

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**ANALISIS MANAJEMEN RISIKO DAN STRATEGI
PENANGANAN FENOMENA *SELF-HEATING COAL*
PADA OPERASI PEMUATAN BATUBARA
DI PELABUHAN MUARA JAWA**



AKBAR YASSER AL RASHID
NIT 22 363 08 2 052

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA OPERASI KAPAL
TAHUN 2026

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**ANALISIS MANAJEMEN RISIKO DAN STRATEGI
PENANGANAN FENOMENA *SELF-HEATING COAL*
PADA OPERASI PEMUATAN BATUBARA
DI PELABUHAN MUARA JAWA**



AKBAR YASSER AL RASHID
NIT 22 363 08 2 052

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA OPERASI KAPAL
TAHUN 2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : AKBAR YASSER AL RASHID
Nomor Induk Taruna : 22363082052
Program Studi : Diploma IV Teknologi Rekayasa Operasi Kapal

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

**ANALISIS MANAJEMEN RISIKO DAN STRATEGI PENANGANAN
FENOMENA *SELF-HEATING COAL* PADA OPERASI PEMUATAN
BATUBARA DI PELABUHAN MUARA JAWA**

Merupakan karya asli seluruh ide yang ada dalam KIT tersebut, kecuali tema dan yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri. Jika pernyataan di atas terbukti tidak benar, maka saya sendiri menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

Surabaya, 18 -05- 2026



AKBAR YASSER AL RASHID

**PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL
KARYA ILMIAH TERAPAN**

Judul : Analisis Manajemen Risiko Dan Strategi Penanganan
Fenomena *Self-Heating Coal* Pada Operasi Pemuatan
Batubara Di Pelabuhan Muara Jawa

Program Studi : Teknologi Rekayasa Operasi Kapal

Nama : Akbar Yasser Al Rashid

NIT : 22 36308 2 052

Jenis Tugas Akhir : ~~Prototype / Proyek~~ / Karya Ilmiah Terapan*

Keterangan: *(coret yang tidak perlu)

Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk
dilaksanakan Uji Kelayakan Proposal

Surabaya, 18 Mei 2026

Menyetujui,

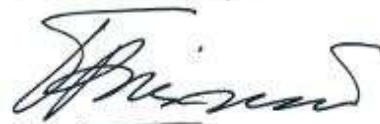
Dosen Pembimbing I



(I'ie Suwondo, S.Si.T., M.Pd., M.Mar.)

Penata Tk. I (III/d)
NIP. 197702142009121001

Dosen Pembimbing II



(Dr. TRISNOWATI RAHAYU, M.AP.)

Pembina Utama Muda (IV/c)
NIP. 196602161993032001

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Operasi Kapal



(I'ie Suwondo, S.Si.T., M.Pd., M.Mar.)

Penata Tk. I (III/d)
NIP. 197702142009121001

**PERSETUJUAN SEMINAR HASIL
KARYA ILMIAH TERAPAN**

Judul : Analisis Manajemen Risiko Dan Strategi Penanganan
Fenomena *Self-Heating Coal* Pada Operasi Pemuatan Batubara
Di Pelabuhan Muara Jawa

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Operasi Kapal

Nama : Akbar Yasser Al Rashid

NIT : 22 36308 2 052

Jenis Tugas Akhir : ~~Prototype~~ / Karya Ilmiah Terapan / Karya Tulis Ilmiah*

Keterangan: *(coret yang tidak perlu)

Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk
dilaksanakan Seminar Hasil Tugas Akhir

Surabaya, 18 Mei 2026
Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



IIE SUWONDO, S.SiT, M.Pd., M.Mar.
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 197702142009121001

Dosen Pembimbing II



Dr. TRISNOWATI RAHAYU, M.AP.
Pembina Utama Muda (IV/c)
NIP. 196602161993032001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Operasi Kapal
Politeknik Pelayaran Surabaya



