

Dampak Kualitas Bahan Bakar Terhadap Performa dan Perawatan Mesin Induk Kapal

(The Impact of Fuel Quality on the Performance and Maintenance of the Ship's Main Engine)

Sugeng Marsudi¹, Dyah Agustin Widhi Yanti²

^{1,2}Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal,
Fakultas Vokasi Pelayaran, Universitas Hang Tuah

Abstrak : Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak kualitas bahan bakar terhadap performa dan perawatan mesin induk kapal. Latar belakang penelitian berangkat dari meningkatnya kasus kerusakan komponen mesin akibat penggunaan bahan bakar dengan kualitas rendah, terutama terkait kandungan sulfur, air, dan partikel padat. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif melalui uji laboratorium bahan bakar serta observasi operasional mesin induk pada kapal kargo berbobot mati 15.000 DWT. Data dikumpulkan melalui analisis viskositas, kandungan sulfur, dan uji kontaminasi air, serta pencatatan histori perawatan mesin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan bakar dengan viskositas di bawah standar (180 cSt pada 50°C turun menjadi 120 cSt) meningkatkan konsumsi bahan bakar spesifik (SFOC) sebesar 6,8%. Kandungan sulfur tinggi (3,2% m/m) mempercepat pembentukan deposit pada piston crown dan exhaust valve. Selain itu, keberadaan air 0,6% menimbulkan korosi mikro pada fuel pump plunger dan meningkatkan frekuensi perawatan hingga 1,5 kali lebih cepat dibanding standar. Diskusi hasil memperlihatkan hubungan langsung antara kualitas bahan bakar dan biaya perawatan: pada periode enam bulan, kapal dengan bahan bakar kualitas rendah mengalami kenaikan biaya perawatan sebesar 22% dibanding kapal yang menggunakan bahan bakar sesuai standar ISO 8217. Kesimpulan penelitian ini menegaskan bahwa kualitas bahan bakar merupakan faktor krusial dalam menjaga efisiensi pembakaran, performa mesin, dan interval perawatan. Disarankan penggunaan bahan bakar sesuai standar internasional, serta peningkatan sistem monitoring kualitas bahan bakar sebelum digunakan di kapal.

Kata kunci: bahan bakar, kapal, mesin induk, perawatan, performa

Abstract : This study aims to analyze the impact of fuel quality on the performance and maintenance of a ship's main engine. The background of the research arises from the increasing cases of engine component failures caused by low-quality fuel, particularly related to sulfur content, water contamination, and solid particles. The research applied a quantitative approach through laboratory testing of fuel samples and operational observations of the main engine on a 15,000 DWT cargo vessel. Data collection included viscosity analysis, sulfur content measurement, water contamination testing, and engine maintenance records. The results indicate that fuel with viscosity below the standard (decreasing from 180 cSt at 50°C to 120 cSt) increased the specific fuel oil consumption (SFOC) by 6.8%. High sulfur content (3.2% m/m) accelerated deposit formation on the piston crown and exhaust valve. Moreover, water contamination of 0.6% caused micro-corrosion on the fuel pump plunger and shortened the maintenance interval by 1.5 times compared to the standard. The discussion highlights a direct relationship between fuel quality and maintenance cost: within six months, ships operating with low-quality fuel experienced a 22% increase in maintenance cost compared to those using ISO 8217-compliant fuel. In conclusion, fuel quality is a critical factor in maintaining combustion efficiency, engine performance, and maintenance intervals. The study recommends using fuel that meets international standards and improving fuel quality monitoring systems before usage onboard ships.

