

ISSN (ONLINE) 2598-9936



INDONESIAN JOURNAL OF INNOVATION STUDIES
PUBLISHED BY
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO

Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 27 No. 1 (2026): January

DOI: 10.21070/ijins.v27i1.1686

Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article.....	5
Title page	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	7

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>

Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 27 No. 1 (2026): January
DOI: 10.21070/ijins.v27i1.1686

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

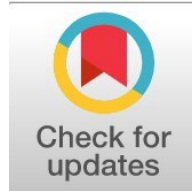
Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact (*)



Save this article to Mendeley



(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

Failure Risk Analysis of Storage Tank Using the Risk-Based Inspection Method in a Biofuel Supply Company: Analisis Resiko Kegagalan Pada Storage Tank dengan Metode Risk Based Inspection

Mukandar Idris, 21032010209@gmail.com (*)

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

Eddy Aryanny, eddy.ti@upnjatim.ac.id

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

(*) Corresponding author

Abstract

Background (General) Storage tanks play a critical role in ensuring the continuity and safety of biodiesel distribution, where structural integrity is essential to prevent environmental, operational, and safety hazards. **Background (Specific)** At PT XYZ, recurring issues such as corrosion and leakage indicate limitations in the current time-based inspection approach. **Knowledge Gap** Previous studies applied RBI or AHP separately, but few integrated technical risk data with multi-criteria decision-making to produce an inspection and maintenance strategy that is both objective and operationally relevant. **Aim** This study aims to assess the risk level of a biodiesel storage tank using an integrated Risk-Based Inspection (RBI) and Analytic Hierarchy Process (AHP) approach to determine optimal inspection intervals and maintenance priorities. **Results** The analysis shows that critical subsystems—Storage Tank, Piping, Automatic Gauge Tank, PRV, and PVV—fall into high and extreme risk categories, with the overall tank risk classified as medium; corrosion analysis indicates remaining life values between 51–107 years, leading to a recommended inspection interval of four years instead of five. **Novelty** This study offers a combined RBI–AHP framework that aligns quantitative risk factors with managerial decision priorities. **Implications** The findings support more precise, risk-informed maintenance planning to enhance safety, reliability, and operational continuity in biodiesel storage operations.

Highlights:

- Identifies high-risk subsystems requiring prioritized inspection.
- Integrates RBI–AHP to produce objective maintenance decisions.
- Recommends shorter inspection intervals to enhance operational safety.

Keywords: Risk-Based Inspection, Analytic Hierarchy Process, Storage Tank, Corrosion, Maintenance Strategy

Published date: 2025-12-12

Pendahuluan

Salah satu produk dari kelapa sawit yang dapat dikembangkan di Indonesia adalah biodiesel. Biodiesel (B40) merupakan sebuah bahan bakar ramah lingkungan dengan potensi besar untuk digunakan dalam transportasi dan industri dengan campuran 60% diesel dan 40% biodiesel [1][2]. Ketersediaan bahan bakar menjadi aspek vital sebagai sumber energi dan penggerak utama sektor industri. Dalam dekade terakhir, peningkatan permintaan energi mendorong intensitas produksi dan distribusi bahan bakar, yang secara langsung meningkatkan kebutuhan terhadap fasilitas penyimpanan dengan volume besar. Tangki penyimpanan minyak berfungsi sebagai wadah penting bagi sejumlah besar material yang sering kali memiliki sifat berbahaya [3]. Tangki penyimpanan atau storage tank tidak hanya digunakan sebagai alat untuk menyimpan bahan baku ataupun produk, tetapi juga untuk menjaga kualitas produk atau bahan baku sehingga terhindar dari kontaminan/pengotor. Pada dasarnya, tangki penyimpanan dipakai sebagai tempat menyimpan material baik berupa benda padat, cair, maupun gas [4].

Memastikan kinerja struktural dan keselamatan tangki bukan hanya merupakan tuntutan ekonomi, melainkan juga kebutuhan mendasar untuk mencegah konsekuensi yang berpotensi katastrofik, termasuk pencemaran lingkungan, kerugian finansial yang signifikan, dan yang paling utama, ancaman terhadap keselamatan jiwa manusia [5]. Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No 32 tahun 2021, setiap peralatan dan/atau instalasi yang digunakan dalam kegiatan usaha minyak dan gas bumi, wajib dilakukan inspeksi teknis dan pemeriksaan keselamatan [6]. Hal tersebut bertujuan agar peralatan beroperasi dalam kondisi prima, bekerja dengan kondisi aman dan meminimalisir terjadinya kecelakaan. Terdapat 20 kecelakaan di industri minyak dan gas di Indonesia. Tiga di antaranya melibatkan tangki timbun minyak yang terbakar di kilang minyak dan gas. Insiden kebakaran pada tangki timbun tersebut termasuk dalam kategori kecelakaan besar. Pada bulan Maret, 4 unit tangki BBM terbakar dan menghentikan operasi kilang. Pada bulan Juni, 2 unit tangki petrokimia terbakar, dan pada 1 November, 1 unit tangki BBM terbakar. Secara ringkas, terdapat total 7 tangki timbun kilang minyak dan gas yang terbakar pada tahun 2021 [7]. Dipengaruhi oleh perubahan lingkungan layanan dan kondisi operasi, beberapa kerusakan akan terakumulasi secara bertahap, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kecelakaan keselamatan yang serius. Korosi dapat menyebabkan kegagalan tangki minyak, yang merupakan faktor utama yang membahayakan operasi normal tangki [8]. Dalam konteks ini, perusahaan pemasok biodiesel tentunya harus mampu melaksanakan inspeksi yang dapat meminimalkan resiko. Oleh karena itu, metode inspeksi yang mampu mengidentifikasi dan memitigasi risiko secara presisi sangat dibutuhkan agar strategi pemeliharaan dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.

