

Analisis Retaknya *Crankshaft* pada *Auxiliary Engine Mv.* Manalagi Tisya Menggunakan *Fault Tree Analysis*

Anak Agung Gede Agung Danuaga

Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya

Abdi Seno

Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya

Rika Fitriani

Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya

Antonius Edy Kristiyono

Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya

Agus Prawoto

Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya

Rika Fitriani

Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya

Address:

Jl. Gunung Anyar Boulevard No. 1, Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294

Author's correspondence: abdiseno21@gmail.com

Abstract. *The crankshaft is a vital component of an engine that converts the linear motion of the piston into rotational motion to produce mechanical power for electricity generation. This study employs a descriptive qualitative method, utilizing data collection techniques such as observation, interviews, and literature review. The objective of this research is to analyze the factors contributing to the occurrence of cracks in the crankshaft of a diesel engine used as a generator prime mover. The findings indicate that the cracks are primarily caused by contamination of the lubricating oil with water, resulting from leakage in the lubricating oil cooler or tube oil cooler. Another contributing factor is the loosening of the connecting rod bolts, which may occur if they are not tightened to the specified torque or if a torque wrench is not used during installation. Corrective measures undertaken include replacing the gasket, repairing or replacing the leaking tube oil cooler, and retightening the connecting rod bolts using a torque wrench in accordance with the manufacturer's specifications.*

Keywords: *crankshaft, diesel engine, generator, lubrication, maintenance*

BACKGROUND

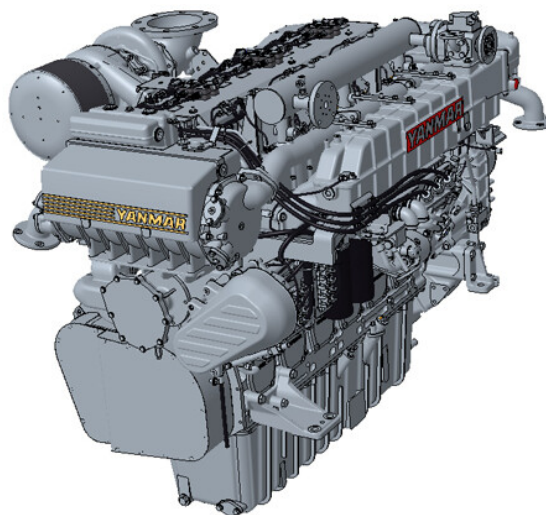
Transportasi laut berperan vital dalam sistem logistik global. Transportasi laut sebagai moda yang paling efisien dan ekonomis, memungkinkan pergerakan barang

dalam jumlah besar antar negara dan benua. Mayoritas kegiatan pengiriman barang dikirimkan dengan kapal niaga *bulk carrier* (Rahayu et al., 2024).

Kapal *bulk carrier* adalah salah satu kapal yang dirancang untuk mengangkut bahan curah seperti batu bara, biji besi, gandum dan lainnya. Kapal ini memiliki struktur yang kokoh dan ruang cargo terbuka yang dapat disesuaikan dengan jenis barang yang diangkut. Pengangkutan batu bara menggunakan kapal *bulk carrier* memiliki tantangan tersendiri (Daim Siregar et al., 2018). Dalam operasional bongkar muat, kebutuhan akan energi listrik menjadi salah satu aspek yang sangat penting untuk menunjang kelancaran seluruh sistem di atas kapal, baik itu keperluan navigasi, komunikasi, pencahayaan maupun pengoperasian permesinan bantu. Diesel generator di atas kapal memiliki peranan yang penting untuk memasok energi listrik dalam operasional kapal (Kristianto et al., 2023) (Yusr et al., 2025).

Diesel generator terdiri dari banyak komponen, salah satunya adalah *crankshaft*. *Crankshaft* adalah salah satu komponen paling vital dalam mesin diesel penggerak generator. *Crankshaft* berfungsi sebagai pengubah gerakan naik-turun *piston* menjadi gerakan putar yang kemudian digunakan untuk memutar generator untuk menghasilkan tenaga listrik (ARABACI, 2020).

Diesel Generator 4 Stroke



Gambar 1. Mesin Diesel 4 Tak

(Sumber: (Hayden, 2024))

Mesin diesel kapal bekerja dengan cara mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik melalui proses pembakaran. Bahan bakar disemprotkan ke udara bertekanan dan bertemperatur tinggi hasil kompresi, sehingga terjadi pembakaran spontan

tanpa sistem pengapian (Yu Ding et al., 2018). Hasil dari pembakaran tersebut mendorong piston bergerak secara bolak-balik, yang kemudian diteruskan menjadi gerak putar melalui *crankshaft*. *Crankshaft* mengubah gerakan linier piston menjadi energi rotasi yang digunakan untuk memutar poros propeller kapal.

