

Analisis Interval Inspeksi Guna Melakukan Pemeliharaan Pada Pipa Penyangga Jembatan Di Daerah Pengeboran Migas Menggunakan Metode RBM Di PT. XYZ

Anisa, Muhammad Yudi Masduky Sholihin*

Department of Industrial Engineering, University Pancasila, Indonesia

INFORMASI

Informasi artikel:
Disubmit 28 Agustus 2023
Direvisi 01 September 2023
Diterima 25 November 2023
Tersedia Online 12 Juni 2024

Kata Kunci:

Kerusakan jembatan
Risk Based Maintenance
Interval Inspeksi

ABSTRAK

Pentingnya peranan jembatan bagi kelancaran pergerakan lalu lintas, maka perlu dilakukan perawatan atau *maintenance*. Jembatan yang teridentifikasi mengalami kerusakan dikarenakan berada di area yang terendam air sehingga mengalami korosi. Untuk itu perlu dilakukan perencanaan inspeksi dan strategi pemeliharaan yang terukur sesuai dengan potensi risiko kerusakan tersebut. Dengan kondisi ini, maka dilakukan kegiatan asesmen/penilaian terhadap kondisi struktur beberapa jembatan yang tersebar di area ini. Metode yang digunakan untuk melakukan analisis kuantitatif yaitu metode *Risk Based Maintenance*, yaitu perencanaan inspeksi dan strategi pemeliharaan atau perawatan terhadap suatu fasilitas dengan berbasiskan pada suatu risiko yang terjadi. Hasil dari penelitian ini, diketahui bahwa *Steel Pile* penyangga jembatan yang paling kritikal yaitu PL 9 B. Didapatkan pembahasan model kuantitatif yang paling signifikan yaitu $T = -2Rr + 14$, di mana fungsi T adalah interval inspeksi dan fungsi Rr adalah rangking risiko. Koefisien determinan (R^2) didapatkan hasil sebesar 1 yang berarti pengaruh nilai rangking risiko sangat berpengaruh terhadap nilai interval inspeksi. Berdasarkan pada hasil perhitungan komponen struktur untuk melakukan strategi pemeliharaan dengan menggunakan metode RBM, maka PL 9 B perlu dilakukan inspeksi setiap 4 tahun sekali.

Journal of Systems Engineering and Management is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA).



1. Pendahuluan

Jembatan memiliki peran utama sebagai sarana transportasi untuk menjamin lancarnya pergerakan lalu lintas. Pembangunan jembatan di Indonesia saat ini telah berkembang dengan menggunakan komponen baja terutama pada bagian utama rangka jembatan dan juga fondasi tiang pancang jembatan. Hal ini dikarenakan kelebihan dari material baja di mana massanya tergolong ringan selain itu memiliki ketahanan yang kuat dan mudah untuk dirakit. Jembatan menjadi salah satu bangunan pelengkap jalan yang harus berfungsi dengan baik agar mobilitas jalan dalam suatu wilayah dapat berperan baik dalam proses pelayanan distribusi baik barang ataupun jasa.

Seiring bertambahnya waktu, maka perlu dilakukannya pemeriksaan rutin secara berkala guna mengetahui kelayakan dari suatu jembatan. Pemeriksaan ini dilakukan untuk mendeteksi tingkat risiko kerusakan pada suatu jembatan lebih dini. Tingkat kerusakan pada suatu jembatan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti wilayah atau tempat jembatan tersebut berada, beban kendaraan, lama operasi jembatan itu sendiri dan beberapa faktor lainnya yang dapat mengakibatkan menurunnya kekuatan jembatan. Penurunan kekuatan pada suatu jembatan dapat berpengaruh besar pada

proses pengoperasian jembatan tersebut. Salah satu contoh penurunan kekuatan pada suatu jembatan dengan tiang fondasi komponen baja adalah terjadinya korosi yang mengakibatkan risiko kerusakan.

Korosi dapat diartikan sebagai proses penurunan kualitas pada sebuah material yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di sekitarnya. Kondisi yang demikian dapat mengakibatkan potensi timbulnya permasalahan korosi pada komponen baja yang menyusun jembatan. Korosi yang terjadi pada komponen baja penyusun jembatan dapat mempengaruhi ketahanan dan memperpendek usia pada jembatan tersebut. Pentingnya peranan jembatan bagi kelancaran pergerakan lalu lintas, maka perlu dilakukan perawatan atau *maintenance*.

Maintenance itu sendiri adalah suatu kegiatan yang telah direncanakan guna untuk mengantisipasi atau meminimalkan risiko kerusakan yang terjadi dengan melakukan pemeliharaan terhadap fasilitas atau peralatan[1]. Dalam melakukan kegiatan *maintenance*, perlu dilakukannya inspeksi secara berkala untuk mengetahui tingkat risiko yang mungkin terjadi. Agar suatu peralatan atau fasilitas dapat dikatakan layak untuk digunakan maka perlu adanya kegiatan rutin untuk melakukan inspeksi[2].

