Evaluasi Kelayakan Teknis Peralatan Pompa pada Kapal Tanker TK Sea Emerald Berdasarkan Persyaratan Regulasi ESDM

Bambang Setyono[1], Bambang Tri Nugroho[2], Erifive Pranatal[3]

Prodi Teknik Perkapalan Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2,3]
e-mail: bambang@itats.ac.id,

ABSTRACT

The reliability of High Speed Diesel (HSD) transfer pumps on tanker vessels plays an important role in ensuring operational safety and sustainability. This study aims to evaluate the technical feasibility of the HSD transfer pump on board the TK Sea Emerald based on the Regulation of the Minister of Energy and Mineral Resources (ESDM) Number 32 of 2021, considering the equipment's vibration condition and service life. A descriptive quantitative method was employed through observation, interviews, documentation, vibration measurements, reverse engineering, and Residual Life Assessment (RLA). Vibration measurements were conducted at four points on the pump and motor. The results showed a maximum vibration velocity of 2.91 mm/s RMS, which was below the limits of 3.0 mm/s specified by API 610 and 6.6 mm/s according to ISO 10816-7. The vibration assessment indicated no significant signs of unbalance, misalignment, bearing damage, or mechanical looseness. The RLA results indicated an estimated remaining service life of 16.83 years or 202 months. Based on the regulatory evaluation, vibration condition, and remaining service life, the HSD transfer pump was technically considered fit for continued operation. Periodic inspections and condition monitoring are recommended to maintain equipment reliability and operational safety.

Keywords: *technical feasibility, centrifugal pump, HSD transfer pump, vibration, ESDM Regulation No. 32 of 2021*

ABSTRAK

Keandalan pompa transfer High Speed Diesel (HSD) pada kapal tanker berperan penting dalam menjamin keselamatan dan keberlanjutan operasi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kelayakan teknis pompa transfer HSD pada Kapal TK Sea Emerald berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 32 Tahun 2021, dengan mempertimbangkan kondisi vibrasi dan umur layan peralatan. Penelitian menggunakan metode kuantitatif deskriptif melalui observasi, wawancara, dokumentasi, pengukuran vibrasi, *reverse engineering*, dan *Residual Life Assessment* (RLA). Pengukuran vibrasi dilakukan pada empat titik pada pompa dan motor. Hasil menunjukkan nilai *vibration velocity* maksimum sebesar 2,91 mm/s RMS, berada di bawah batas 3,0 mm/s berdasarkan API 610 dan 6,6 mm/s berdasarkan ISO 10816-7. Evaluasi vibrasi tidak menunjukkan indikasi *unbalance*, *misalignment*, kerusakan *bearing*, maupun *mechanical looseness*. Hasil RLA menunjukkan estimasi sisa umur layan pompa sebesar 16,83 tahun atau 202 bulan. Berdasarkan hasil evaluasi regulasi, kondisi vibrasi, dan umur layan, pompa transfer HSD dinyatakan layak secara teknis untuk dioperasikan. Inspeksi berkala dan *condition monitoring* diperlukan untuk mempertahankan keandalan dan keselamatan operasi.

Kata kunci: kelayakan teknis, pompa sentrifugal, pompa transfer HSD, vibrasi, Permen ESDM No. 32 Tahun 2021

PENDAHULUAN

Kapal merupakan sarana transportasi penting dalam mendukung kegiatan ekonomi, perdagangan, dan distribusi energi, khususnya di Indonesia sebagai negara kepulauan. Kapal TK Sea Emerald merupakan *Floating Storage Offloading* (FSO) yang digunakan sebagai fasilitas penyimpanan dan penyaluran bahan bakar minyak jenis High Speed Diesel (HSD) di wilayah perairan Barito Kuala, Kalimantan Selatan. Keandalan instalasi dan peralatan pada kapal tersebut menjadi faktor penting untuk menjamin keselamatan, kontinuitas, dan efisiensi operasi.

Kegiatan usaha minyak dan gas bumi mensyaratkan penerapan kaidah keteknikan yang baik untuk menjamin keselamatan, keamanan, dan keandalan operasi. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya

Mineral (ESDM) Nomor 32 Tahun 2021 mengatur inspeksi teknis dan pemeriksaan keselamatan instalasi serta peralatan pada kegiatan usaha minyak dan gas bumi [1]. Regulasi tersebut menegaskan pentingnya pemeriksaan terhadap kondisi dan kelayakan instalasi maupun peralatan sebagai bagian dari upaya menjamin keselamatan dan keandalan operasi. Oleh karena itu, evaluasi teknis terhadap peralatan yang telah beroperasi dalam jangka panjang diperlukan untuk memastikan kondisi aktualnya masih memenuhi persyaratan yang berlaku.

