

Monitoring Kondisi Mesin Induk Kapal Berdasarkan Teknik Emisi Akustik

Novitha L. Th. Thenu¹⁾, Abdul Hadi²⁾, Enrico Kongle³⁾

¹⁾Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email:noviththenu@gmail.com,

²⁾Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email:a.haditsp@gmail.com,

³⁾Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email:enrikokongle1@gmail.com

Abstrak Emisi akustik merupakan metode non destruktif yang digunakan untuk mendeteksi, memantau, dan menganalisis kondisi kerja mesin berdasarkan gelombang bunyi yang dihasilkan oleh komponen permesinan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi mesin induk kapal melalui sinyal emisi akustik guna mendeteksi dini potensi kerusakan atau degradasi performa. Pengambilan data dilakukan dengan menepatkan sensor akustik piezoelektrik di beberapa titik pada blok mesin. Penelitian ini menggunakan metode observasi, metode kepustakaan dan metode wawancara. Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa tingkat bunyi atau nilai SPL dari mesin induk KM. Pangrango pada mesin kanan dan kiri sebesar 303,9 dB. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa kondisi mesin induk telah melebihi Nilai Ambang Batas (NAB) kebisingan yang telah ditetapkan oleh standar internasional yaitu The Maritime International Organization Resoulution MSC.337(91) Adoption of the Code On Noise Levels On Board Ships. Analisis frekuensi dominan dan amplitudo sinyal memberikan indikasi adanya ketidakseimbangan, keausan, serta ketidakselarasan komponen. Penelitian ini menunjukkan bahwa teknik emisi akustik efektif digunakan sebagai metode *condition monitoring* pada mesin induk kapal.

Kata kunci : emisi akustik, non destruktif, nilai ambang batas, condition monitoring

1. PENDAHULUAN

Kinerja mesin induk kapal sangat berpengaruh terhadap keselamatan dan kelaiklautan kapal. Selama ini, metode pemantauan kondisi mesin banyak dilakukan melalui analisis getaran (*vibration analysis*) dan termografi. Namun, metode tersebut memiliki keterbatasan dalam mendeteksi kerusakan mikro pada tahap awal. Monitoring mesin induk yang dalam hal ini berkaitan dengan pemeriksaan dan pengujian merupakan langkah yang perlu diambil oleh pihak kapal. Monitoring mesin induk bertujuan untuk mengetahui kondisi mesin, apakah masih berada dalam kondisi baik dan sesuai dengan kebutuhan pengoperasian mesin induk untuk kapal yang sudah beroperasi sudah cukup lama. Menurut Permenhub No, 57 Tahun 2021, pemeriksaan kapal adalah pemeriksaan lengkap terhadap semua hal yang berkaitan dengan sertifikat keselamatan kapal, guna memastikan pemenuhan semua persyaratan untuk operasional kapal. Keselamatan kapal adalah keadaan kapal yang memenuhi persyaratan material, konstruksi, bangunan, permesinan dan pelistrikan, stabilitas, tata susunan serta perlengkapan termasuk perlengkapan alat penolong dan radio, elektronik kapal, yang dibuktikan dengan sertifikat setelah dilakukan pemeriksaan dan pengujian. Kelaiklautan kapal adalah keadaan kapal yang memenuhi persyaratan keselamatan kapal, pencegahan pencemaran perairan dari kapal, pengawakan, garis muat, pemuatan, kesejahteraan awak

kapal dan kesehatan penumpang, status hukum kapal, manajemen keselamatan dan pencegahan pencemaran dari kapal, dan manajemen keamanan Kapal untuk berlayar di perairan tertentu. Berdasarkan informasi dari kru mesin bahwa mesin induk yang merupakan kapal penumpang, masih menggunakan mesin induk yang sama sejak awal pengoperasian. Kegiatan perawatan rutin selalu dilakukan setiap kali kapal singgah di pelabuhan dan kegiatan ini wajib dilaksanakan untuk mempertahankan atau menjaga kondisi mesin induk agar tetap dalam kondisi baik. Mengingat usia kapal yang sudah lama sehingga pemeriksaan yang ketat harus terus dilakukan terhadap mesin induk. Oleh sebab itu, penulis akan melakukan pemantauan kondisi mesin dengan menggunakan pengukuran emisi akustik (Acoustic Emission/AE). Adapun keunggulan proses monitoring kondisi mesin dengan pengukuran akustik adalah kondisi mesin dapat dimonitor selama kapal beroperasi.

