

# 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)

Ikhsan Kholis

*Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi, Cepu*

## INFORMASI NASKAH

Diterima : 2 Oktober 2023  
Direvisi : 13 November 2023  
Disetujui : 24 November 2023  
Terbit : 25 November 2023

Email korespondensi:  
*ikhsan.kholis@esdm.go.id*

Laman daring:  
<https://doi.org/10.37525/mz/2023-2/512>

## ABSTRAK

Dalam kondisi tertentu dimana suatu instalasi atau peralatan diharapkan dapat tetap dioperasikan walaupun telah melewati umur layan desainnya. BU/BUT dapat tetap menggunakan Instalasi dan/atau peralatan yang telah melewati batas umur layan desain (*design life*) tersebut setelah sebelumnya terlebih dahulu melakukan penilaian perpanjangan sisa umur layan (*residual life assessment*) dengan memperhatikan kaidah keteknikan yang baik sesuai standar acuan. Hasil penilaian yang menyatakan instalasi atau peralatan yang dapat diperpanjang umur layannya dimana penilaian perpanjangan sisa umur layan tersebut sesuai dengan hasil analisis dengan mengutamakan faktor keselamatan.

Dalam menyajikan penjelasan bagaimana tata cara pelaksanaan *residual life assessment* pada pembahasan ini, metode yang digunakan diawali dengan studi literatur dari hasil-hasil penelitian sebelumnya, kemudian dianalisa secara deskripsi dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari peraturan, laporan pemerintah, laporan BU/BUT, *Handbook* dan sumber di internet. Dari hasil evaluasi dokumen, data lapangan, mekanisme kerusakan dan umur peralatan dapat disusun rencana inspeksi dan interval inspeksi serta *remaining life* dari peralatan.

Dari hasil analisa dapat disimpulkan bahwa bejana tekan masih dapat diperpanjang umur layannya sampai 20 tahun dengan tekanan desain tidak diturunkan tetap 150 psig.

**Kata kunci:** bejana tekan, corrosion rate, remaining life

## ABSTRACT

*Under certain conditions where an installation or equipment is expected to continue operating even though it has passed its design service life. BU/BUT may continue to use installations and/or equipment that has exceeded the design life limit after previously carrying out an assessment of the residual life assessment by taking into account good technical principles according to reference standards. The results of the assessment stating the installation or equipment whose service life can be extended where the assessment of the remaining service life extension is in accordance with the results of the analysis by prioritizing the safety factor.*

*In presenting an explanation of how to carry out the residual life assessment in this discussion, the method used begins with a literature study of the results of previous research, then is analyzed descriptively using secondary data obtained from regulations, government reports, BU/BUT reports, Handbooks and sources on the internet. From the results of the evaluation of documents, field data, damage mechanisms and the age of the equipment, an inspection plan and inspection intervals and the remaining life of the equipment can be prepared.*

*From the results of the analysis it can be concluded that the service life of the pressure vessel can be extended up to 20 years with the design pressure not reduced at 150 psig.*

**Keywords:** *pressure vessel, corrosion rate, remaining life*

## PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas bumi merupakan salah satu sektor strategis dalam menunjang kegiatan masyarakat secara luas serta memiliki peranan yang sangat penting dalam mendukung pembangunan nasional Indonesia. Dalam pengelolaannya perlu adanya sinergi antara semua *stakeholder* dalam industri ini agar minyak dan gas bumi dapat dikelola secara efektif dan juga aman. Dalam pengelolaannya tidak jarang muncul beragam masalah di masing-masing *stakeholder* yang harus dilakukan tindak lanjut agar tidak merugikan masing-masing pihak. Salah satu permasalahan yang dihadapi adalah operasi peralatan yang sudah melebihi usia desain atau *extended life* (Berita Ditjen Migas, 2021).

Sebagaimana diatur pada Pasal 40 Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi (UU Migas) yang menyatakan bahwa Badan Usaha/Bentuk Usaha Tetap (BU/BUT) sebagai subyek yang melakukan kegiatan usaha migas diwajibkan untuk menjamin standar dan mutu atas layanan kegiatan usaha, sarana fasilitas yang digunakan dan produk yang dihasilkan, serta menerapkan kaidah keteknikan yang baik sehingga dengan demikian dapat menjamin keselamatan dan kesehatan kerja serta pengelolaan

lingkungan hidup. Selain itu, BU/BUT diwajibkan untuk melakukan perencanaan, pembangunan dan pengoperasian instalasi dan peralatan sebagai sarana fasilitas dalam penyelenggaraan kegiatan usaha migas sesuai dengan kaidah keteknikan yang baik tersebut sehingga diharapkan dapat menurunkan risiko terjadinya kecelakaan serendah mungkin.

