



Analisis Risiko Kerusakan Material Pipa Penyangga Jembatan Jalur Pengeboran Minyak dengan Metode *Risk Based Maintenance*

Fikar Ramdan, Gama Harta Nugraha Nur Rahayu*

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pancasila, Jl. Lenteng Agung Raya No.56, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12630, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Artikel Masuk: 23 Januari 2023

Artikel direvisi: 02 Mei 2023

Artikel diterima: 07 Mei 2023

Kata kunci

Pemeliharaan

Pipa Penyangga

Risk Based Maintenance

Risk Matrix

Sisa Umur Layan

Keywords

Maintenance

Support Pipe

Risk Based Maintenance

Risk Matrix

Remaining Life

ABSTRAK

PT.PQR adalah perusahaan penyedia jasa minyak dan gas di Indonesia yang memiliki beberapa jembatan sebagai infrastruktur penunjang transportasi dalam pengeboran minyak yang tersebar di Provinsi Riau. Jembatan PCK-03-B yang dibangun pada tahun 1959 menjadi obyek penelitian dengan fokus pada pipa-pipa penyangganya yang memiliki sambungan pengelasan yang rentan mengalami korosi. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalisasi tingkat risiko yang ditimbulkan akibat kerusakan material pada pipa penyangga jembatan sebagai bagian dari kegiatan pemeliharaan terhadap kondisi material pipa penyangga. Metode Risk-Based Maintenance (RBM) digunakan dengan menentukan Probability of Failure (PoF) dan Consequence of Failure (CoF). CoF terdiri dari Stand by Availability, Financial Model dan Location Model yang dihitung untuk mendapatkan hasil berupa Criticality Matrix. Pipa penyangga PL 2 C dijadikan acuan kondisi keseluruhan jembatan PCK-03-B karena memiliki laju korosi terkritis sebesar 0,151 mm/tahun dengan sisa umur layan jembatan paling pendek yaitu 9 tahun mendatang jika dibandingkan dengan yang lainnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa pipa penyangga PL 2 C diperoleh nilai PoF sebesar 2 dan CoF sebesar 10 yang menunjukkan dalam kategori 2D dengan tingkat kerusakan kategori sedang. Rentang penjadwalan perbaikan jembatan PCK-03-B ditetapkan pada 8 tahun (per-2019) mendatang yaitu di tahun 2027, sebelum masa umur pakai habis, sehingga dapat menghindari risiko terjadinya kecelakaan yang tidak diharapkan.

ABSTRACT

PT.PQR is an oil and gas service company in Indonesia with several bridges supporting infrastructure for transport in oil drilling spread across Riau Province. The PCK-03-B bridge, built in 1959, is the object of research focusing on supporting pipes with welding connections prone to corrosion. This research aims to minimise the risk caused by material damage to the bridge support pipes as part of maintenance activities on the condition of the support pipe material. The Risk-Based Maintenance (RBM) method is used to determine the Probability of Failure (PoF) and Consequence of Failure (CoF). CoF consists of Stand by Availability, Financial Model and Location Model, which are calculated to get the results as a Criticality Matrix. The PL 2 C support pipe is used as a reference for the overall condition of the PCK-03-B bridge because it has the most critical corrosion rate of 0.151 mm/year with the shortest remaining bridge service life of the next nine years when compared to the others. The analysis results show that the PL 2 C support pipe obtained a PoF value of 2 and CoF of 10 which indicates in the 2D category with a moderate level of damage. The repair scheduling range for the PCK-03-B bridge is set for the next eight years (per-2019), namely in 2027, before the service life expires, to avoid the risk of unexpected accidents.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

* Penulis Korespondensi

Gama Harta Nugraha Nur Rahayu

E-mail: gama@univpancasila.ac.id



© 2023. Some rights reserved



1. PENDAHULUAN

PT. PQR merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri jasa minyak dan gas di Indonesia. Perusahaan yang berada di Provinsi Riau lebih dari 60 tahun tersebut memiliki beberapa jembatan yang tersebar di dalam provinsi, yang menghubungkan antar lokasi sumur eksplorasi (*well*) yang satu dengan yang lainnya. Jembatan tersebut juga dimanfaatkan sebagai infrastruktur penunjang transportasi dalam pengeboran minyak, sehingga perlu dijamin keamanannya ketika akan dilewati oleh kendaraan pengangkut peralatan untuk pengeboran. Perusahaan berusaha menerapkan peningkatan efektivitas perawatan terhadap sarana jembatan (Wijaya & Sholihin, 2022). *Maintenance* bertujuan untuk menjaga serta memperbaiki alat penunjang produksi hingga menjadi satu kondisi yang selayaknya (Limantoro, 2013).

Salah satu komponen jembatan yang perlu diperhatikan adalah material dari pipa penyangga jembatan yang memiliki sambungan pengelasan yang rentan mengalami korosi. Data hasil uji ketebalan profil pipa penyangga jembatan pada tahun 2019, didapatkan nilai laju korosi paling kritis terdapat pada pipa penyangga dengan kode PL 2 segmen C dengan nilai laju korosi sebesar 0,151 mm/tahun dan berdasarkan NACE RP-0169 dapat dikatakan laju korosi ini termasuk dalam kategori sedang. Sedangkan sisa umur layan jembatan terhitung tinggal 9 tahun lagi. Mengingat sisa umur layan jembatan tersebut adalah yang paling pendek maka pipa penyangga dengan kode PL 2 segmen C tersebut dijadikan sebagai acuan kondisi keseluruhan jembatan PCK-03-B.