Dalam penelitian ini, perusahaan yang diangkat merupakan perusahaan yang bergerak di bidang terminal dan distribusi biodiesel, dimana sistem inspeksi yang saat ini diterapkan masih berbasis sistem inspeksi konvensional berbasis jadwal periodik (time-based) sesuai standar regional migas. Metode ini belum mempertimbangkan variasi risiko spesifik di setiap bagian tangki, sehingga potensi kegagalan akibat korosi sering tidak terdeteksi secara optimal [9]. Frekuensi kasus kebocoran yang terjadi pada storage tank perusahaan tergolong rendah, insiden yang pernah terjadi menjadi bukti nyata bahwa metode inspeksi konvensional berbasis sistem jadwal periodik belum mampu secara efektif mengantisipasi potensi kerusakan kritis. Dalam industri migas, bahkan satu kejadian kebocoran yang lolos dari pengawasan inspeksi dapat memicu efek domino yang merugikan tidak hanya perusahaan, namun juga masyarakat sekitar dan reputasi perusahaan [10].

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan penerapan Risk Based Inspection (RBI) dan Analytic Hierarchy Process (AHP) dalam penentuan prioritas inspeksi peralatan agar dapat mengidentifikasi dan memitigasi risiko. Penelitian oleh sebelumnya menjelaskan bahwa RBI mampu memetakan peralatan dengan tingkat risiko tertinggi berdasarkan data laju korosi dan potensi kebocoran. Namun, pendekatan ini masih terbatas pada analisis teknis tanpa mempertimbangkan aspek manajerial dan eksternal dalam pengambilan keputusan [11]. Penelitian lain menerapkan AHP pada storage tank dengan mempertimbangkan kriteria risiko teknis, dampak lingkungan, dan biaya. Walaupun AHP efektif dalam menyusun prioritas inspeksi berbasis multi-kriteria, metode ini belum mengintegrasikan data teknis aktual dari RBI seperti laju korosi dan probabilitas kegagalan, sehingga hasilnya masih dipengaruhi oleh penilaian subjektif para ahli [12]. Hal ini menunjukkan pentingnya penelitian yang mengkombinasikan RBI dan AHP untuk menghasilkan prioritas inspeksi yang lebih komprehensif, obyektif, dan sesuai dengan kondisi aktual peralatan.mesin.

Metode

Penelitian ini dilaksanakan di TBBM PT XYZ Muara Kembang, Kutai Kartanegara, dengan tujuan mengoptimalkan inspeksi dan pemeliharaan peralatan berdasarkan tingkat risiko. Fokus penelitian diarahkan pada tangki penyimpanan (storage tank) yang memiliki peran vital dalam rantai pasok energi dan produk kimia, khususnya bahan bakar minyak [13]. Permasalahan utama yang kerap ditemui adalah korosi dan kebocoran akibat belum adanya jadwal pemeliharaan yang terstruktur, sehingga meningkatkan potensi kegagalan operasional maupun risiko keselamatan. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini menerapkan metode Risk Based Inspection (RBI) guna menganalisis tingkat risiko pada storage tank dan menentukan interval inspeksi yang lebih tepat [14]. Melalui pendekatan ini, risiko dikaji secara sistematis berdasarkan kemungkinan dan konsekuensi kegagalan, sehingga kegiatan inspeksi dapat difokuskan pada titik-titik kritis. Selanjutnya, metode Analytic Hierarchy Process (AHP) digunakan untuk menetapkan prioritas strategi pemeliharaan. Dengan mempertimbangkan berbagai alternatif, diperoleh urutan strategi yang paling sesuai dengan kondisi lapangan dan kebutuhan operasional [15]. Hasil penelitian diharapkan mampu meningkatkan keandalan tangki, meminimalkan potensi kebocoran maupun kerusakan, serta menjaga keselamatan dan kontinuitas distribusi energi. Integrasi metode RBI dan AHP memberikan pendekatan yang lebih efektif, efisien, dan berbasis risiko dalam manajemen pemeliharaan tangki penyimpanan.

Pengumpulan data dihasilkan dari inspeksi yang dilakukan pada Juli tahun 2025. Data ini kemudian dikumpulkan untuk menyongsong informasi analisis tentang ruang penyimpanan. Proses pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan secara

husus dengan menggunakan metode pengawasan berbasis risiko, yang terdiri dari tahapan berikut:

1. Pengumpulan Data : Kegiatan penelitian dimulai dengan mengumpulkan data historis dari perusahaan, meliputi spesifikasi teknis *storage tank*, hasil pengukuran *actual thickness*, dan data hasil *risk matrix*. Data tersebut diperoleh melalui wawancara dengan petugas maintenance dan analisis dokumen historis.
2. Penentuan Subsistem Kritis : Langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi subsistem kritis dengan menganalisis hasil matriks risiko. Proses ini bertujuan untuk mengetahui subsistem mana yang berada pada kategori risiko tinggi (*high*) maupun ekstrim (*extreme*), sehingga dapat diprioritaskan dalam inspeksi maupun pemeliharaan.
3. Perhitungan *Design Shell Thickness* : Tahapan ini dilakukan dengan menghitung ketebalan desain (*design shell thickness*) pada setiap shell ring menggunakan parameter diameter tangki, tinggi cairan, berat jenis fluida, allowable stress, serta corrosion allowance.
4. Perhitungan *Corrosion Rate* : Setelah mengetahui ketebalan desain, dilakukan perhitungan *corrosion rate* dengan membandingkan nilai ketebalan awal (*initial thickness*) dengan ketebalan aktual (*actual thickness*) berdasarkan periode operasi tangki.
5. Perhitungan *Remaining Life* : Berdasarkan *corrosion rate* dan *design shell thickness*, dihitung *remaining life* atau sisa umur pakai tangki.
6. Perhitungan Risiko : Analisis risiko dilakukan menggunakan *Risk Based Inspection* (RBI) dengan pendekatan kualitatif dan semi-kuantitatif. Pada metode kualitatif, ditentukan *consequence category* dan *likelihood category* berdasarkan data historis serta wawancara dengan teknisi. Sedangkan pada metode kuantitatif, dihitung *probability of failure* dengan memperhatikan *generic failure frequency*, *thinning damage factor*, dan *management system factor*.
7. Penentuan *Risk Level* : Hasil *consequence category* dan *likelihood category* kemudian dipetakan ke dalam *risk matrix* untuk menentukan tingkat risiko keseluruhan pada tangki. Tahap ini menghasilkan tingkat risiko kategori medium yang menjadi acuan dalam penyusunan strategi inspeksi dan pemeliharaan.
8. Usulan Interval Inspeksi : Berdasarkan perhitungan *remaining life* dan hasil analisis risiko, ditetapkan usulan interval inspeksi sesuai standar API 653.
9. Pemilihan Strategi Pemeliharaan : Tahap akhir penelitian menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) untuk menentukan strategi pemeliharaan yang optimal dan dapat meminimalkan risiko.

Hasil dan Pembahasan

A. Pengumpulan Data

Data spesifikasi *storage tank* merupakan kumpulan informasi teknis yang menjelaskan karakteristik rancangan dan kondisi sebuah tangki penyimpanan. Melalui data spesifikasi, pihak teknis dapat memahami batas kemampuan tangki, material yang digunakan, serta parameter operasinya. Data spesifikasi ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data Spesifikasi *storage tank*

Sistem	Subsistem	Spesifikasi		
B-40 Storage Tank T-1	Storage Tank	1	Description	Storage Tank
		2	Tag No	T-1
		3	Year Built	2015
		4	Product	B-40
		5	Specific Gravity Fluid (G)	0.87
		6	Nominal Tank Diameter (D)	17.469 m
		7	Nominal Height Tank	9.137 m
		8	Nominal Capacity	2.000 KL
		9	Material/b	SA36
		10	Design Pressure	Atmospherics
		11	Temprature Design (°F)	Ambient
		12	Number Of Course / Shell	6 Course / Shell
		13	Initial Thickness	
			Shell Ring-1	10
			Shell Ring-2	8
			Shell Ring-3	8
	Shell Ring-4	6		
	Shell Ring-5	6		
	Shell Ring-6	6		
14	Equipment Type	Tank 650		
15	Corrosion Allowance (CA)	0		
16	Allowable Stress for the design condition (Sd)	150 Mpa		

	17	Height Per Course	1523 m
--	----	-------------------	--------

Setelah diperoleh data spesifikasi tangki yang tercantum pada Tabel 1 sebagai dasar perhitungan desain, tahap selanjutnya adalah mengumpulkan data ketebalan aktual (*actual thickness*) dari komponen tangki. Data ini ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data *Actual Thickness* Tahun 2025

Spot Location	Actual Thickness (mm)				t min		Spot Location	Actual Thickness (mm)				t min
	1	2	3	4				1	2	3	4	
Shell Ring – 1						Shell Ring – 4						
P1	9,79	9,66	9,68	9,57	9,17	P1	5,83	5,75	5,9	5,51	5,5	
P2	9,71	9,85	9,28	9,78		P2	5,76	5,92	5,92	5,74		
P3	9,34	9,98	9,47	9,58		P3	5,94	5,78	5,65	5,7		
P4	9,4	9,34	9,17	9,6		P4	5,72	5,9	5,82	5,53		
P5	9,37	9,91	9,24	9,69		P5	5,73	5,93	5,74	5,95		
P6	9,86	9,83	9,36	9,4		P6	5,54	5,94	5,69	5,53		
P7	9,2	9,33	9,51	9,36		P7	5,87	5,5	5,64	5,7		
P8	9,7	9,43	9,93	9,19		P8	5,9	5,57	5,95	5,95		
P9	9,48	9,74	9,39	9,73		P9	5,73	5,97	5,88	5,86		
P10	9,52	9,28	9,98	9,97		P10	5,92	5,93	5,9	5,71		
Shell Ring – 2						Shell Ring – 5						
P1	7,32	7,33	7,45	7,25	7,21	P1	5,67	5,52	5,75	5,73	5,45	
P2	7,52	7,22	7,32	7,55		P2	5,5	5,53	5,97	5,66		
P3	7,47	7,56	7,95	7,84		P3	5,87	5,46	5,76	5,83		
P4	7,93	7,22	7,37	7,68		P4	5,45	5,5	5,73	5,74		
P5	7,21	7,46	7,49	7,53		P5	5,93	5,83	5,6	5,95		
P6	7,7	7,63	7,85	7,72		P6	5,73	5,69	5,95	5,85		
P7	7,54	7,48	7,41	7,67		P7	5,68	5,61	5,53	5,96		
P8	7,53	7,27	7,67	7,31		P8	5,99	5,8	5,87	5,88		
P9	7,6	7,35	7,85	7,33		P9	5,91	5,96	5,62	5,66		
P10	7,92	7,9	7,44	7,33		P10	5,67	5,9	5,92	5,8		
Shell Ring – 3						Shell Ring – 6						
P1	7,93	7,48	7,84	7,77	7,47	P1	5,86	5,82	5,62	5,61	5,57	
P2	7,94	7,47	7,82	7,65		P2	5,88	5,72	5,68	5,95		
P3	7,87	7,71	7,91	7,48		P3	5,95	5,92	5,79	5,86		
P4	7,95	7,76	7,62	7,64		P4	5,58	5,86	5,68	5,73		
P5	7,95	7,9	7,67	7,98		P5	5,9	5,74	5,86	5,85		
P6	7,49	7,56	7,95	7,96		P6	5,58	5,98	5,7	5,62		
P7	7,92	7,49	7,75	7,67		P7	5,66	5,74	5,9	6		
P8	7,81	7,94	7,85	7,94		P8	5,73	5,69	5,79	5,82		
P9	7,73	7,76	7,83	7,79		P9	5,57	5,77	5,96	5,61		
P10	7,94	7,91	7,65	7,87		P10	5,75	5,75	5,79	5,89		