Sebagai jalan keluar atas permasalahan ini, maka sebagaimana telah diatur pada Keputusan Menteri ESDM No. 32 tahun 2021 tentang Inspeksi Teknis dan Pemeriksaan Keselamatan Instalasi dan Peralatan pada Kegiatan Usaha Migas, dapat dilakukan suatu kajian teknis mendalam untuk menganalisa keamanan, kelayakan serta umur sisa dari instalasi/peralatan yang telah melewati umur desain tersebut. Dalam aplikasinya kajian tersebut disebut *Residual Life Assessment*, dimana dalam *Residual Life Assessment* ini akan dilakukan analisa suatu mekanisme kerusakan yang terjadi selama instalasi/peralatan ini beroperasi dengan mengacu pada literatur sebagai referensi dan riwayat penggunaan dari instalasi/peralatan itu sendiri. Dengan adanya analisa ini diharapkan instalasi/peralatan dapat dianalisa secara menyeluruh dan tepat sasaran sehingga dapat meyakinkan masing-masing pihak yang berkepentingan mengenai

kondisi aktual dan kemampuan dari instalasi/peralatan ini untuk dapat dioperasikan melewati umur layan desainnya dalam batas – batas operasional yang aman dan layak.

## TINJAUAN PUSTAKA

### A. *Residual Life Assessment (Permen ESDM No. 32 Tahun 2021)*

Pada 12 November 2021, telah diterbitkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 32 tahun 2021 tentang Inspeksi Teknis dan Pemeriksaan Keselamatan Instalasi dan Peralatan yang Digunakan pada Kegiatan Usaha Minyak dan Gas Bumi. Pada Pasal 44 peraturan tersebut dinyatakan bahwa Kontraktor atau Pemegang Izin Usaha dapat menggunakan Instalasi dan/atau peralatan yang telah melewati batas umur layan desain dengan melakukan penilaian perpanjangan sisa umur layan (*residual life assessment*) dan dari hasil penilaian akan dinyatakan instalasi/peralatan dapat diperpanjang umur layannya. Kontraktor atau Pemegang Izin Usaha melaksanakan penilaian perpanjangan sisa umur layan (*residual life assessment*) sesuai dengan hasil analisis dengan mengutamakan faktor keselamatan,

Untuk mencapai sasaran dari pelaksanaan *residual life assessment* tersebut, penilaian perpanjangan umur layan (*residual life assessment*) paling sedikit meliputi

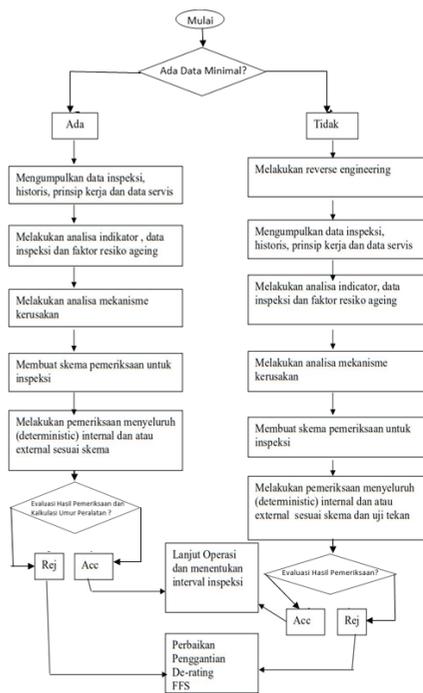
- a. Penelaahan dokumen teknis instalasi dan/atau peralatan;
- b. Penentuan mekanisme kerusakan;
- c. Penentuan lingkup inspeksi terhadap mekanisme kerusakan;
- d. Pemeriksaan bagian Instalasi dan/atau peralatan;
- e. Pemeriksaan uji tidak merusak sesuai lingkup inspeksi;
- f. Pemeriksaan uji merusak, apabila diperlukan;
- g. *Fitness for services* atau metode lain sesuai dengan jenis instalasi dan/atau peralatan;
- h. Penilaian resiko terhadap instalasi dan/atau peralatan;
- i. Penentuan sisa umur layan; dan
- j. Penentuan metode dan interval inspeksi selama perpanjangan sisa umur layan (*residual life assessment*).