Penelitian ini difokuskan pada pipa penyangga pada jembatan PCK-03-B yang berfungsi sebagai penopang jembatan yang dilalui oleh kendaraan alat berat serta sebagai penopang beban kendaraan truk eksplorasi pengeboran minyak dan gas. Pipa penyangga jembatan menjadi salah satu komponen penting yang diharuskan untuk dilakukan perawatan atau perbaikan secara berkala. Proses *maintenance* yang kurang baik dapat menyebabkan perusahaan mengalami kerugian rusaknya material pada jembatan dan akan menurunkan jumlah produksi atau hasil produksi. Oleh karena itu diperlukan teknik perawatan, dimana terdapat dua teknik *maintenance* sebagai operasi produksi pada suatu perusahaan yaitu perawatan terencana dan perawatan tidak terencana (Mentari & Lie, 2017). Perawatan terencana merupakan perawatan yang dilakukan secara rutin dengan dengan terkoordinasi untuk mencegah kerusakan peralatan sebelum peralatan tersebut rusak. Perawatan ini dilaksanakan dengan mencatat sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan. Perawatan tidak terencana merupakan

perawatan yang dilaksanakan disebabkan adanya indikasi terdapatnya kegiatan proses produksi secara mendadak yang mengakibatkan terhambatnya proses produksi. Selain itu, perawatan harus dilakukan ketika terjadi kerusakan yang beralasan untuk keselamatan kerja, dapat dikatakan perawatan tidak terencana ini dilakukan setelah mengalami kerusakan pada jembatan.



Gambar 1. Jembatan PCK-03-B

Gambar 1 menunjukkan pipa penyangga jembatan PCK-03-B pada jalur pengeboran minyak PT. PQR. Pipa penyangga tersebut memiliki sambungan pengelasan yang rentan mengalami korosi. Korosi merupakan penghancuran paksa zat seperti logam dan bahan bangunan mineral media sekitarnya, yang umumnya berbentuk cair (agen korosif). Kehancuran tersebut dapat menyebar ke bagian dalam material. Organisme juga dapat berkontribusi pada korosi bahan bangunan (Knöfel, 1978). Korosi juga dapat didefinisikan sebagai penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya (Afandi et al., 2015).

Korosi dapat diakibatkan dari faktor geografis yang berbeda dari satu tempat dengan tempat lain. Lingkungan menjadi penyebab utama yang mengakibatkan korosi (Fontana, 1986). Beberapa jenis korosi yang umum ditemukan pada suatu pipa penyangga jembatan, yaitu korosi seragam (*uniform corrosion*), yang terjadi pada permukaan logam, kelembaban (*humidity*) merupakan kondisi lingkungan yang mengakibatkan logam yang terpapar langsung oleh udara terjadi pengikisan pada permukaannya, korosi lubang (*pitting corrosion*), yang terjadi pada logam baja dan aluminium, tidak homogenya komposisi logam merupakan faktor yang mengakibatkan korosi, korosi erosi (*erosion corrosion*), yang terjadi pada pipa, biasanya menimbulkan bagian yang kasar hingga tajam yang terjadi karena keausan yang mengakibatkan film pelindung logam terkikis akibat pergerakan fluida yang yang cepat seperti abrasi pasir, dan korosi tegang (*stress corrosion*), yang terjadi pada pipa, yang diakibatkan oleh aksi

tegang (*stress*) akibat kondisi metalurgi yang menyebabkan kegagalan komponen (Siregar et al., 2021).

Tujuan penelitian ini adalah untuk meminimalisasi tingkat risiko yang ditimbulkan akibat kerusakan material pada pipa penyangga jembatan sebagai bagian dari kegiatan pemeliharaan. Dengan mengetahui kondisi pipa penyangga dari jembatan PCK-03-B dan sisa umur layan (*remaining life*) pada jembatan PCK-03-B, maka dapat diketahui tingkat risiko pada pipa penyangga jembatan PCK-03-B yang mengalami kerusakan material akibat korosi sehingga dapat ditentukan penjadwalan perbaikan yang dibutuhkan.

2. METODE PENELITIAN

Untuk mengatasi risiko korosi maka pengujian pipa penyangga jembatan diperlukan untuk mengetahui sisa umur layan (*Remaining Life*) dari jembatan PCK-03-B. *Remaining Life* adalah batasan waktu dari sebuah pipa yang diukur dari minimum ketebalannya. Bila tidak terdapat kerusakan yang signifikan, setidaknya mengetahui pemeliharaan yang tepat untuk jembatan tersebut. Strategi pemeliharaan yang didapat diharapkan dapat mengurangi risiko terjadinya kecelakaan kerja seperti runtuhnya jembatan sebelum masa umur pakai digunakan. Dari permasalahan tersebut, diperlukan metode *Risk Based Maintenance* (RBM) untuk menangani masalah korosi pada pipa penyangga. Metode RBM merupakan pendekatan terhadap penilaian risiko dalam upaya membantu proses pengambilan keputusan tentang kebijakan perawatan komponen untuk meminimalisir kegagalan alat penunjang produksi (Arunraj & Maiti, 2007; Jaderi et al., 2019).

