

Evaluasi Kegagalan Struktur Lambung Kapal *Fiberglass* Berdasarkan Analisis Risiko Menggunakan Metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA)

Addrian Panjaitan^{*1}, Haposan Vincentius Manalu, and Hanifah Widiastuti

^{*} Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: addriangbpanjaitan@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kegagalan struktur lambung kapal fiberglass berdasarkan analisis risiko menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). Evaluasi dilakukan untuk mengidentifikasi jenis kegagalan pada struktur lambung, menentukan tingkat risiko setiap *failure mode*, serta menyusun rekomendasi mitigasi dan perbaikan berdasarkan prioritas risiko. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif melalui observasi langsung terhadap kondisi struktur lambung kapal, identifikasi *failure mode*, serta penilaian *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Ketiga parameter tersebut digunakan untuk menghitung *Risk Priority Number* (RPN) sebagai dasar penentuan tingkat dan prioritas risiko. Hasil penelitian menunjukkan terdapat delapan *failure mode*, yaitu retak rambut (*hairline crack*) pada *Hull Bottom*, void laminasi pada *Hull Side*, indikasi awal delaminasi pada *Laminate Joint*, deformasi ringan dan beberapa lubang kecil pada *Bow Bulkhead*, pengelupasan coating pada *Coating Surface*, perubahan warna dan *microcrack* pada *Gelcoat Layer*, retak permukaan pada *Keel*, serta deformasi ringan dan retak permukaan pada *Deck*. Hasil analisis menunjukkan *Bow Bulkhead* memiliki RPN tertinggi sebesar 210 dengan kategori *Very High*, sedangkan *Coating Surface* memiliki RPN sebesar 160 dengan kategori *High*. *Keel* dan *Hull Bottom* masing-masing memiliki RPN 96 dan 60 dengan kategori *Low*. Sementara itu, *Hull Side*, *Laminate Joint*, *Gelcoat Layer*, dan *Deck* memiliki RPN masing-masing sebesar 24, 8, 12, dan 36 dengan kategori *Very Low*. Berdasarkan hasil tersebut, prioritas mitigasi diberikan pada kegagalan dengan tingkat risiko tertinggi, sedangkan kegagalan lainnya ditangani melalui perbaikan lokal dan pemantauan berkala sesuai tingkat risikonya.

Kata kunci: *Fiberglass, FMEA, Kegagalan Struktural, Lambung Kapal, Risk Priority Number, Mitigasi Risiko*

Abstract

This study aims to evaluate the failure of a fiberglass boat hull structure based on risk analysis using the *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) method. The evaluation was conducted to identify failure types in the hull structure, determine the risk level of each *failure mode*, and develop mitigation and repair recommendations based on risk priorities. A quantitative approach was applied through direct observation of the hull structure, identification of *failure modes*, and assessment of *Severity* (S), *Occurrence* (O), and *Detection* (D). These three parameters were used to calculate the *Risk Priority Number* (RPN) as the basis for determining risk levels and priorities. The results identified eight *failure modes*, consisting of *hairline cracks* on the *Hull Bottom*, laminate voids on the *Hull Side*, initial delamination indications at the *Laminate Joint*, minor deformation and several small holes on the *Bow Bulkhead*, coating peeling on the *Coating Surface*, discoloration and *microcracks* on the *Gelcoat Layer*, surface cracks on the *Keel*, and minor deformation and surface cracks on the *Deck*. The analysis showed that the *Bow Bulkhead* had the highest RPN of 210, classified as *Very High*, while the *Coating Surface* had an RPN of 160, classified as *High*. The *Keel* and *Hull Bottom* had RPN values of 96 and 60, respectively, and were classified as *Low*. Meanwhile, the *Hull Side*, *Laminate Joint*, *Gelcoat Layer*, and *Deck* had RPN values of 24, 8, 12, and 36, respectively, and were classified as *Very Low*. Based on these results, mitigation priorities were assigned to failures with the highest risk levels, while other failures were addressed through localized repairs and periodic monitoring according to their respective risk levels.

Keywords : *Fiberglass, FMEA, Structural Failure, Hull Structure, Risk Priority Number, Risk Mitigation*

1 Pendahuluan

Kapal dengan berbahan komposit *fiberglass reinforced plastic* merupakan salah satu jenis kapal yang menggunakan material berbahan dasar komposit plastik yang diperkuat serat, yang menawarkan kekuatan, dan daya tahan tinggi. Penggunaan material komposit seperti *fiberglass reinforced plastic* dalam pembuatan kapal skala kecil semakin berkembang karena memiliki keunggulan berupa bobotnya yang ringan, tahan terhadap korosi, serta mudah dan murah dalam proses perawatan dan produksi [1]. Material *fiberglass* sudah banyak digunakan pada kapal nelayan serta transportasi skala kecil seperti untuk kegiatan wisata maupun memancing. Kapal berbahan *fiberglass* memiliki peran penting di dalam menunjang transportasi laut nasional khususnya di wilayah pantai [2]. Namun demikian, struktur lambung kapal *fiberglass* tetap memiliki potensi mengalami kegagalan akibat berbagai faktor seperti kualitas material, penyimpanan jangka panjang, pengaruh lingkungan seperti paparan sinar matahari, hujan, kelembapan, perubahan cuaca, serta proses pembuatan yang dilakukan secara manual yang sering kali tidak sesuai dengan standar pembuatan industri sehingga dapat mempercepat degradasi material. Selain itu, kebocoran air ke dalam kapal akibat kerusakan lambung dapat menimbulkan risiko keselamatan yang signifikan bagi nelayan saat berada di laut [3].

Untuk mengevaluasi kondisi tersebut, diperlukan suatu metode yang mampu mengidentifikasi potensi kegagalan secara sistematis. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), yaitu metode yang umum digunakan untuk mengidentifikasi penyebab serta dampak dari berbagai kegagalan pada komponen dalam suatu sistem. Melalui pendekatan ini, potensi mode kegagalan dapat diuraikan secara rinci dan sistematis berdasarkan tingkat kegagalannya, sehingga memungkinkan dilakukannya tindakan pencegahan maupun perbaikan secara tepat dan efektif [4]. Penilaian dilakukan dengan mengacu pada tiga parameter utama, yaitu *severity* (*S*), *occurrence* (*O*), dan *detection* (*D*), yang kemudian dikombinasikan melalui proses perkalian untuk menghasilkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) [5]. Dengan menggunakan metode ini, potensi kegagalan seperti retak, indikasi awal delaminasi, dan deformasi pada struktur lambung kapal *fiberglass* dapat dianalisis secara lebih terstruktur dan sistematis.

Metode FMEA diterapkan untuk menganalisis potensi kegagalan pada struktur kapal *fiberglass* skala kecil dengan fokus pada cacat yang timbul akibat proses fabrikasi dan kondisi penyimpanan selama kapal belum diluncurkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa delaminasi dan void merupakan mode kegagalan yang paling dominan dengan nilai RPN yang tinggi. Kondisi tersebut disebabkan oleh proses manufaktur yang kurang memenuhi standar serta kualitas material yang belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan pengawasan kualitas yang lebih ketat pada tahap produksi guna menekan risiko kegagalan struktur [6].

Selain itu, beberapa penelitian mengenai material *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) merupakan material komposit yang tersusun dari serat kaca (*glass fiber*) sebagai penguat dan matriks polimer atau resin sebagai pengikat pada struktur kapal menunjukkan bahwa kualitas laminasi sangat memengaruhi kekuatan struktur *fiberglass*. Adanya cacat pada bagian dalam material, seperti void atau rongga udara, dapat menyebabkan penurunan kemampuan material dalam menahan beban. Penelitian tersebut dilakukan melalui pengujian burn-off test dan analisis data untuk melihat hubungan antara jumlah serat dan kualitas laminasi yang dihasilkan. Dari hasil pengujian diketahui bahwa semakin banyak void yang terbentuk pada laminasi, maka kekuatan lentur material akan semakin menurun. Oleh karena itu, proses manufaktur dan laminasi perlu dilakukan dengan baik agar struktur lambung kapal tetap memiliki kualitas dan kekuatan yang optimal [7].