Pompa transfer merupakan salah satu peralatan utama dalam proses pemindahan HSD sehingga keandalannya berpengaruh langsung terhadap kontinuitas operasi. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk mengevaluasi kondisi mesin berputar adalah analisis vibrasi. Vibrasi dapat digunakan untuk mengidentifikasi berbagai kondisi abnormal, antara lain *unbalance*, *misalignment*, kerusakan *bearing*, *mechanical looseness*, dan kerusakan komponen pompa [2–4]. Penelitian Prawira et al. menunjukkan bahwa pengukuran vibrasi pada pompa sentrifugal dapat digunakan sebagai bagian dari *predictive maintenance* untuk menentukan tingkat *severity* kondisi peralatan [2]. Putra juga menunjukkan bahwa analisis sinyal vibrasi mampu mengidentifikasi *misalignment*, kerusakan *bearing*, dan indikasi kerusakan impeller pada pompa sentrifugal [3]. Perkembangan penelitian selanjutnya menunjukkan bahwa data vibrasi juga dapat digunakan untuk pemantauan kondisi dan diagnosis gangguan pada pompa sentrifugal secara lebih sistematis [4–6].

Evaluasi vibrasi perlu dilakukan dengan mengacu pada standar yang sesuai dengan karakteristik peralatan. ISO 10816-7 secara khusus memberikan pedoman evaluasi vibrasi pada pompa rotodinamik untuk aplikasi industri [7]. Sementara itu, API 610 merupakan standar teknis yang digunakan untuk pompa sentrifugal pada industri petroleum, petrokimia, dan gas alam [8]. Penggunaan kedua acuan tersebut bersama dengan persyaratan regulasi ESDM dapat memberikan dasar yang lebih komprehensif dalam menilai kondisi teknis pompa.

Selain kondisi vibrasi, umur operasi peralatan juga merupakan faktor penting dalam menentukan kelayakan penggunaannya. Peralatan yang telah beroperasi dalam waktu lama perlu dievaluasi berdasarkan kondisi aktual, riwayat operasi, dan estimasi sisa umur layan. *Residual Life Assessment* (RLA) dapat digunakan untuk memperkirakan sisa umur peralatan dan mendukung pengambilan keputusan mengenai pemeliharaan, perbaikan, atau penggantian [9,10]. Pendekatan RLA juga relevan dalam konteks regulasi ESDM, khususnya ketika kondisi atau umur peralatan memerlukan evaluasi lebih lanjut untuk memastikan keberlanjutan operasi [1,9].

Penelitian terdahulu umumnya membahas diagnosis kerusakan pompa berdasarkan karakteristik vibrasi atau pengembangan sistem *condition monitoring*. Namun, kajian yang mengintegrasikan kesesuaian regulasi, pengukuran vibrasi, dan evaluasi sisa umur layan pada pompa transfer HSD yang beroperasi di atas kapal masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kelayakan teknis pompa transfer HSD pada Kapal TK Sea Emerald berdasarkan Permen ESDM Nomor 32 Tahun 2021 dengan mengintegrasikan hasil pemeriksaan regulasi, pengukuran vibrasi pada pompa dan motor, serta *Residual Life Assessment*. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar teknis dalam menentukan kelayakan operasi pompa dan menyusun rekomendasi inspeksi serta *condition monitoring* untuk mempertahankan keandalan dan keselamatan operasi.

TINJAUAN PUSTAKA

Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal merupakan mesin fluida yang mengubah energi mekanik dari penggerak menjadi energi tekanan dan kecepatan fluida melalui putaran impeller. Pompa jenis ini banyak digunakan untuk pemindahan fluida pada industri minyak dan gas karena mampu menghasilkan aliran kontinu dan beroperasi pada berbagai kondisi kerja. Kinerja pompa dipengaruhi oleh kondisi mekanis, putaran, kapasitas aliran, tekanan, serta kondisi komponen seperti impeller, poros, bantalan, dan *mechanical seal* [11,12].

