

Analisis Proses *Anchor Handling* Dengan Penggunaan *Full Thruster* (Studi Kasus: Kapal SV. Etzomer 1601)

Jendra Arya Anugrah Andi Bolong¹, Sutoyo², Eddi³, Fazri Hermanto⁴

^{1,2,3,4} Politeknik Pelayaran Surabaya

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

Email: jendraarya87@gmail.com, sutoyopoltekpel@gmail.com, eddi.llaj87@gmail.com,
fazri.hermanto@poltekpel-sby.ac.id

ABSTRAK

Anchor handling merupakan kegiatan penting pada kapal pendukung lepas pantai (*offshore support vessel*), khususnya kapal *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS) yang berperan dalam penanganan jangkar dan menjaga stabilitas posisi kapal. Dalam praktiknya, penggunaan *full thruster* sering diperlukan untuk mempertahankan posisi kapal pada kondisi lingkungan seperti arus, angin, dan gelombang. Namun, penggunaan *thruster* secara maksimal dalam waktu tertentu dapat menimbulkan gangguan teknis yang berdampak pada kelancaran operasional. Permasalahan ini terjadi pada kapal SV. Etzomer 1601 saat melakukan operasi *anchor handling* di perairan Natuna, di mana terjadi penurunan performa *stern thruster* yang menyebabkan keterlambatan operasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kendala penggunaan *full thruster* serta menganalisis upaya penanganannya. Metode yang digunakan adalah penelitian kualitatif dengan pendekatan deskriptif melalui observasi, wawancara, dan dokumentasi. Analisis data dilakukan menggunakan diagram *fishbone* untuk mengidentifikasi faktor penyebab secara sistematis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa permasalahan dipengaruhi oleh faktor *machine*, *material*, *environment*, dan *money*. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan penggunaan *thruster*, perawatan sistem secara berkala, serta koordinasi operasional yang baik untuk mendukung kelancaran proses *anchor handling*.

Kata kunci: *anchor handling*, *thruster*, *fishbone*, *offshore vessel*, operasional

ABSTRACT

Anchor handling is an important activity on offshore support vessels, especially on Anchor Handling Tug Supply (AHTS) vessels, which handle anchors and maintain the ship's position stability. In practice, a full thruster is often required to maintain the ship's position in conditions such as currents, winds, and waves. However, prolonged use of the thruster can cause technical problems that affect smooth operations. This problem occurred on the SV ship. In December 1601, during anchor-handling operations in Natuna waters, a decrease in stern thruster performance led to operational delays. This study aims to identify obstacles to the use of full thrusters and to analyze efforts to address them. The method used is qualitative research with a descriptive approach through observation, interviews, and documentation. Data analysis was conducted using fishbone diagrams to systematically identify causal factors. The results of the study show that the problem is influenced by machine, material, environment, and money factors. Therefore, it is necessary to manage thruster use, conduct periodic system maintenance, and ensure good operational coordination to support a smooth anchor-handling process.

Keywords: *anchor handling*, *thruster*, *fishbone*, *offshore vessel*, operational

Pendahuluan

Dinamika industri lepas pantai (*offshore*) sangat bergantung pada keandalan kapal pendukung, khususnya jenis *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS) [1]. Kapal ini punya tugas krusial dalam operasi *anchor handling*, yang mencakup kegiatan penarikan, pemindahan, serta penempatan jangkar dan sistem tambat (*mooring*) pada rig atau fasilitas lepas pantai [2]. Lingkungan laut yang sering kali tak terduga, dengan arus kuat, gelombang tinggi, dan hembusan angin kencang, menuntut kapal untuk memiliki kemampuan manuver dan stabilitas tingkat tinggi [3], [4].

Untuk bisa bertahan di posisi yang presisi saat bekerja, kapal AHTS sangat mengandalkan sistem propulsi bantu yang dikenal sebagai *thruster* [5]. Pada situasi ekstrem misalnya saat cuaca memburuk atau ruang gerak di sekitar anjungan sangat terbatas penggunaan *thruster* secara maksimal (*full thruster*) kerap menjadi taktik operasional yang mau tak mau harus diambil oleh perwira kapal [6], [7]. Namun, menjalankan *thruster* secara terus-menerus di beban puncaknya tentu membawa risiko tersendiri. Beban kerja yang terlampaui berat bisa memicu lonjakan arus listrik (*overload*) yang berdampak pada panas berlebih di komponen permesinan [8]. Jika dibiarkan, hal ini berisiko melumpuhkan sistem propulsi di tengah operasi kritis [9].

