



TUGAS AKHIR (BM43350)

**PENGURANGAN EMISI KARBON DAN TIMBULAN SAMPAH
PLASTIK MELALUI *SIX SIGMA* PADA OPERASI MARITIM
BERKELANJUTAN SURABAYA**

Muchammad Yusuf Effendhy
NRP. 1122040052

DOSEN PEMBIMBING:
PARMAN, S.T., M.M., M.T.
Ir. GAGUK SUHARDJITO, M.M.

PROGRAM STUDI D4 MANAJEMEN BISNIS
JURUSAN TEKNIK BANGUNAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

(This page is intentionally left blank)



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (BM43350)

**PENGURANGAN EMISI KARBON DAN TIMBULAN SAMPAH
PLASTIK MELALUI *SIX SIGMA* PADA OPERASI MARITIM
BERKELANJUTAN SURABAYA**

Muchammad Yusuf Effendhy
NRP. 1122040046

DOSEN PEMBIMBING
PARMAN, S.T., M.M., M.T.
Ir. GAGUK SUHARDJITO, M.M.

PROGRAM STUDI D4 MANAJEMEN BISNIS
JURUSAN TEKNIK BANGUNAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

(This page is intentionally left blank)

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PENGURANGAN EMISI KARBON DAN TIMBULAN
SAMPAH PLASTIK MELALUI SIX SIGMA PADA
OPERASI MARITIM BERKELANJUTAN SURABAYA**

Disusun Oleh:
Muchammad Yusuf Effendhy
1122040046

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Manajemen Bisnis
Jurusan Teknik Bangunan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA**

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 08 Juli 2026
Periode Wisuda : Oktober 2026

Menyetujui,

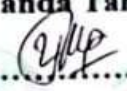
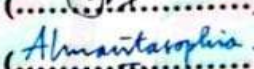
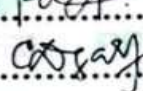
Dosen Penguji

1. Yugowati Praharsi, S.Si., M.Sc., Ph.D.
2. Alma Vita Sophia, S.T., M.T.
3. Parman, S.T., M.M., M.T.
4. Cintya Dyah Atikasari, S.ST., M.MT.

NIDN/NUPTK

(0628088101)
(0824077601)
(3151770671130293)
(-)

Tanda Tangan

(..........)
(..........)
(..........)
(..........)

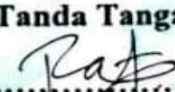
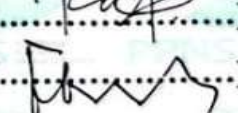
Dosen Pembimbing

1. Parman, S.T., M.M., M.T.
2. Ir. Gaguk Suhardjito, M.M.

NIDN/NUPTK

(3151770671130293)
(0014016107)

Tanda Tangan

(..........)
(..........)

**Menyetujui
Ketua Jurusan,**



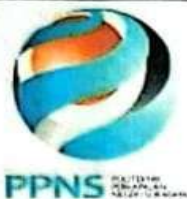
Priyambodo Nur Ardi Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198103242014041001

**Mengetahui
Koordinator Program Studi,**

Danis Maulana, S.T., MBA.
NIP. 198910142019031015

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

(This page is intentionally left blank)



PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

No. : F.WD I. 021
Date : 3 Nopember 2015
Rev. : 01
Page : 1 dari 1

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Muchammad Yusuf Effendhy

NRP. : 1122040046

Jurusan/Prodi : Teknik Bangunan Kapal / D4 Manajemen Bisnis

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

**PENGURANGAN EMISI KARBON DAN TIMBULAN SAMPAH PLASTIK
MELALUI *SIX SIGMA* PADA OPERASI MARITIM BERKELANJUTAN
SURABAYA**

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut,
maka saya bersedia menerima **sanksi** sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 24 Juni 2026
Yang membuat pernyataan,



(Muchammad Yusuf Effendhy)
NRP. 1122040046

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengurangan Emisi Karbon dan Timbulan Sampah Plastik melalui *Six Sigma* pada Operasi Maritim Berkelanjutan Surabaya” dengan baik dan tepat waktu.

Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Manajemen Bisnis, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Dalam proses penyusunan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis memperoleh banyak bantuan, dukungan, bimbingan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Sutiye dan Bapak Mudjiono selaku orang tua penulis, serta Arief Yudha Himawan dan Mochammad Misbach Riddlo Wibowo selaku saudara kandung penulis. Terima kasih atas segala kasih sayang, doa, dukungan, perhatian, serta bantuan moril dan materil yang senantiasa diberikan kepada penulis. Segala bentuk pengorbanan dan dukungan tersebut menjadi sumber kekuatan, semangat, dan motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir serta menempuh pendidikan hingga tahap ini.
2. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Priyambodo Nur Ardi Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Bangunan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Danis Maulana, S.T., MBA. selaku Koordinator Program Studi D4 Manajemen Bisnis Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Bapak Parman, S.T., M.M., M.T. selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan arahan, bimbingan, motivasi, dukungan, serta berbagai ilmu dan pengalaman berharga selama proses penyusunan Tugas Akhir maupun selama penulis menempuh pendidikan di perguruan tinggi.
6. Bapak Ir. Gaguk Suhardjito, M.M. selaku dosen pembimbing kedua yang

telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, masukan, motivasi, serta dukungan kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

7. Bapak/Ibu selaku Dosen Penguji yang telah memberikan arahan dan masukan yang bermanfaat dalam proses penyempurnaan Tugas Akhir ini.
8. Keluarga besar Divisi Logistik dan Divisi DPA yang telah memberikan banyak ilmu, pengalaman, bimbingan, serta masukan kepada penulis.
9. Untuk Jihan Aulia Rahma. Terima kasih sudah selalu ada dan menemani perjalananku sejak awal kuliah sampai tugas akhir ini selesai. Kamu adalah support system terbaik yang selalu mau mendengarkan, menenangkan, dan menyemangatiku saat semuanya terasa berat. Terima kasih sudah tetap bertahan dan menjadi alasan bagiku untuk terus melangkah.
10. Teman-teman Program Studi Manajemen Bisnis Angkatan 2022. Terima kasih atas kebersamaan, kerja sama, dukungan, saran, serta doa yang saling diberikan sehingga penulis dapat melalui dan menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
11. Seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan kontribusi dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan sebagai bahan evaluasi dan penyempurnaan di masa mendatang. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat serta menjadi referensi bagi pembaca dan pihak-pihak yang berkepentingan.

Surabaya, 01 Juli 2026

Penulis,

Muchammad Yusuf Effendhy

**PENGURANGAN EMISI KARBON DAN TIMBULAN
SAMPAH PLASTIK MELALUI *SIX SIGMA*
PADA OPERASI MARITIM BERKELANJUTAN SURABAYA**
Muchammad Yusuf Effendhy

ABSTRAK

Sektor maritim menyumbang sekitar 2,8–3,0% emisi gas rumah kaca global. Penelitian ini mengkaji konsumsi bahan bakar minyak yang berlebihan dan timbulan limbah plastik selama operasional kapal, yang keduanya berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur emisi, mengidentifikasi akar penyebab, merumuskan usulan perbaikan, dan menyusun rencana pengendalian guna mendukung operasional maritim yang berkelanjutan. Metode *Six Sigma* dengan kerangka DMAIC *Define, Measure, Analyze, Improve*, dan *Control* diterapkan pada data operasional lima kapal milik sebuah perusahaan pelayaran di Pelabuhan Surabaya selama periode 2024–2025. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai DPMO konsumsi bahan bakar meningkat dari 44.444 menjadi 61.111, sedangkan tingkat *sigma* menurun dari 3,20 menjadi 3,05. Pada timbulan limbah plastik, nilai DPMO meningkat dari 50.000 menjadi 83.333, sementara tingkat *sigma* menurun dari 3,14 menjadi 2,88. Analisis *fishbone* dan *Failure Mode and Effects Analysis* mengidentifikasi 12 akar penyebab konsumsi bahan bakar berlebihan dan 13 penyebab timbulan limbah plastik. Tahap *Improve* menghasilkan 22 rekomendasi perbaikan untuk setiap variabel, sedangkan tahap *Control* menghasilkan 28 tindakan pengendalian konsumsi bahan bakar dan 29 tindakan pengendalian limbah plastik. Temuan ini mendukung peningkatan efektivitas operasional dan penerapan praktik maritim yang lebih berkelanjutan.

Kata Kunci: DMAIC, Emisi Karbon, Timbulan Sampah Plastik, Tingginya Konsumsi BBM

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

(This page is intentionally left blank)

CARBON EMISSION AND PLASTIC WASTE GENERATION REDUCTION THROUGH SIX SIGMA FOR SUSTAINABLE SURABAYA MARITIME OPERATIONS

Muchammad Yusuf Effendhy

ABSTRACT

The maritime sector accounts for approximately 2.8–3.0% of global greenhouse gas emissions. This study examines excessive fuel oil consumption and plastic waste generation during vessel operations, both of which contribute to higher carbon emissions. It aims to quantify emissions, identify root causes, propose improvements, and develop a control plan to support sustainable maritime operations. The Six Sigma method with the DMAIC framework Define, Measure, Analyze, Improve, and Control was applied to operational data from five vessels operated by a shipping company at the Port of Surabaya during 2024–2025. The results show that the DPMO value for fuel consumption increased from 44,444 to 61,111, while the sigma level declined from 3.20 to 3.05. For plastic waste generation, the DPMO value increased from 50,000 to 83,333, while the sigma level declined from 3.14 to 2.88. Fishbone analysis and Failure Mode and Effects Analysis identified 12 root causes of excessive fuel consumption and 13 causes of plastic waste generation. The Improve phase produced 22 recommendations for each variable, while the Control phase generated 28 fuel control measures and 29 plastic waste control measures. These findings support improved operational effectiveness and more sustainable maritime practices.

Keywords: *Carbon Emission, DMAIC, High Fuel Consumption, Plastic Waste Generation*

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

(This page is intentionally left blank)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	7
1.5 Batasan Masalah	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Profil Perusahaan.....	9
2.2 <i>Business Process Model and Notation</i> (BPMN).....	10
2.3 Strategi <i>International Maritime Organization</i> (IMO) <i>Greenhouse Gases</i> (GHG).....	12
2.4 Konsep <i>Carbon Footprint</i> pada Operasional Maritim.....	13
2.5 Timbulan Emisi dari Konsumsi Bahan Bakar Fosil	14
2.6 Timbulan Emisi dari Sampah Plastik.....	14
2.7 Metode – Metode Pengurangan Jejak Karbon di Bisnis Maritim.....	15
2.8 <i>Six Sigma</i>	17
2.9 <i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i> (DMAIC).....	17
2.9.1 Tahap <i>Define</i>	18
2.9.2 Tahap <i>Measure</i>	19
2.9.3 Tahap <i>Analyze</i>	21

2.9.4 Tahap <i>Improve</i>	29
2.9.5 Tahap <i>Control</i>	29
2.10 Penelitian Terdahulu.....	31
BAB 3 METODE PENELITIAN	33
3.1 Diagram Alir.....	33
3.2 Tahap Penelitian	34
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Perhitungan Emisi Karbon	41
4.2 Tahap <i>Define</i>	44
4.2.1 SIPOC Diagram	44
4.2.2 CTQ <i>Tree</i>	48
4.3 Tahap <i>Measure</i>	51
4.3.1 Pengukuran Variabel Tingginya Konsumsi BBM.....	51
4.3.2 Pengukuran Variabel Timbulan Sampah Plastik	55
4.4 Tahap <i>Analyze</i>	59
4.4.1 <i>Fishbone</i> Diagram Tingginya Konsumsi BBM.....	59
4.4.2 Skala Penilaian CVI (<i>Content Validity Index</i>) Tingginya Konsumsi BBM.....	65
4.4.3 <i>Failure Mode and Effects Analysis</i> (FMEA) Tingginya Konsumsi BBM 68	
4.4.4 Matriks Risiko Tingginya Konsumsi BBM.....	69
4.4.5 <i>Fishbone</i> Diagram Timbulan Sampah Plastik.....	74
4.4.6 Skala Penilaian CVI (<i>Content Validity Index</i>) Timbulan Sampah Plastik 80	
4.4.7 <i>Failure Mode and Effects Analysis</i> (FMEA) Timbulan Sampah Plastik83	
4.4.8 Matriks Risiko Timbulan Sampah Plastik.....	84
4.5 Tahap <i>Improve</i>	90
4.6 Tahap <i>Control</i>	96
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	105
5.1 Kesimpulan	105
5.2 Saran.....	107
DAFTAR PUSTAKA.....	109

LAMPIRAN	113
Lampiran 1. Data Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) pada Lima Kapal Periode 2024–2025	113
Lampiran 2. Data Timbulan Sampah Plastik pada Lima Kapal Periode 2024-2025	116
Lampiran 3. Perhitungan Emisi Karbon dari Tingginya Konsumsi BBM Tahun 2024-2025	118
Lampiran 4. Perhitungan Emisi Karbon dari Timbulan Sampah Plastik Tahun 2024-2025	120
Lampiran 5. Lembar Wawancara SIPOC	122
Lampiran 6. Lembar Validasi SIPOC	133
Lampiran 7. Lembar Wawancara CTQ.....	134
Lampiran 8. Lembar Validasi CTQ	145
Lampiran 9. Kategori <i>Defect</i> Tingginya Konsumsi BBM.....	146
Lampiran 10. Kategori <i>Defect</i> Timbulan Sampah Plastik	151
Lampiran 11. Perhitungan Nilai DPO, DPMO, dan <i>Sigma</i>	157
Lampiran 12. Tabel Konversi DPMO ke Nilai Sigma.....	159
Lampiran 13. Lembar Wawancara <i>Fishbone</i> Diagram Tingginya Konsumsi BBM	165
Lampiran 14. Lembar Validasi <i>Fishbone</i> Diagram Tingginya Konsumsi BBM .	171
Lampiran 15. Validasi CVI Tingginya Konsumsi BBM Menggunakan <i>Google</i> <i>Form</i>	172
Lampiran 16. Lembar Kuesioner FMEA Tingginya Konsumsi BBM.....	173
Lampiran 17. Perhitungan Nilai RPN Tingginya Konsumsi BBM	182
Lampiran 18. Lembar Wawancara <i>Fishbone</i> Diagram Timbulan Sampah Plastik	183
Lampiran 19. Lembar Validasi <i>Fishbone</i> Diagram Timbulan Sampah Plastik ...	189
Lampiran 20. Validasi CVI Timbulan Sampah Plastik Menggunakan <i>Google Form</i>	190
Lampiran 21. Lembar Kuesioner FMEA Timbulan Sampah Plastik.....	191

Lampiran 22. Perhitungan Nilai RPN Timbulan Sampah Plastik.....	200
Lampiran 23. Lembar Wawancara <i>Improve</i> Tingginya Konsumsi BBM.....	201
Lampiran 24. Lembar Validasi <i>Improve</i> Tingginya Konsumsi BBM	212
Lampiran 25. Lembar Wawancara <i>Improve</i> Timbulan Sampah Plastik.....	214
Lampiran 26. Lembar Validasi <i>Improve</i> Timbulan Sampah Plastik.....	225
Lampiran 27. Lembar Wawancara <i>Control</i> Tingginya Konsumsi BBM.....	227
Lampiran 28. Lembar Validasi <i>Control</i> Tingginya Konsumsi BBM	243
Lampiran 29. Lembar Wawancara <i>Control</i> Timbulan Sampah Plastik.....	249
Lampiran 30. Lembar Validasi <i>Control</i> Timbulan Sampah Plastik	265
Lampiran 31. <i>Draft Standard Operating Procedure (SOP)</i>	271
Lampiran 32. Contoh <i>Checklist</i> Pengendalian Tingginya Konsumsi BBM dan Timbulan Sampah Plastik.....	285
Lampiran 33. Dokumentasi Penelitian.....	291
Lampiran 34. Biodata Penulis	295

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Faktor Emisi dari Konsumsi Bahan Bakar Fosil	15
Tabel 2. 2 Faktor Emisi dari Timbulan Sampah Plastik	14
Tabel 2. 3 Pencapaian Nilai Sigma	20
Tabel 2. 4 Nilai Relevansi dan Kesepakatan Penilai untuk Setiap Item Pernyataan	20
Tabel 2. 5 Skor <i>Incident Consequence Severity</i>	26
Tabel 2. 6 Skor <i>Incident Occurrence Probability</i>	27
Tabel 2. 7 Skor <i>Incident Detection Probability</i>	27
Tabel 2. 8 Penelitian Terdahulu	31
Tabel 3. 1 Kriteria <i>Expert Judgement</i>	39
Tabel 4. 1 Timbulan Emisi BBM Kapal A Tahun 2024-2025.....	39
Tabel 4. 2 Timbulan Emisi Sampah Plastik Kapal A Tahun 2024-2025.....	39
Tabel 4. 3 Jumlah <i>Defect</i> Tingginya Konsumsi BBM	52
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan DPO Tingginya Konsumsi BBM Tahun 2024-2025	53
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan DPMO Tingginya Konsumsi BBM Tahun 2024-2025	39
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Nilai Sigma Tingginya Konsumsi BBM	55
Tabel 4. 7 Jumlah <i>Defect</i> Timbulan Sampah Plastik	56
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan DPO Timbulan Sampah Plastik Tahun 2024-2025	57
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan DPMO Timbulan Sampah Plastik Tahun 2024-2025	58
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Nilai Sigma Timbulan Sampah Plastik	59
Tabel 4. 11 CVI Tingginya Konsumsi BBM	68
Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan <i>Risk Priority Number</i> (RPN) Tingginya Konsumsi BBM	69
Tabel 4. 13 Kode Penyebab dan Nilai <i>Risk Priority Number</i> (RPN) Tingginya Konsumsi BBM	71

Tabel 4. 14 Pemeringkatan Nilai RPN Tingginya konsumsi BBM.....	72
Tabel 4. 15 CVI Timbulan Sampah Plastik.....	83
Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan <i>Risk Priority Number</i> (RPN) Timbulan Sampah Plastik.....	84
Tabel 4. 17 Kode Penyebab dan Nilai <i>Risk Priority Number</i> (RPN) Timbulan Sampah Plastik.....	86
Tabel 4. 18 Pemeringkatan Nilai RPN Timbulan Sampah Plastik.....	87
Tabel 4. 19 <i>Improvement</i> dari Penyebab RPN Tertinggi Tingginya Konsumsi BBM.....	91
Tabel 4. 20 <i>Improvement</i> dari Penyebab RPN Tertinggi Timbulan Sampah Plastik.....	93
Tabel 4. 21 Usulan <i>Control</i> Perbaikan Tingginya Konsumsi BBM.....	96
Tabel 4. 22 Usulan <i>Control</i> Perbaikan Timbulan Sampah Plastik.....	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Total Timbulan Sampah Plastik Kapal A Tahun 2024-2025	2
Gambar 1. 2 Konsumsi BBM Round Trip Kapal A.....	3
Gambar 1. 3 Jarak Tempuh Kapal A Round Trip.....	4
Gambar 2. 1 BPMN	10
Gambar 2. 2 Diagram DMAIC	17
Gambar 2. 3 Diagram <i>Sipoc</i>	18
Gambar 2. 4 CTQ <i>Tree</i>	19
Gambar 2. 5 <i>Fishbone Diagram</i>	21
Gambar 2. 6 Matriks Risiko	28
Gambar 3.1 Alur Penelitian	28
Gambar 4.1 SIPOC Diagram Tingginya Konsumsi BBM.....	28
Gambar 4.2 SIPOC Diagram Timbulan Sampah Plastik.....	28
Gambar 4.3 CTQ <i>Tree</i> Tingginya Konsumsi BBM	28
Gambar 4.4 CTQ <i>Tree</i> Timbulan Sampah Plastik	28
Gambar 4.5 <i>Fishbone Diagram</i> Tingginya Konsumsi BBM	61
Gambar 4.6 Matriks Risiko Tingginya Konsumsi BBM	71
Gambar 4.7 <i>Fishbone Diagram</i> Timbulan Sampah Plastik	76
Gambar 4.8 Matriks Risiko Timbulan Sampah Plastik	86

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

(This page is intentionally left bla

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

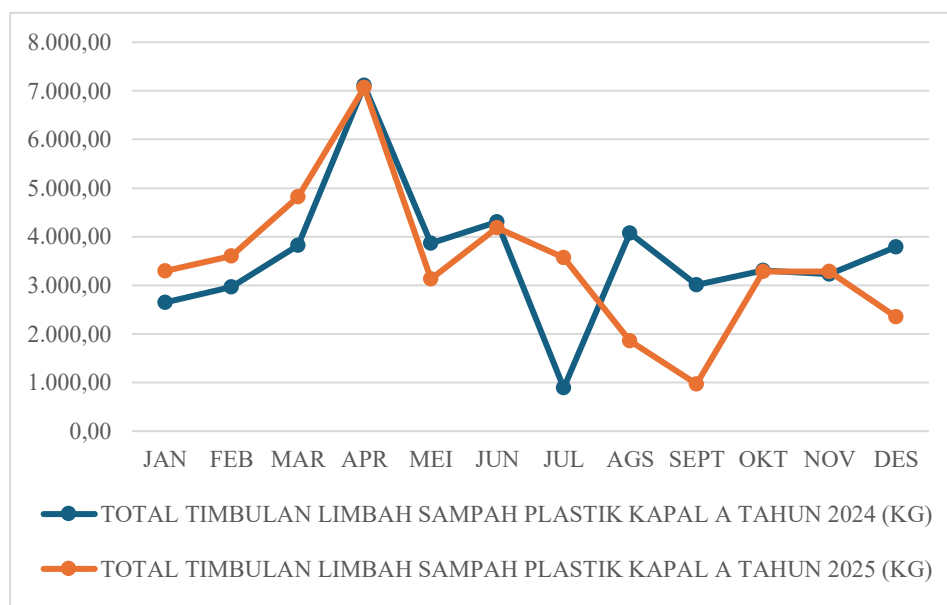
Sistem perdagangan internasional sangat bergantung pada transportasi laut sebagai sarana utama pergerakan barang dan komoditas lintas negara. Ketergantungan tersebut mendorong peningkatan intensitas aktivitas pelayaran serta pemanfaatan berbagai fasilitas pendukung di pelabuhan. Namun, tingginya skala operasi tersebut menjadikan sektor bisnis maritim menyumbang 2,8% - 3% gas rumah kaca yang mempercepat perubahan iklim global (Malka dkk., 2025). Sebagai respons atas kondisi tersebut, *International Maritime Organization* (IMO) telah menetapkan strategi IMO 2023 tentang pengurangan emisi gas rumah kaca dengan target pencapaian *net-zero emissions* pada tahun 2050 (IMO., 2023). Kebijakan ini menegaskan bahwa upaya dekarbonisasi tidak hanya menjadi tanggung jawab pada tataran regulasi internasional, tetapi juga menuntut keterlibatan langsung pelaku usaha bisnis maritim dalam memperbaiki kinerja operasionalnya.

Sejalan dengan agenda mitigasi perubahan iklim dan dekarbonisasi, konsep ekonomi biru berkembang sebagai kerangka pembangunan yang menempatkan aktivitas kelautan dan maritim sebagai penggerak pertumbuhan ekonomi sekaligus menuntut pengelolaan sumber daya yang efisien dan berkelanjutan. Keberhasilan ekonomi biru dalam sektor pelayaran sangat ditentukan oleh kemampuan perusahaan dalam mengelola aktivitas operasionalnya secara efisien, mulai dari perencanaan pelayaran, penggunaan bahan bakar, hingga pengelolaan aktivitas pendukung di pelabuhan.

Dalam konteks operasional pelayaran, implementasi ekonomi biru berkaitan erat dengan pengendalian jejak karbon (*carbon footprint*) yang dihasilkan dari aktivitas sehari-hari perusahaan pelayaran. Jejak karbon tersebut terutama dipengaruhi oleh tingkat konsumsi bahan bakar minyak

(BBM) sebagai sumber energi utama penggerak kapal, yang secara langsung menentukan besaran emisi karbon dioksida. Selain konsumsi bahan bakar, aktivitas operasional pelayaran juga menghasilkan timbulan limbah operasional, baik berupa limbah padat maupun limbah dari aktivitas pendukung kapal dan pelabuhan, yang memerlukan proses penanganan dan pengelolaan lebih lanjut. Proses pengelolaan limbah ini secara tidak langsung turut meningkatkan penggunaan energi dan memperbesar jejak karbon operasional.

Di Pelabuhan Surabaya, aktivitas operasional bisnis maritim menunjukkan intensitas kegiatan yang tinggi, baik dari sisi pergerakan kapal maupun aktivitas pendukung di pelabuhan. Meskipun kebijakan telah mendorong pengurangan emisi di sektor maritim, pelaksanaannya dalam kegiatan operasional sehari-hari perlu didukung oleh data nyata yang berasal dari aktivitas kapal dan pelabuhan. Oleh karena itu, penyajian data operasional menjadi penting untuk menggambarkan pola penggunaan sumber daya serta timbulan limbah sampah plastik yang dihasilkan dari aktivitas bisnis maritim.

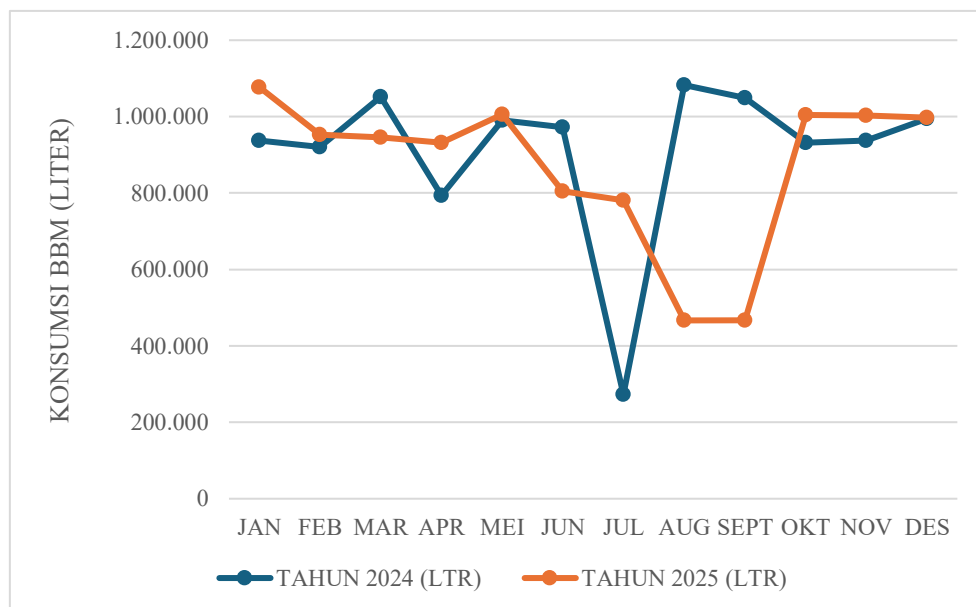


Gambar 1. 1 Total Timbulan Sampah Plastik Kapal A tahun 2024-2025
(Data Perusahaan, 2025)

Pada Gambar 1.1 menunjukkan bahwa total timbulan sampah plastik operasional kapal A pada periode tahun 2024 – 2025 menunjukkan pola

fluktuatif dari bulan ke bulan. Data memperlihatkan adanya variasi jumlah yang dihasilkan sepanjang periode pengamatan, termasuk perbedaan nilai timbulan antarbulan pada masing-masing tahun.

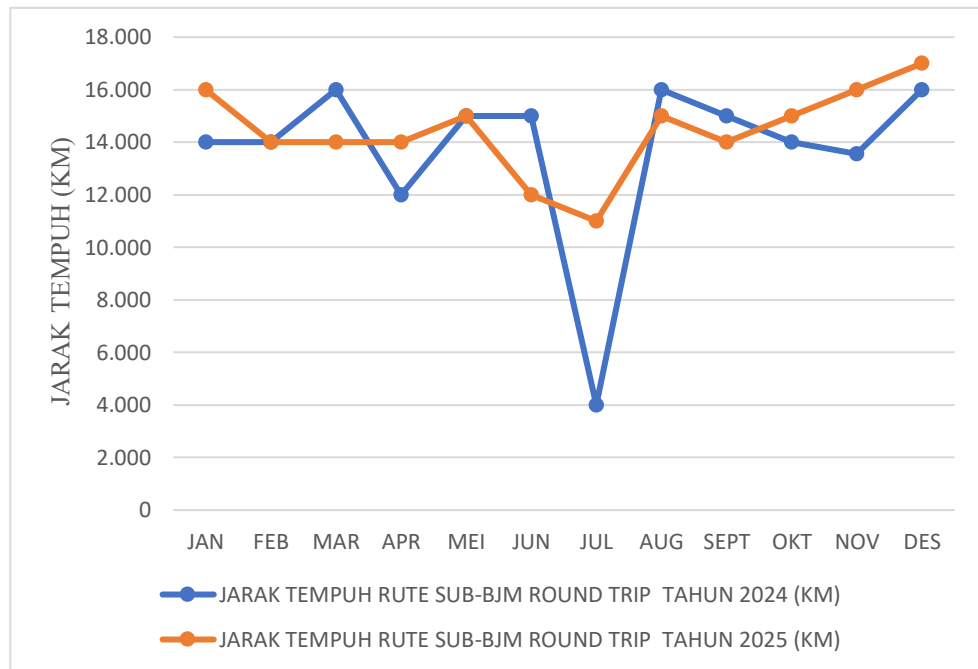
Selain timbulan sampah plastik, konsumsi bahan bakar minyak (BBM) merupakan indikator utama yang mencerminkan intensitas penggunaan energi fosil dalam operasional kapal. Penggunaan BBM juga menjadi kontributor terhadap emisi karbon dioksida yang dihasilkan dari aktivitas pelayaran. Oleh karena itu, data konsumsi BBM menjadi penting untuk memahami pola operasional kapal, tingkat efisiensi perjalanan, serta potensi pemborosan energi yang terjadi selama proses pelayaran. Penyajian data konsumsi BBM diperlukan sebagai dasar evaluasi kinerja operasional sekaligus sebagai pijakan awal dalam mengidentifikasi peluang perbaikan proses yang mendukung upaya pengurangan emisi karbon.



Gambar 1. 2 Konsumsi BBM *Round Trip* Kapal A
(Data Perusahaan, 2025)

Berdasarkan Gambar 1.2 menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar minyak (BBM) *round trip* Kapal A pada periode tahun 2024-2025 mengalami perubahan jumlah pada setiap bulan pengamatan, sehingga mencerminkan adanya variasi penggunaan bahan bakar dalam aktivitas pelayaran sepanjang tahun pengamatan.

Selain konsumsi bahan bakar, jarak tempuh pelayaran merupakan aspek operasional yang berpengaruh terhadap besarnya energi yang digunakan dalam setiap perjalanan kapal. Jarak tempuh mencerminkan panjang rute yang dilalui kapal selama menjalankan aktivitas pelayaran dan berkaitan langsung dengan intensitas operasi serta penggunaan bahan bakar.



Gambar 1. 3 Jarak Tempuh Kapal A *Round Trip*
(Data Perusahaan, 2025)

Berdasarkan Gambar 1.3 jarak tempuh *round trip* Kapal A pada periode tahun 2024 – 2025 menunjukkan perbedaan panjang rute pelayaran yang ditempuh pada setiap bulan. Data ini memperlihatkan bahwa rute perjalanan kapal tidak selalu menempuh jarak yang sama sepanjang periode pengamatan, melainkan menyesuaikan dengan kebutuhan operasional pelayaran.

