

Evaluasi Perpanjangan Umur Pakai *Overhead Crane* Menggunakan Pendekatan *Fatigue Life*

Usman Siregar^{1,2*}, Hotma Antoni Hutahaean¹

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930

²PT Intesco Global Internusa, Jalan Pejaten Raya No. 9A, Jakarta Selatan, 12510

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i>	<i>The reliability of equipment in the oil and gas sector, particularly in load-lifting systems such as overhead cranes, is a critical factor that influences both safety and operational continuity. Over time, these systems are subject to degradation due to repeated loading cycles and harsh operating environments. In accordance with the Indonesian Ministry of Energy and Mineral Resources Regulation No. 32 of 2021, any equipment that approaches or exceeds its design life must be evaluated for continued serviceability through a Residual Life Assessment (RLA). This study investigates the estimated remaining life of a lifting device using the fatigue life approach, based on the AISC 360-16 standard. The results indicate that the equipment remains fit for continued service, with a significantly high estimated remaining life across different loading scenarios - 83752 years for light use, 33302 years for moderate use, and 16635 years for heavy use. These values are attributed to the actual working stress being significantly lower than the allowable stress limit, thereby enabling an essentially infinite fatigue life under theoretical conditions. In this study, the fatigue cycle is conservatively limited to 10⁸ cycles to account for practical constraints and design conservatism.</i>
Received June, 29 2025	
Accepted July, 04 2025	
<i>Keywords: Overhead Crane, Remaining Life, Fatigue.</i>	

Info Artikel	Abstrak
<i>Histori Artikel:</i>	Keandalan peralatan dalam sektor minyak dan gas, terutama pada sistem pengangkatan beban seperti <i>overhead crane</i> , merupakan aspek krusial yang mempengaruhi keselamatan dan kontinuitas operasi. Seiring berjalannya waktu, peralatan-peralatan tersebut akan mengalami degradasi akibat beban kerja berulang dan lingkungan operasi yang berat. Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No. 32 Tahun 2021, setiap peralatan yang telah mendekati atau melewati usia desainnya wajib dievaluasi kelayakannya melalui metode penilaian umur sisa (<i>Residual Life Assessment</i>). Studi ini mengkaji estimasi umur sisa peralatan angkat dengan pendekatan metode <i>fatigue life</i> , yang merujuk pada standar AISC 360-16. Analisis menunjukkan bahwa peralatan masih layak digunakan dalam jangka panjang dengan estimasi sisa umur sangat besar pada berbagai skenario pemakaian (83752 tahun untuk ringan, 33302 tahun untuk sedang dan 16635 tahun untuk berat). Nilai ini dihasilkan karena tegangan kerja aktual jauh lebih kecil dibandingkan batas tegangan yang diizinkan, sehingga siklus pembebanan secara teori bisa mencapai jumlah tak terbatas. Dalam studi ini, siklus dibatasi hingga 10 ⁸ untuk mempertimbangkan batasan praktis dan konservatisme desain.
Diserahkan: 29 Juni 2025	
Diterima: 04 Juli 2025	
Kata Kunci: <i>Overhead Crane, Umur Sisa, Fatigue.</i>	

*Corresponding author. Usman Siregar
Email address: usmansiregar2016@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Peralatan angkat (*lifting equipment*) seperti *overhead crane* merupakan komponen penting dalam sistem logistik dan produksi di industri minyak dan gas (American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2022)). Fungsinya yang strategis membuat alat ini bekerja secara berulang dengan beban yang bervariasi, sehingga rentan terhadap kelelahan material (*fatigue*) seiring waktu (Stephens, R. I., Fatemi, A., Stephens, R. R., & Fuchs, H. O., 2001; Bannantine, J. A., Comer, J. J., & Handrock, J. L., 1990). Salah satu tantangan yang sering dihadapi oleh pemilik dan operator instalasi adalah bagaimana memastikan bahwa peralatan yang sudah melewati usia desain tetap aman digunakan (Dowling, N.E., 2012).