IIE SUWONDO, S.SiT, M.Pd., M.Mar.
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 197702142009121001

**PENGESAHAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**ANALISIS MANAJEMEN RISIKO DAN STRATEGI PENANGANAN
FENOMENA *SELF-HEATING COAL* PADA OPERASI PEMUATAN
BATUBARA DI PELABUHAN MUARA JAWA**

Disusun oleh:

AKBAR YASSER AL RASHID
NIT. 22363082052

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Hasil Tugas Akhir
Politeknik Pelayaran Surabaya

Surabaya, 18 Mei 2026

Mengesahkan,

Dosen Penguji I



(Fazri Hermanto, S.S.T.Pel M.Pd.)
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 199001062014021004

Dosen Penguji II



(T'ie Suwondo, S.Si.T., M.Pd. M.Mar.)
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 197702142009121001

Dosen Penguji III



(Dr. Trisnowati Rahayu, M. AP.)
Pembina Utama Muda (IV/c)
NIP. 196602161993032001

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Operasi Kapal



(T'ie Suwondo, S.Si.T., M.Pd. M.Mar.)
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 197702142009121001

**PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**ANALISIS MANAJEMEN RISIKO DAN STRATEGI PENANGANAN
FENOMENA *SELF-HEATING COAL* PADA OPERASI PEMUATAN
BATUBARA DI PELABUHAN MUARA JAWA**

Disusun oleh:

AKBAR YASSER AL RASHID

NIT. 22 36308 2 052

Teknologi Rekayasa Operasi Kapal

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Hasil Tugas Akhir

Politeknik Pelayaran Surabaya

Surabaya, 18 Mei.....2026

Mengesahkan,

Dosen Penguji I



FAZRI HERMANTO, S.S.T.Pel., M.Pd.

Penata Tk. I (III/d)

NIP. 199001062014021004

Dosen Penguji II



TJE SUWONDO, S.SiT, M.Pd., M.Mar.

Penata Tk. I (III/d)

NIP. 197702142009121001

Dosen Penguji III



Dr. TRISNOWATI RAHAYU, M.AP.

Pembina Utama Muda (IV/c)

NIP. 196602161993032001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Operasi Kapal

Politeknik Pelayaran Surabaya



TJE SUWONDO, S.SiT, M.Pd., M.Mar.

Penata Tk. I (III/d)

NIP. 197702142009121001

ABTSRAK

Akbar Yasser Al Rashid, 2025, “Analisis Manajemen Risiko dan Strategi Penanganan Fenomena *Self-Heating Coal* pada Operasi Pemuatan Batubara di Pelabuhan Muara Jawa”. Politeknik Pelayaran Surabaya. Dibimbing oleh Dosen Pembimbing I: I’ie Suwondo, S.Si.T, M.Pd., M.Mar. dan Dosen Pembimbing II: Dr. Trisnowati Rahayu, M.AP.

Fenomena *self-heating* pada batubara merupakan salah satu risiko utama dalam operasi pemuatan di Pelabuhan Muara Jawa karena berpotensi menyebabkan kenaikan suhu internal, munculnya asap, pelepasan gas berbahaya, hingga kebakaran palka kapal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor penyebab terjadinya *self-heating*, menilai tingkat risiko pada setiap tahapan pemuatan menggunakan metode Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA), serta mengevaluasi kesesuaian prosedur penanganannya terhadap ketentuan International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC) Code dan International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif sebagai penelitian terapan dengan pengumpulan data melalui observasi langsung selama praktik di MV Golden Ace, pengukuran suhu batubara menggunakan *thermal scanner* pada setiap siklus pemindahan sebelum muatan dijatuhkan ke palka, serta studi dokumentasi regulasi internasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu batubara mencapai 56°C, melampaui ambang batas aman 55°C menurut IMSBC Code, sehingga pemuatan harus dihentikan sementara untuk proses pendinginan. Analisis HIRA mengidentifikasi bahwa tahap paling berisiko terjadi pada pemindahan dari tongkang ke *grab crane* akibat agitasi material, paparan oksigen, dan kondisi lingkungan tropis yang mendukung percepatan oksidasi suhu rendah. Meskipun sebagian prosedur operasional telah mengacu pada regulasi internasional, aspek dokumentasi suhu dan monitoring gas di palka masih memerlukan penguatan. Penelitian ini menegaskan pentingnya deteksi dini, monitoring berkelanjutan, serta strategi mitigasi terintegrasi guna meningkatkan keselamatan operasional pemuatan batubara.

