

Artikel Penelitian (Teknik Pertambangan)

Penilaian Sisa Umur Pakai pada Tangki Penimbun Sesuai dengan Laju Korosi

Lydia Kartika Basaria Sitompul^{*}, Zella Navtalia, Hisni Rahmi, Yosa Megasukma, Muhammad Faisal Seprizal

Fakultas Sains dan Teknologi, Teknik Pertambangan, Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 14 Oktober 2025

Revisi Akhir: 22 Januari 2026

Diterbitkan Online: 16 April 2026

KATA KUNCI

Analisa Tegangan

Korosi

Manajemen Aset

Metode Kegagalan

Pertambangan

KORESPONDENSI^(*)

Phone: +62 852-9394-6700

E-mail: lydia.s@unja.ac.id

A B S T R A K

Tangki penyimpanan merupakan alat penting untuk menampung bahan bakar, bahan kimia, cair, dan air proses dalam operasi penambangan batu bara dan mineral. Penilaian sisa umur pakai (RLA) tangki ini penting untuk menjaga manajemen aset yang hemat biaya, kepatuhan lingkungan, dan keselamatan operasional. Penilaian metode terhadap sisa umur pakai tangki penyimpanan di fasilitas penambangan batu bara dan mineral merupakan tujuan utama studi ini. Pemeriksaan ini mengidentifikasi kehilangan material, integritas las, dan mode kegagalan tambahan seperti pitting, kelelahan, dan korosi di bawah isolasi (CUI) dengan menggabungkan uji non-destruktif (NDT), pemetaan korosi, pengukuran ketebalan ultrasonik, dan analisis tegangan. Temuan ini digabungkan dengan informasi desain dan catatan layanan untuk menentukan berapa lama tangki akan tetap berfungsi dan menyarankan rencana penggantian atau pemeliharaan. Untuk mencegah kegagalan katastrofik, mengoptimalkan jadwal pemeliharaan, dan meningkatkan operasi penambangan yang berkelanjutan, hasilnya menyoroti deformasi yang ditemukan dan mekanisme kerusakan potensial seperti korosi atmosferik dan penipisan umum.

PENDAHULUAN

Salah satu komponen peralatan terpenting dalam proses produksi industri pertambangan adalah tangki penyimpanan, sebuah wadah yang digunakan untuk menyimpan dan mengakumulasi sumber daya cair, seperti bahan bakar, minyak sulingan, minyak mentah, dan bahan kimia lainnya. Dalam industri kimia, petrokimia, pertambangan, serta minyak dan gas, kecelakaan tangki penyimpanan sering terjadi dan mengakibatkan kerugian finansial yang signifikan. Proses penilaian resiko dilakukan untuk mengidentifikasi seluruh kemungkinan yang mungkin dapat membahayakan kesehatan manusia, lingkungan, proses produksi, maupun peralatan. Langkah awal dari *risk assessment* adalah identifikasi bahaya dan dampak dari bahaya tersebut. Siapa saja dan apa saja yang akan terkena dampak dari bahaya tersebut [1].

Peraturan Menteri No. 26 Tahun 2018 tentang "Penerapan Cara Penambangan yang Baik dan Pengawasan Pertambangan Mineral dan Batubara" sebagai bagian dari program sertifikasi, untuk setiap komponen peralatan yang masih beroperasi dan telah melampaui umur rencananya, perusahaan harus melakukan penilaian sisa umur pakai [2]. Untuk Tangki timbun juga harus diperhatikan desain sesuai dengan standar yang berlaku pada pertambangan [3]. Salah satu tangki penyimpanan yang telah beroperasi selama enam tahun adalah Tangki 01. Oleh karena itu, untuk mengajukan sertifikasi kepada Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, diperlukan teknik yang tepat untuk mengevaluasi sisa umur pakai dan kepraktisannya. Untuk menentukan apakah tangki yang ada masih dapat dioperasikan atau perbaikan atau modifikasi apa saja yang perlu dilakukan, maka harus dilakukan penilaian teknis. Pemberian izin penggunaan peralatan tersebut

dilakukan untuk memenuhi persyaratan berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku dan sesuai dengan peraturan pemerintah, sehingga dianggap perlu.