*Penulis korepondensi

alamat e-mail: yudi_m_s@univpancasila.ac.id
<http://dx.doi.org/10.62870/joseam.vxix.21825>

Diketahui bahwa pada Jembatan CR-ARK 155 tersebut teridentifikasi mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh korosi dan faktor jembatan yang berada di area yang terendam air, dikarenakan belum dilakukan perencanaan inspeksi dan strategi pemeliharaan yang terukur sesuai dengan potensi risiko kerusakan tersebut. Metode yang digunakan untuk melakukan analisis kuantitatif yaitu metode *Risk Based Maintenance*. Metode ini merupakan perencanaan inspeksi dan strategi pemeliharaan atau perawatan terhadap suatu fasilitas dengan berbasiskan pada suatu risiko yang terjadi. Tujuan dari metode ini ialah untuk memitigasi risiko pada suatu fasilitas dengan berfokus pada area yang diprioritas atau dianggap penting memerlukan pemeliharaan.

Di dalam penilaian risiko serta perencanaan pemeliharaan berdasarkan risiko di dalam kerangka kerja RBM (*Risk Based Maintenance*). Membandingkan suatu unit standar (kriteria penerimaan) terhadap risiko yang dihitung di dalam evaluasi risiko. Risiko harus dikurangi melalui perencanaan pemeliharaan yang efektif, jika hasil risiko yang telah dihitung melebihi kriteria penerimaan. Oleh sebab itu, memilih kebijakan pemeliharaan sangatlah penting di dalam kriteria sebagai pertimbangan risiko. Untuk mengurangi risiko fasilitas secara menyeluruh dengan berfokus pada area prioritas yang dianggap penting merupakan tujuan utama dari RBM (*Risk Based Maintenance*).

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Konsep Maintenance

Maintenance dilaksanakan dengan harapan sebuah proses produksi dapat beroperasi dengan maksimal sesuai dengan yang telah direncanakan. Dasar dari suatu kegiatan *maintenance* ialah untuk memastikan barang yang dimiliki suatu industri tetap berfungsi dengan maksimal. Hal ini berarti bahwa apabila suatu proses produksi di dalam industri berlangsung dengan kapasitas yang tinggi atau bekerja dengan maksimal, maka *maintenance* yang telah dilakukan berjalan dengan baik dan menjadi lebih baik. Sebab, tujuan dilakukannya *maintenance* adalah untuk memaksimalkan suatu sistem tersebut[3].

2.2. Metode Penjadwalan Maintenance

Lancar atau terhambatnya penyelesaian pekerjaan sangat bergantung pada suatu sistem penjadwalan yang baik. Oleh sebab itu, sebuah jadwal yang baik perlu dibuat oleh ahlinya. Hal ini dikarenakan dalam suatu penjadwalan banyak hal yang perlu dipertimbangkan dan saling berkaitan. Seseorang yang ahli dalam penjadwalan harus menyiapkan susunan tugas atau pekerjaan, menentukan waktu mulai dan selesainya pekerjaan, serta menyiapkan rancangan kerja dan lain sebagainya[4]. Metode yang logis dan tepat dapat dilaksanakan dengan didukung oleh seorang yang ahli dalam bidang *maintenance* sehingga kegiatan dapat terlaksanakan dengan cepat, minim kesalahan dan efektif. Metode yang logis dan tepat dilakukan guna memastikan bahwa hal-hal yang penting dalam *maintenance* tidak dihilangkan dan dilakukan sesuai dengan urutan yang tepat[5].

2.3. Korosi

Korosi biasanya terbagi menjadi dua jenis, yakni korosi yang hanya terjadi pada satu sisi pusat di bagian tertentu sampai dengan korosi yang menyeluruh pada setiap permukaan logam yang ada. Dampak yang bisa terjadi karena korosi biasanya akan merubah penampilan menjadi buruk, menipisnya logam, sifat fisik serta mekanismenya yang berubah-ubah [6]. Suatu kejadian pada suatu logam terkait penurunan kualitas yang diakibatkan karena adanya reaksi kimia terhadap lingkungan sekitar. Keasaman serta kebasahan pada suatu larutan logam yang ada pada lingkungan asam akan mempercepat korosi sedangkan larutan basa juga akan terkena korosi juga, ini berhubungan terkait konsentrasi bahan korosif itu sendiri [7].

2.4. Laju Korosi

Perhitungan laju korosi dilakukan dengan menggunakan rumus yang sederhana, yaitu variabel tebal inisial dikurangkan dengan tebal aktual dan dibagi dengan umur pakai pipa [8]. Sedangkan definisi dari laju korosi ialah suatu kecepatan yang merambat terhadap kualitas material seiring berjalannya waktu. Dengan kata lain, laju korosi dapat diartikan sebagai kecepatan penurunan pada material [9]. Untuk menghitung laju korosi maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Laju Korosi (CR)} = \frac{\text{Tebal Inisial (ti)} - \text{Tebal Aktual (ta)}}{\text{Umur Pakai Pipa}}$$

Di mana:

Tebal Aktual (ta) = Ketebalan aktual (mm) yang didapatkan dengan melakukan pengukuran menggunakan alat *Ultrasonic Thickness Gauge*

Tebal Inisial (ti) = Tebal inisial merupakan ketebalan pipa saat terpasang

2.5. Remaining Life

Suatu peralatan atau fasilitas tentunya memiliki usia yang akan mempengaruhi ketahanan dan kemampuannya. Pada penelitian ini, salah satu faktor yang mempengaruhi nilai sisa umur layan atau *remaining life* adalah beban kendaraan. Kendaraan yang melintas pada suatu jembatan tentunya akan memberikan beban yang jika secara terus-menerus dapat mempengaruhi ketahanan jembatan tersebut. Akibatnya terjadi penurunan ketahanan yang mampu merusak struktur jembatan sehingga mengalami keruntuhan [10].