Regulasi maritim internasional pun sebenarnya menaruh perhatian besar pada hal ini. Resolusi IMO MSC.415(97) yang mengamandemen SOLAS Chapter II-1 menegaskan bahwa seluruh peranti *lifting* dan penanganan jangkar wajib diuji dan dipelihara agar bisa beroperasi dengan andal [10].

Kasus gagal sistem akibat beban ekstrem ini nyata terjadi pada kapal SV. Etzomer 1601 [11]. Pada bulan Februari 2025, saat kapal tengah menjalankan misi *anchor handling* di perairan Natuna (tepatnya di area FPSO Marlin Natuna), mereka diinstruksikan untuk menarik empat jangkar (*retrieval*) dari Barge Rajawali Cavalier [12], [13]. Sayangnya, cuaca saat itu kurang bersahabat. Arus dan angin yang kencang memaksa kapal menekan *stern thruster* hingga kapasitas 100% [14]. Tarikan daya yang masif ini berujung pada terjadinya *overvoltage*, yang membuat RPM turun drastis dan *thruster* mengalami *black out* (mati total) [15].

Insiden pelumpuhan *thruster* tersebut jelas membuat manuver kapal jadi pincang dan memicu keterlambatan operasional yang signifikan [16]. Merujuk pada kejadian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membedah secara mendalam apa saja kendala yang muncul saat penggunaan *full thruster* dan bagaimana strategi penanganan yang paling logis untuk mencegah insiden serupa terulang, sehingga kelancaran operasi AHTS bisa lebih terjamin [17].

Kajian-kajian terdahulu dalam bidang propulsi kapal AHTS umumnya berfokus pada simulasi kapasitas numerik *thruster* berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD), permodelan hidrodinamika gayaambat, atau degradasi mekanis bantalan poros (*bearing*) pada beban operasional standar. Terdapat celah penelitian (*research gap*) yang signifikan terkait analisis empiris terhadap mode kegagalan kelistrikan dan manajerial (seperti *overvoltage tripping* dan *black out*) saat *thruster* dioperasikan pada batas kontinu 100% di bawah tekanan lingkungan nyata yang ekstrem.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah akademik tersebut dengan mengidentifikasi kendala teknis dan kelistrikan dari penggunaan *full thruster*, memetakan akar penyebabnya melalui pendekatan rekayasa keandalan, serta merumuskan prioritas penanganan guna memitigasi risiko kegagalan operasional. Pernyataan Kontribusi (*Contribution Statement*): Penelitian ini menghadirkan kebaruan akademik berupa integrasi model analisis *Root Cause* berbasis *Fishbone* dengan penilaian matriks prioritas risiko pada sistem propulsi terintegrasi DP-2, yang menjembatani aspek teknis kelistrikan (*reliability engineering*) dengan faktor perilaku organisasi keselamatan maritim (*human and organizational factors*) pada armada AHTS saat beroperasi di perairan ekstrem.

Metode Penelitian

Penelitian ini dirancang menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif berbasis studi kasus mendalam (*in-depth case study*). Pendekatan ini dipilih karena kemampuannya dalam memotret fenomena operasional secara nyata, mendetail, dan terstruktur, serta menganalisis hubungan sebab-akibat antara parameter kelistrikan, batas toleransi permesinan, tindakan personel, dan dinamika lingkungan laut. [18], [19].

Pengambilan data dilakukan saat periode praktik laut (prala) di atas SV. Etzomer 1601 selama kurang lebih satu tahun (Agustus 2024 hingga Agustus 2025). Untuk mengumpulkan data yang solid, penelitian ini memadukan tiga teknik utama:

- Observasi: Mengamati langsung dari anjungan dan kamar mesin saat proses *anchor handling* berjalan, terutama saat panel *thruster* mulai menunjukkan gejala kewalahan [20].
- Wawancara: Ngobrol mendalam dengan para praktisi utama di kapal, yaitu *Captain*, *Chief Officer*, *Chief Engineer*, dan *Electrician* (ETO), untuk membedah masalah dari kacamata operasional navigasi hingga teknis kelistrikan [21].
- Dokumentasi: Membedah dokumen pendukung seperti *Ship Particular*, *Task Risk Assessment* (TRA) dari perusahaan, dan log operasional kapal [22].

