

Analisis Potensi Penyebab Kerusakan Tongkat Kemudi Kapal Sabuk Nusantara

Andi Ahmad Zafwan Abubakar*¹, Ganding Sitepu¹, Suandar Baso¹

¹Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: ahmad.zafwan@yahoo.com

DOI: 10.25042/jpe.052021.01

Abstrak

Kapal Sabuk Nusantara adalah jenis Kapal Perintis yang merupakan kapal pengangkut barang dan penumpang yang diklaskan menurut BKI ini mengalami masalah pada sistem kemudinya terutama pada bagian tongkat kemudi beberapa kapal yang ditemukan mengalami kerusakan bahkan terlepas dan hilang dari porosnya selama proses pelayarannya sehingga perlu dianalisis. Metode analisis yang digunakan adalah simulasi kuantitatif untuk mendeskripsikan perbandingan kekuatan struktur, material dan analisis kekuatan, cacat produksi serta beban insidental yang terjadi pada tongkat kemudi kapal Perintis Sabuk Nusantara di mana proses identifikasi masalah menggunakan Fishbone Diagram. Hasil yang didapatkan adalah kerusakan tongkat kemudi yang terjadi dikarenakan beberapa potensi kerusakan pada tongkat kemudi seperti material tidak standar, temuan cacat pada material karena kegagalan produksi dan beban insidental berupa kapal kandas, hantaman kayu serta terlilit tali pada saat proses mooring rope.

Abstract

Investigation of Potential Causes of the Rudder Stock Damage on Sabuk Nusantara Vessel. Sabuk Nusantara Vessel is a Pioneer Ship type which is a freighter and passenger ship classified by BKI. Several ships experienced problems with their rudder system, especially on the rudder stock, some of them were found to be damaged and even detached and lost during their voyage. Therefore, the cause of the damage should be investigated. Here, the potential sources of the damage are investigated using an analytical method. It used a quantitative simulation to describe the comparison of structural strength, material and strength analysis, manufacturing defects, and incidental loads that occur on the rudder stock of the ships. A cause-effect diagram which is often called Fishbone has been applied as the tool of the problem identification process. The results obtained is that the damage to the rudder stock occurred due to several potential sources on the rudder stock such as non-standard materials, defects in the material due to production failures, and incidental loads including a ship running aground, hitting wood, and being entangled in the rope during the mooring process.

Kata Kunci: Fishbone diagram, kapal perintis, potensi kerusakan, Sabuk Nusantara, tongkat kemudi

1. Pendahuluan

Angkutan laut merupakan salah satu sarana yang memiliki peran penting dalam sistem transportasi laut dalam mendukung pembangunan nasional di bidang perekonomian, sosial budaya, politik dan pertahanan keamanan. Salah satu jenis pelayanan transportasi laut yang dapat menghubungkan daerah tertinggal atau wilayah terpencil adalah pelayaran perintis [1].

Pemerintah RI dalam meningkatkan konektivitas nusantara mulai mengembangkan konsep Tol laut dimana konsep tersebut bertujuan memperbaiki proses pengangkutan logistik. Sehingga diharapkan proses distribusi barang (terutama bahan pangan) di Indonesia menjadi semakin mudah. Kemudian, berdampak pada harga bahan pokok yang semakin merata di seluruh wilayah Indonesia [2]. Tentunya kapal

yang digunakan untuk melintasi tol laut adalah kapal yang mampu melintasi laut dengan jarak yang cukup jauh. Salah satu jenis kapal yang dibangun dalam rangka mewujudkan program tersebut adalah kapal jenis Perintis [3].

Pembangunan Kapal Sabuk Nusantara yang merupakan jenis kapal perintis menjadi salah satu bagian dari program tol laut mulai dibangun untuk memenuhi dan menggantikan kapal swasta yang beroperasi di trayek keperintisan di Indonesia, guna memenuhi kebutuhan masyarakat terhadap pelayanan angkutan laut. Kapal-kapal perintis ini prioritasnya akan ditempatkan di pulau terluar dan daerah tertinggal [4].