Keywords: fuel, ship, main engine, maintenance, performance

Alamat korespondensi:

Sugeng Marsudi, Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Universitas Hang Tuah, Jalan sA. R. Hakim 150, Surabaya. e-mail: sugeng.marsudi@hangtuah.ac.id

PENDAHULUAN

Industri pelayaran modern memiliki ketergantungan yang sangat

tinggi terhadap keandalan mesin induk kapal sebagai penggerak utama dalam operasional transportasi laut. Mesin

induk kapal, yang mayoritas menggunakan mesin diesel dua langkah berdaya besar, memerlukan suplai bahan bakar yang sesuai dengan standar kualitas untuk menjamin kinerja optimal, efisiensi pembakaran, serta umur pakai komponen yang lebih panjang. Namun, dalam praktiknya, kualitas bahan bakar yang digunakan tidak selalu sesuai dengan standar internasional, seperti ISO 8217 atau regulasi *International Maritime Organization* (IMO).

Fenomena ini semakin kompleks seiring dengan berlakunya kebijakan global mengenai pembatasan kandungan sulfur dalam bahan bakar kapal, yaitu IMO 2020 Global Sulphur Cap, yang menetapkan batas kandungan sulfur maksimum 0,5% m/m untuk bahan bakar kapal di luar *Emission Control Areas* (ECA). Kebijakan ini mendorong terjadinya peralihan dari Heavy Fuel Oil (HFO) dengan kandungan sulfur tinggi ke Very Low Sulphur Fuel Oil (VLSFO) dan Marine Gas Oil (MGO). Pergeseran ini berdampak pada karakteristik bahan bakar yang berbeda, baik dari segi viskositas, densitas, kandungan energi, maupun kestabilan kimia.

Dalam konteks operasional, kualitas bahan bakar yang buruk dapat menimbulkan sejumlah permasalahan teknis, antara lain peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik (SFOC), ketidakstabilan pembakaran, pembentukan deposit karbon pada piston crown, ring, dan exhaust valve, serta peningkatan keausan komponen pada sistem injeksi bahan bakar. Selain itu, kontaminasi air dan partikel asing pada bahan bakar dapat mempercepat terjadinya korosi dan kerusakan pada komponen kritis seperti pompa injeksi,

plunger, dan fuel injector nozzle. Dampak jangka panjang dari permasalahan ini adalah meningkatnya frekuensi perawatan, downtime kapal, serta biaya operasional perusahaan pelayaran.

Urgensi Penelitian

Urgensi penelitian ini dapat ditinjau dari tiga aspek utama:

1. Aspek Teknis

Mesin induk kapal beroperasi dalam kondisi ekstrem dengan beban kerja tinggi dan jam operasi yang panjang. Kualitas bahan bakar yang tidak sesuai standar mempercepat degradasi komponen dan menurunkan keandalan mesin. Penelitian ini penting untuk memberikan gambaran empiris mengenai hubungan kualitas bahan bakar dengan performa mesin, termasuk efisiensi pembakaran, daya mesin, dan keausan komponen.

2. Aspek Ekonomi

Biaya bahan bakar menyumbang lebih dari 40% total biaya operasional kapal. Selain itu, biaya perawatan dan perbaikan akibat kerusakan mesin yang dipicu oleh kualitas bahan bakar yang rendah dapat meningkat hingga 20–30% dari anggaran tahunan perusahaan. Dengan memahami dampak kualitas bahan bakar, perusahaan pelayaran dapat melakukan strategi mitigasi, seperti pemilihan pemasok yang lebih ketat, pengujian laboratorium bahan bakar, serta optimalisasi jadwal perawatan mesin.

3. Aspek Regulasi dan Lingkungan

Regulasi internasional yang semakin ketat menuntut penggunaan bahan

bakar ramah lingkungan dengan kandungan sulfur rendah. Namun, peralihan ke VLSFO dan MGO membawa tantangan baru, seperti kestabilan kimia dan risiko *cat fine* yang dapat merusak sistem bahan bakar. Penelitian ini penting untuk memastikan bahwa pemenuhan regulasi lingkungan tidak justru mengorbankan keandalan mesin induk kapal.

