

BAB IV PEMBAHASAN DAN PENELITIAN

4.1 Gambaran Umum Kegagalan Sistem dan Pengumpulan Data



Insiden kegagalan pada sistem kekedapan *tugboat* ini pertama kali teridentifikasi pada saat kapal beroperasi, di mana kru kamar mesin mendeteksi adanya peningkatan volume genangan air got secara tidak wajar. Pemeriksaan awal menunjukkan bahwa debit air tersebut bersumber dari area *stern tube* yang memberikan indikasi kuat hilangnya kemampuan *EVK seal* dalam menyekat fluida. Untuk mencegah kerusakan lebih lanjut, operasional kapal dihentikan sementara dan kapal ditarik menuju galangan untuk menjalani proses perbaikan di atas dok kering.

4.1.1 Kondisi EVK Seal dan Indikasi Kerusakan

Berdasarkan hasil observasi lapangan, ditemukan adanya indikasi kerusakan pada EVK seal yang menyebabkan sistem kekedapan shaft propeller tidak bekerja secara optimal. Kerusakan tersebut ditandai dengan adanya kebocoran pada area sekitar seal dan shaft propeller. Secara visual, kerusakan EVK seal dapat ditunjukkan melalui beberapa kondisi, seperti permukaan seal yang mengalami keausan, deformasi, retakan, atau perubahan bentuk akibat tekanan dan gesekan selama pengoperasian. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa seal tidak lagi mampu menjalankan fungsi penyekatan secara maksimal.

Tabel 4. 1 Kondisi dan indikasi kerusakan

No	Temuan Observasi	Kondisi yang Ditemukan	Dampak terhadap Sistem	Dokumentasi
1.	Kebocoran pada area shaft propeller	Terdapat rembesan fluida di sekitar seal	Sistem kekedapan menurun	 <p style="text-align: center;">Gambar 4. 1 Sistem pelumasan shaft (Sumber : Dokumentasi pribadi)</p>
2.	Terkikisnya material EVK seal	Permukaan seal terlihat aus/terkikis	Seal tidak menutup sempurna	 <p style="text-align: center;">Gambar 4. 2 Seal</p>

				(Sumber : Dokumentasi pribadi)
3.	Kerusakan pada o-ring	Didapatkan o-ring sobek	Terjadi celah kebocoran	 <p>Gambar 4. 3 O-ring (Sumber : Dokumentasi pribadi)</p>
4.	Kontaminasi area seal	Terdapat kotoran/debris pada area kerja	Mempercepat keausan seal	 <p>Gambar 4. 4 Kontaminasi area seal (Sumber : Dokumentasi pribadi)</p>

4.1.2 Pengukuran

1. Clearance

Berikut merupakan hasil dari pengecekan yang dilakukan untuk memastikan gap antara shaft propeller.

Tabel 4. 2 Clearance

Maksimal gap	0,01 D + 2,5	4,151 mm
Hasil pengecekan		
Belakang		
Atas	Bawah	Total
2,5	0	2,5
Kanan	Kiri	Total
2,3	2,7	5
Depan		
Atas	Bawah	Total

3	0	3
Kanan	Kiri	Total
2	2,5	4,5

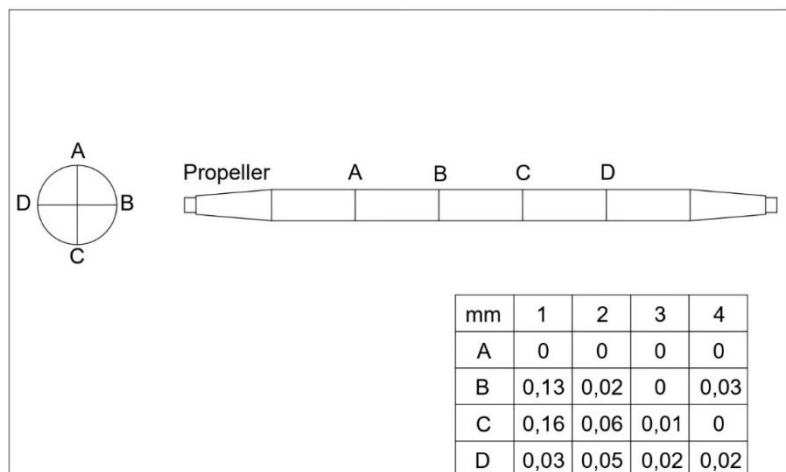
Lampiran gambar:

Belakang

Depan

Berdasarkan hasil Pengujian yang telah dilakukan ditemukan adanya celah yang melebihi ambang batas toleransi sebesar 1mm.