Dalam beberapa tahun terakhir, meningkatnya regulasi dan akuntabilitas telah menjadikan kegagalan operasional sebagai isu ekonomi, politik, dan hubungan masyarakat yang utama. Kegiatan inspeksi dan pemeliharaan diperlukan untuk memastikan operasi yang berkelanjutan dan menghindari kerugian serta kerusakan reputasi perusahaan. Metodologi pemeliharaan dapat diklasifikasikan sebagai pemeliharaan korektif dan pemeliharaan preventif [4]. Infrastruktur publik pada umumnya memiliki masa aktif sekitar 20 hingga 25 tahun setelah tahap komisioning. Pemeliharaan peralatan sangat penting, karena suatu aset berpotensi mengalami penurunan kinerja seiring waktu akibat proses penuaan [5]. Pada tahap operasional, pemantauan dan inspeksi dilakukan untuk mengetahui kinerja peralatan dan mengambil tindakan jika terjadi penyimpangan antara desain dan kondisi operasi aktual [6]. Evaluasi kondisi aset dan penilaian sisa masa manfaat merupakan salah satu tahapan dan aktivitas dalam manajemen proses perpanjangan masa manfaat. Estimasi sisa masa manfaat didasarkan pada pengumpulan data aset, evaluasi mekanisme kerusakan, kondisi informasi, pemantauan inspeksi, catatan desain, dan perbaikan yang dilakukan. Hasil estimasi sisa masa manfaat ini bertujuan untuk mendukung strategi proses perpanjangan masa manfaat dengan penerapan pemantauan, pemeliharaan, atau modifikasi, serta mengubah proses atau parameter operasi di masa mendatang yang berlaku untuk peralatan dan komponen [7]. Data yang diperoleh dari hasil inspeksi berupa pengukuran ketebalan akan diolah menjadi data input dalam penilaian sisa umur [8,9].

Mekanisme kerusakan juga akan memengaruhi laju korosi. Kemampuan untuk menentukan laju korosi dibatasi oleh kompleksitas peralatan, proses, dan variasi metalurgi. Informasi terbaik diperoleh dari hasil inspeksi untuk kondisi operasi proses peralatan saat ini [10].

Tujuan penelitian ini adalah menghitung sisa umur layan dan kelayakan operasi untuk tangki penimbun sesuai dengan hasil pemeriksaan lapangan dan dibandingkan dengan desain parameter sesuai dengan API 653 sehingga dapat membuat kesimpulan kelayakan penggunaan pengoperasian tangki penimbun berdasarkan kondisi operasi aktual dan analisa hasil sisa umur. Sehingga didapatkan perencanaan pemeliharaan strategis memainkan peran penting dalam mengurangi biaya pemeliharaan secara keseluruhan, memperpanjang umur, dan pada akhirnya mengoptimalkan biaya siklus hidup [11].

TINJAUAN PUSTAKA

Tangki Penimbun

Tangki Penimbun adalah tempat yang digunakan untuk menyimpan produk minyak atau cairan yang bertekanan yang memiliki desain berdasarkan fungsi atau jenis fluida yang ditampungnya. Tangki penyimpanan tidak hanya menjadi tempat penyimpanan untuk produk dan bahan baku. Selain itu tangki juga dapat menjaga produk atau bahan baku dari kontaminan [12].

Menurut API 650, berdasarkan letak/posisi tangki dari atas permukaan tanah, tangki dapat dibedakan menjadi 2 jenis tangki, yaitu:

1. *Aboveground tank*, yaitu tangki penimbun yang terletak di atas permukaan tanah. Tangki jenis ini dapat berada dalam posisi horizontal (melebar) maupun dalam posisi vertikal (tegak).
2. *Underground tank*, yaitu tangki penimbun yang terletak di bawah permukaan tanah.
3. *Semi buried tank*, yaitu tangki setengah pendam, atau sebagian terdapat di bagian bawah permukaan tanah dan sebagian lain di atas permukaan tanah [13].

Remaining Life Assesment (Penilaian sisa umur)

Remaining Life Assessment (RLA) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengukur dan memprediksi umur sisa suatu peralatan [14]. Adapun langkah menentukan umur sisa peralatan storage tank berdasarkan standar API 653 adalah sebagai berikut:

1. Menentukan ketebalan minimum (t_{min}) [15].
Untuk menghitung ketebalan minimum yang diperbolehkan pada masing masing course dapat menggunakan persamaan :

$$t_{min} = \frac{2.6 (H - 1)DG}{SE}$$

2. Menghitung Laju Korosi

Untuk menghitung nilai laju korosi (*corrosion rate*) dibutuhkan data ketebalan dinding course hasil inspeksi sebelumnya ($t_{previous}$) pada tahun 2016 dan ketebalan hasil pengukuran saat ini (t_{actual}) tahun 2023. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan UT thickness gauge. Sesuai dengan API 653 mengacu pada 6.3.1.2 ini ada dua kondisi dalam menghitung laju korosi yang sesuai dengan data yang tersedia :

Tangki yang sudah pernah diinspeksi berkala sebelumnya (digunakan jika sudah ada data pengukurann sebelumnya (dua data *Ultrasonic test*))

$$\text{Laju Korosi} = \frac{t_{previous} + t_{actual}}{\text{years between } t_{actual} \text{ and } t_{previous}}$$