Penelitian mengenai risiko pada sistem kapal dilakukan menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) untuk mengetahui berbagai kemungkinan kegagalan yang dapat terjadi selama proses operasional maupun perawatan kapal. Analisis dilakukan dengan mengidentifikasi jenis kegagalan, mencari penyebab dan dampaknya, kemudian menilai tingkat risikonya melalui parameter *Severity* (*S*), *Occurrence* (*O*), dan *Detection* (*D*) hingga diperoleh nilai *Risk Priority Number* (RPN). Kajian tersebut difokuskan pada kegiatan perbaikan kapal yang berkaitan dengan penggunaan peralatan, material, serta tenaga kerja. Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan bahwa keterlambatan pekerjaan dan penggunaan peralatan yang kurang sesuai menjadi penyebab utama tingginya risiko. Oleh karena itu, diperlukan pengawasan proses kerja dan pengelolaan perawatan yang lebih baik agar kegiatan operasional kapal dapat berjalan lebih optimal [8].

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: apa saja mode kegagalan potensial yang terdapat pada struktur lambung kapal *fiberglass* sebelum pertama kali diluncurkan ke laut, bagaimana tingkat risiko dari setiap mode kegagalan tersebut berdasarkan nilai RPN yang diperoleh melalui metode FMEA, serta tindakan pencegahan apa yang perlu diprioritaskan untuk memastikan keandalan dan keselamatan struktur lambung kapal sebelum dioperasikan untuk pertama kalinya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kegagalan pada struktur lambung kapal *fiberglass* menggunakan metode FMEA melalui identifikasi mode kegagalan, analisis tingkat risiko berdasarkan nilai RPN, serta penentuan prioritas perbaikan guna meningkatkan keandalan dan keselamatan struktur kapal saat kapal beroperasi untuk pertama kali.

Batasan masalah dalam penelitian ini meliputi fokus kajian pada struktur lambung kapal *fiberglass* yang dibuat secara manual, tanpa membahas sistem lain seperti sistem propulsi dan kelistrikan. Analisis dibatasi pada kegagalan struktural utama seperti retak, indikasi awal delaminasi, dan deformasi ringan akibat penyimpanan jangka panjang. Selain itu, metode yang digunakan hanya FMEA tanpa membandingkan dengan metode analisis risiko lainnya. Data penelitian diperoleh dari observasi lapangan, studi literatur.

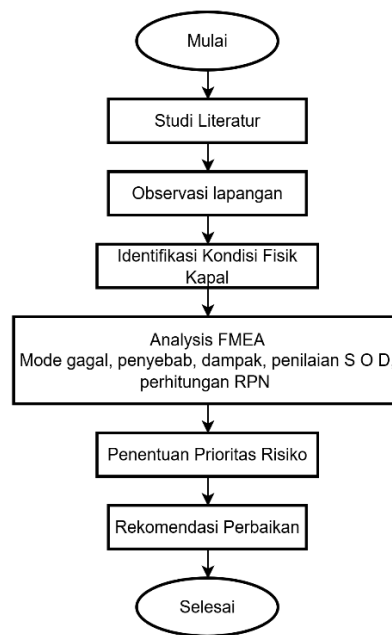
Metodologi penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu studi literatur, observasi lapangan, identifikasi kerusakan, analisis menggunakan metode FMEA, perhitungan nilai RPN, serta penentuan prioritas risiko dan rekomendasi perbaikan terhadap struktur lambung kapal *fiberglass*.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas analisis risiko pada kapal dan material komposit, kajian yang secara spesifik mengevaluasi kondisi aktual struktur lambung kapal *fiberglass* berbasis observasi langsung menggunakan metode FMEA masih terbatas.

2 Metodologi Penelitian

penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) untuk mengevaluasi kelayakan pada struktur lambung kapal *fiberglass*. Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan, menganalisis penyebab dan dampaknya, serta menentukan tingkat risiko berdasarkan parameter yang terukur. Objek penelitian ini berupa kapal yang saat ini masih berada di Workshop Manufaktur Politeknik Negeri Batam dan dalam waktu dekat akan segera diluncurkan ke laut untuk pertama kalinya guna mendukung kegiatan wisata bahari dan pemancingan. Mengingat kapal tersebut belum pernah sama sekali beroperasi, penelitian ini secara khusus memusatkan perhatian pada kondisi struktur lambung sebagai komponen utama yang akan menerima beban langsung saat kapal beroperasi nanti di laut, terlebih khusus pada area yang berpotensi mengalami kerusakan, seperti bagian dasar lambung, sisi lambung, dan sambungan laminasi. Penelitian ini dilaksanakan melalui observasi langsung di lapangan untuk memperoleh kondisi aktual pada struktur kapal.

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan sistematis yang diawali dengan studi literatur untuk mengkaji referensi ilmiah berupa jurnal, serta standar industri yang berkaitan dengan material *fiberglass*, struktur lambung kapal, dan metode FMEA sebagai landasan teori. Selanjutnya dilakukan observasi lapangan dengan mengamati kondisi fisik kapal secara langsung, serta mencatat apakah ada kerusakan yang tampak seperti retak permukaan, indikasi awal delaminasi, perubahan warna, dan deformasi, yang kemudian didokumentasikan sebagai data awal penelitian. Alur penelitian secara sistematis ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Flowchart

2.1 Identifikasi Kegagalan

Identifikasi kegagalan merupakan langkah awal dalam proses analisis risiko yang berfungsi untuk menemukan berbagai kemungkinan kegagalan (*failure mode*) yang dapat terjadi pada suatu komponen maupun sistem. Tahap ini memiliki peranan penting karena menjadi dasar dalam pelaksanaan analisis lanjutan, seperti penentuan penyebab, dampak, serta tingkat risiko dari setiap kegagalan yang teridentifikasi. Dalam praktik rekayasa, kegiatan ini umumnya dilakukan melalui kombinasi observasi langsung di lapangan, kajian literatur, serta evaluasi terhadap kondisi operasional sistem [4]

Kegagalan pada struktur tidak terjadi secara tiba-tiba, melainkan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berkaitan, seperti mutu material, ketidaksesuaian dalam proses manufaktur, serta kondisi penyimpanan selama kapal belum dioperasikan. Pada material komposit *fiberglass*, kegagalan umumnya berkaitan dengan adanya cacat pada proses laminasi, penyebaran serat yang tidak merata, serta terbentuknya rongga (*void*) yang dapat mengurangi kekuatan mekanik struktur [7]. Di samping itu, kondisi penyimpanan yang kurang optimal juga dapat memengaruhi kualitas permukaan dan bentuk struktur *fiberglass* apabila tidak dilakukan dengan baik.

Dalam penelitian ini, identifikasi kegagalan dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap kondisi aktual struktur lambung kapal *fiberglass* yang berada di workshop manufaktur Politeknik Negeri Batam. Fokus utama penelitian diarahkan pada bagian struktur kapal yang rentan mengalami degradasi akibat penyimpanan dalam jangka waktu lama serta pengaruh paparan lingkungan, seperti alas kapal, sisi lambung, sambungan laminasi, sekat haluan, permukaan *coating*, *gelcoat*, *keel*, dan deck. Berdasarkan hasil pengamatan tersebut, beberapa potensi kegagalan yang dianalisis meliputi *void* laminasi, tanda-tanda indikasi awal delaminasi, retak rambut (*hairline crack*) akibat penyimpanan jangka panjang, lapisan antar laminasi yang tidak seragam ketebalannya, serta deformasi ringan akibat kondisi penyimpanan selama kapal belum diluncurkan.