Kata kunci: *Self-heating*, Batubara, IMSBC Code, HIRA, Keselamatan Pelayaran.

ABSTRACT

Akbar Yasser Al Rashid, 2025, " Risk Management Analysis and Mitigation Strategies for the Self-Heating Coal Phenomenon in Coal Loading Operations at Muara Jawa Port." Surabaya Maritime Polytechnic. Supervised by Supervisor I: I'ie Suwondo, S.Si.T, M.Pd., M.Mar., and Supervisor II: Dr. Trisnowati Rahayu, M.AP.

The phenomenon of coal self-heating represents a major risk in loading operations at Muara Jawa Port, as it may lead to internal temperature rise, smoke generation, release of hazardous gases, and even cargo hold fires. This study aims to analyze the factors contributing to coal self-heating, assess the level of risk at each stage of the loading process using the Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA) method, and evaluate the compliance of handling procedures with the International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC) Code and the International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code. This research adopts a descriptive qualitative approach as applied research. Data were collected through direct observation during sea practice aboard MV Golden Ace, temperature measurements using a thermal scanner at each transfer cycle before the cargo was discharged into the hold, and a review of relevant international regulations. The findings indicate that coal temperature reached 56°C, exceeding the safe threshold of 55°C stipulated in the IMSBC Code, which required temporary suspension of loading for cooling purposes. HIRA analysis identified the transfer stage from barge to grab crane as the most critical risk point due to material agitation, oxygen exposure, and tropical environmental conditions that accelerate low-temperature oxidation. Although certain operational procedures comply with international standards, improvements are needed in temperature documentation and cargo hold gas monitoring. This study highlights the importance of early detection, continuous monitoring, and integrated mitigation strategies to enhance the operational safety of coal loading activities.

Keywords: *Self-heating, Coal, IMSBC Code, HIRA, Maritime Safety.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang dengan memberikan ridhonya, dengan kesempatan ini penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Karya Ilmiah Terapan dengan judul :

“ANALISIS MANAJEMEN RISIKO DAN STRATEGI PENANGANAN FENOMENA *SELF-HEATING COAL* PADA OPERASI PEMUATAN BATUBARA DI PELABUHAN MUARA JAWA”

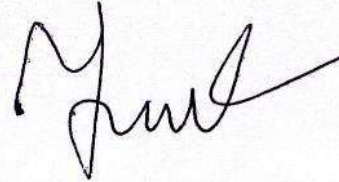
Untuk menyelesaikan studi pendidikan program Diploma IV salah satu syarat yang di lakukan oleh Taruna adalah penyusunan Karya Ilmiah Terapan yang berguna sebagai pembekalan Taruna dalam menjalani Praktek Laut di atas kapal.

Dalam kesempatan yang telah diberikan ini, saya menyampaikan terima kasih kepada pihak – pihak yang sudah terlibat dalam penyelesaian proposal penelitian ini, dengan hormat :