Cara Kerja *Crankshaft*



Gambar 2. *Crankshaft* Mesin Diesel 4 Tak

(Sumber: (Prasad et al., 2018))

Crankshaft berfungsi untuk mengubah gerakan linier yang dihasilkan oleh piston menjadi gerakan rotasi yang kemudian digunakan untuk menggerakkan komponen lain, termasuk generator yang menghasilkan listrik. (Khaeroman et al., 2017). Beban kerja yang berat, *crankshaft* sangat rentan mengalami kerusakan, salah satunya berupa keretakan. Kasus keretakan *crankshaft* dapat menyebabkan gangguan serius pada sistem penggerak utama maupun sistem pembangkit listrik di kapal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab terjadinya keretakan pada *crankshaft* serta menganalisis upaya pencegahan dan perawatan yang dapat dilakukan untuk meminimalkan risiko kerusakan tersebut.

THEORETICAL REVIEW

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, ada beberapa faktor penyebab keretakan *crankshaft*. Keretakan pada *crankshaft* mesin diesel disebabkan oleh penurunan tekanan minyak lumas akibat kebocoran pada area kritis, penyumbatan filter, kerusakan saluran, atau gangguan pada pompa pelumas, yang mengurangi aliran minyak dan meningkatkan gesekan hingga menyebabkan keausan (Wahab, 2020). Keretakan *crankshaft* dapat terjadi akibat penurunan tekanan minyak pelumas, yang menyebabkan gesekan dan keausan berlebih pada komponen. Kondisi ini dipicu oleh kebocoran,

penyumbatan filter, kerusakan saluran, atau gangguan pompa pelumas, sehingga sistem pelumasan tidak berfungsi optimal.

Penyebab utama dari kegagalan sebuah *crankshaft* adalah umur. Jika usia *engine* masih baru, kemungkinan kerusakan terjadi karena cacat manufaktur (*manufacturing defect*) yang dialami *crankshaft*. Faktor keausan juga dapat mempercepat patahnya *crankshaft* yang dari awal sudah timbul keretakan (Ramli & Surojo, 2022). Keausan berlebih dapat mempercepat patah atau retaknya *crankshaft*, terutama jika retakan awal sudah muncul sejak awal penggunaan.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, peneliti membahas bagaimana mekanisme keretakan *crankshaft* yang peneliti hubungkan melalui *Fault Tree Analysis* (FTA) di dalam kasus yang berbeda. Metode ini sangat efektif untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat secara sistematis dan menentukan faktor utama yang berkontribusi terhadap terjadinya kegagalan *crankshaft*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode campuran dengan tujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor penyebab terjadinya kerusakan pada *crankshaft* penggerak mesin diesel generator yang diteliti. Metode penelitian kualitatif merupakan proses investigasi terhadap kondisi objek yang alamiah, dimana peneliti berperan sebagai instrumen utama. Data dikumpulkan melalui triangulasi, dianalisis secara induktif, dan hasilnya menekankan pada makna serta pemahaman terhadap situasi, peran, dan interaksi (Sugiyono, 2020).

Setelah seluruh data terkumpul, analisis kuantitatif menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk menelusuri akar penyebab keretakan *crankshaft* secara sistematis. Perhitungan FTA digunakan untuk mengetahui probabilitas masing-masing komponen, mencari *top event* dan mengidentifikasi hubungan sebab-akibat dari berbagai faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya kegagalan komponen dan menggambarkan bagaimana kombinasi dari beberapa kondisi dapat memicu peristiwa kerusakan utama.

Teknik Pengumpulan Data

Data-data berasal dari observasi, studi pustaka, dan wawancara. Peneliti menambahkan dokumentasi foto kerja, data pengamatan dan pencatatan pada objek penelitian serta dari buku-buku petunjuk (*intruction manual book*) diatas kapal (Sugiyono, 2020). Data triangulasi dalam penelitian ini diperoleh melalui observasi langsung beserta dokumentasi kondisi komponen, studi pustaka dengan meninjau

dokumen kapal seperti jurnal perawatan mesin, serta wawancara dengan pihak teknis, yaitu masinis yang diwakilkan oleh kepala kamar mesin (*chief engineer*).

Teknik Analisis Data

Data yang terkumpul kemudian dianalisis menggunakan *fault tree analysis* (FTA) untuk menelusuri akar penyebab dari keretakan *crankshaft*. FTA dapat diuraikan sebagai suatu teknik analitis dimana suatu status menyangkut kesalahan suatu sistem, yang dianalisis untuk menemukan semua cara yang dapat dipercaya dalam peristiwa yang tidak diinginkan dapat terjadi (Pasaribu et al., 2017). Metode ini peneliti gambarkan melalui *top event*, *intermediate event*, dan *main cause* untuk mengurutkan bagaimana *main cause* dapat terjadi dalam penelitian. Juga penambahan tabel kebenaran untuk menunjukkan hubungan logika antara penyebab utama (*main cause*) dan peristiwa puncak (*top event*), yaitu keretakan *crankshaft*. Setiap *main cause* diberi nilai 1 jika terjadi dan 0 jika tidak. *Top event* akan bernilai 1 bila kombinasi penyebab memenuhi logika OR (terjadi jika salah satu penyebab aktif) atau AND (terjadi jika semua penyebab aktif). Melalui tabel ini, FTA membantu mengidentifikasi kombinasi faktor yang paling berpengaruh sebagai akar penyebab utama kerusakan *crankshaft*.