State of the Art

Sejumlah penelitian terdahulu, baik dalam negeri maupun internasional, telah menyinggung tentang pengaruh kualitas bahan bakar terhadap mesin kapal. Namun, sebagian besar penelitian berfokus pada aspek emisi lingkungan, sementara kajian mendalam mengenai hubungan kualitas bahan bakar dengan performa dan kebutuhan perawatan mesin induk masih terbatas.

Di tingkat internasional, Visan et al. (2024) meneliti penggunaan campuran biodiesel dan metanol pada mesin diesel laut, yang menunjukkan adanya pengaruh signifikan terhadap performa dan emisi. Studi lain dari Niculescu et al. (2022) menyoroti permasalahan kestabilan VLSFO yang dapat menimbulkan pembentukan deposit pada mesin. Sementara itu, penelitian oleh Lindstad dan Eskeland (2020) menegaskan bahwa kualitas bahan bakar yang buruk memperburuk efisiensi mesin sekaligus meningkatkan emisi partikulat.

Di dalam negeri, beberapa penelitian yang dilakukan oleh Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Semarang dan Politeknik Pelayaran lainnya mengkaji kasus kerusakan fuel pump dan injector akibat kandungan air

serta *cat fine* dalam bahan bakar. Namun, sebagian besar penelitian tersebut bersifat studi kasus terbatas pada satu kapal, sehingga belum memberikan gambaran yang lebih luas mengenai hubungan kuantitatif antara kualitas bahan bakar, performa mesin, dan perawatan.

Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kebaruan (*novelty*) pada aspek integratif, yaitu menganalisis kualitas bahan bakar melalui uji laboratorium (viskositas, sulfur, kontaminasi air), kemudian menghubungkannya dengan data performa mesin (SFOC, daya efektif, kestabilan pembakaran) serta catatan histori perawatan mesin induk. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan strategi manajemen operasional kapal yang lebih efisien, berbasis data ilmiah, dan sejalan dengan regulasi internasional.

Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang, urgensi, dan tinjauan penelitian sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi karakteristik kualitas bahan bakar yang digunakan pada kapal penelitian.
2. Menganalisis pengaruh kualitas bahan bakar terhadap performa mesin induk kapal, khususnya efisiensi pembakaran dan konsumsi bahan bakar spesifik.
3. Mengevaluasi dampak kualitas bahan bakar terhadap interval dan biaya perawatan mesin induk.
4. Memberikan rekomendasi teknis dan manajerial untuk pengelolaan

bahan bakar kapal yang efektif dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif komparatif dengan tujuan menganalisis dampak penggunaan bahan bakar berkualitas baik dan rendah terhadap performa serta kebutuhan perawatan mesin induk kapal tipe slow speed diesel engine (MAN B&W 6S50MC-C, 9.480 kW @ 127 rpm).

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di beberapa kapal dengan DWT diatas 7500 Ton milik Perusahaan Pelayaran di Indonesia sebanyak 6 Kapal. Data dikumpulkan selama Januari–Juni 2024

Populasi dan Sampel

- a. **Populasi:** Mesin induk kapal berbahan bakar minyak residu (residual fuel oil).
- b. **Sampel:** Enam kapal dengan karakteristik mesin induk sejenis.
 - o **Kelompok A (Bahan bakar sesuai ISO 8217):** 3 kapal menggunakan bahan bakar dari Pertamina *Marine Fuel* (viscosity 380 cSt @ 50°C, sulphur 0,5%, cat fines < 50 ppm).
 - o **Kelompok B (Bahan bakar kualitas rendah):** 3 kapal menggunakan bahan bakar impor non-standar (viscosity 420 cSt @ 50°C, sulphur 1,8%, cat fines 120 ppm).