### B. *Metodologi Residual Life Assesment*

*Residual Life Assesment* adalah suatu pendekatan teknis yang dilaksanakan untuk mengetahui sejauh mana kondisi suatu instalasi / peralatan yang telah melewati umur layan desainnya untuk masih dapat dioperasikan sesuai parameter desain basis dalam batas layak dan aman (Mr. Suraj C. Thombre dan Prof. M R. Kotwal). Diperlukan langkah-langkah berupa pengumpulan data teknis berupa spesifikasi material, kalkulasi *engineering* dan gambar, data kondisi proses dan 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, 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.

Dalam hal data-data teknis sebagaimana di jelaskan tidak tersedia, maka terhadap instalasi/peralatan sebelum dilakukan RLA maka terlebih dahulu dilaksanakan tahapan *Reverse Engineering* (Rekayasa Terbalik) untuk mendapatkan data-data teknis yang dibutuhkan tersebut (Permen ESDM No. 32 Tahun 2021). Menurut Permen ESDM No. 32 Tahun 2021 dalam hal melakukan *Residual Life Assessment* peralatan yang tidak memiliki data perlu dilakukan hal sebagai berikut:

- a. Menentukan parameter desain
- b. Membuat gambar konstruksi
- c. Menetapkan spesifikasi material menggunakan metode:
- d. Menetapkan efisiensi sambungan
- e. Melakukan kalkulasi berdasarkan kode dan standard.
- f. Membuat pelat nama keras atau *hard stamp* sesuai parameter yang sudah ditetapkan, antara lain:
  - MAWP
  - Temperatur desain
  - Temperatur minimal
  - Tanggal



Gambar 1. Metodologi RLA

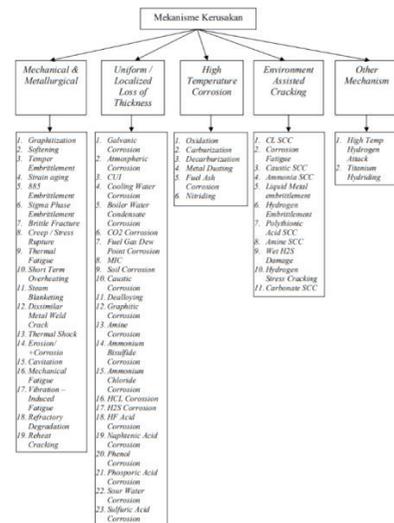
**C. Mekanisme Kerusakan (Damage Mechanism)**

Mekanisme kerusakan adalah mekanisme, kimia, fisik atau lainnya proses yang mengakibatkan degradasi peralatan atau material. Mekanisme kerusakan mengakibatkan cacat yang mempengaruhi integritas proses perpipaan, bejana tekan, dan peralatan lainnya. Mekanisme kerusakan dapat menyebabkan kegagalan peralatan proses mengakibatkan hilangnya penahanan atau gangguan pengoperasian peralatan. Mekanisme kerusakan dapat timbul secara internal maupun eksternal, seperti dari korosi internal atau eksternal. Mekanisme kerusakan mungkin berlaku untuk bagian tertentu dari suatu proses atau seluruh proses.

Identifikasi jenis mekanisme kerusakan yang terjadi pada peralatan selama masa beroperasinya dapat dilakukan dengan mengetahui penyebab terjadinya mekanisme kerusakan itu sendiri, sehingga dapat ditentukan tindakan pemeriksaan yang efektif untuk dilakukan berdasarkan informasi yang ada. Pada industri Migas umumnya identifikasi mekanisme kerusakan mengacu kepada standar API 571, digunakan untuk memilih jenis mekanisme kerusakan berdasarkan deskripsi, penyebab dan lokasi spesifik dimana mekanisme kerusakan diperkirakan akan muncul. Ada

beberapa parameter yang mempengaruhi jenis kerusakan, antara lain:

- a. Material
- b. Temperatur operasi
- c. Fluida
- d. Lingkungan
- e. Aliran
- f. Loading



Gambar 2. Mekanisme kerusakan (API 571 3<sup>th</sup> Edition. 2020)

**D. Ultrasonic Testing (ASME Section V)**

Ultrasonic Testing (UT) merupakan salah satu metode *nondestructive examination* (NDE) yang menggunakan energi suara frekuensi tinggi untuk melakukan proses pengujian atau proses pengukuran. Prosedur pengujian dan pengukuran dengan menggunakan metode UT umumnya mengacu kepada standar ASME Section V Article 5. Dalam melakukan pengujian menggunakan metode UT pada peralatan/instalasi di industri migas Indonesia, prosedur pengujian NDE/NDT (termasuk di dalamnya metode UT) harus mendapatkan pengesahan terlebih dahulu oleh pemerintah. Prosedur yang sudah disahkan ini akan menjadi acuan bagi perusahaan untuk melakukan pengujian NDT.