RESULTS AND DISCUSSION

Tabel 1. Spesifikasi *Crankshaft* Diesel Generator YANMAR

Aspek	Keterangan
<i>No. seri</i>	6L18AL. YANMAR. Co. Ltd
Berat <i>Crankshaft</i>	480-700 kg
Material	<i>Forged Carbon Steel</i>
Sudut <i>Of sett</i>	120 derajat antar <i>crankpin</i>
Diameter <i>Main Journal</i> dan <i>Crankpin</i>	140 mm dan 125 m
Panjang	1.850 mm
<i>Balancing data</i>	0,5 mm

(Sumber: *Instruction Manual book*)

Untuk memudahkan analisis data dan penelitian ini, Peneliti akan menyajikan data penelitian melalui gambaran umum dari kapal MV. Manalagi Tisya. Dimana kapal ini merupakan tempat Peneliti menjalankan praktek berlayar selama 12 bulan.

Hasil Observasi

Permasalahan terjadi saat kapal MV Manalagi Tisya melakukan bongkar muat di Pelabuhan Kendari, terjadi permasalahan pada diesel generator No. 3. Terjadi getaran dan penurunan tekanan pada minyak pelumas. Hasil pemeriksaan menunjukkan *conbolt*

connecting rod silinder No. 5 longgar dan minyak pelumas terkontaminasi air, yang menyebabkan retakan pada *main journal*. Mesin dinyatakan perlu *general overhaul*, dan *crankshaft* dikirim ke *workshop* untuk perbaikan. Sementara *crankshaft* yang rusak digantikan dengan bekas *Diesel Generator* No. 2. Insiden ini menghambat proses bongkar muat karena hanya dua dari empat *crane* yang beroperasi, sehingga jadwal muat tertunda.



Gambar 3. Overhaul Auxiliary Engine No. 3

(Sumber: Dokumen Peneliti)

Faktor utama penyebab retaknya *crankshaft* mesin diesel adalah terkontaminasinya pelumas dengan air dan longgarnya ikatan *connecting rod bolt* dengan *rod cap*. Hasil observasi selama praktek berlayar menunjukkan kedua faktor tersebut sebagai penyebab utama keretakan. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya kontaminasi air pada minyak pelumas seperti terlihat pada gambar 4.



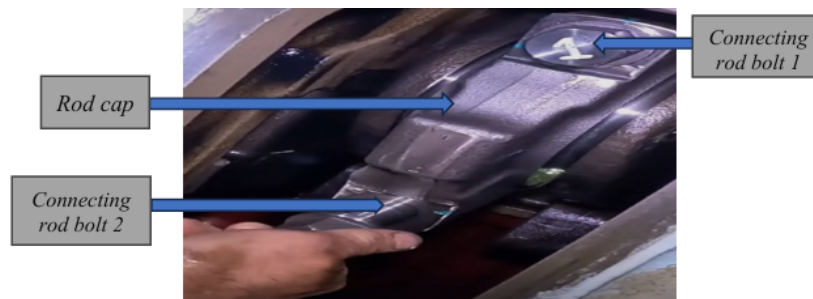
Gambar 4. Minyak Pelumas Terkontaminasi

(Sumber : Dokumentasi Peneliti)

Gambar 4 menunjukkan kondisi kontaminasi air di dalam sistem pelumasan. Kondisi ini akibat kebocoran pada *cooler jacket*, *seal liner*, atau *oil cooler*, sehingga air

bercampur dengan oli. Hal tersebut menurunkan viskositas pelumas sehingga gesekan antar komponen meningkat dan mempercepat keausan.

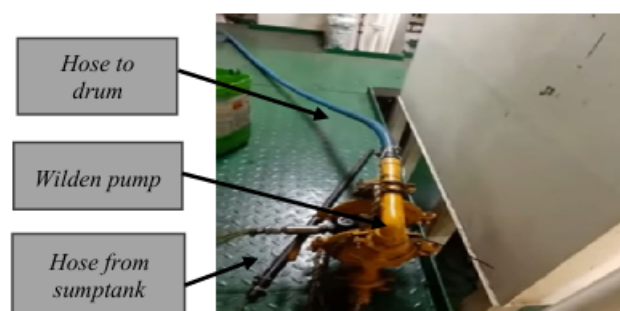
Selain itu, pada gambar 5 terlihat adanya kelonggaran pada baut pengikat *connecting rod* dengan *rod cap*. Kelonggaran ini menyebabkan ketidaksejajaran gerak antara batang penghubung dan *crankshaft*, sehingga menimbulkan getaran berlebih. Ketidakseimbangan gaya inersia terjadi, hingga menyebabkan keretakan pada *crankshaft*.