Tangki baru pertama sekali diinspeksi (digunakan jika baru ada satu data *ultrasonic test*, dengan asumsi ketebalan awal sama dengan ketebalan nominal)

$$\text{Laju Korosi} = \frac{t_{nominal} + t_{actual}}{\text{years between } t_{actual} \text{ and } t_{nominal}}$$

3. Kalkulasi Penilaian Sisa Umur

Tujuan penilaian sisa umur adalah untuk menghitung sisa umur setiap komponen agar dapat melanjutkan operasi dalam kondisi operasi normal dan akan menggunakan suhu operasi dan tekanan operasi .

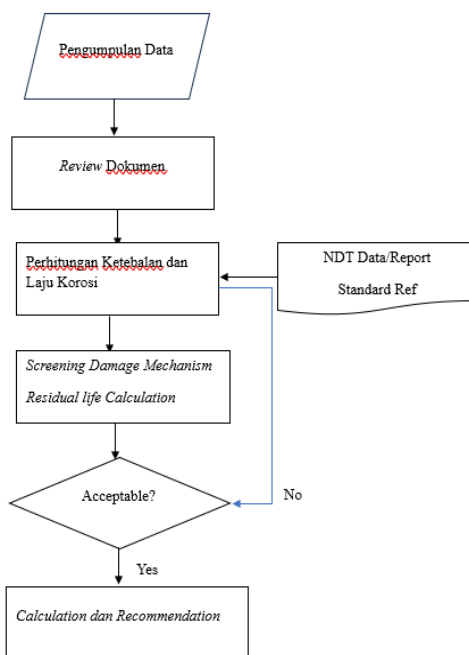
$$\text{Residual life (year)} = \frac{t_a - t_{req}}{CR}$$

METODOLOGI

Diperlukan langkah- langkah berupa pengumpulan data teknis berupa spesifikasi material, kalkulasi *engineering* dan gambar, data kondisi servis dan prinsip kerja, inspeksi yang telah dilakukan, riwayat penggunaan termasuk bila pernah dilakukan perbaikan/alterasi, setelah itu lebih lanjut dilakukan langkah penelahan dan analisa terhadap data yang didapatkan serta melakukan analisa terhadap faktor risiko ageing, selanjutnya menentukan analisa mekanisme kerusakan, menentukan skema inspeksi dan pemeriksaan dan penyusunan ITP (*Inspection test Plan*), melakukan inspeksi sesuai skema, melakukan evaluasi hasil inspeksi untuk mengambil keputusan apakah instalasi/peralatan dapat diperpanjang usia layannya dan menentukan metodologi dan interval inspeksinya yang sesuai [16].

Metodologi yang digunakan dalam analisa sisa umur layan pada tangki penimbun ini adalah :

1. Pengumpulan data
Data yang digunakan adalah data yang didapat dari hasil inspeksi lapangan, yaitu visual inspection actual, Hardness Test, UT Measurement report dari tangki penimbun 01 100 KL.
2. *Review* Dokumen
Dokumen yang terkumpul di dapatkan dari historikal tangki penimbun 01 100KL
3. Perhitungan ketebalan dan Laju Korosi
 - a. Inspeksi visual dan penggunaan ketebalan UT meliputi bagian dinding, atap, dan dasar tangki penimbun. Jumlah dan lokasi pengambilan titik pengukuran ketebalan harus diperhatikan. Ketika sudah mendapatkan perhitungan ketebalan dan laju korosi maka dari data yang terkumpul bisa dilakukan *residual life assesment* (RLA).
 - b. NDT (*Non Destructive Test*) diambil dari ketebalan UT dengan menggunakan prosedur API 653.
4. Secara umum, setelah didapatkan hasil inspeksi pada mekanisme kerusakan pada tangki penimbun, didapatkan laju korosi rendah akan memerlukan lokasi pengukuran ketebalan lebih sedikit dibandingkan dengan tangki penimbun dengan laju korosi tinggi.



Gambar 1. Studi Pengumpulan Data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Teknik Peralatan

Dokumen ini memuat data teknik (engineering data) terkait peralatan pada tangki penimbun (storage tank) yang digunakan untuk menyimpan produk cair seperti minyak bumi, bahan kimia, atau produk olahan lainnya. Data teknik disusun untuk memberikan informasi menyeluruh mengenai spesifikasi desain, material konstruksi, dimensi, kapasitas, peralatan pendukung, serta parameter operasional dari tangki.