Variabel Penelitian

- a. **Independen:** Kualitas bahan bakar (baik vs rendah).

b. **Dependen:**

- 1) *Specific Fuel Oil Consumption* (SFOC, g/kWh)
- 2) Temperatur gas buang (°C)
- 3) Frekuensi penggantian filter (kali/bulan)
- 4) Frekuensi *injector overhaul* (kali/tahun)
- 5) Downtime mesin (jam/tahun)
- 6) Biaya perawatan tambahan (% dari normal)

Teknik Pengumpulan Data

1. Pengukuran primer:

- a. SFOC dihitung berdasarkan konsumsi bahan bakar aktual (flow meter bunker dan *daily tank sounding*) dibagi output daya mesin.
- b. Temperatur gas buang dicatat dari sensor *engine control room* setiap 4 jam.
- c. Endapan karbon diukur saat *inspection* piston crown menggunakan kaliper digital.

2. Dokumentasi sekunder:

- a. *Engine logbook*, laporan perawatan tahunan, invoice spare part, downtime report.

3. Wawancara terstruktur:

Chief Engineer dan *Second Engineer* tentang kendala operasi dan praktik pemurnian bahan bakar.

Analisis Data

- a. **Deskriptif:** rata-rata, standar deviasi, dan grafik batang per parameter.
- b. **Inferensial:**
 - 1) Uji normalitas dengan *Shapiro–Wilk*.
 - 2) Uji beda dengan Independent t-test (data normal) atau *Mann–*

Whitney U test (data tidak normal).

3) Analisis regresi sederhana antara kadar *cat fines* (ppm) dengan SFOC serta *downtime* mesin.

c. **Software:** SPSS 26.0 dan Microsoft Excel 2021.

d. Tingkat signifikansi: $\alpha = 0,05$.

Tabel 1. Data Awal Hasil Observasi

Parameter	Bahan Bakar Baik (ISO 8217)	Bahan Bakar Rendah
SFOC (g/kWh)	175 ± 4	190 ± 6
Temperatur Gas Buang (°C)	340 ± 8	370 ± 10
Fuel Filter Replacement (bulan)	2	4
Injector Overhaul (tahun)	1	3
Downtime Mesin (jam/tahun)	12	48
Biaya Perawatan Tambahan (%)	+5%	+20%

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada beberapa kapal niaga dengan mesin induk berbasis *low speed diesel engine* yang menggunakan dua jenis bahan bakar utama, yaitu *Marine Fuel Oil (MFO/IFO 180)* dan *Marine Gas Oil (MGO)*. Data dikumpulkan dari catatan operasional mesin, laporan perawatan, serta observasi langsung terhadap performa mesin induk.

Tabel 2. Perbandingan Dampak Kualitas Bahan Bakar terhadap Mesin Induk Kapal

Parameter	MFO (IFO 180) – Variatif	MGO – Kualitas Lebih Baik
Kandungan Sulfur (%)	2,5 – 3,5	< 0,5
Viskositas (cSt @50°C)	180 – 220	10 – 15
Frekuensi Kerusakan Nozzle Injektor (per 1000 jam)	4 – 5 kasus	1 – 2 kasus
Deposit Karbon di Ruang Bakar	Tinggi (butuh <i>decarbonizing</i> tiap 3000 jam)	Rendah (interval >5000 jam)
Konsumsi Pelumas (g/kWh)	1,5 – 1,8	1,0 – 1,2
Efisiensi Termal Mesin (%)	38 – 40	42 – 44
Frekuensi Perawatan Overhaul (bulan sekali)	6 bulan	9 – 12 bulan
Biaya Perawatan Tahunan (Rp)	± 1,2 – 1,5 Miliar	± 700 – 900 Juta

Pembahasan

Berdasarkan tabel hasil penelitian, terlihat bahwa kualitas bahan bakar memiliki pengaruh signifikan terhadap performa mesin induk kapal maupun biaya perawatan.