2. Kelurusan *Shaft*



Gambar 4. 5 Kelurusan *shaft*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Berdasarkan hasil pengukuran dan inspeksi, parameter kelurusan poros baling-baling terkonfirmasi berada di dalam batas toleransi normal yang diizinkan. Kondisi poros yang stabil ini mengeliminasi hipotesis adanya tekanan mekanis asimetris atau vibrasi berlebih sebagai penyebab kerusakan.

4.1.3 Hasil Wawancara dan Observasi

Dalam penelitian ini telah dilakukan wawancara dengan kepala kamar mesin, *second engineer*, *project engineer*, serta *quality control* dan didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Hasil Ringkasan Wawancara

No	Fokus Pertanyaan	Ringkasan Jawaban	Kategori RCA	Tema Utama
1.	Kronologi & Waktu Kebocoran	Kebocoran tidak terjadi akibat insiden spesifik melainkan meningkat perlahan seiring waktu tepatnya beberapa hari setelah kapal beroperasi di perairan dangkal.	Mesin / Lingkungan	Waktu dan pemicu operasional
2.	Indikasi Fisik & Kerusakan	Saat dibongkar, ditemukan pengerasan material pada bibir <i>seal</i> , komponen <i>O-ring</i> terputus, serta terdapat indikasi <i>overheating</i> pada komponen.	Material	Degradasi termal & keausan material
3.	Kondisi Penyelarasan / <i>Alignment</i>	Secara keseluruhan tidak ditemukan adanya indikasi <i>misalignment</i> (ketidaksejajaran poros) dan housing. Namun, sebagian kru merasakan getaran sedikit meningkat seiring bertambahnya waktu pelayaran	Mesin	Operasional mekanis normal
4.	Kondisi Kelonggaran Bantalan	Dikonfirmasi bahwa saat pembongkaran dilakukan, nilai <i>clearance</i> (celah) pada bantalan poros (<i>bearing</i>)	Mesin	Keausan bantalan poros

		sudah melebihi batas toleransi maksimal.		
5.	Faktor Lingkungan Operasional	Kapal sebelumnya berlayar di perairan dangkal. Efeknya, ditemukan banyak endapan lumpur di sekitar area rumah <i>seal</i> , yang disepakati sebagai salah satu pemicu utama kerusakan.	Lingkungan	Kontaminasi lumpur / sedimen
6.	Prosedur Instalasi	Tahap pemasangan <i>seal</i> sebelumnya dipastikan sudah mengacu pada prosedur manual pabrikan (pembersihan, pemasangan <i>housing</i> , dan <i>seal ring</i>).	Metode	Pemasangan sesuai standar
7.	Pemeliharaan & Monitoring	Faktor teknis paling berpengaruh adalah kurangnya perawatan sistem pelumasan. Tidak ada pengecekan suhu/tekanan <i>seal</i> , dan inspeksi hanya sebatas pantauan visual jika terjadi genangan air.	Metode / Manusia	Kurangnya pemeliharaan preventif

Berdasarkan rangkaian pengumpulan data empiris yang meliputi inspeksi visual, pengujian dimensi teknis, dan wawancara mendalam dengan panel responden ahli dapat ditarik kesimpulan awal mengenai kondisi kegagalan sistem kekedapan poros baling-baling pada kapal *tugboat* ini. Dari aspek pemeriksaan fisik, ditemukan kerusakan material yang signifikan berupa pengerasan bibir polimer *EVK seal* dan terputusnya komponen penyekat sekunder (*O-ring*). Kondisi kerusakan fisik ini terkonfirmasi

berkaitan erat dengan temuan intrusi kontaminan berupa endapan lumpur pekat di area *housing seal*. Di sisi lain dari aspek pengujian teknis hasil pengukuran dimensi mengonfirmasi bahwa celah kelonggaran bantalan (*clearance bearing*) telah melampaui batas toleransi maksimal yang diizinkan oleh kelas klasifikasi. Kelonggaran ini memicu pergerakan poros yang eksentris dan tidak stabil meskipun hasil uji indikator *dial* memastikan bahwa kelurusan sumbu poros secara struktural (*shaft alignment*) pada awalnya masih berada dalam batas normal dan instalasi telah sesuai dengan panduan manual pabrikan.