Vibrasi pada Pompa

Vibrasi merupakan salah satu parameter penting dalam pemantauan kondisi mesin berputar. Perubahan tingkat vibrasi dapat menunjukkan adanya ketidakseimbangan (*unbalance*), ketidaksejajaran (*misalignment*), *mechanical looseness*, kerusakan bantalan, maupun gangguan pada komponen pompa. Oleh karena itu, pengukuran vibrasi dapat digunakan sebagai metode *condition monitoring* dan *predictive maintenance* untuk mendeteksi gangguan sebelum berkembang menjadi kegagalan peralatan [12–15].

Prawira et al. melakukan inspeksi pompa sentrifugal menggunakan *vibration analyzer* dan menunjukkan bahwa pengukuran vibrasi dapat digunakan untuk menentukan tingkat *severity* kondisi pompa dan motor [12]. Putra menunjukkan bahwa analisis sinyal vibrasi dapat mengidentifikasi indikasi *parallel misalignment* serta kerusakan bantalan dan impeller pada pompa sentrifugal [13]. Rachmanu juga menunjukkan bahwa analisis spektrum vibrasi berbasis FFT efektif dalam mengidentifikasi *soft foot* dan *misalignment* pada pompa sentrifugal [14]. Sementara itu, Suhesti et al. menunjukkan bahwa pemeriksaan vibrasi secara rutin dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi operasional pompa dan mendukung kegiatan pemeliharaan prediktif [15].

Evaluasi Vibrasi Berdasarkan Standar

Evaluasi kondisi vibrasi perlu dilakukan dengan menggunakan standar yang sesuai dengan karakteristik mesin. ISO 10816-7 digunakan untuk evaluasi vibrasi pada pompa rotodinamik melalui pengukuran pada bagian yang tidak berputar, sedangkan API 610 merupakan standar teknis untuk pompa sentrifugal yang digunakan dalam industri petroleum, petrokimia, dan gas alam [16,17]. Nilai *vibration velocity* menjadi salah satu parameter penting dalam menentukan tingkat kondisi mesin dan membandingkannya dengan kriteria penerimaan yang digunakan dalam penelitian.

Regulasi Kelayakan Peralatan Migas

Kelayakan peralatan pada kegiatan usaha minyak dan gas bumi tidak hanya ditentukan berdasarkan kondisi teknis, tetapi juga harus memenuhi persyaratan regulasi. Peraturan Menteri ESDM Nomor 32 Tahun 2021 mengatur inspeksi teknis dan pemeriksaan keselamatan instalasi serta peralatan pada kegiatan usaha minyak dan gas bumi [18]. Ketentuan tersebut menjadi dasar dalam memastikan bahwa peralatan yang digunakan memenuhi aspek keselamatan dan kaidah keteknikan yang baik.

Untuk memperjelas pelaksanaan regulasi tersebut, Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi menerbitkan beberapa pedoman teknis pada tahun 2024. Keputusan Direktur Teknik dan Lingkungan Migas Nomor 199.K/HK.02/DMT/2024 mengatur mekanisme inspeksi teknis dan pemeriksaan keselamatan. Selanjutnya, Nomor 182.K/HK.02/DMT/2024 mengatur mekanisme *reverse engineering* untuk memperoleh parameter desain peralatan yang tidak memiliki dokumen desain, sedangkan Nomor 183.K/HK.02/DMT/2024 mengatur mekanisme *Residual Life Assessment* (RLA) untuk penilaian perpanjangan sisa umur layan [19–21]. Keberadaan pedoman tersebut memperkuat dasar teknis dalam melakukan evaluasi kelayakan peralatan yang telah beroperasi dalam jangka panjang. Ketiga pedoman tersebut tercantum pada daftar pedoman resmi Ditjen Migas dan laporan kinerja Ditjen Migas [19–21].

Residual Life Assessment

Residual Life Assessment (RLA) merupakan pendekatan untuk menentukan sisa umur layan suatu peralatan berdasarkan kondisi aktual, riwayat operasi, mekanisme kerusakan, dan hasil pemeriksaan teknis. RLA diperlukan terutama pada peralatan yang telah mencapai atau melewati umur desain sehingga keputusan perpanjangan operasi dapat dilakukan berdasarkan pertimbangan keselamatan dan kaidah keteknikan [20].