Informasi ini bertujuan untuk mendukung kegiatan inspeksi, pemeliharaan, perbaikan, dan evaluasi kelayakan operasional tangki sesuai standar yang berlaku, seperti API 653 untuk inspeksi dan perbaikan. Penyusunan data teknik ini juga diperlukan sebagai acuan dalam program manajemen integritas aset (Asset Integrity Management) dan dokumentasi teknis fasilitas penyimpanan.

Seluruh data yang disajikan dalam dokumen ini berasal dari spesifikasi pabrikan, gambar teknik (as-built drawing), catatan inspeksi, dan hasil verifikasi lapangan oleh tim teknik. Dengan tersedianya data teknik ini, diharapkan proses pengambilan keputusan terkait pengoperasian dan pemeliharaan tangki dapat dilakukan secara efektif dan berbasis informasi yang akurat.

Berikut adalah data dari peralatan tangki penimbun yang menjadi data teknik penelitian ini yaitu :

Tabel 1. Data Teknis Tangki Penimbun

Deskripsi	Data Inspeksi
Subjek	Tangki Penimbun 01 100 KL
Tipe Shell	Cylindrical
Konten	Solar
Tipe Tank	Aboveground
Tipe Roof	Fixed
Kapasitas	48.07 KL
Diameter luar	4183.20 mm
Tinggi	7724.10 mm

<i>Allowable stress CI-C2</i>	C1 19578.93 psi/C2 19578.93 psi
<i>Allowable stress C3-Upper</i>	C3 18415.15 psi/C4 18757.44 psi/ C5 17319.82 psi
<i>Desain pressure</i>	1 atm
<i>Desain temperature</i>	<i>Ambient</i>
<i>Material Roof</i>	SA 283 C
<i>Material Shell</i>	SA 283 C
<i>Material Bottom</i>	SA 283 C
<i>Year Built</i>	2018
<i>Young's modulus (E)</i>	299500000 lbf/in ²
<i>Yield strength</i>	36000 lbf/in ²
<i>Arc Length (L)</i>	1.724658
<i>Tinggi Fluida</i>	3496.33 mm
<i>SG Fluid</i>	0.87
<i>Proteksi Korosi</i>	Painting

Informasi data teknik diatas sesuai dengan data yang disajikan dan dilakukan penelitian sesuai dengan desain awal yang ada pada perusahaan X yang dikaji untuk dilakukan penelitian pada ketebalan yang diambil dari metode inspeksi sebagai berikut :

1. *UT Thickness Measurement*

Pengukuran ketebalan UT meliputi bagian dinding, atap, dan bottom. Jumlah dan lokasi pengambilan titik pengukuran ketebalan harus memperhatikan:

- a. Memenuhi persyaratan dalam pemeriksaan internal
- b. Mempertimbangkan hasil dari pemeriksaan sebelumnya (jika tersedia) dan potensi konsekuensi akibat kebocoran
- c. Tangki penimbun dengan laju korosi rendah akan memerlukan lokasi pengukuran ketebalan lebih sedikit dibandingkan dengan tangki penimbun dengan laju korosi tinggi

2. *Inspeksi Visual*

Inspeksi *visual* akan dilakukan atau diawasi oleh inspektur yang berwenang, untuk menilai semua aspek pada peralatan tangki penimbun.

Perhitungan, Penilaian dan Pengujian Data Inspeksi

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan API 653 sebagai landasan dalam pengujian data inspeksi pada bejana tekan ini.

Perhitungan Ketebalan Shell

Penentuan ketebalan *shell* menjadi aspek krusial dalam proses desain dan evaluasi ulang struktur tangki, karena ketebalan yang tidak mencukupi dapat menyebabkan deformasi, retakan, atau bahkan kegagalan struktural. Sebaliknya, ketebalan yang berlebihan dapat mengakibatkan pemborosan material dan biaya. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan yang tepat dan sesuai dengan standar desain yang berlaku.Sesuai dengan API 653 untuk perhitungan ketebalan *shell* yaitu:

$$t_{min} = 2.6 (H \times D_x G)$$

Tabel 2. *Minimum Allowable Thickness of Shell Plate*

Komponen	Course Height (ft)	Calc. Height (ft)	Allowable product Stress (psi)	Joint Efficiency	Req Thickness (mm)	Actual Thickness (mm)	Remark
Course 1	5.05	11.47	19578.93288	0.70	0.60	7.80	<i>Accept</i>
Course 2	5.05	6.42	19578.93288	0.70	0.31	7.72	<i>Accept</i>
Course 3	5.05	1.37	18415.1508	0.70	0.02	5.87	<i>Accept</i>
Course 4	5.05	-3.69	18757.44048	0.70	-0.28	5.82	<i>Accept</i>
Course 5	5.13	-8.82	17319.8228	0.70	-0.64	4.62	<i>Accept</i>

