pipes use several diameters including 2", 3", 4", 6", and 8". After an approach based on the total damage factor that comes from external corrosion, The Management System factor gets a value of 0.268 based on the management topic question. Calculation of the probability of failure is located on a pipe with a diameter of 2" at the RBI Date 5.79E-04 and 8.95E-03 Plan Date. The consequences of failure have a value based on the influence of the leak rate, inventory mass, and type of leak. The maximum consequent area on the 6" pipe is 217.154 m² and 8" 211.589 m². Risk 2", which is 0.0684 m²/yr, and on the Plan date the biggest risk is pipe 3", which is 1.1209 m²/yr. However, the 2" pipe at the Plan date also has a relatively high risk of 1.0561 m²/yr. Based on the analysis obtained, implementation can be carried out as early as 5 years for pipe sizes 2", 3", 6" and 8". As for the 4" pipe, it is carried out at the beginning of 6 years since the installation

1. PENDAHULUAN

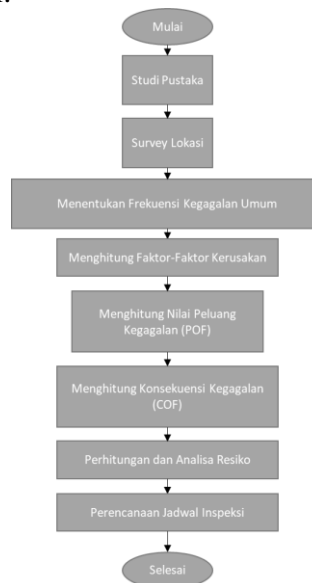
Risk Based Inspection [1] merupakan suatu teknik perencanaan inspeksi yang berbasis pada analisa resiko. Hasil analisa resiko ini dibutuhkan untuk mengidentifikasi skenario kecelakaan yang disebabkan oleh kegagalan peralatan dan mekanisme penurunan kualitas (*degradation*) suatu material atau peralatan. Disamping itu hasil analisa juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi peluang terjadinya kegagalan atau *Likelihood of Failure* (LoF) yang dapat menurunkan kinerja peralatan dan dapat menilai konsekuensi kegagalan atau *Consequence of Failure* (CoF) yang mungkin timbul. Hasil akhirnya dapat digunakan untuk menetapkan resiko dan Menyusun tingkat serta kategori resiko (*risk ranking and categorization*) [3]-[9]. Sedangkan menurut [2], RBI merupakan suatu metode yang menggunakan risiko sebagai dasar melakukan pemeringkatan dan mengelola aktifitas-aktifitas inspeksi. Metode RBI sebagai dasar untuk mengelola resiko dengan menyediakan berbagai macam informasi yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan atas frekuensi inspeksi, tingkat kedetilan inspeksi, dan metode NDT (*Non Destructive Test*) yang akan dipakai [10].

2. METODE

RBI dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, baik yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif. API 580 [1] membagi jenis metode menjadi 3 (tiga), yaitu: metode kualitatif, metode semi-kuantitatif, dan metode kuantitatif. Metode kualitatif merupakan metode yang paling sederhana dalam analisa RBI. Hal ini disebabkan karena metode ini tidak membutuhkan data yang detail, sehingga metode ini sangat cepat dan mudah untuk mendapatkan hasil akhirnya. Namun metode ini juga memiliki kekurangan yaitu rendahnya tingkat keakuratan hasil penilaian. Metode semi-kuantitatif merupakan metode yang menggabungkan aspek yang berasal dari metode kualitatif dan metode kuantitatif. Hal ini dilakukan untuk memperoleh manfaat utama dari dua metode sebelumnya (misalnya kecepatan kualitatif dan ketelitian dari kuantitatif). Sedangkan metode kuantitatif merupakan metode yang teliti, karena secara umum terdiri dari 5 (lima) hal, yaitu: identifikasi sistem, identifikasi bahaya, penilaian probabilitas, analisa resiko dan hasil resiko. Obyek penelitian dilaksanakan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

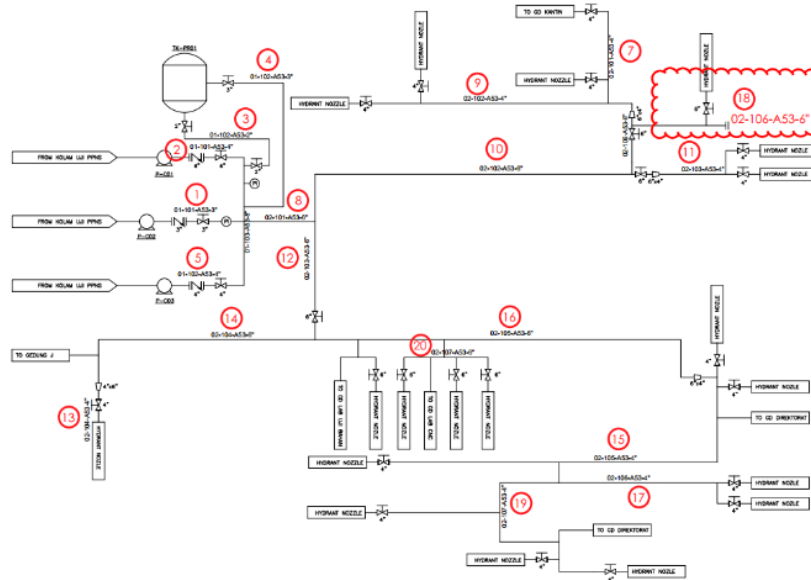
Pada penelitian ini dilakukan langkah-langkah untuk penyelesaiannya. Tahapan penyelesaiannya dijabarkan pada diagram alir berikut ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.1 Spesifikasi Teknis Sistem Perpipaan Hydrant