Selain aspek jarak tempuh dan konsumsi bahan bakar, pengelolaan limbah plastik dalam aktivitas operasional pelayaran dan pelabuhan masih menjadi tantangan yang berdampak langsung maupun tidak langsung terhadap lingkungan. Limbah plastik yang dihasilkan dari aktivitas awak kapal, kebutuhan logistik, serta kemasan operasional umumnya belum seluruhnya terkelola secara optimal, sehingga berpotensi mencemari

perairan dan meningkatkan risiko degradasi ekosistem laut. Di sisi lain, proses penanganan limbah plastik mulai dari pengumpulan, pemilahan, penyimpanan, hingga pengangkutan ke fasilitas pengolahan memerlukan tambahan energi operasional yang turut berkontribusi terhadap emisi karbon. Kondisi ini menunjukkan bahwa timbulan limbah plastik tidak hanya berdampak secara ekologis, tetapi juga memperbesar jejak karbon operasional apabila tidak dikelola secara efisien. Oleh karena itu, pengelolaan limbah plastik perlu dipandang sebagai bagian integral dari upaya peningkatan efisiensi operasional dan pengurangan emisi karbon dalam bisnis maritim berkelanjutan.

Dengan aktivitas operasional pelayaran yang melibatkan timbulan limbah plastik, penggunaan bahan bakar, serta perencanaan rute perjalanan, upaya peningkatan kinerja lingkungan perusahaan memerlukan pendekatan analisis yang mampu menangkap variasi proses secara sistematis. Pendekatan tersebut tidak hanya berfungsi untuk menggambarkan kondisi operasional yang terjadi, tetapi juga untuk mengarahkan perbaikan proses secara terukur dan berkelanjutan. Dalam konteks ini, metode *Six Sigma* dipandang relevan karena menempatkan pengendalian variasi dan pengukuran kinerja proses sebagai dasar utama dalam merumuskan usulan perbaikan operasional, sehingga selaras dengan kebutuhan perusahaan pelayaran dalam menekan jejak karbon tanpa mengganggu keberlangsungan aktivitas bisnis.

Penelitian yang dilakukan oleh Ririn dkk. (2025), menunjukkan bahwa kinerja awal proses pengolahan limbah berada pada level 1,5 sigma yang dikategorikan tidak kompetitif, kemudian mengalami peningkatan signifikan setelah dilakukan perbaikan berbasis analisis akar penyebab. Temuan ini menegaskan bahwa *Six Sigma* tidak hanya berfungsi sebagai alat pengendalian kualitas produk, tetapi juga sebagai pendekatan manajerial berbasis data untuk meningkatkan kinerja proses lingkungan dan memastikan pencapaian standar keberlanjutan operasional

Pada penelitian Erlinda dkk. (2025), menunjukkan bahwa penerapan *Lean* dan *Six Sigma* dengan kerangka DMAIC dapat meningkatkan efisiensi

operasional perusahaan pelayaran secara signifikan, khususnya dalam menekan keterlambatan jadwal dan inefisiensi konsumsi bahan bakar. Melalui tahapan pengukuran dan analisis variasi proses, penelitian tersebut berhasil mengidentifikasi akar penyebab inefisiensi operasional dan merumuskan usulan perbaikan yang terstruktur.

Metode *Six Sigma* dipilih dalam penelitian ini karena fokus utamanya adalah pengendalian emisi dari proses konsumsi bahan bakar dan timbulan sampah plastik dari operasional kapal di salah satu perusahaan pelayaran di Surabaya, Jawa Timur penelitian ini mengangkat judul “Pengurangan Emisi Karbon dan Timbulan Sampah Plastik melalui *Six Sigma* pada Operasi Maritim Berkelanjutan Surabaya”.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan utama dalam penelitian ini dapat dirumuskan dalam pertanyaan-pertanyaan berikut:

1. Berapa besar emisi jejak karbon yang dihasilkan dari konsumsi bahan bakar fosil dan sampah plastik yang dihasilkan oleh kapal?
2. Bagaimana identifikasi sumber timbulan emisi jejak karbon pada operasional kapal?
3. Bagaimana pengukuran kinerja operasional yang memengaruhi emisi jejak karbon pada kapal?
4. Bagaimana analisis faktor-faktor penyebab emisi jejak karbon pada kapal berdasarkan proses operasional?
5. Bagaimana usulan perbaikan untuk mengurangi emisi jejak karbon pada kapal?
6. Bagaimana perancangan pengendalian proses untuk menjaga keberlanjutan pengurangan emisi jejak karbon pada kapal?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan di atas. Maka tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui besaran emisi jejak karbon dari timbunan sampah plastik dan konsumsi bahan bakar pada kapal.
2. Mengidentifikasi sumber timbunan emisi jejak karbon berdasarkan aktivitas dan proses operasional kapal.
3. Mengukur kinerja operasional kapal yang memengaruhi timbunan emisi jejak karbon.
4. Menganalisis faktor-faktor penyebab emisi jejak karbon pada kapal.
5. Merumuskan usulan perbaikan untuk mengurangi emisi jejak karbon pada kapal.
6. Menyusun rancangan pengendalian proses (*draft control plan*) untuk mendukung keberlanjutan pengurangan emisi jejak karbon pada kapal.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Perusahaan.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai konsumsi bahan bakar minyak, timbunan limbah sampah plastik, dan emisi karbon dioksida dalam operasi kapal. Informasi ini dapat dijadikan dasar bagi perusahaan untuk merancang strategi pengurangan emisi melalui perbaikan proses operasional berbasis *Six Sigma*. Dengan demikian, perusahaan dapat meningkatkan kinerja dan keberlanjutan operasional kapal.

2. Bagi Peneliti

Penelitian ini memberikan kesempatan bagi peneliti untuk mengembangkan kemampuan analisis dalam bidang manajemen operasional maritim, khususnya terkait pengelolaan limbah plastik, konsumsi BBM, dan emisi karbon dioksida. Peneliti memperoleh pengalaman dalam menerapkan metode *Six Sigma* secara praktis untuk mengevaluasi dan meningkatkan efisiensi proses operasional kapal. Selain itu, penelitian ini memperluas wawasan akademik peneliti mengenai ekonomi biru dan dekarbonisasi sektor pelayaran, serta mengasah kemampuan dalam mengintegrasikan data

primer dan sekunder untuk menghasilkan temuan yang valid dan dapat dijadikan dasar rekomendasi praktis bagi perusahaan maupun pembuat kebijakan.

3. Bagi Akademisi

Hasil penelitian ini menyediakan data dan analisis empiris terkait hubungan pengelolaan limbah plastik, penggunaan BBM, dan emisi dalam konteks sektor pelayaran. Penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pengembangan kajian lebih lanjut di bidang manajemen operasional maritim, dekarbonisasi, dan penerapan prinsip ekonomi biru. Selain itu, penelitian ini memperkaya literatur akademik dengan studi kasus konkret di Indonesia.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan pada salah satu perusahaan pelayaran di Surabaya.
2. Objek penelitian ini dibatasi pada 5 kapal yang memiliki rute tetap dan sandar di pelabuhan Surabaya.
3. Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu konsumsi bahan bakar dan hasil limbah dari operasional kapal tahun 2024-2025.
4. Sumber karbon yang diukur hanya dari konsumsi bahan bakar dan timbulan limbah plastik saat operasional.
5. Penelitian ini membatasi perhitungan emisi gas rumah kaca pada emisi karbon dioksida (CO₂), dan tidak mencakup emisi metana (CH₄) maupun dinitrogen oksida (N₂O).
6. Tahap *control* pada penelitian ini dibatasi sampai dengan penyusunan usulan pengendalian emisi karbon.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Profil Perusahaan

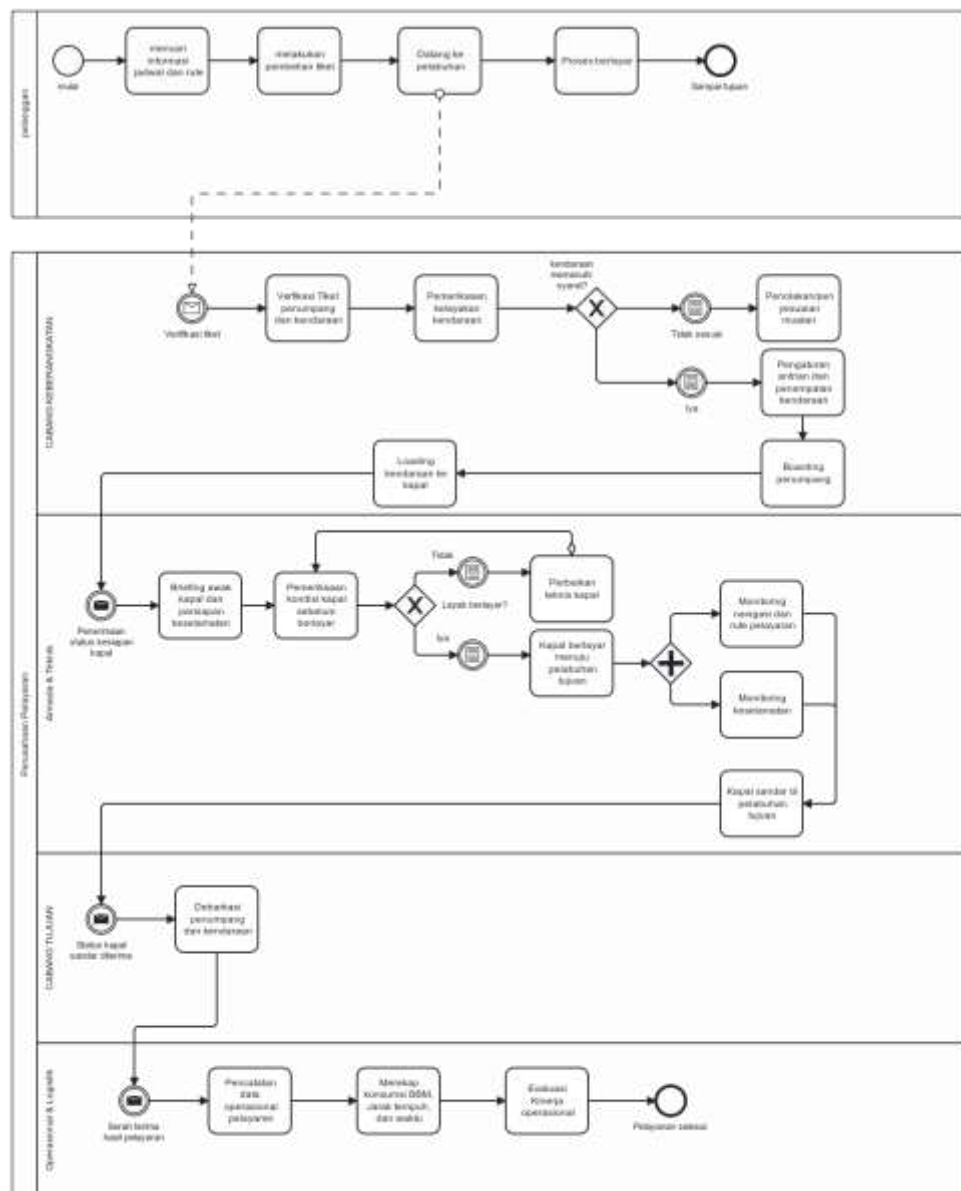
Perusahaan yang menjadi objek penelitian penulis adalah salah satu perusahaan pelayaran di Surabaya, Jawa Timur yang menyediakan jasa penyeberangan penumpang, kargo, dan kendaraan. Terletak pada cakupan layanannya yang luas di seluruh nusantara, mempunyai sumber daya manusia berkualitas, bercita-cita memberikan layanan jasa kepada penumpang dengan mutu standar internasional, dan mampu bersaing di dunia pelayaran.

Seiring berkembangnya waktu, perusahaan memperluas layanan operasionalnya hingga mencakup berbagai rute pelayaran di seluruh Indonesia. Pada tahun 2025 perusahaan ini telah mengoperasikan puluhan unit kapal untuk melayani rute penyeberangan feri yang menghubungkan berbagai pulau dan kota di Indonesia, mulai dari layanan jarak pendek hingga jarak jauh, termasuk transportasi penumpang, kendaraan, dan kargo.

Struktur organisasi perusahaan pelayaran ini menempatkan Divisi Armada, Teknik, dan Logistik sebagai unit strategis yang berperan langsung dalam pengelolaan operasional kapal. Divisi armada bertanggung jawab atas pengaturan operasional pelayaran dan kesiapan kapal, Divisi teknik berfokus pada pemeliharaan dan keandalan sistem teknis kapal, sedangkan Divisi logistik mengelola perencanaan, pengadaan, dan distribusi kebutuhan operasional kapal. Keterpaduan fungsi ketiga unit tersebut memastikan kapal dapat beroperasi secara aman, efisien, dan sesuai dengan standar operasional yang ditetapkan, sehingga mendukung kelancaran aktivitas pelayaran serta keberlanjutan kinerja operasional perusahaan.

2.2 Business Process Model and Notation (BPMN)

BPMN merupakan standar pemodelan proses bisnis yang digunakan untuk menggambarkan alur aktivitas secara terstruktur, sistematis, dan mudah dipahami oleh berbagai pemangku kepentingan (Maulana, 2023). BPMN menyajikan representasi visual dari rangkaian aktivitas, keputusan, serta aliran informasi yang terjadi dalam suatu proses, sehingga memungkinkan pemahaman yang komprehensif terhadap bagaimana suatu proses dijalankan dari awal hingga akhir (Tampubolon dan Situmorang, 2023).



Gambar 2. 1 BPMN

Pada Gambar 2.1 menggambarkan alur proses operasional pelayaran kapal penumpang secara menyeluruh, mulai dari interaksi awal dengan pelanggan hingga evaluasi kinerja operasional setelah pelayaran selesai. Proses dimulai dari sisi pelanggan, yang diawali dengan aktivitas pencarian informasi jadwal dan rute pelayaran, dilanjutkan dengan pembelian tiket. Setelah tiket diperoleh, pelanggan datang ke pelabuhan sebagai titik transisi dari aktivitas eksternal menuju proses internal perusahaan. Tahapan ini menunjukkan bahwa pelanggan merupakan aktor awal yang memicu rangkaian proses operasional pelayaran.

Selanjutnya, proses berpindah ke lingkup perusahaan pelayaran, khususnya pada fungsi divisi armada dan divisi teknik. Tahapan ini diawali dengan penerimaan status kesiapan kapal yang diikuti oleh briefing awak kapal terkait persiapan keselamatan. Setelah briefing, dilakukan pemeriksaan kondisi kapal sebelum berlayar untuk memastikan kelayakan operasional. Pada tahap ini terdapat keputusan penting terkait kelayakan kapal untuk berlayar. Apabila kapal dinyatakan tidak layak, maka dilakukan perbaikan teknis kapal sebelum pelayaran dapat dilanjutkan. Sebaliknya, apabila kapal dinyatakan layak, kapal akan berlayar menuju pelabuhan tujuan.

Selama proses pelayaran berlangsung, aktivitas operasional difokuskan pada pemantauan navigasi dan rute pelayaran serta monitoring aspek keselamatan. Kedua aktivitas ini berjalan secara paralel dan menunjukkan pentingnya pengendalian operasional selama kapal berlayar. Monitoring yang dilakukan bertujuan untuk memastikan kapal beroperasi sesuai rute yang direncanakan, menghindari potensi risiko keselamatan, serta menjaga efisiensi penggunaan sumber daya selama perjalanan.

Setibanya kapal di pelabuhan tujuan, proses dilanjutkan dengan penerimaan status sandar kapal oleh cabang tujuan. Selanjutnya dilakukan proses debarkasi penumpang dan kendaraan sebagai tahap akhir dari layanan pelayaran kepada pelanggan. Setelah seluruh aktivitas bongkar muat selesai, proses operasional tidak langsung berakhir, melainkan

dilanjutkan dengan aktivitas pencatatan dan pengolahan data operasional pelayaran oleh unit operasional dan logistik.

Tahapan akhir dalam BPMN ini mencakup rekapitulasi data timbulan limbah sampah plastik, konsumsi bahan bakar minyak, jarak tempuh, dan waktu pelayaran. Data tersebut kemudian digunakan untuk melakukan evaluasi kinerja operasional pelayaran. Evaluasi ini menjadi dasar penting dalam menilai tingkat efisiensi operasional, mengidentifikasi potensi pemborosan energi, serta memahami kontribusi aktivitas pelayaran terhadap timbulan emisi dan jejak karbon.

Berdasarkan pemodelan proses menggunakan BPMN tersebut, alur aktivitas operasional pelayaran dapat dipahami secara menyeluruh dan terstruktur, sehingga memudahkan identifikasi batasan proses, aktor yang terlibat, serta titik-titik kritis yang berpotensi menimbulkan ketidakefisienan. Pemahaman ini menjadi landasan pada tahap Define dalam metode Six Sigma untuk merumuskan permasalahan utama, menentukan ruang lingkup analisis, serta menetapkan karakteristik kritis terhadap kualitas *Critical to Quality* yang berkaitan dengan konsumsi bahan bakar, jarak tempuh, dan timbulan limbah sampah plastik.

2.3 Strategi *International Maritime Organization (IMO) Greenhouse Gases (GHG)*

Strategi IMO menetapkan target jangka panjang berupa pencapaian *net-zero GHG emissions* kapal pada tahun 2050, target tersebut mencakup penurunan total emisi GHG sektor pelayaran internasional sebesar 30% pada tahun 2030, dan 80% pada tahun 2040 (Fadaie dkk., 2025).

IMO sebagai badan khusus Perserikatan Bangsa-Bangsa di bidang pelayaran internasional menetapkan strategi pengurangan emisi gas rumah kaca untuk menekan dampak lingkungan dari sektor maritim global. Strategi ini mendorong negara anggota dan pelaku industri maritim untuk mengintegrasikan kebijakan pengurangan emisi dengan pengelolaan proses operasional yang lebih efisien, sehingga pengurangan emisi karbon

dapat dicapai sebagai hasil langsung dari peningkatan efisiensi penggunaan energi, pengendalian pemborosan, dan optimalisasi aktivitas pelayaran secara menyeluruh.

2.4 Konsep *Carbon Footprint* pada Operasional Maritim

Carbon footprint atau jejak karbon merupakan ukuran total emisi gas rumah kaca yang dihasilkan secara langsung maupun tidak langsung oleh suatu aktivitas, proses, organisasi, atau produk dalam batas sistem tertentu (Karas, 2023). Pada sektor maritim, *carbon footprint* berasal dari berbagai aktivitas operasional seperti konsumsi bahan bakar kapal, penggunaan energi pendukung, aktivitas bongkar muat, pengelolaan limbah operasional, serta aktivitas pelabuhan. Konsumsi bahan bakar fosil pada kapal menjadi salah satu sumber utama emisi karena proses pembakaran menghasilkan karbon dioksida yang dilepaskan ke atmosfer.

Selain itu, pengelolaan limbah operasional, termasuk limbah plastik, juga dapat berkontribusi terhadap peningkatan emisi melalui proses pengumpulan, pengangkutan, maupun pengolahan limbah. MARPOL Annex V merupakan ketentuan internasional yang mengatur pencegahan pencemaran laut akibat sampah dari kapal. Ketentuan ini bertujuan untuk menghilangkan dan mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke laut dari aktivitas kapal (Kurniaty, 2023)

Dalam operasional bisnis maritim, pengukuran *carbon footprint* dapat digunakan untuk mengidentifikasi aktivitas yang memberikan kontribusi terbesar terhadap emisi karbon sehingga peluang perbaikan proses dapat ditentukan secara lebih tepat. Informasi mengenai besaran emisi yang dihasilkan dari konsumsi bahan bakar maupun timbunan limbah operasional dapat digunakan sebagai dasar dalam merumuskan strategi peningkatan efisiensi operasional dan pengurangan emisi pada aktivitas pelayaran berkelanjutan.

2.5 Timbulan Emisi dari Konsumsi Bahan Bakar Fosil

Timbulan emisi merupakan konsekuensi langsung dari aktivitas konsumsi bahan bakar fosil dalam proses operasional, khususnya pada sektor transportasi dan industri. Pada operasional kapal, bahan bakar fosil digunakan sebagai sumber energi utama untuk menggerakkan mesin utama dan mesin bantu, sehingga proses pembakaran yang terjadi menghasilkan emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO_2). Emisi tersebut terbentuk dari oksidasi unsur karbon yang terkandung di dalam bahan bakar selama proses pembakaran berlangsung.

Oleh karena itu, konsumsi bahan bakar diperlakukan sebagai data aktivitas utama dalam perhitungan emisi. Pendekatan ini direkomendasikan secara luas dalam pedoman inventarisasi emisi, di mana emisi karbon dihitung dengan mengalikan konsumsi bahan bakar dengan faktor emisi yang sesuai dengan jenis bahan bakar fosil yang digunakan (Boettcher Christian dkk., 2019). Adapun rumus emisi bbm menurut Ismail (2020), sebagai berikut:

$$\text{Fuel Emission} = FC \cdot EF \quad (2.1)$$

Dengan

FC = *Fuel Consumption*/ Konsumsi BBM (Liter/jam)

EF = *Emission Factor*/ Faktor Emisi

Tabel 2. 1 Faktor Emisi BBM

Jenis BBM	Faktor Emisi
B0 (Solar)	2.68
B35	2.33
B40	2.29

Sumber: Alel dkk., 2025

2.6 Timbulan Emisi dari Sampah Plastik

Menurut Adilang dkk., (2025), Aktivitas operasional kapal tidak dapat dipisahkan dari timbulan sampah yang dihasilkan selama proses pelayaran. Aktivitas operasional kapal menghasilkan berbagai jenis limbah padat, di mana sampah plastik merupakan salah satu komponen dominan.

Sampah plastik berasal dari aktivitas pelayanan penumpang, konsumsi logistik kapal, serta penggunaan material sekali pakai selama pelayaran.

Sampah kapal dapat berasal dari dapur, aktivitas kerja di dek, maupun ruang mesin, yang mencakup sisa makanan serta limbah hasil pekerjaan operasional kapal (Sulistiyono dkk., 2022). Menurut Irawan dkk. (2025), perhitungan emisi dari limbah sebagai berikut:

$$EGHG = Eps \times FEm \tag{2.2}$$

Dengan

EGHG =Estimasi *GHG* (kg CO₂-eq/kg sampah per bulan)

Eps =Estimasi potensi sampah (kg/bulan)

Fem =Faktor emisi (kg CO₂-eq/kg)

Tabel 2. 2 Faktor Emisi Plastik

Jenis sampah	Faktor Emisi
Plastik	2.0
Organik	0.5
Logam	0.9
Residu	0.8

Sumber: IPCC, 2025

2.7 Metode – Metode Pengurangan Jejak Karbon di Bisnis Maritim

Upaya pengurangan jejak karbon di bisnis maritim dilakukan melalui berbagai pendekatan yang dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa metode utama, mulai dari pendekatan teknologi hingga pendekatan manajerial dan operasional. Setiap metode memiliki karakteristik, fokus, serta implikasi yang berbeda terhadap kinerja lingkungan dan operasional sektor maritim. Berikut metode pendekatan untuk mengurangi jejak karbon:

1. Pendekatan Teknologi

Pendekatan teknologi merupakan strategi pengurangan jejak karbon yang berfokus pada inovasi teknis dan rekayasa kapal untuk menurunkan emisi secara langsung melalui peningkatan efisiensi energi.

Berbagai teknologi yang dikaji dalam literatur meliputi desain lambung hemat energi, sistem propulsi yang lebih efisien, teknologi *air lubrication*, serta penerapan *carbon capture and storage* (CCS) pada kapal. Penelitian yang dilakukan oleh Fadaie dkk. (2025), menunjukkan bahwa pendekatan teknologi memiliki potensi penurunan emisi yang signifikan, khususnya pada kapal baru (*newbuild ships*).

2. Pendekatan Energi dan Bahan Bakar

Pendekatan energi dan bahan bakar menitikberatkan pada transisi dari bahan bakar fosil menuju bahan bakar rendah karbon atau nol karbon, seperti *LNG*, *biofuel*, *metanol*, *amonia*, dan *hidrogen*. Peralihan bahan bakar memiliki peran strategis dalam mencapai target *net-zero emissions* sektor maritim, namun keberhasilannya sangat bergantung pada aspek *well-to-wake*, kesiapan infrastruktur, serta ketersediaan rantai pasok bahan bakar alternatif. Pada penelitian Sharmina dkk. (2021), mengatakan bahwa meskipun bahan bakar alternatif mampu menurunkan emisi, manfaat lingkungannya tidak selalu optimal apabila proses produksinya masih bergantung pada sumber energi fosil. Oleh karena itu, pendekatan ini lebih tepat dipandang sebagai strategi jangka menengah hingga panjang yang memerlukan integrasi kebijakan, teknologi, dan sistem energi nasional.

3. Pendekatan Manajerial dan Perbaikan Proses Operasional

Pendekatan manajerial memandang bahwa emisi karbon merupakan konsekuensi langsung dari proses operasional yang tidak efisien dan memiliki variasi kinerja yang tinggi. Oleh karena itu, pengurangan emisi dicapai melalui perbaikan proses bisnis, pengendalian variasi, dan pengurangan pemborosan energi serta material dalam aktivitas operasional sehari-hari. Pada penelitian Whulanza dkk. (2024) mengatakan bahwa keberhasilan strategi dekarbonisasi industri maritim tidak hanya ditentukan oleh adopsi teknologi, tetapi juga oleh kinerja tata kelola dan proses operasional di tingkat perusahaan dan pelabuhan.

4. Pendekatan *Six Sigma* sebagai Metode Pengukuran Jejak Karbon

Six Sigma merupakan bagian dari pendekatan manajerial yang berfokus pada perbaikan proses berbasis data. Dalam konteks bisnis maritim, *Six Sigma* digunakan untuk mengidentifikasi variasi proses operasional yang berkontribusi terhadap konsumsi bahan bakar dan timbulan limbah sebagai indikator jejak karbon. Melalui kerangka DMAIC, *Six Sigma* memungkinkan organisasi memetakan proses, mengukur kinerja aktual, menganalisis akar penyebab inefisiensi, serta merumuskan perbaikan yang terstandarisasi. Keunggulan *Six Sigma* terletak pada kemampuannya menjembatani tujuan dekarbonisasi dengan praktik operasional sehari-hari, sehingga pengurangan emisi karbon dicapai secara sistematis melalui peningkatan efisiensi proses bisnis maritim.

2.8 *Six Sigma*

Six Sigma merupakan metodologi perbaikan proses yang terstruktur dan berbasis data dengan tujuan utama mengurangi variasi proses dan menurunkan tingkat kegagalan atau ketidaksesuaian terhadap standar yang ditetapkan (Tambunan dkk., 2020). *Six Sigma* memandang variasi sebagai sumber utama inefisiensi, pemborosan, dan penurunan kinerja, sehingga pengendalian variasi menjadi fokus utama dalam peningkatan kualitas dan kinerja operasional. Pendekatan ini tidak hanya digunakan sebagai alat statistik, tetapi telah berkembang menjadi strategi manajerial yang terintegrasi dengan pengambilan keputusan berbasis data.

2.9 *Define, Measure, Analyze, Improve, Control (DMAIC)*

Menurut Bentley dan Davis dalam penelitian yang dilakukan oleh Pattiruhu dkk. (2020), DMAIC adalah sekumpulan alat yang digunakan untuk mengidentifikasi, menganalisis dan mengeleminasi sumber variasi dalam sebuah proses. DMAIC merupakan kunci pemecahan masalah *Six Sigma* yang meliputi langkah-langkah perbaikan secara berurutan, yang



Gambar 2. 2 Diagram DMAIC
(Rahman *et al.*, 2018)

masing-masing amat penting guna mencapai hasil yang diinginkan (Ahmad, 2019).

DMAIC merupakan strategi peningkatan kualitas berbasis data yang digunakan untuk memperbaiki tingkat cacat atau proses. DMAIC merupakan bagian integral dari inisiatif *Six Sigma*, namun secara umum juga dapat diterapkan sebagai prosedur peningkatan kualitas yang berdiri sendiri atau sebagai bagian dari inisiatif perbaikan proses lainnya (Rahman dkk., 2018).

2.9.1 Tahap *Define*

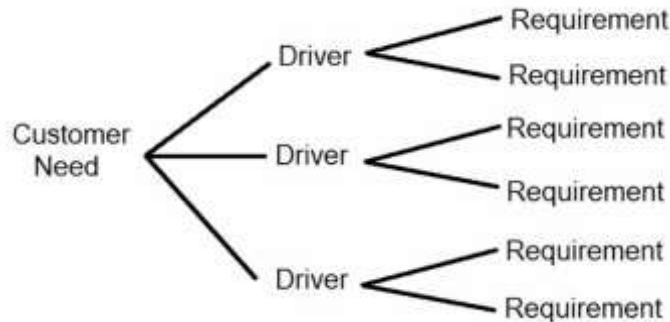
Tahap *define* merupakan tahap awal dalam kerangka DMAIC yang bertujuan untuk mendefinisikan permasalahan utama, menetapkan ruang lingkup proses, serta menentukan sasaran perbaikan yang akan dicapai.



Gambar 2. 3 Diagram *Sipoc*
(Hidajat, 2022)

Penyusunan diagram *SIPOC* bertujuan untuk mengidentifikasi dan memetakan proses yang dianalisis secara menyeluruh dalam kegiatan perbaikan (*Improvement*), dengan menggambarkan alur proses mulai dari pemasok (*supplier*), masukan (*input*), tahapan proses (*process*), keluaran (*output*), hingga pihak penerima hasil proses (*customer*) (Hidajat, 2022). Berdasarkan pemetaan proses menggunakan diagram *SIPOC*, dapat diidentifikasi batasan proses operasional pelayaran serta keterkaitan antara pemasok, masukan, tahapan proses, dan keluaran proses. Pemetaan ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai alur proses yang dianalisis sekaligus menegaskan keluaran proses yang paling relevan dengan tujuan penelitian. Namun demikian, keluaran proses yang dihasilkan dari *SIPOC* masih bersifat umum, sehingga diperlukan tahapan lanjutan untuk menerjemahkannya menjadi indikator kinerja yang lebih spesifik dan

terukur. Oleh karena itu, tahap selanjutnya dalam kerangka DMAIC adalah penetapan *Critical to Quality* (CTQ).



Gambar 2. 4 CTQ Tree
(Rongcai dkk., 2018)

Gambar 2.4 menunjukkan bahwa CTQ tree diawali dengan kebutuhan pelanggan yang spesifik dan bersifat kritis, kemudian kebutuhan tersebut diuraikan menjadi faktor penggerak (*drivers*), dan faktor penggerak tersebut digunakan untuk menetapkan persyaratan (*requirements*) (Rongcai, dkk., 2018). Persyaratan yang spesifik lebih mudah dikonversi menjadi komponen kualitas yang dapat diukur.

2.9.2 Tahap Measure

Tahap *Measure* merupakan tahap yang bertujuan untuk melakukan pengukuran kinerja proses operasional yang sedang berlangsung serta pengumpulan data yang relevan sebagai dasar analisis selanjutnya. Pada tahap ini ditetapkan *Critical to Quality* (CTQ) sebagai indikator kinerja utama yang digunakan untuk merepresentasikan tingkat efisiensi dan kualitas operasi bisnis maritim (Safitriani dkk., 2023).