Berdasarkan data *actual thickness* diatas diketahui nilai *t min* atau ketebalan terkecil tiap *shell ring* tertera pada Tabel 2, yang akan digunakan sebagai nilai *do* (ketebalan akhir) pada perhitungan nilai *design shell thickness* dan *corrosion rate*. Dengan demikian, Hal ini memungkinkan perhitungan sisa umur pakai (*remaining life*) dilakukan secara lebih akurat.

B. Penentuan Subsistem Kritis

Penentuan subsistem kritis pada tangki timbun T-1 dilakukan dengan meninjau secara menyeluruh 13 subsistem utama pada *storage tank*. Setiap subsistem dianalisis untuk menentukan tingkat kritikalitas-nya dengan menggunakan pendekatan risk matrix pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Penilaian Tingkat Resiko Tiap Subsistem

No.	Subsistem	Severity Assesment					Likelihood Assesment	Tingkat Risiko
		Safety	Environment	Production	Operational	Average		
1	Storage Tank	5	5	5	5	5	1	High
2	Pipe	4	4	4	3	3,75	1	High
3	Pressure Relief Valve (PRV)	4	5	4	2	3,75	3	Extreme

4	Pressure Vacum Valve (PVV)	3	4	4	3	3,5	3	Extreme
5	Foam Chamber	1	2	1	3	1,75	1	Low
6	Manhole	1	2	2	2	1,75	1	Low
7	Slot Dipping Device	1	1	2	2	1,5	2	Low
8	Automatic Gauge Tank	4	2	4	2	3	3	High
9	Flexible Pipe	1	3	5	2	2,75	1	Medium
10	Splash Plate	1	1	1	2	1,25	1	Low
11	Roof Handrailing	1	1	1	2	1,25	1	Low
12	Grounding Cable	4	3	2	2	2,75	2	Medium
13	Product Drain	1	1	1	2	1,25	1	Low

Hasil *risk matrix* dalam penelitian ini diperoleh melalui wawancara dengan teknisi *maintenance* di TBBM Muara Kembang PT. XYZ. Penilaian mencakup potensi dampak kerusakan pada tangki timbun dari aspek lingkungan (*enviromtent*), keamanan (*safety*), produktivitas (*production*), dan kelancaran operasional (*operational*). Berdasarkan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa subsistem kritis yang teridentifikasi berada pada kategori *extreme* dan *high*, yaitu *Storage Tank*, *Piping*, *Automatic Gauge Tank*, *Pressure Relief Valve* (PRV), serta *Pressure Vacuum Valve* (PVV).

C. Perhitungan Design Shell Thickness

Perhitungan *design shell thickness* atau ketebalan *shell* pada penelitian ini didasarkan pada data spesifikasi *storage tank* yang tercantum pada Tabel 1 Data spesifikasi *storage tank*. Parameter yang digunakan meliputi diameter tangki (*D*), tinggi cairan diatas *shell* (*H*), berat jenis fluida B-40 (*G*), tegangan izin material dan *corrosion allowance*. Pemilihan parameter tersebut penting agar hasil perhitungan mampu merepresentasikan kondisi operasional tangki secara lebih akurat dan sesuai dengan standar perancangan yang berlaku.

Perhitungan *design shell thickness* dilakukan dengan menggunakan persamaan 1 sebagai berikut :

$$td = \frac{4.9D(H-0.3)G}{s d} + CA \quad (1)$$

Hasil perhitungan *design shell thickness* yang diperoleh kemudian dapat dilihat pada Tabel 3 berikut :

Tabel 5. *Design shell thickness*

Shell Ring	Design shell thickness (td)(mm)
1	3,80
2	3,22
3	2,63
4	2,94
5	2
6	0,99

Hasil perhitungan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa ketebalan menurun secara bertahap dari *shell ring* 1 hingga *shell ring* 6. Hal ini sesuai dengan penurunan nilai parameter H pada rumus desain. Ketebalan tertinggi yang dihasilkan pada *shell ring* 1 sebesar 3,80 mm, sedangkan *shell ring* 6 memiliki ketebalan terendah sebesar 0,99 mm.

D. Perhitungan Corrosion Rate

Perhitungan *corrosion rate* dilakukan dengan membandingkan ketebalan awal dan ketebalan aktual (*actual thickness*) setelah periode operasi tertentu. Selisih keduanya menunjukkan tingkat penipisan material yang kemudian dibagi dengan waktu operasi sehingga diperoleh laju korosi dalam satuan mm/tahun. Laju korosi merupakan kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu..

