

ANALISIS KESELAMATAN DAN KELAYAKAN PENGGUNAAN *CNG BUFFER STORAGE TANK* BERBASIS METODE *RESIDUAL LIFE ASSESSMENT*

Amam Fachrur Rozie^{1*}, Nofirman Firdaus¹, D.N. Adnyana¹

¹Fakultas Teknik dan Sains, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Indonesia, 12640

ABSTRAK

Keselamatan operasi minyak dan gas bumi merupakan aspek yang sangat penting dalam proses produksi, eksploitasi dan eksplorasi, sehingga sangat perlu untuk memastikan bahwa semua elemen yang dipergunakan dapat dijamin kelayakan dan penggunaannya. *CNG Buffer Storage Tank* merupakan *pressure vessel* yang dipergunakan untuk menyimpan fluida gas di instalasi pengolahan gas alam. *CNG Buffer Storage Tank* tersebut tidak memiliki data teknis yang cukup untuk menjamin keselamatan dan keamanan operasi, sehingga dalam penelitian ini akan dilakukan kajian teknis yang komprehensif untuk memastikan kondisi aman dari *CNG Buffer Storage Tank*. Metode yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah metode *Residual Life Assessment (RLA)* yang merujuk pada *standar & code* dari proses fabrikasi dan aspek inspeksi yang telah dilakukan pada *CNG Buffer Storage Tank*. Dari hasil analisis yang telah dilakukan menghasilkan tingkat risiko dari penggunaan *CNG Buffer Storage Tank* masuk dalam kategori *medium-high risk* karena terjadi *general uniform corrosion* dan *under deposit corrosion* dengan kondisi yang wajib dilakukan *de-rating* dari tekanan desain awal menjadi 140 kg/cm² dan estimasi sisa umur layanan sebesar 11 tahun sehingga *CNG Buffer Storage Tank* dapat beroperasi dengan batasan yang telah ditentukan.

Kata kunci : *CNG Buffer Storage Tank*; Keselamatan; *Residual Life Assessment*.

ABSTRACT

The safety of oil and gas operations is a very important aspect in the production, exploitation and exploration process, so it is very necessary to ensure that all elements used can be guaranteed for their feasibility and use. CNG Buffer Storage Tank is a pressure vessel used to store gas fluid in natural gas processing plants. The CNG Buffer Storage Tank does not have sufficient technical data to ensure the safety and security of operations, so in this research a comprehensive technical study will be conducted to ensure the safe condition of the CNG Buffer Storage Tank. The method used in this research is the Residual Life Assessment (RLA) method which refers to the standards & codes of the fabrication process and inspection aspects that have been carried out on the CNG Buffer Storage Tank. From the results of the analysis that has been carried out, the level of risk from the use of CNG Buffer Storage Tanks is included in the medium-high risk category due to general uniform corrosion and under deposit corrosion with conditions that must be de-rated from the initial design pressure to 140 kg/cm² and estimation the remaining service life of 11 years so that the CNG Buffer Storage Tank can operate within the specified limits.

Keywords : *CNG Buffer Storage Tank*; Safety; *Residual Life Assessment*.

1. PENDAHULUAN

Keselamatan kerja dalam dunia industri minyak dan gas bumi merupakan aspek yang penting dan tidak dapat diabaikan karena berkaitan dengan keselamatan asset, keselamatan manusia (operator), keselamatan lingkungan serta dampak negatif lainnya yang akan sangat merugikan. Sehingga sangat perlu

melakukan *survey, maintenance* berkala dan inspeksi untuk tetap dapat memastikan bahwa tingkat kegagalan operasi pada *unit equipment* masih jauh dari tingkat yang mengkhawatirkan (Rozie, 2020). Sebagai contoh dampak kerugian yang terjadi akibat terjadinya kegagalan unit adalah kebakaran yang terjadi pada *Storage Tank* di Instalasi *Refinery Cilacap* ataupun *Balongan* yang kerugian ditaksir

* Penulis korespondensi

Email: amamfachrur@gmail.com

Diterima 23 Desember 2021; Penerimaan hasil revisi 13 Februari 2022; Disetujui 19 Februari 2022

Tersedia online Maret 2022

AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin © 2022

dapat mencapai Rp. 370 miliar lebih, walaupun pihak investigasi memberitahukan bahwa kebakaran terjadi akibat sambaran petir (fenomena alam) yang menjadi pemicunya (Rozie et al., n.d.). Tetapi hal tersebut tidak menutup kemungkinan terjadi kegagalan pada peralatan.

Dengan mengacu pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2018 tentang Pemeriksaan Keselamatan Instalasi dan Peralatan pada Kegiatan Usaha Minyak dan Gas Bumi, untuk semua peralatan yang telah melewati umur layan desain operasi nya atau terindikasi mengalami gejala penuaan (*ageing*) yang berpotensi mengganggu integritas peralatan tersebut, maka wajib dilakukan kajian teknis yang disebut *Residual Life Assessment (RLA)* (Rozie Fachrur, 2021). Jika peralatan yang akan dilakukan *Residual Life Assessment (RLA)* tidak memiliki data konstruksi, *maintenance report*, *inspection report* atau histori laporan lain yang dapat dipergunakan dalam acuan penelitan maka wajib dilakukan *Reverse Engineering* pada peralatan tersebut (Adnyana, 2021). Analisa ulang dilakukan sesuai dengan kondisi aktual peralatan dilapangan yang meliputi data-data dan asumsi yang digunakan dari hasil inspeksi pada saat ini (Adnyana, 2019a).