CTQ yang digunakan meliputi konsumsi bahan bakar minyak per pelayaran, efisiensi penggunaan BBM terhadap jarak tempuh pelayaran, serta timbulan sampah plastik operasional per pelayaran. Namun demikian, pengukuran kinerja menggunakan CTQ saja belum sepenuhnya menggambarkan kemampuan proses dalam mengendalikan variasi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan indikator tambahan berupa *Defect per Opportunity* (DPO), *Defect per Million Opportunities* (DPMO) dan nilai

sigma untuk menilai kapabilitas proses operasional. Adapun tiga variabel dalam konsep pengukuran berbasis probabilitas sebagai baseline metode Six Sigma di antaranya:

a. *Defect per Opportunity (DPO)*

Defect per Opportunity (DPO) merupakan ukuran tingkat kegagalan yang terjadi pada setiap kesempatan dalam suatu proses. Nilai DPO diperoleh melalui perhitungan perbandingan antara jumlah kegagalan yang terjadi dengan total peluang terjadinya kegagalan dalam proses tersebut. DPO dapat dihitung dengan rumus:

$$DPO = \frac{\text{banyaknya cacat yang ditemukan}}{(\text{jumlah unit yang diperiksa} \times CTQ)} \quad (2.3)$$

b. *Defect per Million Opportunity (DPMO)*

Ukuran peluang terjadinya cacat umumnya dinyatakan dalam bentuk DPMO sebagai indikator jumlah cacat yang terjadi pada setiap satu juta peluang. Nilai DPMO digunakan untuk menggambarkan tingkat kinerja proses dan dihitung menggunakan rumus:

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 \quad (2.4)$$

c. *Sigma Level*

Sigma level merupakan nilai sigma yang digunakan untuk menilai tingkat kapabilitas suatu proses dalam upaya peningkatan kualitas. *Sigma level* dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Sigma\ Level = normsinv \frac{1.000.000 - DPMO}{1.000.000} + 1,5 \quad (2.5)$$

Adapun interpretasi Sigma level sebagai berikut:

Tabel 2. 3 Pencapaian Nilai *Sigma*

Nilai DPMO	Level Sigma	Keterangan
691,642	1-Sigma	Sangat tidak kompetitif
308,538	2-Sigma	Rata-rata industri Indonesia
66,807	3-Sigma	Rata-rata industri Indonesia
6,210	4-Sigma	Rata-rata industri USA
233	5-sigma	Rata-rata industri USA
3,4	6-sigma	Industri kelas dunia

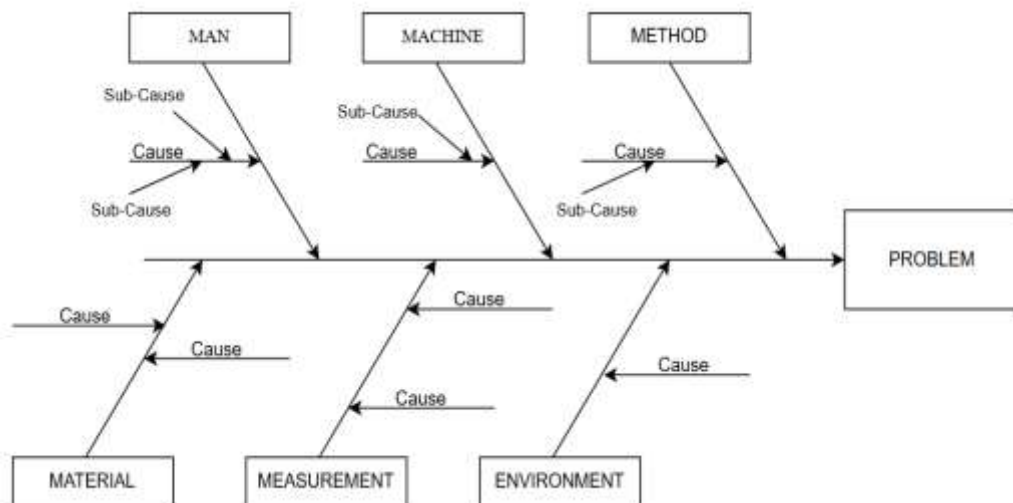
(Zulkhulaifah dan Apriliani, 2024)

2.9.3 Tahap *Analyze*

Tahap *Analyze* dalam metodologi *Six Sigma* bertujuan untuk mengidentifikasi dan memverifikasi akar penyebab utama variasi kinerja proses yang telah terukur pada tahap *Measure*. *fishbone diagram* digunakan sebagai alat awal untuk memetakan berbagai kemungkinan penyebab variasi. Selanjutnya, *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) digunakan untuk mengevaluasi setiap penyebab potensial secara lebih mendalam dengan menilai tingkat keparahan (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), dan kemampuan deteksi (*detection*). Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk memprioritaskan faktor-faktor penyebab yang paling kritis berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN).

a. *Fishbone Diagram* (Diagram Tulang Ikan)

Fishbone diagram atau yang dikenal sebagai diagram tulang ikan juga disebut sebagai diagram *Ishikawa* atau *cause and effect diagram*. Alat ini digunakan untuk mengidentifikasi berbagai kemungkinan penyebab yang menimbulkan suatu akibat atau permasalahan tertentu, serta menganalisisnya secara sistematis melalui proses *brainstorming*.



Gambar 2. 5 *Fishbone Diagram*
(Sheikh, 2019)

Kategori penyebab utama digunakan untuk mengelompokkan berbagai faktor penyebab agar tersusun secara logis dan sesuai dengan konteks permasalahan yang dianalisis. Salah satu kerangka pengelompokan yang umum digunakan adalah kategori 5M+1E, yang banyak diterapkan dalam analisis proses industri. Kategori tersebut meliputi *Machine* yang berkaitan dengan mesin atau teknologi yang digunakan, *Method* yang mencakup prosedur dan alur proses kerja, *Material* yang meliputi bahan baku, material habis pakai, serta informasi pendukung, *Man* yang berkaitan dengan tenaga kerja baik dari sisi kemampuan fisik maupun kontribusi pemikiran seperti perbaikan berkelanjutan dan usulan peningkatan, *Measurement* yang berhubungan dengan sistem pengukuran, pemantauan, dan inspeksi, serta *Environment* yang mencakup kondisi lingkungan kerja yang dapat memengaruhi kinerja proses (Pratama dan Islami, 2023).

b. *Content Validity Index (CVI)*

Content Validity Index (CVI) merupakan metode yang digunakan untuk mengukur validitas isi suatu instrumen berdasarkan penilaian para ahli (*expert judgement*) (Puspitasari dan Febrinita, 2021). Validitas isi bertujuan untuk memastikan bahwa setiap item yang digunakan dalam instrumen penelitian telah sesuai dengan tujuan penelitian dan mampu merepresentasikan konstruk yang akan diukur. Melalui metode CVI, tingkat relevansi setiap item dapat dievaluasi secara sistematis sehingga instrumen yang digunakan memiliki kesesuaian dengan variabel penelitian.

Validitas isi merupakan proses untuk memastikan bahwa setiap item dalam instrumen telah mencerminkan domain atau konsep yang hendak diukur sehingga hasil penelitian yang diperoleh dapat lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah (Roebianto, 2023). Penilaian validitas dilakukan menggunakan skala empat tingkat yang terdiri atas nilai 1 (tidak relevan), 2 (kurang relevan), 3 (agak relevan), dan 4 (sangat relevan). Penggunaan empat kategori penilaian bertujuan untuk menghindari pilihan netral

sehingga penilai dapat memberikan keputusan yang lebih tegas terhadap relevansi suatu item (Yusoff, 2019). Berikut adalah rumus-rumus CVI:

1. Menghitung nilai Item-Level Content Validity Index (I-CVI)

Nilai I-CVI digunakan untuk mengetahui tingkat kesepakatan para *expert* terhadap setiap item yang dinilai. Nilai I-CVI diperoleh dari perbandingan antara jumlah *expert* yang memberikan penilaian relevan dengan jumlah seluruh *expert*. Perhitungan I-CVI dilakukan menggunakan persamaan 2.6 berikut.

$$I-CVI = \frac{\text{agreed item}}{\text{number of expert}} \quad (2.6)$$

Dengan

I-CVI = *Item-Level Content Validity Index*

agreed item = Jumlah *expert* yang memberikan penilaian relevan terhadap suatu item.

number of expert = Jumlah seluruh *expert*

2. Menghitung nilai *Scale-Level Content Validity Index Average* (S-CVI/Ave)

Setelah seluruh nilai I-CVI diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan S-CVI/Ave untuk mengetahui tingkat validitas keseluruhan instrumen. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 2.7 berikut.

$$S-CVI/Ave = \frac{\text{sum of I-CVI scores}}{\text{number of item}} \quad (2.7)$$

Dengan

S-CVI/Ave = *Scale-Level Content Validity Index Average*

sum of I – CVI scores = Jumlah seluruh nilai I-CVI

number of item = Jumlah item yang dinilai

3. Menghitung nilai *Scale-Level Content Validity Index Universal Agreement* (S-CVI/UA)

Perhitungan *Scale-Level Content Validity Index Universal Agreement* (S-CVI/UA) dilakukan untuk mengetahui proporsi item

yang memperoleh kesepakatan penuh dari seluruh *expert*. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 2.8 berikut.

$$S-CVI/UA = \frac{\text{sum of UA scores}}{\text{number of item}} \quad (2.8)$$

Dengan

$S-CVI/UA$ = *Scale-Level Content Validity Index Universal Agreement*

Sum of UA scores = Jumlah item yang dinilai relevan oleh seluruh *expert*

Number of item = Jumlah seluruh item yang dinilai.

Selanjutnya adalah contoh pengisian tabel CVI oleh para *expert*.

Tabel 2. 4 Nilai Relevansi dan Kesepakatan Penilai untuk Setiap Item Pernyataan

Item	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Expert in Agreement	I-CVI	UA
EB1	1	1	1	1	1	5	1	1
EB2	1	1	1	1	1	5	1	1
EB3	1	1	1	1	1	5	1	1
EB4	1	1	1	1	1	5	1	1
EB5	1	1	1	1	1	5	1	1
EB6	1	1	1	1	1	5	1	1
EB7	1	1	1	1	1	5	1	1
EB8	1	1	1	1	0	4	0.8	0
EB9	1	1	1	1	1	5	1	1
EB10	1	1	1	1	1	5	1	1
	1	1	1	1	0.9	S-CVI/Ave S-CVI/UA	0.98	0.9
Proportion relevance: Average proportion of items judged as relevant across the five experts						0.98		

(Wang Fei dan Sahid Sheerad., 2024)

Tabel 2.4 menunjukkan contoh perhitungan *Content Validity Index* (CVI) yang melibatkan lima orang *expert* dalam menilai relevansi setiap item pernyataan. Penilaian dilakukan dengan mengonversi skor relevansi menjadi nilai biner, yaitu 1 untuk item yang dinilai relevan dan 0 untuk item yang dinilai tidak relevan. Selanjutnya, nilai *Item-Level Content Validity Index* (I-CVI) dihitung berdasarkan proporsi *expert* yang menyetujui suatu item. Selain itu, tabel juga menampilkan nilai *Universal Agreement* (UA), yaitu tingkat kesepakatan penuh antar *expert* terhadap setiap item. Hasil perhitungan I-CVI kemudian digunakan untuk memperoleh nilai

Scale-Level Content Validity Index berdasarkan metode rata-rata (S-CVI/Ave) dan metode kesepakatan *universal* (S-CVI/UA).

c. *Failure Mode & Effect Analysis (FMEA)*

FMEA merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam suatu proses, menganalisis penyebab serta dampak yang ditimbulkannya, kemudian menentukan upaya pengendalian dengan cara menghilangkan atau meminimalkan kegagalan yang paling krusial melalui usulan tindakan korektif. Dalam penerapan FMEA, *risk priority number* (RPN) digunakan sebagai indikator untuk menilai dan memeringkat tingkat risiko dari setiap mode kegagalan, sehingga membantu penentuan prioritas perbaikan yang perlu dilakukan (Yuamita Ferida, 2023).

Menurut Prasetya dkk. (2021), Langkah – Langkah dalam yang harus dilakukan pada metode FMEA adalah sebagai berikut:

1. Menentukan komponen dari sistem atau alat yang akan di analisis.
2. Mengidentifikasi moda kegagalan dari proses yang di amati.
3. Mengidentifikasi akibat atau *potential effect* yang ditimbulkan *potential failure*.
4. Mengidentifikasi penyebab atau *potential cause* dari kegagalan yang terjadi pada proses berlangsung.
5. Menetapkan nilai-nilai dengan cara observasi lapangan dan *brainstorming*.
6. Menentukan nilai *risk priority number* (RPN), yaitu nilai yang menunjukkan keseriusan dari *potential failure*.

Nilai RPN adalah hasil perkalian dari nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D) dari tiap-tiap penyebab masalah. Berikut adalah rumus dari RPN:

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.9)$$

Dengan

RPN = *Risk Priority Number*

S = *Incident Consequent Severity*

O = *Incident Occurance Probability*

D = *Incident Detection Probability*

Semakin tinggi nilai RPN, maka semakin besar urgensi dilakukannya tindakan korektif. RPN mendukung proses pengambilan keputusan yang sistematis dan berkelanjutan dalam upaya peningkatan kinerja dan pengendalian risiko. Berikut adalah tabel yang berisi keterangan dan skor yang digunakan dalam pengisian kuesioner FMEA.

1. Petunjuk Pemberian Skor *Severity* (Dampak)

suntuk menilai sejauh mana besarnya dampak risiko terhadap pencapaian tujuan penelitian.

Tabel 2. 5 Skor *Incident Consequent Severity*

Skor	Efek	Tingkat Keparahan Efek
10	<i>Complete Failure</i>	Penyebab sangat memengaruhi lonjakan emisi tanpa peringatan
9	<i>Severe Damage</i>	Penyebab sangat memengaruhi seringnya lonjakan emisi
8	<i>Too High</i>	Penyebab sangat memengaruhi kebanyakan lonjakan emisi
7	<i>High</i>	Penyebab memengaruhi kebanyakan lonjakan emisi
6	<i>Medium</i>	Penyebab memengaruhi sebagian sering lonjakan emisi
5	<i>Low</i>	Penyebab memengaruhi beberapa sering lonjakan emisi
4	<i>Very Low</i>	Penyebab memengaruhi sebagian lonjakan emisi
3	<i>Minor</i>	Penyebab memengaruhi beberapa lonjakan emisi
2	<i>Very Minor</i>	Penyebab sedikit memengaruhi lonjakan emisi
1	<i>No Damage</i>	Penyebab tidak memengaruhi lonjakan emisi

Sumber: Shamseddin dkk., 2015

Tabel 2.5 menunjukkan rating yang diberikan menggambarkan tingkat permasalahan berdasarkan dampaknya terhadap sistem, di mana semakin kritis dampak yang ditimbulkan bagi perusahaan, maka nilai *severity* yang diberikan semakin tinggi. Sebaliknya, apabila dampak yang ditimbulkan tidak bersifat kritis, maka tingkat *severity* yang ditetapkan akan lebih rendah.

2. Petunjuk Pemberian Skor *Occurance* (Kemungkinan)

Petunjuk pemberian skor pada kategori *Occurance* digunakan untuk menentukan kemungkinan terjadinya suatu risiko.

Tabel 2. 6 Skor *Incident Occurance Probability*

Skor	Kemungkinan	Kemungkinan Tingkat Kegagalan
10	<i>Very Likely</i>	Satu kali atau lebih per hari
9	<i>Likely</i>	Setiap 3 – 4 hari
8	<i>Very high</i>	Sekali dalam seminggu
7	<i>High</i>	Sekali dalam sebulan
6	<i>Medium</i>	Setiap tiga bulan
5	<i>Low</i>	Setiap enam bulan hingga satu tahun
4	<i>Very Low</i>	Sekali dalam setahun
3	<i>Rare</i>	Sekali setiap 1 – 3 tahun
2	<i>Very Rare</i>	Sekali setiap 3-5 Tahun
1	<i>Unlikely</i>	Kecil kemungkinan terjadi

Sumber: Shamseddin dkk., 2015

Tabel 2.6 menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai *Occurance* maka semakin tinggi juga tingkat kegagalannya.

3. Petunjuk Pemberian Skor *Detection* (Deteksi)

Petunjuk pemberian skor pada kategori *Detection* untuk menilai kemampuan sistem, proses, atau mekanisme pengendalian yang ada dalam mendeteksi terjadinya kegagalan.

Tabel 2. 7 Skor *Incident Detection Probability*

Skor	Deteksi	Kriteria
10	<i>No Detection</i>	Mekanisme pengendalian tidak mendeteksi penyebab kegagalan
9	<i>Negligible</i>	Mekanisme pengendalian hampir tidak mendeteksi penyebab kegagalan
8	<i>Very Low</i>	Sangat rendah mekanisme pengendalian mendeteksi penyebab kegagalan
7	<i>Low</i>	Rendah mekanisme pengendalian mendeteksi penyebab kegagalan
6	<i>Modest</i>	Sedang mekanisme pengendalian mendeteksi penyebab kegagalan
5	<i>Average</i>	Rata – rata mekanisme pengendalian mendeteksi penyebab kegagalan
4	<i>More likely than Average</i>	Lebih mungkin terjadi dibandingkan rata – rata mekanisme pengendalian mendeteksi penyebab kegagalan
3	<i>High</i>	Tinggi mekanisme pengendalian mendeteksi penyebab kegagalan
2	<i>Very High</i>	Sangat tinggi mekanisme pengendalian mendeteksi penyebab kegagalan
1	<i>Extremly High</i>	Mekanisme pengendalian hampir dapat dipastikan mendeteksi penyebab kegagalan

Sumber: Shamseddin dkk., 2015

Tabel 2.7 menunjukkan bahwa *Detection* berfungsi untuk menilai kemampuan sistem atau mekanisme pengendalian yang ada dalam mendeteksi potensi kegagalan sebelum dampak risiko terjadi.

d. Matriks Risiko

Matriks risiko merupakan instrumen analisis untuk menilai tingkat risiko berdasarkan kombinasi kemungkinan terjadinya risiko dan besarnya dampak yang ditimbulkan, sehingga pengambilan keputusan dapat dilakukan secara lebih terukur (Aisyah dkk., 2022).

Matriks risiko adalah alat yang digunakan dalam proses penilaian risiko untuk menentukan tingkat risiko melalui pertimbangan hubungan antara tingkat probabilitas terjadinya suatu risiko dan tingkat keparahan konsekuensi yang ditimbulkan (Rajendra dan Saptadi, 2024). Untuk memudahkan pemahaman terhadap hasil penilaian risiko, analisis selanjutnya disajikan dalam bentuk matriks risiko.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	Mod Risk	Mod Risk	High Risk	High Risk	High Risk	High Risk	High Risk	High Risk	High Risk	High Risk
9	Mod Risk	Mod Risk	High Risk	High Risk	High Risk	High Risk	High Risk	High Risk	High Risk	High Risk
8	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	High Risk	High Risk	High Risk	High Risk	High Risk
7	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	High Risk	High Risk	High Risk	High Risk
6	Low Risk	Low Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	High Risk	High Risk	High Risk
5	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	High Risk	High Risk
4	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	High Risk	High Risk
3	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk	High Risk	High Risk
2	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Mod Risk	High Risk	High Risk
1	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Low Risk	Mod Risk	Mod Risk	Mod Risk

Gambar 2. 6 Matriks Risiko

(Carlson, 2012)

e. Expert Judgement

Expert judgement merupakan penilaian profesional yang diberikan oleh individu yang memiliki keahlian dan pengalaman memadai dalam suatu bidang tertentu (Khairansyah dkk., 2024). Penilaian ini didasarkan pada kompetensi dan penguasaan pakar

terhadap bidang yang relevan sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan dan evaluasi keputusan (Susanti dkk., 2018).

2.9.4 Tahap *Improve*

Tahap *Improve* merupakan langkah untuk meningkatkan kinerja sistem yang berjalan dengan memberikan alternatif perbaikan yang tepat dalam mengatasi aktivitas-aktivitas penyebab terjadinya penyimpangan yang sering muncul dan memerlukan perubahan (Lutfianto dan Prabowo, 2022). Tahap *Improve* adalah tahap yang dilakukan untuk merancang dan menetapkan usulan perbaikan sebagai upaya peningkatan kualitas proses maupun produk. Rekomendasi perbaikan pada tahap ini disusun berdasarkan prioritas tindakan yang dihasilkan dari analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) (Bahaudin dan Latif, 2022).

2.9.5 Tahap Control

Tahap Control merupakan tahap akhir dalam konsep *Six Sigma*. Pada tahap ini dilakukan pengamatan terhadap perkembangan penerapan rekomendasi perbaikan proses produksi yang telah ditetapkan pada tahap *Improve* (Lutfianto dan Prabowo, 2022). Control adalah tahap akhir yang dilakukan evaluasi terhadap hasil dari tahapan *Improve*, mempunyai tujuan untuk meningkatkan kualitas, tindakan yang penting dalam tahapan ini adalah menetapkan standar agar perbaikan dapat terus berlangsung secara berkelanjutan (Alawiyah dkk, 2021).

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

(This page is intentionally left blank)

2.10 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan acuan dalam penulisan pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti dan Judul	Metode	Hasil	Persamaan	Perbedaan
1.	(Safitriani, dkk., 2023) Analisis Pennerapan Six Sigma dalam Pengendalian Kualitas <i>Green Supply Chain</i> Penyaluran Minyak Solar	<i>Six Sigma</i> DMAIC	1. Penelitian menunjukkan bahwa cacat utama pada aktivitas penyaluran minyak solar adalah terjadinya tumpahan bahan bakar 2. Penerapan Metode <i>Six Sigma</i> DMAIC mampu menaikkan level dari 3,12 menjadi 3,38. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan alat analisis seperti CTQ, DPMO, <i>sigma level</i>, dan <i>fishbone diagram</i> dapat mengidentifikasi sumber penyebab kecacatan serta merumuskan tindakan perbaikan yang tepat.	Menggunakan metode <i>Six Sigma</i> kerangka DMAIC	Penelitian ini berfokus pada pengendalian kualitas <i>green supply chain</i> dalam aktivitas penyaluran minyak solar di industri jasa perawatan kapal sedangkan penelitian penulis fokus pada pengurangan emisi karbon yang disebabkan oleh proses operasional kapal
2.	(Ririn, dkk., 2025) Peningkatan Proses Pengolahan Limbah <i>Sewage Treatment Plant</i> dalam Pencapaian Baku Mutu Air Limbah dengan Metode <i>Six Sigma</i> di PT. XY	<i>Six Sigma</i> DMAIC	1. Penerapan Metode <i>Six Sigma</i> DMAIC mampu mengidentifikasi parameter kritis yang menyebabkan ketidaktercapaian baku mutu lingkungan. 2. Pengukuran DPMO dan sigma level berada pada level 1,5 yang dikategorikan sebagai tidak kompetitif. 3. Usulan perbaikan berhasil menurunkan total <i>coliform</i> secara signifikan.	Menggunakan metode <i>Six Sigma</i> kerangka DMAIC	Penelitian ini berfokus pada pengolahan limbah cair sektor industri darat sedangkan penelitian penulis berfokus pada sektor bisnis maritim
3.	(Wandana dan Rahmawati, 2025) Analisis penyebab <i>demurrage</i> pada proses bongkar muat material impor proyek kapal x	<i>Six Sigma</i> DMAIC	1. Tiga penyebab dominan yaitu keterlambatan penerimaan dokumen (36,84%), ketidaksesuaian dokumen (15,79%), dan menunggu tanda tangan pihak terkait (10,53%).	Menggunakan metode <i>Six Sigma</i> kerangka DMAIC	Penelitian ini berfokus pada <i>demurrage</i> dalam proses bongkar muat sedangkan penelitian penulis berfokus pada operasional pelayaran

Sumber: Penulis, 2025

Tabel 2.8 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Peneliti dan Judul	Metode	Hasil	Persamaan	Perbedaan
	dengan metode <i>six sigma</i> DMAIC (Studi kasus: PT ABC)		2. DPMO sebesar 21.171 dan nilai sigma sebesar 3,57. 3. Penerapan tahapan <i>Analyze</i> dan <i>Improve</i> berhasil merumuskan usulan perbaikan berupa penyempurnaan SOP		kapal penumpang yang menyebabkan emisi
4.	(Erlinda dkk., 2025) Pendekatan Lean dan <i>Six Sigma</i> untuk Manajemen Mutu di Transportasi Laut	<i>Lean</i> dan <i>Six Sigma</i> DMAIC	1. Penerapan <i>Lean</i> dan <i>Six Sigma</i> kerangka DMAIC efektif meningkatkan efisiensi operasional laut. 2. Akar penyebab utama inefisiensi operasional pelayaran berasal dari faktor non teknis dan perencanaan proses. 3. Implementasi perbaikan dengan metode <i>Lean</i> dan <i>Six Sigma</i> menghasilkan peningkatan kinerja yang terukur dan berkelanjutan misalnya pengurangan konsumsi bahan bakar sebesar 15%.	Menggunakan metode <i>Six Sigma</i> kerangka DMAIC dan bisnis industri maritim	Penelitian ini berfokus pada manajemen mutu operasional transportasi laut sedangkan penelitian penulis fokus pada pengurangan emisi karbon yang disebabkan oleh proses operasional kapal
5.	(Malka dkk., 2025) <i>Sustainable Blue Economy: Energy Consumption and Carbon – Neutrality Strategies for Albania’s Marine and Fisheries sectors</i>	<i>Low Emissions Analysis Platform</i> (LEAP), <i>Multiple Linear Regression</i> (MLR)	1. Skenario pengurangan emisi karbon mampu menurunkan emisi hingga 71,1% pada sektor perikanan pada tahun 2050. 2. Mampu menurunkan emisi hingga 76,38% pada sektor navigasi pada tahun 2050. 3. Skenario pengurangan emisi karbon melalui kebijakan substitusi bahan bakar fosil dengan <i>biodiesel</i>, <i>hydrogen</i>.	Fokus dekarbonisasi maritim, variabel energi dan emisi, menekankan keberlanjutan jangka panjang dan mekanisme kontrol agar upaya pengurangan emisi tidak bersifat sementara.	Penelitian ini menggunakan metode LEAP dan MLR sedangkan penelitian penulis menggunakan metode <i>six sigma</i> pendekatan DMAIC dan FMEA

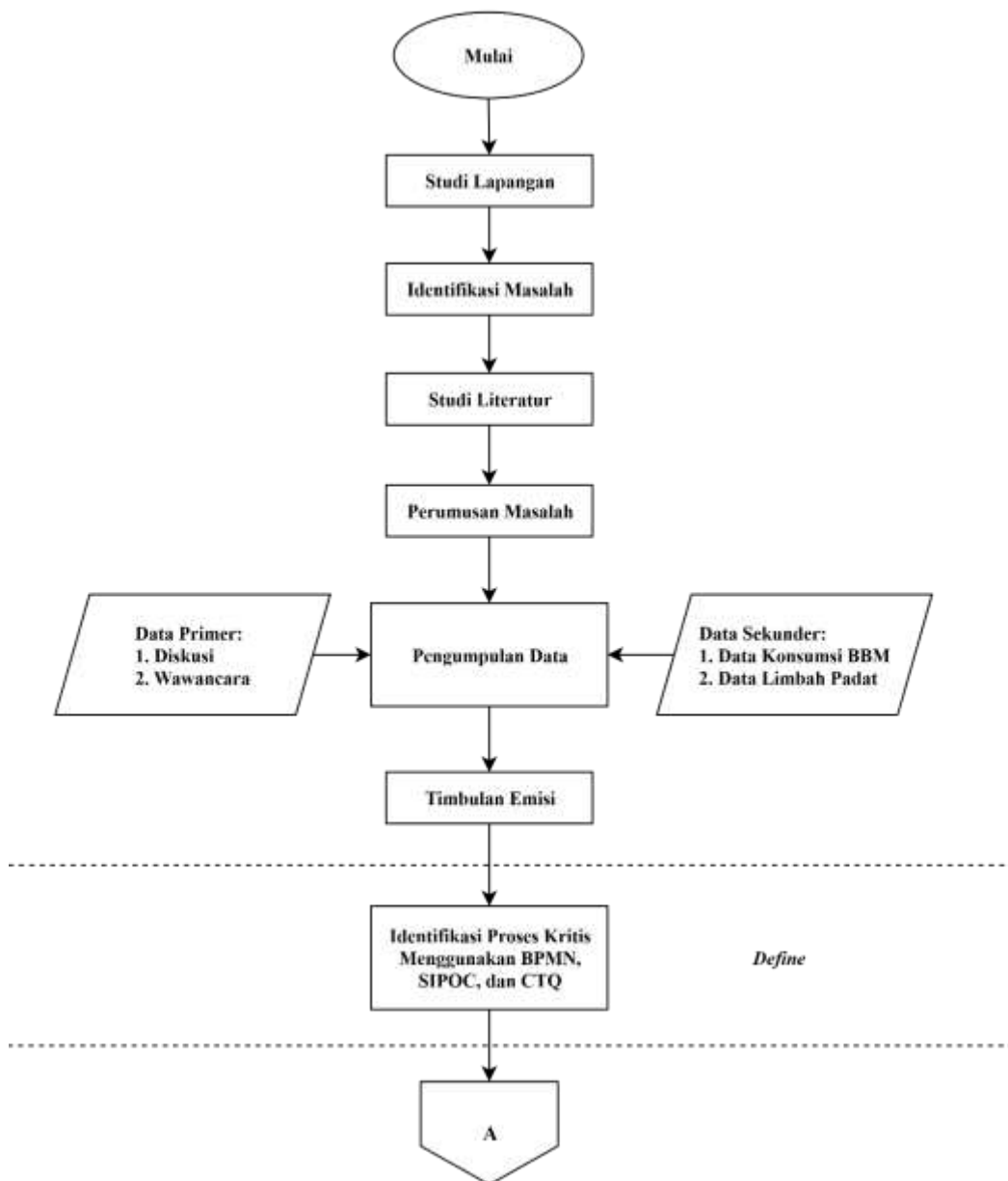
Sumber: Penulis, 2025

BAB 3

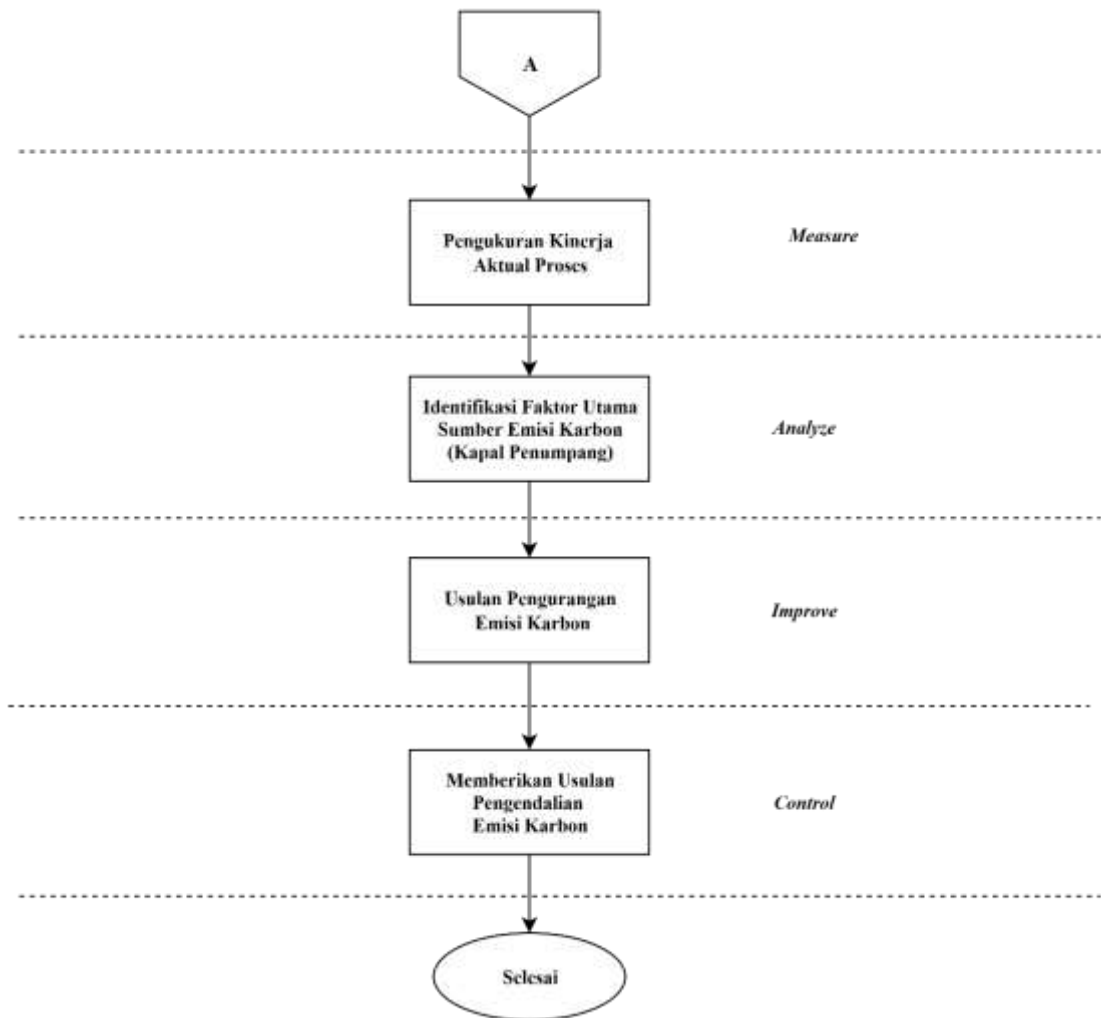
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Proses penelitian dan langkah – langkah pengerjaan tugas akhir ini diuraikan pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Alur Penelitian
(Penulis, 2025)



Gambar 3. 1 Alur Penelitian
(Penulis, 2025)

3.2 Tahap Penelitian

Adapun prosedur dan tahapan penelitian yang dilakukan oleh penulis dijelaskan sebagai berikut:

1. Mulai

Pada tahap awal ini, dilakukan observasi secara langsung melalui kegiatan *On the Job Training* yang dilakukan penulis selama lima bulan pada Perusahaan Pelayaran Surabaya.

2. Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan untuk memperoleh pemahaman awal mengenai kondisi operasional aktual yang menjadi objek penelitian, khususnya terkait konsumsi bahan bakar minyak (BBM) dan timbulan

limbah sampah plastik pada aktivitas pelayaran. Kegiatan studi lapangan mencakup observasi langsung terhadap proses operasional kapal dan aktivitas pendukung di darat, serta pengumpulan informasi awal melalui interaksi dengan pihak-pihak terkait di lingkungan perusahaan. Melalui studi lapangan ini, peneliti mengidentifikasi alur proses operasional, potensi ketidakefisienan, serta praktik pengelolaan BBM dan limbah yang diterapkan. Hasil studi lapangan menjadi dasar dalam penentuan ruang lingkup penelitian, perumusan permasalahan, serta pemilihan metode *Six Sigma* dengan pendekatan DMAIC sebagai kerangka analisis utama.

3. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini merumuskan permasalahan utama yang menjadi fokus penelitian berdasarkan kondisi operasional yang diamati. Permasalahan yang diangkat terkait peningkatan jejak karbon yang dihasilkan dari tingginya variasi konsumsi bahan bakar dan timbulan limbah pada operasional kapal tahun 2024-2025. Penelitian ini berfokus pada usulan perbaikan menggunakan metode *six sigma*.

4. Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan studi literatur mengenai metode *six sigma*, konsep DMAIC, serta alat bantu seperti SIPOC diagram, CTQ tree, dan *Fishbone diagram*, *risk matrix*, *pareto diagram* yang didapatkan dari buku, jurnal, dan penelitian terdahulu.

5. Perumusan Masalah

Pada tahap ini, penulis akan menentukan rumusan masalah apa yang akan dibahas pada penelitian.

6. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dibagi menjadi 2 yaitu data primer dan data sekunder.

a. Data Primer

Data primer diperoleh melalui diskusi dan wawancara dengan para *expert* dari divisi terkait untuk memperoleh pemahaman awal mengenai kondisi operasional, alur proses, serta indikasi

permasalahan yang berkaitan dengan konsumsi bahan bakar minyak (BBM) dan timbunan limbah sampah.

b. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah laporan konsumsi bahan bakar lintas panjang, data limbah plastik per kapal selama dua tahun.

7. Timbunan Emisi

Timbunan emisi dibagi menjadi 2 yaitu timbunan emisi limbah sampah plastik dan emisi konsumsi bahan bakar fosil.

a. Timbunan emisi limbah sampah plastik

Untuk mengetahui besaran emisi dari limbah sampah plastik perlu dilakukan perhitungan menggunakan rumus pada 2.1.

b. Timbunan emisi konsumsi bahan bakar fosil

Untuk mengetahui besaran emisi dari konsumsi bahan bakar fosil perlu dilakukan perhitungan menggunakan rumus pada 2.2.

8. Tahap *Define*

Pada tahap ini, peneliti akan mengidentifikasi proses kritis yang berkontribusi terhadap emisi karbon. Pada tahap ini digunakan alat bantu seperti BPMN, *SIPOC*, dan *Critical to Quality* (CTQ) untuk memetakan alur proses, pihak yang terlibat, serta karakteristik kualitas yang berpengaruh terhadap kinerja lingkungan.

9. Tahap *Measure*

Tahap *Measure* bertujuan untuk mengukur kinerja awal proses operasional kapal sebagai dasar evaluasi tingkat ketidakefisienan yang berkontribusi terhadap konsumsi bahan bakar minyak (BBM) dan timbunan limbah sampah. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dan pengolahan data historis operasional kapal yang meliputi konsumsi BBM, jarak tempuh pelayaran, durasi pelayaran, serta volume limbah sampah yang dihasilkan selama periode pengamatan.

Data tersebut digunakan untuk menetapkan *baseline performance* dan mengidentifikasi peluang cacat (*Defect*) yang merepresentasikan penyimpangan dari standar efisiensi yang telah ditetapkan. Selanjutnya,

tingkat kinerja proses dihitung menggunakan indikator *Defects per Opportunity (DPO)* yang dapat dilihat pada rumus 2.3 dan *Defects per Million Opportunities (DPMO)* yang dapat dilihat pada rumus 2.4 untuk menggambarkan tingkat ketidaksesuaian proses secara kuantitatif. Nilai DPMO kemudian dikonversi ke dalam *sigma level* yang dapat dilihat pada rumus 2.5 sebagai ukuran kapabilitas proses dalam mengendalikan konsumsi BBM dan timbunan limbah. Hasil pengukuran pada tahap *Measure* ini menjadi acuan utama dalam tahap *Analyze* untuk mengidentifikasi akar penyebab pemborosan energi dan peningkatan emisi karbon, serta sebagai dasar perumusan strategi perbaikan yang selaras dengan target pengurangan emisi.

10. Tahap *Analyze*

Pada tahap ini, data hasil pengukuran dan wawancara dianalisis menggunakan *Fishbone Diagram* untuk memetakan hubungan sebab-akibat secara sistematis berdasarkan kategori *Man, Method, Machine, Material, Measurement, dan Environment*. Setelah faktor-faktor penyebab tingginya konsumsi BBM dan timbunan sampah plastik berhasil diidentifikasi melalui *Fishbone Diagram*, dilakukan validasi terhadap setiap penyebab menggunakan metode Content Validity Index (CVI) menggunakan persamaan 2.6, 2.7, 2.8. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap penyebab yang diperoleh benar-benar relevan dengan permasalahan yang diteliti berdasarkan penilaian para ahli.

Validasi dilakukan oleh lima orang *expert* yang memiliki kompetensi dan pengalaman pada bidang operasional kapal, logistik, serta manajemen pelabuhan. Masing-masing *expert* diminta memberikan penilaian terhadap setiap penyebab menggunakan skala relevansi 1–4, dimana skor 1 menunjukkan tidak relevan, skor 2 kurang relevan, skor 3 relevan, dan skor 4 sangat relevan. Selanjutnya skor penilaian dikonversi menjadi data biner, dimana skor 3 dan 4 diberikan nilai 1 (relevan), sedangkan skor 1 dan 2 diberikan nilai 0 (tidak relevan). Hasil konversi tersebut digunakan untuk menghitung nilai *Item-Level Content Validity Index (I-CVI)*, *Scale-Level Content Validity Index* berdasarkan rata-rata

(S-CVI/Ave), dan *Scale-Level Content Validity Index* berdasarkan *Universal Agreement* (S-CVI/UA).

Selanjutnya, setiap potensi penyebab yang teridentifikasi dievaluasi menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) dengan menilai tingkat keparahan (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), dan kemampuan deteksi (*detection*). Kemudian untuk menghitung Nilai *Risk Priority Number* (RPN) dapat dilihat pada rumus 2.9 digunakan untuk menentukan prioritas risiko yang paling kritis terhadap kinerja operasional dan peningkatan emisi karbon. Untuk memperkuat proses prioritisasi, hasil FMEA kemudian dipetakan ke dalam *risk matrix* yang mengombinasikan tingkat kemungkinan dan dampak, sehingga diperoleh visualisasi tingkat risiko. Akar penyebab dengan tingkat risiko tertinggi selanjutnya ditetapkan sebagai fokus utama pada tahap *Improve* guna menekan pemborosan energi, mengurangi timbulan limbah plastik, dan mendukung pencapaian target pengurangan emisi.

11. Tahap *Improve*

Pada tahap *Improve*, menetapkan usulan perbaikan berdasarkan hasil analisis akar penyebab permasalahan pada tahap sebelumnya. Pada tahap ini, fokus perbaikan diarahkan pada faktor-faktor dominan yang telah teridentifikasi melalui hasil pengukuran kinerja proses dan analisis prioritas risiko. Usulan perbaikan disusun untuk mengurangi variasi proses dan meningkatkan efisiensi operasional, khususnya pada aktivitas yang memiliki kontribusi terbesar terhadap ketidakefisienan operasional pelayaran. Selanjutnya dievaluasi kembali menggunakan *expert judgement* untuk menilai tingkat urgensi, kemudahan implementasi, serta potensi dampak perbaikan terhadap tingginya konsumsi bahan bakar minyak dan timbulan limbah sampah plastik.

Tabel 3. 1 Kriteria *Expert Judgement*

No	Nama	Jabatan	Lama Bekerja
1	FJ	Manager DPA	19 Tahun
2	AG	Assman DPA	18 Tahun
3	RD	Assman DPA	7 Tahun
4	PG	Manager Logistik	19 Tahun
5	FT	Assman Logistik	18 Tahun

Sumber: Penulis, 2025

12. Tahap Control

Tahap *Control* bertujuan untuk memastikan bahwa usulan perbaikan yang telah dirumuskan pada tahap *Improve* dapat dijaga keberlanjutannya dan tidak kembali pada kondisi awal sebelum perbaikan. Tahap *Control* difokuskan pada penyusunan *draft control plan*. *Draft control plan* ini dirancang berdasarkan akar permasalahan prioritas dan usulan perbaikan terpilih, dengan menekankan pada mekanisme monitoring konsumsi bahan bakar minyak dan timbulan limbah sampah plastik secara berkala, penetapan indikator kinerja utama, serta standardisasi prosedur operasional yang mendukung efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon. Penyusunan *draft control plan* ini diharapkan dapat menjadi pedoman awal bagi perusahaan dalam mengimplementasikan pengendalian proses secara berkelanjutan, sehingga hasil perbaikan yang diusulkan tetap konsisten dan selaras dengan target pengurangan emisi.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

(This page is intentionally left blank)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab hasil dan pembahasan ini, peneliti menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dari proses pengumpulan data operasional kapal, observasi lapangan, serta wawancara dengan pihak terkait dalam kegiatan operasional pelayaran. Tahap awal pembahasan penelitian diawali dengan perhitungan besaran emisi karbon sebagai dasar untuk mengetahui tingkat kontribusi emisi yang dihasilkan dari operasional pelayaran. Perhitungan emisi dilakukan secara terpisah antara emisi dari konsumsi BBM dan emisi dari timbunan limbah plastik.

Setelah diperoleh hasil perhitungan emisi karbon serta identifikasi sumber emisi pada aktivitas operasional kapal, penelitian kemudian dilanjutkan pada tahap analisis menggunakan metode Six Sigma. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja proses operasional perusahaan. Tahapan analisis dilakukan menggunakan metode DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*) untuk menyusun usulan perbaikan operasional yang mendukung penerapan bisnis maritim berkelanjutan.

4.1 Perhitungan Emisi Karbon

Pada subbab ini dilakukan perhitungan emisi karbon yang dihasilkan dari aktivitas operasional kapal selama periode 2024–2025. Perhitungan emisi karbon dilakukan sebagai dasar untuk mengetahui besaran emisi yang dihasilkan dari konsumsi bahan bakar minyak (BBM). Data yang digunakan dalam perhitungan meliputi data konsumsi BBM yang dihasilkan selama operasional kapal berlangsung. Berikut merupakan perhitungan emisi karbon dari konsumsi BBM menggunakan persamaan 2.1.

$$\text{Fuel Emission} = FC \cdot EF$$

$$\begin{aligned} 1. \text{ Jan 2024} &= 937.300 \times 2,29 \\ &= 2.146.417 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Jan 2025} &= 1.077.300 \times 2,29 \\ &= 2.467.017 \end{aligned}$$

Perhitungan lengkap timbulan emisi dari tingginya konsumsi BBM dilakukan pada seluruh bulan di periode 2024-2025 terdapat pada Lampiran 3.

Tabel 4. 1 Timbulan Emisi Tingginya Konsumsi BBM Kapal A Tahun 2024-2025

Tahun 2024	Total BBM (liter)	Emisi CO ₂	Tahun 2025	Total BBM (liter)	Emisi CO ₂
Jan	937.300	2.146.417	Jan	1.077.300	2.467.017
Feb	920.100	2.107.029	Feb	952.850	2.182.027
Mar	1.051.400	2.407.706	Mar	945.200	2.164.508
Apr	794.200	1.818.718	Apr	932.150	2.134.624
May	990.313	2.267.817	May	1.005.350	2.302.252
Jun	972.850	2.227.827	Jun	804.700	1.842.763
Jul	272.600	624.254	Jul	782.800	1.792.612
Aug	1.082.650	2.479.269	Aug	1.004.500	2.300.305
Sep	1.048.750	2.401.638	Sep	950.670	2.177.034
Oct	931.850	2.133.937	Oct	1.004.400	2.300.076
Nov	900.201	2.061.460	Nov	1.120.000	2.564.800
Dec	1.098.000	2.514.420	Dec	1.240.000	2.839.600
Total	11.000.214	25.190.492	Total	11.819.920	27.067.618

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.1 menunjukkan hasil perhitungan konsumsi bahan bakar minyak (BBM) dan emisi karbon (CO₂) operasional kapal A selama periode tahun 2024 hingga tahun 2025. Perhitungan emisi karbon dilakukan berdasarkan jumlah konsumsi BBM yang digunakan pada kegiatan operasional pelayaran dan dikalikan dengan faktor emisi sesuai jenis bahan bakar yang digunakan. Besarnya emisi karbon yang dihasilkan berbanding lurus dengan jumlah konsumsi BBM operasional kapal, sehingga semakin tinggi konsumsi BBM yang digunakan maka semakin besar pula emisi karbon yang dihasilkan selama kegiatan pelayaran.

Selanjutnya perhitungan emisi karbon untuk mengetahui besaran emisi yang dihasilkan dari timbulan sampah plastik. Data yang digunakan dalam perhitungan meliputi data timbulan sampah plastik yang dihasilkan selama operasional kapal berlangsung. Berikut merupakan perhitungan emisi karbon dari konsumsi BBM menggunakan persamaan 2.2.

$$EGHG = Eps \times FEm$$

$$1. \text{ Jan 2024} = 2.645,28 \times 2 \\ = 5.290,56$$

$$2. \text{ Jan 2025} = 3.290,64 \times 2 \\ = 6.581,28$$

Perhitungan lengkap timbunan emisi sampah plastik dilakukan pada seluruh bulan di periode 2024-2025 terdapat pada Lampiran 4.

Tabel 4. 2 Timbunan Emisi Sampah Plastik Kapal A Tahun 2024-2025

Tahun 2024	Total Sampah Plastik (kg)	Emisi CO ₂	Tahun 2025	Total Sampah Plastik (kg)	Emisi CO ₂
Jan	2.645,28	5.290,56	Jan	3.615,68	7.231,36
Feb	2.966,64	5.933,28	Feb	3.954,80	7.909,60
Mar	3.816,24	7.632,48	Mar	5.291,53	10.583,06
Apr	7.109,91	14.219,82	Apr	7.761,77	15.523,54
May	3.868,08	7.736,16	May	3.439,79	6.879,58
Jun	4.305,84	8.611,68	Jun	4.601,94	9.203,88
Jul	889,44	1.778,88	Jul	3.926,59	7.853,18
Aug	4.074,96	8.149,92	Aug	2.035,55	4.071,10
Sep	3.010,08	6.020,16	Sep	1.066,16	2.132,32
Oct	3.303,84	6.607,68	Oct	3.609,88	7.219,76
Nov	3.224,88	6.449,76	Nov	3.609,88	7.219,76
Dec	3.785,52	7.571,04	Dec	2.586,43	5.172,86
Total	43.000,71	86.001,42	Total	45.500,00	91.000,00

Sumber: Pengolahan Data, 2026

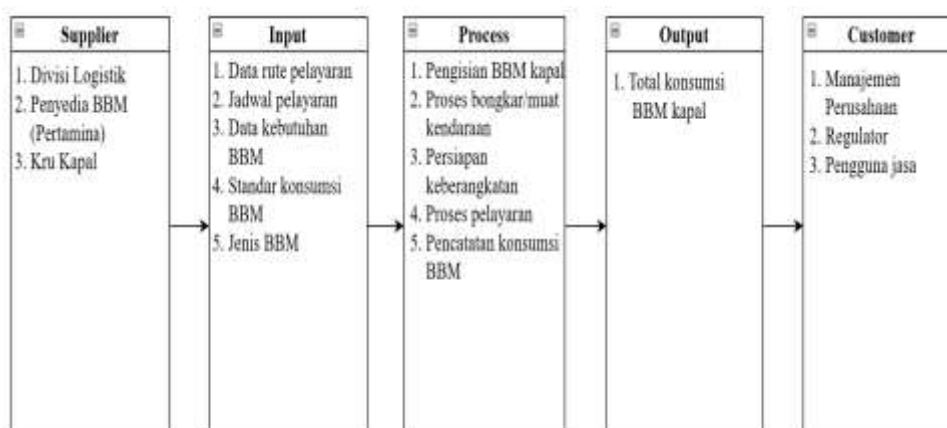
Tabel 4.2 menunjukkan hasil perhitungan timbunan sampah plastik dan emisi karbon (CO₂) yang dihasilkan dari sampah plastik selama operasional kapal pada periode tahun 2024 hingga tahun 2025. Perhitungan emisi karbon dilakukan berdasarkan jumlah timbunan sampah plastik yang dihasilkan selama kegiatan pelayaran dan dikalikan dengan faktor emisi limbah plastik. Peningkatan jumlah penumpang dan aktivitas operasional kapal berpengaruh terhadap meningkatnya timbunan sampah plastik dan emisi karbon yang dihasilkan selama kegiatan pelayaran berlangsung.

4.2 Tahap Define

Tahap define merupakan tahap awal dalam metode Six Sigma yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan mendefinisikan permasalahan yang terjadi pada proses operasional kapal. Pada tahap ini dilakukan pemetaan proses untuk memahami alur kegiatan operasional serta mengidentifikasi faktor-faktor yang berpotensi memengaruhi kinerja perusahaan.

4.2.1 SIPOC Diagram

Pada operasional kapal di Pelabuhan Surabaya, terdapat beberapa aktivitas bisnis maritim yang berpotensi menghasilkan emisi karbon, terutama dari konsumsi bahan bakar minyak (BBM). Pemetaan SIPOC digunakan untuk mengidentifikasi pihak-pihak yang terlibat, masukan yang dibutuhkan, tahapan proses yang terjadi, keluaran yang dihasilkan, serta pihak yang menerima dampak atau manfaat dari proses tersebut. Pada penelitian ini, SIPOC disusun berdasarkan hasil wawancara bersama para *expert judgement* yang ada pada Lampiran 5.



Gambar 4. 1 SIPOC Diagram Tingginya Konsumsi BBM

Gambar 4.1 menunjukkan diagram SIPOC (*Supplier, Input, Process, Output, Customer*) pada proses konsumsi BBM kapal yang digunakan untuk mengidentifikasi aliran proses operasional mulai dari pemasok hingga pihak yang menerima hasil dari proses tersebut. Berdasarkan hasil wawancara yang terdapat pada Lampiran 5 pada bagian *supplier*, pihak yang terlibat terdiri dari Divisi Logistik, penyedia

BBM (Pertamina), dan kru kapal. Divisi Logistik berperan dalam perencanaan serta pengadaan kebutuhan bahan bakar kapal, penyedia BBM bertanggung jawab dalam memasok bahan bakar sesuai kebutuhan operasional, sedangkan kru kapal berperan dalam pelaksanaan dan pengawasan penggunaan BBM selama pelayaran berlangsung. Keberadaan ketiga pihak tersebut menjadi faktor penting dalam menjamin ketersediaan bahan bakar yang dibutuhkan kapal untuk menjalankan aktivitas operasionalnya.

Pada bagian *input*, proses konsumsi BBM dipengaruhi oleh beberapa masukan, yaitu data rute pelayaran, jadwal pelayaran, data kebutuhan BBM, standar konsumsi BBM, dan jenis BBM yang digunakan. Input tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan jumlah bahan bakar yang harus disediakan untuk setiap perjalanan kapal. Selanjutnya, pada bagian *process*, kegiatan yang dilakukan meliputi pengisian BBM kapal, proses bongkar muat kendaraan, persiapan keberangkatan, proses pelayaran, serta pencatatan konsumsi BBM selama perjalanan. Rangkaian proses tersebut menghasilkan *output* berupa total konsumsi BBM kapal yang digunakan selama operasional pelayaran.

Hasil dari proses tersebut kemudian dimanfaatkan oleh beberapa pihak yang termasuk dalam kategori *customer*, yaitu manajemen perusahaan, regulator, dan pengguna jasa. Manajemen perusahaan menggunakan informasi konsumsi BBM sebagai dasar pengendalian biaya operasional dan evaluasi kinerja kapal. Regulator memanfaatkan data tersebut untuk memastikan kepatuhan terhadap ketentuan operasional dan lingkungan yang berlaku. Sementara itu, pengguna jasa memperoleh manfaat secara tidak langsung melalui tersedianya layanan pelayaran yang lebih efisien, andal, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, diagram SIPOC ini digunakan untuk memberikan gambaran mengenai proses konsumsi BBM kapal yang menjadi objek penelitian dalam upaya meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi dampak lingkungan melalui pendekatan Six Sigma.

Pada operasional kapal di Pelabuhan Surabaya, terdapat beberapa aktivitas bisnis maritim yang berpotensi menghasilkan emisi karbon, terutama dari timbulan sampah plastik. Pemetaan SIPOC digunakan untuk mengidentifikasi pihak-pihak yang terlibat, masukan yang dibutuhkan, tahapan proses yang terjadi, keluaran yang dihasilkan, serta pihak yang menerima dampak atau manfaat dari proses tersebut. Pada penelitian ini, SIPOC disusun berdasarkan hasil wawancara bersama para *expert judgement* yang ada pada Lampiran 5.



Gambar 4. 2 SIPOC Diagram Timbulan Sampah Plastik

Gambar 4.2 menunjukkan diagram SIPOC (*Supplier, Input, Process, Output, Customer*) pada proses pengelolaan limbah plastik kapal yang digunakan untuk mengidentifikasi aliran proses mulai dari sumber penyedia hingga pihak yang menerima hasil dari proses tersebut. Berdasarkan hasil wawancara pada Lampiran 5 pada bagian *supplier*, pihak yang terlibat terdiri dari Divisi DPA, vendor catering, dan kru kapal. Divisi DPA berperan dalam pengawasan pelaksanaan pengelolaan limbah sesuai prosedur perusahaan dan ketentuan lingkungan yang berlaku. Vendor catering berperan sebagai penyedia makanan dan minuman yang menggunakan berbagai jenis kemasan plastik selama operasional pelayaran. Sementara itu, kru kapal bertanggung jawab dalam pelaksanaan pengumpulan, pemilahan, pencatatan, dan penanganan limbah plastik yang dihasilkan selama perjalanan kapal.

Ketiga pihak tersebut menjadi sumber utama yang memengaruhi jumlah timbulan limbah plastik yang dihasilkan pada setiap periode operasional kapal.

Pada bagian *input*, proses pengelolaan limbah plastik dipengaruhi oleh beberapa masukan, yaitu data jumlah penumpang, daftar jenis material plastik, volume kemasan plastik, standar pengelolaan limbah, dan standar timbulan plastik. Data jumlah penumpang digunakan untuk memperkirakan potensi timbulan limbah plastik yang dihasilkan selama pelayaran. Daftar jenis material plastik dan volume kemasan plastik digunakan untuk mengidentifikasi sumber utama limbah yang berasal dari aktivitas konsumsi penumpang maupun operasional kapal. Selain itu, standar pengelolaan limbah dan standar timbulan plastik digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan pengelolaan limbah serta evaluasi kinerja pengurangan limbah plastik kapal.

Pada bagian *process*, kegiatan yang dilakukan meliputi penyediaan barang berkemasan plastik, pemakaian oleh kru dan pengguna jasa, pengumpulan limbah, pemilahan limbah, penimbangan dan pencatatan timbulan limbah, penyerahan limbah ke *port facility*, serta pencatatan pada *Garbage Book*. Rangkaian proses tersebut menghasilkan *output* berupa total timbulan limbah plastik yang dihasilkan selama operasional kapal. Data timbulan limbah plastik tersebut kemudian menjadi dasar dalam pengukuran kinerja pengelolaan limbah serta identifikasi kondisi normal maupun *Defect* pada penelitian ini.

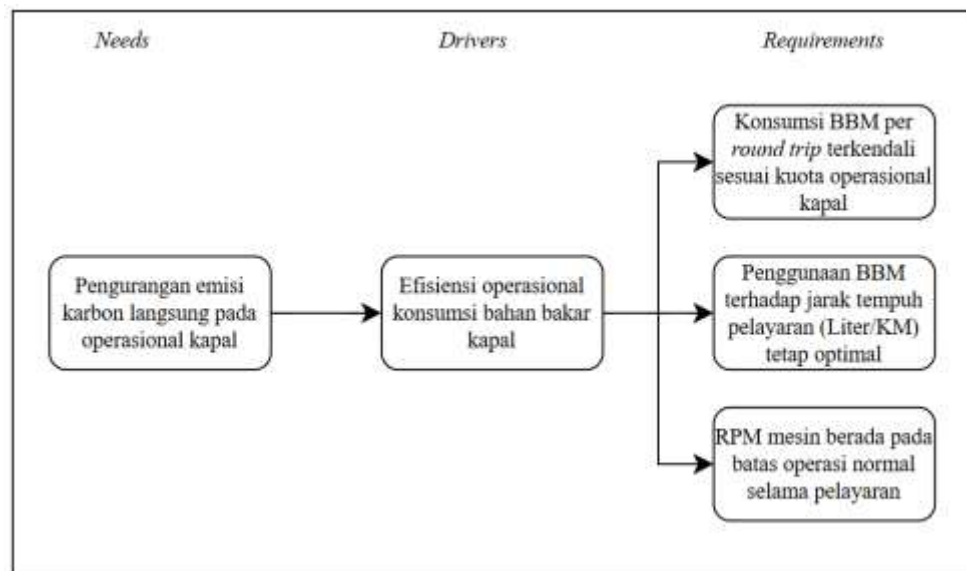
Selanjutnya, hasil dari proses tersebut dimanfaatkan oleh pihak yang termasuk dalam kategori *customer*, yaitu manajemen perusahaan, regulator, dan pengguna jasa. Manajemen perusahaan menggunakan informasi timbulan limbah plastik sebagai dasar evaluasi program pengelolaan lingkungan dan pengambilan keputusan terkait upaya pengurangan limbah plastik. Regulator memanfaatkan data tersebut untuk memastikan kepatuhan perusahaan terhadap ketentuan pengelolaan limbah kapal dan perlindungan lingkungan maritim. Sementara itu, pengguna jasa memperoleh manfaat secara tidak langsung

melalui penerapan operasional pelayaran yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Pemetaan proses tersebut memberikan gambaran mengenai aktivitas yang berpotensi menghasilkan emisi karbon selama kegiatan pelayaran berlangsung. Namun demikian, keluaran proses pada diagram SIPOC masih bersifat umum sehingga diperlukan penjabaran lebih lanjut untuk menentukan karakteristik kualitas yang paling kritis dan berpengaruh terhadap kinerja operasional. Oleh karena itu, tahap selanjutnya dilakukan penyusunan *Critical to Quality* (CTQ) untuk menerjemahkan kebutuhan operasional perusahaan.

4.2.2 CTQ Tree

Setelah proses operasional dipetakan melalui diagram SIPOC, langkah selanjutnya adalah menentukan *Critical to Quality* (CTQ). CTQ digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berkontribusi terhadap tingginya konsumsi BBM dan timbunan sampah plastik pada operasional kapal. CTQ ditetapkan berdasarkan hasil wawancara bersama para *expert judgement* yang ada pada Lampiran 7.

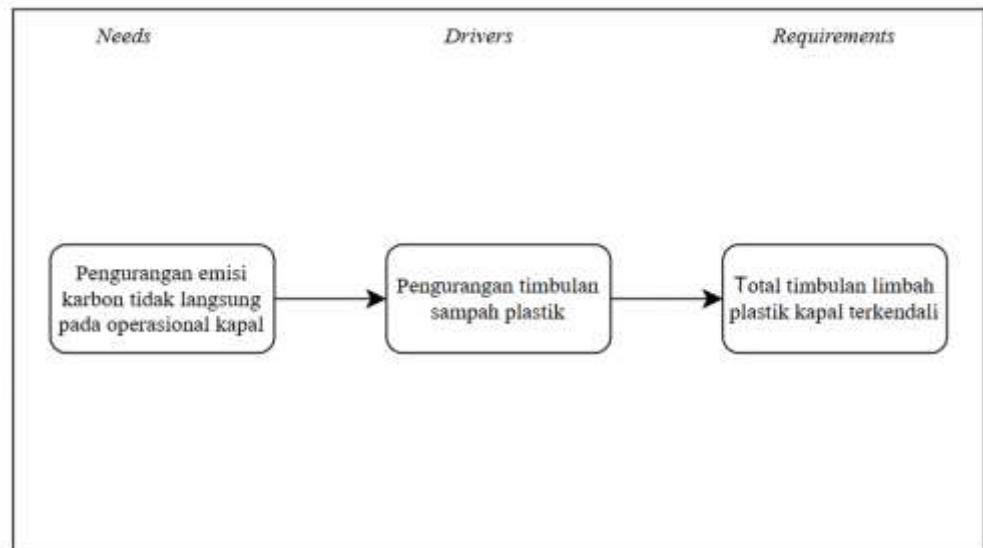


Gambar 4. 3 CTQ Tree Tingginya Konsumsi BBM

Gambar 4.3 menunjukkan CTQ Tree (*Critical to Quality Tree*) pada variabel emisi BBM kapal yang digunakan untuk mengidentifikasi

kebutuhan utama, faktor pendorong, dan kebutuhan kualitas kritis dalam operasional kapal. Pada bagian *needs*, penelitian ini berfokus pada pengurangan emisi karbon langsung pada operasional kapal. Pengurangan emisi karbon menjadi salah satu perhatian utama karena aktivitas pelayaran kapal penumpang memerlukan konsumsi bahan bakar yang cukup besar sehingga berpotensi menghasilkan emisi gas buang yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengendalian dan peningkatan efisiensi operasional agar penggunaan bahan bakar menjadi lebih optimal serta dampak lingkungan yang ditimbulkan dapat diminimalkan. Untuk mencapai kebutuhan tersebut, penelitian ini menetapkan *drivers* berupa efisiensi operasional konsumsi bahan bakar kapal sebagai faktor utama yang memengaruhi tingkat emisi karbon selama proses pelayaran berlangsung.