Sistem perpipaan hydrant Kapal seperti yang terlihat pada Gambar 2. merupakan sistem perpipaan yang berfungsi melayani fungsi pemadaman kebakaran di Area Kapal. Sedangkan detail jalur dan spesifikasi sistem perpipaan hydrant Kapal dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. P&ID Sistem Perpipaan Hydrant

Tabel 1. Spesifikasi Sistem Perpipaan Hydrant

No	Jalur Pipa	Spesifikasi Pipa	Panjang Pipa (mm)
1	01-101-A53-3"	ND 80, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	1100
2	01-101-A53-4"	ND 100, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	1100
3	01-102-A53-2"	ND 50, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	6756
4	01-102-A53-3"	ND 80, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	2836
5	01-102-A53-4"	ND 100, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	1100
6	01-103-A53-8"	ND 200, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	3661
7	02-101-A53-4"	ND 100, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	40999
8	02-101-A53-6"	ND 150, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	63740
9	02-102-A53-4"	ND 100, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	104693
10	02-102-A53-6"	ND 150, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	6641
11	02-103-A53-4"	ND 100, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	73233
12	02-103-A53-6"	ND 150, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	61301
13	02-104-A53-4"	ND 100, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	8559
14	02-104-A53-6"	ND 150, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	59782
15	02-105-A53-4"	ND 100, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	105329
16	02-105-A53-6"	ND 150, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	191585
17	02-106-A53-4"	ND 100, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	76757
18	02-106-A53-6"	ND 150, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	237424
19	02-107-A53-4"	ND 100, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	150176
20	02-107-A53-6"	ND 150, Furnace Weld, A53 Gr A Type F, Sch 40	46972

3.2 Penentuan Frekuensi Kegagalan Umum

Faktor kegagalan umum sistem perpipaan sistem hydrant Kapal dihitung mengacu pada ketentuan API RP 581 (Part 2, Chapter 3, Table 2). Terdapat 4 (empat) ukuran kebocoran yang digunakan untuk merepresentasikan kegagalan yang muncul, yaitu *small*, *medium*, *large* dan *rupture*. Rincian besarnya nilai frekwensi kegagalan untuk setiap ukuran lubang kebocoran dapat dilihat pada Tabel 2. Mengacu pada nilai yang tertera pada Tabel 2, bahwa besarnya frekwensi kegagalan umum sistem perpipaan hydrant Kapal adalah sama untuk setiap *line number* (3.06E-05 kegagalan per tahun). Hal ini disebabkan karena meskipun ukuran pipa berbeda-beda, namun masih terletak pada tipe komponen yang sama sebagaimana disebut dalam API 581.

Table 2. Spesifikasi Teknis Sistem Perpipaan Hydrant

No.	Jalur Pipa	off as a function of hole size (failure/yr)				off total (failures/yr)
		Small	Medium	Large	Rupture	
1	01-101-A53-3"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
2	01-101-A53-4"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
3	01-102-A53-2"	2.80.E-05	0.00.E+00	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
4	01-102-A53-3"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
5	01-102-A53-4"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
6	01-103-A53-8"	8.00.E-06	2.00.E-05	2.00.E-06	6.00.E-07	3.06.E-05
7	02-101-A53-4"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
8	02-101-A53-6"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
9	02-102-A53-4"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
10	02-102-A53-6"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
11	02-103-A53-4"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
12	02-103-A53-6"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
13	02-104-A53-4"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
14	02-104-A53-6"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
15	02-105-A53-4"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
16	02-105-A53-6"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
17	02-106-A53-4"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
18	02-106-A53-6"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
19	02-107-A53-4"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05
20	02-107-A53-6"	8.00.E-06	2.00.E-05	0.00.E+00	2.60.E-06	3.06.E-05

3.3 Perhitungan Faktor-Faktor Kerusakan

Perhitungan mengacu pada ketentuan API RP 581 Part 2, dan dihitung pada 2 (dua) kondisi waktu yaitu saat *RBI date* dan saat *Plan date*. Hasil perhitungan disajikan pada beberapa Sub-Bab berikut.