Selanjutnya, setiap mode kegagalan yang telah diidentifikasi dianalisis untuk mengetahui faktor-faktor penyebab yang berpotensi memengaruhi kondisi struktur kapal, seperti kondisi material, kualitas laminasi, serta pengaruh penyimpanan jangka panjang dan paparan lingkungan. Hasil identifikasi tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam analisis menggunakan metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) melalui penentuan parameter *severity*, *occurrence*, dan *detection* untuk mengetahui tingkat risiko pada struktur lambung kapal fiberglass.

2.2 Failure Mode Effects Analysis

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) adalah suatu proses analisis yang dilakukan untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial dalam suatu sistem, rakitan atau subsistem [9]. Metode ini banyak digunakan dalam bidang teknik karena memberikan pendekatan yang sistematis dalam

mengidentifikasi dan mengevaluasi potensi kegagalan sejak dini, sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan secara lebih efektif.

Metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) diterapkan melalui beberapa tahapan yang diawali dengan penelusuran kemungkinan kegagalan pada setiap bagian sistem atau komponen. Setiap potensi kegagalan kemudian dikaji lebih lanjut untuk mengidentifikasi faktor penyebab serta konsekuensi yang ditimbulkan terhadap kinerja sistem. Setelah itu, masing-masing kegagalan dievaluasi menggunakan tiga indikator utama, yaitu tingkat keparahan dampak (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), serta kemampuan sistem dalam mendeteksi kegagalan (*detection*). Analisis FMEA dilakukan dengan menghitung *Risk Priority Number* (RPN) untuk setiap mode kegagalan yang teridentifikasi. RPN merupakan hasil perkalian dari tiga parameter risiko: *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). Rumus yang digunakan adalah [10]

$$RPN = S \times O \times D$$

Tabel 1 *Severity* (S) [11]

Skala	Effect Of Severity	Kriteria Severity
10	<i>Failure to meet safety/structural requirements</i>	Kegagalan dapat memengaruhi keselamatan struktur lambung secara serius tanpa adanya peringatan terlebih dahulu
9		Kegagalan dapat memengaruhi keselamatan struktur lambung dengan adanya peringatan/tanda kerusakan terlebih dahulu
8	<i>Loss or degradation of primary function</i>	Kegagalan menyebabkan hilangnya fungsi utama struktur (lambung tidak layak menahan beban/menahan air)
7		Kegagalan menyebabkan penurunan fungsi utama struktur secara signifikan
6	<i>Loss or degradation of secondary function</i>	Kegagalan menyebabkan hilangnya fungsi sekunder struktur (misal estetika, lapisan pelindung)
5		Kegagalan menyebabkan penurunan fungsi sekunder struktur, masih dapat diperbaiki tanpa penggantian bagian utama
4	<i>Annoyance</i>	Kegagalan mulai terlihat dan memengaruhi kondisi struktur lambung secara ringan
3		Kegagalan memberikan efek minor pada struktur, terlihat langsung namun tidak mengganggu fungsi utama
2	<i>Minor effect</i>	Terdapat kerusakan ringan yang dapat diabaikan dan tidak memengaruhi fungsi struktur
1	<i>No effect</i>	Kerusakan sangat kecil dan tidak memengaruhi kondisi struktur lambung sama sekali

Tabel 2 *Occurrence* (O) [11]

Skala	Likelihood of Occurrence	Kriteria Occurrence
10	<i>Very high</i>	Ditemukan hampir di setiap titik pemeriksaan (≥ 9 dari 10 titik)
9	<i>High</i>	Ditemukan pada 7–8 dari 10 titik pemeriksaan, sangat sering muncul
8		Ditemukan pada 5–6 dari 10 titik pemeriksaan, sering muncul
7		Ditemukan pada 3–4 dari 10 titik pemeriksaan, cukup sering muncul
6	<i>Moderate</i>	Ditemukan 1 dari 5 titik pemeriksaan, sedikit sering muncul

5		Ditemukan 1 dari 10 titik pemeriksaan, jarang muncul
4		Ditemukan 1 dari 20 titik pemeriksaan, sedikit jarang muncul
3	<i>Low</i>	Ditemukan 1 dari 50 titik pemeriksaan, cukup jarang muncul
2		Ditemukan 1 dari 100 titik pemeriksaan, sangat jarang muncul
1	<i>Very Low</i>	Tidak ditemukan pada seluruh titik pemeriksaan, hampir tidak pernah terjadi

Tabel 3 Detection (D) [12]

Skala	<i>Likelihood of Detection</i>	Kriteria detection
10	<i>Almost impossible</i>	Kegagalan tidak mungkin terdeteksi melalui pengecekan/inspeksi yang dilakukan
9	<i>Very remote</i>	Pengecekan sangat sulit mendeteksi kegagalan (misal berada di area tersembunyi/sulit dijangkau)
8	<i>Remote</i>	Pengecekan berpeluang sangat kecil bisa mendeteksi kegagalan secara detail
7	<i>Very low</i>	Pengecekan berpeluang kecil bisa mendeteksi kegagalan secara langsung
6	<i>Low</i>	Terdapat cara untuk mendeteksi kegagalan, namun perlu metode tambahan (misal tap test)
5	<i>Medium</i>	Pengecekan berpeluang cukup besar bisa mendeteksi kegagalan lewat inspeksi visual dan tap test
4	<i>Moderate high</i>	Pengecekan berpeluang besar mendeteksi kegagalan dengan metode inspeksi yang digunakan
3	<i>High</i>	Kegagalan mudah dideteksi secara kasat mata pada saat pemeriksaan
2	<i>Very high</i>	Kegagalan sangat mudah dideteksi secara kasat mata, hampir selalu terlihat
1	<i>Almost certain</i>	Kegagalan langsung terlihat dan pasti terdeteksi dengan kasat mata

Penentuan nilai severity, occurrence, dan detection pada penelitian ini dilakukan secara diskusi oleh seorang ahli yang berpengalaman pada kapal *fiberglass* berdasarkan hasil observasi langsung terhadap kondisi struktur lambung kapal *fiberglass* serta mengacu pada tabel penilaian FMEA yang digunakan sebagai dasar analisis risiko.

Keterangan:

- **S (Severity)** : tingkat keparahan dampak kegagalan terhadap sistem, dengan skala penilaian 1–10
- **O (Occurrence)** : frekuensi kemungkinan terjadinya kegagalan, dengan skala penilaian 1–10
- **D (Detection)** : kemampuan sistem dalam mendeteksi kegagalan sebelum terjadi, dengan skala penilaian 1–10

Hasil dari penilaian tersebut dinyatakan dalam bentuk nilai *Risk Priority Number* (RPN), yang digunakan sebagai dasar dalam menentukan urutan prioritas penanganan. Mode kegagalan dengan nilai RPN lebih tinggi menunjukkan tingkat risiko yang lebih besar sehingga perlu mendapatkan perhatian terlebih dahulu. Dengan demikian, FMEA tidak hanya berfungsi sebagai alat identifikasi risiko, tetapi juga

sebagai dasar dalam penyusunan langkah mitigasi yang lebih terarah.

Pada penelitian ini, pendekatan FMEA digunakan untuk menilai kondisi struktur lambung kapal *fiberglass* yang belum pernah dioperasikan dengan mengkaji berbagai kemungkinan kegagalan yang dapat muncul, akibat proses fabrikasi dan kondisi penyimpanan jangka panjang, seperti void laminasi, indikasi awal delaminasi, retak rambut (*hairline crack*), dan deformasi lain pada struktur lambung kapal.