Gambar 5. Longgarnya *Connecting rod bolt* dengan penghubung *rod cap*
(Sumber : Dokumentasi Peneliti)

Gambar 5 menunjukkan *connecting rod bolt* penghubung *rod cap* nomor 1 yang mengalami kelonggaran sehingga menjadi pemicu awal terjadinya keretakan *crankshaft*. Upaya mitigasi dilakukan dengan mengganti seluruh minyak pelumas yang telah terkontaminasi air dengan pelumas baru, serta mengencangkan kembali *connecting rod bolt* menggunakan kunci torsi sesuai dengan spesifikasi pabrikan. Hal ini untuk memastikan kekuatan dan keseimbangan torsi yang tepat.

Proses pengurasan minyak pelumas lama dilakukan dengan bantuan *Wilden pump*, sebagaimana terlihat pada gambar 6. Selain itu, dilakukan pula pembersihan sistem pelumasan dan pemeriksaan ulang *oil cooler* serta *seal liner* untuk memastikan tidak ada kebocoran air yang tersisa di jalur pelumas. Tindakan ini bertujuan untuk mencegah kontaminasi ulang serta memastikan sistem pelumasan bekerja optimal guna menghindari kerusakan serupa di kemudian hari.



Gambar 6. *Wilden Pump*

(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

Pembersihan ini dilakukan dengan menggunakan lap khusus dan cairan pembersih non-korosif agar tidak merusak permukaan dalam tangki. Setelah itu, dilakukan pemeriksaan visual terhadap dinding sump tank dan jalur pelumasan guna memastikan tidak terdapat karat, endapan, atau kontaminan lain. Tahap akhir proses meliputi pengisian kembali minyak pelumas baru sesuai spesifikasi pabrikan mesin, serta pengujian awal (*test run*) untuk memantau tekanan dan suhu pelumas. Langkah ini penting untuk memastikan bahwa sistem pelumasan telah kembali berfungsi normal dan siap dioperasikan dengan aman.



Gambar 7. Cleaning sump tank

(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

Gambar 7 menunjukkan perbandingan kondisi *sump tank* sebelum dan sesudah dilakukan pembersihan. Pada sisi kiri terlihat permukaan sump tank masih kotor dan dipenuhi jelaga serta endapan karbon, yang dapat menghambat sirkulasi pelumas dan menurunkan efisiensi pendinginan komponen mesin. Sementara pada sisi kanan terlihat *sump tank* yang telah bersih setelah melalui proses pembersihan menyeluruh, sehingga siap untuk diisi kembali dengan pelumas baru.



Gambar 8. Deep Stick

Sumber: Dokumentasi Peneliti

Setelah tahap pembersihan selesai, pengisian minyak pelumas baru dilakukan secara *gravity fill* untuk menghindari pembentukan gelembung udara di dalam sistem. Proses ini dilakukan dengan hati-hati agar volume pelumas sesuai dengan standar operasi

mesin. Tingkat pengisian kemudian dipantau menggunakan *deepstick*, seperti terlihat pada gambar 8 sebagai indikator, guna memastikan jumlah pelumas berada pada batas aman dan optimal untuk menjamin sistem pelumasan bekerja dengan baik selama pengoperasian mesin.

Hasil Studi Pustaka

1. Jurnal perawatan

Tabel 2. Jurnal perawatan 2019-2022

No	Tanggal	Kejadian	Penyebab	Upaya
1	8 Maret 2019	<i>Crank pin cylinder</i> no. 4 retak	Disebabkan oleh tekanan minyak pelumas yang menurun dan adanya indikasi minyak pelumas terkontaminasi dengan air.	Melakukan purifikasi pada saat mesin hidup. Minyak pelumas mesin diesel generator no. 3 disirkulasi ke L.O purifier untuk dipurifikasi yang bertujuan untuk memastikan apakah minyak pelumas tercampur dengan air.
2	7 Juli 2019	Getaran berlebih pada mesin	Disebabkan oleh kurang maksimalnya ikatan <i>connecting rod bolt</i> dengan penghubung <i>rod cap cylinder</i> no. 2.	Melakukan pengencangan pada <i>connecting rod bolt</i> dengan penghubung <i>rod cap</i> sesuai dengan <i>instruction manual book</i> .

(Sumber: *Jurnal book auxiliary engine No. 3 2019-2022*)

Tabel 2 merupakan catatan jurnal perawatan mesin diesel penggerak generator No. 3 MV. Manalagi Tisya. Dari hasil jurnal perawatan tahun 2019–2022, diketahui bahwa kerusakan pada *crankshaft* mesin diesel penggerak generator disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu:

1. Penurunan tekanan minyak pelumas yang diikuti oleh kontaminasi air dalam pelumas, menyebabkan retaknya *crank pin cylinder* no. 4.
2. Kurangnya kekencangan pada *connecting rod bolt* dengan penghubung *rod cap*, yang menimbulkan getaran berlebihan pada *cylinder* no. 2.