CNG Buffer Storage Tank merupakan unit *equipment* bertipe bejana tekan (*pressure vessel*) yang dipergunakan untuk proses *loading-unloading* fluida CNG yang setelahnya akan didistribusikan ke konsumen (Nana et al., 2014). Dalam penelitian ini *CNG Buffer Storage Tank* tidak memiliki identitas ataupun histori terkait proses fabrikasi atau inspeksi sehingga perlu dilakukan suatu kajian yang komprehensif untuk mendapatkan informasi terkait kelayakan dan keamanan dari penggunaan *CNG Buffer Storage Tank*.

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah untuk mengkaji bahwa *Pressure Vessel* yang dipergunakan sebagai *CNG Buffer Storage Tank* masih layak dan aman untuk dioperasikan sehingga diperlukan suatu kajian untuk memastikan hal tersebut (Rozie et al., n.d.). Metode yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah metode *Residual Life Assessment (RLA)* dengan melakukan pengkajian ulang pada peralatan yang usianya telah melebihi usia operasi atau integritas nya diragukan.

Selain melakukan kajian teknis yang mendalam dan komprehensif, dilakukan juga inspeksi teknis yang bertujuan untuk mendapatkan data-data aktual sebagai penunjang proses Analisa, serta akan dipergunakan aspek Analisa risiko menggunakan metode *Risk Based Inspection (RBI)* yang mengacu API RBI 581 dan metode *Fitness for Services (FFS)*

yang mengacu kepada API 579-1 dan ASME FFS-1 sehingga hasil dari penelitian ini dapat memastikan tingkat kelayakan dan keamanan atas penggunaan *CNG Buffer Storage Tank* (Adnyana, 2019b).

2. METODE PENELITIAN

Residual Life Assessment (RLA) pada *CNG Buffer Storage Tank* ini merupakan evaluasi integritas peralatan dan perhitungan sisa umur dengan mengolah dan menganalisa data konstruksi serta hasil inspeksi terakhir dilapangan (Shekari et al., 2017). Tujuan dilakukannya inspeksi dan survey adalah untuk mendapatkan data spesifikasi dan informasi teknis mengenai *CNG Buffer Storage Tank* yang akan dipergunakan, data pengamatan visual serta data pengukuran ketebalan aktual (*actual thickness measurement*).

Metodologi dalam melakukan penelitian berbasis RLA ini terbagi menjadi tiga metode yaitu: Evaluasi kekuatan dari bejana tekan yang mengacu pada API 510 & API 579-1/ASME FFS-1, evaluasi *damage mechanism* yang mengacu pada ASME PCC-3 dan evaluasi *Risk Based Inspection (RBI)* yang mengacu pada API RP 581.

2.1 Evaluasi Berdasarkan API 510 & API 579-1 / ASME FFS-1

Dalam tahapan ini metode *assessment* yang dilakukan bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan bejana tekan dari hasil inspeksi yang telah dilakukan meliputi

- a) Evaluasi sisa umur berdasarkan ketebalan, umur *fatigue* dan hal lainnya yang dapat digunakan sebagai basis perhitungan.
- b) Evaluasi penentuan *Maximum Allowable Working Pressure (MAWP)* yang dilakukan berdasarkan ketebalan hasil inspeksi dan pemeriksaan.
- c) Evaluasi cacat dan/atau temuan hasil pemeriksaan teknis.
- d) Rekomendasi terhadap hasil pemeriksaan teknis.

Diharapkan dalam penelitian ini aspek kekuatan dari bejana tekan dapat diketahui dan selanjutnya menentukan aspek operasi yang tepat. Menganalisa mekanisme kerusakan yang mungkin terjadi pada peralatan juga merupakan variabel yang perlu diperhitungkan. Variabel yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu *Material, Operating Temperature, Fluid*

Specification, Type of Flow, Jenis Beban, Historis Maintenance dan data penunjang lainnya dalam proses Analisa (Ameh, 2017).

2.2 Evaluasi Berdasarkan ASME PCC-3

Dalam tahapan selanjutnya adalah *assessment* yang bertujuan untuk menganalisis dan mendapatkan informasi terkait *damage mechanism* yang terjadi serta tahapan evaluasi dan *monitoring inspection* dari bejana tekan (Div, n.d.). Hal tersebut sangat perlu dilakukan mengingat mekanisme kerusakan dapat menyebabkan kegagalan operasi dan membahayakan aspek keselamatan berbagai macam pihak (Ali & Sabry, 2019). Mekanisme kerusakan (*Damage Mechanism*) dapat menyebabkan kerusakan / cacat yang dapat mempengaruhi integritas peralatan seperti: korosi, retak, erosi, penyok dan dampak mekanik lainnya (Modeling et al., 2019). Seleksi *damage mechanism* yang dilakukan pada umumnya mengacu pada literatur API RP 571, API RP581, API 579 dan BS 7910 dengan menggunakan tabel yang tersedia pada ASME PCC-3 (Rozie et al., n.d.).

2.3 Evaluasi Berdasarkan API RP 581

Dalam penelitian ini juga dilakukan analisa risiko yang mengacu pada API RP 581 *Risk Based Insepection Technology* yang menggunakan aspek risiko sebagai dasar untuk melakukan sebuah inspeksi, metode inspeksi yang dilakukan dan interval inspeksi berdasarkan hasil pengkategorian tingkat risikonya peralatan operasional (Tien et al., 2007). Adapun tujuan dari *Risk Based Inspection* adalah:

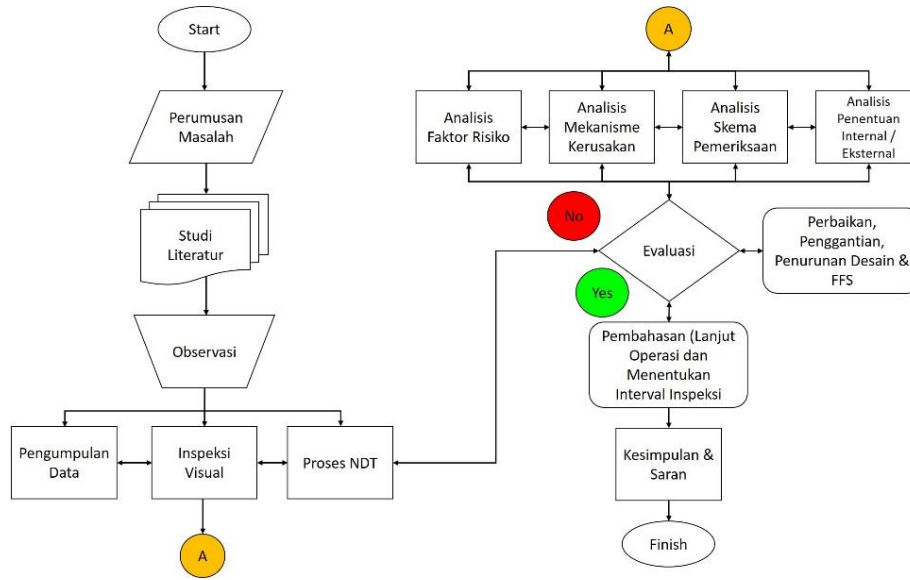
- a) Melindungi peralatan dengan mengidentifikasi area yang memiliki tingkat risiko tinggi.

- b) Memperkirakan nilai risiko pada setiap peralatan.
- c) Adanya skala prioritas berdasarkan nilai risiko yang terukur.
- d) Merancang rencana & interval inspeksi yang cocok dilakukan
- e) Secara sistematis mengatur risiko tentang kegagalan alat.

2.4 Evaluasi Tambahan

Untuk dapat memenuhi ketiga metode diatas diperlukan penelaahan data yang dipergunakan untuk menganalisis adanya indikator penuaan atau faktor risiko. Data yang dimaksud antara lain data manufaktur (gambar konstruksi, tekanan desain, temperature, umur desain (Noval & Nofirman, 2021). Spesifikasi material dsb), data servis (kandungan fluida, catatan shutdown dsb), Historis *maintenance* (hasil inspeksi sebelumnya, *NDT report* dsb) dan hasil *Fitness for Services (FFS)* jika tersedia. Ketika semua data yang dimaksud diatas tidak tersedia maka dipergunakanlah metode *Residual Life Assessment (RLA)* yang mana tahapan tersebut terdiri dari menentukan parameter desain, membuat gambar konstruksi, menetapkan spesifikasi, menetapkan aspek-aspek fabrikasi yang essensial seperti nilai sambungan pengelasan, tipe NDT yang dipergunakan kemudian melakukan kalkulasi berdasarkan kode dan standar yang diacu dan tahapan terakhir membuat *name plate* atau *hardstamp* berdasarkan parameter yang sudah ditetapkan (Firdaus et al., 2016).

Secara sederhana alir proses penelitian dapat dilihat dari gambar 1



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan tahapan penelaahan dokumen teknis dan melakukan inspeksi terhadap *CNG Buffer Storage Tank* termasuk melakukan proses *NDT Measurement & Visual Inspection* maka didapat data yang diperoleh untuk melakukan analisa *Residual Life Assessment* sesuai dengan yang ditunjukkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Deskripsi *CNG Buffer Storage Tank*

Deskripsi	Keterangan
Tipe	Vertical
Actual thickness (mm)	6,20 (shell) 6,10 (head)
Previous thickness (mm)	6,70 (shell) 6,70 (head)
Nominal inside diameter (mm)	254,00
Length (mm)	998,22
Material Top head	AISI 4130 (A29M)
Material Shell	AISI 4130 (A29M)
Material Bottom head	AISI 4130 (A29M)
Year built	2011
Corrosion Allowance (mm)	0,00
Joint efficiency	1,00
Radiography	N/A
Design pressure (kg/cm ²)	203,89
Design temperature (°C)	15,00
Allow. Stress shell (kg/cm ²)	3339,57
Allow. Stress Head (kg/cm ²)	3339,57

3.1 Analisa Mekanisme Kerusakan

Proses untuk menganalisa jenis kerusakan yang terjadi pada *CNG Buffer Storage Tank* mengacu pada *screening table* yang terdapat ASME PCC-3 dan API RP 571. Hal tersebut berdasarkan pada deskripsi proses, penyebab serta lokasi mekanisme kerusakan yang akan diperkirakan akan muncul (Viswanathan, n.d.). Ada beberapa parameter yang mempengaruhi jenis kerusakan, antara lain material, temperatur operasi, fluida, lingkungan, laju aliran, beban dll. Dari *screening table* yang dipergunakan maka mekanisme kerusakan yang mungkin terjadi ditampilkan dalam tabel 2. Berdasarkan *screening table* yang telah dilakukan dengan mengacu pada ASME PCC-3 dan API RP 571 maka disimpulkan bahwa jenis kerusakan yang terjadi pada *CNG Buffer Storage Tank* adalah tipe *Uniform Corrosion* dan *Under Deposit Corrosion* (Larrainzar et al., 2010).



Gambar 2. *CNG Buffer Storage Tank*

Berikut ini hasil dari analisa mekanisme kerusakan berupa *Uniform Corrosion & Under Deposit Corrosion* yang didapat dari hasil visual inspeksi pada *CNG buffer Storage Tank*.