2.1. Sisa Umur Layan

Laju korosi merupakan suatu penurunan kualitas bahan terhadap waktu, peristiwa terjadinya korosi pada suatu material yang digunakan saat proses produksi berlangsung (Afandi et al., 2015). Perhitungan laju korosi berdasarkan standar American Petroleum Institute (API) 570 : 2003.

$$CR = \frac{t_{initial} - t_{actual}}{\text{Tahun diantara umur } t_i \text{ dan } t_a} \quad (1)$$

Dimana CR: Laju korosi (mm/tahun); $t_{initial}$ (t_i): Ketebalan actual awal jembatan dibangun (mm); t_{actual} (t_a) min : Ketebalan maksimum awal diukur.

Laju korosi yang telah diperhitungkan dapat didefinisikan terhadap empat kategori sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Kategori terkecil (rendah) bernilai kurang dari 0,127 mm/tahun. Sedangkan untuk nilai tertinggi (parah) bernilai

lebih dari 0,381 mm/tahun.

Tabel 1. Kategori Laju Korosi (National Association of Engineer, 2002)

Kategori	Laju Korosi (mm/tahun)
Rendah	< 0,127
Sedang	0,127 – 0,2032
Tinggi	0,2032 – 0,381
Parah	> 0,381

Perkiraan sisa umur layan konstruksi dihitung dengan menggunakan rumus:

$$RL = \frac{t_{actual} - t_{required}}{\text{Corrosion Rate}} \quad (2)$$

Dimana RL: Sisa Umur Layan (tahun); *Corrosion Rate*: Laju korosi tertinggi; $t_{initial}$ (t_i): Ketebalan actual awal jembatan dibangun (mm); t_{actual} (t_a) min: Ketebalan maksimum awal diukur

2.2. Risk-Based Maintenance (RBM)

Setiap kegiatan organisasi pasti menghadapi berbagai risiko yang mempengaruhi pencapaian target organisasi (Rahayu et al., 2018). Risiko merupakan kemungkinan terjadinya peristiwa atau situasi yang dapat menimbulkan akibat atau dampak negatif. Dengan kata lain, risiko adalah kemungkinan terjadinya sesuatu yang buruk. Jadi ada dua hal yang diukur dari sebuah risiko, yaitu kemungkinan (*probability/likelihood*) terjadinya peristiwa dan konsekuensi (*consequence*) atau dampak dari peristiwa tersebut (Rahayu, 2023).

Oleh karena itu, diperlukan metode yang bersifat proaktif dalam mengidentifikasi sumber risiko/bahaya, sehingga potensi risiko/bahaya bisa dikendalikan sesuai dengan hasil penilaian dan analisis risiko (Mahardhika & Pramudyo, 2023). Terjadinya kecelakaan akibat suatu kegiatan berpotensi memberikan dampak pada pencapaian produktivitas perusahaan. Berbagai upaya dapat dilakukan guna mengurangi dampak atau risiko tersebut. Pengurangan dampak risiko kecelakaan kerja selayaknya memperhatikan keterkaitan antara kriteria/faktor dalam kecelakaan kerja (Rahayu & Fitri, 2020). Kegiatan *preventive maintenance* juga akan mempengaruhi nilai produktivitas (Saputra & Rahayu, 2019).

Metode *Risk-Based Maintenance* (RBM) merupakan suatu metode kuantitatif yang didasarkan dari integrasi pendekatan antara reliability dan sebuah strategi pendekatan risiko yang bertujuan untuk mengoptimalkan jadwal *Maintenance* dan untuk meminimalkan risiko yang ditimbulkan akibat *failure* yang terjadi (Khan & Haddara, 2004). Metode RBM digunakan dengan menentukan *Probability of Failure* (PoF) dan

Consequence of Failure (CoF). CoF terdiri dari *Stand by Availability*, *Financial Model* dan *Location Model* yang dihitung untuk mendapatkan hasil berupa *Criticality Matrix* (Tulloh et al., 2019).

Probability of Failure adalah kemungkinan dari kegagalan yang berada pada bagian pipa penyangga pada jembatan PCK-03-B. Kemungkinan ini menggunakan hasil sisa umur layan (RL/*Remaining Life*) sebagai penentuan kegagalan. Nilai PoF dapat ditentukan dengan observasi, wawancara, data sekunder, dan kriteria risiko. Penentuan nilai kemungkinan dari kegagalan (PoF) berdasarkan nilai hasil sisa umur layan (Tabel 2). Terdapat lima kategori, dimana nilai PoF terkecil untuk nilai RL lebih dari sama dengan 10 tahun. Sedangkan untuk nilai PoF tertinggi untuk nilai RL kurang dari sama dengan 4 tahun. Artinya nilai RL semakin besar RL, semakin kecil nilai PoF.

Tabel 2. *Probability of Failure Ranking*

<i>Remaining of Life</i>	<i>Probability of Failure</i>
RL ≤ 4 Tahun	5
4 < RL ≤ 6	4
6 < RL ≤ 8	3
8 < RL ≤ 10	2
RL ≥ 10 Tahun	1

Consequence of Failure adalah dampak yang terjadi akibat adanya segala kemungkinan dari kegagalan pada jembatan PCK-03-B. Penentuan nilai kemungkinan dari dampak yang terjadi akibat dari kegagalan terbagi lima kategori, dimana nilai CoF terkecil bernilai 1 (Sangat Rendah) dan nilai CoF tertinggi bernilai 5 (Tabel 3). *Consequence of Failure* dibagi menjadi tiga klasifikasi: *Stand by Availability*, *Financial Model* dan *Location Model*.