Untuk menjawab tantangan tersebut, dilakukan *Residual Life Assessment* (RLA) – suatu pendekatan evaluasi teknis yang bertujuan untuk menentukan apakah suatu peralatan masih layak digunakan dengan aman dan efisien (DNV-GL, 2016). regulasi nasional, khususnya Peraturan Menteri ESDM No. 32 Tahun 2021 mengharuskan proses RLA dilakukan oleh pihak yang kompeten dan terakreditasi, terutama ketika menyangkut instalasi strategis seperti *lifting equipment* (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2021). Salah satu metode yang umum digunakan dalam RLA adalah *fatigue life assessment*. Metode ini memperkirakan jumlah siklus beban yang masih dapat ditahan oleh struktur sebelum mengalami kerusakan akibat kelelahan (BSI, 2005; Dowling, N.E., 2012). Dalam studi ini, metode *fatigue life* digunakan dengan mengacu pada panduan Appendix 3 – *Fatigue* dari AISC 360-16. Standar ini secara luas digunakan untuk struktur baja dan menyediakan pendekatan berbasis S-N Curve yang memungkinkan estimasi jumlah siklus hingga kegagalan berdasarkan kategori tegangan dan jenis sambungan (*American Institute of Steel Construction (AISC)*, 2016; Fisher, James M., & Van De Pas, Julius P, 2002). Hal ini menjadi sangat relevan untuk crane, karena komponen-komponen strukturalnya seperti girder dan sambungan pengelasan merupakan titik-titik kritis dalam analisis kelelahan.

Studi ini dilakukan pada sebuah crane jenis *Overhead Crane Single Girder* yang terpasang pada instalasi pengolahan minyak milik PT Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan. Penilaian dilakukan dengan menggabungkan data teknis pabrik, hasil inspeksi terakhir dan analisis struktur menggunakan perangkat lunak STAAD Pro untuk mendapatkan tegangan ekuivalen maksimum. Tujuan utama dari studi ini adalah untuk memberikan justifikasi teknis bahwa crane tersebut masih dapat beroperasi dengan aman melalui perpanjangan masa layan.

2. METODE PELAKSANAAN

Penilaian sisa umur layanan pada peralatan angkat dilakukan melalui pendekatan yang terstruktur dan menyeluruh dengan mengkaji data teknis serta riwayat operasional dari *crane* yang dianalisis. Informasi ini dihimpun dari berbagai dokumen penting, seperti laporan inspeksi terkini, data teknis dari pabrik dan log penggunaan harian peralatan. Di samping itu, inspeksi visual langsung terhadap kondisi fisik *crane* juga dilakukan untuk mengidentifikasi potensi cacat visual, seperti retakan, korosi, maupun deformasi permanen yang berpotensi mempengaruhi ketepatan analisis umur sisa.

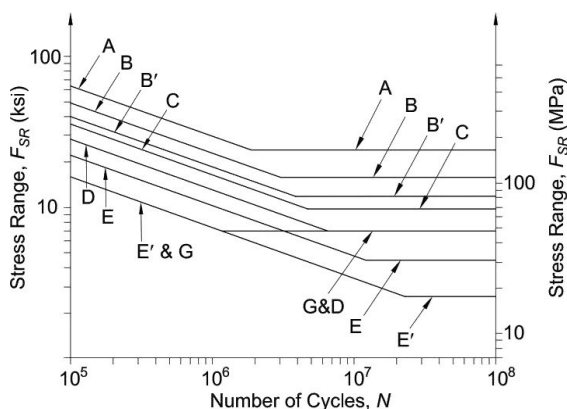
Obyek studi berupa *overhead crane* tipe *single girder* buatan Nippon dengan kapasitas angkat maksimal 1 ton. *Crane* tersebut telah beroperasi sejak tahun 1993 pada fasilitas produksi PT Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan yang terletak di Kabupaten Indramayu, Jawa Barat. Analisis struktur untuk menghitung tegangan maksimum dilakukan menggunakan perangkat lunak STAAD Pro dengan kondisi beban maksimum. Data teknis *Overhead Crane* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1.
Data Teknis *Overhead Crane*