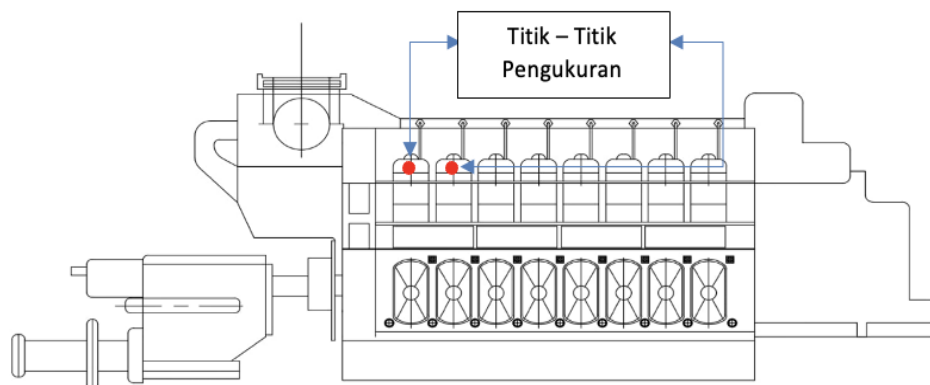
Penelitian ini didukung oleh beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan *Acoustic Emission (AE) Technology*. Berbagai macam kerusakan mesin dapat dideteksi dan didiagnosis secara efektif menggunakan sejumlah kecil sensor dan analisis domain waktu dan frekuensi sederhana dari gelombang AE. Analisis domain waktu menawarkan deteksi dan diagnosis yang jelas dan andal terhadap sebagian besar kerusakan injektor dibandingkan dengan analisis frekuensi yang hanya memberikan deteksi yang jelas. Untuk menilai kondisi pengoperasian piston di mesin, hanya terbatas pada inspeksi berkala dan analisis oli. Atas dasar penelitian ini, pemantauan AE menawarkan informasi diagnostik yang dapat dimanfaatkan untuk menawarkan pemantauan kondisi dan kinerja mesin. Kemampuan emisi akustik untuk melakukan diagnosa yang cepat dan mura telah dapat ditunjukkan melalui penelitiannya, tanpa memerlukan modifikasi fisik pada mesin. Kemampuan sinyal akustik menjadi metode diagnostik yang dapat diakses untuk menjaga performa mesin dan menghindari tingkat emisi yang tinggi. Analisis sinyal menggunakan root mean square, terbukti mampu mendeteksi perubahan emisi akustik yang diakibatkan oleh persentase beban mesin yang merupakan konsekuensi dari perubahan aliran bahan bakar dan tekanan yang lebih tinggi di ruang bakar. Selanjutnya, penelitian yang merekomendasikan bahwa komponen atau proses tertentu dapat dipantau dengan sukses dengan diagnostik AE. Konteks aplikasi untuk diagnostik AE perlu dipertimbangkan dan menjadi kandidat kuat untuk memberikan informasi secara lebih efektif daripada pilihan diagnostik lainnya. Bunyi bising yang ditimbulkan oleh suara mesin tidak dapat dihindari dan bunyi bising yang timbul ini dapat mengindikasikan kondisi mesin induk kapal. Jika melebihi nilai ambang batas yang telah ditetapkan dan terjadi terus - menerus pada waktu yang cukup lama dapat diindikasikan bahwa kondisi mesin induk tidak dalam kondisi normal. Nilai Ambang Batas (NAB) kebisingan (yang disebabkan oleh suara mesin) telah ditetapkan oleh standar internasional yaitu *The Maritime International Organization Resoulution MSC.337(91) Adoption of the Code On Noise Levels On Board Ships* untuk kapal-kapal yang mempunyai bobot 1.600 s/d 10.000 GT dan melebihi 10.000 GT, batasannya adalah 110 dB. Adapun penyebab bunyi pada mesin induk dapat disebabkan karena gaya yang terjadi secara berulang karena ketidakseimbangan pondasi mesin, seperti sebuah mesin yang memiliki titik as/pusat yang sudah tidak seimbang akan berakibat putaran mengayun yang mengakibatkan ada persentase gaya ayunan tersebut yang terus berlanjut secara berulang - ulang. Penyebab lainnya adalah kelonggaran komponen pondasi, dikarenakan komponen pendukung pada sebuah mesin tidak cukup kuat pada waktu pemasangan yang akan mengakibatkan getaran dan menghasilkan suatu bunyi. Di dalam mesin induk terdapat mekanisme gerak dari piston yang bergerak secara translasi dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) dimana terdapat gerakan piston yang terhubung dengan poros engkol. Keseluruhan mekanisme gerak menghasilkan gerakan yang menimbulkan getaran dan bunyi. Mekanisme ini terus berulang setiap kali mesin induk beroperasi. Jumlah silinder pada mesin induk sebanyak 8 buah silinder, dapat dibayangkan akibat yang timbul berupa getaran dan respon bunyi yang cukup