Perkembangan teknologi maritim saat ini, khususnya di bidang perkapalan dituntut untuk meningkatkan kemampuan manuver kapal agar meminimalkan resiko kecelakaan dan



meningkatkan kemampuan kapal, terutama jenis kapal yang mengutamakan kecepatan dan kelincihan saat adanya gaya tambahan dari daun kemudi [5]. Ketika *rudder* (kemudi) berputar membentuk sudut tertentu maka ada perubahan tekanan, kecepatan dan arah aliran fluida, hal inilah yang menyebabkan perubahan arah kapal [6].

Kapal Perintis yang merupakan kapal pengangkut barang dan penumpang yang diklasikan menurut BKI ini mengalami masalah pada sistem kemudinya. Beberapa kapal perintis ditemukan mengalami kerusakan kemudi bahkan terlepas/hilang dari porosnya selama proses pelayarannya. Gambar 1 didapatkan informasi bahwa Kapal Perintis Sabuk Nusantara mengalami masalah kerusakan pada kemudinya. Kondisi ini dirasa perlu untuk mengkaji lebih dalam masalah sistem kemudi pada kapal perintis Sabuk Nusantara ini yang akan dianalisis potensi penyebab kerusakannya.



Gambar 1. Kemudi terlepas / hilang selama pelayaran (Dok. PT. IKI)

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Sistem Kemudi Kapal

Daun kemudi pada awalnya dibuat dari pelat tunggal dan penegar-penegar yang dikeliling pada bagian sisi pelat. Jenis kemudi ini sekarang sudah diganti dengan bentuk kemudi pelat ganda, terutama pada kapal-kapal yang berukuran relatif besar. Kemudi pelat ganda terdiri atas lembaran pelat ganda dan di dalamnya berongga, sehingga membentuk suatu garis aliran yang baik (*streamline*), yang bentuk penampangnya seperti sayap (*foil*) [7].

2.2. Tongkat Kemudi Kapal

Poros kemudi atau sumbu kemudi pada umumnya dibuat dari bahan baja tuang atau baja tempa. Garis tengah poros ditentukan berdasarkan hasil perhitungan, agar mampu menahan beban puntiran atau beban lenturan yang terjadi pada kemudi. Tongkat kemudi dipasang menembus lambung dalam selubung tongkat. Hal ini untuk menjamin kekedapan dari air laut.

Pada bagian atas, poros kemudi dihubungkan dengan instalasi penggerak kemudi dan bagian bawah dihubungkan dengan daun kemudi melalui kopling mendatar atau kopling tegak. Tongkat kemudi ada yang direncanakan memiliki satu bantalan atau dua bantalan, bergantung pada panjang tongkat dan system peletakan daun kemudi. Bantalan tongkat kemudi hanya ada pada bagian atas baja atau pada keduanya, atas dan bawah. Sebagian bahan bantalan, dapat dipakai bahan baja anti karat, bahan logam, kayu pok, atau bahan sintesis [8].

2.3. Beban yang Bekerja pada Rudder

Aliran fluida pada lambung kapal yang tercelup air sebelum mengenai daun kemudi pada dasarnya adalah simetris. Arah kapal tidak berubah karena aliran yang dihasilkan saling menyeimbangkan satu sama lain. Oleh karena itu untuk merubah arah kapal dibutuhkan gaya tambahan, yaitu gaya pada daun kemudi. Dengan adanya daun kemudi yang membentuk arah fluida dengan sudut α pada kecepatan yang konstan maka muncullah gaya pada daun kemudi yang tidak simetris. Gaya ini disebut gaya kemudi, gaya inilah yang menyebabkan perubahan arah haluan kapal.

Gaya kemudi merupakan resultan dari *drag force* dan *lift force*. Istilah *lift* digunakan pada analisa gaya ke atas suatu *foil aerodynamic*, maka dari itu dinamakan gaya *lift* (angkat) sebab umumnya *foil aerodynamic* digunakan untuk mengangkat pesawat. Namun istilah *lift force* juga digunakan pada menganalisa gaya suatu foil kemudi untuk membelokkan kapal ke arah samping. Sedangkan *drag force* merupakan gaya pada kemudi yang arahnya berlawanan dengan arah laju kapal [9].

2.4. Fishbone Diagram

Fishbone Diagrams (Diagram Tulang Ikan) merupakan konsep analisis sebab akibat yang dikembangkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa untuk mendeskripsikan suatu permasalahan dan penyebabnya dalam sebuah kerangka tulang ikan. *Fishbone Diagrams* juga dikenal dengan istilah diagram Ishikawa, yang diadopsi dari nama seorang ahli pengendali statistik dari Jepang, yang menemukan dan mengembangkan diagram ini pada tahun 1960-an.