3.3.1 Faktor Kerusakan Akibat Thinning

Hasil akhir besarnya nilai Faktor Kerusakan akibat *thinning* disajikan pada Tabel 3. Besarnya nilai faktorkerusakan akibat *thinning* pada *RBI date* adalah sama, yaitu 0.1 untuk semua ukuran pipa. Nilai tersebut berubah menjadi bervariasi saat *Plan date*. Nilai faktor kerusakan akibat *thinning* terbesar terjadi pipa 6" yaitu sebesar 107.72. Besar kecilnya nilai faktor kerusakan akibat *thinning* sangat dipengaruhi oleh nilai laju korosi (*corrosion rate*). Laju korosi pada pipa 6" paling tinggi yaitu sebesar 0.07 mm/yr.

Tabel 3. Nilai Faktor Kerusakan Akibat *Thinning*

No.	Jalur Pipa	<i>Thinning Damage Factor</i>	
		@RBI date	@Plan date
1	01-101-A53-3"	0.10	0.10
2	01-101-A53-4"	0.10	0.63
3	01-102-A53-2"	0.10	0.34
4	01-102-A53-3"	0.10	0.10
5	01-102-A53-4"	0.10	0.63
6	01-103-A53-8"	0.10	0.10
7	02-101-A53-4"	0.10	0.63
8	02-101-A53-6"	0.10	107.72
9	02-102-A53-4"	0.10	0.63
10	02-102-A53-6"	0.10	107.72
11	02-103-A53-4"	0.10	0.63
12	02-103-A53-6"	0.10	107.72
13	02-104-A53-4"	0.10	0.63
14	02-104-A53-6"	0.10	107.72
15	02-105-A53-4"	0.10	0.63
16	02-105-A53-6"	0.10	107.72
17	02-106-A53-4"	0.10	0.63
18	02-106-A53-6"	0.10	107.72
19	02-107-A53-4"	0.10	0.63
20	02-107-A53-6"	0.10	107.72

3.3.2 Faktor Kerusakan Eksternal Akibat *External Corrosion*

Dalam perhitungan faktor kerusakan akibat external corrosion ini sangat dipengaruhi oleh nilai laju korosi dasar (*base corrosion rate*) dan ukuran pipa. Nilai laju korosi dasar berbeda dan bukan merupakan nilai laju korosi dari hasil pengukuran sebagaimana yang digunakan pada perhitungan faktor kerusakan akibat *thinning*, namun dihitung menggunakan ketentuan API 581. Seperti yang terlihat pada Tabel 4, bahwa semakin besar ukuran pipa, maka nilai faktor kerusakan akibat *external corrosion* semakin kecil. Hal ini dibuktikan juga bahwa nilai faktor kerusakan akibat *external corrosion* terbesar atau maksimal terjadi pada pipa 2", yaitu 70.583 pada RBI date dan 1090.960 pada Plan date. Sedangkan nilai terkecil terjadi pada pipa 8", yaitu sebesar 0.021 pada RBI date dan 62.218 pada Plan date.

Tabel 4. Nilai Faktor Kerusakan Akibat *External Corrosion*

No.	Jalur Pipa	<i>External Corrosion Damage Factor</i>	
		@RBI date	@Plan date
1	01-101-A53-3"	0.802	676.691
2	01-101-A53-4"	0.263	520.056
3	01-102-A53-2"	70.583	1090.960
4	01-102-A53-3"	0.802	676.691
5	01-102-A53-4"	0.263	520.056
6	01-103-A53-8"	0.021	62.218
7	02-101-A53-4"	0.263	520.056
8	02-101-A53-6"	0.053	216.728

No.	Jalur Pipa	External Corrosion Damage Factor	
		@RBI date	@Plan date
9	02-102-A53-4"	0.263	520.056
10	02-102-A53-6"	0.053	216.728
11	02-103-A53-4"	0.263	520.056
12	02-103-A53-6"	0.053	216.728
13	02-104-A53-4"	0.263	520.056
14	02-104-A53-6"	0.053	216.728
15	02-105-A53-4"	0.263	520.056
16	02-105-A53-6"	0.053	216.728
17	02-106-A53-4"	0.263	520.056
18	02-106-A53-6"	0.053	216.728
19	02-107-A53-4"	0.263	520.056
20	02-107-A53-6"	0.053	216.728

3.3.3 Faktor Kerusakan Total

Faktor Kerusakan Total merupakan penjumlahan dari kedua nilai Faktor Kerusakan sebelumnya, yaitu faktor kerusakan akibat *thinning* dan *external corrosion*. Hasil disajikan pada Tabel 5. Mengacu pada nilai yang tersaji pada Tabel 5, secara umum kontribusi faktor kerusakan terbesar untuk semua jalur pipa adalah *external corrosion*. Namun demikian, pada saat RBI date, untuk beberapa ukuran pipa seperti pipa 6” dan 8” masih sangat dipengaruhi oleh *thinning*. Namun pada saat Plan date, kontribusi faktor kerusakan *external corrosion* menjadi sangat dominan untuk semua ukuran pipa. Hal ini menunjukkan peningkatan yang cukup besar pada faktor kerusakan akibat *external corrosion* yang terjadi pada sistem perpipaan hydrant.