kompleks. Sinyal bunyi yang dihasilkan akibat dinamika gerak pada setiap blok silinder dapat menjadi informasi untuk memantau kondisi mesin induk yang sebenarnya secara keseluruhan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui tingkat tekanan bunyi dari mesin induk dan kondisi mesin induk kapal berdasarkan tingkat bunyi yang terukur. Tingkat tekanan bunyi dapat menjadi pilihan pemodelan prognostik untuk memprediksi perkembangan kondisi mesin induk dan kemungkinan hasil akhirnya, seperti getaran berlebih. Prognostik bukanlah diagnosa, melainkan prediksi tentang kemungkinan yang akan terjadi pada mesin induk di masa depan dan seberapa kemungkinan untuk memulihkan kondisi mesin induk. Data tingkat tekanan bunyi membantu operator atau pihak kapal untuk membuat rencana perawatan yang tepat serta membantu mengambil keputusan. Namun, penting untuk diingat bahwa sebuah prediksi dapat berubah meskipun didasarkan pada data dan pengetahuan terbaik, banyak faktor yang tidak dapat diprediksi yang dapat memengaruhi hasil akhir.

2. METODE

A. Eksperimen dan Setup

Persiapan awal yang dilakukan untuk penelitian ini adalah menyiapkan perangkat alat ukur bunyi yang dilengkapi dengan perekam dan mikrofon. Langkah selanjutnya adalah menentukan titik pengukuran. Titik pengukuran yang dipakai pada pengukuran ini adalah posisi peletakan alat ukur untuk mengukur sinyal akustik. Penentuan titik pengukuran didasarkan pada kondisi fisik mesin induk dan titik ukur yang dimungkinkan dapat memberikan hasil ukur yang berarti. Titik pengukuran terletak pada posisi antara kepala silinder, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1 Titik – titik pengukuran pada mesin induk



Gambar 2 Titik pengukuran pada mesin induk

B. Prosedur Penelitian

Pengukuran dilakukan dengan mengikuti prosedur pengukuran sebagai berikut :