Perhitungan Untuk Kalkulasi Settlement

Dalam dokumen ini, dilakukan kalkulasi *settlement* sebagai bagian dari penilaian kondisi eksisting tangki penimbun. Perhitungan dilakukan berdasarkan data teknis geoteknik, dimensi tangki, karakteristik tanah di lokasi, serta beban operasional yang bekerja pada struktur. Metode perhitungan mengacu pada prinsip-prinsip mekanika tanah dan standar praktik teknik sipil yang relevan, serta mempertimbangkan acuan dari standar seperti API 653 dan API 650 dalam menilai batas toleransi penurunan. Hasil perhitungan *settlement* ini bertujuan untuk memberikan gambaran terhadap tingkat kestabilan tangki dan menentukan apakah penurunan yang terjadi masih dalam batas aman atau memerlukan tindakan rekayasa lanjutan. Ditujukan agar *settlement* yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan pada tangki misal deformasi, retak dan kebocoran dan penurunan diferensial (tidak merata) berada dalam batas aman.

$$S_{max} = \frac{L^2 \times Y \times 11}{2[(ExH)]}$$

$$S_{max} = \frac{29.97445 \times 36000 \times 11}{2[(29500000 \times 25.3415)]}$$

$$S_{max} = 0.000787801 \text{ ft}$$

Note :

- Settlement limit (*Smax*) is 0.02 cm

1. Perhitungan pada ketebalan atap yaitu pelat atap terkorosi dengan tebal rata-rata kurang dari 0.09 inch (2.29 mm) dalam area 100 in² atau pelat atap yang terdapat banyak lubang harus diperbaiki atau diganti
2. Untuk minimum ketebalan atap sesuai dengan API 653 adalah 2.29 mm (*t_{req}*=2.29 mm) sedangkan aktual ketebalan(*t_{act}*) = 3.72 mm (*acceptable*).

Perhitungan pada ketebalan dinding *shell* pada tangki penimbun mengikuti API 653 yaitu :

$$t_{min} = \frac{2.6 (H - 1)DG}{SE}$$

Table 3. Perhitungan Ketebalan Tangka Penimbun

No	Course	Tinggi course (mm)	T _{actual} (mm)	T _{required} (mm)	Remarks
1	Course 1	1540	7.80	2.54	Memuaskan
2	Course 2	1540	7.72	2.54	Memuaskan
3	Course 3	1540	5.87	2.54	Memuaskan
4	Course 4	1540	5.82	2.54	Memuaskan
5	Course 5	1564.1	4.62	2.54	Memuaskan

Hasil dari pengukuran pada tangki penimbun 01 100 KL memiliki tebal aktual yang masih memenuhi ketebalan minimum sesuai dengan API 653.

Kalkulasi Ketebalan Bottom Plate

Untuk menghitung ketebalan minimum yang dapat diterima untuk seluruh bagian bottom, menggunakan perhitungan sesuai dengan API 653 yaitu:

$$MRT = (Minimum \text{ of } RT_{bc} \text{ or } RT_{ip}) - O_r (Stp_r + UP_r)$$

$$MRT = 7.41 \text{ mm} - 4(0.300 + 0.3)$$

$$= 5.01 \text{ mm}$$

Tabel 4. Required Thickness Bottom

No	Komponen	T _{actual} (mm)	T _(required)	Remarks
1	Bottom	7.41	5.01	Memuaskan

Kalkulasi Laju Korosi

Korosi merupakan salah satu mekanisme degradasi material yang paling umum terjadi pada peralatan industri, khususnya pada sistem yang beroperasi dalam lingkungan yang mengandung air, uap, bahan kimia, atau produk minyak dan gas. Dalam jangka panjang, korosi dapat menyebabkan penurunan ketebalan dinding (thinning), kebocoran, hingga kegagalan struktur jika tidak dikendalikan dengan baik.

Untuk menghitung laju korosi yang didapatkan dari inspeksi sesuai dengan rumus yaitu:

$$\text{Corrosion rate short term} = \frac{t_{previous} + t_{actual}}{\text{years between tactual and tprevious}}$$

$$\text{Corrosion rate short term} = \frac{t_{nominal} + t_{actual}}{\text{years between tactual and tnominal}}$$