Seluruh data yang terkumpul kemudian diurai menggunakan pisau analisis Diagram Fishbone (Tulang Ikan) [23]. Metode ini dipakai untuk memetakan akar masalah secara rapi ke dalam empat kerangka dasar: *Machine* (peralatan), *Material* (kondisi fisik), *Environment* (lingkungan), dan *Money* (dampak operasional/biaya) [24].

Peneliti membedah dokumen *Ship Particulars* untuk memverifikasi kapasitas KW dari *main engine* dan *thruster*. Selanjutnya, analisis tajam dilakukan terhadap *Task Risk Assessment* (TRA) *Anchor Handling* yang diterbitkan oleh perusahaan untuk melihat apakah risiko *blackout* mesin telah diantisipasi dalam SOP keselamatan. Selain itu, gambar dari tangkapan layar (*screenshot*) *DP Power Thruster Monitor* juga digunakan sebagai bukti forensik kelistrikan.

Setelah semua serpihan data dari observasi, transkrip wawancara, dan dokumen terkumpul, tiba pada fase paling krusial: Analisis Data. Mengadopsi prinsip analisis interaktif dari Miles dan Huberman (reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan), peneliti mentransformasikan data yang masih berserakan ini ke dalam sebuah kerangka analisis yang sangat dihormati di dunia rekayasa industri: Diagram Fishbone (Tulang Ikan).

Keabsahan dan Rigoritas Data (*Data Validity and Rigor*): Guna memenuhi standar ketat validitas ilmiah, penelitian ini menerapkan teknik triangulasi sumber dan triangulasi metode. Data kuantitatif dari log parameter kelistrikan dan bukti tangkapan layar monitor divalidasi silang (*cross-validation*) dengan hasil observasi fisik dan pernyataan ahli melalui wawancara terstruktur (*credibility checking*). Proses reduksi data, penyajian data, dan penarikan simpulan dilakukan secara iteratif untuk memastikan konsistensi temuan.

Seluruh data yang telah tervalidasi kemudian dianalisis menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA) melalui kerangka Diagram *Fishbone* (Tulang Ikan). Pendekatan ini memetakan akar permasalahan utama—yakni terjadinya *overvoltage* dan *black out* pada *stern thruster*—ke dalam empat kategori pilar operasional: *Machine* (arsitektur kelistrikan dan

kendali), *Material* (kondisi fisik dan suku cadang), *Environment* (beban oseanografi eksternal), dan *Money/Manpower* (aspek manajerial dan sumber daya manusia). Guna meningkatkan kedalaman analisis, pemetaan *Fishbone* dilanjutkan dengan penilaian tingkat prioritas risiko untuk menentukan faktor yang memerlukan mitigasi paling mendesak.

Hasil Dan Pembahasan

Gambaran Umum Lokasi dan Spesifikasi Kapal

Armada SV. Etzomer 1601 merupakan kapal pendukung lepas pantai berteknologi tinggi yang dirancang khusus dengan klasifikasi *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS). Kapal berbendera Indonesia dengan pelabuhan pendaftaran Jakarta ini dioperasikan oleh PT. ELPI Offshore, bagian dari entitas Pelayaran Nasional Ekalya Purnamasari (PNEP). SV. Etzomer 1601 memegang sertifikasi kelas ganda dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dan RINA Class, dengan notasi teknis A1 *Offshore Service Vessel, Supply, AHT, Fire Fighter*, serta dilengkapi sistem *Dynamic Positioning* (DP-2). Parameter spesifikasi teknis utama disajikan pada Tabel.

Berikut adalah ringkasan spesifikasi teknis (Ship Particulars) dari SV. Etzomer 1601 yang disajikan dalam Tabel 1 untuk memberikan gambaran kapasitas kerja kapal:

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Kapal SV. Etzomer 1601

Parameter	Spesifikasi
Nama Kapal	SV. Etzomer 1601
Tipe Kapal	Offshore Support Vessel (AHTS)
IMO Number / Call Sign	9344863 / YDKP2
Panjang Keseluruhan (L.O.A)	78.30 Meter
Lebar (Breadth Moulded)	17.30 Meter
Gross Tonnage (GT)	3.024 Tonnes
Deadweight Tonnage (DWT)	1.720 - 2.350 Ton
Mesin Utama (Main Engine)	4 x Niigata Marine Diesel Engine (Total ~10.800 KW)
Sistem Propulsi Bantu	Bow Thruster & Stern Azimuth Thruster (Terintegrasi DP-2)
Klasifikasi Kapal	BKI & RINA Class



Gambar 1. SV. Etzomer 1601

Konfigurasi propulsi SV. Etzomer 1601 memadukan empat unit mesin induk Niigata dengan *Controllable Pitch Propeller* (CPP) serta unit *thruster* berkapasitas tinggi. Sistem DP-2 berperan krusial dalam mengendalikan kestabilan posisi stasioner melalui perintah komputasi terintegrasi menuju unit pendorong lateral guna melawan resultan gaya eksternal. Namun, arsitektur kelistrikan dengan beban induktif dan non-linier yang tinggi memiliki kerentanan terhadap ketidakstabilan tegangan saat menghadapi pembebanan puncak.