Selanjutnya, faktor pendorong tersebut diterjemahkan ke dalam tiga *requirements* yang digunakan sebagai indikator pengukuran kualitas proses operasional kapal. *requirements* pertama yaitu konsumsi BBM per *round trip* terkendali sesuai kuota operasional kapal, yang bertujuan untuk memastikan penggunaan bahan bakar tidak melebihi batas kuota yang telah ditetapkan perusahaan. *requirements* kedua yaitu penggunaan BBM terhadap jarak tempuh pelayaran (liter/km) tetap optimal, yang digunakan untuk mengukur tingkat efisiensi penggunaan bahan bakar berdasarkan jarak pelayaran kapal. Sedangkan *requirements* ketiga yaitu RPM mesin berada pada batas operasi normal selama pelayaran, yang bertujuan untuk menjaga kestabilan performa mesin agar konsumsi bahan bakar tetap efisien dan tidak menyebabkan pemborosan energi.



Gambar 4. 4 CTQ Tree Timbulan Sampah Plastik

Gambar 4.4 menunjukkan *Critical to Quality Tree* pada variabel timbulan sampah plastik kapal yang digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan utama, faktor pendorong, dan kebutuhan kualitas kritis dalam upaya mendukung operasional pelayaran yang lebih ramah lingkungan. Pada bagian needs, penelitian ini berfokus pada pengurangan emisi karbon tidak langsung yang dihasilkan dari aktivitas operasional kapal. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mendukung tujuan tersebut adalah dengan mengurangi timbulan sampah plastik yang dihasilkan selama pelayaran. Pengurangan sampah plastik menjadi penting karena limbah plastik yang tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan pencemaran lingkungan serta berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon pada proses pengelolaan dan penanganan limbah. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian jumlah sampah plastik yang dihasilkan selama operasional kapal agar dampak lingkungan yang ditimbulkan dapat diminimalkan.

Untuk mencapai kebutuhan tersebut, ditetapkan *drivers* berupa pengurangan timbulan sampah plastik sebagai faktor utama yang memengaruhi keberhasilan pengelolaan lingkungan pada operasional kapal. Faktor pendorong tersebut kemudian diterjemahkan ke dalam satu *Critical to Quality* (CTQ), yaitu total timbulan limbah plastik kapal

terkendali. CTQ ini digunakan sebagai indikator utama untuk mengukur dan mengevaluasi jumlah limbah plastik yang dihasilkan selama periode operasional kapal. Timbulan limbah plastik yang melebihi kondisi operasional normal kapal dikategorikan sebagai *Defect* dan menjadi fokus perbaikan dalam penelitian ini.

4.3 Tahap *Measure*

Tahap kedua dalam metode Six Sigma adalah tahap *Measure*. Pada tahap ini dilakukan pengukuran kinerja proses operasional pelayaran kapal untuk mengetahui tingkat *Defect* yang terjadi selama periode penelitian. Pengukuran dilakukan terhadap data operasional kapal tahun 2024 hingga 2025 yang meliputi variabel emisi karbon dan timbulan limbah plastik. Hasil pengukuran tersebut digunakan untuk mengevaluasi kapabilitas proses operasional kapal sebagai dasar dalam mengidentifikasi peluang perbaikan pada tahap selanjutnya.

4.3.1 Perhitungan Variabel Tingginya Konsumsi BBM

Perhitungan variabel emisi karbon dilakukan untuk mengetahui kapabilitas proses operasional kapal dalam mengendalikan konsumsi bahan bakar minyak (BBM) yang berkontribusi terhadap emisi karbon selama pelayaran. Variabel ini dipilih karena konsumsi BBM merupakan salah satu sumber utama emisi karbon pada kapal penumpang, sehingga efisiensi penggunaannya perlu dievaluasi untuk mendukung operasional yang lebih ramah lingkungan.

A. Perhitungan Tingkat *Defect* Tingginya Konsumsi BBM

Berikut merupakan jumlah *Defect* yang terjadi pada variabel emisi karbon berdasarkan konsumsi bahan bakar minyak (BBM) kapal selama periode penelitian tahun 2024 hingga 2025, untuk kategori *defect* tingginya konsumsi BBM bisa dilihat pada Lampiran 9.

Tabel 4. 3 Total Frekuensi *Defect* Tingginya Konsumsi BBM

Tahun	BBM per Round Trip	Liter/KM	RPM Mesin	Total <i>Defect</i>
2024	3	3	2	8
2025	4	4	3	11
Total	7	7	5	19

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.3 menunjukkan jumlah *Defect* pada variabel emisi karbon BBM selama periode penelitian tahun 2024–2025 sebanyak 19 *Defect*. Jumlah *Defect* yang lebih tinggi pada tahun 2025 menunjukkan adanya peningkatan variasi proses operasional dibandingkan tahun sebelumnya. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa proses pengendalian konsumsi BBM belum berjalan baik.

B. Perhitungan *Defect per Opportunity* (DPO) Tingginya Konsumsi BBM

Setelah jumlah *Defect* pada variabel emisi karbon diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *Defect per Opportunity* (DPO). Perhitungan DPO bertujuan untuk mengetahui proporsi terjadinya *Defect* terhadap seluruh peluang (*opportunity*) dalam proses operasional kapal. Berikut adalah perhitungan DPO tingginya konsumsi BBM tahun 2024 menggunakan persamaan 2.3.

$$DPO = \frac{\text{banyaknya defect yang ditemukan}}{(\text{jumlah unit yang diperiksa} \times CTQ)}$$

$$DPO = \frac{8}{(60 \times 3)} = 0,444444$$

Berikut adalah perhitungan DPO tingginya konsumsi BBM tahun 2025 menggunakan persamaan 2.3.

$$DPO = \frac{\text{banyaknya defect yang ditemukan}}{(\text{jumlah unit yang diperiksa} \times CTQ)}$$

$$DPO = \frac{11}{(60 \times 3)} = 0,061111$$

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan DPO Tingginya Konsumsi BBM Tahun 2024–2025

Tahun	Defect	Unit	CTQ	Opportunity	DPO
2024	8	60	3	180	0,044444
2025	11	60	3	180	0,061111

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.4 menunjukkan nilai DPO pada tahun 2024 sebesar 0,044444, sedangkan pada tahun 2025 meningkat menjadi 0,061111. Peningkatan nilai DPO tersebut menunjukkan bahwa proporsi *Defect* terhadap total peluang yang tersedia mengalami peningkatan pada tahun 2025.

C. Perhitungan *Defect per Million Opportunities* (DPMO) Tingginya Konsumsi BBM

Nilai DPO yang telah diperoleh kemudian dikonversikan menjadi *Defect per Million Opportunities* (DPMO). Pengukuran DPMO dilakukan untuk mengetahui jumlah kemungkinan *Defect* yang terjadi dalam satu juta peluang. Berikut adalah perhitungan DPMO tingginya konsumsi BBM tahun 2024 menggunakan persamaan 2.4.

$$\begin{aligned}
 DPMO &= DPO \times 1.000.000 \\
 &= 0,044444 \times 1.000.000 \\
 &= 44.444
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan DPMO tingginya konsumsi BBM tahun 2025 menggunakan persamaan 2.4.

$$\begin{aligned}
 DPMO &= DPO \times 1.000.000 \\
 &= 0,061111 \times 1.000.000 \\
 &= 61.111
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan DPMO Tingginya Konsumsi BBM

Tahun	DPO	DPMO
2024	0,044444	44.444
2025	0,061111	61.111

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.5 menunjukkan nilai DPMO pada tahun 2024 sebesar 44.444, sedangkan pada tahun 2025 meningkat menjadi 61.111. Peningkatan nilai DPMO menunjukkan bahwa jumlah *Defect* yang terjadi dalam satu juta peluang pada tahun 2025 lebih tinggi dibandingkan tahun 2024. Kondisi ini mengindikasikan bahwa variasi proses operasional kapal mengalami peningkatan sehingga kualitas proses cenderung menurun.

D. Perhitungan Nilai Sigma Tingginya Konsumsi BBM

Tahap selanjutnya adalah menghitung nilai sigma berdasarkan nilai DPMO yang telah diperoleh. Nilai sigma digunakan untuk mengukur kapabilitas proses dalam memenuhi standar yang telah ditetapkan. Semakin tinggi nilai sigma, maka semakin baik kinerja proses dan semakin kecil kemungkinan terjadinya *Defect* dalam operasional kapal. Berikut adalah perhitungan Sigma tingginya konsumsi BBM tahun 2024 menggunakan persamaan 2.5.

$$\text{Sigma Level} = \text{normsinv} \frac{1.000.000 - DPMO}{1.000.000} + 1,5$$

$$\text{Sigma Level} = \text{normsinv} \frac{1.000.000 - 44.444}{1.000.000} + 1,5$$

$$= 1,7012929 + 1,5$$

$$= 3,2012929$$

Berikut adalah perhitungan Sigma tingginya konsumsi BBM tahun 2025 menggunakan persamaan 2.5.

$$\text{Sigma Level} = \text{normsinv} \frac{1.000.000 - DPMO}{1.000.000} + 1,5$$

$$\text{Sigma Level} = \text{normsinv} \frac{1.000.000 - 61.111}{1.000.000} + 1,5$$

$$= 1,5455139 + 1,5$$

$$= 3,0455139$$

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Nilai Sigma tingginya Konsumsi BBM

Tahun	DPMO	Nilai Sigma
2024	44.444	3,20
2025	61.111	3,05

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.6 menunjukkan nilai sigma variabel emisi karbon pada tahun 2024 sebesar 3,20 dan mengalami penurunan menjadi 3,05 pada tahun 2025. Penurunan nilai sigma tersebut menunjukkan bahwa kapabilitas proses operasional kapal dalam mengendalikan konsumsi BBM mengalami penurunan dibandingkan tahun sebelumnya. Hal ini sejalan dengan peningkatan jumlah *Defect* dan nilai DPMO yang terjadi pada tahun 2025.

Nilai sigma pada kedua periode masih berada pada kisaran tiga sigma, yang menunjukkan bahwa proses operasional kapal masih berjalan pada tingkat kinerja rata-rata industri Indonesia. Namun, masih terdapat peluang perbaikan untuk mengurangi variasi proses operasional sehingga konsumsi BBM dapat lebih terkendali dan emisi karbon yang dihasilkan selama pelayaran dapat diminimalkan.

4.3.2 Perhitungan Variabel Timbulan Sampah Plastik

Perhitungan variabel timbulan sampah plastik dilakukan untuk mengetahui kapabilitas proses operasional kapal dalam mengendalikan jumlah sampah plastik yang dihasilkan selama kegiatan pelayaran. Variabel ini dipilih karena sampah plastik merupakan salah satu jenis limbah yang dominan dihasilkan selama operasional kapal penumpang dan memiliki potensi pencemaran lingkungan yang tinggi apabila tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, pengendalian timbulan sampah plastik menjadi salah satu aspek penting dalam mendukung operasional pelayaran yang berkelanjutan serta meminimalkan dampak lingkungan yang ditimbulkan.

A. Perhitungan Tingkat *Defect* Timbunan Sampah Plastik

Berikut merupakan jumlah *Defect* yang terjadi pada variabel emisi karbon tidak langsung berdasarkan timbunan sampah plastik kapal selama periode penelitian tahun 2024 hingga 2025, untuk kategori *defect* timbunan sampah plastik dapat dilihat pada Lampiran 10.

Tabel 4. 7 Jumlah *Defect* Timbunan Sampah Plastik

Tahun	Total <i>Defect</i>
2024	3
2025	5
Total	8

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.7 menunjukkan *Defect* pada variabel timbunan sampah plastik selama periode penelitian sebanyak 8 *Defect*. Pada tahun 2024 ditemukan 3 *Defect*, sedangkan pada tahun 2025 ditemukan 5 *Defect*. Peningkatan jumlah *Defect* pada tahun 2025 menunjukkan adanya peningkatan variasi proses yang menyebabkan timbunan sampah plastik lebih sering melebihi *baseline* yang telah ditetapkan. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pengendalian timbunan sampah plastik selama operasional kapal masih memerlukan evaluasi dan perbaikan lebih lanjut untuk mengurangi variasi yang terjadi.

B. Perhitungan *Defect per Opportunity* (DPO) Timbunan Sampah Plastik

Setelah jumlah *Defect* pada variabel Timbunan Sampah Plastik diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *Defect per Opportunity* (DPO). Perhitungan DPO bertujuan untuk mengetahui proporsi terjadinya *Defect* terhadap seluruh peluang (*opportunity*) dalam proses operasional kapal. Berikut adalah perhitungan DPO timbunan sampah plastik tahun 2024 menggunakan persamaan 2.3.

$$DPO = \frac{\text{banyaknya defect yang ditemukan}}{(\text{jumlah unit yang diperiksa} \times CTQ)}$$

$$DPO = \frac{3}{(60 \times 1)} = 0,050000$$

Berikut adalah perhitungan DPO timbulan sampah plastik tahun 2025 menggunakan persamaan 2.3.

$$DPO = \frac{\text{banyaknya defect yang ditemukan}}{(\text{jumlah unit yang diperiksa} \times CTQ)}$$

$$DPO = \frac{5}{(60 \times 1)} = 0,083333$$

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan DPO Timbulan Sampah Plastik Tahun 2024–2025

Tahun	Defect	Unit	CTQ	Opportunity	DPO
2024	3	60	1	60	0,050000
2025	5	60	1	60	0,083333

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.8 menunjukkan nilai DPO pada tahun 2024 sebesar 0,050000 dan meningkat menjadi 0,083333 pada tahun 2025. Peningkatan nilai DPO menunjukkan bahwa proporsi *Defect* terhadap total peluang yang tersedia mengalami peningkatan, sehingga variasi proses pengendalian timbulan sampah plastik pada tahun 2025 lebih tinggi dibandingkan tahun sebelumnya.

C. Perhitungan *Defect per Million Opportunities* (DPMO) Timbulan Sampah Plastik

Setelah nilai *Defect per Opportunity* (DPO) diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung DPMO. Perhitungan DPMO bertujuan untuk mengetahui jumlah *Defect* yang diperkirakan terjadi dalam satu juta peluang. Berikut adalah perhitungan DPMO timbulan sampah plastik tahun 2024 menggunakan persamaan 2.4.

$$\begin{aligned} DPMO &= DPO \times 1.000.000 \\ &= 0,050000 \times 1.000.000 \\ &= 50.000 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan DPMO timbulan sampah plastik tahun 2025 menggunakan persamaan 2.4.

$$\begin{aligned} DPMO &= DPO \times 1.000.000 \\ &= 0,083333 \times 1.000.000 \\ &= 83.000 \end{aligned}$$

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan DPMO Timbulan Sampah Plastik

Tahun	DPO	DPMO
2024	0,050000	50.000
2025	0,083333	83.333

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.9 menunjukkan nilai DPMO pada tahun 2024 sebesar 50.000 dan meningkat menjadi 83.333 pada tahun 2025. Peningkatan nilai DPMO menunjukkan bahwa jumlah *Defect* yang terjadi dalam satu juta peluang mengalami kenaikan pada tahun 2025.

D. Perhitungan Nilai Sigma Timbulan Sampah Plastik

Setelah nilai DPMO diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai sigma untuk mengetahui kapabilitas proses pengendalian timbulan sampah plastik. Nilai sigma menunjukkan kemampuan suatu proses dalam menghasilkan output yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Semakin tinggi nilai sigma, maka semakin baik kinerja proses dan semakin kecil kemungkinan terjadinya *Defect*. Berikut adalah perhitungan Sigma timbulan sampah plastik tahun 2024 menggunakan persamaan 2.5.

$$\begin{aligned}
 \text{Sigma Level} &= \text{normsin}^{-1} \frac{1.000.000 - DPMO}{1.000.000} + 1,5 \\
 \text{Sigma Level} &= \text{normsin}^{-1} \frac{1.000.000 - 50.000}{1.000.000} + 1,5 \\
 &= 1,6448536 + 1,5 \\
 &= 3,1448536
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan Sigma timbulan sampah plastik tahun 2025 menggunakan persamaan 2.5.

$$\begin{aligned}
 \text{Sigma Level} &= \text{normsin}^{-1} \frac{1.000.000 - DPMO}{1.000.000} + 1,5 \\
 \text{Sigma Level} &= \text{normsin}^{-1} \frac{1.000.000 - 83.333}{1.000.000} + 1,5 \\
 &= 1,3829963 + 1,5
 \end{aligned}$$

$$= 2,8829963$$

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Nilai Sigma Timbunan Sampah Plastik

Tahun	DPMO	Nilai Sigma
2024	50	3,14
2025	83.333	2,88

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.10 menunjukkan nilai sigma pada variabel timbunan sampah plastik mengalami penurunan dari 3,14 pada tahun 2024 menjadi 2,88 pada tahun 2025. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa proses pengendalian timbunan sampah plastik mengalami penurunan dibandingkan tahun sebelumnya. Nilai sigma sebesar 2,88 pada tahun 2025 menunjukkan bahwa proses pengendalian timbunan sampah plastik belum berada pada kondisi yang baik karena masih menghasilkan variasi proses yang relatif tinggi dan di bawah standar industri Indonesia.

Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa upaya pengendalian timbunan sampah plastik selama operasional kapal belum berjalan secara konsisten sehingga masih terdapat peluang terjadinya *Defect* yang cukup besar. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab meningkatnya timbunan sampah plastik serta menyusun usulan perbaikan yang dapat meningkatkan kapabilitas proses pada periode berikutnya.

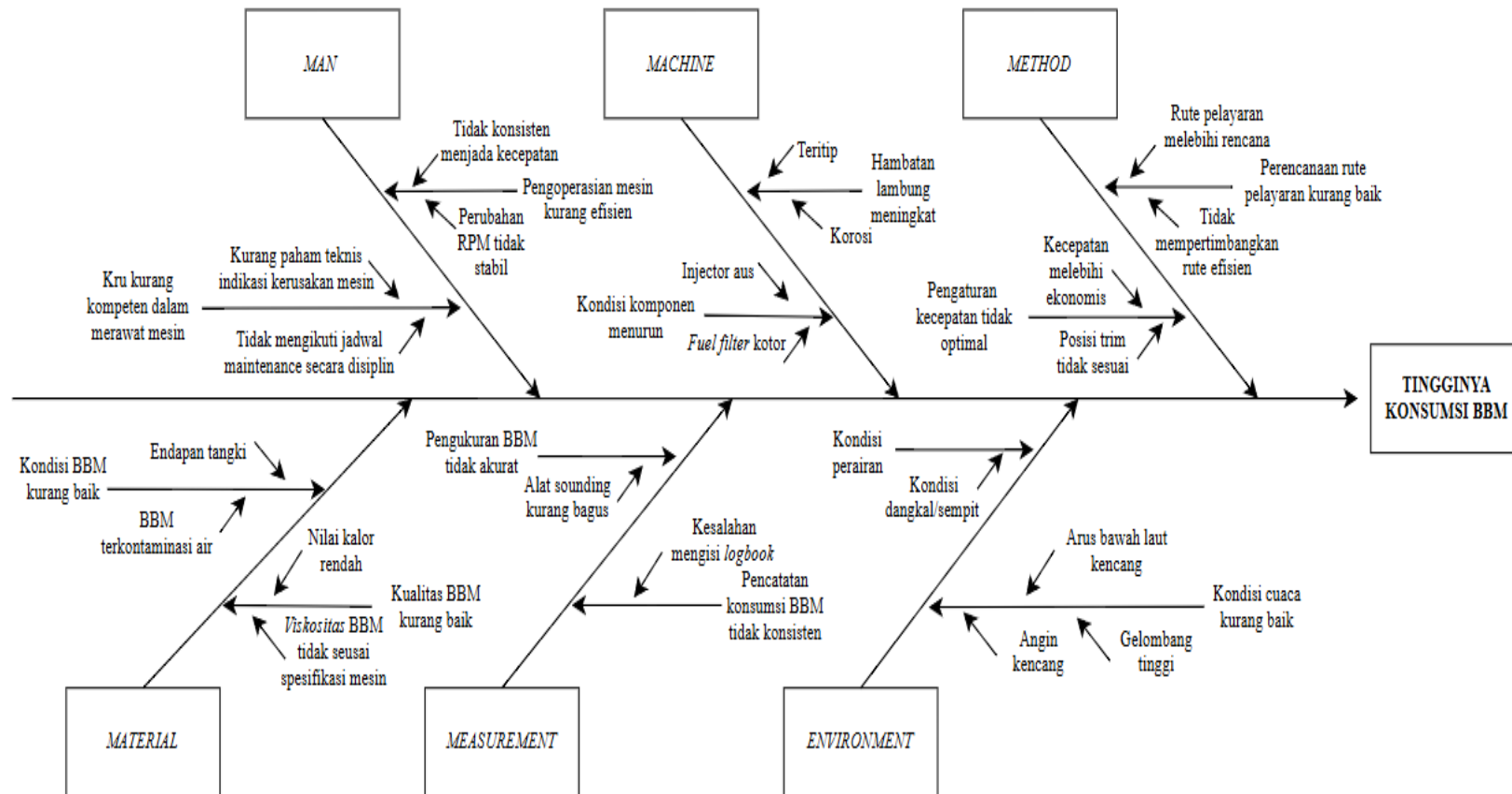
4.4 Tahap *Analyze*

Setelah memperoleh nilai sigma pada tahap Measure, tahap selanjutnya adalah Analyze. Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap akar penyebab yang memengaruhi tingginya konsumsi BBM dan timbunan sampah plastik pada operasional kapal.

4.4.1 *Fishbone* Diagram Tingginya Konsumsi BBM

Fishbone Diagram digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab tingginya konsumsi BBM kapal yang berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon selama operasional pelayaran. Berdasarkan

hasil analisis, faktor-faktor penyebab tersebut dikelompokkan ke dalam enam kategori, yaitu *Man*, *Method*, *Machine*, *Material*, *Measurement*, dan *Environment*. Analisis ini menggunakan hasil wawancara dengan lima *expert judgement* pada Lampiran 13. Berikut merupakan Diagram *Fishbone* yang disusun berdasarkan hasil wawancara tersebut.



Gambar 4. 5 Fishbone Diagram Tingginya Konsumsi BBM

Sumber: Hasil Wawancara, 2026

A. *Man*

Man merupakan faktor yang berkaitan dengan sumber daya manusia yang terlibat dalam operasional kapal, khususnya kru kapal yang bertanggung jawab terhadap pengoperasian mesin dan pemantauan konsumsi BBM. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgement*, faktor manusia menjadi salah satu penyebab tingginya konsumsi BBM kapal. Beberapa penyebab yang termasuk dalam faktor *man* adalah sebagai berikut:

1. Pengoperasian Mesin Kurang Efisien

Pengoperasian mesin yang kurang efisien dapat menyebabkan konsumsi BBM melebihi kondisi normal. Kondisi ini dipengaruhi oleh perubahan RPM yang tidak stabil serta ketidakkonsistenan dalam menjaga kecepatan kapal selama pelayaran. Pengoperasian mesin yang tidak sesuai dengan kondisi operasional yang ideal menyebabkan kebutuhan bahan bakar meningkat sehingga efisiensi penggunaan BBM menjadi menurun.

2. Kru Kurang Kompeten dalam Merawat Mesin

Kompetensi kru yang kurang memadai dalam melakukan perawatan mesin dapat menyebabkan performa mesin tidak optimal. Kondisi ini dipengaruhi oleh kurangnya pemahaman teknis mengenai indikator kerusakan mesin serta ketidakdisiplinan dalam mengikuti jadwal *maintenance*. Akibatnya, potensi kerusakan atau penurunan performa mesin tidak dapat terdeteksi dan ditangani secara tepat waktu.

B. *Machine*

Machine merupakan faktor yang berkaitan dengan kondisi dan kinerja mesin kapal yang digunakan selama operasional pelayaran. Berdasarkan hasil wawancara *expert judgement*, faktor mesin menjadi salah satu penyebab utama tingginya konsumsi BBM kapal. Beberapa penyebab yang termasuk dalam faktor *machine* adalah sebagai berikut:

1. Kondisi Komponen Menurun

Penurunan kondisi komponen mesin dapat menyebabkan proses pembakaran dan kinerja mesin menjadi kurang optimal. Kondisi ini dipengaruhi oleh *injector* yang mengalami keausan serta *fuel filter* yang kotor sehingga aliran bahan bakar menjadi kurang lancar. Akibatnya, mesin memerlukan konsumsi BBM yang lebih besar untuk menghasilkan performa yang sama.

2. Hambatan Lambung Meningkat

Hambatan lambung kapal yang meningkat dapat menyebabkan kebutuhan tenaga mesin menjadi lebih besar. Kondisi ini dipengaruhi oleh adanya teritip dan korosi pada permukaan lambung kapal yang meningkatkan gesekan dengan air laut. Semakin besar hambatan yang terjadi, semakin besar pula konsumsi BBM yang dibutuhkan untuk mempertahankan kecepatan kapal.

C. Method

Method merupakan faktor yang berkaitan dengan metode, prosedur, dan kebijakan operasional yang diterapkan selama pelayaran. Berdasarkan hasil wawancara *expert judgement*, beberapa metode operasional yang diterapkan perusahaan masih berpotensi meningkatkan konsumsi BBM kapal. Faktor-faktor tersebut antara lain sebagai berikut:

1. Pengaturan Kecepatan Tidak Optimal

Pengaturan kecepatan kapal yang tidak optimal dapat meningkatkan konsumsi BBM selama pelayaran. Kondisi ini dipengaruhi oleh kecepatan kapal yang melebihi kecepatan ekonomis serta posisi *trim* kapal yang tidak sesuai. Akibatnya, mesin harus bekerja lebih keras untuk mempertahankan performa kapal sehingga konsumsi BBM meningkat.

2. Perencanaan Rute Pelayaran Kurang Baik

Perencanaan rute pelayaran yang kurang baik dapat menyebabkan penggunaan BBM menjadi tidak efisien. Kondisi ini dipengaruhi

oleh pemilihan rute yang tidak mempertimbangkan jalur paling efisien serta pelayaran yang menempuh rute lebih panjang dari yang direncanakan. Akibatnya, jarak tempuh dan waktu pelayaran meningkat sehingga kebutuhan BBM menjadi lebih besar.

D. *Material*

Material merupakan faktor yang berkaitan dengan kualitas dan kondisi bahan bakar yang digunakan selama operasional kapal. Berdasarkan hasil wawancara *expert judgement*, kualitas BBM yang kurang baik dapat memengaruhi efisiensi pembakaran dan meningkatkan konsumsi bahan bakar. Beberapa penyebab yang termasuk dalam faktor *material* adalah sebagai berikut:

1. Kondisi BBM Kurang Baik

Kondisi BBM yang kurang baik dapat menyebabkan proses pembakaran di dalam mesin menjadi tidak optimal. Kondisi ini dipengaruhi oleh adanya kontaminasi air pada BBM serta endapan yang terbentuk di dalam tangki penyimpanan bahan bakar. Akibatnya, efisiensi pembakaran menurun dan konsumsi BBM menjadi lebih tinggi.

2. Kualitas BBM Kurang Baik

Kualitas BBM yang tidak sesuai spesifikasi mesin dapat menyebabkan performa mesin menurun. Kondisi ini dipengaruhi oleh nilai kalor yang rendah dan viskositas BBM yang tidak sesuai dengan kebutuhan mesin. Akibatnya, energi yang dihasilkan dari proses pembakaran menjadi kurang optimal sehingga penggunaan BBM meningkat.

E. *Measurement*

Measurement merupakan faktor yang berkaitan dengan proses pengukuran dan pencatatan konsumsi BBM kapal. Pengukuran yang tidak akurat dapat menyebabkan kesalahan dalam evaluasi penggunaan bahan bakar sehingga memengaruhi pengambilan keputusan perbaikan. Beberapa penyebab yang termasuk dalam faktor *measurement* adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran BBM Tidak Akurat

Pengukuran BBM yang tidak akurat dapat menyebabkan kesalahan dalam mengetahui jumlah konsumsi bahan bakar yang sebenarnya. Kondisi ini dipengaruhi oleh penggunaan alat *sounding* yang kurang baik sehingga hasil pengukuran volume BBM tidak menunjukkan kondisi aktual secara tepat.

2. Pencatatan Konsumsi BBM Kurang Detail

Pencatatan konsumsi BBM yang tidak konsisten dapat menghambat proses evaluasi penggunaan bahan bakar. Kondisi ini dipengaruhi oleh kesalahan dalam pengisian *logbook* sehingga data konsumsi BBM yang tercatat tidak selalu akurat dan lengkap. Akibatnya, perusahaan mengalami kesulitan dalam melakukan analisis efisiensi penggunaan BBM.

F. *Environment*

Environment merupakan faktor yang berasal dari kondisi lingkungan eksternal yang memengaruhi operasional kapal. Berdasarkan hasil wawancara *expert judgement*, kondisi lingkungan memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap konsumsi BBM kapal. Beberapa penyebab yang termasuk dalam faktor *environment* adalah sebagai berikut:

1. Kondisi Cuaca Kurang Baik

Kondisi cuaca yang kurang baik dapat meningkatkan beban kerja mesin kapal selama pelayaran. Kondisi ini dipengaruhi oleh angin kencang, arus bawah laut yang kuat, dan gelombang tinggi yang memberikan hambatan tambahan terhadap pergerakan kapal. Akibatnya, mesin membutuhkan tenaga lebih besar untuk mempertahankan kecepatan dan kestabilan kapal sehingga konsumsi BBM menjadi meningkat.

2. Kondisi Perairan

Kondisi perairan yang kurang mendukung dapat menyebabkan kapal memerlukan tenaga mesin yang lebih besar selama pelayaran. Kondisi ini dipengaruhi oleh jalur pelayaran yang

dangkal atau sempit sehingga kapal harus melakukan penyesuaian manuver dan kecepatan yang berdampak pada peningkatan konsumsi BBM.

4.4.2 Skala Penilaian CVI (*Content Validity Index*) Tingginya Konsumsi BBM

Setelah faktor-faktor penyebab tingginya konsumsi BBM berhasil diidentifikasi melalui wawancara dan dianalisis menggunakan Fishbone Diagram, selanjutnya dilakukan validasi yang dilakukan oleh lima orang *expert* untuk mengetahui tingkat kesesuaian setiap faktor penyebab dengan kondisi operasional perusahaan yang ditunjukkan pada Lampiran 15. Penilaian CVI menggunakan empat kategori skala, yaitu

- nilai 1 = tidak relevan
- nilai 2 = kurang relevan
- nilai 3 = relevan
- nilai 4 = sangat relevan.

Berdasarkan hasil konversi tersebut, selanjutnya dilakukan perhitungan I-CVI untuk mengetahui tingkat kesepakatan *expert* terhadap setiap faktor penyebab. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 2.6.

$$I-CVI = \frac{\text{agreed item}}{\text{number of expert}}$$

$$I-CVI = \frac{5}{5}$$

$$I-CVI = 1$$

Setelah seluruh nilai I-CVI diperoleh, selanjutnya dihitung *Scale-Level Content Validity Index Average* (S-CVI/Ave) untuk mengetahui tingkat validitas keseluruhan faktor penyebab berdasarkan rata-rata nilai I-CVI. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 2.7.

$$S-CVI/Ave = \frac{\text{sum of I-CVI scores}}{\text{number of item}}$$

$$S-CVI/Ave = \frac{12}{12}$$

$$S-CVI/Ave = 1$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan *Scale-Level Content Validity Index Universal Agreement* (S-CVI/UA) untuk mengetahui proporsi faktor penyebab yang memperoleh kesepakatan penuh dari seluruh *expert*. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 2.8.

$$S-CVI/UA = \frac{\text{sum of UA scores}}{\text{number of item}}$$

$$S-CVI/UA = \frac{12}{12}$$

$$S-CVI/UA = 1$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai I-CVI sebesar 1,00 untuk seluruh penyebab, dan nilai S-CVI/Ave dan S-CVI/UA masing-masing sebesar 1,00. seluruh faktor akar penyebab memperoleh nilai yang memenuhi kriteria validitas isi. Hal ini menunjukkan bahwa faktor-faktor penyebab yang diperoleh dari hasil *fishbone diagram* dinilai relevan oleh lima *expert judgement*. Dengan demikian, faktor akar penyebab tersebut layak digunakan sebagai dasar analisis lanjutan pada tahap FMEA dan *risk matrix*. Validasi melalui CVI dinilai sesuai karena tujuan pengujian adalah memastikan relevansi isi dari faktor penyebab, bukan menguji konsistensi internal instrumen pengukuran. Hasil perhitungan I-CVI disajikan pada Tabel 4.11. Penjelasan pengisian CVI ada pada Lampiran 15.

