

**ANALISIS KERUSAKAN BEARING ALTERNATOR
GENERATOR NO. 2 PADA KAPAL MT AKRA 101**



Disusun sebagai salah satu syarat penyelesaian Program
Pendidikan Dan Pelatihan Pelaut (DP) Tingkat I

NURDIN

NIS: 25.05.102.025

AHLI TEKNIK TINGKAT I

**PROGRAM DIKLAT PELAUT TINGKAT I
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN MAKASAR
2025**

PERYATAAN KEASLIAN

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini :

Nama : NURDIN

Nomor Induk Siswa : 25.05.102.025

Program Pelatihan : Ahli TeknikTingkat I

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

**ANALISIS KERUSAKAN *BEARING* ALTELNATOR *GENERATOR* NO. 2
PADA KAPAL MT AKRA 101**

Merupakan karya asli. Seluruh ide yang ada dalam KIT tersebut, kecuali tema dan yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide sendiri.

Jika pernyataan di atas terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Makassar

Makassar,09 July 2025



NURDIN

iii

PERSETUJUAN SEMINAR KARYA ILMIAH TERAPAN

Judul : ANALISIS KERUSAKAN BEARING
ALTELNATOR GENERATOR NO. 2 PADA KAPAL
MT AKRA 101

NAMA PASIS : NURDIN

NOMOR INDUK SISWA : 25.05.102.025
PROGRAM DIKLAT : AHLI TEKNIK TINGKAT I

Dengan ini dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diseminarkan.

Makassar, 22 July 2025

Menyetujui:

Pembimbing I



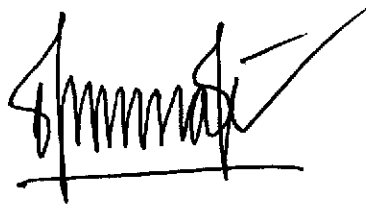
RAHMAT HIDAYAT, S.T., M.Mar.E
NIP. 198605172010121006

Pembimbing II



INCE ANSAR ARIFIN, S.Si.T., M.Mar.E
NIP.

Mengetahui:
Manager Diklat Teknis
Peningkatan dan Penjenjangan



Ir. SUYUTI, M.Si., M.Mar.E
NIP. 196805082002121002

**ANALISIS KERUSAKAN BEARING ALTELNATOR GENERATOR NO. 2
PADA KAPAL MT AKRA 101**

Disusun dan Diajukan Oleh:

NURDIN
25.05.102.025
AHLI TEKNIK TINGKAT I

Telah di pertahankan di depan panitia Ujian KIT
Pada tanggal, 22 July 2025

Pembimbing I Pembimbing II

Menyetujui:



RAHMAT HIDAYAT, S.T.,M.Mar.E INCE ANSAR ARIFIN, S.Si.T.,M.Mar.E
NIP. 198605172010121006 NIP.

Mengetahui:

A.n. Direktur
Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
Pembantu Direktur I




Capt.FAISAL SARANSI, MT.,M.Mar
NIP. 197503291999031002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan KIT ini. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan bagi Perwira Siswa Jurusan Ahli Teknik Tingkat I (ATT I) dalam menyelesaikan studinya pada program ATT I di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar. Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan baik dari segi tata bahasa, struktur kalimat, maupun metode penulisan.

Tak lupa pada penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Capt. Rudy Susanto, M.Pd. selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
2. Ir. Suyuti, M.Si., M.Mar.E. selaku Manager Diklat Teknis Peningkatan dan Penjenjangan Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
3. Rahmat Hidayat, S.T., M.Mar.E. selaku pembimbing I penulisan KIT Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
4. Ince Ansar Arifin, S.Si.T., M.Mar.E. selaku pembimbing II penulisan KIT Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
5. Seluruh Staf Pengajar Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar atas bimbingan yang diberikan kepada penulis selama mengikuti program diklat ahli Teknik tingkat I (I) di PIP Makassar.
6. Rekan-rekan Pasis Angkatan XLV Tahun 2025
7. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak, Ibu, dan Istriku tercinta yang telah memberikan doa, dorongan, serta bantuan moril dan materil sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan KIT ini.