Kronologi Operasional di Perairan Natuna

Malfungsi sistem kelistrikan propulsi terjadi pada bulan Februari 2025 saat kapal menjalankan misi *anchor handling* di area instalasi FPSO Marlin Natuna. Kapal ditugaskan untuk melakukan pemindahan posisi (*shifting*) *Barge* Rajawali Cavalier melalui prosedur penarikan dan pengangkatan (*retrieval*) empat unit jangkar utama penahan *barge*.

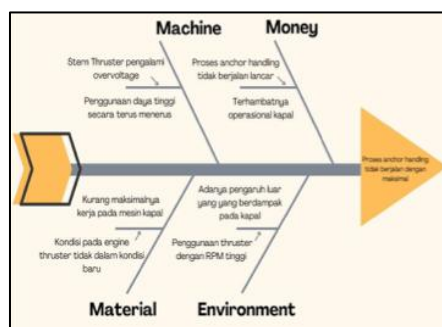
Prosedur diawali dengan merujuk pada *Task Risk Assessment* (TRA) operasional. Kondisi oseanografi di lokasi menunjukkan intensitas yang ekstrem; arus bawah laut memiliki kecepatan tinggi dengan arah menyilang (*cross-current*), diiringi gaya seret angin permukaan yang membentur struktur atas kapal. Guna memastikan posisi *stern roller* tetap terarah

lurus pada *pennant wire* jangkar dengan tingkat ketegangan tinggi, sistem navigasi anjungan memerintahkan beban *stern thruster* pada tingkat putaran penuh 100% secara konstan.

Setelah beroperasi menahan beban puncak selama beberapa menit, instrumen *DP Power Thruster Monitor* menunjukkan fluktuasi parameter yang ekstrem disertai pemicuan indikator alarm. Tarikan arus dan lonjakan tegangan pada sirkuit *stern thruster* menembus batas ambang aman, yang secara instan memicu pemutusan daya otomatis (*tripping/black out*) pada sirkuit pendorong buritan. Hilangnya gaya dorong lateral buritan menyebabkan lambung kapal mulai mengalami pergeseran liar (*drifting*) akibat dominasi gaya silang lingkungan dan tegangan tarik kawat jangkar. Situasi ini menuntut penghentian darurat proses penarikan demi menghindari risiko benturan fisik antar-aset.

Analisis Akar Masalah (Root Cause) dengan Diagram Fishbone

Fenomena *blackout* pada unit *thruster* saat operasi paling krusial ini tentu saja tidak berdiri sendiri. Menggunakan instrumen analisis Diagram Fishbone, peneliti menguraikan komplikasi ini ke dalam empat tulang cabang utama: Machine, Environment, Material, dan Money / Manpower. Pemilahan ini esensial untuk memisahkan antara *symptom* (gejala) dan *root cause* (akar masalah).



Gambar 2. Diagram Fishbone

Guna memberikan landasan perbaikan yang terarah dan menjawab kebutuhan manajemen risiko maritim, faktor-faktor dalam Diagram *Fishbone* dievaluasi berdasarkan Matriks Prioritas Tingkat Risiko (berdasarkan probabilitas kejadian dan tingkat keparahan dampak teknis). Analisis menetapkan urutan prioritas mitigasi sebagai berikut:

1. Prioritas Kritis 1 (Faktor *Machine*): Lonjakan tegangan (*overvoltage*) dan anomali kelistrikan. Memiliki tingkat keparahan absolut karena memicu *black out* instan yang melumpuhkan kemampuan manuver utama.
2. Prioritas Tinggi 2 (Faktor *Environment*): Pembebanan arus menyilang dan oseanografi ekstrem. Bertindak sebagai pemicu utama (*trigger*) yang memaksa sistem propulsi melampaui batas desain kontinu.
3. Prioritas Menengah 3 (Faktor *Material*): Degradasi resistansi kumparan dan akumulasi *biofouling*. Merupakan faktor laten yang menurunkan efisiensi energi secara perlahan dan mempercepat terjadinya panas berlebih.
4. Prioritas Menengah 4 (Faktor *Money/Manpower*): Intervensi tekanan komersial terhadap penegakan protokol keselamatan. Memengaruhi pengambilan keputusan di tingkat kritis.