1. Bapak Moejiono, M.T., M.Mar.E, selaku Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah memberikan tempat dan fasilitas yang memadai kepada taruna-taruni Politeknik Pelayaran Surabaya.
2. Bapak I'ie Suwondo, S.Si.T, M.Pd., M.Mar. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Operasi Kapal Politeknik Pelayaran Surabaya dan Pembimbing I yang telah memberikan masukan dan arahan dalam menyelesaikan Karya Ilmiah Terapan ini.
3. Ibu Dr. Trisnowati Rahayu, M.AP. selaku Pembimbing II yang telah memberikan masukan dan arahan dalam menyelesaikan Karya Ilmiah Terapan ini.
4. Bapak Fazri Hermanto, S.S.T.Pel., M.Pd. selaku penguji I yang telah memberikan arahan serta bimbingan dalam pengujian, sehingga saya dapat memberikan yang terbaik dalam penulisan Karya Ilmiah Terapan ini.
5. Seluruh dosen di Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah mengarahkan penulis.
6. Seluruh kru kapal MV. Golden Rejeki dan MV. Golden Ace serta pihak manajemen PT. Golden Ocean Line yang telah memberikan pengalaman bekerja selama penulis melaksanakan praktik laut.
7. Letkol CBA (Purn). Sunarto S.Sos dan Ibu Nanien Fitriyah selaku orang tua saya yang telah mendukung penuh berupa moril, material, semangat, serta do'a dalam penyelesaian Karya Ilmiah Terapan ini.
8. Reza Wisnumurty dan Karina Hastuti selaku saudara saya yang telah memberikan semangat, dukungan dan do'a dalam penyelesaian Karya Ilmiah Terapan ini.
9. Rekan warung masbray dan huwala, selaku sahabat yang telah memberikan semangat, dukungan, dan do'a dalam penyelesaian Karya Ilmiah Terapan ini.

Demikian, saya berharap proposal ini dapat memberikan manfaat dan pembelajaran untuk pembaca serta dapat membantu untuk kemajuan pelayaran di Indonesia.

Surabaya, 21 Mei 2026

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Akbar Yasser Al Rashid', written in a cursive style.

AKBAR YASSER AL RASHID

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL	iv
PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR	v
PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR	vi
ABTSRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
1. Manfaat Teoritis	4
2. Manfaat Praktis	5
3. Manfaat Kebijakan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Review Penelitian Sebelumnya.....	7
B. Landasan Teori	9

1. Teori <i>Self-heating</i> dan Oksidasi Suhu Rendah.....	9
2. Teori Manajemen Risiko.....	15
3. Regulasi Internasional (IMSBC Code dan IMDG Code)	19
C. Kerangka Berpikir Penelitian.....	23
BAB III METODE PENELITIAN	28
A. Jenis Penelitian.....	28
B. Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
C. Sumber Data Penelitian.....	29
1. Data Primer	29
2. Data Sekunder	30
D. Teknik Pengumpulan Data	30
1. Observasi.....	30
2. Pengukuran Suhu	31
3. Studi Dokumentasi.....	31
E. Teknik Analisis Data	31
1. <i>Hazard Identification</i>	32
2. <i>Risk Assessment</i>	32
3. <i>Risk Control</i>	32
F. Keabsahan Data.....	32
G. Alur Penelitian	33
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	34
A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian	34
B. Hasil Penelitian	35
1. Penyajian Data	35

2. Analisis Data.....	42
C. Pembahasan.....	50
BAB V PENUTUP.....	68
A. Simpulan	68
B. Saran	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Review Penelitian Sebelumnya.....	7
Tabel 4.1: Hasil Pengukuran Suhu Batubara.....	35
Tabel 4.2: Matriks HIRA.....	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1: Kerangka Pikir Penelitian	25
--	----

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Batubara merupakan salah satu komoditas energi strategis yang memiliki peranan penting dalam sistem perdagangan maritim Indonesia. Provinsi Kalimantan Timur sebagai salah satu sentra produksi batubara nasional menjadikan wilayah pesisir seperti Pelabuhan Muara Jawa sebagai simpul utama distribusi dan ekspor batubara ke berbagai negara tujuan. Aktivitas pemuatan batubara dari tongkang ke kapal niaga di wilayah ini berlangsung secara intensif dan berkelanjutan, sehingga aspek keselamatan operasional menjadi faktor yang sangat krusial.