Gambar 3. *Under deposit corrosion* pada permukaan *CNG Buffer Storage Tank*



Gambar 4. *Uniform corrosion* pada permukaan *CNG Buffer Storage Tank*



Gambar 5. *Uniform corrosion* pada permukaan *CNG Buffer Storage Tank*

Setelah diketahui jenis kerusakan yang terjadi adalah *Uniform Corrosion* dan *Under Deposit Corrosion* maka selanjutnya adalah menentukan *Inspection & Monitoring Methods* untuk *CNG Buffer Storage Tank*. Berdasarkan ASME PCC-3, API RP RBI 581 dan API RP 579 diketahui bahwa metode inspeksi serta rekomendasi yang tepat adalah dilakukan inspeksi pada setiap *spot pressure part* seperti *head, shell* dan *nozzle* dengan mempergunakan berbagai macam metode yang disesuaikan pada setiap bagian *surface & subsurface*. Pada bagian *surface* untuk jenis kerusakan *Uniform Corrosion* cukup dilakukan visual inspeksi dengan *borescope* untuk mengetahui kebocoran yang terjadi, perubahan bentuk, keadaan lapisan cat, korosifitas, *isolating systems* dan *name plate* serta lebih dari 60% area permukaan dapat diakses untuk dilakukan inspeksi untuk bagian *subsurface Non Destructive Test* berupa *Ultrasonic Thickness, Straight Beam, Shear Wave & Shear Wave advance level* dan *dimensional measurement* sehingga dapat mendapatkan kondisi terkini dan aktual dari hasil inspeksi. Selanjutnya untuk jenis mekanisme kerusakan *Under Deposit Corrosion* dilakukan inspeksi dan monitoring pada *subsurface* dengan *Ultrasonic Measurement & Straight Beam Examination* serta visual inspeksi yang wajib mencakup lebih dari 30% area *surface* yang terekspos dan dapat dijangkau serta metode tambahan yang dilakukan adalah *sampling check* pada *boat/plug* yang terpasang dengan melakukan pengujian NDT yang lain seperti *Magnetic Particle Testing, Dye Penetrant Testing* atau *Radiography testing* untuk lebih sederhana metode inspeksi dan monitoring yang direkomendasikan ditampilkan dalam tabel 3 (Kim et al., 2019).

3.2 Analisa *Fitness for Services (FFS)*

Pada tahapan ini metode analisa mengacu pada standard code API RP 579-1 atau ASME FFS-1 serta dilakukan juga proses validasi dengan proses rekalkulasi dengan bantuan software *IntegriWISE Assessment* untuk mempermudah proses perhitungan. *Storage Tank*. Perhitungan ketebalan yang dipersyaratkan juga mengacu pada tabel 4.4 yang terdapat pada API RP 579 dan telah dilakukan sebelumnya proses kalkulasi secara tertulis (Gond et al., 2014) dapat dilihat dari kalkulasi dibawah ini:

$$t_{mm} - FCA = 5,67 \text{ mm}$$

$$t_{min} = \max[t_{min}^C, t_{min}^L] = 5,49 \text{ mm}$$

$$t_{lim} = \max[0,2 t_{nom}, 2,5 \text{ mm (0,10 in)}] = 2,50 \text{ mm}$$

$$(t_{mm} - FCA_{ml} \geq \max[0,5t_{min}, t_{lim}])$$

$$5,67 \text{ mm} \geq 2,50 \text{ mm}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai ketebalan aktual untuk *shell* masih dalam batas yang dapat diterima. Selanjutnya kalkulasi yang serupa untuk bagian *top head* dan *bottom head*.

$$t_{mm} - FCA = 5,67 \text{ mm}$$

$$t_{min} = \max[t_{min}^C, t_{min}^L] = 5,37 \text{ mm}$$

$$t_{lim} = \max[0,2 t_{nom}, 2,5 \text{ mm (0,10 in)}] = 2,50 \text{ mm}$$

$$(t_{mm} - FCA_{ml} \geq \max[0,5t_{min}, t_{lim}])$$

$$5,57 \text{ mm} \geq 2,50 \text{ mm}$$

Kemudian kalkulasi untuk mengetahui tingkat integritas *CNG Buffer Storage Tank* dengan menghitung tekanan maksimum yang diijinkan (MAWP) oleh *CNG Buffer Storage Tank*.

$$MAWP = \min[MAWP, MAWP] = 150,61 \text{ Kg/cm}^2$$

$$MAWP_r^C \geq MAWP$$

$$150,61 \text{ Kg/cm}^2 \geq 140,61 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Satisfactory})$$

$$MAWP_r^C \geq MAWP$$

$$143,79 \text{ kg/cm}^2 \geq 140,61 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Satisfactory})$$

sehingga kalkulasi dengan analisa *Fitness for Service (FFS)* tersebut dapat dilihat dari tabel 4 dan hasil kalkulasi untuk menentukan nilai tekanan maksimum yang diijinkan pada *CNG Buffer Storage Tank* untuk beroperasi mengalami proses *derating* walaupun masih layak dan boleh beroperasi (Ameh, 2017).

Tabel 4. Hasil kalkulasi *thickness required*

No	Nama Part	T actual (mm)	T required (mm)	Hasil
1	Shell	6,20	5,49	Satisfactory
2	Head	6,10	5,37	Satisfactory

3.3 Penilaian Risiko

Interval inspeksi dalam analisa *Residual Life Assessment* ini akan ditentukan dengan mengacu pada metodologi API RBI 581 secara semi-kuantitatif. metode semi-kuantitatif merupakan metode kombinasi antara metode kualitatif dan metode kuantitatif, dimana hasilnya lebih akurat dibandingkan dengan metode kualitatif tetapi proses perhitungannya tidak sekompleks metode kuantitatif (Qathafi & Sulistijono, 2015). Dalam metode *Risk Based Inspection (RBI)* terdapat 2 variabel yang harus di tentukan terlebih dahulu sebelum dapat menentukan tingkat risiko atas penggunaan unit equipment yang akan dianalisis, dua variabel tersebut ialah *Probability of Failure (PoF)* dan nilai *Consequences of Failure (CoF)* (Muhajir et al., 2018).