Pembahasan mendalam dari masing-masing faktor diuraikan sebagai berikut:

A. Faktor Machine (Peralatan dan Arsitektur Kelistrikan)

Berdasarkan investigasi kelistrikan bersama *Electrician* (ETO), pemicu pemutusan daya bersumber dari terjadinya lonjakan tegangan (*overvoltage*) pada panel sirkuit kelistrikan *stern thruster*. Ketika perintah anjungan meminta beban dorong mendekati 100% secara konstan, motor induksi menarik daya listrik (*load demand*) yang sangat besar dari generator induk.

Dalam kerangka *reliability engineering*, stabilitas kelistrikan kapal terintegrasi DP-2 diatur oleh *Power Management System* (PMS). Peningkatan beban puncak memicu peningkatan nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) akibat operasi perangkat elektronika daya (*power electronics*) dan *Variable Frequency Drive* (VFD). Fluktuasi beban dan distorsi harmonik ini menyebabkan ketidakstabilan tegangan fasa yang dideteksi oleh relai proteksi cerdas (*smart protection relay*). Mengacu pada prinsip manajemen risiko maritim, relai diprogram untuk mengisolasi sirkuit yang mengalami anomali guna mencegah rambatan kegagalan menuju pemadaman total (*total black out*) pada seluruh jaringan busbar. Ketika batas atas *overvoltage* tertembus, *circuit breaker* secara otomatis memutuskan arus.

Kelemahan mendasar terletak pada konfigurasi algoritma PMS kapal yang belum mengimplementasikan protokol *Fast Load Reduction* (FLR) secara responsif. Sistem seharusnya mampu melakukan reduksi otomatis terhadap permintaan daya dorong dari 100% menjadi 80% saat mendeteksi tren kenaikan tegangan sebelum mencapai ambang batas pemutusan, sehingga memberikan ruang peringatan dini bagi perwira. Ketiadaan sinkronisasi antara permintaan navigasi dan sistem proteksi aktif inilah yang menjadi akar kegagalan mekanis.

B. Faktor Environment (Tantangan Lingkungan Ekstrem)

Pembebanan kelistrikan ekstrem dipicu secara langsung oleh kondisi lingkungan eksternal. Wawancara terstruktur dengan *Chief Officer* dan *Captain* mengonfirmasi bahwa perairan Natuna menghadirkan resultan gaya lingkungan yang masif, meliputi gaya hanyut gelombang (*wave drift force*), gaya seret arus (*current drag*), dan beban aerodinamika angin.

Desain buritan kapal AHTS yang rendah dan terbuka menyebabkan tingginya transfer gaya. Saat proses penarikan (*heaving up*), tegangan kawat jangkar menciptakan titik putar (*pivot point*) di area *stern roller*. Hantaman arus bawah laut dengan arah menyilang (*cross-current*) menghasilkan momen puntir (*yawing*) yang sangat besar. Guna mengimbangi resultan gaya ini agar kapal tidak terseret, *stern thruster* dituntut beroperasi pada tingkat putaran kontinu maksimum.

Tabel 2 menyajikan hasil asesmen lapangan tervalidasi mengenai korelasi antara intensitas beban lingkungan eksternal, dinamika respons kapal, dan persentase kebutuhan daya *thruster*. Meskipun data ini sangat informatif dalam memandu operasi praktis, asesmen ini bersifat kualitatif lapangan dan memerlukan validasi lanjutan melalui pendekatan numerik terkomputerisasi.

Tabel 2. Korelasi Beban Lingkungan Terhadap Kebutuhan Daya Thruster (Asesmen Kualitatif)

Kondisi Lingkungan (Natuna)	Dampak pada Dinamika Kapal	Respons Sistem DP & Beban Thruster	Potensi Risiko Kelistrikan
Arus Pelan, Angin Teduh	Drift lateral sangat minim	Thruster bekerja di bawah beban 40%.	Aman, suhu kumparan motor stabil.
Arus Searah, Angin Sedang	Surge (maju/mundur) dominan	Main engine (CPP) bekerja, Thruster < 60%.	Aman, pembagian daya normal.
Arus Menyilang, Badai (Cross-Current)	Yaw dan Sway sangat ekstrem	Thruster dipaksa 90-100% (Continuous Rating).	Tinggi: Overvoltage, Harmonic Distortion, Relay Trip.