Tabel 5. Nilai Faktor Kerusakan Total

No.	Jalur Pipa	Total Damage Factor	
		@RBI date	@Plan date
1	01-101-A53-3"	0.90	676.79
2	01-101-A53-4"	0.36	520.69
3	01-102-A53-2"	70.68	1091.30
4	01-102-A53-3"	0.90	676.79
5	01-102-A53-4"	0.36	520.69
6	01-103-A53-8"	0.12	62.32
7	02-101-A53-4"	0.36	520.69
8	02-101-A53-6"	0.15	324.44
9	02-102-A53-4"	0.36	520.69
10	02-102-A53-6"	0.15	324.44
11	02-103-A53-4"	0.36	520.69
12	02-103-A53-6"	0.15	324.44
13	02-104-A53-4"	0.36	520.69
14	02-104-A53-6"	0.15	324.44
15	02-105-A53-4"	0.36	520.69
16	02-105-A53-6"	0.15	324.44
17	02-106-A53-4"	0.36	520.69

No.	Jalur Pipa	Total Damage Factor	
		@RBI date	@Plan date
18	02-106-A53-6"	0.15	324.44
19	02-107-A53-4"	0.36	520.69
20	02-107-A53-6"	0.15	324.44

3.3.4 Faktor Sistem Manajemen

Faktor sistem manajemen merupakan faktor penyesuaian yang memperhitungkan pengaruh sistem pengelolaan fasilitas terhadap integritas sistem perpipaan hydrant. Faktor tersebut juga menunjukkan kualitas *mechanical integrity* sistem perpipaan dan program manajemen keselamatan prosesnya. Faktor ini didapat dari hasil evaluasi fasilitas atau sistem manajemen unit operasi yang mempengaruhi risiko. Hasil evaluasi sistem manajemen yang diterapkan pada sistem perpipaan hydrant ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Resume Nilai Faktor Sistem Manajemen

No.	Pertanyaan-Pertanyaan Topik Manajemen	Possible Score	Actual Score
1.	Leadership and Administration	70	59
2.	Process Safety Information	80	59
3.	Process Hazard Analysis	100	76
4.	Management of Change	80	68
5.	Operating Procedures	80	57
6.	Safe Work Practices	85	57
7.	Training	100	87
8.	Mechanical Integrity	120	105
9.	Pre-Startup Safety Review	60	58
10.	Emergency Response	65	38
11.	Incident Investigation	75	53
12.	Contractors	45	36
13.	Management Systems Assessments	40	33
	Total	1000	786

Mengacu pada nilai yang terdapat pada Tabel 6, maka besarnya nilai faktor sistem manajemen (FMS) adalah 0.268. Nilai ini akan digunakan sebagai nilai penyesuaian (*adjustment*) pada perhitungan peluang kegagalan (POF).

3.4 Perhitungan Nilai Peluang Kegagalan (POF)

Nilai akhir peluang kegagalan (POF) Perhitungan dilakukan pada 2 (dua) kondisi waktu yang berbeda, yaitu pada saat *RBI date* dan *Plan date*. Pada Tabel 7 dapat dilihat besarnya nilai POF untuk sistem perpipaan hydrant. Pada *RBI Date* rentang POF adalah 9.95E-07 sampai 5.79E-04 dan pada *Plan Date* rentang POF adalah 5.11E-04 sampai 8.95E-03. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa peluang kegagalan terbesar terjadi pada pipa 2" (*line number* 01-102-A53-2"), yaitu 5.79E-04 pada saat *RBI Date* dan 8.95E-03 pada saat *Plan Date*. Penyebab utama pipa 2" tersebut mempunyai nilai POF terbesar karena mempunyai nilai faktor kegagalan yang paling besar

Tabel 7. Peluang Kegagalan (POF) Sistem Perpipaan Hydrant

No.	Jalur Pipa	Peluang Kegagalan/Likelihood (POF)	
		@ RBI date	@ Plan date
1	01-101-A53-3"	7.39.E-06	5.55.E-03
2	01-101-A53-4"	2.98.E-06	4.27.E-03
3	01-102-A53-2"	5.79.E-04	8.95.E-03
4	01-102-A53-3"	7.39.E-06	5.55.E-03
5	01-102-A53-4"	2.98.E-06	4.27.E-03
6	01-103-A53-8"	9.95.E-07	5.11.E-04
7	02-101-A53-4"	2.98.E-06	4.27.E-03
8	02-101-A53-6"	1.25.E-06	2.66.E-03
9	02-102-A53-4"	2.98.E-06	4.27.E-03
10	02-102-A53-6"	1.25.E-06	2.66.E-03
11	02-103-A53-4"	2.98.E-06	4.27.E-03
12	02-103-A53-6"	1.25.E-06	2.66.E-03
13	02-104-A53-4"	2.98.E-06	4.27.E-03
14	02-104-A53-6"	1.25.E-06	2.66.E-03
15	02-105-A53-4"	2.98.E-06	4.27.E-03
16	02-105-A53-6"	1.25.E-06	2.66.E-03
17	02-106-A53-4"	2.98.E-06	4.27.E-03
18	02-106-A53-6"	1.25.E-06	2.66.E-03
19	02-107-A53-4"	2.98.E-06	4.27.E-03
20	02-107-A53-6"	1.25.E-06	2.66.E-03