Analisa probabilitas kegagalan atau nilai *Probability of Failure (PoF)* merupakan variabel dalam RBI yang berfungsi untuk mengkalkulasi tingkat kegagalan yang terjadi pada *CNG Buffer Storage Tank* (Priyanta et al., 2017). Terdapat beberapa variabel yang harus ditentukan terlebih dahulu sebelum mendapatkan nilai *Probability of Failure (PoF)* yaitu menentukan *Damage Factor Parameter (Art)*, menentukan *Damage Factor (Df)*, menentukan frekuensi kegagalan (Fms), menentukan *Management Systems Factor (Fms)* (Pokhrel, 2016). Setelah semua variabel tersebut ditentukan maka selanjutnya menentukan nilai *Probability of Failure (PoF)* menggunakan persamaan dibawah ini:

Tabel 2. *Screening table* pada ASME PCC-3 dan API RP 571 (Ali & Sabry, 2019)

No	Mekanisme Kerusakan	Jenis	Possibility	Definisi	Keterangan
1	<i>Uniform Corrosion</i>	<i>Metal Loss</i>	<i>Medium (Base on API RP 581 Section 2.B.11.3.3)</i>	Merupakan bentuk kerusakan akibat korosi secara seragam pada permukaan yang sebagian besar diakibatkan kondisi atmosfer	Peralatan terpapar atmosfer
2	<i>Cavitation</i>	<i>Metal Loss</i>	<i>None</i>	Bentuk erosi yang disebabkan oleh pembentukan dan keruntuhan seketika gelembung-gelembung uap kecil yang tak terhitung banyaknya	Gas
3	<i>Corrosion Under Insulation (CUI)</i>	<i>Metal Loss</i>	<i>None</i>	Korosi perpipaan, bejana tekan, dan komponen structural yang dihasilkan dari air yang terperangkap dibawah isolasi atau tahan api	Tidak ditemukan korosi disekitar area lokasi
4	<i>Crevice Corrosion</i>	<i>Metal Loss</i>	<i>None</i>	Merupakan bentuk kerusakan akibat korosi terlokalisasi yang terjadi antara dua celah permukaan logam	Carbon Steel
5	<i>Erosion / Erosion - Corrosion</i>	<i>Metal Loss</i>	<i>None</i>	Pemindahan mekanik yang dipercepat pada logam akibat pergerakan relatif antara fluida korosif dan permukaan logam	<i>Pressure vessel</i>
6	<i>Galvanic Corrosion</i>	<i>Metal Loss</i>	<i>None</i>	Merupakan bentuk kerusakan akibat korosi pada sambungan logam yang berbeda	Tidak ditemukan korosi pada <i>bolt & nut</i>
7	<i>Microbiological Induced Corrosion</i>	<i>Metal Loss</i>	<i>None</i>	Merupakan suatu bentuk korosi yang disebabkan oleh organisme hidup seperti bakteri, ganggang atau jamur yang sering dikaitkan dengan keberadaan zat organik yang berlendir	Tidak tersedia hasil uji lab yang menjelaskan terkait kandungan mikroba
8	<i>Sulfuric Acid Corrosion</i>	<i>Acid Metal Loss</i>	<i>None</i>	<i>Sulfuric acid</i> meningkatkan korosifitas pada carbon steel dan alloy lainnya terutama di daerah HAZ pada carbon steel dapat mengalami korosi yang parah	Gas
9	<i>Under Deposit Corrosion</i>	<i>Metal Loss</i>	<i>Low</i>	Salah satu jenis korosi khusus dari korosi celah	Carbon steel

Tabel 3. Metode inspeksi dan *monitoring* yang perlu dilakukan (Sossenheimer et al., 2019)

No.	Damage Mechanism	Inspection Method	Inspection Plan	Inspection Location	
1	Uniform Corrosion	Surface	Visual Inspection (Including Borescope)	Di beberapa spot pada head dan shell terutama saat melakukan <i>visual external inspection</i> , lebih diutamakan di bagian yang ditemukan adanya korosi eksternal dan kerusakan pada <i>painting</i>	
		Subsurface	Ultrasonics for Thickness		Visual inspection of >60% of the exposed surface area with follow-up by UT, RT or pit gauge as required.
			Ultrasonics—Straight Beam		
			Ultrasonics—Shear Wave		
Other Methods	Dimensional Measurements				
2	Under Deposit Corrosion	Subsurface	Ultrasonics for Thickness	Di beberapa spot pada bagian dasar head dan shell	
		Other Methods	Ultrasonics—Straight Beam		Visual inspection of >30% of the exposed surface area with follow-up by UT, RT or pit gauge as required.
			Boat/Plug Sample		

Semua tahapan proses kalkulasi yang telah ditentukan maka didapat nilai PoF untuk *CNG Buffer Storage Tank* adalah sebesar 0,0014. Dimana nilai tersebut nantinya akan dipergunakan untuk menentukan tingkat risiko (Risk et al., 2020).