C. Faktor Material (Kondisi Suku Cadang dan Penurunan Performa)

Analisis teknis bersama *Chief Engineer* menyingkap pengaruh signifikan dari faktor usia dan penurunan performa komponen (*performance degradation*). Motor propulsi SV. Etzomer 1601 telah mengakumulasi jam terbang operasional yang tinggi, memicu terjadinya keausan fisik alamiah (*wear and tear*) pada aspek mekanis maupun elektrik.

Secara mekanis eksternal, unit baling-baling *thruster* mengalami akumulasi *biofouling* (kerak biota laut) serta degradasi kehalusan permukaan akibat kavitasi. Penumpukan residu ini menurunkan efisiensi gaya dorong hidrodinamis secara drastis. Secara elektrik internal, paparan beban termal yang berulang (*thermal stress*) menyebabkan resistansi isolasi tembaga pada kumparan stator motor mengalami penurunan mutu.

Akibat dari kedua faktor keausan ini, untuk menghasilkan keluaran gaya dorong (*thrust* dalam satuan KN) yang setara dengan kondisi standar, motor yang kotor dan mengalami degradasi harus menarik suplai arus listrik (Ampere) yang jauh lebih tinggi. Peningkatan kebutuhan arus inilah yang mengakselerasi timbulnya panas berlebih dan memicu sensor proteksi kelistrikan mengeksekusi pemutusan sirkuit.

D. Faktor Money / Operasional (Keputusan Manajerial dan BRM)

Tinjauan terhadap aspek operasional dan finansial menyoroiti pengaruh perilaku organisasi dan faktor manusia (*human factors*) dalam pengambilan keputusan. *Captain* menjelaskan bahwa dalam skema kontrak sewa kapal (*chartering*), penalti finansial akibat *downtime* menjadi tekanan komersial (*commercial pressure*) yang nyata. Terdapat urgensi tinggi dari pihak penyewa untuk meminimalkan penundaan jadwal pemindahan *barge*.

Tekanan manajerial ini memengaruhi penerapan *Bridge Resource Management* (BRM). Ketika menghadapi kondisi lingkungan yang melampaui batas desain permesinan, perwira anjungan cenderung mempertahankan komando daya dorong 100% demi mengejar target penyelesaian kerja, tanpa menyadari risiko kegagalan fatal pada sistem kelistrikan.

Mengacu pada kerangka keselamatan maritim, ketika gaya lingkungan eksternal telah mengancam integritas operasional, instrumen *Stop Work Authority* (SWA) wajib ditegakkan secara absolut. Keengganan personel untuk menghentikan sementara operasi didorong oleh motivasi menghindari kerugian finansial—justru berujung pada terjadinya *downtime* yang tidak terencana akibat kelumpuhan total pada perangkat penunjang manuver.

Pembahasan

Dari sisi kelistrikan dan peralatan (Faktor *Machine*), kendala utama bermula dari pemakaian daya *stern thruster* secara ekstrem dan terus-menerus, yang akhirnya memicu *overvoltage* atau *black out*. Berdasarkan pantauan layar panel distribusi daya, beban yang terlampau besar akan membuat sistem proteksi kelistrikan kapal memutus arus secara otomatis guna mencegah kerusakan fatal pada motor *thruster*. Agar manuver kapal tidak lumpuh di tengah operasi *anchor handling*, pengawasan beban generator melalui sistem pemantauan secara langsung serta pembatasan penggunaan daya puncak secara konstan sangat krusial untuk dilakukan.

Pada aspek operasional dan biaya (Faktor *Money*), kelumpuhan sistem *thruster* membawa efek domino yang langsung mengacaukan efisiensi kerja di lapangan. Saat *thruster* mati akibat *overvoltage*, kapal praktis kehilangan daya manuvernya sehingga sangat kesulitan untuk menahan posisi secara stabil. Kondisi ini jelas membuat durasi eksekusi *anchor handling* menjadi molor, membuang waktu operasional yang berharga, dan pada akhirnya menguras sumber daya kapal menjadi jauh lebih boros dari rencana awal.