3.5 Perhitungan Konsekuensi Kegagalan (COF)

Perhitungan COF sistem perpipaan hydrant dipengaruhi oleh beberapa hal seperti laju kebocoran (*release rate*), *inventory mass*, dan jenis kebocoran (*release type*). Ketiga variabel tersebut berpengaruh langsung pada besarnya konsekuensi yang terjadi. Karena fluida yang terkandung adalah air (*water*), maka sesuai dengan ketentuan API 581 jenis konsekuensi yang muncul adalah konsekuensi *non-flammable non-toxic* yang berdampak langsung pada *personnel injury*. Nilai luasan area konsekuensi dari hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 8. Secara umum, semakin besar ukuran pipa, maka besarnya luasan konsekuensi juga semakin besar. Luasan area konsekuensi maksimal terjadi pada pipa 6", dengan luasan area konsekuensi sebesar 217.154 m². Meskipun pipa 8" mempunyai ukuran yang lebih besar dibanding pipa 6", namun mempunyai luasan area konsekuensi yang lebih kecil, yaitu 211.589 m² (< 217.154 m²). Hal ini disebabkan karena pada pipa 2", 4" dan 6", frekuensi kegagalan umum terjadi pada ukuran *small*, *medium* dan *rupture*, sedangkan pada pipa 8" terjadi pada semua ukuran, yaitu *small*, *medium*, *large* dan *rupture*.

Tabel 8. Luasan Area Konsekuensi Non-Flammable Non-Toxic

No.	Jalur Pipa	Final Consequence Area (m ²)
1	01-101-A53-3"	202.015
2	01-101-A53-4"	206.783
3	01-102-A53-2"	118.048
4	01-102-A53-3"	202.015
5	01-102-A53-4"	206.783

No.	Jalur Pipa	Final Consequence Area (m ²)
6	01-103-A53-8"	211.589
7	02-101-A53-4"	206.783
8	02-101-A53-6"	217.154
9	02-102-A53-4"	206.783
10	02-102-A53-6"	217.154
11	02-103-A53-4"	206.783
12	02-103-A53-6"	217.154
13	02-104-A53-4"	206.783
14	02-104-A53-6"	217.154
15	02-105-A53-4"	206.783
16	02-105-A53-6"	217.154
17	02-106-A53-4"	206.783
18	02-106-A53-6"	217.154
19	02-107-A53-4"	206.783
20	02-107-A53-6"	217.154

3.6 Perhitungan dan Analisa Resiko

Perhitungan resiko sistem perpipaan hydrant hanya mempertimbangkan konsekuensi kegagalan fungsi area, atau luasan area konsekuensi kegagalan, dan tidak mempertimbangkan konsekuensi finansial. Besarnya hasil perhitungan resiko dapat dilihat pada Tabel 9. Diketahui bahwa resiko terbesar pada RBI date terjadi pada pipa 2", yaitu sebesar 0.0684 m²/yr, dan pada Plan date resiko terbesar pada pipa 3", yaitu sebesar 1.1209 m²/yr. Namun pipa 2" pada saat Plan date juga mempunyai resiko yang termasuk tinggi yaitu sebesar 1.0561 m²/yr. Nilai resiko yang tertera pada Tabel 9 dianalisa dengan menggunakan ketentuan API RP 581. Luaran hasil analisa berupa kategori resiko yang dapat dilihat pada Tabel 10. dan Tabel 11. *Plotting* nilai resiko dapat dilihat pada Gambar 2 untuk RBI date dan untuk *Plan date*. Dari matriks yang tersaji pada Gambar 2 didapatkan bahwa semua pipa berada pada tingkat resiko *medium* pada saat RBI date. Namun pada saat plan date (jika tidak dilakukan inspeksi) maka kategori resiko berubah menjadi *medium high*, terutama untuk pipa dengan ukuran 2", 3" dan 4". Oleh sebab itu perlu langkah mitigasi berupa kegiatan inspeksi sesuai dengan ketentuan, baik jumlah dan level yang baik.