Penentuan nilai pada masing-masing parameter dilakukan berdasarkan hasil pengamatan langsung terhadap kondisi aktual kapal yang terdapat pada Workshop Manufaktur Politeknik Negeri Batam. Nilai RPN yang dihasilkan dari setiap mode kegagalan kemudian digunakan untuk menentukan tingkat prioritas risiko. Hasil tersebut dijadikan dasar dalam merumuskan rekomendasi perbaikan dan strategi perawatan guna meningkatkan keandalan serta keselamatan struktur lambung kapal *fiberglass*.

2.3 Data Yang Digunakan

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh melalui observasi langsung terhadap struktur lambung kapal *fiberglass* yang menjadi objek penelitian. Pengambilan data dilakukan dengan pemeriksaan visual, tap test, dry penetrant untuk mengidentifikasi kondisi permukaan, kualitas struktur, serta potensi kegagalan (*failure mode*) pada lambung kapal fiberglass sebelum dioperasikan. Observasi dilakukan pada beberapa bagian struktur lambung untuk mengetahui adanya indikasi perubahan kondisi seperti retak rambut (*hairline crack*), perubahan pada permukaan gelcoat, pengelupasan coating, deformasi ringan, serta potensi degradasi struktur lainnya akibat penyimpanan jangka panjang dan paparan lingkungan yang dapat memengaruhi kualitas dan kekuatan lambung kapal. Data hasil observasi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penilaian *Severity (S)*, *Occurrence (O)*, dan *Detection (D)* pada metode *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)* untuk menentukan tingkat risiko kegagalan pada struktur lambung kapal *fiberglass*.

3 Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 23 Juli 2026 dengan durasi waktu pengambilan data selama kurang lebih 5 jam di Workshop Manufaktur Politeknik Negeri Batam terhadap struktur lambung kapal *fiberglass* yang belum pernah dioperasikan ke laut, pengambilan data dilakukan melalui pemeriksaan visual, tap test, dan dry penetrant test terhadap 8 area struktur lambung yang telah ditentukan sebelumnya. FMEA dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan suatu produk atau proses. Metode RPN kemudian meminta tim analisis untuk menggunakan pengalaman masa lalu dan menggunakan *Risk Priority Number (RPN)* yang diperoleh dari perkalian *Severity* (kegagalan) x *Occurrence* (Kejadian) x *Detection* (Deteksi) sebagai alat untuk melakukan penelitian, yang merupakan sebuah teknik untuk menganalisa resiko yang berkaitan dengan masalah-masalah yang potensial yang telah diidentifikasi [12].

3.1 Identifikasi failure mode

Berdasarkan hasil observasi lapangan terhadap 8 area struktur lambung yang dinilai berisiko tinggi, diperoleh identifikasi mode kegagalan beserta penyebab sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4 Identifikasi Failure Mode pada Struktur Lambung Kapal Fiberglass

NO	Komponen/Area Struktur	Failure Mode	Penyebab Kegagalan	Efek/Dampak Kegagalan
1	Alas Kapal (<i>Hull Bottom</i>)	Retak rambut (<i>hairline crack</i>)	Beban statis dari penyangga kapal selama penyimpanan jangka panjang serta perubahan suhu lingkungan	Menurunkan kekuatan struktur dasar lambung dan berpotensi memicu kebocoran saat kapal dioperasikan
2	Sisi Lambung (<i>Hull Side</i>)	Void laminasi	Diduga proses laminasi manual yang tidak merata dan penyebaran serat fiberglass yang tidak homogen	Mengurangi kekuatan mekanik laminasi dan menurunkan ketahanan struktur terhadap beban
3	Sambungan Laminasi (<i>Laminate Joint</i>)	Indikasi awal delaminasi	Diduga kualitas perekatan antar lapisan laminasi yang kurang optimal serta	Lapisan laminasi berpotensi terpisah sehingga menurunkan integritas struktur lambung

			kontaminasi permukaan saat proses laminasi	
4	Sekat Haluan/forpeak tank (<i>Bow Bulkhead</i>)	Deformasi ringan dan beberapa lubang kecil	Diduga karna penyangga kapal yang tidak merata selama penyimpanan serta beban terpusat pada titik tumpu	Perubahan bentuk struktur yang dapat mengganggu kekuatan dan kestabilan lambung
5	Permukaan Coating (<i>Coating Surface</i>)	Pengelupasan coating	Paparan sinar matahari (UV), kelembapan, dan perubahan cuaca selama masa penyimpanan	Material fiberglass di bawahnya menjadi terbuka sehingga meningkatkan risiko degradasi akibat lingkungan
6	Lapisan Gelcoat (<i>Gelcoat Layer</i>)	Perubahan warna dan microcrack pada gelcoat	Paparan sinar UV dalam jangka waktu lama serta proses curing gelcoat yang tidak sempurna	Menurunkan fungsi gelcoat sebagai pelindung dan mempercepat degradasi struktur di bawahnya
7	Keel/Lunas (<i>Keel</i>)	Retak permukaan	Beban penyangga yang terkonsentrasi pada area keel selama kapal disimpan dalam waktu lama	Berpotensi menyebabkan kebocoran pada bagian bawah kapal yang menerima beban terbesar saat dioperasikan
8	Geladak/Deck (<i>Deck</i>)	Deformasi ringan dan retak permukaan	Paparan langsung sinar matahari, hujan, dan perubahan suhu selama penyimpanan jangka panjang	Penurunan fungsi geladak sebagai area kerja dan keselamatan pada saat kapal beroperasi

3.2 Identifikasi Mode Kegagalan dan Penilaian *FMEA*

Proses penyusunan analisis risiko menggunakan metode *FMEA* dilakukan melalui diskusi bersama seorang ahli yang berpengalaman dalam *fiberglass* untuk menentukan tingkat *severity*, *occurrence*, dan *detection* yang tidak ada pada data kegagalan dan menentukan nilai dari *severity*, *occurrence*, dan *detection* beserta hasil dari nilai atau skor tersebut. Dan hasil penilaian risiko kegagalan struktur lambung kapal fiberglass ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5 FMEA – Identifikasi dan Penilaian Risiko Kegagalan Struktur Kapal Fiberglass

NO	Komponen/ Area Struktur	Failure Mode	Efek/Dampak Kegagalan	S	O	D	RP N	Level Risiko
1	Alas Kapal (<i>Hull Bottom</i>)	Retak rambut (<i>hairline crack</i>)	Menurunkan kekuatan struktur dasar lambung dan berpotensi memicu kebocoran saat kapal dioperasikan	4	3	5	60	Low
2	Sisi Lambung (<i>Hull Side</i>)	Void laminasi	Mengurangi kekuatan mekanik laminasi dan menurunkan ketahanan struktur terhadap beban	2	4	3	24	Very Low
3	Sambungan Laminasi (<i>Laminate Joint</i>)	Indikasi awal delaminasi	Lapisan laminasi berpotensi terpisah sehingga menurunkan integritas struktur lambung	2	2	2	8	Very Low
4	Sekat Haluan/forpeak	Deformasi ringan dan	Perubahan bentuk struktur yang dapat mengganggu	5	7	6	210	Very High

	tank (<i>Bow Bulkhead</i>)	beberapa lubang kecil	kekuatan dan kestabilan lambung					
5	Permukaan Coating (<i>Coating Surface</i>)	Pengelupasan coating	Material fiberglass di bawahnya menjadi terbuka sehingga meningkatkan risiko degradasi akibat lingkungan	4	8	5	160	High
6	Lapisan Gelcoat (<i>Gelcoat Layer</i>)	Perubahan warna dan <i>microcrack</i>	Menurunkan fungsi gelcoat sebagai pelindung dan mempercepat degradasi struktur di bawahnya	2	2	3	12	Very Low
7	Keel/Lunas (<i>Keel</i>)	Retak permukaan	Berpotensi menyebabkan kebocoran pada bagian bawah kapal yang menerima beban terbesar saat dioperasikan	4	3	8	96	Low
8	Geladak (<i>Deck</i>)	Deformasi ringan dan retak permukaan	Penurunan fungsi geladak sebagai area kerja dan keselamatan pada saat kapal beroperasi	3	4	3	36	Very Low