Diagram *Fishbone* didefinisikan sebagai alat yang menggambarkan sebuah cara yang sistematis dalam memandang berbagai dampak atau akibat dan penyebab yang membuat atau berkontribusi dalam berbagai dampak tersebut. Oleh karena fungsinya tersebut, diagram ini biasa disebut dengan diagram sebab-akibat [10].

3. Metode Penelitian

Jenis penelitian ini adalah simulasi kuantitatif untuk mendeskripsikan perbandingan kekuatan struktur, material dan analisis kekuatan pada kemudi (rudder) kapal Perintis Sabuk Nusantara di mana data yang digunakan adalah jenis data yang dirancang berdasarkan aturan yang berlaku pada prinsip pembangunan struktur kemudi (*Rudder*). selain itu data pada penelitian ini berupa data pendekatan dari fenomena data yang ada dilapangan.

Langkah – langkah yang akan dilakukan pada proses analisis ini adalah sebagai berikut:

1) Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan publikasi ilmiah dari literatur yang relevan untuk dijadikan acuan dalam penelitian ini. Literatur berupa buku dan jurnal penelitian yang berhubungan dengan penelitian ini.

2) Identifikasi Masalah dan Analisis

Identifikasi masalah merupakan langkah awal dalam menangkap fenomena yang berpotensi untuk diteliti. Langkah selanjutnya yang mendesak adalah mengidentifikasi masalah dari fenomena yang diamati tersebut. Identifikasi masalah yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan Fishbone Diagram [11].

Identifikasi Masalah dilakukan dengan metode brainstorming. Penyebab permasalahan dapat dikelompokkan dalam enam kelompok yaitu materials (bahan baku), machines and equipment (mesin dan peralatan), manpower (sumber daya manusia), methods (metode),

mother nature/environment (lingkungan), dan measurement (pengukuran) [12]. Pengelompokkan penyebab masalah menjadi tujuh yaitu manpower (SDM), machines (mesin dan peralatan), methods (metode), materials (bahan baku), media, motivation (motivasi), dan money (keuangan). Kelompok penyebab masalah ini ditempatkan di Diagram Fishbone pada sirip ikan [13].

3) Studi Regulasi dan Literatur

Hasil analisis dari identifikasi masalah kemudian dikaji berdasarkan regulasi dan literatur yang ada. Regulasi dan literatur yang dikumpulkan ini dijadikan dasar dalam penentuan persentasi potensi penyebab kerusakan.

4. Pembahasan

4.1. Material Tidak Standar

Kinerja rantai pasok diindikasikan dengan kualitas, harga dan performa pengiriman material. Kinerja rantai pasok dikatakan baik dari segi pengiriman apabila mampu mendatangkan material dalam waktu, jumlah dan kualitas yang tepat sesuai dengan kebutuhan dan jadwal produksi.

Hambatan akibat tidak tersedianya material menyebabkan tertundanya pekerjaan - pekerjaan yang telah dijadwalkan. Jika kedatangan material yang diperlukan tidak sesuai jadwal pengadaan material, akan menyebabkan tenaga kerja tersebut menganggur sehingga biaya pengeluaran akan membengkak serta terlambatnya waktu penyelesaian pembangunan kapal. Pada umumnya setiap pembangunan kapal baru meliputi kegiatan – kegiatan yang kompleks, yang mana melibatkan berbagi aktivitas dan operasi. Kegiatan pengadaan material memerlukan perencanaan dan pengendalian yang baik mengingat besarnya persentasi biaya material terhadap total biaya proyek. Sehingga bila penanganan material yang kurang efektif akan mengakibatkan kerugian waktu, biaya maupun mutu.

Material yang dipesan terkadang tidak sesuai dengan spesifikasi yang diminta oleh tim produksi, hal ini disebabkan karena adanya miskomunikasi antara tim produksi dengan tim purchasing order (tim gudang). Pemesanan Rudder Stock Kapal Sabuk nusantara dalam rangka pembangunan kapal baru harus disesuaikan dengan standar material yang



dipersyaratkan oleh BKI. Dalam pembuktian sebuah material yang sesuai standar harus memiliki sertifikat material yang dibuktikan dengan stamp langsung dari BKI.