Untuk melakukan perhitungan sisa umur layan (*Remaining Life*) maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$RL = \frac{ta_{\min} - tr}{\text{Laju Korosi}}$$

Di mana:

RL = *Remaining Life*/Sisa Umur Layan (tahun)

ta min = Ketebalan aktual yang paling minimum (mm)

tr = *t-requirement* yaitu ketebalan minimum yang diprasyartkan (mm)

Laju Korosi = Laju korosi dengan nilai yang paling terbesar (mm/tahun)

Untuk menghitung ketebalan minimum yang diprasyarakatkan (*t-requirement*) berdasarkan pada *safety factor* pembebanan, maka:

$$tr = \left[\frac{P.D}{V_y.E_j} \right] + CA$$

Di mana:

P = Beban desain (kN/m^2), didapatkan dari hasil perhitungan beban material dari beban transportasi kendaraan.

D = Diameter luar pipa, didapatkan dari data lapangan.

V_y = Tegangan yang diizinkan, didapatkan dari tabel standar AWS D1.1 Tabel 9.2 tahun 2015

E_j = *Joint Quality Factor* sebesar 0,6 (ASME B31.1 Tabel 302.3.4) tahun 2006

CA = *Corrosion Allowance*. *Sea Water system in General* sebesar 3 mm, didapatkan dari Tabel 1: *Corrosion Allowance Steel Pile*, ASME B31.1

2.6. Probability of Failure (PoF)

Probability of failure atau probabilitas kegagalan merupakan suatu kemungkinan yang terjadi pada peralatan atau fasilitas. Suatu probabilitas kegagalan dapat dilakukan analisis dengan melakukan inspeksi secara langsung peralatan atau fasilitas dalam kondisi saat ini. Penilaian dari probabilitas kegagalan dilakukan dengan cara melakukan perhitungan dari peluang kemungkinan terjadinya kegagalan pada peralatan atau fasilitas.

2.7. Consequences of Failure (CoF)

Konsekuensi kegagalan atau *consequences of failure* merupakan sebuah konsekuensi atau akibat yang terjadi. Nilai konsekuensi kegagalan pada sebuah metode indeks dapat digantikan oleh LIF atau *Leak Impact Factor*. Nilai LIF yang semakin tinggi berarti konsekuensi yang terjadi juga tinggi. Semakin tinggi nilai suatu konsekuensi maka semakin tinggi pula risiko yang terjadi [11].

2.8. Risk Based Maintenance (RBM)

Untuk mengurangi risiko fasilitas secara menyeluruh dengan berfokus pada area prioritas yang dianggap penting merupakan tujuan utama dari RBM (*Risk Based Maintenance*). Pendukung keberhasilan dan alokasi sumber data serta penjadwalan sesuai dengan prioritas dan kendala anggaran sebagai faktor yang penting. Mempertimbangkan batas waktu, anggaran, dan sumber daya manusia di dalam meminimalkan risiko secara menyeluruh sebagai strategi inspeksi dan pemeliharaan berbasis risiko. Di dalam perencanaan memperkirakan interval perawatan dan inspeksi yang optimal juga perlu mempertimbangkan biaya yang ada [12].

2.9. Interval Inspeksi

Dalam melakukan inspeksi, untuk mendeteksi mekanisme kerusakan pada suatu peralatan maka digunakan metode inspeksi yang menjadi metode yang tepat untuk digunakan. Pengukuran inspeksi untuk mengukur ketebalan suatu pipa biasanya dilakukan tidak lebih dari setengah dari sisa umur sisa. Untuk melakukan penjadwalan interval inspeksi setiap

setengah sisa umur pipa, maka dilakukan penentuan interval inspeksi dengan menggunakan konsep setengah umur sisa atau *half remaining life*.

Untuk melakukan inspeksi, maka dibutuhkan interval waktu yang disebut sebagai interval inspeksi. Berdasarkan pada kategori risiko yang diperoleh melalui *risk matrix* pada metode RBM, untuk menentukan interval inspeksi pada masing-masing pipa maka dibutuhkan acuan DNV *Qualitative interval*. Dalam menentukan suatu interval inspeksi, juga dibutuhkan untuk memperhatikan nilai *remaining life* pipa. Hal ini berdasarkan pada API 570, di mana frekuensi inspeksi paling lama tidak boleh melebihi setengah dari sisa umur atau *remaining life*-nya.

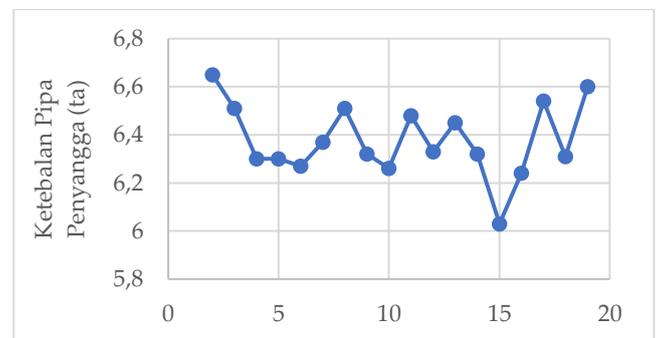
Jika suatu interval inspeksi melebihi sisa umur dari pipa, maka hal ini berarti pipa tersebut membutuhkan penanganan khusus yang lebih intensif. Hal tersebut juga berarti bahwa pipa tersebut membutuhkan analisis yang lebih detail untuk memutuskan apakah pipa tersebut masih dapat beroperasi atau perlu diganti dengan pipa baru [13].