Tabel 9. Resiko Sistem Perpipaan Hydrant

No.	Jalur Pipa	Nilai Resiko (m ² /yr)		Jenis Resiko
		@ RBI date	@ Plan date	
1	01-101-A53-3"	0.0015	11.209	Area based
2	01-101-A53-4"	0.0006	0.8827	Area based
3	01-102-A53-2"	0.0684	10.561	Area based
4	01-102-A53-3"	0.0015	11.209	Area based
5	01-102-A53-4"	0.0006	0.8827	Area based
6	01-103-A53-8"	0.0002	0.1081	Area based
7	02-101-A53-4"	0.0006	0.8827	Area based
8	02-101-A53-6"	0.0003	0.5776	Area based
9	02-102-A53-4"	0.0006	0.8827	Area based
10	02-102-A53-6"	0.0003	0.5776	Area based
11	02-103-A53-4"	0.0006	0.8827	Area based
12	02-103-A53-6"	0.0003	0.5776	Area based

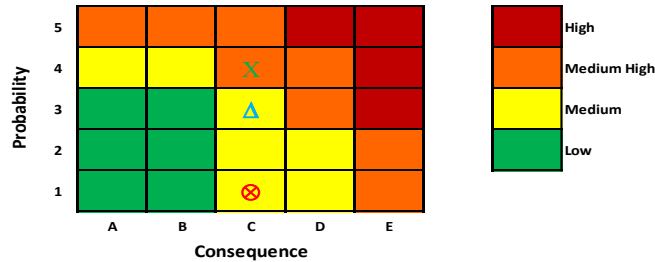
No.	Jalur Pipa	Nilai Resiko (m ² /yr)		Jenis Resiko
		@ RBI date	@ Plan date	
13	02-104-A53-4"	0.0006	0.8827	Area based
14	02-104-A53-6"	0.0003	0.5776	Area based
15	02-105-A53-4"	0.0006	0.8827	Area based
16	02-105-A53-6"	0.0003	0.5776	Area based
17	02-106-A53-4"	0.0006	0.8827	Area based
18	02-106-A53-6"	0.0003	0.5776	Area based
19	02-107-A53-4"	0.0006	0.8827	Area based
20	02-107-A53-6"	0.0003	0.5776	Area based

Tabel 10. Kategori Resiko Sistem Perpipaan Hydrant @RBI date

No.	Jalur Pipa	@ RBI date		
		POF Category	COF Category	Risk Category
1	01-101-A53-3"	1	C	MEDIUM
2	01-101-A53-4"	1	C	MEDIUM
3	01-102-A53-2"	3	C	MEDIUM
4	01-102-A53-3"	1	C	MEDIUM
5	01-102-A53-4"	1	C	MEDIUM
6	01-103-A53-8"	1	C	MEDIUM
7	02-101-A53-4"	1	C	MEDIUM
8	02-101-A53-6"	1	C	MEDIUM
9	02-102-A53-4"	1	C	MEDIUM
10	02-102-A53-6"	1	C	MEDIUM
11	02-103-A53-4"	1	C	MEDIUM
12	02-103-A53-6"	1	C	MEDIUM
13	02-104-A53-4"	1	C	MEDIUM
14	02-104-A53-6"	1	C	MEDIUM
15	02-105-A53-4"	1	C	MEDIUM
16	02-105-A53-6"	1	C	MEDIUM
17	02-106-A53-4"	1	C	MEDIUM
18	02-106-A53-6"	1	C	MEDIUM
19	02-107-A53-4"	1	C	MEDIUM
20	02-107-A53-6"	1	C	MEDIUM

Tabel 11. Kategori Resiko Sistem *Hydrant*
@ Plan Date W/O Inspection

No	Jalur Pipa	@ Plan date W/O Inspection		
		Risk Category	COF Category	Risk Category
1	01-101-A53-3"	4	C	MEDIUM-HIGH
2	01-101-A53-4"	4	C	MEDIUM-HIGH
3	01-102-A53-2"	4	C	MEDIUM-HIGH
4	01-102-A53-3"	4	C	MEDIUM-HIGH
5	01-102-A53-4"	4	C	MEDIUM-HIGH
6	01-103-A53-8"	3	C	MEDIUM
7	02-101-A53-4"	4	C	MEDIUM-HIGH
8	02-101-A53-6"	3	C	MEDIUM
9	02-102-A53-4"	4	C	MEDIUM-HIGH
10	02-102-A53-6"	3	C	MEDIUM
11	02-103-A53-4"	4	C	MEDIUM-HIGH
12	02-103-A53-6"	3	C	MEDIUM
13	02-104-A53-4"	4	C	MEDIUM-HIGH
14	02-104-A53-6"	3	C	MEDIUM
15	02-105-A53-4"	4	C	MEDIUM-HIGH
16	02-105-A53-6"	3	C	MEDIUM
17	02-106-A53-4"	4	C	MEDIUM-HIGH
18	02-106-A53-6"	3	C	MEDIUM
19	02-107-A53-4"	4	C	MEDIUM-HIGH
20	02-107-A53-6"	3	C	MEDIUM