Bergeser ke keandalan komponen mekanis (Faktor *Material*), performa sistem propulsi sangat berbanding lurus dengan tingkat kesehatan dan keausan fisik suku cadangnya. Mesin *thruster* yang sudah mengalami degradasi performa atau tidak dirawat dengan baik tentu akan loyo dan gagal menghasilkan tenaga dorong maksimal ketika ditarik ke beban kerja tinggi. Oleh karena itu, disiplin kru mesin dalam menjalankan rutinitas pemeriksaan dan perawatan berkala menjadi syarat mutlak agar komponen tetap awet dan selalu siap menopang stabilitas kapal.

Terakhir, dinamika cuaca (Faktor *Environment*) merupakan variabel eksternal yang paling mendikte seberapa keras mesin kapal harus bekerja. Kuatnya hantaman arus laut, gelombang, serta hembusan angin memicu perwira kapal untuk memacu *thruster* di RPM yang lebih tinggi agar posisi kapal tidak terseret. Konsekuensinya, semakin luas kondisi alam di perairan tersebut, semakin besar pula tarikan daya listrik yang diminta oleh mesin, sehingga menuntut observasi lingkungan yang jeli serta komunikasi yang solid antara kru dek dan anjungan.

Keterbatasan Penelitian (Research Limitations)

Guna memberikan transparansi akademik, penelitian ini menyadari beberapa keterbatasan pelaksanaan yang perlu dipertimbangkan:

1. Studi Kasus Tunggal (*Single-Case Study*): Pengambilan data difokuskan pada satu armada spesifik (SV. Etzomer 1601), sehingga generalisasi temuan terhadap tipe kapal AHTS lain dengan arsitektur PMS dan konfigurasi *thruster* yang berbeda memerlukan verifikasi lanjutan.
2. Keterbatasan Data Sensor *Real-Time*: Analisis kelistrikan didasarkan pada pencatatan log periodik, inspeksi fisik, dan tangkapan layar saat kejadian, tanpa didukung oleh sistem akuisisi data sensor frekuensi tinggi yang terekam penuh secara kontinu.
3. Absennya Simulasi Komputasi: Korelasi hidrodinamika lingkungan dan fluktuasi kelistrikan belum divalidasi menggunakan perangkat lunak simulasi kelistrikan terintegrasi (*electrical transient simulation*) maupun *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian empiris di atas kapal SV. Etzomer 1601, dapat disimpulkan bahwa kendala utama dalam pelaksanaan *anchor handling* di perairan ekstrem adalah kegagalan kelistrikan berupa *overvoltage* yang memicu *black out* pada *stern thruster*. Berdasarkan analisis *Root Cause* dan prioritas risiko, kegagalan ini dipicu oleh pembebanan *thruster* pada tingkat daya puncak 100% secara konstan tanpa intervensi algoritma *load reduction* yang memadai (Prioritas Kritis 1), yang diprovokasi secara langsung oleh gaya seret oseanografi dan arus menyilang yang ekstrem di perairan Natuna (Prioritas Tinggi 2). Situasi kegagalan dipercepat oleh faktor laten berupa penurunan efisiensi kumparan stator dan *biofouling* (Prioritas Menengah 3), serta keengganan penegakan *Stop Work Authority* akibat tekanan komersial jadwal kerja (Prioritas Menengah 4). Dampak dari kegagalan ini melumpuhkan stabilitas manuver kapal, memperpanjang durasi penarikan jangkar, dan memicu kerugian efisiensi operasional.

Guna meningkatkan keandalan operasional armada kapal pendukung lepas pantai, direkomendasikan langkah-langkah perbaikan praktis dan akademis sebagai berikut: Bagi Departemen Anjungan (*Deck Department*): Perwira navigasi wajib mengimplementasikan strategi pembagian beban dorong (*thrust allocation*) secara bergantian melalui kombinasi optimal antara *Controllable Pitch Propeller* (CPP), kemudi, dan *thruster*, guna menghindari pemusatan beban pada satu pendorong lateral. Pelatihan *Bridge Resource Management* (BRM) harus ditekankan pada ketegasan penerapan *Stop Work Authority* (SWA) saat kondisi lingkungan dinilai membahayakan arsitektur kelistrikan kapal. Bagi Departemen Mesin (*Engine Department*): Kru permesinan harus meningkatkan intensitas pemantauan terhadap fluktuasi beban generator dan melaksanakan program pemeliharaan preventif berbasis keandalan, khususnya pembersihan *propeller* secara berkala dari *biofouling* serta pengujian resistansi isolasi kumparan motor *thruster*. Disarankan untuk berkoordinasi dengan pihak pabrikan guna mengkalibrasi ulang kepekaan relai proteksi dan mengaktifkan fitur *Fast Load Reduction* (FLR) pada *Power Management System*. Bagi Perusahaan Pelayaran (*Ship Owner / Management*): Perusahaan manajemen kapal harus menyediakan fasilitas familiarisasi teknis dan simulasi penanganan beban darurat propulsi bagi seluruh perwira sebelum bertugas di atas kapal (*on board*). Dukungan investasi dalam penyediaan peranti pemantauan sensor kelistrikan terintegrasi yang lebih mutakhir sangat diperlukan guna memitigasi risiko kegagalan aset secara dini. Bagi Penelitian Selanjutnya (*Future Research*): Penelitian di masa mendatang disarankan untuk memperluas cakupan kajian melalui analisis kuantitatif perbandingan konsumsi energi dan stabilitas tegangan antara penggunaan *full thruster* konvensional melawan konfigurasi propulsi *hybrid* di berbagai kondisi laut. Eksplorasi menggunakan pemodelan simulasi kelistrikan transien dan komputasi fluida (CFD) sangat direkomendasikan guna memvalidasi korelasi beban lingkungan terhadap efisiensi generator secara presisi.