Analisa konsekuensi kegagalan atau *Consequences of Failure (CoF)* yang mengacu kepada metodologi RBI dipergunakan untuk mengetahui tingkat konsekuensi yang akan terjadi jika suatu unit mengalami kegagalan. Terdapat beberapa variabel yang harus ditentukan terlebih dahulu sebelum menentukan tingkat konsekuensi dari hal tersebut variabel tersebut ialah :

- Jenis fluida
- Parameter lubang kebocoran
- Jumlah fluida yang terlepas
- Laju kebocoran
- Tipe dan konsekuensi kebocoran
- Luas area terdampak
- Menentukan tipe kebocoran
- Pengaruh sistem deteksi dan isolasi
- Laju total massa fluida yang terlepas
- Menghitung konsekuensi kebakaran
- Menghitung konsekuensi ledakan
- Menghitung konsekuensi keracunan

Tahapan-tahapan diatas sangat perlu dianalisis dan dicari secara detail dan komprehensif karena menyangkut nilai konsekuensi dari *CNG Buffer*

Storage Tank (Ratnasari et al., 2019). Dalam menentukan parameter-parameter diatas terdapat persamaan yang dipergunakan diantaranya menentukan diameter lubang kebocoran yang berfungsi untuk menentukan laju aliran fluida terlepas (Jovanovic, 2014). Diameter lubang kebocoran yang dianjurkan oleh API RP 581 terdiri dari 4 tipe ukuran diameter yang mana setiap ukuran memiliki batasannya masing-masing. Berikut ini diameter lubang kebocoran yang digunakan antara lain:

Tabel 4. Diameter lubang kebocoran

Ukuran Diameter Lubang Bocor (in)			
Kecil	Medium	Besar	Pecah
0,25	1	4	16

Selanjutnya persamaan yang dipergunakan untuk menentukan laju kebocoran, merupakan analisis yang dipengaruhi oleh besar kecilnya lubang kebocoran dan tekanan pada peralatan.

$$\text{Dengan nilai } A_n = \frac{\pi d_n^2}{4}$$

Kemudian menentukan jumlah maksimal fluida yang terlepas dengan memperkirakan kemungkinan jumlah fluida maksimal yang dapat terlepas berdasarkan 3 menit atau 180 detik kebocoran. Persamaan yang dipergunakan dalam kalkulasi adalah sebagai berikut:

$$mass_{avail,n} = \min[\{mass_{comp} + mass_{add,n}\}, mass_{inv}]$$

Kemudian menentukan tipe kebocoran untuk dapat mengklasifikasikan tipe secara instan atau terus menerus, tetapi terlebih dahulu harus menghitung waktu yang dibutuhkan untuk masing-masing lubang kebocoran. Dengan nilai *civersion factor* untuk tipe fluida C₃ SI Units adalah sebesar 4536 dan C₃ Customary Units = 10000. Kemudian menentukan pengaruh dari system deteksi dan isolasi jika terjadi kegagalan pada CNG Buffer Storage Tank dari proses inspeksi didapatkan informasi bahwa tidak terdapat system deteksi dan isolasi pada CNG Buffer Storage Tank sehingga klasifikasi deteksi dan isolasi diasumsikan bertipe B yang merupakan klasifikasi system deteksi dan isolasi bagian menengah menurut API RP 581. Dari system tersebut dapat ditentukan faktor reduksi (fact_{di}) dan maksimal durasi dari kebocoran (Idmax) berdasarkan system deteksi dan isolasi, antara lain sebagai berikut:

$$P_s > P_{trans} : W_n = \frac{C_d}{C_2} \cdot A_n \cdot P_s \sqrt{\left(\frac{k \cdot MW \cdot g_c}{R \cdot T_s}\right) \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

Tabel 4. Maksimal durasi kebocoran

Faktor Reduksi, Fact _{di}	Maks. Durasi Kebocoran Idmax
0,15	40 menit untuk kebocoran Ø 6,4 mm
	30 menit untuk kebocoran 25 mm
	20 menit untuk kebocoran 102 mm
	1 menit untuk kebocoran
	406,4 mm (atau rupture)

Proses berikutnya menentukan nilai laju dan total massa fluida yang terlepas serta penyebarannya berdasarkan sistem deteksi dan isolasi yang sudah ditentukan sebelumnya. Proses kalkulasi tersebut menghasilkan kondisi sebagai berikut:

$$rate_n = W_n (1 - fact_{di})$$

$$ld_n = \min \left[\left\{ \frac{mass_{avail,n}}{rate_n} \right\}, \{60 \cdot ld_{max,n}\} \right]$$

$$mass_n = \min[\{rate_n \cdot ld_n\}, mass_{avail,n}]$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan konsekuensi terhadap kerusakan komponen dan kecelakaan personal dan kemungkinan munculnya kebakaran dan ledakan jika terjadi suatu kegagalan dalam proses operasional CNG Buffer Storage Tank. Persamaan yang dipergunakan adalah sebagai berikut:

$$CA_{cmd,n}^{flam} = CA_{cmd,n}^{AIL} \cdot fact^{AIT} + CA_{cmd,n}^{AINL} \cdot (1 - fact^{AIT})$$

$$CA_{inj,n}^{flam} = CA_{inj,n}^{AIL} \cdot fact^{AIT} + CA_{inj,n}^{AINL} \cdot (1 - fact^{AIT})$$

$$CA_{cmd}^{flam} = \left(\frac{\sum_{n=1}^4 gff_n \cdot CA_{cmd,n}^{flam}}{gff_{total}} \right)$$

$$CA_{inj}^{flam} = \left(\frac{\sum_{n=1}^4 gff_n \cdot CA_{inj,n}^{flam}}{gff_{total}} \right)$$

Dari persamaan diatas menghitung konsekuensi keracunan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$CA_{inj}^{tox} = \left(\frac{\sum_{n=1}^4 gff_n \cdot CA_{inj,n}^{tox}}{gff_{total}} \right)$$

$$CA = \max[CA_{cmd}, CA_{inj}]$$

Kemudian merupakan tahap terakhir yaitu menghitung luasan konsekuensi secara menyeluruh dengan hasil sebagai berikut:

$$CA = 5,52 \text{ m}^2$$

Dalam penelitian ini tidak membahas terkait dengan kerugian finansial untuk kegagalan CNG Buffer Storage Tank. Sehingga dari hasil semua analisis yang telah dilakukan perhitungan Probability of Failure (PoF) dan Consequences of Failure (CoF) diatas maka analisis risiko dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Risk = Probability\ of\ Failure\ (PoF) \times Consequences\ of\ Failure\ (CoF)$$