Tabel 3. Nilai Parameter *Consequence*

<i>Nilai Parameter Consequence of Failure</i>	
5	<i>Catastrophic</i> (Tinggi)
4	<i>Significant</i> (Sedang Tinggi)
3	<i>Moderate</i> (Sedang)
2	<i>Minor</i> (Rendah)
1	<i>Insignificant</i> (Sangat Rendah)

Stand by availability adalah dampak yang timbul dari material yang telah ditentukan oleh kerusakan atau keparahannya (Tabel 4). *Financial Model* adalah dampak dari keuangan yang berkaitan dengan terjadinya kerusakan pada suatu material untuk memperbaiki jika terdapat kerusakan. Tabel 5 menunjukkan biaya yang sebenarnya dikeluarkan oleh perusahaan dengan kurun waktu tertentu guna memperbaiki jika

terdapat kerusakan pada jembatan PCK-03-B. *Location Model* adalah letak area yang berada di sekitar jembatan PCK-03-B yang dikategorikan berdasarkan kelas lokasi dari tingkat kepadatan penduduk pemukiman sekitar (Tabel 6).

Tabel 4. *Stand By Availability* (CoF 1)

<i>Stand by Availability (s)</i>	<i>Skor</i>
Tidak bisa dilewati sama sekali	5
Penurunan beban kendaraan s/d maksimum 20%	4
Penurunan beban kendaraan s/d maksimum 10%	3
Penurunan beban kendaraan s/d maksimum 5%	2
Tanpa Penurunan	1

Tabel 5. *Financial Model* (CoF 2)

<i>Waktu Perbaikan</i>	<i>Kerusakan/Biaya Perbaikan (B)</i>	<i>Skor</i>
M ≥ 7 Hari	B ≥ Rp. 1M	5
5 ≤ M ≤ 7 Hari	Rp.500 Juta - Rp. 1M	4
3 ≤ M ≤ 5 Hari	300 – 500 JT	3
1 ≤ M ≤ 3 Hari	100 – 300 JT	2
M ≤ 1 Hari	B < 100 JT	1

Tabel 6. *Location Model* (CoF 3)

<i>Kelas Lokasi</i>	<i>Skor</i>
Area Publik, Padat penduduk (lalu lintas padat)	5
Area Publik, jauh dari pemukiman (tidak terlalu padat)	4
Lokasi umum dan lalu lintas dapat dimonitor	3
Di dalam Area produksi, jauh dari lalu lintas penduduk	2
Cluster ada security (di area produksi yang termonitor)	1

Penentuan perhitungan matriks risiko sebagai berikut:

$$\text{Risk} = \sum \text{PoF} \times \sum \text{CoF} \quad (3)$$

Dimana CoF: *Consequences of Failure* dan PoF: *Probability of Failure*.

Nilai CoF terbagi A = 0 – 3, B = 4 – 6, C = 7 – 9, D = 10 – 12 dan E = 13 – 15. Berdasarkan matriks risiko dapat diketahui tingkat risiko kegagalan pipa penyangga yang dapat ditentukan menggunakan *Criticality Matrix* (Tabel 7). *Criticality Matrix* merupakan alat umum untuk penilaian dan komunikasi kekritisan suatu material yang digunakan untuk menentukan tingkat risiko.

Tabel 8 menunjukkan matriks untuk perencanaan penjadwalan perbaikan yang disebut Matriks Interval Inspeksi (*MII/Matrix Interval Inspection*). Hasil perencanaan MII tersebut

ditentukan dari kategori kekritisitas yang telah didapat berdasarkan *Criticality Matrix* dengan indeks angka keyakinan (*confidence factor*) untuk mendapatkan rentang perencanaan jadwal perbaikan pipa penyangga jembatan PCK-03-B selanjutnya. Penentuan penjadwalan perbaikan berdasarkan hasil dari Matriks Interval Inspeksi selanjutnya diolah menggunakan *Microsoft Excel* yang nantinya menghasilkan *Gantt Chart*.

Tabel 7. *Criticality Matrix* (American Petroleum Institute, 2002)

		Consequence of Failure (CoF)				
		A	B	C	D	E
POF	5	5A	5B	5C	5D	5E
	4	4A	4B	4C	4D	4E
	3	3A	3B	3C	3D	3E
	2	2A	2B	2C	2D	2E
	1	1A	1B	1C	1D	1E

5	Catastrophic (Tinggi)
4	Significant (Sedang Tinggi)
3	Moderate (Sedang)
2	Minor (Rendah)
1	Insignificant (Sangat Rendah)

Tabel 8. *Matrix Interval Inspection* (American Petroleum Institute, 1998)

Kategori Kekritisitas		Confidence Level (tahun)			
		4	3	2	1
5E 4E,5D 3E,4D,5C	High Risk	1	2	6	N/A
		2	4	6	N/A
		3	4	6	N/A
2E,3D,4C,5B 1E,2D,3C,4B,5A	Medium Risk	4	4	8	8
		4	6	8	8
		6	6	8	10
1C,2B,3A 1B,2A	Low Risk	6	8	10	10
		8	10	10	15
1A		8	10	15	15

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 9 menampilkan data yang digunakan yaitu hasil uji ketebalan profil pipa penyangga jembatan PCK-03-B yang meliputi ketebalan maksimum dan ketebalan minimum dari elemen struktur *Steel Pile* dengan Tipe Profil *Steel Pipe* dari tiap pipa yang diperiksa pada tahun 2019.