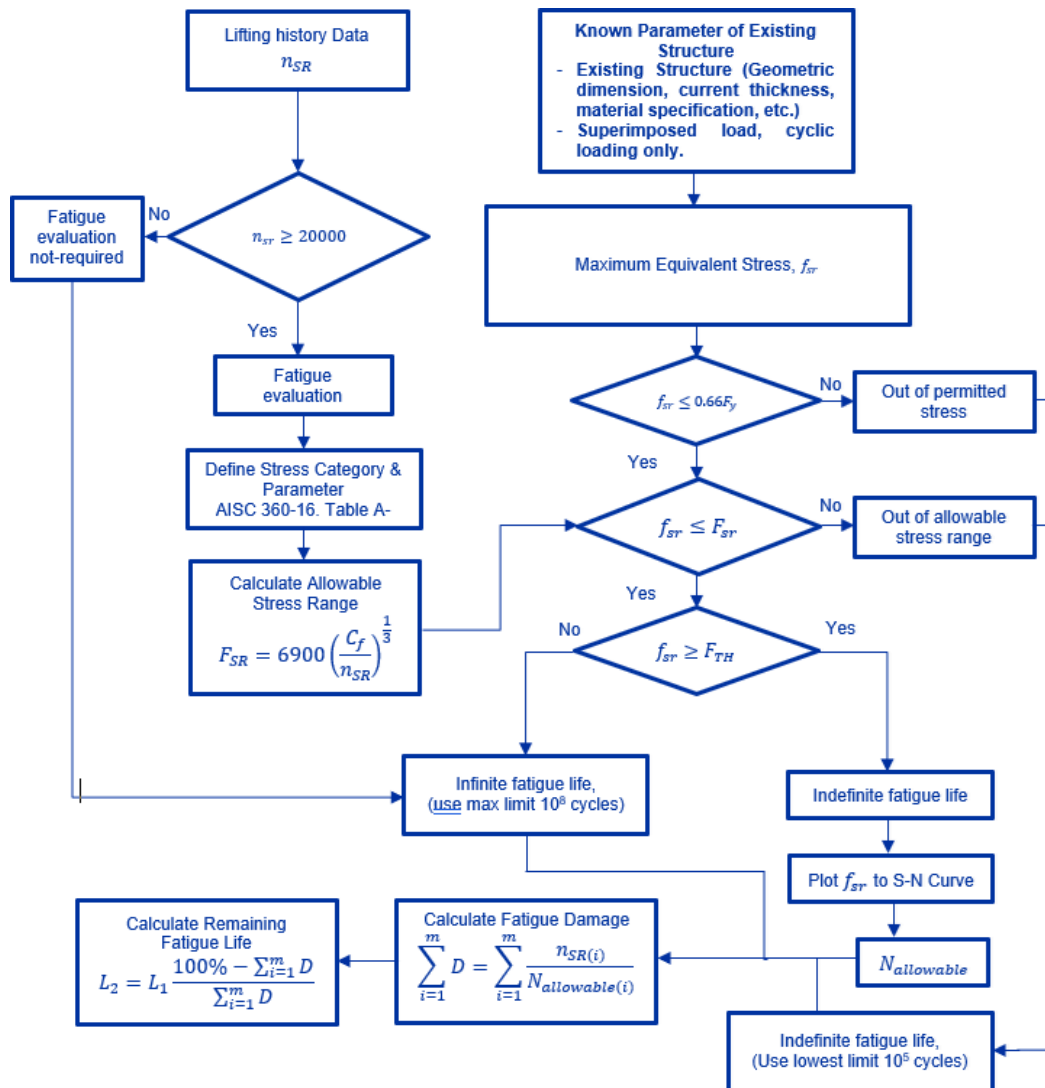
<i>General Data</i>	
Lokasi	Workshop Elektrikal
Pabrik Pembuat	Nippon Co., Ltd.
Tipe / Model	<i>Overhead Crane (Single Girder)</i>
Kapasitas Maksimum	1 ton
Panjang Bentang	7000 mm
Digunakan Untuk	<i>Lifting Equipment</i>
Part Line	4
Tahun Dibuat	1993