1. Proses pengukuran bunyi pada mesin induk dilakukan di saat kapal melayari rute Ambon-Namrole dan Namrole-Ambon.
2. Penelitian ini dilaksanakan pada saat kapal beroperasi. Dapat dijelaskan bahwa kondisi yang dihadapi pada saat penelitian, peneliti berhadapan dengan berbagai faktor yang sangat kompleks. Oleh sebab itu, penelitian ini dibatasi pada beberapa hal, antara lain : pengukuran dilakukan dalam kondisi kapal sedang beroperasi di kecepatan servis 8 knot dan putaran mesin 600 rpm; pengukuran terpusat pada mesin induk;
3. Pengukuran dilakukan pada titik-titik pengukuran tertentu;
4. Kondisi gelombang air laut diasumsikan dalam kondisi tenang.
5. Menentukan waktu pengambilan data selama kapal berlayar.
6. Mengalokasikan waktu antara akhir pengukuran dan pengukuran berikutnya sehingga alat ukur dapat dikondisikan lagi untuk pengukuran berikutnya.
7. Pengukuran diambil sebanyak 50 kali agar hasil pengukuran lebih akurat
8. Menyimpan data pengukuran dengan baik.
9. Sinyal yang diperoleh kemudian disaring menggunakan *band-pass filter* 20–400 kHz untuk mengurangi noise.

C. Pengolahan Data

a. Root Mean Square (RMS)

RMS menggambarkan kandungan energi dari getaran sinyal. Getaran sinyal tidak peka terhadap komponen insiden yang terjadi dan digunakan untuk mengevaluasi kondisi keseluruhan dari bahan. RMS dirumuskan sebagai :

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} + x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_n^2} \quad (1)$$

Dimana

x_{RMS} = akar kuadrat rata-rata nilai analog sinyal,
 $x = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ adalah himpunan n nilai x_1

b. Sound Presser Level (SPL)

Decibel merupakan ukuran energi bunyi atau kuantitas yang dipergunakan sebagai unit – unit tingkat tekanan bunyi berbobot A. Yang dilakukan untuk menyederhanakan plot – plot multiple dan menyebandingkan kuantitas logaritmik dari stimulus akustik yang diterima telinga manusia dari luar. Untuk mengukur tekanan suatu bunyi digunakan rumus sebagai berikut :

$$SPL = 20 \log_{10} \frac{P}{P_{ref}} \quad (2)$$

Dimana :

SPL = Sound Presurre Level/ Tingkat Tekanan Bunyi, dB.
 P = Tekanan bunyi yang terukur, N/m²
 P_{ref} = Tekanan bunyi referensi sebesar 20 mikro pascal atau 2 10⁵ N/m²

Bunyi kompleks, dalam hal ini kebisingan yang berasal dari beberapa sumber bunyi tidak bisa dijumlahkan secara langsung secara aljabar, karena tingkat tekanan bunyi merupakan fungsi logaritma tekanan bunyi untuk mendapatkan tingkat bunyi total. Perhitungan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$SPL_{Total} = 10 \log \frac{1}{N} \left(\text{antilog} \frac{SPL_1}{10} + \text{antilog} \frac{SPL_2}{10} + \dots + \text{antilog} \frac{SPL_n}{n} \right)$$

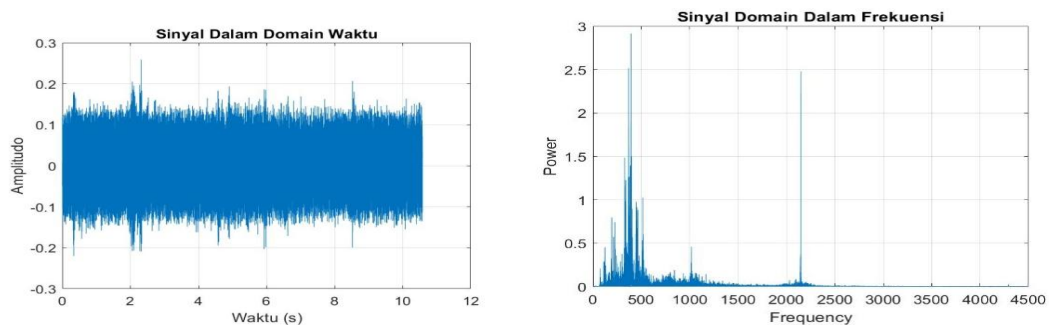
Dimana :

SPL_{Total}	=	Tingkat Kebisingan total dari berbagai sumber bunyi, dB
SPL_1	=	Tingkat Kebisingan Sumber 1
SPL_2	=	Tingkat Kebisingan Sumber 2
N	=	Jumlah Sumber Kebisingan