Tabel 5. Kalkulasi Laju Korosi

Komponen	Nominal Thickness	Prev Thickness	Actual Thickness	Required Thickness	Year			Corrosion Rate	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	Nom Insp	Last Insp	Act Insp	LT	ST
								mm/years	
Roof	4	N/A	3.72	2.29	2018	N/A	2024	0.047	Tidak dikalkulasi
Course 1	8	N/A	7.80	2.54	2018	N/A	2024	0.033	Tidak dikalkulasi
Course 2	8	N/A	7.72	2.54	2018	N/A	2024	0.047	Tidak dikalkulasi
Course 3	6	N/A	5.87	2.54	2018	N/A	2024	0.022	Tidak dikalkulasi
Course 4	6	N/A	5.82	2.54	2018	N/A	2024	0.030	Tidak dikalkulasi
Course 5	6	N/A	4.62	2.54	2018	N/A	2024	0.230	Tidak dikalkulasi
Bottom	N/A	N/A	7.41	5.01	2018	N/A	2024	Tidak dikalkulasi	Tidak dikalkulasi

Kalkulasi Penilaian Sisa Umur

Penilaian sisa umur (remaining life assessment) merupakan proses evaluasi teknis yang bertujuan untuk memperkirakan berapa lama suatu peralatan industri masih dapat beroperasi secara aman dan andal sebelum mencapai batas kegagalan atau tidak lagi memenuhi spesifikasi desain. Penilaian ini sangat penting dalam program manajemen integritas aset, terutama untuk peralatan statis seperti tangki penimbun, perpipaan, dan bejana tekan yang telah beroperasi dalam jangka waktu lama. Perhitungan sisa umur ini tidak hanya memberikan informasi teknis mengenai kondisi peralatan saat ini, tetapi juga berfungsi sebagai dasar dalam penentuan prioritas pemeliharaan, jadwal inspeksi berikutnya, serta keputusan untuk perbaikan atau penggantian komponen. Dengan melakukan kalkulasi sisa umur secara sistematis dan berbasis data, diharapkan risiko kegagalan dapat diminimalkan dan keandalan operasi dapat dijaga secara optimal.

Tujuan penilaian sisa umur adalah untuk menghitung sisa umur setiap komponen agar dapat melanjutkan operasi dalam kondisi operasi normal dan akan menggunakan suhu operasi dan tekanan operasi [14].

$$\text{Residual life (Year)} = \frac{t_a - t_{req}}{CR}$$

Tabel 6 *Residual Life Assesment*

Komponen	Nominal Thickness (mm)	Actual Thickness (mm)	Required Thickness (mm)	Corrosion Rate (mm/years)	Residual Life (Year)
Roof	4	3.72	2.29	0.05	30.64
Course 1	8	7.80	2.54	0.03	157.80
Course 2	8	7.72	2.54	0.05	111.00
Course 3	6	5.87	2.54	0.02	153.69
Course 4	6	5.82	2.54	0.03	109.33
Course 5	6	4.62	2.54	0.23	9.04
Bottom	N/A	7.41	5.01	0.23	10.43

*Assesment storage tank dilakukan dengan pendekatan risiko terbesar

- *Minimum thickness actual* = 5.82 mm
- *Min Thickness required* = 2.54 mm
- *Max Corrosion Rate* = 0.23 mm/year
- *Remaining life* = 9.04 year

Kerusakan Mekanisme

Seiring waktu, tangki penimbun mengalami berbagai bentuk degradasi material akibat pengaruh lingkungan eksternal maupun internal. Salah satu mekanisme kerusakan yang paling umum terjadi adalah penipisan (*thinning*) pada dinding tangki, baik pada bagian *shell* maupun *bottom plate*. *Thinning* dapat disebabkan oleh proses korosi internal, akibat interaksi antara fluida yang disimpan dengan permukaan logam, maupun korosi eksternal akibat paparan kelembaban, air hujan, atau tergenangnya air di sekitar fondasi. Beberapa kemungkinan jenis mekanisme kerusakan yang diduga terjadi pada tangki penimbun sesuai dengan *table screening* ASME PCC-3 adalah [17].

Table 7. Tabel Mekanisme Kerusakan [18].

<i>Damage Mechanism</i>	<i>Modes</i>	<i>Component</i>
<i>Atmospheric Corrosion</i>	<i>Metal loss</i>	<i>Roof, Shell, Bottom</i>
<i>General Thinning</i>	<i>Metal loss</i>	<i>Shell</i>

Berdasarkan peninjauan dari metoda inspeksi dan monitoring serta hasil pemeriksaan yang dilakukan, perencanaan dan metoda inspeksi yang diajukan pada tangki penimbun sebagai berikut :

Table 8. Tabel dan Ruang lingkup inspeksi

Damage Mechanism	Metode inspeksi	Coverage	Area
<i>Atmospheric Corrosion</i>	Visual inspeksi	<i>Visual inspection of >95% of the exposed surface area with follow-up by UT, RT or pit gauge as required</i>	<i>Roof, Shell,</i>
<i>General Thinning</i>	<i>Visual & UT OR scanning</i>	<i>For the total surface area: >50% Visual examination and > 50% of the spot ultrasonic thickness measurement or 10% UT Scanning</i>	<i>Shell</i>

Rencana Inspeksi

Dalam upaya menjaga keandalan dan keselamatan operasional peralatan industri, kegiatan inspeksi merupakan langkah penting yang bertujuan untuk mendeteksi secara dini adanya kerusakan, degradasi material, atau potensi kegagalan [18]. Inspeksi yang terencana dan terstruktur menjadi bagian integral dari sistem manajemen integritas aset, terutama untuk peralatan yang beroperasi dalam kondisi kritis seperti tangki penimbun, perpipaan, dan bejana tekan.