Kholis melakukan kajian RLA pada peralatan industri migas dan menunjukkan bahwa evaluasi umur layan dapat digunakan untuk menentukan kemungkinan perpanjangan operasi peralatan berdasarkan hasil evaluasi dokumen, kondisi lapangan, mekanisme kerusakan, serta umur peralatan [22]. Pendekatan tersebut relevan dengan penelitian ini karena pompa transfer HSD pada TK Sea Emerald merupakan peralatan yang telah beroperasi dalam jangka panjang dan memerlukan evaluasi kondisi aktual serta estimasi sisa umur layan.

Posisi Penelitian

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa analisis vibrasi efektif untuk mendeteksi kondisi abnormal pada pompa dan mendukung *predictive maintenance* [12–15]. Penelitian RLA pada industri migas juga menunjukkan pentingnya evaluasi umur layan dalam menentukan keberlanjutan operasi peralatan [22].

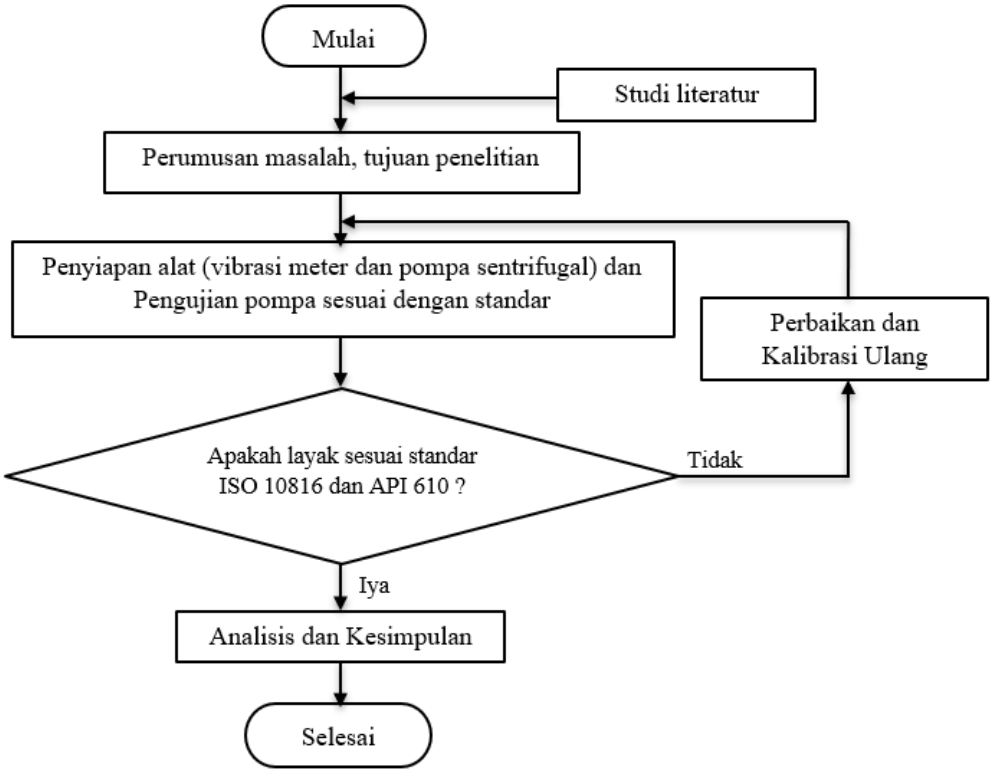
Namun, penelitian yang mengintegrasikan evaluasi regulasi ESDM, pengukuran vibrasi, *reverse engineering*, dan RLA pada pompa transfer HSD yang beroperasi di atas kapal masih terbatas.

Dengan demikian, penelitian ini memposisikan analisis kelayakan pompa transfer HSD pada TK Sea Emerald melalui integrasi aspek regulasi, kondisi vibrasi, dan sisa umur layan. Pendekatan tersebut diharapkan memberikan dasar yang lebih komprehensif dalam menentukan kelayakan teknis dan keberlanjutan operasi pompa.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif untuk mengevaluasi kelayakan teknis pompa transfer High Speed Diesel (HSD) pada Kapal TK Sea Emerald. Penelitian dilaksanakan pada pompa transfer HSD yang beroperasi di wilayah Sungai Barito, Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