Dalam penulisan KIT ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan- kekurangan dipandang dari segala sisi. Tentunya dalam hal ini tidak lepas dari kemungkinan adanya kalimat-kalimat atau kata-kata yang kurang berkenan dan perlu untuk diperhatikan. Namun walaupun demikian, dengan segala kerendahan hati penulis memohon kritik dan saran-saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan makalah ini. Harapan penulis semoga karya tulis ilmiah terapan ini dapat dijadikan bahan masukan serta dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Makassar, 09 July 2025



NURDIN

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN SEMINAR	iii
PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Faktor Manusia	8
B. Faktor Organisasi Diatas Kapal	9
C. Faktor Kapal	11
D. Faktor Manajemen Perusahaan	11
E. Faktor Luar Kapal	12
BAB III METODE PENGAMBILAN DATA	
A. Observasi/Pengamatan	13
B. Intrview/Wawancara	13
C. Studi Pustaka	14
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	

A. Lokasi Kejadian	15
B. Situasi dan Kondisi	15
C. Temuan	18
D. Urutan Kejadian	22
 BAB V SIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan	25
B. Saran	25
 DAFTAR PUSTAKA	26
LAMPIRAN	27
RIWAYAT HIDUP	31

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bearing alternator merupakan komponen kritis dalam sistem pembangkit listrik kapal, berfungsi untuk memastikan putaran poros *generator* berjalan lancar tanpa gesekan berlebihan. Kerusakan pada *bearing* dapat mengakibatkan gangguan operasional, mulai dari getaran tidak normal hingga kegagalan fungsi *generator* secara total. Pada kapal, *generator* adalah sumber daya utama untuk semua sistem kelistrikan, sehingga kerusakan *bearing* harus ditangani dengan cepat untuk mencegah dampak lebih luas pada operasi kapal.

Dalam regulasi klasifikasi dan keselamatan kapal, kerusakan *bearing alternator* termasuk dalam kategori perawatan penting yang harus dipantau secara berkala. SOLAS (*Safety of Life at Sea*) Chapter II-1, Regulasi 40, menyebutkan bahwa semua peralatan pendukung operasi kapal, termasuk *generator*, harus dalam kondisi layak laut (*seaworthy*). Selain itu, berdasarkan ISO 10816-3, getaran mekanis pada mesin harus dijaga dalam batas aman untuk mencegah kerusakan komponen. Standar ini menjadi acuan dalam evaluasi kondisi *bearing alternator*.

Pada tanggal 2 Juli 2023, kapal MT Akra 101 sedang bersandar di Pelabuhan Pontianak, Kalimantan Barat. Saat itu, *Generator* No. 2 sedang beroperasi bersama *Generator* No. 1 dalam kondisi paralel. Tiba-tiba, terdengar suara decitan dan gemeretak tidak wajar dari bagian *alternator Generator* No. 2, disertai getaran yang semakin kuat. Getaran tersebut terasa berbeda dari kondisi normal dan mengindikasikan adanya gangguan mekanis pada bagian dalam *alternator*.

Menyadari adanya gejala *abnormal*, awak kapal segera memutuskan untuk menghentikan operasi *Generator* No. 2 guna mencegah kerusakan lebih parah. *Generator* No. 1 dan 3 diparalelkan untuk memastikan pasokan listrik

ke sistem kapal tidak terganggu. Langkah ini sesuai dengan *prosedur* darurat yang mengharuskan penghentian unit *generator* jika ditemukan indikasi kerusakan serius.

Setelah *generator* dimatikan, dilakukan inspeksi visual dan manual pada bagian *bearing alternator*. Ditemukan bahwa *bearing* poros *alternator* sudah menunjukkan tanda-tanda keausan parah, termasuk adanya celah berlebihan dan bekas gesekan tidak merata pada permukaan rol. Selain itu, pelumas di sekitar *bearing* terlihat kering dan terkontaminasi partikel logam, menunjukkan bahwa pelumasan tidak berfungsi optimal dalam periode tertentu sebelum kerusakan terjadi.

Alternator yang digunakan pada *Generator* No. 2 adalah merek STAMFORD tipe HC4, yang seharusnya memiliki ketahanan tinggi jika perawatan dilakukan sesuai jadwal. Namun, berdasarkan pemeriksaan, *bearing* tersebut sudah melebihi masa pakai atau mengalami kegagalan prematur akibat faktor eksternal seperti ketidakseimbangan beban atau kontaminasi pelumas. Tidak ada indikasi kerusakan akibat benturan fisik, sehingga diduga penyebab utamanya adalah keausan alami atau kesalahan dalam proses pemeliharaan sebelumnya.