Perhitungan *corrosion rate* dilakukan dengan menggunakan persamaan 2 sebagai berikut :

$$CR = \frac{d-d_0}{T_0-T} \quad (2)$$

Hasil perhitungan *corrosion rate* yang diperoleh kemudian dapat dilihat pada Tabel 4 berikut :

Tabel 6. *Corrosion rate*

Shell Ring	Corrosion Rate (mm/tahun)
1	0,083
2	0,079
3	0,053
4	0,050
5	0,055
6	0,043

Hasil perhitungan pada Tabel 4 dapat diketahui *corrosion rate* tertinggi pada *shell ring-1*, diperoleh nilai sebesar 0,083 mm/tahun, dan terendah pada *shell ring-6*, diperoleh nilai sebesar 0,043 mm/tahun. *Shell ring* 1 memiliki nilai *corrosion rate*

paling besar diantara 6 *shell ring* lainnya karena *shell ring* 1 memiliki beban paling banyak diantara lainnya.

E. Perhitungan Remaining Life

Remaining life merupakan perkiraan sisa umur pakai suatu peralatan atau komponen sebelum mencapai batas ketebalan minimum yang diizinkan akibat penipisan material.

Perhitungan *remaining life* dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Remaining Life} = \frac{d_o - t_d}{CR} \quad (3)$$

Hasil perhitungan *remaining life* yang diperoleh kemudian dapat dilihat pada Tabel 7 berikut :

Tabel 7. *Remaining Life*

Shell Ring	Remaining Life (tahun)
1	65
2	51
3	92
4	52
5	63
6	107

Berdasarkan hasil perhitungan *remaining life* atau sisa umur pakai tertinggi pada shell ring-6, diperoleh nilai sebesar 107 tahun, dan terendah pada shell ring-2 sebesar 51 tahun.

F. Perhitungan Nilai Resiko

Perhitungan nilai risiko pada penelitian ini menggunakan metode *Risk Based Inspection* (RBI) semi-kuantitatif, yaitu pendekatan yang menggabungkan metode kualitatif dan kuantitatif.

1. Metode Kualitatif

Perhitungan RBI (*Risk Based Inspection*) secara kualitatif dilakukan dengan menilai besarnya dampak (*consequence*) serta kemungkinan terjadinya kegagalan (*likelihood*) melalui wawancara, sehingga diperoleh hasil penilaian dari para ahli. *Consequence* merepresentasikan tingkat keparahan akibat yang ditimbulkan apabila suatu peralatan mengalami kegagalan. Nilai tersebut ditentukan berdasarkan kombinasi dua faktor utama, yaitu *damage factor* dan *health factor* yang ditunjukkan pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. *Damage Factor dan Health Factor*

Damage Factor	Score	Health Factor	Score
<i>Chemical Factor (CF)</i>	13	<i>Toxic Quality Factor (TQF)</i>	25
<i>Quantity Factor (QF)</i>	38	<i>Disperbility Factor (DIF)</i>	0,03
<i>State Factor (SF)</i>	-4	<i>Credit Factor (CF)</i>	-10
<i>Pressure Factor (PRF)</i>	-10	<i>Population Factor (PPF)</i>	14
<i>Credit Factor (CF)</i>	-11		
<i>Autoignition Factor (AF)</i>	13		
Total Score	39	Total Score 29,03	

Setelah diperoleh total skor dari setiap faktor, nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan *Consequence Category* yang ditampilkan pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. *Consequence Category*

<i>Total Score Damage Factor</i>	<i>Consequence Category</i>
39	C
<i>Total Score Health Factor</i>	<i>Consequence Category</i>
29,03	C

Likelihood Score merupakan proses penilaian tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan pada suatu peralatan. Nilai tersebut ditentukan oleh beberapa faktor, yang ditunjukkan pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10. *Damage Factor dan Health Factor*

Likelihood Factor	Score
<i>Equipment Factor</i>	0
<i>Damage Factor</i>	8
<i>Process Factor</i>	4
<i>Mechanical Damage Factor</i>	2
<i>Inspection Factor</i>	-5
<i>Current Condition Factor</i>	6
Total Score	15

Setelah diperoleh total skor dari setiap faktor, nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan *Consequence Category* yang ditampilkan pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. *Consequence Category*

Likelihood Score	Likelihood Category
15	1

2. Metode Kuantitatif

Perhitungan RBI (*Risk Based Inspection*) secara kuantitatif merupakan metode analisis risiko dengan pendekatan numerik yang bertujuan memberikan hasil penilaian risiko yang objektif dan terukur. Pada proses ini, salah satu parameter penyusun Probability of Failure (POF) adalah nilai frekuensi kegagalan umum (*gff*), yang dapat dilihat pada Tabel 12 berikut.

Tabel 12. *Consequence Category*

Tipe Peralatan	Tipe Komponen	Frekuensi Kegagalan berdasarkan ukuran lubang (<i>Failure/year</i>)				<i>gff total</i> (<i>Failure/year</i>)
		<i>Small</i>	<i>Medium</i>	<i>Large</i>	<i>Rupture</i>	
TANK 650	COURSE-1	0,00007	0,000025	0,000005	0,0000001	0,0001
TANK 650	COURSE-2	0,00007	0,000025	0,000005	0,0000001	0,0001
TANK 650	COURSE-3	0,00007	0,000025	0,000005	0,0000001	0,0001
TANK 650	COURSE-4	0,00007	0,000025	0,000005	0,0000001	0,0001
TANK 650	COURSE-5	0,00007	0,000025	0,000005	0,0000001	0,0001
TANK 650	COURSE-6	0,00007	0,000025	0,000005	0,0000001	0,0001
TANK 650	COURSE-7	0,00007	0,000025	0,000005	0,0000001	0,0001
TANK 650	COURSE-8	0,00007	0,000025	0,000005	0,0000001	0,0001
TANK 650	COURSE-9	0,00007	0,000025	0,000005	0,0000001	0,0001
TANK 650	COURSE-10	0,00007	0,000025	0,000005	0,0000001	0,0001

Nilai *Frequency of Failure* per tahun diperoleh dari Tabel 12 melalui penilaian *gff* pada Tank 650, yang dibagi ke dalam empat kategori ukuran lubang kerusakan (*small, medium, large, dan rupture*), dengan hasil sebesar 0,0001 kegagalan per tahun. Selanjutnya, dilakukan penentuan parameter berikutnya, yaitu nilai *management system factor* dengan mengetahui nilai management sistem terlebih dahulu. Nilai *management system score* biasanya diasumsikan 1000 karena dianggap memenuhi standar. Namun, pada penelitian ini ditetapkan sebesar 910, dengan pertimbangan masih terdapat kemungkinan kegagalan sehingga nilainya tidak mencapai maksimum.