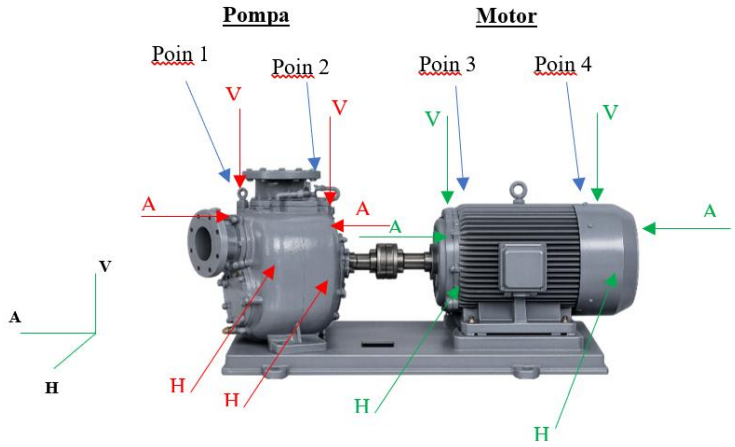
Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, dokumentasi, wawancara, pemeriksaan kondisi peralatan, serta pengukuran vibrasi pada pompa dan motor. Pengukuran vibrasi dilakukan pada empat titik pengukuran dengan parameter *vibration velocity* dalam satuan mm/s RMS. Data hasil pengukuran dibandingkan dengan kriteria yang mengacu pada API 610 dan ISO 10816-7 untuk mengidentifikasi kondisi operasional dan indikasi gangguan seperti *unbalance*, *misalignment*, kerusakan *bearing*, dan *mechanical looseness*.

Evaluasi kelayakan dilakukan dengan mengintegrasikan hasil pemeriksaan teknis terhadap persyaratan Peraturan Menteri ESDM Nomor 32 Tahun 2021, hasil pengukuran vibrasi, serta evaluasi umur layan. *Reverse engineering* digunakan untuk melengkapi parameter teknis apabila data desain tidak tersedia, sedangkan *Residual Life Assessment* (RLA) digunakan untuk memperkirakan sisa umur layan pompa.

Hasil seluruh evaluasi kemudian digunakan untuk menentukan status kelayakan teknis pompa dan menyusun rekomendasi inspeksi berkala serta *condition monitoring*.

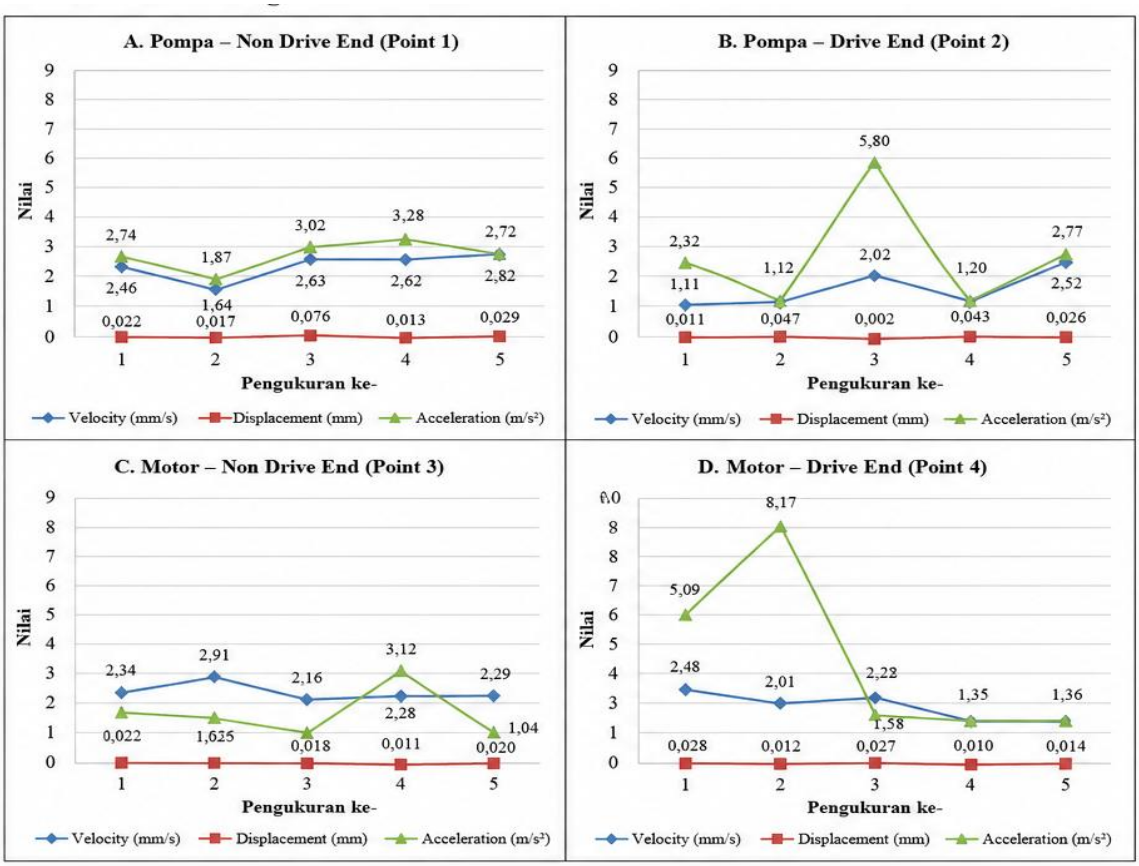
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian vibrasi dilakukan terhadap pompa TK Sea Emerald pada kondisi operasi normal (*steady state operation*). Pengukuran dilaksanakan pada empat titik pengukuran yang mewakili sisi pompa dan sisi motor, dengan arah pengukuran aksial (A), vertikal (V), dan horizontal (H). dengan parameter standar API 610 dan ISO 10816-7.