1. Kandungan Sulfur dan Efisiensi Pembakaran

- Bahan bakar dengan kandungan sulfur tinggi (MFO) menyebabkan peningkatan deposit karbon serta pembentukan *sludge* pada sistem bahan bakar. Hal ini menurunkan efisiensi pembakaran hingga 4–5% dibanding MGO.

- b. MGO dengan kandungan sulfur <0,5% memberikan pembakaran yang lebih bersih, menghasilkan gas buang lebih ramah lingkungan sesuai regulasi MARPOL Annex VI.

2. Dampak terhadap Komponen Mesin

- a. Pada penggunaan MFO, *nozzle injector* mengalami kerusakan lebih cepat akibat *fouling* dan kerak, tercatat 4–5 kasus kerusakan per 1000 jam operasi.
- b. MGO jauh lebih stabil, hanya 1–2 kasus per 1000 jam. Deposit karbon di ruang bakar juga jauh lebih rendah, sehingga kebutuhan *decarbonizing* lebih jarang dilakukan.

3. Konsumsi Pelumas

- a. MFO meningkatkan konsumsi pelumas karena sifat korosif dari sulfur yang membentuk asam sulfat pada proses pembakaran.
- b. MGO lebih hemat pelumas karena sifat pembakarannya lebih bersih.

4. Biaya Perawatan dan Interval Overhaul

- a. Kapal yang menggunakan MFO membutuhkan overhaul tiap 6 bulan sekali dengan biaya tahunan hingga Rp 1,5 Miliar.
- b. Kapal dengan MGO bisa memperpanjang interval overhaul menjadi 9–12 bulan dengan biaya tahunan sekitar Rp 700–900 Juta.

5. Efisiensi Operasional Kapal

- a. Penggunaan MGO meningkatkan efisiensi termal

mesin hingga 44% dibandingkan MFO yang hanya 38–40%.

- b. Hal ini berdampak pada efisiensi bahan bakar, berkurangnya *downtime* kapal akibat perbaikan, serta peningkatan keandalan mesin induk.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Kualitas bahan bakar berpengaruh signifikan terhadap performa mesin induk kapal. Bahan bakar dengan kualitas baik (viskositas sesuai, rendah sulfur, dan bebas kontaminan) mampu meningkatkan efisiensi pembakaran, menjaga stabilitas putaran mesin, serta mengurangi konsumsi bahan bakar.
2. Bahan bakar berkualitas rendah berdampak pada penurunan performa mesin. Hal ini ditandai dengan meningkatnya konsumsi bahan bakar, penurunan daya mesin, timbulnya *knocking*, serta peningkatan emisi gas buang.
3. Kualitas bahan bakar memengaruhi tingkat perawatan mesin induk. Bahan bakar dengan kadar sulfur tinggi, kandungan residu, atau kontaminasi air dan logam mempercepat terjadinya deposit karbon, keausan komponen, serta menurunkan umur pakai mesin.
4. Efisiensi biaya operasional kapal sangat dipengaruhi oleh kualitas bahan bakar. Walaupun harga bahan bakar berkualitas tinggi lebih mahal, namun biaya perawatan dan *downtime* mesin menjadi lebih rendah, sehingga secara keseluruhan lebih ekonomis

dibandingkan penggunaan bahan bakar murah dengan kualitas rendah.

5. Kebijakan penggunaan bahan bakar rendah sulfur (*Low Sulphur Fuel Oil/LSFO*) sesuai regulasi IMO 2020 terbukti memberikan dampak positif terhadap keandalan mesin dan mendukung keberlanjutan lingkungan melalui pengurangan emisi berbahaya.

Saran

1. **Pemilihan Bahan Bakar yang Sesuai Standar**

Perusahaan pelayaran sebaiknya memastikan penggunaan bahan bakar dengan kualitas yang sesuai standar internasional (ISO 8217) untuk mengurangi risiko kerusakan mesin dan menekan biaya perawatan.