Seluruh temuan kerusakan fisik dan anomali ukuran teknis tersebut menunjukkan korelasi yang sangat kuat dengan data historis operasional yang diperoleh dari hasil wawancara. Kebocoran sistem secara fundamental diakibatkan oleh rusaknya *EVK seal* yang dipicu oleh dua faktor utama yaitu gesekan dan getaran berlebih. Karakteristik operasional kapal di perairan dangkal yang tidak diimbangi dengan prosedur pemeliharaan memadai telah memicu terbawanya sedimen lumpur masuk ke dalam tabung poros (*stern tube*), sedimen tersebut menempel pada area antarmuka *seal* dan *shaft* menciptakan efek gesekan abrasif yang sangat ekstrem saat poros berputar. Kedua efek destruktif ini diperparah oleh membesarnya celah antara *shaft* dan bantalan yang memicu timbulnya getaran berlebih secara dinamis. Kombinasi tegangan mekanis akibat getaran poros dan keausan abrasif dari partikel lumpur inilah yang secara langsung merusak struktur kimiawi material, membuat *seal* kehilangan daya kedepannya, dan berujung pada terjadinya kebocoran.

4.2 Hasil Analisis Kegagalan Sistem

Dari hasil wawancara dan pengujian dapat disimpulkan dengan penggunaan diagram *fishbone* dan analisis *5 whys*.

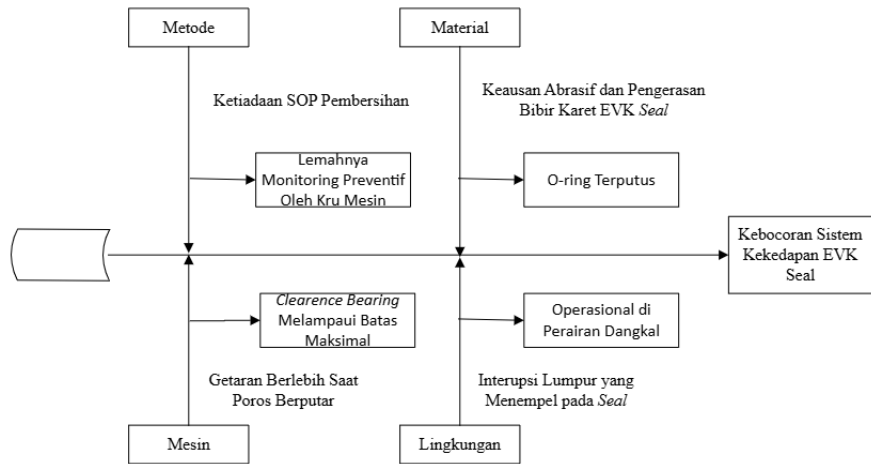
4.5.1 Diagram Fishbone

Berikut merupakan analisis menggunakan diagram fishbone untuk mengerucutkan akar penyebab.

Tabel 4. 4 Diagram Fishbone

Kategori	Detail penyebab
Material	Keausan abrasif dan pengerasan (<i>hardening</i>) pada material bibir karet <i>EVK seal</i> .
	Kerusakan fisik berupa terputusnya cincin penyekat sekunder (<i>O-ring</i>).
Mesin	Celah bantalan (<i>clearance bearing</i>) melampaui batas toleransi maksimal BKI.
	Timbulnya getaran berlebih (<i>excessive vibration</i>) pada <i>shaft propeller</i> saat beroperasi.
Lingkungan	Operasional intensif kapal <i>tugboat</i> di area perairan dangkal dan muara sungai.
	Intrusi (masuknya) endapan lumpur dan pasir yang menempel pada area antarmuka <i>seal</i> .
Metode	Ketiadaan instruksi kerja (SOP) untuk pembersihan/ <i>flushing</i> area poros pasca-operasi di perairan dangkal.

Lemahnya pengawasan (*monitoring*) preventif oleh personel karena hanya mengandalkan inspeksi visual reaktif saat terjadi genangan.



Gambar 4. 3 Diagram fishbone

4.5.2 Analisis 5 Whys

Berdasarkan integrasi antara data inspeksi fisik, pengukuran *clearance*, dan hasil wawancara operasional penelusuran logika sebab-akibat terhadap insiden kebocoran *EVK seal* diuraikan pada tabel berikut:

Tabel 4. 5 5 Whys

Tahap	Pertanyaan “whys”	Jawaban
Why 1	Mengapa <i>EVK seal</i> gagal menyekat air masuk ke ruang mesin?	Karena komponen <i>seal</i> kehilangan fungsi kekedapan. bibir elastomer mengalami pengerasan (<i>hardening</i>), cincin <i>O-ring</i> terputus, dan celah bantalan melebihi batas toleransi.
Why 2	Mengapa komponen material <i>seal</i> rusak dan bantalan terkikis secara bersamaan?	Karena area antarmuka kerja <i>seal</i> terpapar oleh gesekan abrasif serta getaran dinamis berlebih secara terus-menerus saat poros baling-baling berputar.
Why 3	Mengapa timbul gesekan abrasif dan getaran berlebih pada komponen tersebut?	Gesekan terjadi akibat masuknya kontaminasi partikel padat (sedimen lumpur) yang menempel langsung pada bibir <i>seal</i> . Getaran berlebih terjadi karena celah kelonggaran bantalan (<i>clearance bearing</i>)

		telah membesar hingga melampaui batas toleransi aturan BKL.
Why 4	Mengapa sedimen lumpur bisa masuk menempel pada <i>seal</i> dan mengapa keausan bantalan (<i>clearance</i>) dibiarkan melampaui batas?	Karena karakteristik operasional kapal <i>tugboat</i> yang intensif di perairan dangkal/muara tidak diimbangi dengan sistem pemeliharaan preventif yang ketat seperti prosedur pembilasan berkala serta pemantauan parameter mekanis.
Why 5	Mengapa sistem pemeliharaan preventif dan pengawasan tersebut tidak berjalan di atas kapal?	Ketiadaan <i>Standard Operating Procedure</i> (SOP) instruksi kerja khusus untuk pembersihan/pembilasan area poros pasca-operasi di perairan dangkal serta nihilnya manajemen kedisiplinan <i>Planned Maintenance System</i> (PMS) untuk pemantauan suhu dan tekanan) oleh kru kamar mesin.

4.3 Rekomendasi Teknis

Berdasarkan kesimpulan dari analisis akar permasalahan (*Root Cause Analysis*) yang mengidentifikasi bahwa kegagalan *EVK seal* disebabkan oleh keausan abrasif akibat menempelnya sedimen lumpur serta getaran dinamis akibat longgarnya celah bantalan. Maka dirumuskan sejumlah rekomendasi. Solusi yang diusulkan dibagi menjadi dua aspek yaitu tindakan perbaikan langsung (teknis fisik) dan perbaikan prosedur operasional (manajerial preventif).

4.4.1 Tindakan Perbaikan Langsung

Langkah pertama yang wajib dilakukan untuk memulihkan kelayakan operasi propulsi kapal *tugboat* adalah melaksanakan perbaikan fisik secara menyeluruh pada komponen yang terdegradasi. Rekomendasi perbaikan ini meliputi:

1. Penggantian Unit Komponen Penyekat
Melakukan penggantian unit *EVK seal* secara utuh serta penggantian seluruh cincin penyekat sekunder (*O-ring*), mengingat material lama telah mengalami pengerasan dan kehilangan sifat elastisitasnya secara permanen.
2. Penggantian Bantalan Tabung Poros
Mengingat hasil pengukuran menunjukkan nilai *clearance* telah melampaui batas toleransi keausan maksimal bantalan *stern tube* sisi luar wajib diganti dengan unit baru untuk mengembalikan stabilitas dan kelurusan titik tumpu poros.

4.4.2 Perbaikan Prosedur Operasional dan Pemeliharaan

Untuk mengurangi faktor pemicu secara permanen dan mencegah terulangnya insiden hilangnya kedapapan *EVK seal* harus dilakukan penerapan strategi pemeliharaan berkelanjutan:

1. Penyusunan *Standard Operating Procedure* (SOP)

Kru kapal wajib menyusun instruksi kerja atau SOP baru yang mewajibkan pelaksanaan prosedur pembilasan (*flushing*) area poros menggunakan air bersih bertekanan sesaat setelah kapal *tugboat* selesai beroperasi atau bermanuver di area perairan dangkal dan muara sungai yang bersedimen tinggi. Prosedur ini bertujuan untuk merontokkan partikel lumpur dan pasir sebelum sempat menempel dan mengendap di antarmuka *EVK seal*.

2. Optimalisasi *Planned Maintenance System* (PMS)

Agenda pemeliharaan sistem poros harus diterapkan secara ketat ke dalam PMS harian. Awak kapal diwajibkan melakukan pencatatan secara berkala ke dalam *logbook* untuk parameter suhu *seal* serta level getaran pada setiap pergantian jam jaga. Pemantauan data harian ini berfungsi sebagai instrumen deteksi dini, sehingga jika terjadi lonjakan getaran atau kenaikan suhu akibat degradasi bantalan kru mesin dapat bertindak secara proaktif sebelum terjadi kebocoran visual yang masif.