Penelitian ini disusun untuk mengevaluasi kondisi peralatan melalui kegiatan inspeksi yang dilaksanakan sesuai standar teknis dan praktik terbaik di industri, seperti yang tercantum dalam API 653 atau standar inspeksi lainnya. Rencana dan metode inspeksi yang diterapkan bertujuan untuk mengumpulkan data kondisi aktual peralatan sebagai dasar analisis teknis, termasuk evaluasi laju korosi, pengukuran ketebalan, dan penilaian kelayakan operasi.

Metodologi inspeksi disusun berdasarkan pendekatan sistematis yang mencakup tahapan persiapan, pelaksanaan di lapangan, pengolahan data, dan analisis hasil. Pemilihan metode inspeksi didasarkan pada jenis peralatan, tingkat risiko, serta keterbatasan akses maupun kondisi operasi. Dengan pendekatan ini, diharapkan hasil inspeksi dapat memberikan gambaran menyeluruh terhadap kondisi peralatan serta mendukung pengambilan keputusan teknis secara objektif dan akurat.

Interval waktu inspeksi dalam penelitian ini menghasilkan periode dan metode sebagai berikut :

Table 9. Interval Inspeksi

Inspeksi	Interval inspeksi
1. Inspeksi di luar tangki	
<i>Routine inspection</i>	<i>In-Service</i> 1 bulan
<i>External Inspection</i>	3.57 Tahun
<i>Ultrasonic thickness inspection</i>	5 tahun
2. Inspeksi internal	
<i>Floor Plate</i>	10 Tahun