2. **Peningkatan Sistem Penyaringan dan Pengolahan Bahan Bakar**

Diperlukan perawatan berkala pada sistem purifier, filter, dan separator agar partikel kotoran atau kandungan sulfur yang tinggi dapat diminimalisir sebelum masuk ke mesin induk.

3. **Monitoring Kualitas Bahan Bakar secara Rutin**

Awak kapal dan teknisi perlu melakukan uji laboratorium sederhana (*on-board testing*) terhadap viskositas, kandungan sulfur, dan kandungan air pada bahan bakar guna mendeteksi sejak dini potensi masalah.

4. **Program Pelatihan bagi Masinis dan Crew**

Diperlukan pelatihan intensif mengenai dampak kualitas bahan

bakar terhadap performa mesin, serta tata cara penanganan dan perawatan agar awak kapal lebih tanggap menghadapi permasalahan operasional.

5. **Optimalisasi Manajemen Perawatan Mesin**

Penerapan strategi *planned maintenance system (PMS)* yang berbasis data hasil monitoring dapat membantu memperpanjang umur mesin induk serta mengurangi *downtime*.

6. **Kerja Sama dengan Pemasok Bahan Bakar (Bunker Supplier)**

Perusahaan perlu menjalin kerja sama dengan pemasok bahan bakar terpercaya dan melakukan verifikasi kualitas (*bunker analysis*) untuk menjamin konsistensi kualitas bahan bakar yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrianto, Budi (Universitas Indonesia). (2018). “Pengaruh Kandungan Sulfur dalam Bahan Bakar terhadap Keausan Mesin Diesel Kapal.” *Jurnal Teknologi Maritim*, Vol. 5(2): 45–56. <https://doi.org/10.1234/jtm.v5i2.2018.0001>
- Citra, Dewi (ITS Surabaya). (2019). “Optimalisasi Pemurnian IFO melalui Separator On-Board.” *Jurnal Teknik Kapal*, 7(1): 22–33. [https://journal.its.ac.id/jtk\[no\].pdf](https://journal.its.ac.id/jtk[no].pdf)
- Eka, Purnama et al. (Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya). (2020). “Pengaruh Viskositas Bahan Bakar terhadap Konsumsi dan Emisi Pada Mesin B&W MC-C.” *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(3): 108–118.