Setelah itu hasil kalkulasi tersebut dapat diplotkan kedalam matrik risiko berdasarkan API RP 581 Risk Based Inspection Technology. Sehingga tingkat risiko untuk penggunaan CNG Buffer Storage Tank dari hasil kalkulasi diatas memiliki kategori tingkat medium, hal tersebut dapat dilihat dari tabel berikut:

POF Ranking						
5	0.5 < POF ≤ 1.0	Med-high	Med-high	Med-high	High	High
4	0.3 < POF ≤ 0.5	Medium	Medium	Med-high	Med-high	High
3	0.2 < POF ≤ 0.3	Low	Low	Medium	Med-high	High
2	0.1 < POF ≤ 0.2	Low	Low	Medium	Medium	Med-high
1	POF ≤ 0.1	Low	Low	Medium	Medium	Med-high
COF Ranking		A	B	C	D	E
COF Types	Personal Safety	No injury	Minor injury	Major injury	Single fatality	Multiple fatality
	Environment	No pollution	Slight effect	Minor local effect	Major local effect	Significant environmental effect
	Economic Loss (\$)	FC ≤ 10,000	10,000 < FC ≤ 100,000	100,000 < FC ≤ 1,000,000	1,000,000 < FC ≤ 10,000,000	FC > 10,000,000
	Impact Area (m ²)	CA ≤ 9.29	9.29 < CA ≤ 92.9	92.9 < CA ≤ 279	279 < CA ≤ 929	CA > 929

Gambar 3. Risk ranking dari CNG Buffer Storage Tank

3.4 Mitigasi

Setelah analisis dan kalkulasi terkait dengan tingkat risiko dari penggunaan *CNG Buffer Storage Tank* maka dapat ditentukan pula proses mitigasi dari penggunaan *CNG Buffer Storage Tank*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses mitigasi sebagai berikut:

- Sebelum operasional pada *CNG Buffer Storage Tank* perlu dilakukan pengujian *Positive Material Identification (PMI)* untuk mengidentifikasi jenis material yang digunakan karena *mill certificate* tidak tersedia
- Dari hasil pengukuran dan analisa yang mengacu pada ASME Sect. VIII Div. 1, API 510 & API 579-1 / ASME FFS-1 dapat disimpulkan bahwa *required thickness* masih lebih kecil dari *minimum actual thickness* dan *maximum allowable working pressure (MAWP)* masih lebih besar dari estimasi *design pressure*
- Dari hasil *visual external examination* tidak ditemukan adanya anomaly dan kerusakan yang melebihi batas toleransi
- Belum ditemukan anomaly sesuai dengan prediksi mekanisme kerusakan yang terdapat pada *CNG Buffer Storage Tank* namun mekanisme kerusakan tersebut berpotensi terjadi pada masa yang akan datang.
- Berdasarkan hasil evaluasi kerusakan maka *CNG Buffer Storage Tank* hanya perlu evaluasi ulang pada inspeksi selanjutnya.

3.5 Kalkulasi Sisa Umur Layan

Dari seluruh analisa serta terkumpulnya data hasil inspeksi maka selanjutnya dapat ditentukan nilai dari sisa umur layan, sehingga umur layan dari *CNG Buffer Storage Tank* adalah:

Remaining Life Shell

$$RLS = \frac{t_{actual} - t_{required}}{Corrosion Rate} = \frac{6,20 - 5,49}{0,07} = 11 \text{ tahun}$$

Remaining Life Head

$$RLH = \frac{t_{actual} - t_{required}}{Corrosion Rate} = \frac{6,10 - 5,37}{0,07} = 11 \text{ tahun}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa sisa umur layan dari penggunaan *CNG Buffer Storage Tank* adalah selama 11 tahun.

3.6 Penentuan Metode & Interval Inspeksi

Dari hasil kalkulasi sisa umur layan dan proses inspeksi maka perlu dilakukan perencanaan dan monitoring diseluruh bagian *CNG Buffer Storage Tank* sehingga dapat disimpulkan bahwa interval pemeriksaan yang ideal adalah setiap 4 tahun sekali dan direkomendasikan untuk melakukan *visual inspection, Ultrasonic Thickness, UT Scanning & Dimensional Measurements*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari seluruh rangkaian analisa yang telah dilakukan dengan mengacu pada metodologi *residual life assessment* sehingga analisa kelayakan dan keselamatan pada *CNG Buffer Sotrage Tank* dapat disimpulkan bahwa *CNG Buffer Storage Tank* masih layak dipergunakan dengan batasan-batasan yang telah ditentukan berdasarkan analisa kelayakan dan keselamatan. Seperti tekanan operasi tidak boleh melebihi hasil kalkulasi yaitu sebesar 140,61 kg/cm² dengan sisa umur layan dari *CNG Buffer Storage Tank* selama 11 tahun.

CNG Buffer Storage Tank memiliki tingkat risiko *medium risk* dengan interval inspeksi setiap 4 tahun dengan metode inspeksi yang perlu dilakukan adalah *Ultrasonic Thickness Measurement, visual inspection, UT Scaning* dll. Sementara rekomendasi serta saran yang diperlukan untuk pihak pemilik *CNG Buffer Storage Tank* adalah melakukan pengawasan korosi dan melakukan *condition monitoring locations (CMLs)* pada area yang terindikasi korosi dan perlu dilakukan *recoating & repainting* untuk mencegah terjadinya *general external corrosion*.