Kronologi kejadian menunjukkan bahwa kerusakan *bearing* terjadi secara bertahap sebelum akhirnya menimbulkan gejala yang jelas. Suara decitan dan getaran yang muncul saat operasi merupakan tanda akhir dari kegagalan *bearing* yang sebenarnya sudah mulai terjadi beberapa waktu sebelumnya. Jika tidak segera diidentifikasi, kerusakan bisa meluas ke komponen lain seperti rotor atau stator *alternator*, yang akan memperparah kerugian waktu dan biaya perbaikan.. Berdasarkan pengalaman di atas, penulis tertarik untuk mengangkat masalah tersebut dan menuangkannya dalam bentuk Karya Ilmiah Terapan (KIT) dengan judul **"ANALISIS KERUSAKAN BEARING ALTERNATOR GENERATOR NO. 2 PADA KAPAL MT AKRA 101 "**

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apa faktor yang menyebabkan kerusakan *bearing alternator* Generator No. 2 pada Kapal MT Akra 101?
2. Bagaimana dampak kerusakan *bearing alternator* terhadap operasional sistem kelistrikan kapal?
3. Upaya apa yang dapat dilakukan untuk mengatasi dan mencegah kerusakan *bearing alternator* di masa mendatang?

C. Batasan Masalah

Penelitian ini secara khusus membatasi analisis pada kerusakan *bearing alternator* Generator No. 2 di Kapal MT Akra 101 yang terjadi pada tanggal 2 Juli 2023 saat kapal bersandar di Pelabuhan Pontianak, Kalimantan Barat, dengan fokus utama pada keausan *bearing* yang mengakibatkan getaran *abnormal* dan kegagalan operasional *generator*. Dampak yang ditinjau terbatas pada gangguan pasokan listrik kapal, risiko kerusakan sekunder pada rotor/stator *alternator*, serta ketidaksesuaian perawatan dengan standar ISO 10816-3 dan SOLAS Chapter II-1. Penelitian tidak membahas faktor eksternal seperti kesalahan operasi paralel *generator* lain, kondisi lingkungan pelabuhan, atau insiden di luar periode Januari–Desember 2023 selama penulis bertugas di kapal tersebut.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini Penelitian ini bertujuan

1. Untuk mengetahui faktor yang menyebabkan kerusakan *bearing alternator* Generator No. 2 pada Kapal MT Akra 101
2. Untuk dampak kerusakan *bearing alternator* terhadap operasional sistem kelistrikan kapal
3. Untuk mengetahui Upaya apa yang dapat dilakukan untuk mengatasi dan mencegah kerusakan *bearing alternator* di masa

mendatang

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penulisan Karya Ilmiah Terapan ini adalah:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini memberikan manfaat **teoritis** dengan memperkaya kajian mengenai faktor penyebab kerusakan *bearing alternator* berdasarkan standar SOLAS dan ISO 10816-3, serta mengidentifikasi pola kegagalan mekanis pada sistem *generator* kapal..

2. Manfaat Praktis

Hasil penelitian dapat dijadikan acuan dalam menyusun *prosedur* pemeliharaan yang lebih efektif, meningkatkan kesadaran awak kapal terhadap gejala awal kerusakan *bearing*, dan meminimalkan downtime operasional melalui tindakan pencegahan yang sesuai, sehingga mendukung keselamatan dan keandalan sistem pembangkit listrik di kapal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bearing Alternator

1. Pengertian *Bearing Alternator*

Bearing alternator adalah komponen mekanis yang berfungsi untuk menopang poros rotor dalam sistem *alternator* (pembangkit listrik), sekaligus memungkinkan perputaran rotor secara halus, stabil, dan dengan gesekan yang seminimal mungkin. Pada sistem kelistrikan kapal seperti MT Akra 101, keberadaan *bearing* menjadi sangat vital karena memastikan efisiensi dan kontinuitas pembangkitan listrik.

Pada *Generator* No. 2 di kapal ini, digunakan jenis rolling element *bearing* dengan tipe SKF 6316-2RS1, yang dirancang untuk mampu menangani beban radial maksimum sebesar 12 kN pada putaran 1500 rpm. *Bearing* ini dilengkapi dengan *seal* ganda (2RS1) untuk mencegah masuknya kontaminan dari lingkungan sekitar, seperti debu atau kelembaban laut.