Dilakukan interval inspeksi untuk mencegah kebocoran tangki, yang di mana frekuensi pemeriksaan yang tertera di tabel 9 hanya untuk panduan sesuai dengan API 653, jika hasil Frekuensi pemeriksaan yang ditunjukkan di atas hanya untuk panduan, jika hasil pemeriksaan menunjukkan adanya pengikisan tebal plat yang lebih cepat akibat korosi atau settlement, tangki sejenis atau lainnya perlu diperiksa lebih lanjut. Di sisi lain, jika hasil inspeksi menguntungkan, perpanjangan interval inspeksi dapat dipertimbangkan. Interval inspeksi tidak boleh melebihi 20 tahun untuk tangki tanpa pencegah kebocoran.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari penelitian mengenai sisa umur yang masih layak beroperasi, diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Ditemukan adanya deformasi pada course 4 ke course 5 pada tangki penimbun dan ditemukan kerusakan komponen annular pada tangki penimbun. Terdapat kebocoran pada komponen roof to shell tangki penimbun. Dari hasil perhitungan tinggi fluida maksimum adalah 3496.33 mm dengan kapasitas 48.07 KL. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, hasil pengukuran *thickness actual minimum* 5.82 mm dengan hasil perhitungan *thickness required* sebesar 2.54 mm dengan sisa umur layan Tangki 01 100 KL adalah 9.04 tahun. Nilai *corrosion rate maximum* adalah 0.23 mm/tahun pada Course 5 berdasarkan perhitungan *long term*. *Potensial damage mechanism* yang terjadi pada Tangki 01 100 KL adalah *Atmospheric Corrosion* dan *General Thinning* berdasarkan pada *Damage Mechanism* [17]. mengacu pada ASME PCC-3-2017, Tabel C1. Dari hasil evaluasi batas interval inspeksi adalah 5 tahun (60 bulan) untuk metode Ultrasonic thickness inspection mengacu API 653 section 6.3.3.2 dan 3.57 tahun (42.84 bulan) untuk metode external inspection mengacu pada API 653 section 6.3.2. Dari hasil inspeksi visual yang dilakukan, tidak terdapat *system grounding* pada tangki penimbun. Melakukan perawatan dan inspeksi rutin sesuai dengan interval inspeksi dengan menggunakan UT inspeksi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhlbauer, WK. Pipeline Risk Management Manual, 3rd Edition.elsevier inc, 2004.
- [2] Peraturan Menteri ESDM No. 26 Tahun 2018 Tentang “Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik dan Pengawasan Pertambangan Mineral dan Batubara
- [3] Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827K/30/MEM/2018 Tentang “Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik”.
- [4] Cullum, J., Binns, J., Lonsdale, M., Abbassi, R., Garaniya, V., Risk-based maintenance scheduling with application to naval vessels and ships. Ocean Eng. 148, 476–485,2018
- [5] Ferreira, N N, Martins, M R, de Figueiredo, M A G & Gagno, V, ‘Guidelines for life extension process management in oil and gas facilities’, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 68, p.104290, 2020.
- [6] A. Sattari, F., Lefsrud, L., Kurian, D. and Macciotta, R., A theoretical framework for data-driven artificial intelligence decision making for enhancing the asset integrity management system in the oil & gas sector. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 74, p.104648, 2022
- [7] Rahim, Y., Refsdal, I. and Kenett, R.S., The 5C model: A new approach to asset integrity management. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 87(2-3), pp.88-93,2010.
- [8] Haryadi, G.D., Suprihanto, A., Sephanya, A. and Haryanto, I., PENILAIAN RISIKO DAN PENENTUAN SISA UMUR TERHADAP PIPA GAS TEE 24" DI PT. X DENGAN MENGGUNAKAN METODE RISK BASED INSPECTION. ROTOR, 12(1), pp.1-4, 2019
- [9] Putra, I.F., Soedarsono, J.W., Mahendra, M., Haidir, Y., Purnawarman, F.D., Sukirna, I. and Hernowo, W., STRUCTURAL RISK-BASED UNDERWATER INSPECTION (RBUI) AS A COST REDUCTION OF FIELD’s END OF PRODUCTION LIFE. Journal of Materials Exploration and Findings (JMEF), 1(2), p,2022.
- [10] P.Sekar Putri, Kurniawan A.I., Ferdian D.,Estimating Remaining Life and Fitness-For-Services Evaluation of Fuel Piping Systems.Journal of Materials Exploration and Findings (JMEF),2023
- [11] Odeyar, P, Apel, D B, Hall, R, Zon, B & Skrzypkowski, K, 'A Review of Reliability and Fault Analysis Methods for Heavy Equipment and Their Components Used in Mining', Energies, 15(17), pp.6263, 2022.
- [12] P. Mahardhika and A. Ratnasari, “Perancangan Tangki Stainless Steel untuk Penyimpanan Minyak Kelapa Murni Kapasitas 75.000 m³”, JTERA Jurnal Teknologi Rekayasa, vol. 3, No. 1, Juni 2018.
- [13] API Std 650 12th, Edition, Welded Tank for Oil Storage, 2020.
- [14] Ramirez-Ledesma, A.L. and Juarez-Islas, J.A., 2022. Modification of the remaining useful life equation for pipes and plate processing of offshore oil platforms. Process Safety and Environmental Protection, 157, pp.429-442.
- [15] American Petroleum Institute (API) Standard 653, Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction, 2020.
- [16] Ikhsan Kholis, Penilaian Perpanjangan Umur Sisa Layan (Residual Life Assessment) Peralatan Di Industri Minyak Dan Gas Bumi (Studi Kasus Peralatan Bejana Tekan Filter/Water Separator PT. XYZ), Jurnal nasional pengelolaan energi, vol 2 hal 3, 2023
- [17] ASME PCC-3, Inspection Planning Using Risk-Based Methods,2017.
- [18] API 579-1/ASME FFS-1: Fitness-for-service, 3rd edn, American Petroleum Institute, Washington, D.C.,2021.

NOMENKLATUR

H	tinggi maksimum fluida
D	Nominal diameter tangki penimbun
G	<i>Spesific Gravity</i>
S	Maksimum <i>allowable stress</i>
E	<i>Joint Efficiency</i>
$t_{initial}$	Ketebalan pada saat fabrikasi (mm)
$t_{previous}$	Ketebalan minimum yang didapatkan pada inspeksi sebelumnya (mm)
t_{actual}	Ketebalan minimum yang didapatkan pada inspeksi yang dilakukan (mm)
ST	Laju korosi maksimum yang dihitung menggunakan ketebalan hasil pengukuran inspeksi sebelumnya (<i>Short Term</i>)
LT	Laju korosi maksimum yang dihitung menggunakan ketebalan awal / ketebalan fabrikasi (<i>Long Term</i>)
t_a :	<i>Actual thickness (the minimum thickness over all inspections)</i>
t_{req} :	<i>Required thickness</i>
CR:	<i>Corrosion rate</i>
S_{max}	<i>permissible out of plane settlement, in feet</i>
L	<i>arc length between measurement points, in feet</i>

Y yield strength of the shell material, in lbf/in²
E young's modulus, in lbf/in²
H tank height, in feet