Di sisi lain, batubara termasuk dalam kategori kargo curah padat yang memiliki karakteristik khusus, terutama kecenderungan mengalami *self-heating* atau pemanasan sendiri akibat proses oksidasi suhu rendah. Apabila panas tersebut tidak terdisipasi secara efektif, maka suhu akan meningkat secara progresif hingga mencapai tahap pembentukan titik panas (*hot spot*), munculnya asap, dan pada kondisi ekstrem dapat berkembang menjadi pembakaran spontan (*spontaneous combustion*) (Onifade & Genc, 2020)

Penelitian mutakhir menunjukkan bahwa fenomena *self-heating* dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain karakteristik fisik–kimia batubara (kadar air, *volatile matter*, sulfur, ukuran partikel), konfigurasi tumpukan, serta kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembapan, khususnya pada wilayah tropis (Jin et al., 2025; Zhou et al., 2024). Dalam konteks Indonesia yang

beriklim panas dan lembap, risiko *self-heating* menjadi semakin signifikan apabila manajemen stockpile dan proses pemindahan muatan tidak dikendalikan secara sistematis (Nursanto et al., 2024).

Dalam lingkup transportasi laut, *self-heating* bukan sekadar isu teknis, melainkan ancaman langsung terhadap keselamatan kapal, awak, dan lingkungan. Studi Temel et al. (2024) menunjukkan bahwa kegagalan pengendalian risiko *self-heating* selama transportasi maritim batubara dapat berujung pada kebakaran palka, pelepasan gas beracun seperti karbon monoksida (CO) dan metana (CH₄), serta kerusakan struktural kapal (Temel et al., 2024). Di Indonesia sendiri, laporan kasus keterlambatan pemuatan akibat kebakaran muatan batubara di area Muara Jawa menegaskan bahwa fenomena ini memiliki implikasi operasional nyata (Suryadi et al., 2025).

Kerangka regulasi internasional sebenarnya telah memberikan pedoman yang jelas. International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC) Code menyatakan bahwa batubara tidak boleh dimuat apabila suhu melebihi 55°C atau terdapat indikasi *self-heating* (International Maritime Organization, 2020). International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code juga menekankan pentingnya pengendalian ventilasi dan pencegahan akumulasi panas pada kargo yang berpotensi mengalami pembakaran spontan.

Namun demikian, efektivitas regulasi tersebut sangat bergantung pada implementasi di tingkat operasional. Pengukuran suhu sebelum muat, dokumentasi hasil inspeksi, monitoring atmosfer palka, serta kesiapan kru dalam mengenali gejala awal *self-heating* menjadi faktor penentu keberhasilan manajemen risiko. Pengalaman operasional di MV Golden Ace pada saat

pemuatan batubara di Muara Jawa menunjukkan bahwa suhu batubara sempat mencapai 56°C, melampaui batas aman 55°C, sehingga proses pemuatan harus dihentikan sementara untuk dilakukan pendinginan. Kondisi ini menunjukkan adanya risiko nyata yang perlu dianalisis secara sistematis menggunakan pendekatan manajemen risiko seperti Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA).

Berdasarkan urgensi tersebut, diperlukan penelitian terapan yang secara komprehensif menganalisis manajemen risiko dan strategi penanganan fenomena *self-heating* batubara pada operasi pemuatan di Pelabuhan Muara Jawa. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi peningkatan keselamatan pelayaran serta penguatan implementasi regulasi internasional di tingkat operasional kapal dan pelabuhan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Faktor-faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya fenomena *self-heating* batubara pada operasi pemuatan di Pelabuhan Muara Jawa?
2. Bagaimana tingkat risiko *self-heating* pada setiap tahapan pemuatan berdasarkan analisis HIRA?
3. Sejauh mana implementasi prosedur penanganan *self-heating* telah sesuai dengan ketentuan IMSBC Code dan IMDG Code?
4. Strategi manajemen risiko apa yang paling efektif untuk mencegah dan mengendalikan *self-heating* pada operasi pemuatan batubara?

C. Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi faktor-faktor penyebab *self-heating* batubara selama proses pemuatan di Pelabuhan Muara Jawa.
2. Menganalisis tingkat risiko *self-heating* menggunakan metode Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA).
3. Mengevaluasi kesesuaian implementasi prosedur operasional dengan IMSBC Code dan IMDG Code.
4. Merumuskan strategi mitigasi risiko yang aplikatif dan sesuai dengan kondisi operasional lapangan.

D. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Secara teoritis, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu manajemen risiko maritim, khususnya dalam kajian keselamatan kargo curah padat (*solid bulk cargo*). Fenomena *self-heating* pada batubara selama ini lebih banyak diteliti dalam konteks pertambangan dan *stockpile* darat, sementara kajian yang secara spesifik menganalisis fase pemuatan di pelabuhan dan transfer muatan ke kapal masih relatif terbatas.

Penelitian ini memperluas perspektif tersebut dengan menempatkan proses pemindahan batubara dari tongkang ke kapal sebagai fase kritis dalam rantai logistik yang memiliki potensi peningkatan oksidasi akibat paparan ulang terhadap oksigen dan kondisi kelembapan tropis. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam mengintegrasikan teori

oksidasi suhu rendah batubara dengan pendekatan manajemen risiko operasional berbasis HIRA dalam konteks transportasi laut.

Selain itu, penelitian ini memperkuat penerapan pendekatan *Hazard Identification and Risk Assessment* (HIRA) sebagai alat analisis risiko pada kargo batubara yang rentan terhadap pembakaran spontan, sehingga dapat memperkaya literatur mengenai penerapan metode *risk-based safety management* dalam industri pelayaran.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini memberikan kontribusi praktis bagi peningkatan keselamatan dan efektivitas operasi pemuatan batubara di kapal maupun pelabuhan. Rekomendasi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar penyempurnaan prosedur inspeksi suhu sebelum dan selama pemuatan, penguatan dokumentasi hasil thermal scanning, serta penerapan penghentian pemuatan apabila suhu melebihi ambang batas 55°C sesuai ketentuan IMSBC Code. Selain itu, penelitian ini menekankan pentingnya *monitoring* atmosfer palka untuk mendeteksi potensi akumulasi gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO) dan metana (CH₄) sebagai bagian dari sistem pengendalian risiko yang berkelanjutan.

Di tingkat pelabuhan dan terminal, temuan penelitian ini dapat menjadi dasar penguatan sistem kontrol suhu sebelum muat, penerapan prosedur karantina terhadap batubara dengan suhu tinggi, serta peningkatan koordinasi antara pihak kapal dan operator terminal guna mencegah gangguan operasional dan potensi kerugian ekonomi seperti *demurrage*. Secara operasional, penelitian ini juga meningkatkan kesadaran awak kapal

dan petugas lapangan terhadap tanda-tanda awal *self-heating*, sehingga dapat memperkuat budaya keselamatan (*safety culture*) dalam penanganan kargo curah batubara.

3. Manfaat Kebijakan

- a. Perusahaan pelayaran dalam memperkuat sistem Safety Management System (SMS)
- b. Regulator pelabuhan dalam meningkatkan pengawasan pemuatan batubara
- c. Otoritas keselamatan pelayaran dalam melakukan audit kepatuhan terhadap IMSBC Code

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Fenomena *self-heating* dan pembakaran spontan batubara telah banyak dikaji dalam konteks pertambangan dan manajemen *stockpile*, namun kajian yang secara spesifik meneliti fase pemuatan di pelabuhan dan transfer muatan ke kapal masih relatif terbatas.