Gambar 2. Stamp BKI pada rudder stock

4.2. Kekuatan Struktur

Kekuatan struktur kemudi dipengaruhi oleh beban yang bekerja pada poros kemudi. Adapun beban yg bekerja pada poros kemudi adalah gaya kemudi (gaya akibat aliran fluida), berat rudder, momen torsi mesin. Mengacu pada hasil penelitian skripsi “Analisis Kerusakan Sistem Kemudi Kapal Perintis Sabuk Nusantara” telah disimpulkan hasil pengujian beban yang bekerja pada tongkat kemudi kapal sabuk Nusantara dengan menggunakan metode Ansys dimana penelitian ini menggunakan penambahan variasi beban pada gaya kemudi 20% - 100% berdasarkan rumus BKI Vol. II, Chapter 14 [14].

Data dalam penelitian ini diperoleh dari data sekunder yang berasal dari galangan PT. Dok Bahari Nusantara (DBN). Data ukuran utama dan lainnya dapat dilihat pada Tabel 1 - 2.

Tabel 1. Data umum kapal

Nama Kapal	Sabuk Nusantara 40
DWT	500 ton
Kecepatan	12 knot

Tabel 2. Data ukuran utama kapal

Panjang	51,80 m
Lebar	10,40 m
Sarat	2,85 m
Tinggi	4,20 m

Tabel 3. Data poros kemudi

Diameter atas	213 mm
Diameter bawah	175 mm
Panjang	2640 mm
Tinggi	4,20 m

4.2.1. Gaya Kemudi

Gaya kemudi ditentukan menurut rumus berikut (BKI Vol II, Chapter 14) [15].

$$CR = 132 \cdot A \cdot v^2 \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot \kappa_t \text{ [N]} \quad (1)$$

Tabel 4. Variasi beban gaya kemudi

Kondisi	Gaya Kemudi (N)
Existing	110473,10
20%	132567,73
40%	154662,35
Variasi 60%	176756,97
80%	198851,59
100%	220946,21

Berdasarkan rumus tersebut, maka diperoleh gaya kemudi sebesar 110473,10 N yang searah dengan aliran air akibat perputaran propeller. Variasi beban dapat dilihat pada Tabel 4.

4.2.2. Berat Poros dan Daun Kemudi

Beban yang ditanggung oleh poros kemudi adalah berat daun kemudi dan berat poros itu sendiri.

Data daun kemudi :

Volume = 0,1305 m³ (berdasarkan model daun kemudi)
 Density = 7700 kg/m³ (material baja)
 Massa = Volume x Density
 = 1004,5 kg

Berat daun kemudi dapat diperoleh dengan rumus berikut:

W = Massa x g
 = 1004,5 kg x 9,8 m/s²
 = 9843,75 N

Data poros kemudi:

Volume = 0,0905 m³ (berdasarkan model daun kemudi)
 Density = 7700 kg/m³ (material baja)
 Massa = Volume x Density
 = 697,23 kg

Berat poros kemudi dapat diperoleh dengan rumus berikut:

W = Massa x g
 = 697,23 kg x 9,8 m/s²
 = 6833 N

Maka, berat total yang ditanggung oleh poros kemudi yaitu sebesar 16677,61 N



4.2.3. Momen Torsi Poros Kemudi

Momen torsi dapat diperoleh dari data General Arrangement Steering Gear AM-SG-20 KN dimana kemudi menghasilkan torsi maksimum sebesar 20 kN.m.

4.2.4. Spesifikasi Material Poros Kemudi

Material yang digunakan untuk konstruksi poros kemudi adalah baja S45C dengan properti material dapat dilihat pada Tabel 5 dan material bearing bronze menggunakan rubber bearing dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Material properties S45C