Tabel 4. 11 CVI Tingginya Konsumsi BBM

Kuesioner	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Expert Agreement	I-CVI	UA
A1	1	1	1	1	1	5	1	1
A2	1	1	1	1	1	5	1	1
A3	1	1	1	1	1	5	1	1
A4	1	1	1	1	1	5	1	1
A5	1	1	1	1	1	5	1	1
A6	1	1	1	1	1	5	1	1
A7	1	1	1	1	1	5	1	1
A8	1	1	1	1	1	5	1	1
A9	1	1	1	1	1	5	1	1
A10	1	1	1	1	1	5	1	1
A11	1	1	1	1	1	5	1	1
A12	1	1	1	1	1	5	1	1
						S-CVI/Ave	1,00	
	1	1	1	1	1	S-CVI/UA		1,0
Proporsi relevansi: rata-rata proporsi item yang dinilai relevan oleh lima expert.						1		

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.11. menunjukkan hasil validasi faktor-faktor penyebab tingginya konsumsi BBM menggunakan metode Content Validity Index (CVI) yang dilakukan oleh lima orang *expert judgement*. Hasil penilaian menunjukkan bahwa seluruh item memperoleh nilai I-CVI sebesar 1,00, yang menandakan bahwa seluruh ahli menilai setiap faktor penyebab yang diidentifikasi telah relevan dan sesuai untuk digunakan dalam penelitian. Nilai tersebut menunjukkan bahwa masing-masing item memiliki tingkat validitas isi yang sangat baik sehingga layak digunakan pada tahap analisis berikutnya. Selain itu, nilai S-CVI/Ave sebesar 1,00 menunjukkan bahwa seluruh item yang terdapat dalam instrumen memiliki tingkat relevansi yang konsisten berdasarkan rata-rata penilaian para ahli dan nilai S-CVI/UA sebesar 1,00 menunjukkan adanya kesepakatan penuh antar ahli terhadap seluruh item yang dinilai.

4.4.3 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Tingginya Konsumsi BBM

Penilaian nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* dilakukan berdasarkan hasil kuesioner yang diisi oleh lima *expert judgement* yang terdapat pada Lampiran 16. Selanjutnya, nilai RPN dihitung menggunakan Persamaan 2.9 untuk menentukan prioritas risiko yang akan dianalisis lebih lanjut. Berikut merupakan contoh perhitungan nilai RPN pada salah satu penyebab yang diperoleh dari hasil analisis *Fishbone Diagram*.

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

$$RPN = (\text{Rata-rata } S) \times (\text{Rata-rata } O) \times (\text{Rata-rata } D)$$

$$RPN = 7,6 \times 5,8 \times 4$$

$$RPN = 176,32$$

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) Tingginya Konsumsi BBM

No	Penyebab	Rata-Rata			Hasil RPN
		S	O	D	
1	Pengoperasian mesin kurang efisien	7,6	5,8	4	176,32
2	Kru kurang kompeten dalam merawat mesin	6,2	5,6	4	138,88
3	Kondisi komponen menurun	8,2	7,8	4,2	268,63
4	Hambatan lambung meningkat	7,8	6,8	4,2	222,77
5	Pengaturan kecepatan tidak optimal	7,2	5,8	4	167,04

No	Penyebab	Rata-Rata			Hasil RPN
		S	O	D	
6	Perencanaan rute pelayaran kurang baik	7,2	6,8	4	195,84
7	Kondisi BBM kurang baik	7,2	5	4	144
8	Kualitas BBM kurang baik	8,8	6,8	4	239,36
9	Pengukuran BBM tidak akurat	5,8	4	4	92,8
10	Pencatatan konsumsi BBM tidak konsisten	5,2	4	4	83,2
11	Kondisi perairan	6,2	5	4	124
12	Kondisi cuaca kurang baik	8,2	5	4	164

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.12 menunjukkan hasil perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) berdasarkan kuesioner yang telah disebarkan kepada 5 *expert judgement*. Selanjutnya, dilakukan pemeringkatan menggunakan matriks risiko untuk menentukan tingkat prioritas dari setiap penyebab yang telah teridentifikasi. Pemeringkatan ini bertujuan untuk mengetahui permasalahan yang memiliki tingkat risiko tertinggi sehingga dapat menjadi fokus utama dalam penyusunan langkah mitigasi. Dengan demikian, dapat ditentukan penyebab yang paling prioritas untuk dilakukan tindakan perbaikan.

4.4.4 Matriks Risiko Tingginya Konsumsi BBM

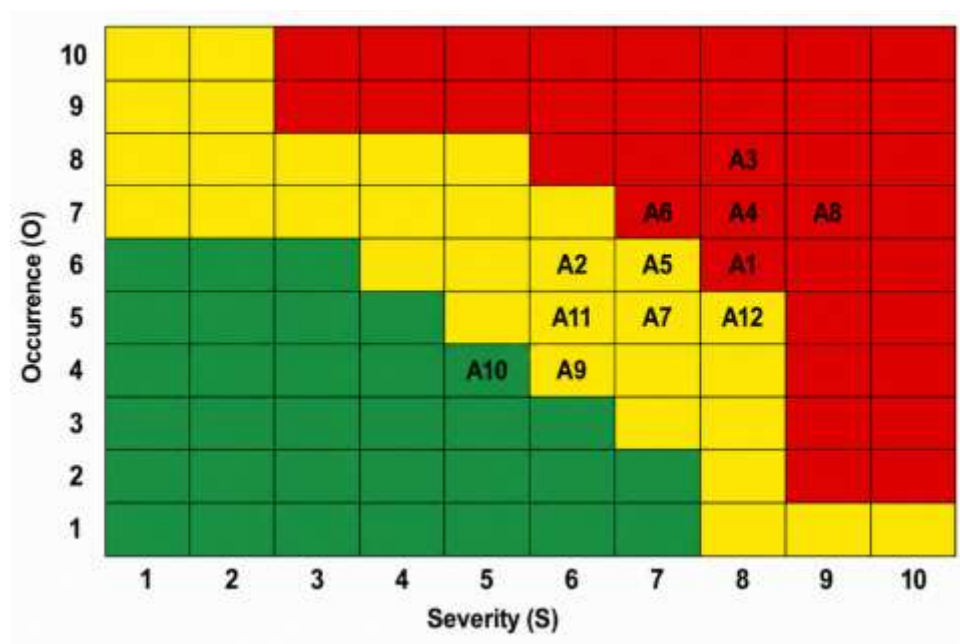
Matriks risiko digunakan untuk mengelompokkan dan memvisualisasikan tingkat risiko dari setiap penyebab tingginya konsumsi BBM yang telah teridentifikasi melalui analisis FMEA. Pemetaan risiko dilakukan berdasarkan nilai rata-rata *Severity* (S) dan *Occurrence* (O) untuk menentukan tingkat risiko masing-masing penyebab. *Risk Matrix* berfungsi sebagai alat bantu dalam menentukan prioritas penanganan risiko dengan mengelompokkan penyebab ke dalam kategori risiko rendah (*low risk*), risiko sedang (*medium risk*), dan risiko tinggi (*high risk*). Hasil pemetaan tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan penyebab yang menjadi prioritas utama untuk diberikan usulan perbaikan pada tahap *Improve*.

Tabel 4. 13 Kode Penyebab dan Nilai *Risk Priority Number* (RPN) Tingginya Konsumsi BBM

Kode	Penyebab	RPN
A1	Pengoperasian mesin kurang efisien	176,32
A2	Kru kurang kompeten dalam merawat mesin	138,88
A3	Kondisi komponen menurun	268,63
A4	Hambatan lambung meningkat	222,77
A5	Pengaturan kecepatan tidak optimal	167,04
A6	Perencanaan rute pelayaran kurang baik	195,84
A7	Kondisi BBM kurang baik	144
A8	Kualitas BBM kurang baik	239,36
A9	Pengukuran BBM tidak akurat	92,8
A10	Pencatatan konsumsi BBM tidak konsisten	83,2
A11	Kondisi perairan	124
A12	Kondisi cuaca kurang baik	164

Sumber, Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.13, setiap penyebab diberikan kode risiko untuk memudahkan proses pemetaan ke dalam matriks risiko. Pemberian kode tersebut bertujuan untuk menyederhanakan visualisasi dan identifikasi tingkat risiko pada masing-masing penyebab.



Gambar 4. 6 Matriks Risiko Tingginya Konsumsi BBM

Gambar 4.6 menunjukkan terdapat lima penyebab yang berada pada kategori risiko tinggi (*high risk*) yang ditandai dengan warna merah. Penyebab-penyebab tersebut menjadi prioritas utama untuk dilakukan perbaikan karena memiliki tingkat risiko yang lebih tinggi dibandingkan penyebab lainnya.

Tabel 4. 14 Pemeringkatan Nilai RPN Tingginya Konsumsi BBM

Kode	Penyebab	RPN	Peringkat
A3	Kondisi komponen menurun	268.63	1
A8	Kualitas BBM kurang baik	239.36	2
A4	Hambatan lambung meningkat	222.77	3
A6	Perencanaan rute pelayaran kurang baik	195.84	4
A1	Pengoperasian mesin kurang efisien	176.32	5

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.14, diperoleh lima penyebab dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi yang menjadi prioritas utama untuk dilakukan perbaikan. Oleh karena itu, kelima penyebab tersebut diprioritaskan untuk dilakukan analisis lebih lanjut dan penyusunan usulan perbaikan pada tahap *Improve* guna menurunkan tingkat konsumsi BBM kapal. Berdasarkan Tabel 4.14, penyebab dengan nilai tertinggi yaitu:

1. Kondisi Komponen Menurun

Hasil penilaian *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) menunjukkan bahwa kondisi komponen menurun (A3) memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi yaitu sebesar 268,63 sehingga menjadi prioritas utama untuk dilakukan perbaikan. Nilai RPN yang tinggi menunjukkan bahwa kondisi komponen mesin yang mengalami penurunan memberikan dampak yang signifikan terhadap tingginya konsumsi BBM pada operasional kapal. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgement*, kondisi ini umumnya disebabkan oleh komponen mesin yang mulai mengalami keausan, seperti *injector* yang tidak bekerja secara optimal dan *fuel filter* yang kotor sehingga menghambat proses pembakaran bahan bakar.

Kondisi komponen yang menurun dapat menyebabkan efisiensi pembakaran berkurang sehingga mesin membutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk menghasilkan tenaga yang sama. Selain itu, penurunan performa komponen juga meningkatkan beban kerja mesin yang berdampak pada meningkatnya konsumsi BBM selama pelayaran. Oleh karena itu, kondisi komponen menurun menjadi penyebab yang paling berpengaruh terhadap tingginya konsumsi BBM dan memerlukan perhatian khusus dalam penyusunan rekomendasi perbaikan.

2. Kualitas BBM Kurang Baik

Hasil penilaian FMEA menunjukkan bahwa kualitas BBM kurang baik (A8) memiliki nilai RPN sebesar 239,36 dan berada pada peringkat kedua. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kualitas bahan bakar memiliki pengaruh yang besar terhadap tingkat konsumsi BBM kapal. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgement*, kualitas BBM yang kurang baik umumnya disebabkan oleh nilai kalor yang rendah dan viskositas bahan bakar yang tidak sesuai dengan spesifikasi mesin yang digunakan.

Kualitas BBM yang tidak sesuai dapat menyebabkan proses pembakaran di dalam mesin menjadi kurang efisien sehingga energi yang dihasilkan tidak optimal. Akibatnya, mesin memerlukan jumlah bahan bakar yang lebih banyak untuk menghasilkan tenaga yang dibutuhkan selama operasional kapal. Oleh karena itu, pengendalian kualitas BBM menjadi salah satu aspek penting dalam upaya meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar.

3. Hambatan Lambung Meningkat

Hasil penilaian FMEA menunjukkan bahwa hambatan lambung meningkat (A4) memiliki nilai RPN sebesar 222,77 dan menempati peringkat ketiga. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi lambung kapal memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap peningkatan konsumsi BBM. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert*

judgement, peningkatan hambatan lambung umumnya disebabkan oleh adanya teritip dan korosi pada bagian bawah kapal.

Keberadaan teritip dan korosi menyebabkan permukaan lambung menjadi lebih kasar sehingga meningkatkan gesekan antara kapal dan air laut. Kondisi tersebut membuat mesin harus bekerja lebih keras untuk mempertahankan kecepatan kapal sehingga konsumsi BBM menjadi lebih tinggi. Oleh karena itu, pemeliharaan kondisi lambung kapal secara berkala menjadi salah satu langkah yang diperlukan untuk menjaga efisiensi penggunaan bahan bakar.

4. Perencanaan Rute Pelayaran Kurang Baik

Hasil penilaian FMEA menunjukkan bahwa perencanaan rute pelayaran kurang baik (A6) memiliki nilai RPN sebesar 195,84 dan berada pada peringkat keempat. Nilai tersebut menunjukkan bahwa perencanaan rute pelayaran memiliki pengaruh terhadap tingkat konsumsi BBM selama operasional kapal. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgement*, kondisi ini umumnya disebabkan oleh pemilihan rute yang kurang efisien dan rute pelayaran yang melebihi perencanaan awal.

Perencanaan rute yang kurang optimal dapat menyebabkan jarak tempuh dan waktu pelayaran menjadi lebih panjang sehingga kebutuhan bahan bakar meningkat. Selain itu, kurangnya pertimbangan terhadap kondisi cuaca dan karakteristik perairan juga dapat menyebabkan penggunaan BBM menjadi tidak efisien. Oleh karena itu, perencanaan rute pelayaran yang tepat menjadi salah satu faktor penting dalam pengendalian konsumsi BBM.

5. Pengoperasian Mesin Kurang Efisien

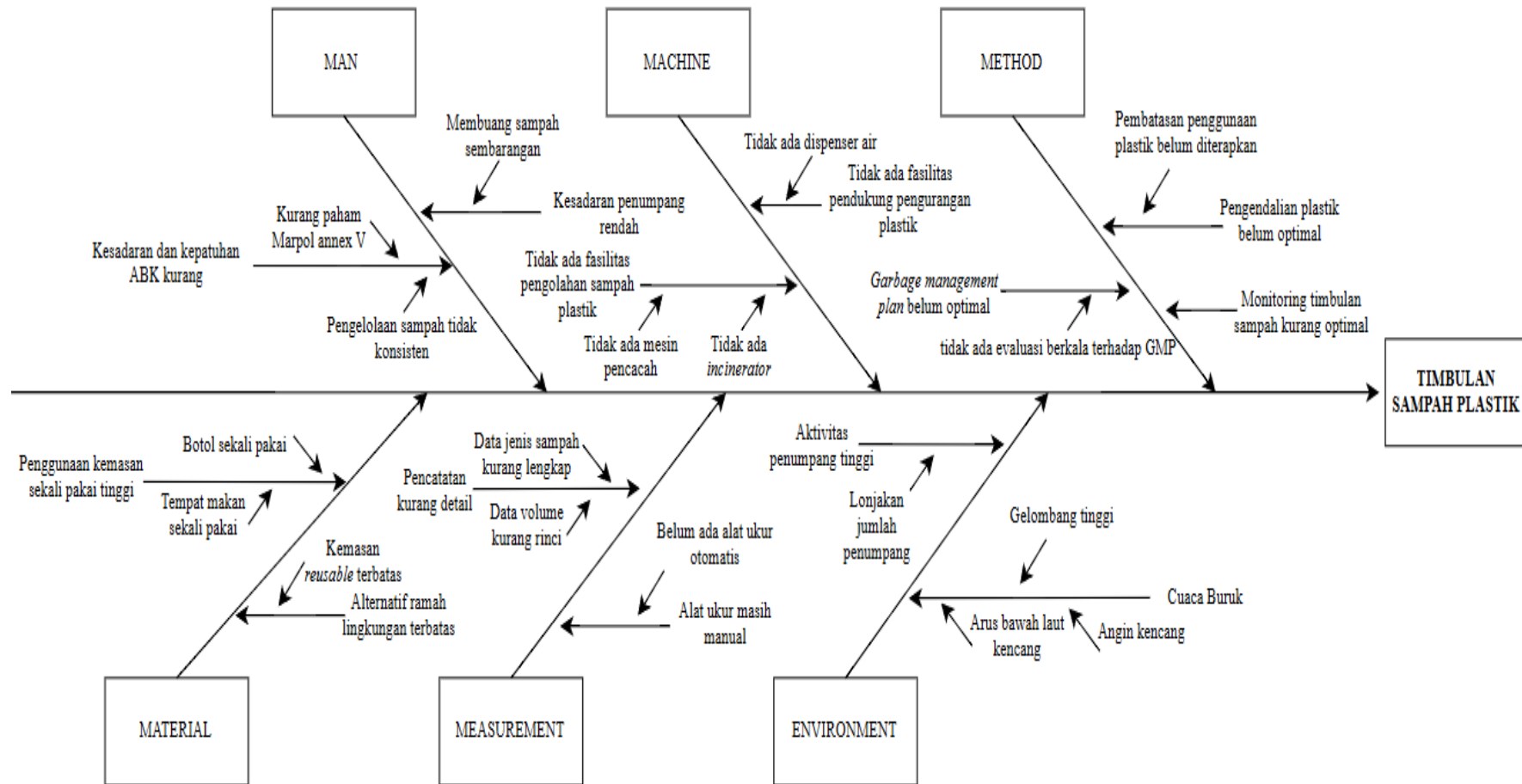
Hasil penilaian FMEA menunjukkan bahwa pengoperasian mesin kurang efisien (A1) memiliki nilai RPN sebesar 176,32 dan berada pada peringkat kelima. Nilai tersebut menunjukkan bahwa cara pengoperasian mesin turut memengaruhi tingkat konsumsi BBM kapal. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgement*, kondisi ini

umumnya disebabkan oleh perubahan RPM yang tidak stabil dan ketidakkonsistenan dalam menjaga kecepatan kapal selama pelayaran.

Pengoperasian mesin yang tidak efisien dapat menyebabkan penggunaan tenaga mesin yang berlebihan sehingga konsumsi BBM meningkat. Selain itu, pengaturan operasional yang kurang optimal juga dapat mempercepat penurunan performa mesin dalam jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukan pengawasan dan pengendalian terhadap parameter operasional mesin agar penggunaan BBM dapat lebih efisien.

4.4.5 *Fishbone* Diagram Timbulan Sampah Plastik

Fishbone Diagram atau Diagram Tulang Ikan digunakan untuk mengidentifikasi berbagai penyebab yang berkontribusi terhadap tingginya timbulan sampah plastik pada operasional kapal. Identifikasi penyebab dilakukan berdasarkan hasil wawancara dengan *expert* serta pengamatan terhadap aktivitas operasional yang berpotensi menghasilkan sampah plastik. Analisis ini menggunakan hasil wawancara dengan lima *expert judgement* yang telah disajikan pada Lampiran 18. Berikut merupakan Diagram *Fishbone* yang disusun berdasarkan hasil wawancara tersebut.



Gambar 4. 7 Fishbone Diagram Timbulan Sampah Plastik

Sumber: Hasil Wawancara, 2026

A. *Man*

Man merupakan faktor yang berkaitan dengan sumber daya manusia yang terlibat dalam kegiatan operasional kapal. Dalam penelitian ini, faktor manusia berperan penting terhadap timbulan sampah plastik karena berkaitan dengan perilaku dan kepatuhan kru dalam pengelolaan sampah selama pelayaran. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgment*, faktor manusia menjadi salah satu penyebab tingginya timbulan sampah plastik di kapal. Beberapa penyebab yang termasuk dalam faktor *man* adalah sebagai berikut:

1. Kesadaran dan Kepatuhan ABK Kurang

Kesadaran dan kepatuhan ABK yang rendah terhadap pengelolaan sampah menjadi salah satu penyebab meningkatnya timbulan sampah plastik. Kondisi ini dipengaruhi oleh kurangnya pemahaman ABK terhadap ketentuan MARPOL Annex V yang mengatur pengelolaan sampah di kapal. Selain itu, pengelolaan sampah yang belum dilakukan secara konsisten menyebabkan proses pemilahan dan pengurangan sampah plastik tidak berjalan secara optimal.

2. Kesadaran Penumpang Rendah

Kesadaran penumpang yang rendah terhadap pentingnya menjaga kebersihan lingkungan kapal turut berkontribusi terhadap peningkatan timbulan sampah plastik. Kondisi ini terlihat dari masih adanya kebiasaan membuang sampah sembarangan serta rendahnya partisipasi penumpang dalam mendukung program pengurangan sampah plastik selama pelayaran.

B. *Machine*

Machine merupakan faktor yang berkaitan dengan fasilitas dan sarana pendukung yang digunakan dalam pengelolaan sampah plastik di kapal. Ketersediaan fasilitas yang memadai sangat berpengaruh terhadap keberhasilan program pengurangan sampah plastik. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgment*, beberapa

penyebab yang termasuk dalam faktor *machine* adalah sebagai berikut:

1. Tidak Ada Fasilitas Pengolahan Sampah Plastik

Ketiadaan fasilitas pengolahan sampah plastik menyebabkan sampah yang dihasilkan selama pelayaran tidak dapat dikelola secara optimal. Kondisi ini dipengaruhi oleh tidak tersedianya mesin pencacah yang dapat digunakan untuk mengurangi volume sampah plastik serta tidak adanya *incinerator* yang dapat dimanfaatkan sebagai sarana pengolahan sampah sesuai ketentuan yang berlaku. Akibatnya, sampah plastik harus disimpan hingga kapal bersandar dan berpotensi menyebabkan penumpukan sampah selama pelayaran.

2. Tidak Ada Fasilitas Pendukung Pengurangan Plastik

Kurangnya fasilitas pendukung pengurangan plastik turut berkontribusi terhadap tingginya timbunan sampah plastik. Salah satu penyebabnya adalah tidak tersedianya dispenser air minum yang dapat digunakan sebagai alternatif untuk mengurangi penggunaan botol plastik sekali pakai. Kondisi ini menyebabkan kru maupun penumpang masih bergantung pada kemasan plastik sekali pakai selama pelayaran.

C. *Method*

Method merupakan faktor yang berkaitan dengan metode, prosedur, dan sistem pengelolaan sampah plastik yang diterapkan oleh perusahaan. Metode yang kurang efektif dapat menyebabkan upaya pengurangan sampah plastik tidak berjalan secara optimal. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgment*, beberapa penyebab yang termasuk dalam faktor *method* adalah sebagai berikut:

1. *Garbage Management Plan* Belum Optimal

Pelaksanaan *Garbage Management Plan* (GMP) yang belum optimal menyebabkan program pengelolaan sampah belum berjalan secara efektif. Kondisi ini dipengaruhi oleh belum adanya evaluasi berkala terhadap pelaksanaan GMP sehingga perusahaan

mengalami kesulitan dalam mengidentifikasi kekurangan dan melakukan perbaikan secara berkelanjutan.

2. Monitoring Timbulan Sampah Kurang Optimal

Monitoring timbulan sampah yang kurang optimal menyebabkan peningkatan jumlah sampah plastik tidak dapat diketahui secara cepat. Kondisi ini menghambat proses evaluasi terhadap efektivitas program pengurangan sampah plastik yang telah diterapkan sehingga tindakan perbaikan tidak dapat dilakukan secara tepat waktu.

3. Pengendalian Plastik Belum Optimal

Pengendalian penggunaan plastik yang belum optimal menyebabkan upaya pengurangan sampah plastik belum berjalan secara maksimal. Hal ini dipengaruhi oleh belum diterapkannya pembatasan penggunaan plastik sekali pakai secara menyeluruh serta monitoring timbulan sampah yang masih kurang optimal. Akibatnya, penggunaan plastik sekali pakai masih cukup tinggi selama operasional kapal.

D. Material

Material merupakan faktor yang berkaitan dengan jenis material atau bahan yang digunakan selama operasional kapal. Penggunaan material berbahan plastik secara berlebihan akan berdampak langsung terhadap peningkatan timbulan sampah plastik. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgment*, beberapa penyebab yang termasuk dalam faktor *material* adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan Kemasan Sekali Pakai Tinggi

Penggunaan kemasan sekali pakai yang tinggi menjadi salah satu penyumbang utama timbulan sampah plastik di kapal. Kondisi ini ditunjukkan dengan penggunaan botol minuman sekali pakai dan tempat makan sekali pakai yang masih dominan selama operasional kapal. Setelah digunakan, kemasan tersebut langsung menjadi limbah sehingga volume sampah plastik terus meningkat.

2. Alternatif Ramah Lingkungan Terbatas

Keterbatasan alternatif ramah lingkungan menyebabkan penggunaan produk berbahan plastik masih sulit dikurangi. Kondisi ini ditunjukkan dengan terbatasnya penggunaan kemasan *reusable* atau produk yang dapat digunakan kembali. Akibatnya, pengguna kapal masih bergantung pada produk sekali pakai yang menghasilkan lebih banyak sampah plastik.

E. *Measurement*

Measurement merupakan faktor yang berkaitan dengan proses pencatatan dan pengukuran timbulan sampah plastik. Data yang akurat diperlukan untuk mengetahui jumlah sampah yang dihasilkan serta mengevaluasi efektivitas program pengurangan sampah plastik. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgment*, beberapa penyebab yang termasuk dalam faktor *measurement* adalah sebagai berikut:

1. Pencatatan Kurang Detail

Pencatatan timbulan sampah yang kurang detail dapat menyebabkan informasi mengenai jenis dan jumlah sampah plastik yang dihasilkan tidak terdokumentasi dengan baik. Kondisi ini ditunjukkan dengan data jenis sampah yang kurang lengkap serta data volume sampah yang kurang rinci. Akibatnya, proses evaluasi dan pengambilan keputusan menjadi kurang optimal.

2. Alat Ukur Masih Manual

Pengukuran timbulan sampah yang masih dilakukan secara manual menyebabkan data yang diperoleh berpotensi kurang akurat dan membutuhkan waktu lebih lama dalam proses pencatatan. Kondisi ini terjadi karena belum tersedianya alat ukur otomatis yang dapat membantu proses pengukuran volume atau berat sampah secara lebih efektif dan konsisten.

F. *Environment*

Environment merupakan faktor yang berkaitan dengan kondisi lingkungan operasional yang memengaruhi jumlah timbulan sampah

plastik di kapal. Faktor lingkungan dapat menyebabkan peningkatan penggunaan produk berbahan plastik selama pelayaran. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgment*, beberapa penyebab yang termasuk dalam faktor *environment* adalah sebagai berikut:

1. Aktivitas Penumpang Tinggi

Aktivitas penumpang yang tinggi, terutama pada periode *peak season*, dapat meningkatkan jumlah sampah plastik yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah penumpang yang menggunakan fasilitas kapal, maka semakin besar pula kebutuhan konsumsi makanan, minuman, dan produk lainnya yang umumnya menggunakan kemasan plastik.

2. Cuaca Buruk

Cuaca buruk dapat memengaruhi operasional kapal dan proses pengelolaan sampah selama pelayaran. Kondisi ini dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti angin kencang, arus bawah laut yang kuat, dan gelombang tinggi. Cuaca yang tidak mendukung dapat menyebabkan keterlambatan sandar kapal sehingga proses pemindahan dan pengelolaan sampah di fasilitas darat menjadi tertunda. Akibatnya, sampah plastik yang dihasilkan selama pelayaran berpotensi menumpuk di atas kapal.

4.4.6 Skala Penilaian CVI (*Content Validity Index*) Timbulan Sampah Plastik

Setelah faktor-faktor penyebab timbulan sampah plastik berhasil diidentifikasi melalui wawancara dan dianalisis menggunakan *Fishbone Diagram*, selanjutnya dilakukan validasi yang dilakukan oleh lima orang *expert* untuk mengetahui tingkat kesesuaian setiap faktor penyebab dengan kondisi operasional perusahaan yang ditunjukkan pada Lampiran 20. Penilaian CVI menggunakan empat kategori skala, yaitu

nilai 1 = tidak relevan

nilai 2 = kurang relevan

nilai 3 = relevan

nilai 4 = sangat relevan.

Berdasarkan hasil konversi tersebut, selanjutnya dilakukan perhitungan I-CVI untuk mengetahui tingkat kesepakatan *expert* terhadap setiap faktor penyebab. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 2.6.

$$I-CVI = \frac{\text{agreed item}}{\text{number of expert}}$$

$$I-CVI = \frac{5}{5}$$

$$I-CVI = 1$$

Setelah seluruh nilai I-CVI diperoleh, selanjutnya dihitung *Scale-Level Content Validity Index Average* (S-CVI/Ave) untuk mengetahui tingkat validitas keseluruhan faktor penyebab berdasarkan rata-rata nilai I-CVI. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 2.7.

$$S-CVI/Ave = \frac{\text{sum of I-CVI scores}}{\text{number of item}}$$

$$S-CVI/Ave = \frac{12}{12}$$

$$S-CVI/Ave = 1$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan *Scale-Level Content Validity Index Universal Agreement* (S-CVI/UA) untuk mengetahui proporsi faktor penyebab yang memperoleh kesepakatan penuh dari seluruh *expert*. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 2.8.

$$S-CVI/UA = \frac{\text{sum of UA scores}}{\text{number of item}}$$

$$S-CVI/UA = \frac{12}{12}$$

$$S-CVI/UA = 1$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai I-CVI sebesar 1,00 untuk seluruh penyebab, sedangkan nilai S-CVI/Ave dan S-CVI/UA masing-masing sebesar 1,00. Hasil perhitungan I-CVI disajikan pada Tabel 4.15. Penjelasan pengisian CVI ada pada Lampiran 20.

Tabel 4. 15 CVI Timbulan Sampah Plastik

Kuesioner	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Expert Agreement	I-CVI	UA
A1	1	1	1	1	1	5	1	1
A2	1	1	1	1	1	5	1	1
A3	1	1	1	1	1	5	1	1
A4	1	1	1	1	1	5	1	1
A5	1	1	1	1	1	5	1	1
A6	1	1	1	1	1	5	1	1
A7	1	1	1	1	1	5	1	1
A8	1	1	1	1	1	5	1	1
A9	1	1	1	1	1	5	1	1
A10	1	1	1	1	1	5	1	1
A11	1	1	1	1	1	5	1	1
A12	1	1	1	1	1	5	1	1
A13	1	1	1	1	1	5	1	1
						S-CVI/Ave	1,00	
	1	1	1	1	1	S-CVI/UA		1,0
Proporsi relevansi: rata-rata proporsi item yang dinilai relevan oleh lima expert.						1		

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.15 menunjukkan hasil validasi faktor-faktor penyebab timbulan sampah plastik menggunakan metode *Content Validity Index* (CVI) yang dilakukan oleh lima orang *expert judgement*. Hasil penilaian menunjukkan bahwa seluruh item memperoleh nilai I-CVI sebesar 1,00, yang menunjukkan bahwa setiap faktor penyebab yang diidentifikasi dinilai relevan oleh seluruh ahli dan layak digunakan dalam penelitian. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa masing-masing item memiliki tingkat validitas isi yang sangat baik sehingga dapat digunakan untuk mewakili faktor-faktor penyebab timbulan sampah plastik. Selain itu, nilai S-CVI/Ave sebesar 1,00 menunjukkan bahwa seluruh item dalam instrumen memiliki tingkat relevansi yang konsisten berdasarkan rata-rata penilaian para ahli dan nilai S-CVI/UA sebesar 1,00 menunjukkan adanya kesepakatan penuh antar ahli terhadap seluruh item yang dinilai.