Tabel 2.1: *Review* Penelitian Sebelumnya

No	Penulis	Judul Penelitian	Masalah	Metode Penelitian	Hasil
1	Onifade & Genc (2020)	A Review of Research on Spontaneous Combustion of Coal	Bagaimana mekanisme dan faktor penyebab pembakaran spontan batubara	Literature review	<i>Self-heating</i> terjadi akibat oksidasi suhu rendah yang dipengaruhi sifat kimia batubara, ukuran partikel, dan paparan oksigen
2	Jin et al. (2025)	Research Status and Prospect of Coal Spontaneous Combustion Source Location Determination Technology	Bagaimana menentukan lokasi sumber pembakaran spontan batubara	Review penelitian & analisis teknologi	Interaksi batubara–oksigen dan akumulasi panas merupakan mekanisme utama <i>self-heating</i>
3	Nursanto et al. (2024)	Review of Stockpile Management to Reduce the Risk of Coal <i>Self-heating</i>	Risiko <i>self-heating</i> akibat pengelolaan stockpile yang tidak optimal	Studi deskriptif & evaluasi manajemen stockpile	Desain tumpukan, ventilasi, dan kelembapan tinggi meningkatkan risiko pembakaran spontan
4	Zhou et al. (2024)	Modeling and Parametric Analysis of Low-Temperature Oxidative <i>Self-heating</i> in Coal Stockpiles	Bagaimana proses konveksi alami mempercepat <i>self-heating</i>	Pemodelan numerik	Porositas, tinggi tumpukan, dan aliran udara berperan dalam pembentukan zona panas
5	Temel et al. (2024)	Fuzzy Bow-Tie Analysis for Mitigating <i>Self-heating</i> Risks	Risiko <i>self-heating</i> dalam transportasi	Fuzzy Bow-Tie Risk Analysis	Kurangnya monitoring suhu dan ventilasi menjadi penyebab

No	Penulis	Judul Penelitian	Masalah	Metode Penelitian	Hasil
		in Maritime Coal Transportation	maritim batubara		utama kebakaran palka
6	Suryadi et al. (2025)	Analisis Faktor Keterlambatan Pemuatan Batu Bara di MV TAI SPRING Karena Kebakaran Pada Muatan	Keterlambatan pemuatan akibat kebakaran batubara	Studi kasus & analisis deskriptif	Kebakaran muatan menyebabkan gangguan operasional dan kerugian ekonomi
7	Li et al. (2021)	Low-Temperature Oxidation and Self-heating Accelerated Spontaneous Combustion Properties of Coal	Pengaruh kadar kelembapan terhadap <i>self-heating</i>	Eksperimen laboratorium	Kelembapan tertentu mempercepat oksidasi dan peningkatan suhu
8	Kautsar & Moralista (2025)	Monitoring Temperature Batubara untuk Prediksi Swabakar pada Stockpile	Deteksi dini peningkatan suhu pada stockpile	Monitoring suhu lapangan	Suhu internal bisa jauh lebih tinggi dibanding permukaan, sehingga diperlukan monitoring berlapis

Sumber: Dokumentasi pribadi (2025)

Berdasarkan hasil kajian terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa fenomena *self-heating* dan pembakaran spontan batubara telah banyak diteliti dalam konteks pertambangan dan pengelolaan stockpile. Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada mekanisme oksidasi suhu rendah, pengaruh karakteristik fisik-kimia batubara, serta pemodelan numerik dan eksperimen laboratorium untuk memahami proses akumulasi panas. Penelitian lain juga telah mengkaji aspek manajemen risiko dalam transportasi maritim menggunakan pendekatan analisis risiko berbasis model seperti Fuzzy Bow-Tie. Temuan-temuan tersebut menjadi landasan teoritis dan empiris yang kuat dalam memahami potensi bahaya *self-heating*.