3.1. Sisa Umur Layan

Dalam perhitungan sisa umur layan dihitung terlebih dahulu laju korosi maksimal menggunakan hasil pengukuran ketebalan masing-masing pipa penyangga. Laju korosi menggunakan Rumus 1 dengan data ketebalan minimum dari masing-masing kode pipa penyangga (Tabel 9) dan ketebalan maksimum awal jembatan dibangun yang menggunakan data prediksi bahwa profil awal dari pipa penyangga yang

dipakai adalah diameter 12 inch *schedule* 80S dengan ketebalan (tebal initial) 12,7 mm.

1. Perhitungan laju korosi pada pipa penyangga PL 2 C

$$CR = \frac{12,7-3,62}{60} = 0,151 \text{ mm/tahun}$$

2. Perhitungan laju korosi pada pipa penyangga PL 3 pada segmen C

$$CR = \frac{12,7-3,72}{60} = 0,150 \text{ mm/tahun}$$

3. Perhitungan laju korosi pada pipa penyangga PL 4 pada segmen C

$$CR = \frac{12,7-3,82}{60} = 0,147 \text{ mm/tahun}$$

Berdasarkan perhitungan, laju korosi yang mempunyai nilai tertinggi pada pipa penyangga jembatan PCK-03-B adalah pipa penyangga dengan kode PL 2 segmen C yaitu sebesar 0,151 mm/tahun. Nilai pipa penyangga jembatan PCK-03-B tersebut dinyatakan sebagai korosi sedang berdasarkan *standard* NACE RP 0169-83 untuk menentukan besaran nilai laju korosi.

Tabel 9. Uji Ketebalan Profil Pipa Penyangga Jembatan PCK-03-B

No	Kode & Segmen	Posisi Pengujian Ketebalan (mm)				t _a min
		12	3	6	9	
1.	PL 2 A	5,78	5,63	5,54	5,61	5,54
	PL 2 B	4,37	4,12	4,25	4,39	4,12
	PL 2 C	3,85	3,63	3,62	3,69	3,62
2.	PL 3 A	5,41	5,53	5,34	5,56	5,34
	PL 3 B	4,56	4,30	4,46	4,39	5,30
	PL 3 C	4,03	3,98	3,85	3,72	3,72
3.	PL 4 A	5,11	5,18	5,21	5,15	5,11
	PL 4 B	4,79	4,66	4,64	4,76	4,64
	PL 4 C	3,87	3,93	4,02	3,91	3,87

Sebelum melakukan perhitungan perkiraan sisa umur layan konstruksi dihitung terlebih dahulu ketebalan minimum yang dipersyaratkan (t_r), berdasarkan *safety factor* dari prediksi pembebanan struktur jembatan

$$t_r = \frac{PD}{V_y E_j} \tag{4}$$

Dimana t_r: Ketebalan minimum yang dipersyaratkan; P: Beban truk eksplorasi (104,90 Psi); D: Diameter luar pipa; V_y: Tegangan yang diizinkan (24.791,591 Psi) dan E_j: *Joint Quality Factor* sebesar 0,6 (American National Standards Institute, 2012).

Berdasarkan rumus (4) maka

$$t_r = \frac{104,90 \times 12}{24.791,591 \times 0,6} = 0,085 \text{ inch} = 2,159 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil tersebut dapat ditentukan dari masing-masing pipa penyangga dengan kode PL

2, PL 3, dan PL 4, untuk perkiraan sisa umur layan konstruksinya, dengan menggunakan rumus (2):

1. Perkiraan sisa umur layan pada pipa penyangga PL 2 C

$$RL = \frac{3,62-2,159}{0,151} = 9 \text{ tahun}$$

2. Perkiraan sisa umur layan pada pipa penyangga PL 3 C

$$RL = \frac{3,72-2,159}{0,150} = 10 \text{ tahun}$$

3. Perkiraan sisa umur layan pada pipa penyangga PL 4 C

$$RL = \frac{3,87-2,159}{0,147} = 11 \text{ tahun}$$

Hasil kalkulasi prediksi sisa umur jembatan PCK-03-B ditampilkan pada Tabel 10. Perkiraan sisa umur pakai jembatan PCK-03-B yang paling kritis adalah 9 tahun yaitu pada pipa penyangga dengan kode PL 2 segmen C. Berdasarkan hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa prediksi sisa umur layan konstruksi adalah 9 tahun kedepan sehingga jembatan tersebut saat ini masih aman untuk dilewati.

Tabel 10. Prediksi Sisa Umur Layan

Kode & Segmen	Laju Korosi (CR)	Sisa Umur Layan (tahun)	Kategori Korosi
2 C	0,151	9	Sedang
3 C	0,150	10	Sedang
4 C	0,147	11	Sedang

3.2. Risk Based Maintenance

Penentuan PoF dengan mengacu pada Tabel 2. Pipa penyangga jembatan dengan kode PL 2C RL (*Remaining Life*)-nya berada di range 8-10 tahun dikategorikan sebagai PoF dengan kemungkinan kecil akan terjadi kegagalan dengan *rating* 2 (dua), sedangkan pada kode PL 3C dan PL 4C didapatkan RL lebih dari 10 tahun yang dikategorikan sebagai PoF dengan sangat jarang untuk terjadinya kegagalan dengan *rating* 1 (satu) (Tabel 11).