4.4.7 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Timbulan Sampah Plastik

Penilaian nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* dilakukan berdasarkan hasil kuesioner yang diisi oleh lima *expert judgement* yang terdapat pada Lampiran 21. Selanjutnya, nilai RPN dihitung menggunakan Persamaan 2.9 untuk menentukan prioritas risiko yang akan dianalisis lebih lanjut. Berikut merupakan contoh perhitungan nilai RPN pada salah satu penyebab yang diperoleh dari hasil analisis *Fishbone Diagram*.

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

$$RPN = (\text{Rata-rata } S) \times (\text{Rata-rata } O) \times (\text{Rata-rata } D)$$

$$RPN = 7,6 \times 6,8 \times 4$$

$$RPN = 206,72$$

Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) Timbulan Sampah Plastik

No	Penyebab	Rata-Rata			Hasil RPN
		S	O	D	
1	Kesadaran dan kepatuhan ABK kurang	7,6	6,8	4	206,72
2	Kesadaran penumpang rendah	7,2	5,2	4	149,76
3	Tidak ada fasilitas pengolahan sampah plastik	7,4	5,8	4	171,68
4	Tidak ada fasilitas pendukung pengurangan plastik	9	9	2,8	226,8
5	<i>Garbage Management Plan</i> belum optimal	8,4	7,2	4	241,92

No	Penyebab	Rata-Rata			Hasil RPN
		S	O	D	
6	Pengendalian plastik belum optimal	7,8	6,8	4	212,16
7	Monitoring timbunan sampah kurang optimal	6,8	5,2	4	141,44
8	Penggunaan kemasan sekali pakai tinggi	8,8	7,6	4	267,52
9	Alternatif ramah lingkungan terbatas	7,2	5,2	4	149,76
10	Pencatatan kurang detail	5,8	4	4	92,8
11	Alat ukur masih manual	6,2	4,2	4	104,16
12	Aktivitas penumpang tinggi	7,2	5,2	4	149,76
13	Cuaca buruk	6,2	4,2	4	104,16

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.16 menunjukkan hasil perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) berdasarkan kuesioner yang telah disebarkan kepada 5 *expert judgement*. Selanjutnya, dilakukan pemeringkatan menggunakan matriks risiko untuk menentukan tingkat prioritas dari setiap penyebab yang telah teridentifikasi. Pemeringkatan ini bertujuan untuk mengetahui permasalahan yang memiliki tingkat risiko tertinggi sehingga dapat menjadi fokus utama dalam penyusunan langkah mitigasi. Dengan demikian, dapat ditentukan penyebab yang paling prioritas untuk dilakukan tindakan perbaikan.

4.4.8 Matriks Risiko Timbunan Sampah Plastik

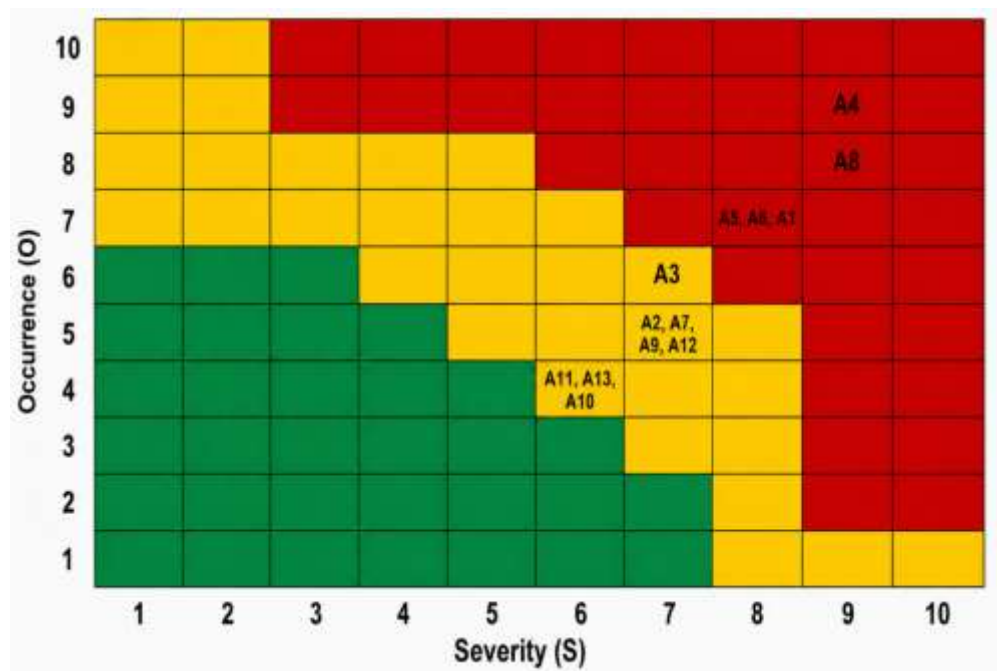
Matriks risiko digunakan untuk mengelompokkan dan memvisualisasikan tingkat risiko dari setiap penyebab tingginya timbunan sampah plastik yang telah teridentifikasi melalui analisis FMEA. Pemetaan risiko dilakukan berdasarkan nilai rata-rata *Severity* (S) dan *Occurrence* (O) untuk menentukan tingkat risiko masing-masing penyebab. *Risk Matrix* berfungsi sebagai alat bantu dalam menentukan prioritas penanganan risiko dengan mengelompokkan penyebab ke dalam kategori risiko rendah (*low risk*), risiko sedang (*medium risk*), dan risiko tinggi (*high risk*). Hasil pemetaan tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan penyebab yang menjadi prioritas utama untuk diberikan usulan perbaikan pada tahap *Improve* guna mengurangi timbunan sampah plastik.

Tabel 4. 17 Kode Penyebab dan Nilai *Risk Priority Number* (RPN) Timbulan Sampah Plastik

Kode	Penyebab	RPN
A1	Kesadaran dan kepatuhan ABK kurang	206,72
A2	Kesadaran penumpang rendah	149,76
A3	Tidak ada fasilitas pengolahan sampah plastik	171,68
A4	Tidak ada fasilitas pendukung pengurangan plastik	226,8
A5	<i>Garbage Management Plan</i> belum optimal	241,92
A6	Pengendalian plastik belum optimal	212,16
A7	Monitoring timbulan sampah kurang optimal	141,44
A8	Penggunaan kemasan sekali pakai tinggi	267,52
A9	Alternatif ramah lingkungan terbatas	149,76
A10	Pencatatan kurang detail	92,8
A11	Alat ukur masih manual	104,16
A12	Aktivitas penumpang tinggi	149,76
A13	Cuaca buruk	104,16

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.17 menunjukkan setiap penyebab diberikan kode risiko untuk memudahkan proses pemetaan ke dalam matriks risiko. Pemberian kode tersebut bertujuan untuk menyederhanakan visualisasi dan identifikasi tingkat risiko pada masing-masing penyebab.



Gambar 4. 8 Matriks Risiko Timbulan Sampah Plastik

Pada Gambar 4.8 dapat diamati bahwa dari total 13 penyebab yang telah teridentifikasi, terdapat lima penyebab yang berada pada kategori risiko tinggi (*high risk*) yang ditandai dengan warna merah. Penyebab-penyebab tersebut menjadi prioritas utama untuk dilakukan perbaikan karena memiliki tingkat risiko yang lebih tinggi dibandingkan penyebab lainnya.

Tabel 4. 18 Pemeringkatan Nilai RPN Timbulan Sampah Plastik

Kode	Penyebab	RPN	Peringkat
A8	Penggunaan kemasan sekali pakai tinggi	267,52	1
A5	<i>Garbage Management Plan</i> belum optimal	241,92	2
A4	Tidak ada fasilitas pendukung pengurangan plastik	226,8	3
A6	Pengendalian plastik belum optimal	212,16	4
A1	Kesadaran dan kepatuhan ABK kurang	206,72	5

Sumber: Pengolahan Data, 2026

Tabel 4.18, diperoleh lima penyebab dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi yang menjadi prioritas utama untuk dilakukan perbaikan. Oleh karena itu, kelima penyebab tersebut diprioritaskan untuk dilakukan analisis lebih lanjut dan penyusunan usulan perbaikan pada tahap *Improve* guna menurunkan tingkat konsumsi BBM kapal. Berdasarkan Tabel 4.13, penyebab dengan nilai tertinggi yaitu:

1. Penggunaan Kemasan Sekali Pakai Tinggi

Hasil penilaian *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) menunjukkan bahwa penggunaan kemasan sekali pakai tinggi (A8) memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi yaitu sebesar 267,52 sehingga menjadi prioritas utama untuk dilakukan perbaikan. Nilai RPN yang tinggi menunjukkan bahwa penggunaan kemasan sekali pakai memiliki tingkat keparahan (*Severity*), frekuensi kejadian (*Occurrence*), dan tingkat deteksi (*Detection*) yang lebih tinggi dibandingkan penyebab lainnya. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgement*, kondisi ini umumnya terjadi akibat tingginya penggunaan botol minuman sekali pakai dan kemasan makanan sekali pakai selama operasional pelayaran.

Penggunaan kemasan sekali pakai secara terus-menerus menyebabkan peningkatan volume sampah plastik yang dihasilkan kapal. Selain sulit digunakan kembali, sebagian besar kemasan tersebut langsung menjadi limbah setelah digunakan sehingga memperbesar timbulan sampah plastik yang harus dikelola. Kondisi ini tidak hanya meningkatkan beban pengelolaan sampah di atas kapal, tetapi juga berpotensi menghambat upaya perusahaan dalam menerapkan operasional maritim yang berkelanjutan. Oleh karena itu, penggunaan kemasan sekali pakai tinggi menjadi salah satu penyebab yang paling berpengaruh terhadap timbulan sampah plastik dan memerlukan perhatian khusus dalam penyusunan rekomendasi perbaikan.

2. *Garbage Management Plan* Belum Optimal

Hasil penilaian *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) menunjukkan bahwa *Garbage Management Plan* belum optimal (A5) memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) sebesar 241,92 sehingga menjadi prioritas kedua untuk dilakukan perbaikan. Nilai RPN tersebut menunjukkan bahwa pelaksanaan *Garbage Management Plan* memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap timbulan sampah plastik di kapal. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgement*, kondisi ini disebabkan oleh belum optimalnya implementasi *Garbage Management Plan* serta belum adanya evaluasi berkala terhadap pelaksanaan program pengelolaan sampah yang telah ditetapkan.

Garbage Management Plan (GMP) merupakan pedoman pengelolaan sampah di kapal yang mengatur proses pengurangan, pengumpulan, pemilahan, penyimpanan, pencatatan, dan penyerahan sampah kepada fasilitas penerima di pelabuhan. GMP digunakan sebagai salah satu aspek yang diperhatikan pada variabel timbulan sampah plastik karena berkaitan dengan keteraturan pengelolaan sampah kapal.

Apabila pelaksanaannya tidak berjalan secara optimal, maka kegiatan pemilahan, pengurangan, penyimpanan, dan pengelolaan sampah menjadi kurang efektif. Kondisi tersebut dapat menyebabkan timbulan sampah plastik terus meningkat dan sulit dikendalikan. Oleh

karena itu, optimalisasi pelaksanaan *Garbage Management Plan* menjadi salah satu langkah penting dalam mendukung pengurangan timbulan sampah plastik di kapal.

3. Tidak Ada Fasilitas Pendukung Pengurangan Plastik

Hasil penilaian FMEA menunjukkan bahwa tidak adanya fasilitas pendukung pengurangan plastik (A4) memiliki nilai RPN sebesar 226,80 sehingga menjadi prioritas ketiga untuk dilakukan perbaikan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa ketersediaan fasilitas pendukung memiliki peran penting dalam upaya pengurangan timbulan sampah plastik. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgement*, kondisi ini disebabkan oleh belum tersedianya fasilitas yang dapat mendukung pengurangan penggunaan plastik, seperti dispenser air minum isi ulang dan sarana pendukung lainnya.

Keterbatasan fasilitas tersebut menyebabkan penggunaan produk plastik sekali pakai masih menjadi pilihan utama selama operasional pelayaran. Akibatnya, jumlah sampah plastik yang dihasilkan kapal menjadi lebih tinggi dan upaya pengurangan plastik sulit untuk diterapkan secara efektif. Oleh karena itu, penyediaan fasilitas pendukung pengurangan plastik diperlukan untuk mendukung program pengurangan sampah plastik secara berkelanjutan.

4. Pengendalian Plastik Belum Optimal

Hasil penilaian FMEA menunjukkan bahwa pengendalian plastik belum optimal (A6) memiliki nilai RPN sebesar 212,16 sehingga menjadi prioritas keempat untuk dilakukan perbaikan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pengendalian penggunaan plastik masih memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaan sampah di kapal. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgement*, kondisi ini disebabkan oleh belum diterapkannya pembatasan penggunaan plastik secara optimal dan belum adanya pengawasan yang konsisten terhadap penggunaan plastik selama operasional kapal.

Pengendalian plastik yang belum optimal menyebabkan penggunaan produk berbahan plastik tetap tinggi dan sulit dikurangi.

Selain itu, belum adanya target pengurangan plastik yang jelas dapat menghambat efektivitas program pengurangan sampah plastik. Oleh karena itu, diperlukan penguatan kebijakan dan mekanisme pengendalian untuk memastikan penggunaan plastik dapat dikurangi secara bertahap dan berkelanjutan.

5. Kesadaran dan Kepatuhan ABK Kurang

Hasil penilaian FMEA menunjukkan bahwa kesadaran dan kepatuhan ABK kurang (A1) memiliki nilai RPN sebesar 206,72 sehingga menjadi prioritas kelima untuk dilakukan perbaikan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa faktor manusia memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap timbulan sampah plastik di kapal. Berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgement*, kondisi ini umumnya disebabkan oleh masih kurangnya pemahaman ABK mengenai pengelolaan sampah sesuai ketentuan yang berlaku serta belum konsistennya pelaksanaan pemilahan sampah selama operasional kapal.

ABK merupakan pihak yang terlibat langsung dalam pelaksanaan kegiatan pengelolaan sampah di kapal. Rendahnya tingkat kesadaran dan kepatuhan dapat menyebabkan prosedur pengelolaan sampah tidak berjalan secara optimal sehingga timbulan sampah plastik menjadi lebih sulit dikendalikan. Oleh karena itu, peningkatan kesadaran dan kepatuhan ABK melalui sosialisasi, pelatihan, serta pengawasan secara berkala diperlukan untuk mendukung keberhasilan program pengurangan sampah plastik di kapal.

4.5 Tahap *Improve*

Setelah diketahui faktor-faktor penyebab yang menjadi prioritas perbaikan berdasarkan hasil perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) pada tahap *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), selanjutnya dilakukan penyusunan rekomendasi perbaikan untuk mengurangi tingginya konsumsi BBM dan timbulan sampah plastik. Rekomendasi perbaikan untuk mengurangi tingginya konsumsi BBM tersebut diperoleh melalui wawancara dengan lima orang *expert judgement*, Hasil wawancara dan usulan perbaikan dari para *expert judgement* selengkapnya disajikan pada Lampiran 23.

Tabel 4. 19 *Improvement* dari Penyebab RPN Tertinggi Tingginya Konsumsi BBM

No	Penyebab	<i>Improvement</i>
1.	Kondisi komponen mesin menurun	- Menerapkan <i>Planning Maintenance System</i> (PMS) berbasis jadwal <i>running hours</i> untuk komponen sistem bahan bakar (injector, fuel filter, fuel pump) secara ketat dan terdokumentasi. - Melaksanakan inspeksi dan penggantian injector dan fuel filter sesuai jam kerja mesin yang ditentukan pabrikan sebelum terjadi kerusakan. - Membuat <i>checklist</i> harian kondisi mesin yang wajib diisi oleh Masinis Jaga setiap shift sebagai alat deteksi dini penurunan performa. - Menyimpan rekam jejak penggantian komponen dalam logbook mesin secara konsisten agar riwayat perawatan dapat dilacak. - Melakukan koordinasi rutin antara KKM dan Masinis I untuk memastikan jadwal perawatan dijalankan sesuai PMS tanpa penundaan. - Menyediakan stok suku cadang kritikal (injector, filter) di kapal agar penggantian dapat dilakukan segera tanpa menunggu pengadaan.
2.	Kualitas BBM kurang baik	- Mewajibkan uji kualitas BBM (viskositas, kadar air, flash point, kandungan sulfur) sebelum setiap pengisian (bunkering) menggunakan kit pengujian yang tersedia di kapal.

No	Penyebab	Improvement
		- Menolak penerimaan BBM dari supplier yang tidak dapat menyertakan <i>Certificate of Quality</i> (CoQ). - Melakukan sampling BBM dari setiap tangki penerimaan dan menyimpan sampel selama minimal 90 hari sebagai bukti apabila terjadi klaim. - Mengevaluasi dan menyeleksi supplier BBM berdasarkan rekam jejak kualitas secara berkala minimal per semester. - Menjalin kontrak pengadaan BBM hanya dengan supplier yang telah tersertifikasi dan memiliki track record kualitas konsisten.
3.	Hambatan lambung meningkat	- Menjadwalkan pembersihan lambung (<i>hull cleaning</i>) secara berkala minimum 6 bulan sekali atau disesuaikan dengan kondisi perairan yang dilayari. - Menerapkan cat <i>anti-fouling</i> berkualitas tinggi saat docking untuk menghambat pertumbuhan <i>biofouling</i> dan mengurangi hambatan lambung. - Melakukan pengukuran hambatan lambung dan performa propulsi secara berkala untuk mendeteksi penurunan efisiensi sejak dini. - Mendokumentasikan kondisi lambung pada setiap docking dalam Ship Maintenance Record sebagai acuan jadwal perawatan berikutnya.
4.	Perencanaan rute pelayaran kurang baik	- Menyusun passage plan berbasis data jarak tempuh, kondisi arus, dan prakiraan cuaca BMKG sebelum setiap keberangkatan kapal. - Membandingkan minimal 2–3 alternatif rute dan memilih rute dengan estimasi konsumsi BBM terendah berdasarkan perhitungan jarak dan kondisi perairan. - Memanfaatkan data historis pelayaran untuk mengidentifikasi rute yang secara konsisten lebih hemat BBM sebagai bahan referensi perencanaan. - Mendokumentasikan setiap keputusan rute beserta alasan pilihannya dalam passage plan yang ditandatangani Nakhoda sebelum berangkat.

No	Penyebab	<i>Improvement</i>
5.	Pengoperasian mesin kurang efisien	- Menetapkan dan mematuhi kecepatan ekonomis (<i>economical speed</i>) kapal berdasarkan kondisi muatan dan cuaca, serta melaksanakan briefing kepada seluruh kru sebelum pelayaran. - Melatih Masinis Jaga untuk menjaga kestabilan RPM mesin dan menghindari perubahan mendadak <i>throttle</i> yang menyebabkan konsumsi BBM tidak efisien. - Memasang atau mengoptimalkan penggunaan fuel flow meter digital untuk memantau konsumsi BBM secara real-time selama pelayaran berlangsung.

Sumber: Hasil Wawancara, 2026

Tabel 4.19 merupakan hasil wawancara mengenai 5 rekomendasi perbaikan prioritas untuk tingginya konsumsi BBM yang ke depannya dapat diimplementasikan oleh perusahaan guna mendukung operasi bisnis maritim yang lebih berkelanjutan. Rekomendasi pengendalian yang diperoleh dari tahap *Control* selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan draft *Standard Operating Procedure* (SOP) yang disajikan pada Lampiran penelitian.

Rekomendasi perbaikan untuk mengurangi timbulan sampah plastik tersebut diperoleh melalui wawancara dengan lima orang *expert judgement*, Hasil wawancara dan usulan perbaikan dari para *expert judgement* selengkapnya disajikan pada Lampiran 25.

Tabel 4. 20 *Improvement* dari Penyebab RPN Tertinggi Timbulan Sampah Plastik

No	Penyebab	<i>Improvement</i>
1.	Penggunaan kemasan sekali pakai tinggi	- Mengganti kemasan makanan dan minuman plastik sekali pakai dengan kemasan ramah lingkungan (<i>biodegradable</i>) secara bertahap melalui koordinasi dengan vendor katering. - Mewajibkan vendor/supplier katering menggunakan kemasan yang memenuhi standar ramah lingkungan sesuai regulasi yang berlaku dan mencantumkan dalam kontrak pengadaan.

No	Penyebab	Improvement
		- Menyediakan alat makan <i>reusable</i> (piring, sendok, gelas) bagi penumpang sebagai alternatif alat makan plastik sekali pakai pada kelas layanan tertentu. - Menetapkan kebijakan internal perusahaan pelarangan penggunaan plastik sekali pakai di atas kapal secara bertahap dengan target waktu yang terukur dan jelas. - Melakukan sosialisasi kepada penumpang mengenai kebijakan pengurangan plastik di kapal agar mendapat dukungan dan kepatuhan dari pengguna jasa.
2.	<i>Garbage Management Plan</i> (GMP) belum optimal	- Menyusun atau merevisi <i>Garbage Management Plan</i> (GMP) sesuai ketentuan MARPOL 73/78 Annex V yang mencakup prosedur pemilahan, penyimpanan, pencatatan, dan pembuangan sampah. - Mensosialisasikan GMP kepada seluruh ABK minimal satu kali sebelum pelayaran perdana dan setiap terjadi pergantian kru kapal. - Menempelkan poster/infografis ringkasan prosedur GMP di area strategis kapal (dapur, ruang kru, area sampah) dalam Bahasa Indonesia. - Melakukan audit internal implementasi GMP minimal setiap 3 bulan dan melaporkan hasilnya kepada manajemen perusahaan sebagai bahan evaluasi. - Mengintegrasikan GMP ke dalam Sistem Manajemen Keselamatan (SMS) perusahaan agar implementasinya dapat diaudit secara berkala sesuai ISM Code. - Memastikan Garbage Record Book diisi setiap hari pelayaran oleh perwira yang bertanggung jawab sebagai bukti kepatuhan terhadap MARPOL Annex V.
3.	Tidak ada fasilitas pendukung pengurangan plastik	- Memasang tempat sampah terpilah minimal 3 kategori (plastik, organik, dan lainnya) di seluruh area kapal yang mudah dijangkau penumpang dan kru. - Memberi label jelas dan informatif berupa teks dan ikon berwarna pada

No	Penyebab	<i>Improvement</i>
		setiap tempat sampah agar penumpang dapat memilah sampah dengan benar. - Mengadakan fasilitas dispenser air untuk mengurangi penggunaan kemasan air sekali pakai dan <i>compactor</i> atau wadah penyimpanan khusus sampah plastik tertutup untuk mengoptimalkan ruang penyimpanan sampah di kapal. - Menyediakan area penyimpanan sampah sementara yang tertutup, bersih, dan berventilasi sebelum sampah dibongkar di pelabuhan tujuan.
4.	Pengendalian plastik belum optimal	- Menetapkan kebijakan pembatasan jenis plastik yang boleh dibawa masuk ke kapal, khususnya plastik sekali pakai seperti sedotan dan kantong kresek tipis. - Melaksanakan sosialisasi pengurangan plastik kepada penumpang di area embarkasi melalui pengeras suara, spanduk, dan leaflet informatif sebelum penumpang naik ke kapal. - Memberlakukan sistem insentif atau reward bagi penumpang yang aktif memilah sampah atau membawa tumbler dan tas belanja sendiri selama perjalanan. - Membangun kerja sama dengan pihak pelabuhan untuk mendukung program pengurangan plastik secara terpadu sejak area keberangkatan penumpang.
5.	Kesadaran dan kepatuhan ABK kurang	- Menyelenggarakan pelatihan wajib pengelolaan sampah dan penerapan MARPOL Annex V bagi seluruh ABK minimal satu kali per tahun dengan sertifikat kelulusan. - Memasukkan klausul kepatuhan pengelolaan sampah dalam kontrak kerja ABK sebagai kewajiban yang dapat dikenai sanksi apabila dilanggar. - Menunjuk Perwira Lingkungan (<i>Environmental Officer</i>) di setiap kapal yang bertanggung jawab memantau kepatuhan ABK terhadap GMP dan melaksanakan drill pengelolaan sampah minimal setiap 6 bulan.

Sumber: Hasil Wawancara, 2026

Tabel 4.20 merupakan hasil wawancara mengenai 5 rekomendasi perbaikan prioritas untuk timbulan sampah plastik yang kedepannya dapat diimplementasikan oleh perusahaan guna mendukung operasi bisnis maritim yang lebih berkelanjutan. Rekomendasi pengendalian yang diperoleh dari tahap *Control* selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan draft *Standard Operating Procedure* (SOP) yang disajikan pada Lampiran penelitian.

4.6 Tahap *Control*

Pada tahap ini dilakukan pemberian rekomendasi terkait cara melakukan *control* terhadap rekomendasi perbaikan yang telah dihasilkan pada tahap *Improve*. Tahap *Control* bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh rekomendasi perbaikan yang diusulkan dapat diterapkan secara konsisten dan berkelanjutan sehingga mampu mengurangi tingginya konsumsi BBM dan timbulan sampah plastik pada operasional kapal. Selain itu, tahap ini juga dilakukan untuk menjaga agar perbaikan yang telah diterapkan dapat terus dipantau dan dievaluasi sehingga risiko yang menjadi penyebab utama permasalahan tidak kembali meningkat.

Untuk memperoleh rekomendasi pengendalian tingginya konsumsi BBM telah dilakukan wawancara dengan lima *expert*, Hasil wawancara tersebut digunakan sebagai dasar dalam menyusun rekomendasi pengendalian terhadap setiap rekomendasi perbaikan prioritas yang telah ditetapkan pada tahap *Improve*. Hasil wawancara tahap *Control* selengkapnya disajikan pada Lampiran 27.

Tabel 4. 21 Usulan *Control* Perbaikan Tingginya Konsumsi BBM

No	Rekomendasi Perbaikan	Rekomendasi Pengendalian
1.	- Menerapkan <i>Planning Maintenance System</i> (PMS) berbasis jadwal <i>running hours</i> untuk komponen sistem bahan bakar (<i>injector</i>, <i>fuel filter</i>, <i>fuel pump</i>) secara ketat dan terdokumentasi. - Melaksanakan inspeksi dan penggantian <i>injector</i> dan <i>fuel filter</i> sesuai jam kerja mesin	- KKM memastikan jadwal PMS berbasis <i>running hours</i> terlaksana sesuai rencana; setiap PMS <i>Card</i> diisi tepat waktu dan diverifikasi KKM setiap minggu. - Apabila terdapat komponen yang belum dirawat sesuai jadwal PMS, KKM segera membuat laporan penyimpangan dan

No	Rekomendasi Perbaikan	Rekomendasi Pengendalian
	yang ditentukan pabrikan sebelum terjadi kerusakan. - Membuat <i>checklist</i> harian kondisi mesin yang wajib diisi oleh Masinis Jaga setiap <i>shift</i> sebagai alat deteksi dini penurunan performa. - Menyimpan rekam jejak penggantian komponen dalam logbook mesin secara konsisten agar riwayat perawatan dapat dilacak. - Melakukan koordinasi rutin antara KKM dan Masinis I untuk memastikan jadwal perawatan dijalankan sesuai PMS tanpa penundaan. - Menyediakan stok suku cadang kritikal (<i>injector, filter</i>) di kapal agar penggantian dapat dilakukan segera tanpa menunggu pengadaan	menjadwalkan ulang dalam waktu 3 hari kerja. - Masinis I melaksanakan inspeksi dan penggantian <i>injector</i> serta <i>fuel filter</i> setiap 250 <i>running hours</i>; hasil inspeksi dicatat dalam logbook mesin. - Masinis Jaga mengisi <i>checklist</i> harian kondisi mesin setiap <i>shift</i>; <i>checklist</i> diserahkan kepada KKM setiap pergantian <i>shift</i> untuk diverifikasi. - Setiap penggantian komponen dicatat dalam logbook mesin beserta tanggal, jenis komponen, <i>running hours</i> saat penggantian, dan tanda tangan Masinis penanggung jawab. - KKM dan Masinis I melaksanakan rapat koordinasi perawatan minimal setiap 2 minggu untuk memastikan tidak ada jadwal PMS yang terlewat. - Divisi Logistik memastikan stok suku cadang kritikal (<i>injector, fuel filter</i>) tersedia di kapal sebelum setiap pelayaran; pengecekan stok dilakukan setiap awal bulan.
2.	- Mewajibkan uji kualitas BBM (viskositas, kadar air, <i>flash point</i>, kandungan sulfur) sebelum setiap pengisian (<i>bunkering</i>) menggunakan kit pengujian yang tersedia di kapal. - Menolak penerimaan BBM dari supplier yang tidak dapat menyertakan <i>Certificate of Quality</i> (CoQ). - Melakukan sampling BBM dari setiap tangki penerimaan dan menyimpan sampel selama minimal 90 hari sebagai bukti apabila terjadi klaim. - Mengevaluasi dan menyeleksi <i>supplier</i> BBM berdasarkan	- KKM melakukan uji kualitas BBM (viskositas, <i>flash point</i>, kadar air, kandungan sulfur) menggunakan kit pengujian sebelum setiap <i>bunkering</i> dimulai. - Hasil uji kualitas BBM dicatat dalam formulir penerimaan BBM; apabila satu atau lebih parameter tidak memenuhi spesifikasi, proses <i>bunkering</i> dihentikan. - KKM menolak penerimaan BBM apabila supplier tidak dapat menyertakan <i>Certificate of Quality</i> (CoQ). - Masinis I mengambil sampel BBM dari setiap tangki penerimaan, memberi label

No	Rekomendasi Perbaikan	Rekomendasi Pengendalian
	rekam jejak kualitas secara berkala minimal per semester. - Menjalinkan kontrak pengadaan BBM hanya dengan <i>supplier</i> yang telah tersertifikasi dan memiliki <i>track record</i> kualitas konsisten.	lengkap (tanggal, <i>supplier</i>, <i>batch</i>), dan menyimpan sampel minimal 90 hari. - Divisi Pengadaan mengevaluasi rekam jejak kualitas seluruh <i>supplier</i> BBM setiap semester berdasarkan laporan CoQ dan hasil uji KKM. - Kontrak <i>bunkering</i> hanya diterbitkan kepada <i>supplier</i> yang lulus evaluasi kualitas dan memiliki sertifikasi yang masih berlaku; <i>supplier</i> yang gagal evaluasi dikeluarkan dari daftar rekanan.
3.	- Menjadwalkan pembersihan lambung (<i>hull cleaning</i>) secara berkala minimum 6 bulan sekali atau disesuaikan dengan kondisi perairan yang dilayari. - Menerapkan cat <i>anti-fouling</i> berkualitas tinggi saat <i>docking</i> untuk menghambat pertumbuhan <i>biofouling</i> dan mengurangi hambatan lambung. - Melakukan pengukuran hambatan lambung dan performa propulsi secara berkala untuk mendeteksi penurunan efisiensi sejak dini. - Mendokumentasikan kondisi lambung pada setiap <i>docking</i> dalam <i>Ship Maintenance Record</i> sebagai acuan jadwal perawatan berikutnya.	- Divisi Teknik menjadwalkan <i>hull cleaning minimal</i> setiap 6 bulan; jadwal dipercepat apabila kapal beroperasi di perairan dengan pertumbuhan <i>biofouling</i> tinggi. - Pengecatan ulang lambung menggunakan cat <i>anti-fouling</i> berkualitas tinggi dilaksanakan setiap <i>docking</i> dan didokumentasikan dalam <i>Docking Report</i>. - KKM mencatat performa propulsi (RPM vs kecepatan aktual) setiap pelayaran sebagai indikator kondisi lambung. - Apabila terjadi penurunan kecepatan >10% pada RPM yang sama dibanding data <i>baseline</i>, Nakhoda segera menjadwalkan inspeksi lambung darurat. - Kondisi lambung didokumentasikan dalam <i>Ship Maintenance Record</i> pada setiap <i>docking</i> sebagai acuan penentuan jadwal <i>docking</i> berikutnya.
4.	- Menyusun <i>passage plan</i> berbasis data jarak tempuh, kondisi arus, dan prakiraan cuaca BMKG sebelum setiap keberangkatan kapal. - Membandingkan minimal 2–3 alternatif rute dan memilih rute	- Mualim I menyusun <i>passage plan</i> berbasis data jarak tempuh, kondisi arus, dan prakiraan cuaca BMKG minimal 12 jam sebelum keberangkatan. - Nakhoda membandingkan minimal 2–3 alternatif rute

No	Rekomendasi Perbaikan	Rekomendasi Pengendalian
	dengan estimasi konsumsi BBM terendah berdasarkan perhitungan jarak dan kondisi perairan. - Memanfaatkan data historis pelayaran untuk mengidentifikasi rute yang secara konsisten lebih hemat BBM sebagai bahan referensi perencanaan. - Mendokumentasikan setiap keputusan rute beserta alasan pemilihannya dalam <i>passage plan</i> yang ditandatangani Nakhoda sebelum berangkat.	berdasarkan estimasi konsumsi BBM sebelum memutuskan rute pelayaran. - <i>Passage plan</i> yang telah dipilih ditandatangani Nakhoda dan dibriefingkan kepada seluruh perwira jaga sebelum kapal berangkat. - Mualim I mengakses data historis konsumsi BBM per rute sebelum menyusun <i>passage plan</i> sebagai bahan pertimbangan tambahan. - Setiap keputusan rute beserta alasan pemilihan dicatat dalam <i>passage plan</i> dan disimpan sebagai arsip kapal untuk referensi pelayaran berikutnya.
5.	- Menetapkan dan mematuhi kecepatan ekonomis (<i>economical speed</i>) kapal berdasarkan kondisi muatan dan cuaca, serta melaksanakan <i>briefing</i> kepada seluruh kru sebelum pelayaran. - Melatih Masinis Jaga untuk menjaga kestabilan RPM mesin dan menghindari perubahan mendadak <i>throttle</i> yang menyebabkan konsumsi BBM tidak efisien. - Memasang atau mengoptimalkan penggunaan <i>fuel flow meter digital</i> untuk memantau konsumsi BBM secara <i>real-time</i> selama pelayaran berlangsung.	- KKM menetapkan RPM target <i>economical speed</i> untuk setiap kondisi muatan dan cuaca berdasarkan kurva performa mesin pabrikan. - KKM membriefingkan RPM target kepada seluruh Masinis Jaga sebelum setiap pelayaran; dokumentasi <i>briefing</i> disimpan dalam laporan <i>shift</i>. - KKM menyelenggarakan <i>toolbox talk</i> kepada Masinis Jaga mengenai teknik menjaga kestabilan RPM minimal setiap 3 bulan. - Masinis Jaga memantau dan mencatat pembacaan <i>fuel flow meter digital</i> setiap jam selama pelayaran berlangsung. - Apabila konsumsi BBM aktual melebihi target 10%, Masinis Jaga segera melaporkan kepada

Sumber: Hasil Wawancara, 2026

Tabel 4.21 merupakan hasil wawancara terkait rekomendasi pengendalian terhadap rekomendasi perbaikan yang telah diperoleh pada tahap *Improve*. Rekomendasi pengendalian tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa setiap usulan perbaikan dapat diterapkan secara konsisten dan

berkelanjutan dalam operasional perusahaan. Berdasarkan hasil wawancara dengan para *expert judgement*, perusahaan disarankan untuk menerapkan mekanisme pengendalian melalui penyusunan *Draft Standard Operating Procedure* (SOP) terhadap implementasi rekomendasi perbaikan. Dengan adanya pengendalian tersebut, diharapkan upaya pengurangan tingginya konsumsi BBM dapat dipertahankan secara berkelanjutan sehingga mendukung terciptanya operasi bisnis maritim yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Untuk memperoleh rekomendasi pengendalian timbulan sampah plastik telah dilakukan wawancara dengan lima *expert*, Hasil wawancara tersebut digunakan sebagai dasar dalam menyusun rekomendasi pengendalian terhadap setiap rekomendasi perbaikan prioritas yang telah ditetapkan pada tahap *Improve*. Hasil wawancara tahap *Control* selengkapnya disajikan pada Lampiran 29.