Ukuran Pipa	Risk @RBI date	Risk @Plan date (W/O Inspection)
01-101-A53-3"	1C	4C X
01-101-A53-4"	1C	4C X
01-102-A53-2"	3C	4C X
01-102-A53-3"	1C	4C X
01-102-A53-4"	1C	4C X
01-103-A53-8"	1C	3C Δ
02-101-A53-4"	1C	4C X
02-101-A53-6"	1C	3C Δ
02-102-A53-4"	1C	4C X
02-102-A53-6"	1C	3C Δ
02-103-A53-4"	1C	4C X
02-103-A53-6"	1C	3C Δ
02-104-A53-4"	1C	4C X
02-104-A53-6"	1C	3C Δ
02-105-A53-4"	1C	4C X
02-105-A53-6"	1C	3C Δ
02-106-A53-4"	1C	4C X
02-106-A53-6"	1C	3C Δ
02-107-A53-4"	1C	4C X
02-107-A53-6"	1C	3C Δ

Gambar 3. P&ID Sistem Perpipaan Hydrant

3.7 Perencanaan Jadwal Inspeksi

Mengacu pada kategori resiko yang sudah diperoleh pada Sub Bab sebelumnya, maka diperlukan langkah mitigasi berupa inspeksi agar nilai resiko bisa mengecil pada saat pelaksanaan RBI pada plan date. Selain metode dan level inspeksi yang baik, perlu juga ditentukan nilai target resiko (*risk target*) untuk setiap ukuran pipa. Pada penelitian ini, digunakan beberapa ukuran risk target, yaitu : 0.50 m²/yr untuk pipa ukuran 2", 3" dan 4", 0.05 m²/yr untuk pipa 8" dan 0.30 m²/yr untuk pipa 6". Dengan berbasis pada nilai *risk target* untuk setiap ukuran pipa tersebut, dan menggunakan konsep *linier programming* sederhana, maka dapat diperoleh perkiraan jadwal inspeksi berikutnya. Disamping itu juga dapat diperkirakan penurunan besarnya nilai faktor kegagalan, baik kegagalan akibat thinning maupun kegagalan akibat korosi eksternal untuk semua ukuran pipa. Rencana jadwal inspeksi dan penurunan besarnya faktor kegagalan dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Jadwal Inspeksi dan Nilai Faktor Kegagalan saat Target date Sistem Perpipaan *Hydrant*

No.	Jalur Pipa	Jadwal Inspeksi	Nilai Damage Factor pada Target date	
			Thinning DF	Ext. Corrosion DF
1	01-101-A53-3"	13/02/2027	0.100	301.801
2	01-101-A53-4"	30/04/2028	0.403	294.537
3	01-102-A53-2"	14/01/2027	0.206	516.437
4	01-102-A53-3"	13/02/2027	0.100	301.801
5	01-102-A53-4"	30/04/2028	0.403	294.537
6	01-103-A53-8"	13/04/2027	0.100	28.724
7	02-101-A53-4"	30/04/2028	0.403	294.537
8	02-101-A53-6"	10/11/2027	55.970	112.543
9	02-102-A53-4"	30/04/2028	0.403	294.537
10	02-102-A53-6"	10/11/2027	55.970	112.543
11	02-103-A53-4"	30/04/2028	0.403	294.537
12	02-103-A53-6"	10/11/2027	55.970	112.543
13	02-104-A53-4"	30/04/2028	0.403	294.537
14	02-104-A53-6"	10/11/2027	55.970	112.543
15	02-105-A53-4"	30/04/2028	0.403	294.537
16	02-105-A53-6"	10/11/2027	55.970	112.543
17	02-106-A53-4"	30/04/2028	0.403	294.537
18	02-106-A53-6"	10/11/2027	55.970	112.543
19	02-107-A53-4"	30/04/2028	0.403	294.537
20	02-107-A53-6"	10/11/2027	55.970	112.543

4. KESIMPULAN

Besarnya peluang kegagalan (POF) yang terjadi pada sistem perpipaan *hydrant* berkisar dari 9.95E-07 sampai 5.79E-04 pada saat *RBI date*, dan berkisar antara 5.11E-04 sampai 8.95E-03 pada saat *Plan date*. Besarnya peluang kegagalan terbesar terjadi pada pipa dengan ukuran 2", yaitu pada *line number* 01-102-A53-2". Konsekuensi kegagalan (COF) yang terjadi pada sistem perpipaan *hydrant* bersifat *non-flammable non-toxic* dan diwujudkan dalam bentuk seberapa besar luasan terdampak, akibat besarnya kebocoran yang mungkin terjadi. Besarnya luasan area terdampak sebagai

konsekuensi kegagalan berkisar antara 118.048 m² sampai 217.154 m². Nilai terbesar terjadi pada semua pipa dengan ukuran 6”.