Tabel 11. Probability of Failure Ranking

Kode & Segmen	Probability of Failure (POF) Remaining Life	Rating
2 C	9 Tahun	2
3 C	10 Tahun	1
4 C	11 Tahun	1

Pipa penyangga jembatan pada kode PL 2C dan PL 3C ditetapkan jika penurunan beban kendaraan s/d maksimum 20% yang dikategorikan sebagai *Stand By Availability* sedang dengan *rating* 4 karena RL pada pipa tersebut kurang dari 10 tahun. Sedangkan pada pipa penyangga jembatan pada kode PL 4C ditetapkan jika penurunan

beban kendaraan s/d maksimum 10% yang dikategorikan sebagai *Stand By Availability* rendah dengan *rating* 3 karena RL pada pipa tersebut lebih dari 11 tahun (Tabel 12).

Tabel 12. Stand by Availability (CoF 1)

Kode & Segmen	Stand by Availability	Rating
2 C	Derating Max 20%	4
3 C	Derating Max 20%	4
4 C	Derating Max 10%	3

Tiap-tiap pipa penyangga jembatan PCK-03-B membutuhkan waktu 1-3 hari untuk memperbaiki pipa penyangga jembatan yang rusak apabila terjadi kerusakan, serta berdasarkan data perusahaan membutuhkan biaya sebesar Rp.100.000.000-Rp.300.000.000 untuk setiap melakukan perbaikan. Berdasarkan hal tersebut, *financial model* pada pipa penyangga jembatan memiliki kategori sedang dengan *rating* 2 (Tabel 13).

Tabel 13. Financial Model (CoF 2)

Kode & Segmen	Financial Model Waktu Perbaikan (hari)	Rating
2 C	1-3	2
3 C	1-3	2
4 C	1-3	2

Tabel 14. Location Model (CoF 3)

Kode & Segmen	Location Model Lokasi	Rating
2 C	Area publik jauh dari pemukiman	4
3 C	Area publik jauh dari pemukiman	4
4 C	Area publik jauh dari pemukiman	4

Lokasi pipa penyangga jembatan PCK-03-B memiliki *rating* 4 yaitu Area Publik Jauh dari Pemukiman (lalu lintas tidak terlalu padat), dikarenakan struktur dari setiap komponen memiliki letak lokasi yang sama (Tabel 14). Berdasarkan nilai CoF1-CoF3 tersebut, *ranking* konsekuensi kegagalan (CoF) dapat direkapitulasi menjadi satu (Tabel 15). Hasil rekapitulasi CoF dimana dapat disimpulkan bahwa dari ketiga kategori tersebut didapatkan rata-rata sebesar 10 dengan hasil *Criticality Matrix* menurut API 580 untuk pipa penyangga jembatan dengan kode PL 2 C dan 3 C adalah D. Sedangkan pada pipa penyangga jembatan dengan kode PL 4 C sebesar 9 dengan hasil *Criticality Matrix* adalah C.

Tabel 15. *Consequence of Failure* dari tiap elemen *Steel Pile*

Kode & Segmen	Consequence of Failure			ΣCoF	CoF
	CoF1	CoF2	CoF3		
2 C	4	2	4	10	D
3 C	4	2	4	10	D
4 C	3	2	4	9	C

Penentuan tingkat risiko pada Analisis *Risk Based Maintenance* menggunakan *Criticality Matrix* untuk mengetahui risiko pipa pada setiap bagian jembatan PCK-03-B yang akan diukur dalam terminologi *Probability of Failure* dan *Consequence of Failure* dengan menggunakan rumus 3 (Tabel 16).

Tabel 16. Rangkings Risiko dari tiap *Steel Pile*

Kode & Segmen	PoF	CoF	Rating
2 C	2	D	Sedang
3 C	1	D	Rendah
4 C	1	C	Sangat Rendah

Berdasarkan Tabel 7 maka *Criticality Matrix* pada pipa penyangga PL 2 C didapatkan hasil yang berada pada kolom kuning dengan kategori tingkat kerusakan pipa yang sedang (*3/moderate*). Sementara itu untuk pipa penyangga PL 3 C didapatkan hasil yang berada pada kolom hijau muda dengan kategori tingkat kerusakan pipa yang rendah (*2/minor*). Dan untuk pipa penyangga PL 4 C didapatkan hasil yang berada pada kolom hijau tua dengan kategori tingkat kerusakan pipa yang sangat rendah (*1/Insignificant*).

Penentuan jadwal perbaikan pada pipa penyangga jembatan PCK-03-B penghubung jalur pengeboran minyak melalui dua tahap, yaitu perencanaan penjadwalan perbaikan dan penjadwalan perbaikan. Hasil perencanaan matriks interval inspeksi ditentukan dari kategori kekritisitas yang telah didapat berdasarkan *Criticality Matrix* dengan indeks angka keyakinan (*confidence factor*) untuk mendapatkan rentang perencanaan jadwal perbaikan pipa penyangga jembatan PCK-03-B selanjutnya. Setiap pipa penyangga memiliki tingkat risiko yang berbeda, dengan indeks angka keyakinan (*confidence factor*), dimana dari semua pipa penyangga jembatan memiliki *confidence factor* yang sama yaitu kode 2 dengan deteriorasi dapat diprediksi, data cacat diterima standar, dan data lengkap. Berdasarkan Tabel 8 maka dapat disimpulkan jika perencanaan penjadwalan perbaikan pada pipa penyangga jembatan dengan kode PL 2 C dan PL 3 C memiliki rentang waktu perbaikan selama 8

tahun kedepan sebelum waktu *Remaining Life* yang telah ditentukan yaitu 9 tahun pada pipa PL 2 C dan 10 tahun pada pipa PL 3 C. Sedangkan, pada pipa penyangga jembatan dengan kode PL 4 C memiliki rentang waktu perbaikan selama 10 tahun kedepan sebelum waktu *Remaining Life* yang telah ditentukan yaitu 11 tahun.