2.10. Regresi Linear Determinasi (R^2) dan Korelasi (R)

Dalam melakukan pengukuran kekuatan hubungan antara dua variabel secara linear, maka digunakanlah suatu koefisien korelasi. Suatu fungsi dikatakan semakin kuat tingkat hubungan antara dua variabelnya jika nilai R semakin mendekati angka 1. Untuk melakukan uji validasi data dan untuk melihat tren kenaikan korosi pertahunnya, maka fungsi tersebut perlu dilakukannya uji koefisien dan determinan. Koefisien korelasi digunakan untuk mengetahui derajat atau kekuatan dan arah hubungan antara dua variabel. Koefisien determinasi pada dasarnya digunakan untuk mengukur seberapa jauh kemampuan model regresi dalam menerangkan variabel-variabel dependen [14].

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, tempat yang digunakan sebagai objek untuk pengambilan data adalah pada Jembatan CR-ARK-155 di Blok Rokan Area *North* milik PT. XYZ. Dari beberapa jembatan yang ada di Area *North*, beberapa jembatan masih berfungsi dan beroperasi secara baik, namun terdapat juga jembatan yang sudah ditutup karena mengalami kerusakan pada bagian strukturnya.



Gambar 1. Data Ketebalan Pipa Penyangga Jembatan CR-ARK 155

Gambar 1 menunjukkan data ketebalan pipa penyangga jembatan CR ARK 155, di mana total keseluruhan didapatkan

sebanyak 18 data. Diketahui secara keseluruhan 18 data dari 9 (Sembilan) pipa penyangga memiliki ketebalan yang berbeda. Pengambilan data ketebalan ini dilakukan dengan menggunakan ilustrasi titik pengujian. Data yang telah didapatkan akan dilakukan pengolahan data dan analisis.

Metode yang digunakan untuk melakukan analisis kuantitatif yaitu metode *Risk Based Maintenance*. Metode ini merupakan perencanaan inspeksi dan strategi pemeliharaan atau perawatan terhadap suatu fasilitas dengan berbasiskan pada suatu risiko yang terjadi. Tujuan dari metode ini ialah untuk memitigasi risiko pada suatu fasilitas dengan berfokus pada area yang diprioritas atau dianggap penting memerlukan pemeliharaan.

4. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini, data yang telah terkumpul merupakan data yang diperoleh dari PT. Mastra Rekin, tempat berlangsungnya penelitian. Berikut ini merupakan tabel ketebalan profil baja (ta) dan laju korosi (CR) yang telah diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 1
Ketebalan *Steel Pile* Jembatan CR-ARK-155

No.	Elemen Struktur	Kode	Segmen	Ta (mm)	CR (mm/tahun)
1	<i>Steel Pile</i>	PL 5	A	6,65	0,044
	<i>Steel Pile</i>	PL 5	B	6,51	0,047
	<i>Steel Pile</i>	PL 5	C	6,3	0,050
2	<i>Steel Pile</i>	PL 6	A	6,3	0,050
	<i>Steel Pile</i>	PL 6	B	6,27	0,051
	<i>Steel Pile</i>	PL 6	C	6,37	0,049
3	<i>Steel Pile</i>	PL 7	A	6,51	0,047
	<i>Steel Pile</i>	PL 7	B	6,32	0,050
	<i>Steel Pile</i>	PL 7	C	6,26	0,051
4	<i>Steel Pile</i>	PL 8	A	6,48	0,047
	<i>Steel Pile</i>	PL 8	B	6,33	0,050
	<i>Steel Pile</i>	PL 8	C	6,45	0,048
5	<i>Steel Pile</i>	PL 9	A	6,32	0,050
	<i>Steel Pile</i>	PL 9	B	6,03	0,055
	<i>Steel Pile</i>	PL 9	C	6,24	0,051
6	<i>Steel Pile</i>	PL 4	A	6,54	0,046
	<i>Steel Pile</i>	PL 4	B	6,31	0,050
	<i>Steel Pile</i>	PL 4	C	6,6	0,045

Berdasarkan pada Tabel 1, untuk perhitungan laju korosi digunakan data dari hasil pengujian ketebalan profil *steel pipe pile* yang berhubungan langsung dengan air. Digunakan data prediksi bahwa profil awal dari *steel pipe pile* yang dipakai adalah diameter 10,51 inch/267,4 mm dengan ketebalan (tebal inisial) 9,3 mm (Hyundai Steel JIS G3444 STK). Tebal aktual yang digunakan adalah data tebal paling minimum yang didapatkan dari pengujian di lapangan. Dan konstruksi diprediksi sudah berumur 60 tahun (umur pakai pipa)

4.1. Remaining Life

Setelah diketahui nilai dari laju korosi maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan prediksi sisa umur layan (*Remaining Life*). Berdasarkan pada rumus yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya, untuk ketebalan minimum

yang diprasyaratkan (*t-requirement*) dapat dihitung dengan sebagai berikut:

$$tr = \left[\frac{266,432 \times 12}{24791,64 \times 0,6} \right] + 3 \text{ mm}$$

$$tr = 0,215 \text{ inch}$$

$$tr = 5,461 \text{ mm}$$

Berdasarkan pada perhitungan *t requirement*, didapatkan hasil sebesar 5,461 mm. Sehingga dapat dilakukan perhitungan *Remaining Life* (Sisa Umur Layan) pada *Steel Pipe Pile* Jembatan CR-ARK-155. Berikut ini merupakan perhitungan *Remaining Life* pada *Steel Pile* dengan ketebalan aktual paling minimum:

$$RL = \frac{6,03 - 5,461}{0,055}$$

$$RL = 10,3 = 10 \text{ tahun}$$

Tabel 2 merupakan hasil perhitungan *Remaining Life* berdasarkan pada perhitungan yang telah dilakukan.