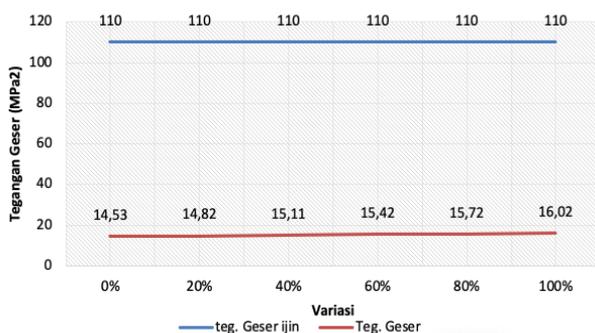
Deskripsi	Nilai
Density (kg/m ³)	7700
Young's Modulus (Gpa)	190
Tensile Strength (MPa)	569
Yield Strength (MPa)	343
Poisson's ratio	0,27

Tabel 6. Material properties bearing bronze

Deskripsi	Nilai
Young's Modulus (GPa)	100
Tensile Strength (MPa)	240
Yield Strength (MPa)	125
Poisson's ratio	0,34

4.2.5. Hasil Analisa Software Ansys

Menurut hasil analisa Ansys yang diuji oleh Anisa dalam skripsinya, dengan menggunakan "Tegangan Geser, Tegangan Normal, dan Tegangan Von-Mises" memperlihatkan bahwa design konstruksi dan material dari rudder stock tidak ada masalah atau ketidaksesuaian antara model rudder, bahan atau torsi mesin. Dibuktikan dari perhitungan Gaya Kemudi yaitu 110,473 kN sesuai dengan uji pada Ansys berada d bawah tegangan izin.



Gambar 3. Perubahan tegangan geser keadaan existing dan setiap variasi penambahan beban [14]

Baru pada saat penambahan beban yang bervariasi antara 20% - 100% dari gaya kemudi, rudder stock yang diuji melewati tegangan izin. Yaitu hanya boleh penambahan 20% beban gaya kemudi untuk Tegangan Normal, dan penambahan 60% beban gaya kemudi untuk Tegangan Von-Mises, sedangkan untuk Tegangan gesernya masih di bawah tegangan izin sekalipun penambahan 100% beban gaya kemudi.



Gambar 4. Perubahan tegangan normal keadaan existing dan setiap variasi penambahan beban



Gambar 5. Perubahan tegangan von-Mises keadaan existing dan setiap variasi penambahan beban

4.3. Cacat Produksi

Cacat produksi pada rudder stock dipengaruhi oleh system pengelasan yang diterapkan. Penerapan teknologi las dalam konstruksi bangunan kapal selalu melibatkan pihak Klasifikasi, dimana semua hal yang berkaitan dengan gambar-gambar, ukuran las, material induk dan meterial pengisi serta juru las yang digunakan untuk pembangunan kapal diatur dalam peraturan Klasifikasi.

Untuk dapat melakukan pengelasan sesuai dengan persyaratan dan prosedur pengelasan, seorang juru las harus mengetahui gambar dan standar kerja pengelasan sesuai dengan peraturan

tentang klasifikasi dan konstruksi serta gambar kerja atau standar kerja yang berisi tentang perencanaan dan jenis sambungan las yang disetujui oleh Badan Klasifikasi sebelum pekerjaan pengelasan.

Badan klasifikasi tidak membenarkan suatu produksi pengelasan dilaksanakan sebelum prosedur pengelasan (Welding Procedure) yang akan digunakan diuji dan lulus atau sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan sesuai kapal yang akan dibangun. Juru las dan operator las yang telah diuji dan lulus sesuai peraturan / perundang-undangan dari code, standar maupun badan klasifikasi kapal yang dapat diperbolehkan melakukan pengelasan konstruksi utama kapal.

Kenyataan di lapangan PT. IKI telah memiliki aproval dalam pekerjaan pengelasan kapal namun tidak memiliki prosedur khusus terkait pengelasan Rudder Stock. Prosedur pengelasannya mengacu pada prosedur pengelasan Las Lambung Kapal.



Gambar 6. Metode pengelasan dengan perlakuan panas pada material

Dalam praktik pengelasan memberlakukan teknik perlakuan panas yang tentu akan mempengaruhi kondisi material Rudder Stock. Perlakuan panas yang dimaksud adalah penambahan penahan berupa logam untuk menahan lasan agar tetap sesuai presisi.

4.4. Beban Insidental

Kapal yang berlayar cenderung mengalami situasi yang tidak normal atau situasi darurat yang mengancam keselamatan kapal. Situasi darurat yang memiliki potensi menyebabkan kerusakan tongkat kemudi kapal seperti kandas, terlilit tali dan hantaman kayu. Situasi tersebut biasanya bersifat khusus atau insidental.