Penjadwalan menggunakan *Gantt Chart* yang berguna untuk mengetahui jadwal perbaikan, dimana *Gantt Chart* ini merupakan hasil dari penjadwalan ketiga pipa dengan kode PL 2 C, PL 3 C, dan PL 4 C yang dimana hasilnya berupa tahun untuk dilakukannya perbaikan pada pipa penyangga jembatan PCK-03-B. Pipa jembatan PCK-03-B akan dilakukan perbaikan pada tahun 2027 per-2019 berdasarkan pipa penyangga yang memiliki laju korosi tertinggi dan sisa umur layan terpendek yaitu pipa penyangga PL 2 C (Gambar 2).



Gambar 2. *Gantt Chart* Penjadwalan Perbaikan Pipa Penyangga Jembatan PCK-03-B

3.3. Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian ini, didapatkan hasil sisa umur layan (*Remaining Life*) terpendek yaitu 9 tahun mendatang pada pipa penyangga jembatan dengan kode PL 2 segmen C. *Remaining Life* tersebut dijadikan acuan karena pipa penyangga jembatan dengan kode PL 2 segmen C ini memiliki ketebalan pipa tertipis, sehingga mendapatkan hasil model risiko korosi tertinggi yang dapat dikatakan sebagai *corrosion specific area*, dengan nilai laju korosi (*Corrosion Rate*) sebesar 0,151 mm/tahun dengan kategori sedang, dimana nilai laju korosi tersebut lebih besar jika dibandingkan dengan pipa penyangga PL 3 C dan PL 4 C. Semakin tinggi nilai laju korosi, semakin rendah *Remaining Life* pada jembatan, dan sebaliknya.

Analisis menggunakan metode *Risk Based Maintenance* bertujuan untuk mengurangi risiko yang akan timbul akibat kegagalan yang terjadi pada pipa penyangga jembatan PCK-03-B, sehingga dapat menjaga fungsi selama jembatan tersebut beroperasi. Risiko yang diperoleh berdasarkan dari kemungkinan kegagalan (*Probability of Failure*) dan konsekuensi kegagalan (*Consequence of Failure*). Kedua risiko

tersebut dianalisis sehingga dapat ditentukan tingkat risiko pada pipa penyangga jembatan menggunakan *Criticality Matrix* (tingkat kekritisitas) berdasarkan API 580 : 2002, dimana diperoleh hasil pada pipa penyangga dengan kode PL 2 C sebagai acuan kondisi keseluruhan jembatan PCK-03-B dengan memiliki tingkat risiko kerusakan pipa rangking 2D, yang berarti termasuk rating sedang (*moderate*), dengan nilai PoF sebesar 2 (dua) dan nilai COF sebesar 10 (sepuluh) atau kategori D (berdasarkan klasifikasi nilai CoF). Peningkatan kegiatan *maintenance* dilakukan dengan penjadwalan yang tepat sebelum waktu sisa umur layan (*Remaining Life*).

Perencanaan penjadwalan perbaikan menggunakan *Matrix Interval Inspection* dimana untuk rangking 2D (kategori kekritisitas *medium risk*) dan *confidence factor* sebesar 2 diperoleh rentang waktu perbaikan selama 8 tahun kedepan sebelum sisa umur layan tiba. Kemudian hasil tersebut diolah menggunakan *Microsoft Excel* dengan modul *Gantt Chart* dapat dilihat pada Gambar 2., dimana didapatkan jadwal perbaikan pada pipa penyangga jembatan pada tahun 2027 mendatang dari tahun inspeksi yang dilakukan pada tahun 2019.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan hasil penelitian diatas, maka dapat disimpulkan bahwa tujuan penelitian telah tercapai yaitu untuk meminimalisasi tingkat risiko yang ditimbulkan akibat kerusakan material pada pipa penyangga jembatan PCK-03-B. Kondisi pipa penyangga, sisa umur layan (*remaining life*) dan tingkat risiko telah dihitung dan dianalisis, sehingga dapat ditentukan penjadwalan perbaikan yang dibutuhkan. Hasil perhitungan dan analisis tingkat risiko pada pipa penyangga dengan kode PL 2 C (terkritis) dijadikan sebagai acuan kondisi keseluruhan jembatan PCK-03-B sehingga diperoleh rentang penjadwalan perbaikan jembatan PCK-03-B ditetapkan pada 8 tahun (per-2019) mendatang yaitu di tahun 2027, sebelum masa umur pakai habis, sehingga dapat menghindari risiko terjadinya kecelakaan yang tidak diharapkan.