Tabel 6 Skala Level Risiko RPN [13]

Skala RPN	Level Risiko
200 >	<i>Very High</i>
151-200	<i>High</i>
101 – 150	<i>Medium</i>
51 – 100	<i>Low</i>
0 – 50	<i>Very Low</i>

Nilai-nilai *FMEA* pada Tabel 5 di atas diyakinkan dapat dipertanggungjawabkan melalui dua pendekatan. Pertama, triangulasi metode pemeriksaan — visual, *tap test*, dan *dry penetrant test* — digunakan untuk saling mengonfirmasi temuan pada setiap area struktur sebelum nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* ditetapkan, sehingga penilaian tidak hanya bergantung pada satu metode pemeriksaan. Kedua, setiap nilai yang ditetapkan selalu dirujuk kembali pada kriteria kuantitatif di Tabel 1–3, bukan berdasarkan estimasi bebas, sehingga proses penilaian dapat ditelusuri dan direplikasi ulang oleh pihak lain menggunakan kriteria yang sama. Dengan pendekatan tersebut, setiap nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* pada kedelapan *failure mode* dapat dipertanggungjawabkan kesesuaiannya dengan kondisi aktual di lapangan, sebagaimana diuraikan secara rinci pada masing-masing *failure mode* berikut.

Berdasarkan hasil analisis *FMEA* pada Tabel 5, Sekat Haluan/forpeak tank (*Bow Bulkhead*) memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi yaitu sebesar 210, dengan *Severity* = 5, *Occurrence* = 7, dan *Detection* = 6. Nilai *Severity* = 5 ditetapkan karena deformasi ringan dan beberapa lubang kecil yang ditemukan menyebabkan perubahan bentuk struktur yang mengganggu kekuatan dan kestabilan lambung, sesuai kriteria kehilangan/penurunan fungsi sekunder struktur — lebih tinggi dibanding *Hull Bottom* (*S*=4) yang dampaknya masih sebatas menurunkan kekuatan lokal tanpa mengubah bentuk struktur. Nilai *Occurrence* = 7 ditetapkan berdasarkan temuan gejala kerusakan pada 4 dari 10 titik pemeriksaan di area sekat haluan, sesuai kriteria Tabel 2 (ditemukan pada 3–4 dari 10 titik pemeriksaan, cukup sering muncul), yang mengindikasikan kondisi penyangga kapal tidak merata di sepanjang area tersebut sehingga beban terkonsentrasi pada beberapa titik tumpu. Nilai *Detection* = 6 ditetapkan karena kerusakan berada pada area yang posisinya lebih tertutup di bagian haluan kapal, sehingga pemeriksaan visual langsung tidak cukup dan memerlukan *tap test* tambahan untuk memastikan kondisi struktur. Dengan RPN 210 (kategori *Very High*), sekat haluan menjadi prioritas utama dalam tindakan mitigasi.

Pada Permukaan Coating (*Coating Surface*), nilai *Severity* = 4 ditetapkan karena pengelupasan coating tergolong annoyance yang mulai memengaruhi kondisi struktur secara ringan, belum sampai menurunkan fungsi utama lambung. Nilai *Occurrence* = 8 ditetapkan karena gejala pengelupasan ditemukan pada 5–6 dari 10 titik pemeriksaan, sesuai kriteria Tabel 2, yang mengindikasikan paparan UV dan cuaca selama penyimpanan terjadi cukup merata di permukaan kapal. Nilai *Detection* = 5 ditetapkan karena kerusakan cukup mudah dikenali melalui inspeksi visual dan tap test, namun tetap memerlukan pemeriksaan menyeluruh karena area yang terdampak cukup luas. Dengan RPN 160 (kategori High), Coating Surface menjadi prioritas kedua setelah Bow Bulkhead.

Pada Keel/Lunas (*Keel*), nilai *Severity* = 4 ditetapkan karena retak permukaan berpotensi menurunkan kekuatan lokal struktur tanpa mengubah bentuk keseluruhan lambung. Nilai *Occurrence* = 3 ditetapkan karena retak hanya ditemukan pada sebagian kecil titik pemeriksaan di area keel, sesuai kriteria kategori Low pada Tabel 2. Nilai *Detection* = 8 ditetapkan paling tinggi di antara seluruh *failure mode* karena posisi keel berada di bagian bawah kapal yang sulit dijangkau langsung, sehingga peluang mendeteksi kegagalan melalui inspeksi rutin relatif kecil. Kombinasi *occurrence* rendah namun *detection* sangat sulit inilah yang membuat RPN keel (96) tetap tergolong Low meski risikonya nyata jika tidak dipantau.

Pada Alas Kapal (*Hull Bottom*), nilai *Severity* = 4 ditetapkan karena retak rambut menurunkan kekuatan struktur dasar secara lokal. Nilai *Occurrence* = 3 ditetapkan karena retak ditemukan pada sebagian kecil titik pemeriksaan akibat beban statis penyangga yang terkonsentrasi selama penyimpanan jangka panjang. Nilai *Detection* = 5 ditetapkan karena retak rambut cukup dapat dikenali melalui kombinasi visual dan tap test, meski memerlukan ketelitian karena ukurannya kecil. RPN 60 menempatkan *Hull Bottom* pada kategori Low, memerlukan pemantauan namun bukan prioritas mendesak.

Pada Geladak (*Deck*), nilai *Severity* = 3 ditetapkan karena deformasi ringan dan retak permukaan memberikan efek *minor* yang terlihat namun belum mengganggu fungsi utama geladak. Nilai *Occurrence* = 4 ditetapkan karena gejala ditemukan cukup jarang, terkait paparan langsung cuaca selama penyimpanan. Nilai *Detection* = 3 ditetapkan karena kerusakan pada geladak mudah terlihat langsung karena berada di area terbuka yang sering diperiksa. RPN 36 (*Very Low*) menunjukkan risiko rendah, tetapi tetap perlu perlindungan dari paparan cuaca berkelanjutan.

Pada Sisi Lambung (*Hull Side*), nilai *Severity* = 2 ditetapkan karena void laminasi tergolong *minor effect* yang belum mengganggu fungsi struktur secara signifikan. Nilai *Occurrence* = 4 ditetapkan karena void ditemukan cukup jarang, diduga akibat proses laminasi manual yang sesekali tidak merata. Nilai *Detection* = 3 ditetapkan karena void relatif mudah dikenali melalui tap test yang memberikan bunyi berbeda pada area berongga. RPN 24 (*Very Low*) menunjukkan bahwa risiko pada bagian ini rendah namun tetap perlu pengawasan mutu laminasi ke depannya.

Pada Lapisan Gelcoat (*Gelcoat Layer*), nilai *Severity* = 2 ditetapkan karena perubahan warna dan microcrack tergolong *minor effect*, belum memengaruhi kekuatan struktural di baliknya. Nilai *Occurrence* = 2 ditetapkan karena gejala ini sangat jarang ditemukan, mengindikasikan proses curing gelcoat pada sebagian besar area sudah cukup baik. Nilai *Detection* = 3 ditetapkan karena *microcrack* dan perubahan warna mudah dikenali secara visual. RPN 12 (*Very Low*) menjadikan gelcoat sebagai area dengan prioritas penanganan paling rendah.