Gambar 2. Titik-titik Pengukuran Data Vibrasi

Nilai hasil pengukuran dinyatakan dalam satuan mm/s (RMS**)** dan selanjutnya dibandingkan dengan batas penerimaan berdasarkan Standard API 610 dan ISO10816-7 sebagai dasar evaluasi kondisi dan kelayakan operasional pompa. Hasil pengukuran vibrasi pompa adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Hasil Pengukuran Vibrasi Pompa

ISSN 2775-5630

Tabel 1. Hasil Pengukuran Vibrasi Berbanding Dengan Standar API 610 dan ISO 10816-7

Peralatan	Posisi Pengukuran	Hasil Pengukuran Velocity (V) - mm/s			Standar Velocity (V) - mm/s		Keterangan
		Aksial (A)	Vertikal (V)	Horizontal (H)	API 610	10816-7	
Pompa	Rata-Rata Non Drive End (NDE) / Poin 1	2,82	0,82	0,72	Maks. < 3,0	Maks. 6,6	Memenuhi
	Rata-Rata Drive End (DE) / Poin 2	2,82	1,96	2,55			Memenuhi
Motor	Rata-Rata Non Drive End (DE) / Poin 3	2,91	2,58	2,55			Memenuhi
	Rata-Rata Drive End (NDE) / Poin 4	2,91	2,74	2,55			Memenuhi

Analisis Kelayakan Pompa Berdasarkan Vibrasi dan Umur Layan

Berdasarkan hasil pengukuran, nilai *vibration velocity* maksimum pada pompa transfer HSD sebesar 2,91 mm/s RMS. Nilai tersebut masih berada di bawah batas 3,0 mm/s RMS yang digunakan sebagai kriteria penerimaan berdasarkan API 610. Dengan demikian, dari aspek vibrasi, kondisi mekanis pompa masih memenuhi kriteria yang ditetapkan dan tidak menunjukkan indikasi gangguan yang memerlukan penghentian operasi.

Evaluasi berdasarkan ISO 10816-7 menunjukkan hasil yang konsisten. Dengan daya motor penggerak sebesar 15 kW, nilai vibrasi maksimum 2,91 mm/s RMS masih berada di bawah batas 6,6 mm/s RMS yang digunakan dalam penelitian. Selisih yang cukup besar antara nilai aktual dan batas evaluasi menunjukkan bahwa tingkat vibrasi pompa masih berada pada kondisi yang dapat diterima. Hasil ini juga mendukung bahwa tidak terdapat indikasi signifikan *unbalance*, *misalignment*, kerusakan *bearing*, maupun *mechanical looseness* pada saat pengukuran.