Perhitungan besarnya dampak dari *management system* menggunakan persamaan 4 dapat dilihat pada perhitungan berikut.

$$pscore = \frac{score}{1000} \times 100 \quad (4)$$

Sehingga didapatkan nilai *pscore* sebesar 91%. Selanjutnya dilakukan perhitungan *Fms* menggunakan persamaan 2.3 dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut.

$$Fms = 10^{(-0,02 \times pscore + 1)} \quad (5)$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai *Fms* yang diperoleh adalah 9,818. Selanjutnya, parameter berikutnya yang dihitung adalah thinning damage factor. Dalam perhitungannya, nilai base damage factor thinning (*Dbthin*) sebesar 1 diperoleh dari kategori inspeksi A dengan nilai *Art* = 0. Beberapa parameter tidak digunakan, antara lain On-Line Monitoring (FOM) karena *Dbthin* = 1, Injection/Mix Points (FIP) karena tidak ada proses injeksi, serta Dead Legs (FDL) karena hanya berlaku pada sistem perpipaan. Sementara itu, faktor yang digunakan meliputi Welded Construction (FWD) = 1, Maintenance sesuai API 653 (FAM) = 1, dan Settlement (FSM) = 1. Hal ini sesuai dengan kondisi peralatan yang dianalisis, yaitu tangki dengan sambungan las (welded), pemeliharaan yang mengacu pada API 653, serta settlement yang

telah memenuhi standar. Dengan demikian, *thinning damage factor* dapat ditentukan sesuai ketentuan API 581. Perhitungan *thinning damage factor* (D_f^{thin}) menggunakan persamaan 6 dapat dilakukan dilihat sebagai berikut.

$$D_f^{thin} = \frac{D_b^{thin} \times F_{ip} \times F_{dl} \times F_{wd} \times F_{am} \times F_{sm}}{F_{om}} \quad (6)$$

Faktor kerusakan dari *thinning* (D_f^{thin}) yang diperoleh adalah sebesar 1. Sehingga, Nilai *Probability of Failure* dapat dihasilkan melalui persamaan 7 berikut.

$$Pf(t) = qff \times D_f^{thin} \times Fms \quad (7)$$

Hasil perhitungan diatas diperoleh nilai *Probability of Failure* $Pf(t)$ sebesar 0,0009818. Berdasarkan Tabel 13 kategori probabilitas untuk menentukan tingkat risikonya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 13. Kategori Probabilitas

Kategori	Range
1	$Pf(t) \leq 0,1$
2	$0,1 < Pf(t) \leq 0,2$
3	$0,2 < Pf(t) \leq 0,3$
4	$0,3 < Pf(t) \leq 0,5$
5	$0,5 < Pf(t) \leq 1,0$

Kategori *Probability of Failure* yang diperoleh berada pada kategori 1 yang menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya kegagalan berada pada tingkat yang sangat rendah.

G. Penentuan Risk Level

Penentuan *risk level* dilakukan dengan menggunakan *risk matrix* pada sistem tangki timbun T-1 TBBM Muara Kembang dapat dilihat pada Tabel 14 berikut.

Tabel 14. Risk Matrix

Kategori	Range
1	$Pf(t) \leq 0,1$
2	$0,1 < Pf(t) \leq 0,2$
3	$0,2 < Pf(t) \leq 0,3$
4	$0,3 < Pf(t) \leq 0,5$
5	$0,5 < Pf(t) \leq 1,0$

Berdasarkan hasil perhitungan *consequence category* dan *likelihood category* menggunakan metode RBI kualitatif maupun kuantitatif, dapat ditentukan tingkat risiko pada tangki timbun T-1. Pada metode RBI kualitatif, Berdasarkan Tabel 4.10 nilai kategori *consequence category* yaitu C dan Tabel 4.12 nilai *likelihood category* diperoleh sebesar 1. Sementara itu, hasil perhitungan dengan metode RBI kuantitatif juga menunjukkan nilai *likelihood category* sebesar 1. Kedua hasil tersebut kemudian dipetakan ke dalam tabel risk matrix, maka diperoleh tingkat risiko dengan kategori *medium* (sedang).

H. Penentuan Usulan Interval Inspeksi

Penentuan usulan interval inspeksi di PT XYZ mengacu pada standar API 653, dengan hasil yang ditampilkan pada Tabel 15 berikut.