4.4.1. Kandas

Beberapa faktor yang menyebabkan kapal kandas, salah satunya kapal dalam kondisi mati

mesin dan terhempas ombak sehingga keluar jalur dan akhirnya terbawa sampai ke perairan dangkal. Ketika kapal kandas, bagian yang memijak daratan adalah body kapal, tidak secara langsung mengenai rudder. Kecuali Propeller menghantam karang dan serpihan karang atau pecahan propeller mengenai dan merusak rudder kapal. Atau kondisi kapal kandas dalam posisi trim by stern di mana kapal tidak menggunakan sepatu kemudi yang bisa terjadi tubrukan langsung pada daerah rudder yang berakibat patahnya kemudi dan poros kemudi.

Kondisi mati mesin kapal yang menyebabkan kandas dan menimbulkan adanya potensi kerusakan berupa tongkat kemudi patah biasa terjadi karena kelalaian crew kapal yang bertugas dalam mengoperasikan mesin kapal.

4.4.2. Terlilit tali

Rudder terlilit tali kasusnya saat kapal sedang menarik atau menambat dan sebagian tali atau ujung tali terjatuh ke laut di sekitar area buritan. Tali yang terjatuh kemudian terhisap masuk ke bottom kapal akibat putaran propeller dan akhirnya tersangkut dan melilit propeller dan rudder kapal.

Rudder kapal yang terlilit tali akan menyebabkan beban kerja yang diterima oleh rudder di luar dari kemampuan kekuatan struktur tongkat kemudi dan berpotensi menyebabkan kerusakan berupa patahnya tongkat kemudi dikarenakan menahan beban yang diluar dari desain konstruksinya. Tali yang terjatuh dan melilit rudder merupakan bentuk dari kelalaian crew dalam melakukan proses tambat kapal.

4.4.3. Hantaman Kayu

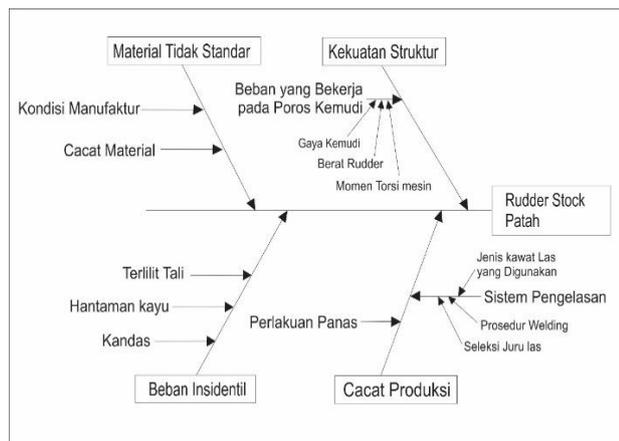
Terkena hantaman kayu atau benda eksternal (unidentification underwater object), bisa terjadi saat berlayar di rute perintis. Kondisi kedalaman sungai yang bervariasi, pasang surut air laut dan kondisi bawah air yang memungkinkan membawa benda-benda yang terus bergerak, atau sisa kapal - kapal yang karam yang kemudian terbawa arus bawah air yang menumpuk dan menjadi sampah bawah air. Bisa juga sisa betonisasi yang sdh lama dan terendam air atau hancur menjadi benda konkret yang tenggelam.

Potensi kerusakan tongkat kemudi akibat hantaman kayu dapat terjadi apabila terjadi kesalahan rute kapal. Pengenalan medan rute kapal penting dalam pelayaran.



4.5. Fishbone diagram Potensi Kerusakan

Penjabaran Fishbone diagram Potensi kerusakan tongkat kemudi berdasarkan hasil pembahasan yang telah dijelaskan tertuang dalam Gambar 7. Dengan membagi Kelompok Penyebab yang terdiri dari Material Standar, Kekuatan Struktur, Cacat Produksi dan Beban Insidental maka tiap kelompok penyebab memiliki total persentase 25%. Total persentase tersebut kemudian terbagi berdasarkan jumlah penyebab dalam tiap kelompok tersebut.