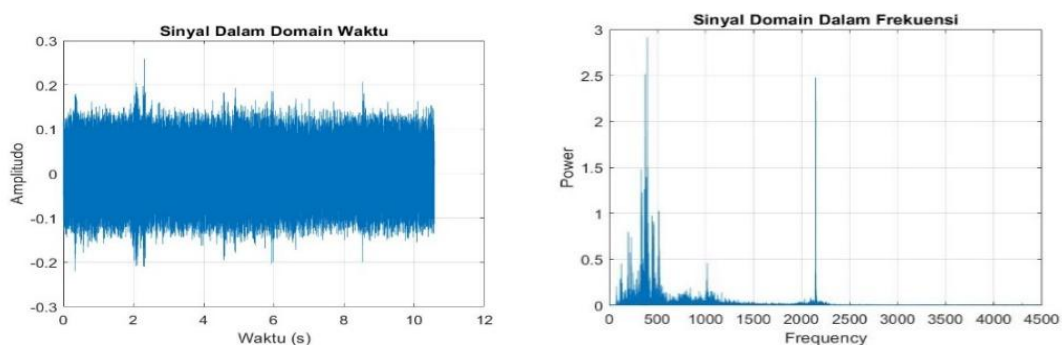
Dari rumus (3) didapatkan tingkat bunyi total yang berasal dari beberapa posisi titik pengukuran yang berbeda sesuai dengan titik pengukuran yang telah ditentukan sebelumnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran sinyal emisi akustik (AE) dilakukan pada saat mesin induk beroperasi dengan kecepatan servis 8 knot. Sebagaimana telah disebutkan di bagian sebelumnya, sinyal AE pada kepala silinder dapat dihasilkan dari berbagai sumber. Sinyal AE dapat dihasilkan akibat gerakan dislokasi dan gesekan pada material. Deformasi plastis sekecil apa pun dapat menghasilkan gelombang elastis yang dapat menyebabkan getaran eksternal pada suatu benda. Jika amplitudo gerakan permukaan cukup besar, hal tersebut dapat dideteksi oleh sensor AE atau transduser yang terpasang pada permukaan yang digetarkan [12][13]. Pengukuran dilakukan pada sumber bunyi berdasarkan aktivitas mekanis pada kepala silinder. Dimana di bagian kepala silinder terdapat aktivitas pembukaan dan penutupan katup dan proses injeksi Sinyal bunyi yang terukur adalah bunyi campuran dari berbagai sumber. Secara statistik, bunyi campuran terdiri dari sinyal - sinyal bunyi yang bersifat independent yang kejadian dan asalnya tidak bergantung antara satu sinyal bunyi dengan sinyal bunyi lainnya. Dengan demikian penempatan alat ukur pada titik - titik pengukuran yang telah ditunjukkan pada bagian sebelumnya telah ditentukan dengan dasar bahwa jarak alat ukur di tiap titik pengukuran dapat merekam sinyal bunyi aktivitas di kepala silinder. Gambar 3 dan 4 menunjukkan hasil pengukuran bunyi pada mesin induk bagian kanan dan kiri. Spektrum bunyi dimunculkan dalam domain waktu dan domain frekuensi