Tabel 2
Prediksi *Remaining Life* (Sisa Umur Layan)

No.	Elemen Struktur (<i>Steel Pile</i>)	Ketebalan Aktual (ta)	Laju Korosi (mm/tahun)	<i>Remaining Life</i> (tahun)
1	PL 5A	6,65	0,044	27
2	PL 5B	6,51	0,047	23
3	PL 5C	6,3	0,050	17
4	PL 6A	6,3	0,050	17
5	PL 6B	6,27	0,051	16
6	PL 6C	6,37	0,049	19
7	PL 7A	6,51	0,047	23
8	PL 7B	6,32	0,050	17
9	PL 7C	6,26	0,051	16
10	PL 8A	6,48	0,047	22
11	PL 8B	6,33	0,050	18
12	PL 8C	6,45	0,048	21
13	PL 9A	6,32	0,050	17
14	PL 9B	6,03	0,055	10
15	PL 9C	6,24	0,051	15
16	PL 4A	6,54	0,046	24
17	PL 4B	6,31	0,050	17
18	PL 4C	6,6	0,045	25

Berdasarkan pada perhitungan sisa umur layan yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa prediksi sisa umur layan pada jembatan yang paling minimum adalah pada PL 9 segmen B sebesar 10 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa pada PL 9 segmen B ini dapat dikategorikan berada pada tingkat korosi rendah.

4.2. Analisis Dengan Menggunakan Metode *Risk Based Maintenance*

4.2.1. Analisis Probability of Failure (PoF)

Dalam mengukur *probability* dapat dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung, wawancara, data sekunder, dan kriteria risiko. Tabel 3 merupakan *Probability of Failure Ranking* yang didapatkan berdasarkan SOP RBI [15].

Tabel 3

Probability of Failure Ranking

Remaining of Life (RL) (Tahun)	Probability of Failure (PoF)	Nilai Probability of Failure
$RL \leq 4$	Almost Certain (Tinggi)	5
$4 \leq RL \leq 6$	Likely (Sedang Tinggi)	4
$6 \leq RL \leq 8$	Moderate (Sedang-Rendah)	3
$8 \leq RL \leq 10$	Unlikely (Rendah)	2
$RL \geq 10$	Rare (Sangat Rendah)	1

Pada Tabel 4 *Probability of Failure Ranking*, dapat diketahui nilai *Remaining Life* yang diperoleh dari perhitungan dan rating PoF-nya. Berdasarkan pada Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa untuk *Steel Pile* yang memiliki nilai *Remaining Life* lebih dari 10 tahun didapatkan nilai 1. Sedangkan untuk *Steel Pile* yang memiliki nilai *Remaining Life* kurang dari 8 dan kurang dari 10 tahun memiliki nilai 2.

Tabel 4

Probability of Failure Ranking

No.	Struktur Elemen (Steel Pile)	Probability of Failure Remaining Life (tahun)	Rating
1	PL 5A	27	1
2	PL 5B	23	1
3	PL 5C	17	1
4	PL 6A	17	1
5	PL 6B	16	1
6	PL 6C	19	1
7	PL 7A	23	1
8	PL 7B	17	1
9	PL 7C	16	1
10	PL 8A	22	1
11	PL 8B	18	1
12	PL 8C	21	1
13	PL 9A	17	1
14	PL 9B	10	2
15	PL 9C	15	1
16	PL 4A	24	1
17	PL 4B	17	1
18	PL 4C	25	1

4.2.2. Analisis Consequences of Failure (CoF)

Consequences Of Failure dikategorikan berdasarkan pada SOP *Risk Based Maintenance* yang didapatkan dari hasil wawancara, yaitu menurut *Stand By Availability*, *Finansial Model* dan *Location Model*.

1. *Stand By Availability*

Stand By Availability dilakukan untuk memperkirakan nilai *Stand By Availability* yang sesuai dengan nilai rating dari *Probability of Failure* yang telah diperoleh berdasarkan hasil perhitungan dari *Remaining Life Steel Pile*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui rating risiko dari *Steel Pile*.

Tabel 5

Stand by Availability

Stand By Availability	Rating
Totally Shutdown	Almost Certain (Tinggi) 5
Derating max 20%	Likely (Sedang Tinggi) 4
Derating max 10%	Moderate (Sedang-Rendah) 3
Derating max 5%	Unlikely (Rendah) 2
Tanpa derating	Rare (Sangat Rendah) 1

Pada Tabel 5, dapat diketahui bahwa *Steel Pile* pada jembatan CR-ARK 155 mengalami penurunan beban kendaraan dengan maksimum 10% sesuai dengan hasil wawancara yang telah dilakukan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada *Steel Pile* Jembatan CR-ARK 155 didapatkan rating 3 yang dikategorikan sedang-rendah.

2. *Finansial Model*

Tabel 6 merupakan tabel *Finansial Model* yang bertujuan untuk mengetahui durasi waktu perbaikan pada *Steel Pile* yang mengalami kerusakan.