Selanjutnya, Sambungan Laminasi (*Laminate Joint*) memperoleh nilai RPN terendah yaitu sebesar 8, dengan *Severity* = 2, *Occurrence* = 2, dan *Detection* = 2. Nilai *Severity* = 2 ditetapkan karena indikasi awal delaminasi yang ditemukan berpotensi menurunkan integritas struktur, namun belum menimbulkan pemisahan nyata antar lapisan laminasi sehingga tergolong *minor effect*. Nilai *Occurrence* = 2 ditetapkan berdasarkan temuan gejala hanya pada 1 dari 100 titik pemeriksaan, sesuai kriteria Tabel 2 (sangat jarang muncul), yang mengindikasikan proses perekatan antar lapisan laminasi secara umum sudah baik, kecuali pada satu titik yang diduga terkena kontaminasi permukaan saat produksi. Nilai *Detection* = 2 ditetapkan karena indikasi delaminasi pada tahap awal ini tergolong mudah dikenali melalui kombinasi pemeriksaan visual dan tap test yang secara konsisten menunjukkan hasil sama. Dengan RPN 8 (kategori *Very Low*), sambungan laminasi tidak memerlukan tindakan mitigasi prioritas..

Tabel 7 Rekapitulasi Kategori Risiko Hasil Analisis FMEA

Kategori	Jumlah	Persentase
<i>Very High</i>	1	12,5%
<i>High</i>	1	12,5%

<i>Medium</i>	0	0
<i>Low</i>	2	25,0%
<i>Very Low</i>	4	50%
<i>Total</i>	8	100%

Berdasarkan Tabel 7, hasil analisis FMEA terhadap 8 *failure mode* pada struktur lambung kapal fiberglass menunjukkan bahwa 1 *failure mode* (12,5%) termasuk dalam kategori Very High, yaitu Sekat Haluan/Forpeak Tank (*Bow Bulkhead*) dengan nilai RPN sebesar 210. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kerusakan pada sekat haluan merupakan prioritas utama dalam tindakan inspeksi dan perbaikan karena memiliki tingkat risiko paling tinggi dibandingkan komponen lainnya.

Kategori High terdiri dari 1 *failure mode* (12,5%), yaitu Permukaan Coating (*Coating Surface*) dengan nilai RPN sebesar 160. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengelupasan lapisan coating berpotensi mempercepat degradasi material fiberglass akibat paparan lingkungan sehingga memerlukan tindakan perbaikan setelah penanganan risiko kategori *Very High*.

Kategori Low terdiri dari 2 *failure mode* (25,0%), yaitu Alas Kapal (*Hull Bottom*) dengan nilai RPN sebesar 60 dan Keel/Lunas (*Keel*) dengan nilai RPN sebesar 96. Kedua *failure mode* tersebut masih memerlukan tindakan pemantauan dan perbaikan, namun tingkat prioritasnya lebih rendah dibandingkan kategori *High* dan *Very High*. Sementara itu, kategori Very Low merupakan kategori yang paling banyak ditemukan, yaitu 4 *failure mode* (50,0%), yang terdiri atas Sisi Lambung (*Hull Side*) dengan nilai RPN sebesar 24, Sambungan Laminasi (*Laminate Joint*) dengan nilai RPN sebesar 8, Lapisan Gelcoat (*Gelcoat Layer*) dengan nilai RPN sebesar 12, dan Geladak (*Deck*) dengan nilai RPN sebesar 36. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar kerusakan yang teridentifikasi memiliki tingkat risiko rendah sehingga cukup dilakukan pemantauan berkala dan tindakan perbaikan sesuai kebutuhan.

3.3 Mitigasi Risiko

Berdasarkan hasil dari perhitungan analisis risiko pada Tabel 5, selanjutnya dilakukan mitigasi yang bertujuan untuk mengurangi tingkat keparahan risiko dengan cara memberikan penanganan pada setiap mode kegagalan yang telah teridentifikasi pada struktur lambung kapal fiberglass. Rekomendasi mitigasi risiko untuk setiap komponen struktur ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Mitigasi Risiko

Komponen/Area Struktur	Failure Mode	Mitigasi
Alas Kapal (Hull Bottom)	Retak rambut (hairline crack)	Mengatur ulang posisi titik penyangga agar beban statis terdistribusi merata, serta melakukan perbaikan retak rambut dengan tambahan resin/laminasi
Sisi Lambung (Hull Side)	Void laminasi	Meningkatkan pengawasan mutu pada proses laminasi manual dan memperbaiki void dengan metode injeksi resin (resin injection repair)
Sambungan Laminasi (Laminate Joint)	Indikasi awal delaminasi	Melakukan pemeriksaan visual dan tap test secara berkala sebagai tindakan preventif
Sekat Haluan/forpeak tank (Bow Bulkhead)	Deformasi ringan dan beberapa lubang kecil	Mendistribusikan ulang titik tumpu penyangga serta menambal lubang kecil dengan material fiberglass sejenis
Permukaan Coating (Coating Surface)	Pengelupasan coating	Menyediakan pelindung dari sinar matahari dan hujan selama penyimpanan, serta mengaplikasikan ulang coating tahan UV
Lapisan Gelcoat (Gelcoat Layer)	Perubahan warna dan microcrack	Menggunakan pelindung UV tambahan (wax/UV protectant) dan memastikan proses curing gelcoat sesuai standar
Keel/Lunas (Keel)	Retak permukaan	Melakukan inspeksi rutin dengan tap test dan dry penetrant test, serta memberikan penyangga tambahan yang terdistribusi merata

Geladak (Deck)	Deformasi ringan dan retak permukaan	Memasang penutup pelindung dari paparan cuaca serta memperbaiki retak permukaan dengan filler/dempul fiberglass
----------------	--------------------------------------	---

Berdasarkan Tabel 8, Sekat Haluan/forpeak tank (*Bow Bulkhead*) memiliki nilai RPN tertinggi sebesar 210 dan termasuk kategori *Very High*. Oleh karena itu, area ini menjadi prioritas utama dalam tindakan mitigasi. Mitigasi yang diberikan berupa pendistribusian ulang titik tumpu penyangga untuk mengurangi konsentrasi beban selama penyimpanan serta penambalan lubang kecil menggunakan material *fiberglass* sejenis. Tindakan tersebut diarahkan untuk mengurangi kemungkinan perkembangan deformasi dan memulihkan kondisi bagian yang mengalami kerusakan. Permukaan Coating (*Coating Surface*) memiliki RPN sebesar 160 dan termasuk kategori *High*. Mitigasi dilakukan dengan menyediakan perlindungan terhadap sinar matahari dan hujan selama penyimpanan, kemudian melakukan aplikasi ulang coating tahan UV. Tindakan ini ditujukan untuk melindungi material fiberglass yang terbuka akibat pengelupasan coating dari pengaruh lingkungan.

Pada Keel/Lunas (*Keel*), nilai RPN sebesar 96 termasuk kategori *Low*. Meskipun tingkat risikonya lebih rendah dibandingkan Bow Bulkhead dan Coating Surface, area keel tetap memerlukan pemeriksaan karena failure mode berupa retak permukaan berada pada bagian bawah kapal dan relatif sulit dideteksi. Mitigasi yang diberikan adalah inspeksi rutin menggunakan *tap test* dan *dry penetrant test* serta pemberian penyangga tambahan dengan distribusi yang merata.

Alas Kapal (*Hull Bottom*) memiliki RPN sebesar 60 dan termasuk kategori *Low*. Mitigasi dilakukan dengan mengatur ulang posisi titik penyangga agar beban statis terdistribusi merata serta memperbaiki retak rambut menggunakan tambahan resin atau laminasi. Tindakan tersebut ditujukan untuk mencegah konsentrasi beban pada area tertentu selama penyimpanan dan memperbaiki indikasi kerusakan yang ditemukan.