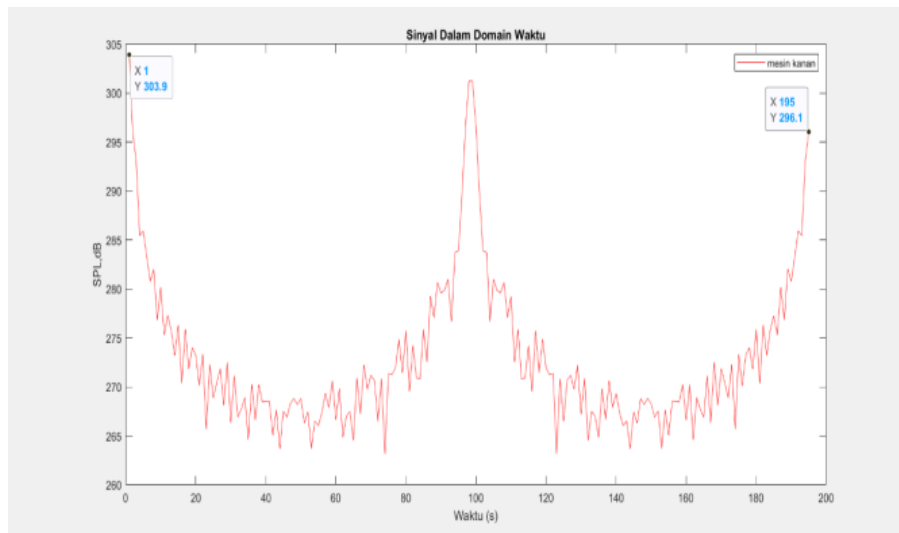


Gambar 3. Spektrum bunyi mesin induk kanan
(a) domain waktu dan (b) domain frekuensi

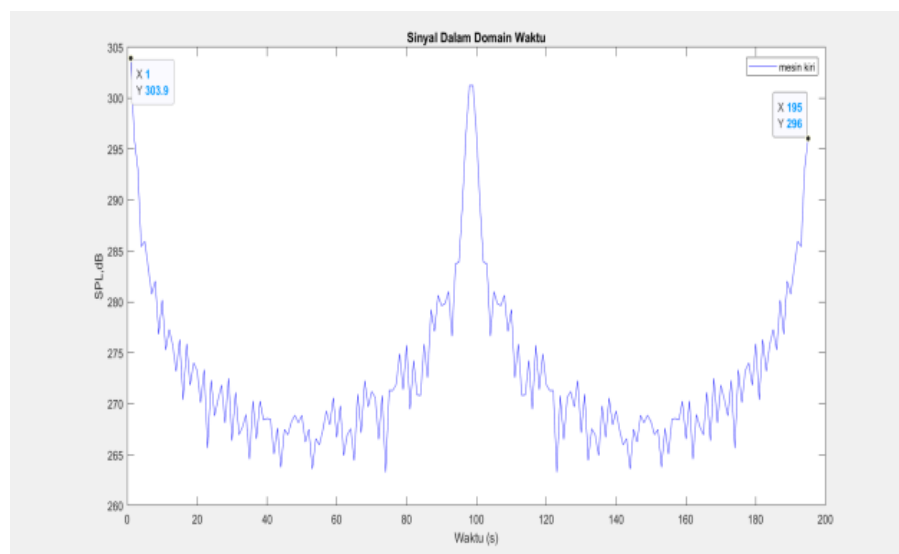


Gambar 4. Spektrum bunyi mesin kiri
(a) domain waktu dan (b) domain frekuensi

Setelah sinyal bunyi dimunculkan atau ditampilkan dalam domain waktu dan frekuensi, langkah selanjutnya adalah menampilkan sinyal plot rata-rata dari data variabel. Data variabel ini diperoleh dari data variabel sebagai suatu fungsi waktu. Data variable ini diambil dari program matlab dengan membuka ikon open workspace variable t. Setelah nilai diambil rata-rata kemudian kembalikan ke matlab dan diproses dengan menggunakan skrip program untuk menampilkan spektrum sinyal bunyi pada mesin kanan dan kiri, seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 4. SPL Mesin Kanan



Gambar 6. SPL Mesin Kiri

Nilai tingkat tekanan bunyi pada mesin kanan sebesar 303,9 dB sementara nilai tingkat tekanan bunyi pada mesin kiri sebesar 303,9 dB. Nilai Root Mean Square yang diperoleh mesin kanan sebesar 273.1609 dB dan untuk mesin kiri sebesar 273.1609 dB.