Selain kondisi vibrasi, kelayakan pompa dievaluasi melalui *Reverse Engineering* (RE), *Residual Life Assessment* (RLA), dan pemeriksaan keselamatan berdasarkan Permen ESDM Nomor 32 Tahun 2021. Hasil RLA menunjukkan sisa umur layan pompa sebesar 16,83 tahun atau 202 bulan, terhitung sejak *assessment* pada 19 April 2024. Hasil tersebut menunjukkan bahwa secara umur layan pompa masih memiliki kapasitas operasi yang memadai.

Secara keseluruhan, integrasi hasil evaluasi vibrasi, RE, RLA, dan pemeriksaan regulasi menunjukkan bahwa pompa transfer HSD pada Kapal TK Sea Emerald memenuhi kriteria kelayakan teknis untuk dioperasikan. Meskipun demikian, kelayakan tersebut perlu dipertahankan melalui inspeksi teknis berkala, *condition monitoring*, dan pemeliharaan berbasis kondisi untuk mendeteksi perubahan vibrasi atau degradasi komponen sejak dini.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi, pompa transfer *High Speed Diesel* (HSD) pada Kapal TK Sea Emerald memenuhi kriteria kelayakan teknis untuk dioperasikan. Nilai *vibration velocity* maksimum sebesar 2,91 mm/s RMS masih berada di bawah batas evaluasi API 610 sebesar 3,0 mm/s RMS dan ISO 10816-7 sebesar 6,6 mm/s RMS, serta tidak menunjukkan indikasi signifikan *unbalance*, *misalignment*, kerusakan *bearing*, maupun *mechanical looseness*. Hasil *Residual Life Assessment* (RLA) menunjukkan sisa umur layan sebesar 16,83 tahun atau 202 bulan sejak *assessment* pada 19 April 2024. Integrasi hasil pemeriksaan regulasi, kondisi vibrasi, *reverse engineering*, dan RLA menunjukkan bahwa pompa masih layak secara teknis untuk mendukung operasi transfer HSD. Untuk mempertahankan keandalan dan keselamatan operasi, diperlukan inspeksi teknis berkala, *condition monitoring*, dan pemeliharaan berbasis kondisi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 32 Tahun 2021 tentang Inspeksi Teknis dan Pemeriksaan Keselamatan Instalasi dan Peralatan pada Kegiatan Usaha Minyak dan Gas Bumi," Jakarta, 2021.

[2] M. G. Prawira, A. Jannifar, and Sariyusda, "Inspeksi Pompa Centrifugal Berbasis Data Vibrasi Menggunakan Vibration Analyzer di PT Pertamina EP Asset 1 Field Rantau," *Jurnal Mesin Sains Terapan*, vol. 2, no. 1, pp. 43–50, 2018, doi: 10.30811/jmst.v2i1.643.

[3] L. A. Putra, "Analisa Kerusakan Pompa Sentrifugal P-011C di PT. Sulfindo Adiusaha dengan Menggunakan Transducer Getaran Accelerometer," *Jurnal Teknik Mesin (Journal of Mechanical Engineering)*, vol. 5, no. 3, pp. 98–104, 2016, doi: 10.22441/jtm.v5i3.1211.

[4] L. Chen, L. Wei, Y. Wang, et al., "Monitoring and Predictive Maintenance of Centrifugal Pumps Based on Smart Sensors," *Sensors*, vol. 22, no. 6, 2106, 2022, doi: 10.3390/s22062106.

[5] A. Dutta, I. A. Karimi, and S. Farooq, "PROAD (Process Advisor): A health monitoring framework for centrifugal pumps," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 163, 107825, 2022, doi: 10.1016/j.compchemeng.2022.107825.

[6] J. P. S. Gonçalves, F. Fruett, J. G. Dalfré Filho, and M. Giesbrecht, "Faults detection and classification in a centrifugal pump from vibration data using Markov parameters," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 158, 107694, 2021, doi: 10.1016/j.ymssp.2021.107694.

[7] International Organization for Standardization, *ISO 10816-7:2009 Mechanical Vibration—Evaluation of Machine Vibration by Measurements on Non-Rotating Parts—Part 7: Rotodynamic Pumps for Industrial Applications, Including Measurements on Rotating Shafts*, Geneva: ISO, 2009.

[8] American Petroleum Institute, *API Standard 610: Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries*, 12th ed., Washington, DC: American Petroleum Institute, 2021.