Metode perhitungan sisa umur layanan (*residual life*) pada peralatan angkat mengacu pada prosedur yang tertuang dalam AISC 360-16, khususnya pada Appendix 3 yang membahas fenomena *fatigue* atau kelelahan material akibat pembebanan berulang. Perhitungan ini mempertimbangkan beberapa parameter penting, yaitu *Maximum Equivalent Stress* (F_{SR}), *Number of Occuring Cycles* (n_{sr}), dan *Allowable Cycles* ($N_{allowable}$). Untuk memperoleh nilai F_{SR} , terlebih dahulu dilakukan analisis struktur terhadap kondisi beban maksimum yang mungkin dialami oleh crane selama masa operasinya. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak rekayasa struktur STAAD Pro yang memungkinkan pemodelan dan perhitungan gaya-gaya internal secara presisi.

Sementara itu, nilai F_{SR} ditentukan dengan merujuk pada kurva ketahanan *fatigue* yang terdapat dalam AISC 360-16. Kurva ini menghubungkan rentang tegangan dengan jumlah siklus maksimum yang masih dapat ditoleransi material sebelum mengalami kegagalan akibat kelelahan, dapat dilihat pada Gambar 1. Namun, untuk dapat menggunakan kurva ini secara tepat, diperlukan penentuan terlebih dahulu terhadap *stress category* dari sambungan atau detail struktur yang dianalisis, karena setiap kategori memiliki karakteristik ketahanan *fatigue* yang berbeda-beda, sebagaimana telah ditentukan dalam standar tersebut. Untuk mempermudah pemahaman dan penerapan metode ini, penulis menyajikan diagram alir proses perhitungan secara sistematis pada Gambar 2, yang menggambarkan langkah-langkah mulai dari pengumpulan data, analisis struktur, hingga estimasi sisa umur layan berdasarkan kurva *fatigue*.



Gambar 1.
S-N Curve atau Kurva Ketahanan *Fatigue* berdasarkan *Stress Category*
(Sumber: AISC/ANSI 360-16)

**Gambar 2.**

Prosedur Perhitungan Umur Sisa Berdasarkan Metode *Fatigue*

(Sumber: AISC/ANSI 360-16 Appendix 3)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis tegangan dari simulasi di STAAD Pro menunjukkan bahwa nilai tegangan ekuivalen *maksimum* (f_{sr}) yang terjadi pada struktur *crane* adalah 1.48 ksi (10.23 N/mm²). Nilai ini tergolong rendah jika dibandingkan dengan nilai batas *fatigue* dari material berdasarkan kurva S-N, yang menunjukkan bahwa struktur masih bekerja dalam batas aman terhadap kegagalan akibat kelelahan. Untuk memperkirakan siklus aktual (n_{sr}), asumsi operasional berdasarkan API RP 2D digunakan dengan tiga kategori beban:

- *Infrequent Usage*: penggunaan maksimal 10 jam/bulan (asumsi 1200 siklus/tahun).
- *Moderate Usage*: 10–50 jam/bulan (diambil 3000 siklus/tahun).
- *Heavy Usage*: lebih dari 50 jam/bulan (6000 siklus/tahun).

Tabel 2.Perhitungan *Number of Occuring Cycles* (n_{sr})

Dioperasikan Sejak	1993	
Waktu Dilakukan Analisis	2024	
Jumlah Tahun Beroperasi (L1)	31 Tahun	
<i>Number of occuring cycles (n_{sr})</i>		
<i>Infrequent Usage</i> (1200 siklus/tahun)	<i>Moderate Usage</i> (3000 siklus/tahun)	<i>Heavy Usage</i> (6000 siklus/tahun)
37200 siklus	93000 siklus	186000 siklus

Perhitungan *Allowable Cycles* ($N_{allowable}$) menggunakan kurva ketahanan *fatigue* yang ditampilkan pada Gambar 1. Cara pembacaan kurva mengikuti panduan sebagai berikut:

1. *Maximum Equivalent Stress* (f_{sr}) di bawah 23.76 ksi atau $0,66 F_y \rightarrow N_{allowable}$ mungkin tak terhingga.
2. *Allowable Stress Range* (F_{SR}) untuk setiap kategori penggunaan lebih besar dari $f_{sr} \rightarrow N_{allowable}$ mungkin tak terhingga.
3. *Threshold Allowable Stress* (F_{TH}) lebih besar dari $f_{sr} \rightarrow N_{allowable}$ mungkin tak terhingga.
4. Jika plot dari S-N Curve berada di bawah F_{TH} , $N_{allowable}$ mungkin tak terhingga, oleh karena itu dianggap sebagai 10^8 siklus.