REFERENSI

- Adnyana, D. N. (2019a). *Failure of Heat Exchanger Return Bend Due to Long-Term Localized Overheating*.
- Adnyana, D. N. (2019b). *Comparison Of Strength, Microstructure And Corrosion Resistance Of Stainless Steels Type 410 And Type 410-3Mo In Tempered Condition*.
- Adnyana, D. N. (2021). *Damage Investigation On Weld Alumunium Component Of A Compressor After Cooler*. 7–16.
- Ali, A., & Sabry, H. (2019). Implementing a successful risk based inspection program. *Society of Petroleum Engineers - Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference 2019, ADIP 2019, November*, 11–14.
- Ameh, E. S. (2017). Fitness for Service Assessment of Ageing Pressure Vessel Experiencing External Corrosion: A Case Study. *The International Journal of Engineering and Science*, 06(02), 12–16.
- Div, A. V. (n.d.). *Inspection Report & Record Previous Inspection Report 1 . Visual - Ladders , Stairways , Platforms or Walkway - Foundation and Support , Anchor - Level Glass , PSV , Press & Temp Gauges - Shell , Head , Nozzles , Flanges connection - Coating / Painting - .*
- Firdaus, N., Panjaitan, U., & Prasetyo, B. T. (2016). *Rekayasa Ulang Komponen Mekanis Sistem Turbin Air Reverse Engineering of a Hydro Turbine System Mechanical Parts*. 6(2), 2089–4880.
- Gond, S., Singh, A., Sharma, V., & Lal, S. B. (2014). *Design and Analysis of the Pressure Vessel*. 5(4), 939–942.
- Jovanovic, A. S. (2014). *Qualitative damage assessment as a part of the RBI (Risk-Based Inspection) process Qualitative damage assessment as a part of the RBI (Risk-Based Inspection) process*. October.
- Kim, W., Lee, J. J., Won, J. H., & Kwon, D. (2019). Residual life-time evaluation method using instrumented indentation test. *Key Engineering Materials, 810 KEM*, 89–94.
- Larrainzar, C., Korin, I., & Perez Ipiña, J. (2010). Analysis of fatigue crack growth and estimation of residual life of the walking beam of an oilfield pumping unit. *Engineering Failure Analysis*, 17(5), 1038–1050.
- Modeling, L. M., Measurement, F., Snowrift, O. N., Environmental, A. R., Regional, S., Power, E., Limited, G. C., Influence, T. H. E., Snow, O. F., On, F., Around, S., Embankment, T. H. E., Wind, I. N., Snow, B., Aspect, O. F., On, R. R., Distribution, S., Model, A. A. C., Simulation, N., ... Maciejowski, J. M. (2019). *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 26(3), 1–4.
- Muhajir, H., Haryadi, G. D., & Widodo, A. (2018). Remaining Life Assessment of Superheater Tube in Boiler of Coal Fired Power Plant. *MATEC Web of Conferences*, 159, 1–6.
- Nana, A., Agyenim-Boateng, K., Dagadu, C. P. K., Tikwa, A. A., Awuvey, D. K., Amoakohene, E. Y., & Kwaasi, & E. (2014). *Determination of Corrosion Rate and Remaining Life of Pressure Vessel Using Ultrasonic Thickness Testing Technique*. 3(2), 43–50.
- Noval, R., & Nofirman. (2021). Diagnosis Kegagalan Ganda Pada Chiller Sistem Pendingin Air. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 2(1), 9–16.

- Pokhrel, M. (2016). A "Fuzzy" Logic, Possibilistic" Methodology" for" Risk, Based" Inspection"(RBI)"Planning"of"Oil"and"Gas" Piping"Subjected"to" Microbiologically" Influenced" Corrosion"(MIC)-". June.
- Priyanta, D., Siswanto, N., & Megawan, A. M. (2017). Risk Based Inspection of Gas-Cooling Heat Exchanger. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 1(4).
- Qathafi, M. Al, & Sulistijono, S. (2015). Studi aplikasi metode Risk Based Inspection (RBI) semi-kuantitatif API 581 pada production separator. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), F89–F94.
- Ratnasari, P., Alhilman, J., & Pamoso, A. (2019). Penilaian Risiko, Estimasi Interval Inspeksi, dan Metode Inspeksi pada Hydrocarbon Piping Menggunakan Metode Risk Based Inspection (RBI). *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 5(2), 67–74.
- Risk, A., Inspection, B., Storage, A., Menggunakan, T., Lunak, P., Dan, R., Mesin, J. T., Teknik, F., & Sriwijaya, U. (2020). *Atmospheric Storage Tank Menggunakan*.
- Rozie, A. F. (2020). Remaining Life Assessment Dan Kasus Laju Korosi Pada Lpg Storage Tank Kapasitas 50 Ton. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 1(2), 96–106.
- Rozie, A. F., Adnyana, D. N., Studi, P., Mesin, T., Sarjana, F. P., Sains, I., & Jakarta, N. (n.d.). *Aplikasi Reverse Engineering Dalam Menentukan Parameter Layak Pakai Pada High Speed Diesel Tank*.
- Rozie Fachrur, A. D. . A. (2021). Vertikal Bejana Tekan Corrosion Assessment & Qualitative Risk Analysis on. *Pasca Sarjana Program Studi Teknik Mesin, Institut Sains Dan Teknologi Nasional*, 8, 63–72.
- Shekari, E., Khan, F., & Ahmed, S. (2017). Economic risk analysis of pitting corrosion in process facilities. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 157, 51–62.
- Sossenheimer, J., Walther, J., Fleddermann, J., & Abele, E. (2019). A sensor reduced machine learning approach for condition-based energy monitoring for machine tools. *Procedia CIRP*, 81, 570–575.
- Tien, S. W., Hwang, W. T., & Tsai, C. H. (2007). Study of a risk-based piping inspection guideline system. *ISA Transactions*, 46(1), 119–126.
- Viswanathan, R. (n.d.). *Damage Mechanisms and Life Assessment of Components* (Issue L).