[9] A. Anur and H. A. Hutahaean, "Penilaian Perpanjangan Sisa Umur Layan (Residual Life Assessment) Pressure Vessel Menggunakan Metode Fitness For Service," *Jurnal Praktik Keinsinyuran*, vol. 2, no. 4, 2025, doi: 10.25170/jpk.v2i04.7016.

[10] D. Fitriyani and Yanto, "Perhitungan Umur Layan (Residual Life Assessment) Instalasi PT. KPI RU IV Cilacap dengan Metode Reliability Block Diagram," *Jurnal Praktik Keinsinyuran*, vol. 1, no. 3, 2024, doi: 10.25170/jpk.v1i03.6427.

[11] M. A. Siregar, "Pengaruh Variasi Sudut Keluar Impeler terhadap Performance Pompa Sentrifugal," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 3, no. 2, pp. 166–174, 2020.

[12] M. G. Prawira, A. Jannifar, and Sariyusda, "Inspeksi Pompa Centrifugal Berbasis Data Vibrasi Menggunakan Vibration Analyzer di PT Pertamina EP Asset 1 Field Rantau," *Jurnal Mesin Sains Terapan*, vol. 2, no. 1, pp. 43–50, 2018, doi: 10.30811/jmst.v2i1.643.

[13] L. A. Putra, "Analisa Kerusakan Pompa Sentrifugal P-011C di PT. Sulfindo Adiusaha dengan Menggunakan Transducer Getaran Accelerometer," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 5, no. 3, 2016, doi: 10.22441/jtm.v5i3.1211.

[14] F. Rachmanu, "Pemantauan Kondisi Pompa Sentrifugal P-12A Menggunakan Analisis Vibrasi Studi Kasus di PT. X," *Jurnal Ramatekno*, vol. 2, no. 1, pp. 14–19, 2022, doi: 10.61713/jrt.v2i1.34.

[15] Suhesti, A. R. Agustini, and E. Tarigan, "Performansi Vibrasi Pompa pada Steam Condensate Pump (G-2707)," *SINERGI Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 86–91, 2024, doi: 10.51510/sinergipolmed.v5i1.1496.

[16] International Organization for Standardization, *ISO 10816-7:2009, Mechanical Vibration—Evaluation of Machine Vibration by Measurements on Non-Rotating Parts—Part 7: Rotodynamic Pumps for Industrial Applications, Including Measurements on Rotating Shafts*, Geneva: ISO, 2009.

[17] American Petroleum Institute, *API Standard 610: Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries*, 12th ed., Washington, DC: API, 2021.

[18] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 32 Tahun 2021 tentang Inspeksi Teknis dan Pemeriksaan Keselamatan Instalasi dan Peralatan pada Kegiatan Usaha Minyak dan Gas Bumi*, Jakarta: Kementerian ESDM, 2021.

[19] Direktorat Teknik dan Lingkungan Minyak dan Gas Bumi, *Keputusan Direktur Teknik dan Lingkungan Minyak dan Gas Bumi Selaku Kepala Inspeksi Minyak dan Gas Bumi Nomor*

199.K/HK.02/DMT/2024 tentang Mekanisme Inspeksi Teknis dan Pemeriksaan Keselamatan pada Kegiatan Usaha Minyak dan Gas Bumi, Jakarta: Ditjen Migas, 2024.

[20] Direktorat Teknik dan Lingkungan Minyak dan Gas Bumi, *Keputusan Direktur Teknik dan Lingkungan Minyak dan Gas Bumi Selaku Kepala Inspeksi Minyak dan Gas Bumi Nomor 183.K/HK.02/DMT/2024 tentang Mekanisme Perpanjangan Sisa Umur Layan (Residual Life Assessment) Instalasi dan Peralatan pada Kegiatan Usaha Minyak dan Gas Bumi*, Jakarta: Ditjen Migas, 2024.

[21] Direktorat Teknik dan Lingkungan Minyak dan Gas Bumi, *Keputusan Direktur Teknik dan Lingkungan Minyak dan Gas Bumi Selaku Kepala Inspeksi Minyak dan Gas Bumi Nomor 182.K/HK.02/DMT/2024 tentang Mekanisme Rekayasa Terbalik (Reverse Engineering) pada Kegiatan Usaha Minyak dan Gas Bumi*, Jakarta: Ditjen Migas, 2024.

[22] I. 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 MigasZoom*, vol. 5, no. 2, pp. 119–126, 2023, doi: 10.37525/mz/2023-2/512.