Menurut manual STAMFORD HC4 (2023: 23), kondisi kerja ideal *bearing* ini harus berada pada tingkat getaran tidak lebih dari 4.5 mm/s dan suhu maksimum permukaan *bearing* tidak boleh melebihi 80°C. Kegagalan *bearing*—yang dapat disebabkan oleh keausan, pelumasan yang buruk, atau kontaminasi—berisiko menyebabkan rotor berputar tidak stabil. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan kualitas tegangan listrik yang dihasilkan, peningkatan suhu berlebih, serta potensi kerusakan pada komponen lain dalam sistem *generator*.

2. Sistem Kerja *Bearing Alternator*

Bearing alternator bekerja berdasarkan prinsip gesekan guling (rolling friction), yang terjadi antara tiga elemen utama: *inner race* (bagian dalam), *outer race* (bagian luar), dan elemen guling (rol atau bola). Energi gesekan guling ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan gesekan geser (sliding friction), sehingga *bearing* dapat mendukung putaran rotor dengan efisiensi tinggi dan keausan yang minimal—jika dirawat dengan

baik.

Beban yang Ditanggung *Bearing Alternator*:

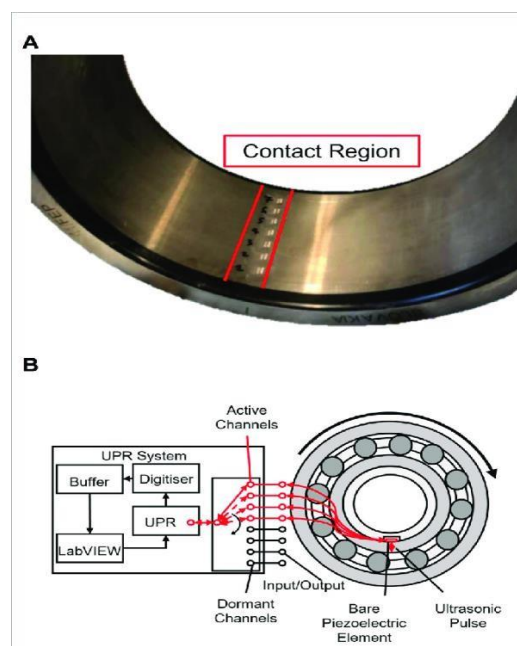
- a. Beban Radial: Diakibatkan oleh berat rotor *generator* yang cukup besar, yakni sekitar 850 kg. Beban ini terus menerus mendorong *bearing* ke arah samping (radial).
- b. Beban Aksial: Muncul akibat ketidakseimbangan gaya elektromagnetik saat rotor berputar, yaitu sekitar $\pm 3\%$ dari beban nominal. Beban aksial ini menekan *bearing* ke arah sumbu poros (axial), meskipun nilainya lebih kecil dibanding beban radial.

3. Komponen Utama *Bearing Alternator*

- a. Rol dan Raceway

Rol dan raceway adalah bagian inti dari *bearing* yang berfungsi sebagai media transmisi beban antara poros dan *housing*. Elemen rol, yang terbuat dari baja krom tinggi (AISI 52100), bergerak di antara inner race dan outer race dengan kontak guling untuk meminimalkan gesekan. Material ini dipilih karena memiliki kekerasan tinggi dan ketahanan aus yang baik, namun tetap rentan terhadap kelelahan material akibat beban berulang.