Alat yang digunakan untuk pengukuran ketebalan adalah *Ultrasonic Thickness Meter* (UTM), dimana ketebalan *shell/head* bejana tekan dapat langsung diketahui karena hasilnya langsung ditampilkan pada layar UTM.

**E. Laju Korosi dan Remaining Life**

Laju korosi merupakan laju degradasi dari material peralatan akibat korosi internal maupun eksternal (Agyenim-Boateng. Dkk) Agar mampu menyesuaikan dengan kondisi aktual peralatan yang variatif maka pada kajian ini terdapat prioritas dalam menentukan laju korosi, yaitu:

Prioritas 1, diambil yang terbesar dari laju korosi jangka pendek (*Short Term*) atau laju korosi jangka panjang (*Long Term*), atau apabila salah satu data diragukan validitasnya maka dipilih yang validitasnya lebih bisa dipertanggungjawabkan (pemilihan oleh *engineer*). Data ini dihitung dari *thickness* awal, *thickness* hasil inspeksi sebelumnya dibandingkan *thickness* aktual tiap bagian pada peralatan yang menjadi subjek RLA. Data ini dianggap paling akurat karena diambil langsung pada peralatan yang bersangkutan. Menurut API 510 10<sup>th</sup> Edition, 2014, Formula yang digunakan adalah

$$\text{Laju Korosi Short Term: } \frac{t_{\text{previous}} - t_{\text{actual}}}{\text{tahun.inspeksi.terakhir} - \text{tahun.inspeksi.sebelumnya}}$$

$$\text{Laju Korosi Long Term: } \frac{t_{\text{nominal}} - t_{\text{actual}}}{\text{tahun.inspeksi.terakhir} - \text{tahun.pembuatan}}$$

Prioritas 2, diambil dari peralatan dengan servis yang sama (*similar service*) atau laju korosi pada laporan sebelumnya atau menggunakan acuan *literature*. Apabila prioritas 1 dan 2 tidak dapat dikalkulasi maka data diambil dari peralatan yang memiliki kesamaan servis operasi atau laju korosi pada laporan sebelumnya atau *literature* yang kredibel.

Menurut Agyenim-Boateng. dkk penentuan *remaining life* dihitung dengan sisa *thickness actual* hingga *thickness required* dibagi dengan laju korosi yang telah dikalkulasi sebelumnya sehingga hasilnya dalam satuan tahun tersisa hingga *thickness* tersebut habis (mencapai *thickness required*). Formula yang digunakan adalah :

$$\text{Sisa Umur Layanan : } \frac{t_{\text{actual}} - t_{\text{required}}}{\text{laju.korosi.selected}}$$

**F. Bejana Tekan Filter/Water Separator PT. XYZ**

*Filter/Water Separator* adalah bejana tekan bersifat tetap (*fixing*) yang dipakai untuk

memisahkan kontaminan air dari avtur. Proses utama di dalam fasilitas melibatkan transfer dan penyimpanan fluida BBM yaitu avtur. Adapun avtur merupakan fluida bersih yang merupakan produk jadi, namun potensi kontaminan masih dapat mencemari produk sebagai akibat dari kontaminasi pada waktu transportasi.

**METODE PENELITIAN**

Dalam menyajikan penjelasan bagaimana tata cara pelaksanaan *residual life assesment* pada pembahasan ini, digunakan metode deskripsi dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari peraturan, laporan pemerintah, laporan BU/BUT, *Handbook* dan sumber di internet serta diawali dengan kajian-kajian penelitian sebelumnya.

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**A. Data Bejana Tekan**

Tag No	: V-1
Tipe	: <i>Vertical</i>
Deskripsi	: <i>Filter/Water Separator</i>
Fluida	: Avtur
Manufaktur	: PT YYY
Serial No	: F12332-6
Pemilik	: PT XYZ
Reference Code	: ASME BPVC Sect. VIII, API 510
Dimensi	: 560mm (OD) x 1260mm (S/S)
Lokasi Area	: PT. XYZ
Insulasi	: Tidak
Internal ( <i>Cladding/Lining</i> ):	N/A
Parameter Teknik	:

Tabel 1. Parameter Teknik Bejana Tekan

Parameter	Nilai
Tekanan Desain	150 psig
Temperature Desain	121,00 °C
Servis	Avtur
Material	A 283 Gr. C
Joint Efficiency	1,00
Nozzle Neck Material	A 106 Gr. B
Flange Material	A 105
Tipe Head	Flat Head & Ellipsoidal

## B. Dokumen Yang Tersedia

Dokumen terkait peralatan yang tersedia adalah Laporan *Reverse Engineering* PT. PIX

## C. Pengambilan Data Lapangan

Pengambilan data lapangan telah dilakukan pada tahun 2022 dengan hasil sebagai berikut :

- a. Visual Inspeksi, hasil inspeksi secara visual menunjukkan secara umum bejana tekan dalam keadaan baik.
- b. Pengukuran ketebalan yang dievaluasi adalah hasil pengukuran pada tahun 2022 dan ditabulasikan sebagai berikut:

Tabel 2. Ketebalan Bejana Tekan

No.	Bagian	Pengukuran Tebal Tertipis (mm)
1	Head 1	36,81
2	Head 2	6,35
3	Shell 1	15,86
4	Shell 2	6,88
5	Shell 3	7,18

- c. Inspeksi Internal Tidak ada catatan.

## D. Evaluasi Potensi Mekanisme Kerusakan

Potensi mekanisme kerusakan dibagi menjadi 2 bagian untuk membedakan penyebab dari masing-masing mekanisme kerusakan, 2 bagian tersebut adalah sebagai berikut:

Faktor Eksternal, adalah faktor dari luar bejana tekan yang dapat mengakibatkan kerusakan/degradasi terhadap material bejana tekan. Adapun yang tergolong dalam faktor ini adalah kondisi lingkungan, insulasi, tanah, beban eksternal atau terekspos fluida yang korosif. Untuk kasus ini *Filter/Water Separator* diprediksi dapat mengalami korosi atmosferik. Adapun korosi atmosferik dideskripsikan sebagai salah satu bentuk korosi yang muncul akibat dari kelembaban terkait kondisi lingkungan/ atmosferik. Selain itu korosi atmosferik juga dapat disebabkan karena peralatan terekspos fluida dari sistem lain. Mekanisme ini menyerang seluruh permukaan bejana tekan terutama dimana terdapat kegagalan *coating* serta celah (*crevice*). Mekanisme ini dapat dicegah dengan cara melakukan pengecatan eksternal

secara berkala

Faktor Internal, adalah faktor yang berasal dari dalam *Filter/Water Separator* yaitu fluida yang ditampung di dalam. Hal ini meliputi komposisi fluida, temperatur, tekanan, laju aliran dan parameter lain. Fluida yang ditampung disini adalah Avtur, yang merupakan fluida bersih yang merupakan produk jadi, meski begitu potensi kontaminan masih dapat mencemari produk sebagai akibat dari kontaminasi pada waktu transportasi. Maka prediksi mekanisme kerusakan yang mungkin terjadi adalah *Internal Corrosion* yang dapat disebabkan oleh kontaminan air.

Dari analisa diatas maka mekanisme kerusakan yang mungkin terjadi pada peralatan adalah *Atmospheric Corrosion* dan *Internal Corrosion*

Dari evaluasi potensi mekanisme kerusakan disimpulkan bahwa sisa umur layan harus diperhitungkan dari laju korosi karena mekanisme tersebut dapat dikorelasikan dengan waktu layan (*service life*).

## E. Evaluasi Umur Peralatan

Pada pembahasan ini detail hasil perhitungan sisa umur layan sesuai formula dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Perhitungan Sisa Umur Layanan

Segmen	t.act (mm)	t.req (mm)	Laju Korosi Selected (mm/y)	Sisa umur layanan (Tahun)	MAWP Calcu lated (psig)
Head 1	36,81	28,2801	0,116	73,22	241,32
Head 2	6,35	2,6684	0,116	31,60	308,94
Shell 1	15,86	2,6672	0,116	113,25	854,88
Shell 2	6,88	2,6863	0,116	36,00	335,05
Shell 3	7,18	2,6905	0,116	38,54	351,93
				Sisa Umur Terendah	31,60
				Sisa Umur Adjustment*	20,00

Catatan :

Sisa Umur Layanan : 20 Tahun

MAWP juga akan dihitung dengan mempertimbangkan future corrosion allowance dengan nilai 2x periode sertifikasi (8 tahun)