Sementara itu, Sisi Lambung (*Hull Side*) memiliki RPN sebesar 24, Sambungan Laminasi (*Laminate Joint*) sebesar 8, Lapisan Gelcoat (*Gelcoat Layer*) sebesar 12, dan Geladak (*Deck*) sebesar 36, yang seluruhnya termasuk kategori *Very Low*. Mitigasi pada bagian-bagian tersebut lebih diarahkan pada pencegahan dan pemantauan, seperti pengawasan mutu laminasi dan perbaikan *void* dengan injeksi resin, pemeriksaan visual dan *tap test* secara berkala pada sambungan laminasi, perlindungan UV pada *gelcoat*, serta perlindungan terhadap cuaca dan perbaikan retak permukaan pada geladak.

3.4 Rekomendasi Perbaikan

Berdasarkan hasil analisis FMEA dan tingkat risiko yang diperoleh dari nilai *Risk Priority Number* (RPN), selanjutnya dilakukan penyusunan tindakan mitigasi terhadap setiap failure mode yang teridentifikasi pada struktur lambung kapal fiberglass. Mitigasi risiko ditentukan dengan mempertimbangkan tingkat risiko, jenis kerusakan, dampak kegagalan, serta kondisi aktual yang ditemukan selama proses inspeksi. Rekomendasi mitigasi untuk masing-masing komponen atau area struktur lambung ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 9 Rekomendasi Perbaikan Struktur Lambung Kapal Fiberglass

Komponen/Area Struktur	Failure Mode	Rekomendasi Perbaikan
Alas Kapal (<i>Hull Bottom</i>)	Retak rambut (<i>hairline crack</i>)	Standarisasi desain cradle/penyangga dengan titik tumpu terdistribusi (bukan titik tunggal), gunakan material bantalan (misal karet/kayu lunak) di titik kontak, serta batasi durasi penyimpanan sebelum peluncuran.
Sisi Lambung (<i>Hull Side</i>)	Void laminasi	Terapkan SOP laminasi tertulis (rasio resin-serat, urutan lapisan, tekanan roller), lakukan pelatihan/sertifikasi tukang laminasi, serta uji kualitas laminasi sampel (mis. burn-off test) sebelum lambung dianggap selesai
Sambungan Laminasi (<i>Laminate Joint</i>)	Indikasi awal delaminasi	Tetapkan waktu curing antar lapisan (gel time) yang terkontrol dan wajib pembersihan permukaan (grinding + degreasing) sebelum lapisan berikutnya diaplikasikan.

Sekat Haluan/forepeak tank (<i>Bow Bulkhead</i>)	Deformasi ringan dan beberapa lubang kecil	Desain ulang sistem penyangga khusus area haluan dengan distribusi beban merata (multi-point support), inspeksi berkala posisi penyangga selama masa penyimpanan
Permukaan Coating (<i>Coating Surface</i>)	Pengelupasan coating	Sediakan area penyimpanan tertutup/ternaungi (<i>shelter</i>) sebelum peluncuran, gunakan coating dengan UV inhibitor sejak awal aplikasi, bukan hanya sebagai perbaikan
Lapisan Gelcoat (<i>Gelcoat Layer</i>)	Perubahan warna dan <i>microcrack</i>	Kontrol suhu & kelembapan ruang saat aplikasi gelcoat sesuai spesifikasi produk, serta uji curing (<i>hardness test</i>) sebelum lambung disimpan lama.
Keel/Lunas (Keel)	Retak permukaan	Gunakan cradle/keel block dengan bantalan lebar (bukan titik sempit) agar tekanan tersebar, serta rotasi/pemeriksaan posisi penyangga secara berkala.
Geladak (Deck)	Deformasi ringan dan retak permukaan	Pasang penutup/tarpaulin pelindung selama masa penyimpanan sebelum peluncuran, terutama jika waktu tunggu produksi ke peluncuran cukup lama

Berdasarkan Tabel 9, rekomendasi perbaikan disusun dengan mempertimbangkan tingkat risiko hasil FMEA dan kondisi kerusakan yang ditemukan pada masing-masing area struktur, sekaligus diarahkan untuk mencegah kegagalan serupa terjadi kembali pada proses produksi berikutnya. Pada Sekat Haluan (*Bow Bulkhead*) dengan RPN 210 yang termasuk kategori *Very High*, selain penambalan lubang kecil dengan material fiberglass sejenis, direkomendasikan desain ulang sistem penyangga khusus area haluan dengan distribusi beban merata (*multi-point support*) agar konsentrasi beban yang menjadi penyebab deformasi tidak terulang.

Permukaan Coating dengan RPN 160 dan kategori *High* direkomendasikan untuk mendapatkan perbaikan melalui persiapan permukaan dan aplikasi ulang coating tahan UV. Selain itu, direkomendasikan penyediaan area penyimpanan tertutup/ternaungi (*shelter*) sebelum peluncuran serta penggunaan coating ber-UV inhibitor sejak tahap aplikasi awal, bukan hanya sebagai tindakan perbaikan setelah kerusakan muncul, sehingga risiko pengelupasan akibat paparan UV dan cuaca dapat dicegah sejak proses produksi.

Pada Keel/Lunas dengan RPN 96 dan Alas Kapal dengan RPN 60, selain pemeriksaan lebih lanjut dan perbaikan lokal terhadap retak yang ditemukan, direkomendasikan penggunaan cradle/penyangga dengan bantalan lebar dan titik tumpu terdistribusi serta pembatasan durasi penyimpanan sebelum peluncuran, agar beban statis tidak lagi terkonsentrasi pada titik tertentu seperti yang menjadi penyebab retak sebelumnya. Sementara itu, bagian dengan kategori *Very Low*, yaitu Sisi Lambung, Sambungan Laminasi, Gelcoat Layer, dan Geladak, selain pemeriksaan berkala dan perbaikan lokal, direkomendasikan penerapan SOP laminasi tertulis dan pelatihan/sertifikasi tukang laminasi untuk mencegah void dan delaminasi, serta kontrol suhu dan kelembapan saat aplikasi gelcoat agar proses curing sesuai spesifikasi.

Dengan demikian, rekomendasi perbaikan tidak hanya didasarkan pada nilai RPN, tetapi juga mempertimbangkan jenis failure mode, kondisi aktual hasil pemeriksaan, serta akar penyebab kegagalan pada masing-masing area. Bagian dengan risiko lebih tinggi mendapatkan tindakan perbaikan yang lebih segera, sedangkan seluruh bagian turut disertai rekomendasi perbaikan proses produksi agar kegagalan yang sama tidak terjadi kembali pada pembuatan kapal fiberglass selanjutnya.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai evaluasi kelayakan struktur lambung kapal *fiberglass* menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil inspeksi kondisi struktur lambung, ditemukan beberapa *failure mode* pada bagian struktur kapal, yaitu retak rambut (*hairline crack*) pada *Hull Bottom*, void laminasi pada *Hull Side*, indikasi awal delaminasi pada *Laminate Joint*, deformasi ringan dan beberapa lubang kecil pada *Bow Bulkhead*, pengelupasan coating pada *Coating Surface*, perubahan warna dan *microcrack* pada *Gelcoat Layer*, retak permukaan pada *Keel*, serta deformasi ringan dan retak permukaan pada *Deck*.