Gambar 7. Fishbone diagram hasil pengamatan

Analisis Potensi Penyebab Kerusakan Tongkat Kemudi dapat diketahui besaran persentase tiap-tiap kelompok penyebab dalam Tabel 7.

Tabel 7. Besaran persentase kelompok penyebab

No	Kelompok Penyebab	Persentase
1	Material tidak standar	25%
2	Kekuatan struktur	0
3	Cacat produksi	18.75%
4	Beban Insidental	25%

5. Kesimpulan

Analisis potensi Kerusakan tongkat kemudi yang terjadi pada kapal Sabuk Nusantara telah dilakukan dalam penelitian ini, ada beberapa faktor yang diidentifikasi menjadi penyebab kerusakan tersebut yaitu; pertama, material tongkat tongkat kemudi tidak standar dibuktikan dengan ketiadaan sertifikat kelayakan dari lembaga klasifikasi. Kemudian, temuan cacat material melalui prosedur NDT, selanjutnya terdapat cacat produksi yang diakibatkan oleh prosedur pengelasan yang tidak sesuai standar dan juru las yang tidak kompeten. Dan faktor

terakhir adalah Beban insidental berupa kandas, hantaman kayu dan terlilit tali yang terjadi karena kesalahan rute pelayaran serta kesalahan prosedur dalam operasi *mooring lines* secara langsung maupun tidak langsung juga karena adanya faktor cuaca buruk.

Referensi

- [1] E. Wahyono, Y. B. Tangkilisan, and D. Marihandono, "Pelayaran Perintis dalam Perspektif Sejarah Pembangunan Kawasan Tertinggal dan Terluar untuk Memperkuat Kedaulatan NKRI," in *Seminar Nasional Riset Inovatif II*, 2014.
- [2] D. D. Andilas and L. A. Yanggana, "Pelaksanaan Program Tol Laut Pelayaran Nasional Indonesia," *J. Manaj. Transp. Dan Logistik*, vol. 4, no. 1, p. 1, 2017.
- [3] G. Andaniyo and W. D. Aryawan, "Desain Ulang Kapal Perintis 200 DWT untuk Meningkatkan Performa Kapal," *J. Tek. POMITS*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2014.
- [4] R. D. J. Riyanto, Makmur Syam, Mirdin, Muh. Rifani, "Analisis Umur Ekonomis Dan Umur Teknis Kapal Penumpang Milik Pt. Pelayaran Nasional Indonesia (Persero)," *J. Venus*, vol. 07, no. 14, 2019.
- [5] B. J. Belalawe, "Analisis Variasi Posisi Rudder Terhadap Efektivitas Manuver Kapal," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [6] A. F. R. Prabowo *et al.*, "Analisa Kekuatan Poros Kemudi Kapal Penampung Ikan Tradisional 200 Gt Kabupaten Batang Dengan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 3, pp. 538–548, 2016.
- [7] Harold Eugene Saunders, *Hydrodynamics in Ship Design. Author's Notes. Vol. III*. SNAME, 1965.
- [8] I. K. Jaya, *Teknik Konstruksi Kapal Baja jilid 2*. Jakarta: Depatemen Pendidikan nasional, 2008.
- [9] A. F. Molland and S. R. Turnock, *Windtunnel Investigation of the Influence of propeller loading on ship rudder performance. Ship Science Report No.46*. UK: University of Southampton, 1991.
- [10] G. Watson, "The Legacy Of Ishikawa," *Qual. Prog.*, vol. 37, no. 4, pp. 54–57, 2004.
- [11] G. Ilie and C. N. Ciocoiu, "Application of Fishbone Diagram to Determine The Risk Of An Event with Multiple Causes," *Manag. Res. Pract.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–20, 2010.
- [12] A. J. Scavarda, T. Bouzdine-Chameeva, S. M. Goldstein, J. M. Hays, and Arthur V. Hill., "A review of the causal mapping practice and research literature," in *Second World Conference*, 2004, pp. 612–624.
- [13] G. Vincent and A. Fontana, *Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries*. Bogor: Penerbit Vinchristo Publication, 2011.
- [14] A. F. Ramadhani, "Analisis Kerusakan Sistem Kemudi Kapal Perintis Sabuk Nusantara," Universitas Hasanuddin, 2021.
- [15] Biro Klasifikasi Indonesia, "Rules For Hull Volume II," Jakarta, 2009.