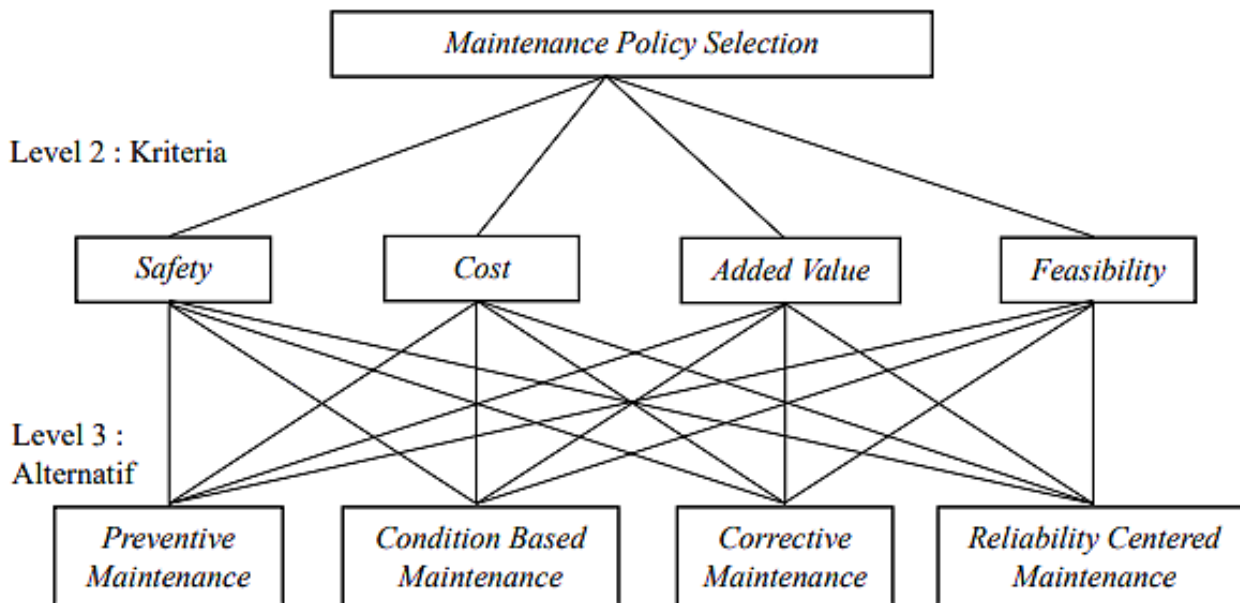
Tabel 15. Risk Matrix

<i>Likelihood</i>	5					
	4					<i>High</i>
	3				<i>Medium High</i>	
	2			<i>Medium</i>		
	1		<i>Low</i>	(✓)		
<i>Consequence</i>		A	B	C	D	E

I. Pemilihan Alternatif Strategi Pemeliharaan

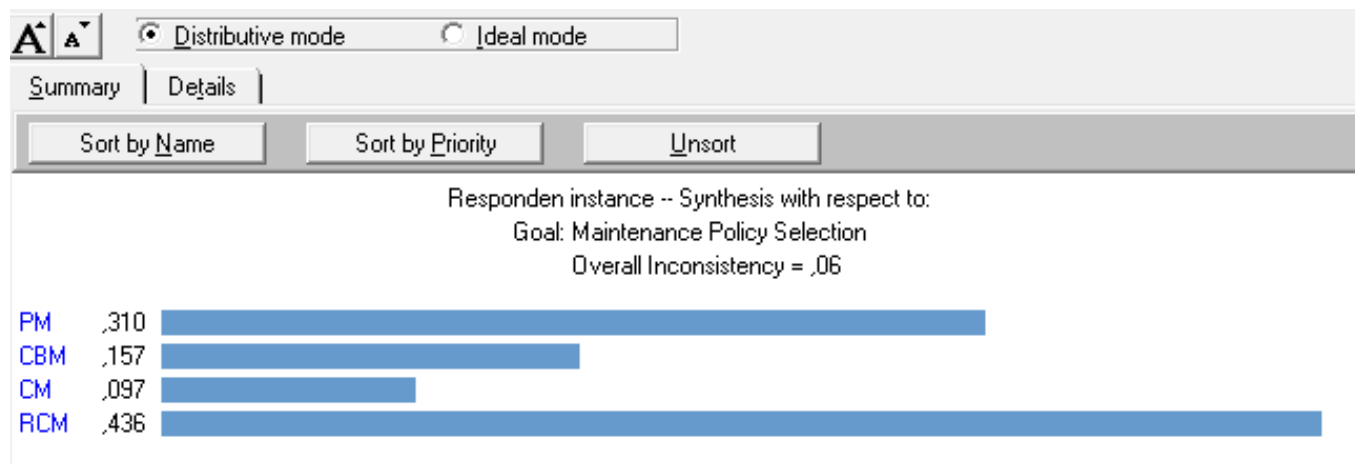
Penentuan alternatif strategi pemeliharaan yang bertujuan meminimalkan risiko pada penelitian ini dilakukan dengan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP), yang memberikan dukungan pengambilan keputusan secara sistematis berdasarkan sejumlah kriteria. Sebelum perhitungan AHP dilakukan, terlebih dahulu ditetapkan tujuan, kriteria, serta alternatif strategi yang akan dianalisis. Adapun model struktur hierarki AHP pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.

Level 1 : Objektif Keseluruhan



Gambar 1. Model Analytic Hierarchy Process (AHP)

Selanjutnya, dilakukan perhitungan bobot pada kriteria dan alternatif melalui kuesioner yang diisi oleh *General Manager* TBBM Muara Kembang PT XYZ. Data yang diperoleh kemudian diolah dengan memasukkan hasil kuesioner ke dalam software, sehingga menghasilkan output perhitungan. Tampilan output tersebut ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Hasil Bobot Kriteria Alternatif

Berdasarkan Gambar 2, hasil sintesis bobot alternatif AHP untuk “*Maintenance Policy Selection*” menunjukkan bahwa RCM (*Reliability Centered Maintenance*) menjadi strategi paling optimal dengan bobot 0,436 karena mampu menjaga keandalan peralatan. PM (*Preventive Maintenance*) menempati urutan kedua dengan bobot 0,310 melalui pemeliharaan terjadwal, disusul CBM (*Condition Based Maintenance*) dengan bobot 0,157 yang digunakan bila tersedia data kondisi peralatan. CM (*Corrective Maintenance*) berada pada prioritas terendah dengan bobot 0,097 karena bersifat reaktif.

Simpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan metode *Risk Based Inspection* (RBI) yang dikombinasikan dengan *Analytic Hierarchy Process* (AHP) efektif dalam mengidentifikasi tingkat risiko pada tangki penyimpanan biodiesel dan menentukan strategi pemeliharaan yang optimal untuk mengurangi potensi kegagalan. Hasil analisis risiko menunjukkan bahwa meskipun risiko keseluruhan berada pada kategori sedang (*medium*), subsistem kritis seperti tangki penyimpanan, pipa, dan katup tekanan membutuhkan perhatian khusus melalui interval inspeksi yang diperpendek menjadi setiap empat tahun. Pendekatan AHP menetapkan bahwa strategi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah alternatif terbaik dalam menjaga keandalan dan mengurangi risiko operasi, diikuti oleh *Preventive Maintenance* (PM) sebagai strategi pendukung. Dengan demikian, integrasi RBI dan AHP memberikan kerangka manajemen pemeliharaan yang lebih terstruktur, berbasis risiko, dan mampu meningkatkan keselamatan serta kontinuitas distribusi energi.

References

1. H. Maksum, I. Ilham, and W. Purwanto, "Various Types of Biodiesel as Sustainable Fuel Choices: A Review," *Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi (INVOTEK)*, vol. 23, no. 2, pp. 119–128, Jun. 2023, doi: 10.24036/invotek.v23i2.1134.
2. M. Banurea, D. Ikhwana, Y. Tanjung, and M. Pratama, "Efisiensi Penggunaan Bahan Bakar Biodiesel B40 untuk Kebutuhan Dunia Industri dan Transportasi," *Mars: Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 1, 2025, doi: 10.61132/mars.v3i1.601.
3. A. Stoicescu, R. G. Ripeanu, T. Maria, C. Nicolae, and L. Toader, "Multifactorial Analysis of Defects in Oil Storage Tanks: Implications for Structural Performance and Safety," *Processes*, vol. 13, no. 8, art. 2575, 2025, doi: 10.3390/pr13082575.
4. D. A. N. S. Kim, "Jurnal Rekayasa, Teknologi Proses," *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Proses*, vol. 9, no. 2, pp. 2–12, Dec. 2022.
5. I. Megdiche, W. Atherton, D. Allanson, and C. Harris, "Effect of Mitigation on the Catastrophic Failure of Storage Tanks," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 80, art. 104852, 2022, doi: 10.1016/j.jlp.2022.104852.
6. M. F. A. Patria, "Analisis Strategi Inspeksi Berdasarkan Risiko (RBI) pada Atmospheric Storage Tank PT XYZ," *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi (MigasZoom)*, vol. 5, no. 2, pp. 73–82, 2023, doi: 10.37525/mz/2023-2/472.
7. T. R. Sulistomo and A. Surjosatyo, "Risk-Based Inspection of Crude and Refined Oil Storage Tank in Indonesia Refinery Plant," *International Journal of Mechanical Engineering Technologies & Applications*, vol. 4, no. 1, pp. 84–96, Jan. 2023, doi: 10.21776/MECHTA.2023.004.01.10.
8. Y. Feng, Y. Yang, and B. Huang, "Corrosion Analysis and Remaining Useful Life Prediction for Storage Tank Bottom," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 12, no. 9, pp. 1–9, 2020, doi: 10.1177/1729881419877051.
9. A. Azizar, "Comparative Analysis of Risk-Based and Time-Based Inspection Application in Hydrocarbon and Chemical Industries: A Review," *Journal of Management and Engineering Field (JMEF)*, vol. 3, no. 3, 2022, doi: 10.7454/jmef.v3i3.1078.
10. M. M. Aliabadi, H. Ramezani, and O. Kalatpour, "Quantitative Risk Assessment of Condensate Storage Tank Considering Domino Effects," *Iranian Occupational Health Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 204–221, 2022.
11. K. Widiyati and K. S. Purba, "A Study on the Implementation of Qualitative Risk-Based Inspection (RBI) Methods on Atmospheric Storage Tank – Shell Course," in *Proc. Int. Conf. Sustainable Engineering, Infrastructure and Development (ICO-SEID)*, Jakarta, Nov. 2022, 2023, doi: 10.4108/eai.23-11-2022.2341601.
12. V. Pranantya, M. A. Maulana, and N. F. Margini, "Model Analytic Hierarchy Process (AHP) dalam Penentuan Strategi Pemilihan Lokasi Mata Air untuk Pembangunan Infrastruktur Irigasi di Kota Batu," *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, vol. 21, no. 3, pp. 259–268, 2023.
13. T. Mashiyane, L. Tartibu, and S. Salifu, "Assessment of Buckling Failure in Oil Storage Tanks: Finite Element Simulation of Combined Internal and External Pressure Scenarios," *Frontiers in Mechanical Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 1–13, 2023.
14. Z. A. Kurniawan and K. Widiyati, "Quantitative Study of Risk-Based Inspection (RBI) Using API 581 on Heat Exchanger Tube Bundle," in *Proc. 3rd Int. Conf. Advanced Engineering and Technology (ICAET)*, 2022, doi: 10.4108/eai.23-11-2022.2341613.
15. M. Ram, A. Cerezo-Narváez, M. Otero-Mateo, and P. Ballesteros-Pérez, "Determination of Requirements for the Improvement of Occupational Safety in the Cleaning of Vertical Tanks of Petroleum Products," *Safety*, vol. 9, no. 1, art. 6, Feb. 2023, doi: 10.3390/safety9010006.