Upaya perbaikan dilakukan dengan purifikasi minyak pelumas menggunakan *purifier* untuk menghilangkan air, serta pengencangan kembali *connecting rod bolt* sesuai dengan *instruction manual book*.

Hasil Wawancara

Berikut hasil wawancara yang dilakukan peneliti dengan Perwira Kapal, Kepala Kamar Mesin (*chief engineer*).

1. Bagaimana kronologi keretakan *crankshaft* diesel generator nomor 3?

Pada saat mesin *running* saat *anchor loading*, terdeteksi suara mesin tidak normal dan getaran berlebih. Setelah dilakukan penghentian darurat dan inspeksi, ditemukan keretakan pada bagian *crankpin crankshaft* diesel generator no. 3.

2. Apa penyebab utama dari keretakan tersebut?

Ada dua penyebab utama. Pertama, minyak pelumas terkontaminasi oleh air sehingga menurunkan kualitas pelumasan dan mempercepat keausan pada *bearing* dan *crankpin*. Kedua adalah baut pengikat *connecting rod (conbolt)* pada salah satu silinder ditemukan longgar. Hal ini menyebabkan tekanan tumbukan langsung ke *crankpin* tanpa redaman yang baik.

3. Bagaimana minyak pelumas bisa terkontaminasi air?

Berdasarkan observasi ditemukan adanya kebocoran pada *oil cooler*, tepatnya pada bagian *tube oil cooler* yang sudah korosi. Air laut dari sistem pendingin masuk ke sistem pelumas melalui celah tersebut.

4. Apa efek dari getaran terhadap tubuh *crankshaft*?

Conbolt tidak dikencangkan sesuai kekuatan torsi yang ditentukan, sehingga ikatan tidak stabil dan menghantam *crankpin*. Ini menciptakan beban kejutan yang menyebabkan retakan akibat kelelahan material pada *crankshaft*.

PEMBAHASAN

Fault tree analysis (FTA) yang dilakukan untuk mengidentifikasi keretakan *crankshaft* pada mesin diesel penggerak generator No.3 MV. Manalagi Tisya. Berikut adalah penamaan komponen yang akan dinilai dalam analisis FTS:

a = oil cooler bocor (packing rusak)

b = tube-tube water cooler bocor (tube rusak)

c = ikatan conbolt dengan rod cap tidak sesuai torsi

d = tidak memakai kunci torsi (perakitan tanpa torque wrench)

Selanjutnya mencari hubungan logika dari kejadian, berdasarkan:

a. Top Event

Top event dari kejadian ini yang menjadi fokus utama adalah penyebab retaknya *crankshaft* mesin diesel penggerak generator No. 3 silinder No. 5 di MV. Manalagi Tisya

b. Intermediate Event

Intermediate event adalah penyebab yang memiliki lanjutan. Adapun penyebab lebih lanjut terkait penyebab retaknya *crankshaft* mesin diesel penggerak generator yaitu minyak lumas terkontaminasi dengan air dan longgarnya *connecting rod bolt* dengan penghubung *rod cap*.

c. *Main cause*

Main cause merupakan penyebab dasar dan tidak memiliki turunan lagi. Adapun penyebab utamanya adalah *oil cooler* bocor, *tube oil cooler* bocor, ikatan *connecting rod bolt* dengan *rod cap* tidak sesuai torsi. Hal tersebut dikarenakan pengencangan tidak memakai kunci torsi, sehingga tidak sesuai standar ikatan sebagaimana ketentuan pada Gambar 11.

Hasil FTA dari retaknya *crankshaft* mesin diesel penggerak generator MV. Manalagi Tisya dapat disampaikan dengan *cut set* sebagai berikut.

$$X = A \cup B$$

$$= (a \cup b) \cup (c \cup d)$$

Adapun tabel kebenaran, untuk mencapai hasil atau “X” dari hasil penelitian ini memenuhi logika OR atau “ \cup ” dapat disampaikan sebagai berikut :

Tabel 3. Kebenaran FTA

a	b	c	d	Hasil
1	1	1	1	1
1	1	1	0	1
1	1	0	1	1
1	1	0	0	1
1	0	1	1	1
1	0	1	0	1
1	0	0	1	1
1	0	0	0	1
0	1	1	1	1
0	1	1	0	1
0	1	0	1	1
0	0	0	0	0

(Sumber: Dokumen Peneliti)

Tabel 3 menjelaskan bahwa setiap *main cause* yang terjadi dapat menyebabkan *top event* meski hanya 1 yang terjadi. Akurasi tabel yang peneliti dapatkan yaitu 91%. Dikarenakan pengaruh dari kemungkinan faktor lain seperti kondisi usia dan material mesin yang berdampak minim karena perawatan mesin yang rutin. Selanjutnya adalah

menghitung nilai probabilitas berdasarkan data historis perawatan, data pabrikan, basis data industri serta estimasi teknis terhadap komponen.