Tabel 3.Perhitungan *Allowable Cycles* ($N_{allowable}$)

<i>Stress Range</i>	
F_{SR} untuk <i>Infrequent Usage</i>	69.0 ksi
F_{SR} untuk <i>Moderate Usage</i>	51.0 ksi
F_{SR} untuk <i>Heavy Usage</i>	40.0 ksi
<i>Max Combined Stress</i> (f_{sr})	1.48 ksi
<i>Threshold</i>	
<i>Section Category</i>	1
<i>Stress Category</i>	B
Cf	12
Threshold Allowable Stress (F_{TH})	16.0 ksi
<i>Result</i>	
<i>Allowable Cycles</i> ($N_{allowable}$)	10^8 siklus

Setelah nilai n_{sr} dan $N_{allowable}$ telah didapatkan, maka umur sisa (*remaining life*) dapat dihitung. *Fatigue damage* dalam hal ini didefinisikan sebagai persentase dari *occuring cycles* dibagi dengan *allowable cycles*. Umur sisa dihitung dengan perhitungan sebagai berikut:

$$L2 = L1[(100\% - \Sigma D) / \Sigma D]$$

dengan:

$L1$ = *Service Life*

$L2$ = *Remaining Life*

ΣD = *Fatigue Damage*

Tabel 4.

Perhitungan Umur Sisa

Usage Category	Infrequent Usage	Moderate Usage	Heavy Usage
<i>Number of Occuring Cycles</i> (n_{sr})	37200	93000	186000
<i>Allowable Cycles</i> ($N_{allowable}$)	10^8	10^8	10^8
<i>Fatigue Damage</i> $\Sigma D = \Sigma (n_{sr} / N_{allowable})$	0.037%	0.093%	0.186%
<i>Remaining Life</i> $L2 = L1[(100\% - \Sigma D) / \Sigma D]$	83752 Tahun	33302 Tahun	16635 Tahun

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai tegangan ekuivalen maksimum yang diperoleh dari analisis struktur, yaitu sebesar 1.48 ksi, berada jauh di bawah ambang batas tegangan *fatigue* sebesar 16 ksi sebagaimana ditetapkan dalam AISC 360-16. Kondisi ini mengindikasikan bahwa elemen struktural utama dari *crane* masih berada dalam kondisi yang sangat aman terhadap kemungkinan terjadinya kegagalan akibat kelelahan material. Estimasi umur sisa yang diperoleh, yaitu mencapai puluhan ribu tahun bahkan dalam skenario penggunaan berat, menunjukkan bahwa struktur *crane* memiliki margin keamanan yang sangat tinggi terhadap kondisi pembebanan aktual di lapangan (American Petroleum Institute (API), 2016)).

Hal ini juga mencerminkan bahwa dalam praktik operasionalnya, *crane* bekerja dalam rentang beban yang jauh lebih rendah dibandingkan kapasitas desain, sehingga secara signifikan memperpanjang masa layan struktur. Namun demikian, perlu ditekankan bahwa estimasi umur sisa tersebut merupakan hasil dari pendekatan teoritis yang didasarkan pada data teknis, asumsi penggunaan, serta kondisi ideal operasional. Dalam praktiknya, terdapat faktor-faktor operasional yang dapat menyebabkan akumulasi kerusakan, seperti kesalahan pengoperasian, beban dinamis tak terduga dan degradasi material akibat korosi atau paparan lingkungan. Oleh karena itu, hasil estimasi perlu selalu diimbangi dengan inspeksi berkala dan pemantauan kondisi aktual peralatan.