Daftar Pustaka

- [1] S. Roy and A. Mittal, *Offshore Engineering and Vessel Operations*. Houston: Offshore World Publications, 2013.

- [2] D. Hooper, *Offshore Mooring and Anchor Handling Operations*. Aberdeen: Ocean Offshore Press, 2014.
- [3] O. M. Faltinsen, *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
- [4] B. Li, Y. Wang, X. Shao, S. Zhou, and X. Zhang, "Analysis of thruster capacity and study on environmental load consistency of DP vessel based on CFD simulation," *Ocean Engineering*, vol. 303, p. 117716, 2024.
- [5] J. S. Carlton, *Marine Propellers and Propulsion*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012.
- [6] M. Hann and T. Roberts, *Anchor Handling and Towing Operations*. London: Maritime Technical Series, 2010.
- [7] X. Wu and T. Moan, "Dynamic behaviour of anchor handling vessels during anchor deployment," *Journal of Marine Science and Technology*, vol. 22, no. 3, pp. 655-672, 2017.
- [8] A. Sappewali, "Upaya Meningkatkan Kinerja Shaft Generator Bearing Dalam Rangka Meningkatkan Kinerja Bow Thruster," *Jurnal Ilmu Pelayaran*, 2025.
- [9] IMCA, *Guidance on the Design and Operation of Offshore Supply Vessels*. London: International Marine Contractors Association, 2018.
- [10] IMO, *Resolution MSC.415(97) - Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)*. London: International Maritime Organization, 2016.
- [11] J. A. A. Bolong, *Analisis Proses Anchor Handling Dengan Penggunaan Full Thruster di Kapal SV. Etzomer 1601*. Skripsi, Politeknik Pelayaran Surabaya, 2026.
- [12] PT. ELPI Offshore, *Ship Particular SV. Etzomer 1601*. Surabaya: Pelayaran Nasional Ekalya Purnamasari, 2024.
- [13] PT. ELPI Offshore, *Task Risk Assessment (TRA) Anchor Handling*. Surabaya: Pelayaran Nasional Ekalya Purnamasari, 2024.
- [14] BKI, *Rules for the Classification and Construction of Seagoing Ships*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia, 2023.
- [15] S. Arikunto, *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta, 2018.
- [16] N. K. Denzin and Y. S. Lincoln, *The Sage Handbook of Qualitative Research (3rd ed.)*. Thousand Oaks: Sage Publications, 2005.
- [17] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta, 2017.
- [18] Riduwan, *Belajar Mudah Penelitian untuk Pemula: Panduan Praktis*. Bandung: Alfabeta, 2010.
- [19] S. Hadi, *Metodologi Riset*. Yogyakarta: Fakultas Psikologi Universitas Gadjah Mada, 1989.
- [20] Riyanto, *Penerapan Observasi Sebagai Metode Pengumpulan Data*. Jakarta: Rajawali Pers, 2010.
- [21] M. Nazir, *Metode Penelitian*. Bogor: Ghalia Indonesia, 2014.
- [22] U. Sekaran and R. Bougie, *Research Methods for Business: A Skill-Building Approach (7th ed.)*. United Kingdom: Wiley, 2016.
- [23] J. M. Juran, *Juran's Quality Handbook (5th ed.)*. New York: McGraw-Hill, 1999.
- [24] M. B. Miles and A. M. Huberman, *Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook*. California: Sage Publications, 1994.