Nilai probabilitas kegagalan komponen per unit waktu atau satu tahun adalah sebagai berikut:

$$P(a) = 0.03$$

$$P(b) = 0.02$$

$$P(c) = 0.01$$

$$P(d) = 0.005$$

$$\text{Dengan persamaan: } P_{top} = 1 - \prod_{i \in \{a,b,c,d\}} (1 - P_{(i)})$$

Didapatkan hasil probabilitas *top event* sebesar 0.06361 yang artinya kemungkinan retaknya *crankshaft* 6.63% dalam satu tahun. Untuk menghitung kontribusi kegagalan setiap komponen dengan formula:

$$P_{(i\text{sole})} = P_{(i)} \times \prod_{(j \neq i)} (1 - P_{(j)})$$

Kontribusi tiap komponen terhadap kegagalan yaitu *i* gagal sedangkan yang lain tidak gagal adalah:

$$P(a \text{ sole}) = 0.03 \times (0.98 \times 0.99 \times 0.995) = 0.03 \times 0.965349 = 0.02896047$$

$$P(b \text{ sole}) = 0.02 \times (0.97 \times 0.99 \times 0.995) = 0.02 \times 0.9554985 = 0.01910997$$

$$P(c \text{ sole}) = 0.01 \times (0.97 \times 0.98 \times 0.995) = 0.01 \times 0.945847 = 0.00945847$$

$$P(d \text{ sole}) = 0.005 \times (0.97 \times 0.98 \times 0.99) = 0.005 \times 0.941094 = 0.00470547$$

$$\text{Total probabilitas kejadian di mana tepat satu komponen gagal} = 0.06223438.$$

Selisih dengan $P(\text{Top})$ menunjukkan peluang kegagalan simultan (>1 komponen) sebesar 0.00137709 (0.1377%). Jika kita lihat fraksi dari *top event* yang disebabkan oleh tunggalnya masing-masing komponen (yaitu kontribusi tunggal dibagi $P(\text{Top})$):

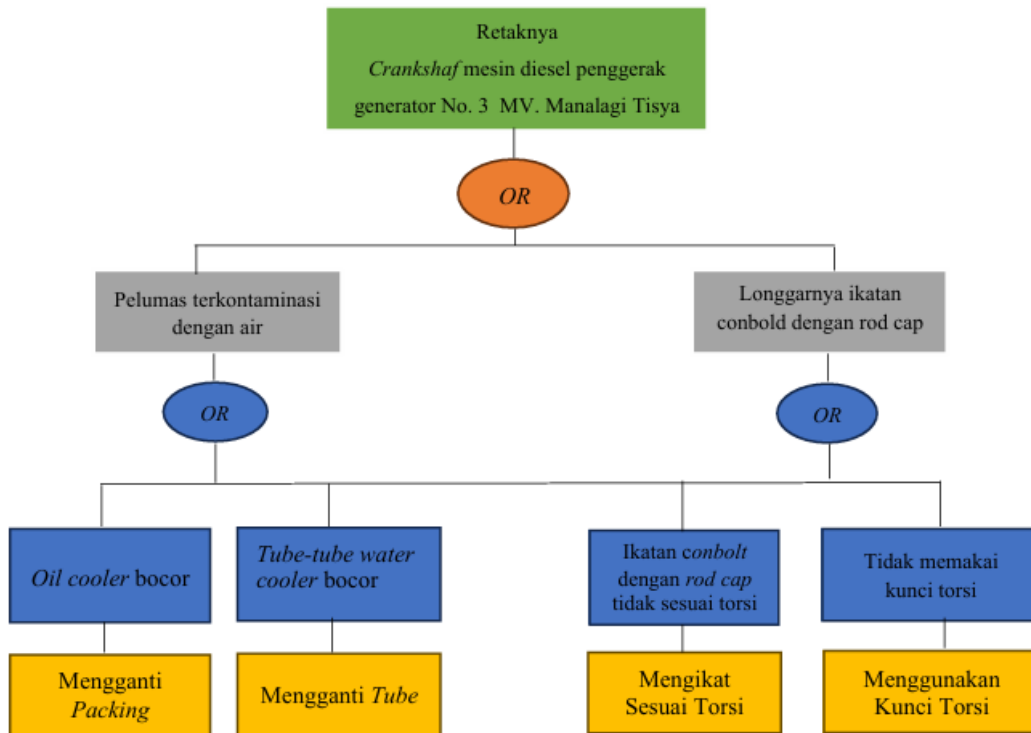
$$\text{Fraksi akibat a} = 0.02896047 / 0.06361147 = 0.4554 \rightarrow 45.5\%$$

$$\text{Fraksi akibat b} = 0.01910997 / 0.06361147 = 0.3004 \rightarrow 30.0\%$$

$$\text{Fraksi akibat c} = 0.00945847 / 0.06361147 = 0.1487 \rightarrow 14.9\%$$

$$\text{Fraksi akibat d} = 0.00470547 / 0.06361147 = 0.0740 \rightarrow 7.4\%$$

Berdasarkan perhitungan itu didapat bahwa kemungkinan retaknya *crankshaft* berasal dari *oil cooler* bocor (*packing* rusak) 45.5%. Grafis hasil penelitian dapat dilihat dari gambar 9.