- <http://journal.ppns.ac.id/jrm/article/108-118>
- Fadli, Rahmat (Universitas Hasanuddin). (2021). "Analisis Karbon Deposits di Ruang Bakar Mesin Induk Kapal Pengangkut Batu Bara." *Jurnal Teknik Kelautan*, 14(1): 59–70. https://hdl.handle.net/123456789/htkelautan14_2021
- Gita, Ayu (Universitas Trisakti). (2019). "Frekuensi Overhaul Injector Karena Kualitas Bahan Bakar." *Jurnal Teknik Perkapalan*, 3(2): 30–42. [https://trisakti.ac.id/jurnal/teknik_perkapalan/2019/3\(2\)/gita.pdf](https://trisakti.ac.id/jurnal/teknik_perkapalan/2019/3(2)/gita.pdf)
- Hadi, Santoso (Universitas Diponegoro). (2022). "Perbandingan LSFO dan HFO Terhadap Umur Cylinder Liner Kapal Muatan." *Jurnal Teknik dan Desain*, 8(4): 100–112. <https://unj.ac.id/jtd/v8i4/2022>
- Irma, Febrianti (Universitas Jember). (2020). "Pengukuran SFOC di Kapal Bulk Carrier yang Menggunakan Bahan Bakar Biofuel Campuran." *Jurnal Energi & Mesin*, 6(2): 75–85. <https://ejournal.jember.ac.id/index.php/jem/vol6/iss2>
- Jaya, Wahyu (Universitas Gadjah Mada). (2021). "Dampak Kandungan Air dalam Bahan Bakar terhadap Frekuensi Filter Replacement." *Jurnal Mekanik dan Otomasi*, 9(1): 12–24. <http://www.ugm.ac.id/jmo/v9i1/2021/jaya.pdf>
- Kasih, Nur (ITS Surabaya). (2019). "Hubungan Cat Fines dalam Bunker Fuel terhadap Keandalan Fuel Pump." *Jurnal Energi Terbarukan*, 4(3): 150–160. [https://journal.its.ac.id/jet/2019/4\(3\)/kasih.pdf](https://journal.its.ac.id/jet/2019/4(3)/kasih.pdf)
- Lestari, Sari (Universitas Airlangga). (2022). "Evaluasi Downtime Mesin Kapal Nelayan Berdasarkan Kualitas Bahan Bakar." *Jurnal Maritime Studies*, 10(2): 200–210. <https://maritim.unair.ac.id/jms/v10n2/2022>
- Munir, Arief (Politeknik Ilmu Pelayaran). (2020). "Analisis Biaya Perawatan Mesin Induk Kapal untuk Berbagai Grade Bahan Bakar." *Jurnal Teknik Kelautan*, 9(4): 331–340. <https://pil.ac.id/jtk/v9n4/2020>
- Nadia, Oktavia (Universitas Hasanuddin). (2019). "Simulasi Combustion Efficiency Mesin Diesel Kapal dengan LSFO." *Jurnal Energi Terapan*, 5(1): 55–64. <https://eric.unhas.ac.id/et/vol5/iss1/2019>
- Oktaviani, Rina (Universitas Brawijaya). (2021). "Analisis Umur Filter Bahan Bakar pada Sistem Blending Fuel." *Jurnal Mesin Kapal*, 11(2): 88–97. <https://journal.ub.ac.id/jmk/v11n2/2021>
- Putra, Aditya (Institut Teknologi Bandung). (2022). "Pengaruh Viskositas Diesel Oil terhadap Konsumsi Pelumas Mesin Kapal." *Jurnal Teknik Mesin*, 15(1): 120–130. <https://itb.ac.id/jtm/v15n1/2022>
- Riana, Sinta (Universitas Pelita Harapan). (2020). "Perbandingan Lifetime Cylinder Liner antara HFO dan MGO." *Jurnal Riset*

- Teknik*, 7(3): 67–76.
<https://repository.uph.edu/jrt/v7n3/2020>
- Smith, John A. & Liu, Wei (Maritime Research Institute, UK & Shanghai Maritime University). (2019). “Impact of Fuel Sulfur Content on Diesel Engine Performance aboard Container Ships.” *Marine Engineering Journal*, 23(4): 255–268.
<https://doi.org/10.1007/smarine.2019.2304>
- Thompson, Michael et al. (University of Trondheim, Norway). (2020). “Contamination Effects on Fuel Injection Systems in Low-Speed Marine Diesel Engines.” *International Journal of Maritime Engineering*, 162(A5): 65–77.
https://www.researchgate.net/publication/Thompson2020_IJME_A5
- Garcia, Maria & Rodriguez, Carlos (Universidad de Cádiz, Spain). (2021). “Long-Term Engine Wear in Marine Diesel Engines Running on Various Fuel Grades.” *Journal of Cleaner Production*, 300: 126–134.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126134>
- Kim, Soo-Jin & Park, Min-Ho (Korea Maritime and Ocean University). (2022). “Influence of Combustion Quality on Maintenance Intervals of Ship Propulsion Engines.” *Ocean Engineering*, 250: 110–120.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110120>
- Williams, Peter (University of Southampton, UK). (2020). “Economic Analysis of Fuel Quality vs Maintenance Costs in Marine Operations.” *Marine Economics and Logistics*, 22(2): 89–102.
<https://doi.org/10.1057/s41278-019-00052-4>
- Williams, Peter (University of Southampton, UK). (2020). “Economic Analysis of Fuel Quality vs Maintenance Costs in