Tabel 4. 22 Usulan *Control* Perbaikan Timbulan Sampah Plastik

No	Rekomendasi Perbaikan	Rekomendasi Pengendalian
1.	- Mengganti kemasan makanan dan minuman plastik sekali pakai dengan kemasan ramah lingkungan (<i>biodegradable</i>) secara bertahap melalui koordinasi dengan <i>vendor</i> catering. - Mewajibkan <i>vendor/supplier</i> catering menggunakan kemasan yang memenuhi standar ramah lingkungan sesuai regulasi yang berlaku dan mencantumkannya dalam kontrak pengadaan. - Menyediakan alat makan <i>reusable</i> (piring, sendok, gelas) bagi penumpang sebagai alternatif alat makan plastik sekali pakai pada kelas layanan tertentu. - Menetapkan kebijakan internal perusahaan pelarangan penggunaan plastik sekali pakai di atas kapal secara bertahap	- Divisi DPA memperbarui kontrak <i>vendor</i> catering dengan klausul wajib penggunaan kemasan <i>biodegradable</i> dan mengevaluasi kepatuhan vendor setiap 3 bulan. - Apabila vendor tidak memenuhi klausul kemasan ramah lingkungan, Divisi Logistik memberikan surat peringatan dan mempertimbangkan penggantian vendor. - Divisi Logistik memastikan setiap pengiriman catering disertai dokumen bukti kesesuaian kemasan dengan standar ramah lingkungan sebagai syarat pembayaran. - Nakhoda memastikan alat makan <i>reusable</i> tersedia dan layak pakai sebelum setiap pelayaran melalui <i>checklist</i> logistik harian. - Manajemen perusahaan menerbitkan kebijakan pengurangan plastik sekali pakai

No	Rekomendasi Perbaikan	Rekomendasi Pengendalian
	dengan target waktu yang terukur dan jelas. - Melakukan sosialisasi kepada penumpang mengenai kebijakan pengurangan plastik di kapal agar mendapat dukungan dan kepatuhan dari pengguna jasa.	di kapal dengan <i>roadmap</i> target yang terukur. - Petugas memastikan pengumuman kebijakan pengurangan plastik disampaikan kepada penumpang melalui pengeras suara dan papan informasi pada setiap awal pelayaran.
2.	- Menyusun atau merevisi <i>Garbage Management Plan</i> (GMP) sesuai ketentuan MARPOL 73/78 Annex V yang mencakup prosedur pemilahan, penyimpanan, pencatatan, dan pembuangan sampah. - Mensosialisasikan GMP kepada seluruh ABK minimal satu kali sebelum pelayaran perdana dan setiap terjadi pergantian kru kapal. - Menempelkan poster/infografis ringkasan prosedur GMP di area strategis kapal (dapur, ruang kru, area sampah) dalam Bahasa Indonesia. - Melakukan audit internal implementasi GMP minimal setiap 3 bulan dan melaporkan hasilnya kepada manajemen perusahaan sebagai bahan evaluasi. - Mengintegrasikan GMP ke dalam Sistem Manajemen Keselamatan (SMS) perusahaan agar implementasinya dapat diaudit secara berkala sesuai ISM Code. - Memastikan <i>Garbage Record Book</i> diisi setiap hari pelayaran oleh perwira yang bertanggung jawab sebagai bukti kepatuhan terhadap MARPOL Annex V	- Nakhoda memastikan dokumen GMP tersedia, mutakhir, dan sesuai MARPOL 73/78 Annex V; peninjauan ulang GMP dilakukan minimal setiap tahun. - Apabila terdapat perubahan regulasi MARPOL atau regulasi nasional, GMP segera diperbarui dalam waktu paling lama 30 hari setelah regulasi berlaku. - Mualim 1 menyelenggarakan <i>briefing</i> GMP kepada seluruh ABK baru sebelum bertugas dan mengulang sosialisasi setiap terjadi pergantian kru. - Nakhoda memastikan poster ringkasan prosedur GMP dalam Bahasa Indonesia terpasang di area strategis kapal; kondisi poster diperiksa setiap awal layer. - Nakhoda melaksanakan audit internal implementasi GMP setiap 3 bulan menggunakan formulir audit standar. - Hasil audit dilaporkan kepada manajemen perusahaan; temuan ketidaksesuaian ditindaklanjuti dalam waktu paling lama 14 hari kerja. - Manajemen memastikan GMP terintegrasi dalam Sistem Manajemen Keselamatan (SMS) dan dapat dievaluasi dalam audit ISM Code eksternal. - <i>Environmental Officer</i> mengisi <i>Garbage Record Book</i> setiap hari pelayaran dan menyerahkan rekap kepada Nakhoda setiap

No	Rekomendasi Perbaikan	Rekomendasi Pengendalian
		akhir pelayaran untuk diverifikasi.
3.	- Memasang tempat sampah terpilah minimal 3 kategori (plastik, organik, dan lainnya) di seluruh area kapal yang mudah dijangkau penumpang dan kru. - Memberi label jelas dan informatif berupa teks dan ikon berwarna pada setiap tempat sampah agar penumpang dapat memilah sampah dengan benar. - Mengadakan fasilitas dispenser air untuk mengurangi penggunaan kemasan air sekali pakai dan <i>compactor</i> atau wadah penyimpanan khusus sampah plastik tertutup untuk mengoptimalkan ruang penyimpanan sampah di kapal. - Menyediakan area penyimpanan sampah sementara yang tertutup, bersih, dan berventilasi sebelum sampah dibongkar di pelabuhan tujuan.	- Mualim I memeriksa ketersediaan dan kondisi tempat sampah terpilah minimal 3 kategori di seluruh area kapal setiap awal pelayaran menggunakan <i>checklist</i> fasilitas. - Petugas kebersihan memastikan seluruh label tempat sampah bersih dan terbaca; label yang rusak atau tidak terbaca diganti sebelum pelayaran berikutnya. - Mualim memastikan dispenser air atau berfungsi baik sebelum setiap pelayaran. - Kerusakan fasilitas <i>compactor</i> atau wadah penyimpanan dilaporkan kepada Divisi Teknik untuk diperbaiki sebelum pelayaran berikutnya. - Petugas kebersihan memastikan area penyimpanan sampah sementara bersih, tertutup, dan berventilasi sebelum keberangkatan; Divisi Teknik mengevaluasi kapasitas setiap 6 bulan.
4.	- Menetapkan kebijakan pembatasan jenis plastik yang boleh dibawa masuk ke kapal, khususnya plastik sekali pakai seperti sedotan dan kantong kresek tipis. - Melaksanakan sosialisasi pengurangan plastik kepada penumpang di area embarkasi melalui pengeras suara, spanduk, dan <i>leaflet</i> informatif sebelum penumpang naik ke kapal. - Memberlakukan sistem insentif atau <i>reward</i> bagi penumpang yang aktif memilah sampah atau membawa <i>tumbler</i> dan tas belanja sendiri selama perjalanan.	- Manajemen menerbitkan dan memperbarui daftar jenis plastik yang dibatasi/dilarang di kapal; Nakhoda memastikan daftar disosialisasikan kepada kru sebelum pelayaran. - Manajemen mengevaluasi efektivitas kebijakan pembatasan plastik setiap 3 bulan berdasarkan data volume plastik yang dicatat petugas. - Materi sosialisasi dievaluasi dan diperbarui setiap 3 bulan. - Mualim I memastikan program insentif penumpang berjalan setiap pelayaran dan mengevaluasi tingkat partisipasi penumpang setiap bulan.

No	Rekomendasi Perbaikan	Rekomendasi Pengendalian
	- Membangun kerja sama dengan pihak pelabuhan untuk mendukung program pengurangan plastik secara terpadu sejak area keberangkatan penumpang.	- Perusahaan berkoordinasi dengan otoritas pelabuhan untuk menerapkan program pengurangan plastik terpadu; progres koordinasi dilaporkan kepada manajemen setiap 3 bulan.
5.	- Menyelenggarakan pelatihan wajib pengelolaan sampah dan penerapan MARPOL Annex V bagi seluruh ABK minimal satu kali per tahun dengan sertifikat kelulusan. - Memasukkan klausul kepatuhan pengelolaan sampah dalam kontrak kerja ABK sebagai kewajiban yang dapat dikenai sanksi apabila dilanggar. - Menunjuk Perwira Lingkungan (<i>Environmental Officer</i>) di setiap kapal yang bertanggung jawab memantau kepatuhan ABK terhadap GMP dan melaksanakan <i>drill</i> pengelolaan sampah minimal setiap 6 bulan.	- Manajemen SDM menyelenggarakan pelatihan pengelolaan sampah dan MARPOL Annex V bagi seluruh ABK minimal 1 kali per tahun; sertifikat kelulusan disimpan dalam arsip kontrak kerja. - Manajemen SDM memastikan klausul kepatuhan pengelolaan sampah tercantum dalam setiap kontrak kerja ABK. - Setiap pelanggaran prosedur pengelolaan sampah dicatat dalam buku laporan pelanggaran dan diproses sesuai peraturan perusahaan dalam waktu 7 hari kerja. - Perusahaan menunjuk <i>Environmental Officer</i> yang bertanggung jawab memantau kepatuhan ABK terhadap GMP setiap hari pelayaran. - <i>Environmental Officer</i> melaksanakan <i>drill</i> pengelolaan sampah bersama seluruh ABK minimal 1 kali setiap 6 bulan; hasil <i>drill</i> didokumentasikan dan dilaporkan kepada manajemen.

Sumber: Hasil Wawancara, 2026

Tabel 4.22 merupakan hasil wawancara terkait rekomendasi pengendalian terhadap rekomendasi perbaikan yang telah diperoleh pada tahap *Improve*. Berdasarkan hasil wawancara dengan para *expert judgement*, perusahaan disarankan untuk menerapkan mekanisme pengendalian melalui penyusunan *Draft Standard Operating Procedure* (SOP) terhadap implementasi rekomendasi perbaikan yang terdapat pada Lampiran 31.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

(This page is intentionally left blank)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengurangan emisi karbon dan timbunan sampah plastik pada operasional kapal menggunakan metode *Six Sigma*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Besaran emisi jejak karbon yang dihasilkan dari konsumsi bahan bakar fosil dan timbunan sampah plastik menunjukkan bahwa konsumsi BBM menjadi sumber emisi karbon paling dominan dibandingkan timbunan sampah plastik. Berdasarkan hasil perhitungan, emisi CO₂ dari konsumsi BBM Kapal A pada tahun 2024 sebesar 25.190 ton CO₂ dan meningkat menjadi 27.070 ton CO₂ pada tahun 2025. Sementara itu, emisi CO₂ dari timbunan sampah plastik pada tahun 2024 sebesar 87 ton CO₂ dan meningkat menjadi 91 ton CO₂ pada tahun 2025. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi BBM dan timbunan sampah plastik berpengaruh terhadap peningkatan emisi karbon pada operasional kapal, sehingga keduanya perlu dikendalikan sebagai bagian dari upaya pengurangan jejak karbon.
2. Sumber timbunan emisi jejak karbon pada operasional kapal berhasil diidentifikasi melalui tahap Define dengan pemetaan SIPOC dan CTQ Tree. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa sumber emisi utama berasal dari dua proses operasional, yaitu proses konsumsi bahan bakar minyak (BBM) dan proses pengelolaan timbunan sampah plastik. Pada variabel konsumsi BBM, karakteristik kualitas yang ditetapkan meliputi konsumsi BBM per *round trip*, efisiensi konsumsi BBM terhadap jarak tempuh pelayaran dalam satuan liter/km, serta kestabilan RPM mesin selama pelayaran. Pada variabel timbunan sampah plastik, karakteristik kualitas yang ditetapkan adalah total timbunan sampah plastik kapal.
3. Pengukuran kinerja operasional yang memengaruhi emisi jejak karbon dilakukan menggunakan DPO, DPMO, dan nilai sigma pada tahap *Measure*. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa proses konsumsi BBM mengalami

penurunan kapabilitas, ditandai dengan peningkatan jumlah *Defect* dari 8 *Defect* pada tahun 2024 menjadi 11 *Defect* pada tahun 2025, peningkatan nilai DPMO dari 44.444 menjadi 61.111, serta penurunan nilai sigma dari 3,20 menjadi 3,05. Pada proses timbulan sampah plastik, jumlah *Defect* meningkat dari 3 *Defect* pada tahun 2024 menjadi 5 *Defect* pada tahun 2025, nilai DPMO meningkat dari 50.000 menjadi 83.333, dan nilai sigma menurun dari 3,14 menjadi 2,88. Penurunan nilai sigma tersebut menunjukkan bahwa kapabilitas proses operasional kapal pada tahun 2025 menurun, sehingga diperlukan perbaikan proses untuk menekan konsumsi BBM, timbulan sampah plastik, dan emisi karbon yang dihasilkan.

4. Faktor-faktor penyebab emisi jejak karbon pada operasional kapal dianalisis melalui *Fishbone Diagram*, *Content Validity Index (CVI)*, *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, dan *Risk Matrix*. Hasil analisis menunjukkan terdapat 12 faktor penyebab tingginya konsumsi BBM dan 13 faktor penyebab tingginya timbulan sampah plastik yang telah divalidasi oleh *expert judgement* dengan nilai I-CVI, S-CVI/Ave, dan S-CVI/UA sebesar 1,00, sehingga seluruh faktor penyebab dinyatakan valid. Berdasarkan hasil FMEA, faktor prioritas pada konsumsi BBM adalah kondisi komponen mesin menurun, kualitas BBM kurang baik, hambatan lambung meningkat, perencanaan rute pelayaran kurang baik, dan pengoperasian mesin kurang efisien. Sementara itu, faktor prioritas pada timbulan sampah plastik adalah tingginya penggunaan kemasan sekali pakai, implementasi *Garbage Management Plan* yang belum optimal, belum tersedianya fasilitas pendukung pengurangan plastik, pengendalian plastik yang belum optimal, serta rendahnya kesadaran dan kepatuhan ABK.
5. Usulan perbaikan untuk mengurangi emisi jejak karbon disusun berdasarkan faktor risiko prioritas pada tahap *Improve*. Pada variabel konsumsi BBM, usulan perbaikan meliputi penerapan *Planning Maintenance System (PMS)* berbasis *running hours*, pengujian kualitas BBM sebelum proses *bunkering*, penjadwalan *hull cleaning* secara berkala, penyusunan *passage plan* berbasis efisiensi pelayaran, serta penerapan dan pemantauan *economical speed* selama operasional kapal. Pada variabel timbulan sampah plastik,

usulan perbaikan meliputi pengurangan penggunaan kemasan sekali pakai melalui alternatif *biodegradable* atau *reusable*, optimalisasi *Garbage Management Plan* sesuai MARPOL Annex V, penyediaan fasilitas pendukung pengurangan plastik, penguatan kebijakan pengendalian plastik di atas kapal, serta peningkatan kesadaran dan kepatuhan ABK melalui pelatihan dan sosialisasi berkala.

6. Perancangan pengendalian proses pada tahap Control disusun untuk menjaga keberlanjutan pengurangan emisi jejak karbon pada operasional kapal. Rekomendasi pengendalian untuk variabel konsumsi BBM dan timbulan sampah plastik masing-masing terdiri atas 22 tindakan pengendalian yang disusun berdasarkan hasil *expert judgement*. Bentuk pengendalian yang diusulkan meliputi penyusunan dan penerapan *Standard Operating Procedure* (SOP), penggunaan *form checklist*, pencatatan dalam *logbook*, *monitoring* dan evaluasi berkala, pendokumentasian aktivitas pengendalian, penetapan penanggung jawab, penentuan frekuensi pelaksanaan, serta tindakan korektif apabila terjadi penyimpangan. Dengan adanya rancangan pengendalian tersebut, perusahaan dapat menjaga agar perbaikan yang telah diusulkan dapat diterapkan secara konsisten, mencegah peningkatan kembali konsumsi BBM dan timbulan sampah plastik, serta mendukung operasional bisnis maritim yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi masukan bagi perusahaan maupun penelitian selanjutnya dalam upaya meningkatkan efisiensi operasional dan mendukung pengurangan emisi karbon. Adapun saran yang diajukan adalah sebagai berikut.

1. Perusahaan pelayaran diharapkan dapat menjadikan hasil penelitian ini sebagai referensi dalam melakukan perbaikan proses operasional kapal, sehingga efisiensi operasional dapat meningkat dan mendukung upaya pengurangan emisi karbon secara berkelanjutan.

2. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengimplementasikan rekomendasi perbaikan yang telah diusulkan dan mengevaluasi efektivitasnya melalui pengukuran nilai sigma sebelum dan sesudah implementasi. Evaluasi tersebut diharapkan dapat membuktikan peningkatan kapabilitas proses operasional sebagai dampak dari penerapan metode Six Sigma

DAFTAR PUSTAKA

- Adilang, W.M., Manoppo Victoria, E.N., Rumpampuk, N.D.C., Paulus James, J.H., Sinjal Chatrein, A.L., Lintang Rosita, A.J., Sumilat, D.A. (2025). Strategi pengelolaan sampah domestik di kapal penumpang 'Laksamana Muda John Lie' rute Bitung-Pulau Para. **Jurnal Ilmu Dan Teknologi Perikanan Tangkap**, Vol. 10, No. 1, hal. 26-33.
- Ahmad, F. (2019). Six Sigma Dmaic Sebagai Metode Pengendalian Kualitas Produk Kursi Pada Ukm. **Jurnal Integrasi Sistem Industri**, Vol.6, No. 1, hal. 11–17.
- Aisyah, A.P. dan Dahlia, L. (2022). *Enterprise Risk Management* Berdasarkan ISO 31000 Dalam Pengukuran Risiko Operasional pada Klinik Spesialis Esti. **Jurnal Akuntansi dan Manajemen**, Vol. 19, No. 2, hal. 78–90.
- Alel, A.E., Hastuti, R.P., Legawati, L. (2025). Tantangan Implementasi Program B40 di Indonesia: Tinjauan Teknis dan Ketersediaan Bahan Baku Biodiesel. **Surya Teknika**, Vol. 12, No. 2, hal. 387–393.
- Boettcher Christian., Garg Amit., Mbuthi Paul Nzomo., Oliver Steven J, Q.R. (2019). *Refinement to the 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- Carlson, C. (2012). *Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effect Analysis*. John Wiley and Sons, New Jersey.
- Darmawan, I. dan Basuki, M. (2022). Analisis Risiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Pada Operasional Dan Bongkar Muat di Dermaga Pelayaran Rakyat Gresik Menggunakan Metode Matrik dan FMEA. **Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan II**, hal. 70–77.
- Erlinda Nelfi, Kurniawan Edi, Heykal Muhammad. (2025). Pendekatan Lean dan Six Sigma untuk Manajemen Mutu di Transportasi Laut: studi kasus,” **Jurnal Cakrawala Bahari**, Vol 8.
- Fadaie, S., Thornley, P., Soupeez, J.B. (2025). *A systematic review of technologies, measures, and CO2 emission reduction potential for maritime transport decarbonisation*. **Advances in Applied Energy**.
- Hidajat, H.H., Subagyo, A.M. (2022). Analisis Pengendalian Kualitas Produk X Dengan Metode Six Sigma (DMAIC) Pada PT. XYZ. **Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan**, Vol. 8, No. 9, hal. 234–242.

- International Maritime Organization (2023). **Resolution MEPC.377(80): 2023.** IMO strategy on reduction of greenhouse gas emissions from ships., London.
- IPCC. (2025). IPCC Inventory Software. **Waste Sector Users' Guidebook.**, London.
- Irawan, A., Tyagita, D.A., Nugroho, W.T., Wahyudiono, A., Ramadan, S., Alvian, M.S. (2025). Perkiraan Greenhouse Gases (GHGs) Sampah Berbasis 4R (Reduce, Reuse, Recycle, Replace) Lingkungan Kampus. **J-TETA: Jurnal Teknik Terapan**, Vol. 4, No. 2, hal. 139–145.
- Ismail, A. (2020). Potensi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Dalam Kegiatan Belajar Di Rumah Secara On-line: Analisis Jejak Karbon (*Carbon Footprint Analysis*). **Jukung Jurnal Teknik Lingkungan**, Vol. 6, No. 2, hal. 195–203.
- Karas, A. (2023). *An Analysis Of The Carbon Footprint In Maritime Transport : Challenges And Opportunities For Reducing Greenhouse Gas Emissions.* **TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation**, Vol. 17, No. 1, hal. 199–203.
- Khairansyah, M.D., Amrullah, H.N., Quratuláini, N.F. (2024). Penilaian Risiko Kegagalan Overhead Crane dengan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan Fishbone Diagram. **Jurnal Keselamatan Kesehatan Kerja dan Lingkungan**, Vol. 5, No. 2, hal. 93–101.
- Lutfianto, M.A. dan Prabowo, R. (2022). *Implementation of Six Sigma Methods with Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) as a Tool for *Quality Improvement of Newspaper Products (Case Study: PT. ABC Manufacturing-Sidoarjo, East Java-Indonesia)*. **Journal of Integrated System**, Vol. 5, No. 1, hal. 87–98.
- Malka, L., Zeneli, E., Bailek, N., Xhafaj, E., Sakaj, B., Urooj, S., Younis, J.A. (2025). *Sustainable blue economy: energy consumption and carbon-neutrality strategies for Albania's marine and fisheries sectors.* **Carbon Balance and Management**, Vol. 20, No. 1.
- Pattiruhu, A., Tupan, J.M., Tutuhatunewa, A. (2020). Analisis Karakteristik Karbon Residu Dan Kandungan Sulfur Produk Minyak Biosolar Dengan Pendekatan Six Sigma. **Arika**, Vol. 14, No. 2, hal. 111–120.
- Prasetya, R.Y., Suhermanto, S., Muryanto, M. (2021). Implementasi FMEA dalam Menganalisis Risiko Kegagalan Proses Produksi Berdasarkan RPN. **Performa: Media Ilmiah Teknik Industri**, Vol. 20, No. 2, hal. 133-138.
- Pratama, I.R., Islami, M.C.P. (2023). Analisis Keterlambatan Proyek Produksi

Kereta Dengan Metode Fishbone Diagram. **Prosiding Seminar Nasional Waluyo Jatmiko**, Vol. 16, No. 1, hal. 161–170.

Rahman, A., Shaju, S.U.C., Sarkar, S.K. (2018). *Application of Six Sigma using Define Measure Analyze Improve Control (DMAIC) methodology in Garment Sector*. **Independent Journal of Management & Production**, Vol. 9, No. 3, hal. 810–826.

Rajendra, R., Saptadi, S. (2024). Evaluasi Penerapan Iso 31000:2018 Dengan Melakukan Identifikasi Dan Analisis Risiko Terhadap Kinerja Perusahaan Dengan Metode Risk Matrix (PT. Kernel Indonesia Potential). **Industrial Engineering Online Journal**, Vol. 13, No. 4, hal. 1–14.

Ririn, M., Rokhmah, A., Anzari, F. (2025). Peningkatan Proses Pengolahan Limbah *Sewage Treatment Plant* dalam Pencapaian Baku Mutu Air Limbah Dengan Metode Six Sigma di PT. XY. **Teknik: Jurnal Ilmu Teknik dan Informatika**, Vol. 5, No. 1, hal. 01–12.

Rongcai, R.E.N., Guoxiong, W.U., Ming, C.A.I. (2018). **The Official Council For Six Sigma Certification Handbook**. Harmony Living, Wyoming.

Safitriani, D., Nugraha, K.D., Irmawanti, A. (2023). Analisis Penerapan Six Sigma dalam Pengendalian Kualitas *Green Supply Chain* Penyaluran Minyak Solar. **SEBATIK**, Vol. 27, No. 2, hal. 525–534.

Shamseddin, A.S., Rasoulzadeh, Y., Moshashaei, P., Varmazyar, S. (2015). *Failure modes and effects analysis (FMEA) Toxicological effects of simultaneous exposure to some harmful physical and chemical agents*. **Scientific Journal of Review**, Vol. 4, No. 1, hal. 1–6.

Sharmina, M., Edelenbosch, O.Y., Wilson, C., Freeman, R., Gernaat, D.E.H., Gilbert, P., Larkin, A., Littleton, E.W, Traut, M., Van Vuuren, D.P., Vaughan, N.E., Wood, F.R., Le Quere, F.R.M. (2021). *Decarbonising the critical sectors of aviation, shipping, road freight and industry to limit warming to 1.5–2°C*. **Climate Policy**, Vol. 21, No. 4, hal. 455–474.

Sulistiyono, N., Setiawan, B., Setyarso, F.K. (2022). *Overview of Garbage Management Plan On The MT B Star*, **Inland Waterways Journal**, Vol. 4, No. 1, hal. 49–54.

Susanti, D., Rosyidah, B.M., Disrinama, A. (2018). Analisa *Human error Probability* Dalam Proses *Grinding* Menggunakan Metode Slim-AHP. **Proceeding 2nd Conference on Safety Engineering and Its Application**, hal. 491–496.

Tambunan, D.G., Sumartono, B., Moektiwibowo, H. (2020). Analisis Pengendalian Kualitas Dengan Upaya Mengurangi Kecacatan Pada Proses Produksi

- Koper Di PT SRG. **Jurnal Teknik Industri**, Vol. 9, hal. 58–77.
- Tampubolon, M.M., Situmorang, P.N.C. (2023). Pembuatan Model Bisnis Proses Aplikasi Tebaran Nusira Dengan Pendekatan BPMN. **Data Sciences Indonesia (DSI)**, Vol 3, No. 1, hal. 12–22.
- Wandana, Y.A., Rahmawati, N. (2025). Analisis penyebab demurrage pada proses bongkar muat material impor proyek kapal x dengan metode six sigma DMAIC (Studi kasus: PT ABC), **Jurnal Teknik Industri Terintegrasi**, Vol. 8, No. 1, hal. 68–76.
- Whulanza, Y., Kusriani, E., Budiyanto, M.A., Arnas., Yanuar. (2024). *Decarbonizing the Maritime Industry: A Collaborative Path Forward*. **International Journal of Technology**, Vol. 15, No. 6, hal. 1593–1601.
- Yoppy, M.M. (2023). Model Perencanaan Proses Bisnis Berdasarkan Business Process Management Pada Universitas Dinamika. **Jurnal Ilmiah MEDIA SISFO**, Vol. 17, No. 1, hal. 1–85.
- Yuamita, F., Fatkhurohman, A. (2023). Analisis Resiko Kecelakaan Kerja Pada Stasiun Pemotongan Batu Alam Dengan Menggunakan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) Di PBA Surya Alam. **Jurnal Cakrawala Ilmiah**, Vol. 2, hal. 4687–4696.
- Zulkhulaifah, J.A., Apriliani, F. (2024). Penerapan Six Sigma dan Metode *Define, Measure, Analyze, Improve, Control* (DMAIC) untuk Analisis Green Tyre Shortage di PT Merpati Putih. **Factory Jurnal Industri, Manajemen dan Rekayasa Sistem Industri**, Vol. 2, No. 3, hal. 119–133.

Lampiran Biodata Penulis

BIODATA PENULIS

1. Nama : Muchammad Yusuf Effendhy
2. NRP : 1122040046
3. Program Studi : D4-Manajemen Bisnis
4. Agama : Islam
5. Status : Belum Menikah
6. Nomor Telepon : 087885715227
7. Jenis Kelamin : Laki-laki
8. Email : yusufeffendhy97@gmail.com
9. Tempat, Tanggal Lahir: Surabaya, 19 Januari 2003



PENDIDIKAN FORMAL			
Pendidikan	Tahun	Tempat Pendidikan	Jurusan
Diploma 4	2022-2026	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya	Teknik Bangunan Kapal
SMK	2019-2022	SMKN 5 Surabaya	Teknik Instalasi Tenaga Listrik
SMP	2016-2019	SMPN 9 Surabaya	-