2. Berdasarkan hasil analisis FMEA, diperoleh nilai RPN yang berbeda pada setiap *failure mode*. Nilai RPN tertinggi terdapat pada *Bow Bulkhead* sebesar 210 dengan nilai *Severity* = 5, *Occurrence* = 7, dan *Detection* = 6, sehingga termasuk kategori *Very High*. Selanjutnya, *Coating Surface* memiliki RPN 160 (High), *Keel* 96 dan *Hull Bottom* 60 (Low), sedangkan *Hull Side* 24, *Laminate Joint* 8, *Gelcoat Layer* 12, dan *Deck* 36 termasuk kategori *Very Low*.
3. Berdasarkan tingkat risiko yang diperoleh, *failure mode* dengan prioritas penanganan tertinggi adalah deformasi ringan dan beberapa lubang kecil pada *Bow Bulkhead*, karena memiliki RPN paling tinggi. Oleh karena itu, tindakan mitigasi diprioritaskan pada area tersebut melalui pendistribusian kembali titik tumpu penyangga dan penambalan lubang menggunakan material fiberglass sejenis. Sementara itu, bagian dengan tingkat risiko lebih rendah dilakukan pemeriksaan berkala dan perbaikan lokal sesuai kondisi kerusakan.
4. Selain tindakan mitigasi pada kondisi kapal saat ini, rekomendasi perbaikan pada penelitian ini juga diarahkan untuk mencegah kegagalan serupa terjadi kembali, dengan menyasar akar penyebab pada masing-masing *failure mode*, seperti penerapan SOP laminasi tertulis untuk mencegah void dan delaminasi, desain ulang sistem penyangga untuk mencegah konsentrasi beban, serta penggunaan coating ber-UV inhibitor sejak tahap aplikasi awal untuk mencegah degradasi akibat paparan lingkungan.
5. Berdasarkan hasil evaluasi dan rekomendasi perbaikan, kondisi struktur lambung kapal masih memerlukan tindakan penanganan pada beberapa area sebelum digunakan, terutama pada bagian dengan kategori risiko *Very High* dan *High*. Dengan dilakukannya tindakan perbaikan dan mitigasi terhadap *failure mode* yang teridentifikasi, kondisi struktur lambung dapat dievaluasi kembali sebagai dasar dalam menentukan kelayakan kapal untuk dioperasikan.

5 Daftar Pustaka

- [1] I. Halid, B. Sulaeman, dan N. Nasruddin, "PENERAPAN TEKNOLOGI MATERIAL KOMPOSIT (FIBERGLASS) SEBAGAI BAHAN PENGUAT PERAHU NELAYAN DI DUSUN LAMIKO – MIKO DESA WAELAWI KECAMATAN MALANGKE BARAT KABUPATEN LUWU UTARA," *Jurnal Abdi Insani*, vol. 11, no. 4, hlm. 2901–2909, Des 2024, doi: 10.29303/abdiinsani.v11i4.2024.
- [2] S. Pambudi, M. Asrofi, A. Triono, M. Zaid, B. Tsabit, dan A. Murtadho, "PERAHU FIBERGLASS UNTUK PENUNJANG ALAT PENANGKAP IKAN DAN SEKTOR PARIWISATA DESA SUMBERASRI KECAMATAN PURWOHARJO BANYUWANGI," vol. 4, no. 3, 2021.
- [3] F. Mahmuddin *dkk.*, "Training on the manufacture of fiberglass materials using the vacuum infusion method in Pannampu Village, Makassar," *Jurnal Abmas*, vol. 25, no. 1, hlm. 119–128, Jun 2025, doi: 10.17509/abmas.v25i1.76338.
- [4] R. Ilmal Yaqin *dkk.*, "Studi Perawatan Berbasis Risiko Sistem Pelumasan Mesin Induk KM Mabur dengan Pendekatan FMEA," *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 19, no. 2, hlm. 218–226, 2022.
- [5] A. Saidah dan M. Atfan, "PERENCANAAN SISTEM PEMELIHARAAN BERDASARKAN FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) UNTUK MESIN KAPAL GANESHA 105," *Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek*, vol. X, no. 5, 2025, doi: 10.8734/Kohesi.v1i2.365.
- [6] Cesar Ivan Nugraha dan Minto Basuki, "Penilaian Risiko Operasional Pada Pembuatan Perahu Fiberglass Di Galangan Kapal Cv Era Fiberboat Menggunakan Metode Matrik Risiko Dan Fmea," *Ocean Engineering : Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim*, vol. 2, no. 2, hlm. 87–96, Jul 2023, doi: 10.58192/ocean.v2i2.1147.
- [7] J. Jang, Maydison, Y. Kim, Z. Han, dan D. Oh, "Effect of Void Content on the Mechanical Properties of GFRP for Ship Design," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 11, no. 6, Jun 2023, doi: 10.3390/jmse11061251.
- [8] N. G. R. Intan Baroroh, "Evaluasi Risiko Keterlambatan Perbaikan Kapal dengan Analisis Mode Kegagalan dan Dampak (FMEA) Metode," *Jurnal Internasional Inovasi dan Penelitian Teknik Kelautan*, vol. 8, no. 4, hlm. 605–615, Des 2023.
- [9] A. Wildan, P. Amalia, A. B. Anugrah, E. Syariah, A. Islam, dan U. Siliwangi, "EFEKTIVITAS METODE FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS DI BIDANG MANUFAKTUR: KAJIAN LITERATUR," *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri Jurnal Taguchi*, vol. 4, no. 1, hlm. 2024–2038, doi: 10.46306/tgc.v4i1.
- [10] B. R. Pratama, A. Azhar, dan D. Daryanto, "Operational Risk of Oil Water Separator (OWS) on Tanker Ships with Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Approach for Prevention of Workplace Accidents and Environmental Pollution," *JURNAL APLIKASI PELAYARAN DAN*

- KEPELABUHANAN, vol. 16, no. 1, hlm. 163–171, Sep 2025, doi: 10.30649/japk.v16i1.186.
- [11] “barometerftunsika,+6.+4516-Article+Text-11445-3-15-20210119_322-327,” vol. 6, hlm. 322–327, Jan 2021.
- [12] J. Sumberdaya *dkk.*, “RISK ASSESSMENT K3 PADA DIVISI KAPAL NIAGA PT. PAL INDONESIA MENGGUNAKAN METODE FMEA (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS),” Agu 2022. [Daring]. Tersedia pada: <https://ejurnal.itats.ac.id/semitan>
- [13] R. N. J. Meimo Nakashita *dkk.*, “Analisis Manajemen Risiko Teknologi Informasi dengan Metode FMEA dan Kontrol ISO 27001:2013 Pada Perusahaan Kontruksi Kapal,” *Jurnal Ilmiah Media Sisfo*, vol. 18, no. 2, hlm. 166–176, Okt 2024, doi: 10.33998/mediasisfo.2024.18.2.1795.

Lampiran

Data pendukung penilaian Occurrence didokumentasikan dalam bentuk rekapitulasi titik pemeriksaan sebagaimana ditunjukkan pada Lampiran 1 dan Lampiran 2, mengingat parameter ini bersifat kuantitatif berdasarkan rasio temuan terhadap jumlah titik yang diperiksa. Sementara itu, penilaian Severity dan Detection bersifat kualitatif-fungsional, sehingga dasar penilaiannya disajikan secara naratif melalui kajian dampak kegagalan terhadap fungsi struktur (Tabel 4) dan metode identifikasi kerusakan yang dijelaskan pada pembahasan Bab 3.

Lampiran 1. Rekapitulasi Data Titik Pemeriksaan sebagai Dasar Penilaian Occurrence

No	Komponen/Area Struktur	Titik Ditemukan Gejala	Total Titik Diperiksa	Rasio Temuan	Nilai O
1	Alas Kapal (Hull Bottom)	1–2	50	1–2/50	3
2	Sisi Lambung (Hull Side)	1	20	1/20	4
3	Sambungan Laminasi (Laminate Joint)	1	100	1/100	2
4	Sekat Haluan/Forepeak Tank (Bow Bulkhead)	4	10	4/10	7
5	Permukaan Coating (Coating Surface)	6	10	6/10	8
6	Lapisan Gelcoat (Gelcoat Layer)	1	100	1/100	2
7	Keel/Lunas (Keel)	1	50	1/50	3
8	Geladak (Deck)	1	20	1/20	4

Catatan: Data diperoleh dari observasi lapangan pada tanggal 23 Juli 2026 di Workshop Manufaktur Politeknik Negeri Batam. Nilai Occurrence ditetapkan dengan mencocokkan rasio temuan terhadap kriteria skala Occurrence pada Tabel 2.