Gambar 9. *Fault Tree Analysis*

Berdasarkan gambar 9, hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya kerusakan disebabkan kebocoran atau gangguan sistem pelumasan, faktor umur pemakaian dan cacat manufaktur pada material. Penelitian ini menyatakan bahwa keretakan *crankshaft* terjadi karena kontaminasi air pada sistem pelumasan dan kelonggaran pada *connecting rod bolt*, yang menyebabkan gangguan kestabilan mekanis, penurunan efektivitas pelumasan.

1. Mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan retaknya crankshaf pada mesin diesel penggerak generator di MV. Manalagi Tisya

a. Minyak Pelumas terkontaminasi dengan air

1) *Oil cooler* bocor

Kebocoran *packing* pada *oil cooler* menyebabkan air masuk ke dalam sistem pelumasan. Kebocoran *packing oil cooler* disebabkan oleh usia pakai yang sudah lama, tekanan oli yang berlebihan dan pemasangan yang kurang presisi. Hal ini mengakibatkan oli tercampur dengan air sehingga kehilangan sifat viskositas dan tidak dapat melumasi komponen secara efektif.

2) *Tube water cooler* bocor

Tube oil cooler yang bocor khususnya pada pipa (*tube*) *oil cooler* yang merupakan bagian internal dari sistem pendingin oli. Kerusakan pada *tube* ini seringkali luput dari inspeksi visual sehingga kontaminasi dapat terjadi secara terus-menerus.

b. Longgarnya *Connecting Rod Bolt* Dengan Penghubung *Rod cap*

1) Ketidaksesuaian torsi *conbolt*

Penyebab longgarnya *connecting rod bolt* dengan penghubung *rod cap* adalah disebabkan oleh getaran dan beban pada saat mesin beroperasi hal ini menyebabkan celah antara *rod cap* dan batang penghubung menjadi tidak sesuai dengan toleransi yang dianjurkan.

2) Mengabaikan penggunaan alat/kunci torsi

Ketidaksengajaan, kelalaian, ataupun ketidaktahuan menyebabkan longgarnya *conbolt* sehingga dapat menyebabkan kecelakaan pada masa yang akan datang.

2. Mengetahui apa upaya yang dilakukan terkait faktor-faktor penyebab retaknya crankshaf mesin diesel penggerak generator di MV. Manalagi Tisya

a. Minyak Pelumas terkontaminasi dengan air

1) *Oil cooler* bocor

Upaya yang dilakukan adalah penggantian *packing*, jenis *packing* yang digunakan adalah NBR (*Nitrile Butadiene Rubber*) karena jenis *packing* ini tahan terhadap oli mineral dan memiliki elastis yang baik. Adapun bukti dokumentasi pergantian *packing oil cooler* yang dapat dilihat pada gambar di halaman selanjutnya.



Gambar 10. Penggantian Packing Oil Cooler

Sumber : Dokumentasi Peneliti

Pada gambar 10 merupakan kondisi *oil cooler* yang bocor. Sebelum dilakukan penggantian *packing*, *oil cooler* dibersihkan terlebih dahulu supaya tidak ada sisa *packing* sebelumnya menempel dan mengantisipasi kebocoran ketika *packing* yang baru sudah dipasang.

2) *Tube water cooler* bocor

Upaya yang dilakukan adalah mengganti *tube* yang bocor. Adapun bukti dokumentasi *tube oil cooler* bocor dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



Gambar 10. Tube Oil Cooler Bocor

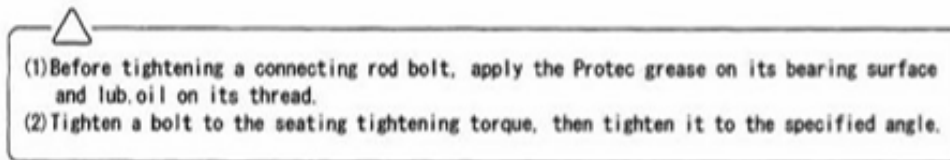
Sumber : Dokumentasi Peneliti

b. Longgarnya *Connecting Rod Bolt* Dengan Penghubung *Rod cap*

1) Ketidaksesuaian torsi *conbolt*

Upaya yang dilakukan adalah mengikat dengan sesuai standar yang ada di *instruction manual book*. Adapun standar ikatan yang Peneliti peroleh dari *manual book* yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

9-2 Angle Clamping Bolts



Part Description	Screw Dia. × Pitch	Face-to-Face Width of Bolt/Nut (mm)	Seating Tightening Torque N-m (kgf-m)	Specified Tightening Angle (deg.)	Remarks
★ Connection rod bolt	M25 × 1.5	32	49 (5)	120°	
Balance weight clamping bolt	M24 × 2.0	32	49 (5)	80°	