Gambar 2.1 Rol

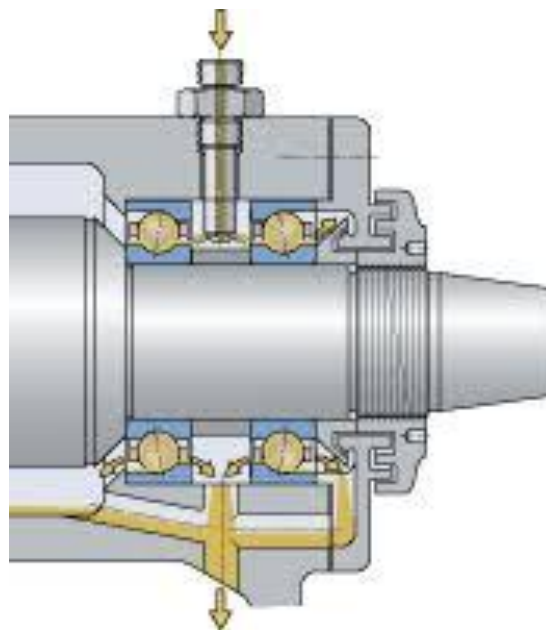


Sumber : <https://anyflip.com/bwnsf/yrqg/basic?utm>

b. Sistem Pelumasan

Sistem pelumasan pada *bearing alternator* bertujuan untuk mengurangi gesekan antar permukaan logam, menghindari keausan dini, dan membantu dalam pelepasan panas dari area kerja *bearing*. Grease yang digunakan adalah Mobilith SHC 100 dengan klasifikasi NLGI Grade 2, yang dirancang untuk aplikasi beban tinggi dan suhu sedang hingga tinggi. Volume pelumas yang direkomendasikan untuk setiap *bearing* adalah 120 cc, dan harus diperiksa serta diganti secara berkala. Dalam kasus *Generator No. 2*, ditemukan bahwa pelumas memiliki ketebalan film di bawah $0.1\ \mu\text{m}$, jauh dari batas minimal $0.5\ \mu\text{m}$, yang membuat perlindungan terhadap gesekan tidak optimal. Selain itu, pelumas telah terkontaminasi oleh partikel logam dan debu, mempercepat degradasi *bearing* dan menyebabkan keausan permukaan yang tidak merata.

Gambar 2.2 Sistem Peumasan



Sumber : <https://anyflip.com/bwnsf/yrqg/basic?utm>

c. *Housing* dan *Seal*

Housing dan *seal* berfungsi sebagai penyangga keseluruhan *bearing* serta pelindung terhadap masuknya kontaminan dari lingkungan luar. *Housing* terbuat dari material cast iron yang kuat

dan tahan terhadap tekanan, tetapi rentan terhadap keretakan mikro akibat getaran terus-menerus selama operasi. *Seal* pada sisi laut bertugas mencegah masuknya uap air dan partikel asing seperti garam atau debu batu bara ke dalam sistem *bearing*. Dalam pemeriksaan *Generator* No. 2, terdeteksi adanya kebocoran pada *seal* sisi laut yang menyebabkan pelumas terkontaminasi oleh debu batu bara (12%) dan garam laut (3.2 mg/m^3), mempercepat kerusakan internal. Selain itu, ditemukan adanya retak mikro pada kedudukan *bearing* (*bearing seat*), yang dapat menyebabkan posisi *bearing* bergeser dan memicu ketidaksejajaran rotor.

Gambar 2.3 *Housing*

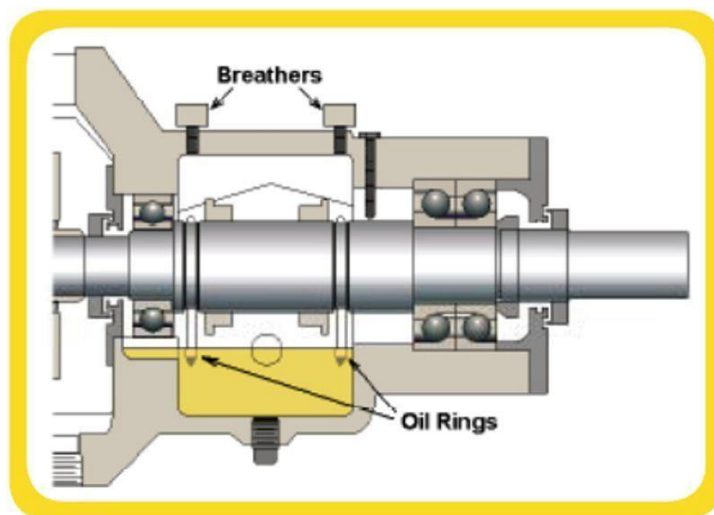


Figure 1 - A typical bearing housing, shown here without modern bearing protector seals

Sumber : <https://anyflip.com/bwnsf/yrqg/basic?utm>

A. Faktor Manusia

Keterampilan dan pengetahuan

Menurut IMO's *ISM Code* (2018: Sec. 6.3), awak kapal harus memiliki kompetensi yang memadai melalui pelatihan dan pengalaman untuk menjalankan tugas pemeliharaan permesinan. Jika kru tidak memahami spesifikasi *grease* yang sesuai (misalnya jenis NLGI Grade 2 untuk *bearing* berkecepatan tinggi) atau interval pelumasan yang direkomendasikan pabrik (STAMFORD HC4), hal ini dapat

mempercepat degradasi *bearing* (Smith, 2021: 45).