Tabel 6

Finansial Model

Finansial Model		
Waktu Perbaikan (M) Hari)	Kerusakan/Biaya Perbaikan (B)	Rating
$M \geq 7$	$B \geq \text{Rp. } 1\text{M}$	Almost Certain (Tinggi) 5
$5 \leq M \leq 7$	$\text{Rp. } 500 \text{ Juta } B \geq \text{Rp. } 1\text{M}$	Likely (Sedang Tinggi) 4
$3 \leq M \leq 5$	300 – 500 Juta	Moderate (Sedang-Rendah) 3
$1 \leq M \leq 3$	100 – 300 Juta	Unlikely (Rendah) 2
$M \leq 1$	$B \leq 100 \text{ Juta}$	Rare (Sangat Rendah) 1

Pada Tabel 6, dapat diketahui waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki jembatan yaitu maksimal 3 hari berdasarkan pada wawancara yang telah dilakukan. Sehingga dapat diketahui untuk *Finansial Model* dibutuhkan biaya perbaikan 100-300 Juta dengan nilai rating 2 kategori rendah.

3. *Location Model*

Lokasi sangat berpengaruh terhadap berlangsungnya proses pemeliharaan (*maintenance*) *Steel Pile* pada jembatan CR-ARK 155. Diketahui bahwa setiap komponen *Steel Pile* berada pada lokasi yang sama. Tabel 7 merupakan tabel *Location Model* dari *Steel Pile* pada jembatan CR-ARK 155:

Tabel 7
Location Model

<i>Location</i>	<i>Rating</i>	
Area publik, padat penduduk	<i>Almost Certain</i> (Tinggi)	5
Area publik, jauh dari pemukiman	<i>Likely</i> (Sedang Tinggi)	4
Lokasi umum dan dapat dimonitor	<i>Moderate</i> (Sedang-Rendah)	3
Di dalam <i>cluster</i> tetapi tidak dipagari	<i>Unlikely</i> (Rendah)	2
<i>Cluster</i> dipagari terdapat <i>security</i>	<i>Rare</i> (Sangat Rendah)	1



Gambar 2. Tampak Jembatan CR-ARK 155

Berdasarkan pada Gambar 2 dapat diketahui bahwa jembatan berada pada area publik dan jauh dari pemukiman penduduk. Sehingga pada Tabel 7, dapat dilihat bahwa lokasi untuk jembatan CR-ARK 155 memiliki rating 4.

Berdasarkan ketiga tingkatan yang didapatkan berdasarkan hasil wawancara, yaitu menurut *Stand by Availability*, *Finansial Model* dan *Location Model* maka didapatkan ranking *Consequences of Failure* (CoF) sebagai berikut:

Tabel 8
Consequences of Failure

Struktur Elemen	<i>Consequences of Failure</i>			CoF
	<i>Stand by Availability</i>	<i>Finansial</i>	<i>Location</i>	
PL 5A	3	2	4	3
PL 5B	3	2	4	3
PL 5C	3	2	4	3
PL 6A	3	2	4	3
PL 6B	3	2	4	3
PL 6C	3	2	4	3
PL 7A	3	2	4	3
PL 7B	3	2	4	3
PL 7C	3	2	4	3
PL 8A	3	2	4	3
PL 8B	3	2	4	3
PL 8C	3	2	4	3
PL 9A	3	2	4	3
PL 9B	3	3	4	5
PL 9C	3	2	4	3
PL 4A	3	2	4	3
PL 4B	3	2	4	3
PL 4C	3	2	4	3

4.2.3. Analisis Criticality Matrix

Tujuan dari *Criticality Matriks* adalah untuk mengetahui tingkat risiko *Steel Pile* pada jembatan CR-ARK 155 yang di mana diukur dalam ukuran *Consequences of Failure* (CoF) dan *Probability of Failure* (PoF).

Tabel 9
Ranking Risiko

No.	Struktur Elemen	<i>Probability of Failure</i> (PoF)	<i>Consequences Of Failure</i> (CoF)	Rating
1	PL 5A	1	3	3
2	PL 5B	1	3	3
3	PL 5C	1	3	3
4	PL 6A	1	3	3
5	PL 6B	1	3	3
6	PL 6C	1	3	3
7	PL 7A	1	3	3
8	PL 7B	1	3	3
9	PL 7C	1	3	3
10	PL 8A	1	3	3
11	PL 8B	1	3	3
12	PL 8C	1	3	3
13	PL 9A	1	3	3
14	PL 9B	2	5	4
15	PL 9C	1	3	3
16	PL 4A	1	3	3
17	PL 4B	1	3	3
18	PL 4C	1	3	3

Berdasarkan pada Tabel 9, bentuk *Criticality Matriks* untuk jembatan CR-ARK 155 ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10
Criticality Matrix

<i>Probabil-ity of Failure</i> (PoF)	<i>Consequences of Failure</i> (CoF)				
	<i>Insignif-icant</i>	<i>Min-or</i>	<i>Moderate</i>	<i>Signific-ant</i>	<i>Catastro-philic</i>
<i>Almost Certain</i>	5	6	7	8	9
<i>Likely</i>	4	5	6	7	8
<i>Moderate</i>	3	4	5	6	7
<i>Unlikely</i>	2	3	4	5	6 (14)
<i>Rare</i>	1	2	3 (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,15,16,17,18)	4	5

Berdasarkan pada Tabel 10, dapat ditarik kesimpulan bahwa pada struktur pipa penyangga jembatan CR-ARK 155 di atas di dapatkan dua hasil yang berada pada kolom hijau muda dengan tingkat kategori sangat rendah (*rare*) dan pada kolom kuning tua dengan tingkat kategori rendah (*unlikely*).