Gambar 11. Standar Ikatan *Connecting Rod Bolt* dan *Rod cap*

Sumber: *Manual book* MV. Manalagi Tisya

2) Mengabaikan penggunaan alat/ kunci torsi yang baik dan benar

Upaya yang dilakukan untuk menghindari kejadian longgarnya *connecting rod bolt* dengan penghubung *rod cap* adalah dengan cara mengikat dengan kunci torsi dan sesuai dengan standar yang disarankan di *manual book*. Adapun dokumentasi pada saat mengikat *connecting rod bolt* dengan penghubung *rod cap* yang dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Mengikat Dengan Kunci Torsi

Sumber : Dokumentasi Peneliti

CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS

Berdasarkan penelitian dan analisis, retaknya *crankshaft* mesin diesel penggerak generator No. 3 MV. Manalagi Tisya disebabkan oleh minyak pelumas yang terkontaminasi air akibat kebocoran pada *oil cooler* atau *tube oil cooler*, longgarnya ikatan *connecting rod bolt* dengan *rod cap*, serta karena pengencangan tidak sesuai torsi. Upaya yang dilakukan untuk mencegah kerusakan serupa adalah mengganti packing atau *tube oil cooler* yang bocor, serta melakukan pengencangan baut sesuai torsi standar dengan kunci torsi. Berdasarkan perhitungan FTA bahwa komponen dengan probabilitas tinggi penyebab kerusakan *crankshaft* adalah *oil cooler bocor* (packing rusak), 45,5%.

Berdasarkan pembahasan disarankan agar melakukan pemeriksaan rutin pada sistem pelumasan, khususnya *oil cooler*, untuk mencegah kebocoran yang dapat menyebabkan kontaminasi air, menggunakan kunci torsi sesuai *manual book* saat pemasangan baut penghubung *rod cap* agar ikatan sesuai standar, serta catat dan evaluasi setiap hasil perawatan untuk memastikan tindakan pencegahan berjalan efektif dan mesin tetap dalam kondisi andal.

REFERENCES

- ARABACI, E. (2020). Analysis of Design Parameters of a Novel Modified Reciprocating Mechanism. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 4(3). <https://doi.org/10.30939/ijastech..725750>
- Ben Hayden. (2024). *Yanmar spearheading hydrogen fueled 4-stroke engine*.
- Daim Siregar, F., Zakki, A. F., & Imam, P. M. (2018). Analisa Perbandingan Desain Konstruksi Kapal Bulk Carrier di Perairan North Atlantic Ocean dan Indonesian Waterways Dengan Menggunakan Regulasi BKI. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 6(1).
- Dearel Irhart Wahab. (2020). *Identifikasi keretakan crankshaft diesel generator di MV. Shanthi Indah* [Thesis]. Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.

- K. Duga Prasad, K. V. J. P. Narayana, & N. Kiranmayee. (2018). Design and Stress analysis of Crankshaft for Single Cylinder 4 Stroke Diesel Engine . *International Journal of Engineering Research & Technology*, 7(11), 1–6.
- Khaeroman, Haryadi, G. D., Ismail, R., & Kim, S. J. (2017). Failure analysis and evaluation of a six cylinders crankshaft for marine diesel generator. *AIP Conference Proceedings*, 1788. <https://doi.org/10.1063/1.4968317>
- Kristianto, L., Wibowo, W., Astriawati, N., & Kristiawan, N. (2023). Perawatan Mesin Diesel Generator Pada Kapal KN.SAR SADEWA 231. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy*, 3(2). <https://doi.org/10.52158/jamere.v3i2.543>
- Muhammad Rizal Ramli, & Surojo. (2022). *Analisis Permasalahan Kegagalan Crankshaft Pada Mesin Diesel Caterpillar Model 3516*. Universitas Gadjah Mada.
- Pasaribu, H. P., Setiawan, H., & Ervianto, W. I. (2017). *Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) untuk Mengidentifikasi Potensi dan Penyebab Kecelakaan Kerja pada Proyek Gedung* [Thesis]. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Rahayu, L., Busscher, T., Tillema, T., & Woltjer, J. (2024). Maritime transport governance challenges in the Global South. *Marine Policy*, 163, 106147. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2024.106147>
- Sugiyono. (2020). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Yu Ding, Congbiao Sui, & Jincheng Li. (2018). An Experimental Investigation into Combustion Fitting in a Direct Injection Marine Diesel Engine. *Applied Sciences*, 8(12).
- Yusr, D. I. R. A. F., Nasri, N., Kusumawati, E., Prawoto, A., Nugroho, A., & Robbi, S. D. (2025). Pengaruh Kebocoran Sistem Pendingin pada Seating Exhaust Valve Cylinder No 1 terhadap Kinerja Diesel Engine Generator di KM. Oriental Galaxy. *J-Protksion: Jurnal Kajian Ilmiah Dan Teknologi Teknik Mesin*, 10(1), 62–67. <https://doi.org/10.32528/jp.v10i1.3609>