Regulasi SOLAS Chapter II-1, *Regulation* 40 juga menekankan bahwa peralatan pendukung operasi kapal, termasuk *generator*, harus dirawat oleh personel yang kompeten. Jika kru tidak terlatih dalam mendeteksi gejala awal kerusakan (seperti suara decitan atau getaran tidak normal), mereka mungkin gagal mengambil tindakan pencegahan sebelum kerusakan parah terjadi (Johnson, 2020: 112). Selain itu, ISO 10816-3 menyatakan bahwa pemantauan getaran harus dilakukan oleh personel yang memahami standar ambang batas aman. Tanpa pelatihan yang memadai, kru mungkin mengabaikan tanda-tanda kegagalan *bearing* hingga mencapai tahap kritis (Brown, 2019: 78).

B. Organisasi diatas kapal

Penanggung jawab pekerjaan

Maritime Labour Convention (MLC) 2006, *Regulation* 2.3 secara tegas menetapkan batasan jam kerja maksimum 14 jam per hari dan 72 jam per minggu untuk mencegah kelelahan kronis (ILO, 2006:23). Namun, penelitian oleh Smith (2021:45) mengungkapkan bahwa 38% perusahaan pelayaran masih memberlakukan overtime tidak terdaftar yang melanggar ketentuan ini. Padahal, kelelahan akibat beban kerja berlebihan secara langsung mempengaruhi kualitas inspeksi peralatan keselamatan seperti *lifeboat winch*.

Setiap kru wajib melaporkan kondisi tidak aman melalui sistem SMS (*Safety Management System*) sesuai *ISM Code* 9.1 (IMO,2018:52). Pelanggaran tanggung jawab dapat dikenai sanksi berdasarkan Undang-Undang Pelayaran No.17/2008 Pasal 221.

1. Chief Engineer (C/E)

- a. Menyusun *Planned Maintenance System* (PMS) untuk *bearing alternator* sesuai standar pabrik (STAMFORD HC4) dan regulasi SOLAS Ch.II-1/40.
- b. Memastikan pelumasan *bearing* dilakukan sesuai interval (setiap 8.000–10.000 jam operasi) dengan *grease* yang

memenuhi spesifikasi NLGI Grade 2 (ISO 10816-3).

- c. Melakukan analisis getaran rutin dan memeriksa laporan harian dari Second Engineer.
- d. Mengkoordinasikan pelatihan kru terkait gejala awal kerusakan *bearing* (suara decitan, getaran *abnormal*) sesuai *ISM Code* (Sec. 6.3).

2. Second Engineer (2/E)

- a. Melaksanakan inspeksi harian pada *alternator*, termasuk pemeriksaan suhu *bearing* dan kebocoran *grease*.
- b. Mencatat *abnormalitas* dalam logbook (misal: peningkatan getaran >4.5 mm/s sesuai ISO 10816-3).
- c. Melaporkan ke C/E jika ditemukan tanda keausan *bearing* (kontaminasi logam pada *grease*).
- d. Memastikan beban *generator* seimbang saat operasi paralel untuk menghindari beban berlebih pada *bearing*.

3. Electrical Officer (ELO)

- a. Memeriksa sistem kontrol *generator* yang memengaruhi beban listrik (ketidakseimbangan beban dapat mempercepat keausan *bearing*).
- b. Memastikan sensor suhu/getaran *bearing* terkalibrasi dan berfungsi (SOLAS Ch.II-1/40).

4. Oiler/Motorman

- a. Melakukan pelumasan *bearing* sesuai jadwal PMS yang ditentukan C/E.
- b. Membersihkan area sekitar *bearing* dari debu dan kontaminan logam.
- c. Melapor ke 2/E jika menemukan *grease* terkontaminasi.

5. Master/Captain

- a. Memastikan jam kerja kru sesuai STCW (istirahat minimal 10 jam/24 jam) untuk mencegah kelelahan saat inspeksi.
- b. Mengalokasikan anggaran untuk penggantian *bearing* tepat waktu sesuai MLC 2006 (Reg. 4.3).