Penelitian selanjutnya perlu berfokus pada metode dan teknik pemeliharaan yang efektif, baik yang bersifat pencegahan maupun penanggulangan yang dapat meminimalisasi risiko korosi pada pipa penyangga sekaligus risiko terjadinya kecelakaan kerja seperti runtuhnya jembatan sebelum masa umur pakai digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

Afandi, Y. K., Arief, I. S., & Amiadji, A. (2015). Analisa Laju Korosi pada pelat baja Karbon dengan Variasi ketebalan coating. *Jurnal*

Teknik ITS, 4(1), G1–G5.
<http://ejournal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/8931>

American National Standards Institute. (2012). *B31.1: Power Piping, ASME Code for Pressure Piping*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
<https://www.littlepeng.com/single-post/asme-b-31-1-asme-b-31-3-code-comparison#:~:text=Power Piping Code%3F-,ASME B31.,district heating and cooling systems.>

American Petroleum Institute. (1998). *API 570: Piping Inspection Code*.
<https://www.nrc.gov/docs/ML1233/ML12339A557.pdf>

American Petroleum Institute. (2002). *API 580: Risk Based Inspection*.
<https://www.api.org/products-and-services/individual-certification-programs/certifications/api580>

Arunraj, N. S., & Maiti, J. (2007). Risk-based maintenance—Techniques and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 142(3), 653–661.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.069>

Fontana, M. G. (1986). *Corrosion Engineering*. McGraw-Hill.
<https://books.google.co.id/books?id=N95EAAAACAAJ>

Jaderi, F., Ibrahim, Z. Z., & Zahiri, M. R. (2019). Criticality analysis of petrochemical assets using risk based maintenance and the fuzzy inference system. *Process Safety and Environmental Protection*, 121, 312–325.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.11.005>

Khan, F. I., & Haddara, M. (2004). Risk-based maintenance (RBM): A new approach for process plant inspection and maintenance. *Process Safety Progress*, 23(4), 252–265.
<https://doi.org/10.1002/prs.10010>

Knöfel, D. (1978). *Corrosion of Building Materials*. Van Nostrand Reinhold.
<https://books.google.co.id/books?id=l5mWAAAIAAJ>

Limantoro, D. (2013). Total Productive Maintenance di PT. X. *Jurnal Titra*, 1(1), 13–20.
<https://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-industri/article/view/131>

Mahardhika, M. M., & Pramudyo, C. S. (2023). Pengendalian Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode HIRA dan HAZOP (Studi Kasus: WL Aluminium, Yogyakarta). *Jurnal Serambi Engineering*, 8(2), 5066–

5073. <https://doi.org/10.32672/jse.v8i2.5450>
- Mentari, D., & Lie, D. (2017). Analisis Pelaksanaan Kegiatan Pemeliharaan (Maintenance) Terhadap Kualitas Produk Pada Cv Green Perkasa Pematangsiantar. *Maker: Jurnal Manajemen*, 3(1), 40–48. <https://www.maker.ac.id/index.php/maker/article/view/55>
- National Association of Engineer. (2002). *Control of external corrosion on underground or submerged metallic piping systems*. <http://zinoglobal.com/wp-content/uploads/2019/12/NACE-RP-0169-2002.pdf>
- Rahayu, G. H. N. N. (2023). *Tragedi Plumpang dan Urgensi Manajemen Risiko Bisnis*. <https://kumparan.com/gama-harta/tragedi-plumpang-dan-urgensi-manajemen-risiko-bisnis-1zy28slhriD>
- Rahayu, G. H. N. N., & Fitri, F. A. (2020). Penentuan alternatif pilihan strategi mitigasi risiko kecelakaan kerja dengan metode ANP di PT XYZ. *Jurnal Rekayasa Dan Optimasi Sistem Industri*, 2(2), 44–50. <https://journal.univpancasila.ac.id/index.php/jrosi/article/view/2476>
- Rahayu, G. H. N., Riyanto, R., & Ismail, A. H. (2018). Analisis Risiko Biaya Operasi Distal Medial Pada Departemen Orthopedi Dan Traumatologi Di Rumah Sakit XYZ. *Journal Industrial Servicess*, 4(1), 57–63. <https://doi.org/10.36055/jiss.v4i1.4089>
- Saputra, S. P., & Rahayu, G. H. N. N. (2019). *Analisis Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Pada Mesin Pengemasan Susu Kental Manis Sachet PT Frisian Flag Indonesia* [Universitas Pancasila]. https://perpus.univpancasila.ac.id/index.php/index.php?p=show_detail&id=123593
- Siregar, T., Sitorus, E., Priastomo, Y., Bachtiar, E., Siagian, P., Mohamad, E., Gurning, K., Hasibuan, F. A., Destiarti, L., & Marzuki, I. (2021). *Korosi dan Pencegahannya*. Yayasan Kita Menulis. <http://repository.uhn.ac.id/handle/123456789/8497>
- Tulloh, R., Sodikin, I., & Khasanah, R. (2019). Usulan Perawatan Buoy Tsunami Dengan Menggunakan Metode Risk Based Maintenance (Rbm). *Jurnal Rekavasi*, 7(1), 51–61. <https://journal.akprind.ac.id/index.php/rekavasi/article/view/1328>
- Wijaya, S., & Sholihin, M. Y. M. (2022). Analisa Risiko Material Pipa Penyangga Jembatan PCK-03-A Pada Pengeboran Minyak di PT. X Menggunakan Metoda Risk Based Maintenance. *Jurnal Teknik Industri*, 3(02), 21–28. <https://jurnal.pelitabangsa.ac.id/index.php/JUTIN/article/view/1518>