Pada kolom hijau muda di dapatkan tujuh belas hasil yaitu pada bagian 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,15,16,17,18 dengan rating 3. Sedangkan untuk kolom kuning tua di dapatkan satu hasil yaitu pada bagian 14 dengan rating 6.

Tabel 11

Matriks Interval Inspeksi

Kekritisian	Confidence Level (tahun)			
	4	3	2	1
9	1	2	6	N/A
8	2	4	6	N/A
7	3	4	6	N/A
6	4	4 (14)	8	8
5	4	6	8	8
4	6	6	8	10
3	6	8 (1,2,3,4,5 6,7,8,9,10, 11,12,13,15, 16,17,18)	10	10
2	8	10	10	15
1	8	10	15	15

*Indeks angka keyakinan (*confidence level*) pada Tabel 4.11 adalah kode 3.

Keterangan indeks angka keyakinan (*confidence level*):

Kode 4 = tidak ada keyakinan atau tidak ada data

Kode 3 = deteriorasi dapat diprediksi dan data tidak lengkap*

Kode 2 = deteriorasi dapat diprediksi, data cacat diterima standar dan data lengkap

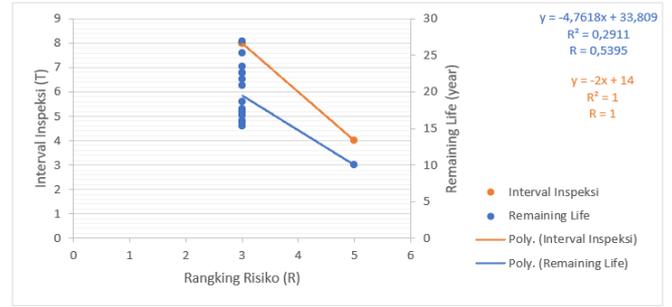
Kode 1 = tidak ada mekanisme terjadinya kegagalan yang aktif, lingkungan operasi yang stabil dan data lengkap

Tabel Matriks Interval Inspeksi, digunakan untuk mengetahui waktu (tahun) yang diperlukan untuk melakukan perbaikan pipa penyangga Jembatan CR-ARK 155. Berdasarkan pada Tabel 11, dapat diketahui bahwa untuk perencanaan penjadwalan *maintenance* pada pipa penyangga bagian PL 9 B (14) memiliki rentang waktu selama 4 tahun ke depan untuk melakukan perbaikan pipa sebelum *Remaining Life* yang telah ditentukan pada sub bab sebelumnya yaitu 10 tahun. Sedangkan untuk pipa penyangga bagian 1-18 memiliki rentang waktu 8 tahun ke depan untuk melakukan perbaikan pipa.

4.3. Analisis Regresi Linear

Berikut ini merupakan grafik strategi *maintenance* hasil analisis regresi linear pada jembatan CR-ARK 155.

Berdasarkan pada Gambar 3 didapatkan model $y = -4,7618x + 33,809$ di mana fungsi y adalah *remaining life* dan x adalah rangking risiko. Serta didapatkan model $y = -2x + 14$ di mana fungsi y adalah interval inspeksi dan x adalah ranking risiko.



Gambar 3. Hasil Grafik Strategi *Maintenance*

Berdasarkan pada pengolahan data yang telah dilakukan dengan menggunakan metode *Risk Based Maintenance*, berikut ini merupakan pembahasan perhitungan yang telah dilakukan pada sub bab sebelumnya.

Tabel 12

Hasil Grafik Strategi *Maintenance*

No.	Model	Koefisien Determinan (R ²)	Koefisien Korelasi (R)	Signifikansi
1	$y = -4,7618x + 33,809$	0,2911	0,5395	
2	$y = -2x + 14$	1	1	Paling Signifikan

Berdasarkan pada Tabel 12, maka dapat disimpulkan bahwa model Interval Inspeksi (T) paling signifikan dikarenakan R (Koefisien Korelasi)-nya lebih besar daripada *Remaining Life*. Untuk model kuantitatif T adalah $T = -2R + 14$, di mana pada model ini fungsi T adalah interval inspeksi dan fungsi R adalah rangking risiko. Koefisien determinan (R²) yaitu sebesar 1 yang berarti 100% nilai interval inspeksi berpengaruh terhadap rangking risiko. Untuk koefisien korelasi (R) adalah 1 yang artinya sangat signifikan, hal ini berarti data penelitian valid sesuai dengan tabel validasi statistik korelasi R (0,468) dengan jumlah data (N) sebanyak 18.