**F. Penyusunan Rencana Inspeksi**

Rencana inspeksi yang akan dilakukan disesuaikan berdasarkan analisa mekanisme kerusakan yang telah dijelaskan sebelumnya. Adapun rencana inspeksi yang diajukan adalah sebagai berikut :

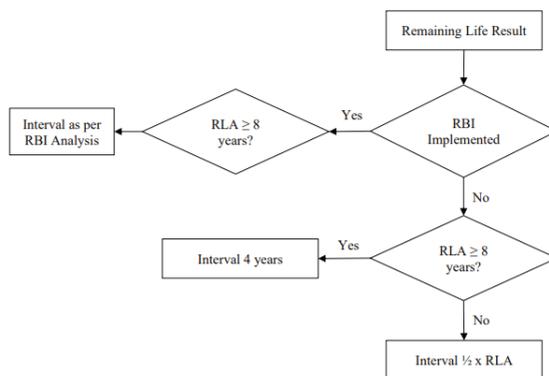
- 1) Mekanisme Kerusakan : *Atmospheric Corrosion*  
 Inspeksi & NDT : Visual, Pitting Gauge, dan UT Thickness  
 Lokasi : Spot pada *shell* dan *head* terutama yang terdapat korosi eksternal atau kerusakan painting
- 2) Mekanisme Kerusakan : *Internal Corrosion*  
 Inspeksi & NDT : Pitting Gauge dan UT Thickness  
 Lokasi : Bagian *bottom* bejana tekan (potensi kontaminan)

**G. Penentuan Interval Inspeksi**

Interval Inspeksi dalam rangka sertifikasi dalam RLA ini akan ditentukan berdasarkan hal-hal berikut ini yaitu:

- a. Ada / tidaknya implementasi RBI terhadap peralatan
- b. Hasil dari sisa umur layan, apabila hasilnya 8 tahun ke atas maka interval inspeksi berdasarkan regulasi akan dipakai (4 tahun), apabila di bawah 8 tahun maka interval inspeksi adalah ½ sisa umur layan

Diagram alir di bawah ini menjelaskan konsep penentuan interval inspeksi di atas:



Gambar 3. Konsep penentuan interval inspeksi

Berdasarkan diagram alir di atas dengan kondisi hasil RLA 20 tahun dan karena Implementasi RBI belum sampai tahap menggantikan interval Inspeksi *time based* maka interval inspeksi untuk sertifikasi yang direkomendasikan adalah 4 tahun.

**KESIMPULAN**

Dengan metode *Residual Life Assement (RLA)*, suatu instalasi/peralatan yang sudah melewati umur desainnya dapat diperpanjang umur layannya sampai dengan waktu yang ditentukan. Mekanisme kerusakan yang terjadi selama instalasi/peralatan tersebut dioperasikan yang akan mempengaruhi metode dan interval inspeksi selanjutnya dalam rentang perpanjangan sisa umur layan tersebut. Dengan demikian BU/BUT dapat mengoptimalkan keekonomian sarana dan fasilitas eksisting kegiatan usaha yang dimilikinya dengan tetap memperhatikan keselamatan Migas

Umur sisa bejana tekan ditentukan dari laju korosi dan dari hasil perhitungan disimpulkan bahwa sisa umur peralatan adalah 20 tahun dengan tekanan desain tidak diturunkan (*derating*) tetap di 150 psig.

**DAFTAR PUSTAKA**

Agyenim-Boateng, A. N. 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. *Global Journal of Engineering, Design & Technology*, 3(2), 43-50.

Standard, A. P. I. (2014). 510 Pressure Vessel Inspection Code: In-Service Inspection. *Rating, Repair, and Alteration*, American Petroleum Institute

API, R. 571 (2020). *Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining and Petrochemical Industries, Second Edition*, American Petroleum Institute, USA.

Ditjen Migas. (2021, Juni 11) Ditjen Migas Gelar Workshop *Residual Life Assesment (RLA)* di Instalasi Kilang Migas. <https://migas.esdm.go.id/post/read/ditjen-migas-gelar-workshop-residual-life-assesment-rla-di-instalasi-kilang-migas>

Kementerian ESDM. (2021). *Peraturan Menteri ESDM Nomor 32 Tahun 2021*

*tentang Inspeksi Teknis dan Pemeriksaan  
Keselamatan Instalasi dan Peralatan pada  
Kegiatan Usaha Minyak dan gas Bumi.  
KESDM.*

Thombre, S. C., & Kotwal, M. R. (2015). Residual  
Life Assessment. *Int. J. Eng. Res. Technol.*  
*IJERT*, 4(8).