Keterbatasan pada studi ini adalah asumsi tegangan merata, tegangan maksimum dihitung dalam kondisi ideal (beban statis maksimal), tanpa memperhitungkan variasi beban dinamis atau kejadian tak terduga yang kerap terjadi dalam operasi aktual. Selain itu analisis tegangan menggunakan pendekatan makroskopik berbasis STAAD Pro dan belum melibatkan simulasi FEM dengan detail lokal, seperti *notch effect* atau konsentrasi tegangan pada sambungan las. Untuk itu pada rencana penelitian selanjutnya melakukan simulasi numerik berbasis elemen hingga (*Finite Element Method*) untuk menganalisis konsentrasi tegangan pada detail geometri sambungan atau daerah kritis lain secara lebih presisi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil perhitungan umur sisa layanan pada peralatan angkat menunjukkan bahwa peralatan tersebut masih memungkinkan untuk diperpanjang masa operasinya. Estimasi umur sisa yang diperoleh tergolong sangat signifikan, yaitu mencapai 83752 tahun untuk kategori penggunaan ringan (*infrequent usage*), 33302 tahun untuk penggunaan sedang (*moderate usage*) dan 16635 tahun untuk penggunaan berat (*heavy usage*). Umur sisa yang tinggi ini terutama disebabkan oleh nilai tegangan maksimum yang relatif rendah, yakni sebesar 1.48 ksi, yang masih jauh di bawah batas tegangan yang diizinkan sesuai standar.

Rendahnya tegangan tersebut berdampak pada tingginya jumlah siklus kelelahan yang masih dapat ditoleransi (*allowable fatigue cycles*), bahkan secara teoritis dapat mendekati nilai tak terbatas. Meskipun demikian, untuk meningkatkan validitas dan reliabilitas hasil analisis, diperlukan kajian lanjutan yang lebih komprehensif. Penelitian lanjutan ini diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai hubungan antara tegangan yang terjadi dengan kapasitas siklus kelelahan material. Selain itu, studi perbandingan terhadap pendekatan penilaian fatigue damage berdasarkan standar lain atau referensi teknis yang berbeda juga direkomendasikan sebagai bagian dari penguatan metodologi analisis.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada PT Intesco Global Internusa atas dukungan dan kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh pendidikan pada Program Profesi Insinyur di Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, di tengah tanggung jawab penulis sebagai staf *engineer* di perusahaan tersebut. Ucapan terima kasih yang tulus juga penulis sampaikan kepada orang tua, keluarga, rekan sejawat dan seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pelaksanaan kegiatan praktik keinsinyuran ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. American Institute of Steel Construction (AISC). (2016). AISC 360: *Specification for Structural Steel Building*.
2. American Petroleum Institute (API). (2016). API RP 2D: *Recommended Practice for Operation and Maintenance of Offshore Crane*.
3. American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2022). ASME B30.2: *Overhead and Gantry Cranes*.
4. Bannantine, J. A., Comer, J. J., & Handrock, J. L. (1990). *Fundamentals of Metal Fatigue Analysis*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
5. Stephens, R. I., Fatemi, A., Stephens, R. R., & Fuchs, H. O. (2001). *Metal Fatigue in Engineering* (2nd ed.). New York: Wiley-Interscience.
6. Dowling, N. E. (2012). *Mechanical Behavior of Materials: Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue* (4th ed.). Boston: Pearson.
7. DNV-GL. (2016). *Recommended Practice DNVGL-RP-C203: Fatigue Design of Offshore Steel Structures*. Høvik: Det Norske Veritas Germanischer Lloyd.
8. BSI. (2005). *BS 7608: Guide to Fatigue Design and Assessment of Steel Products*. London: British Standards Institution.
9. Fisher, James M., & Van De Pas, Julius P. (2002). New fatigue provisions for the design of crane runway girders. *Engineering Journal*, 39(2): 65–76.

10. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2021). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2021 tentang Inspeksi Teknis dan Pemeriksaan Keselamatan Instalasi dan Peralatan pada Kegiatan Usaha Minyak dan Gas Bumi*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.