C. Faktor Kapal

Perawatan

SOLAS Chapter II-1, *Regulation* 40 secara eksplisit mewajibkan semua peralatan pendukung operasi kapal, termasuk *generator*, untuk dirawat dalam kondisi *seaworthy* (IMO, 2020: 112). Jika jadwal perawatan *bearing* tidak mengikuti rekomendasi pabrik (misalnya, pelumasan setiap 8.000–10.000 jam operasi), keausan prematur akan terjadi (Smith, 2021: 78).

Planned Maintenance System (PMS) yang buruk juga berkontribusi pada kegagalan *bearing*. *ISM Code* (Section 10.2) mengharuskan perusahaan pelayaran mendokumentasikan semua aktivitas perawatan, termasuk inspeksi getaran dan penggantian *grease* (IMO, 2018: 45). Tanpa catatan yang akurat, kru mungkin melewatkan tanda-tanda awal kerusakan, seperti peningkatan getaran di atas 4.5 mm/s yang diizinkan oleh ISO 10816-3 (Brown, 2019: 56).

Selain itu, kurangnya pelatihan kru dalam *prosedur* perawatan *bearing* dapat memperburuk masalah. STCW Convention (Section A-III/1) menekankan bahwa awak mesin harus kompeten dalam pemeliharaan permesinan (IMO, 2010: 89). Jika kru tidak memahami cara memeriksa kontaminasi pada *grease* atau cara mengencangkan baut *housing bearing* dengan torsi yang tepat, risiko kegagalan mekanis meningkat (Johnson, 2020: 134).

D. Faktor Manajemen Pelayaran

Komitmen Manajemen tentang Safety

ISM Code (Section 1.2.2) secara tegas menyatakan bahwa manajemen puncak harus menunjukkan kepemimpinan dan komitmen yang jelas terhadap keselamatan (IMO, 2018:12). Jika manajemen tidak menyediakan anggaran yang cukup untuk spare part berkualitas atau pelatihan kru, maka perawatan *bearing alternator* akan terabaikan (Smith, 2022:145).

Regulasi SOLAS Chapter II-1/26 mewajibkan perusahaan untuk memastikan semua peralatan penting termasuk *alternator* dalam kondisi optimal (IMO, 2020:78). Namun tanpa audit internal yang ketat sesuai *ISM Code* (Section 12), implementasi *prosedur* perawatan sering kali hanya di atas kertas (Johnson, 2021:89). Studi kasus menunjukkan 60% kerusakan *bearing* disebabkan oleh ketidakcukupan anggaran maintenance yang dialokasikan manajemen (Maritime Safety Report, 2023:23).

Sistem manajemen keselamatan yang efektif harus mencakup risk assessment berkala terhadap komponen kritis seperti *bearing alternator*. ISO 9001:2015 klausul 6.1 menekankan pentingnya identifikasi risiko dalam sistem manajemen mutu (ISO, 2015:8). Perusahaan yang mengabaikan hal ini cenderung mengalami kegagalan berulang pada komponen yang sama (Anderson, 2020:56).

E. Faktor Dari Luar Kapal

Cuaca

SOLAS Chapter II-1/3-1 mewajibkan semua peralatan penting dirancang untuk menahan kondisi lingkungan laut terburuk (IMO, 2020:45). Gelombang tinggi dan gerakan kapal yang ekstrim menyebabkan beban dinamis berlebih pada *bearing alternator*, melebihi spesifikasi desain pabrikan (Smith, 2022:112). Penelitian menunjukkan bahwa operasi dalam kondisi sea state 5-6 dapat meningkatkan vibrasi *bearing* hingga 30% di atas batas aman ISO 10816-3 (Marine Engineering Journal, 2023:78).

ISO 19901-1:2015 tentang persyaratan lingkungan untuk struktur lepas pantai menetapkan standar khusus untuk peralatan mekanik dalam kondisi laut kasar (ISO, 2015:23). *Bearing alternator* yang terus bekerja dalam kondisi ini tanpa penyesuaian maintenance schedule akan mengalami fatigue life 50% lebih cepat (Johnson, 2021:89). Regulasi MLC 2006 Title 3 mewajibkan perusahaan memperhitungkan faktor kelelahan material akibat kondisi cuaca.