Berdasarkan hasil spektrum sinyal yang diperoleh, tingkat tekanan bunyi (SPL) telah terlihat atau terbaca sebesar 303,9 dB pada mesin kanan dan kiri. Dengan nilai ambang batas untuk kapal dengan *Gross tonnage* (GT) 2.620 Reg. Tons menurut IMO batasan tingkat tekanan bunyi sebesar 110 dB, untuk hasil pengukuran sebesar 303,9dB dengan demikian tingkat tekanan bunyi yang terukur pada mesin induk khusus pada posisi antara silinder 4,5 sebesar 303,9dB sudah melebihi nilai ambang batas.

4. SIMPULAN

Teknologi pemantauan emisi akustik berpotensi untuk diterapkan pada pemantauan kesehatan mesin induk kapal yang sedang beroperasi yang menghasilkan peningkatan keselamatan dan manfaat ekonomi yang diperoleh dari survei, inspeksi, dan pemeliharaan yang lebih efisien. Kesimpulan utamanya adalah sebagai berikut:

- a) Monitoring kondisi mesin induk dengan emisi akustik menjanjikan potensi yang besar untuk memonitor kondisi mesin induk.
- b) Lingkungan ruang mesin di kapal memiliki sejumlah besar derau latar belakang bunyi yang dapat mengganggu pengumpulan data emisi akustik.
- c) Dari hasil pengukuran dan olah data ditentukan bahwa tingkat tekanan bunyi atau nilai SPL dari mesin kanan dan kiri sebesar 303,9dB. Dapat diketahui bawah kondisi mesin induk telah melebihi Nilai Ambang Batas (NAB) kebisingan yang telah ditetapkan oleh standar internasional yaitu The Maritime International Organization Resoultion MSC.337(91) Adoption of the Code On Noise Levels On Board Ships. Oleh sebab itu perlu kajian lebih detail dengan melakukan pengukuran pada bagian - bagian mesin induk lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Permenhub Nomor No, 57 Tahun 2021 tentang Tata cara pemeriksaan, pengujian, dan sertifikasi keselamatan kapal
- M. Fadhlan, M. Yusof, A. Solahuddin, "Monitoring Of Engine Lubrication Using Acoustic Emission Technology", Faculty of Mechanical Engineering, University Malaysia Pahang, Malaysia, 2019.
- M. F. M. Yusof, M. Ishak and M. F. Ghazali, "Weld depth estimation during pulse mode laser welding process by the analysis of the acquired sound using feature extraction analysis and artificial neural network", <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.04.004>
- Myeongho Song, Quang Dao Vuong and Donchool Lee, "Acoustic Emission Signal Monitoring Software for Marine Diesel Engine using MATLAB", 2019.
- Xuan Thin DONG, Manh Hung NGUYEN, "Experimental Study of Identifying Emission Sources of Acoustic Signals on the Cylinder Body of a Two-Stroke Marine Diesel Engine", 2020.
- Fathi Hassen Elamin, "Fault Detection and Diagnosis in Heavy Duty Diesel Engines Using Acoustic Emission'
- Jorge Duarte-Forero, Sergio Andrés Ramón-Ramón, Guillermo Valencia-Ochoa, "Failure analysis in single-cylinder diesel engine SK-MDF300 through acoustic emissions", 2020.
- Brian Dykas and James Harris, "Acoustic Emission Sensing for Maritime Diesel Engine Performance and Health", 2016
- The Maritime International Organization Resoultion MSC.337(91) Adoption of the Code On Noise Levels On Board Ships
- QIANKUN HU , YONGPING ZHAO , YUQIANG WANG , PEI PENG , AND LIHUA REN, "Remaining Useful Life Estimation in Prognostics Using Deep Reinforcement Learning", Journals and magazines IEEE Acces, vol 11, pp.32919 –32934, 2023.
- J. Zhu, T. Nostrand, C. Spiegel and B. Morton, "Survey of condition indicators for condition monitoring systems", Proceedings of Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, pp. 635–647, 2014, Texas, USA.
- D. Eitzen and H.Wadley, "Acoustic Emission: Establishing The Fundamentals", Journal of Research of the national Bureau of Standards, 89, pp. 75-100, 1984.
<https://doi.org/10.6028/jres.089.008>
- C. U. Grosse and M. Ohtsu, "Acoustic Emission Testing", 2008.