Resiko yang terjadi merupakan fungsi dari besarnya nilai POF dan COF. Pada saat *RBI date*, kategori resiko sistem perpipaan *hydrant* berkisar antara 1C (*Medium*) sampai 3C (*Medium*). Namun pada saat *plan date*, kategori resiko berubah menjadi antara 3C (*Medium*) sampai pada 4C (*Medium High*). Pada saat *RBI date* dengan jelas dapat diketahui bahwa resiko yang terjadi lebih disebabkan oleh besarnya COF, atau dengan kata lain dominan disebabkan oleh konsekuensi kegagalan yang timbul. Namun pada saat *plan date*, resiko yang terjadi sudah merupakan kombinasi seimbang antara COF dan POF. Konsep perawatan dan inspeksi yang harus dilakukan merupakan suatu langkah mitigasi untuk menurunkan nilai POF dan juga COF. Untuk mengurangi POF bisa dilakukan dengan cara melakukan inspeksi yang baik, sehingga didapatkan nilai faktor kegagalan yang mengecil. Sedangkan untuk menurunkan nilai COF perlu ditentukan nilai *target risk*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah mendukung dan berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Kami berharap hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat serta diaplikasikan untuk mengatasi berbagai tantangan yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Petroleum Institute, *API 580. Risk-based Inspection*, 3rd ed. Washington D.C.: API Publishing Services, 2016.
- [2] American Petroleum Institute, *API 581. Risk-based Inspection Methodology*, 3rd ed. Washington D.C.: API Publishing Services, 2016.
- [3] Tien S.W., Hwang, W.T., Tsai, C.H., (2007), “Study of a risk-based piping inspection guideline system”, *ISA Transaction*, Vol. 46, 2007, hal. 119-126.
- [4] Joki, R.R., (2011), “Risk Assessment Pipa Gas (Piping) 6”, 8”, 12”, 16” dan 18” terhadap Serangan Korosi di Anjungan Lepas Pantai PT. X dengan Menggunakan Metode Risk Based Inspection (RBI)”, Laporan Thesis, Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik, Universitas Indonesia, 2011. <http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20313331-T%2031723-Risk%20assesment-full%20text.pdf>.
- [5] Selvik, J.T., Scarf, P., Aven, T., (2011), “An Extended Methodology For Risk Based Inspection Planning”, *RT&A#01(20)*, Vol. 2.
- [6] Perumal, K.E., (2014), “Corrosion Risk Analysis, Risk Based Inspection and a Case Study Concerning a Condensate Pipeline”, 1st International Conference on Structural Integrity – ICONS, *Procedian Engineering*, Elsevier
- [7] Vicente, F., (2014), “Critically Assessment of Piping Systems For Oil & Gas Facilities”, *Inspectioneering Journal; Asset Integrity Management*, Vol. 20, Issue 3, June.
- [8] Krstin, L., Vicente, F., (2017), “The Piping Integrity Management Challenge”, *Inspectioneering Journal; Asset Integrity Management*, Vol. 23, Issue 2, March.
- [9] Sharma, P., Toiwari, M., Sharma, K., (2014), “Design and Analysis of a Process Plant Piping System”, *International Journal of Current Engineering and Technology*, Special Issue-3, April.
- [10] Husodo, A.W., Mahardika, P., Vadilla, V., (2019), “Analisa Fleksibilitas Sistem Perpipaan pada Fatty Acid Plant Akibat Pergeseran Posisi Evaporator”, *Jurnal Inegrasi, Politeknik Negeri*

Batam, Vol. 11, No. 2, Oktober.

- [11] Romadhoni., Santoso, B., Santria, B., Aprizawatid., Fazrian., (2023) “Desain Safety Plan Dan Jalur Evakuasi Kapal Penumpang Km Jelatik Rute Pekanbaru Kabupaten Kepulauan Meranti”, Jurnal Inovtek, Politeknik Negeri Bengkalis, Vol. 13, No. 2, November.
- [12] Hidayat, D., (2018) “Perancangan Proteksi Kebakaran Otomatis Pada Kapal Berbasis Arduino”, Jurnal Teknologi Maritim, Vol. 1, No. 2, November.
- [13] Ashari, M, L., Febriyanti, Ayu., Rosid, A., Urzais, Mazdra., Dewi, V, M, J., Dermawan, D., (2020) “Analisis K3 Pekerjaan Pengelasan Pada Perusahaan Manufaktur Transportasi Menggunakan Metode Metode Hazard Identification Risk Assessment And Risk Control (Hirarc)”, Jurnal Teknologi Maritim, Vol. 3, No. 2, Agustus.
- [14] Rizal, M, C., (2023) “Risk Assessment Proses Hydrotest Tube Bundle Heat Exchanger dengan Metode Hiradc dan FTA”, Jurnal Teknologi Maritim, Vol. 6, No. 1, Agustus.
- [15] Putranto, W, A., Khairansyah, M, D., Ashari, M, L., Adianto., Rosydah, B, M., Sari, P, N, I., Sahhal, R, F., (2020) “Aplikasi SMS (Sistem Monitoring Sprinkler) untuk Mengurangi Resiko Kebakaran di Tempat Kerja”, Jurnal Teknologi Maritim, Vol. 3, No. 2, Agustus.