5. Kesimpulan

Berdasarkan dari pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya 1) hasil perhitungan sisa umur layan pada struktur jembatan yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa prediksi sisa umur layan pada jembatan yang paling kecil adalah pada Steel Pile PL 9 segmen B yaitu 10 tahun. Sedangkan untuk prediksi sisa umur layan pada jembatan yang paling besar yaitu pada Steel Pile PL 5 A yaitu 27 tahun. Sehingga didapatkan model $y = -4,7618x + 33,809$ di mana fungsi y adalah *remaining life* dan x adalah rangking risiko, 2). penjadwalan inspeksi pada komponen struktur didapatkan hasil yang berbeda, hasil interval inspeksi untuk komponen struktur nomor 14 (PL 9 B) didapatkan setiap 4 tahun sekali untuk melakukan perawatan (*maintenance*) pada pipa dan pada komponen struktur nomor 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, dan 18 didapatkan setiap 8 tahun sekali untuk melakukan perawatan (*maintenance*) pada pipa, 3) hasil analisis kuantitatif interval inspeksi terhadap ranking risiko didapatkan model Interval Inspeksi (T) paling

signifikan dikarenakan R (Koefisien Korelasi) nya lebih besar daripada Remaining Life. Untuk model kuantitatif T adalah $T = -2Rr + 14$, di mana pada model ini fungsi T adalah interval inspeksi dan fungsi Rr adalah rangking risiko. Koefisien determinan (R^2) yaitu sebesar 1 yang berarti 100% nilai interval inspeksi berpengaruh terhadap rangking risiko. Untuk koefisien korelasi (R) adalah 1 yang artinya sangat signifikan, hal ini berarti data penelitian valid sesuai dengan tabel validasi statistik korelasi R (0,468) dengan jumlah data (N) sebanyak 18.

Referensi

- [1] M. Nasution, A. Bakhori, and W. Novarika, "Manfaat Perlunya Manajemen Perawatan Untuk Bengkel Maupun Industri," *Bul. Utama Tek.*, vol. 16, No. 3, pp. 248–252, 2021.
- [2] Putra F, Maniyani A, and Iklimaturrizza M, "Jurnal Teknik Industri," *J. Tek. Ind.*, vol. 2, no. 1, pp. 51–57, 2021.
- [3] G. Muhaemin and A. E. Nugraha, "Penerapan Total Productive Maintenance (TPM) Pada Perawatan Mesin Cutter di PT. XYZ," *J. Ilm. Wahana Pendidik.*, vol. 8, no. 9, pp. 205–219, 2022.
- [4] Z. Sinaga, S. Solihin, and M. Ardan, "Perencanaan Perawatan Mesin Welding Mig Pada Produksi Sub Frame Di PT. XYZ Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)," *J. Kaji. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 26–38, 2021.
- [5] A. Candra, "Optimasi Preventif Maintenance Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance," *Tekno. J. Ilm. dan Tekno.*, vol. 2, no. 2, p. 112, 2020.
- [6] P. Instalasi, P. Limbah, and B. Arisanto, "Penentuan laju korosi dan sisa umur pakai pipa distribusi air domestik pada instalasi pengolahan limbah radioaktif," pp. 217–224, 2019.
- [7] M. Miranda, "Analisis Laju Korosi Pada Logam Melalui Proses Dipcoating Larutan," *J. Hadron*, vol. 2, no. 01, pp. 29–33, 2020.
- [8] D. Prayudha, E. Moralista, and I. Y. Ashari, "Penentuan Laju Korosi dan Sisa Umur Pakai (Remaining Service Life / Rsl) pada Jalur Pipa Transportasi Crude Oil dari Spu-A Mundu ke Terminal Balongan di PT Pertamina Ep Asset 3 Jatibarang Field, Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat," *Pros. Tek. Pertamb.*, vol. 4, no. 2, pp. 512–520, 2018.
- [9] M. Tampubolon, R. G. Gultom, L. Siagian, P. Lumbangaol, and C. Manurung, "Laju Korosi Pada Baja Karbon Sedang Akibat Proses Pencelupan Pada Larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) dan Asam Klorida (HCl) dengan Waktu Bervariasi," *Sprocket J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 13–21, 2020.
- [10] Novenrio Mandala Putra, Sutan P. Silitonga, and R. Robby, "Analisis Sisa Umur Rencana Jalan Berdasarkan Pertumbuhan Lalu Lintas Di Kota Palangka Raya," *J. Tek. J. Teor. dan Terap. Bid. Keteknikan*, vol. 4, no. 2, pp. 155–164, 2021.
- [11] G. D. Haryadi, A. Suprihanto, J. Jericho, and I. Haryanto, "Analisa Risiko Dan Prediction Remaining Lifetime Pada Pipa Gas Lurus Ø 14" Menggunakan Metode Risk Based Inspection Berdasarkan Api 581," *J. Crankshaft*, vol. 3, no. 1, pp. 1–11, 2020.
- [12] M. Tajudin, J. Alhilman, and E. Budiasih, "Analisis Kebijakan Perawatan Dan Penentuan Sisa Umur Hidup Mesin Injeksi Plastik Dengan Menggunakan Metode Risk Based Maintenance (Rbm) Dan Replacement Analysis Di Cv Xyz," *JISI J. Integr. Sist. Ind.*, vol. 7, no. 2, p. 155, 2020.
- [13] P. Ratnasari, J. Alhilman, and A. Pamoso, "Penilaian Risiko, Estimasi Interval Inspeksi, dan Metode Inspeksi pada Hydrocarbon Piping Menggunakan Metode Risk Based Inspection (RBI)," *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 5, no. 2, pp. 67–74, 2019.
- [14] R. Sholihin, M. Yudi M.; Aljabbar, "Journal of Systems Engineering and Management Analisis Potensi Risiko Lingkungan Segmen Rivercrossing Pipa Penyalur Gas Diameter 30," vol. 2, no. 1, pp. 1–11, 2023.
- [15] F. R. B. I. Team, "Standard Operating Procedure (Sop) Maintenance Strategy Based on Rbi," no. 001, 2020.