Namun demikian, terdapat perbedaan mendasar antara penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Jika penelitian terdahulu lebih menitikberatkan pada fase penyimpanan di stockpile atau analisis eksperimental di laboratorium, maka penelitian ini secara khusus menganalisis fase operasional pemuatan batubara di pelabuhan sebagai titik kritis risiko. Selain itu, penelitian ini menggunakan pendekatan Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA) untuk menilai tingkat risiko pada setiap tahapan pemindahan muatan dari tongkang ke kapal, serta mengevaluasi implementasi regulasi internasional seperti IMSBC Code dan IMDG Code dalam praktik lapangan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengkaji aspek teknis *self-heating*, tetapi juga mengintegrasikan analisis manajemen risiko operasional secara aplikatif dalam konteks transportasi maritim di wilayah tropis.

B. Landasan Teori

Berdasarkan karya ilmiah terapan yang berjudul Analisis Manajemen Risiko dan Strategi Penanganan Fenomena *Self-heating Coal* pada Operasi Pemuatan Batubara di Pelabuhan Muara Jawa, landasan teori yang didapatkan oleh peneliti dapat menjadi pendukung karya ilmiah terapan ini yang memiliki hubungan dengan masalah yang dialami selama melaksanakan penelitian. Berikut landasan teori yang didapat yaitu:

1. Teori *Self-heating* dan Oksidasi Suhu Rendah

Self-heating pada batubara merupakan fenomena termokimia yang terjadi akibat *reaksi* oksidasi suhu rendah antara batubara dan oksigen di

udara. Proses ini bersifat eksotermis, artinya menghasilkan panas sebagai produk reaksi. Pada tahap awal, oksidasi berlangsung lambat dan tidak terlihat secara kasat mata, namun panas yang dihasilkan akan terakumulasi di dalam massa batubara apabila tidak terjadi pelepasan panas (*heat dissipation*) yang memadai. Akumulasi panas inilah yang menyebabkan kenaikan suhu internal secara bertahap hingga mencapai kondisi kritis yang dapat berkembang menjadi pembakaran spontan (*spontaneous combustion*) (Onifade & Genc, 2020).

Temuan ini diperkuat oleh penelitian Yolanda et al. (2024) yang menunjukkan bahwa kenaikan temperatur batubara dapat dijadikan indikator awal terjadinya *swabakar* pada stockpile. Penelitian tersebut menegaskan bahwa peningkatan suhu yang awalnya tampak tidak signifikan dapat berkembang menjadi kondisi berbahaya apabila tidak dilakukan pemantauan yang sistematis (Yolanda et al., 2024). Sejalan dengan itu, Kautsar dan Moralista (2025) menekankan bahwa monitoring suhu secara berkala di lapangan sangat penting karena peningkatan temperatur internal sering kali tidak terdeteksi hanya melalui pengamatan visual (Kautsar & Moralista, 2025). Oleh karena itu, *self-heating* bukanlah peristiwa mendadak, melainkan proses bertahap yang dapat diidentifikasi melalui sistem pemantauan temperatur yang konsisten dan terdokumentasi.

Secara kimiawi, oksidasi suhu rendah melibatkan reaksi antara gugus fungsi aktif pada struktur batubara seperti gugus hidroksil, karbonil, dan alifatik dengan molekul oksigen. Reaksi ini menghasilkan senyawa antara seperti peroksida dan hidroperoksida yang bersifat tidak stabil dan terus

melepaskan panas. Apabila panas tersebut tidak dapat dilepaskan ke lingkungan, maka suhu internal akan *meningkat* dan mempercepat laju reaksi oksidasi selanjutnya. Fenomena ini dikenal sebagai efek umpan balik termal (*thermal feedback*), di mana kenaikan suhu mempercepat reaksi kimia, dan reaksi kimia kembali meningkatkan suhu secara progresif.

Menurut Onifade dan Genc (2020), proses *self-heating* umumnya berkembang melalui beberapa tahapan, yaitu: tahap oksidasi awal suhu rendah, tahap peningkatan suhu akseleratif, pembentukan titik panas (*hot spot*), hingga akhirnya mencapai *tahap* pembakaran spontan apabila suhu telah melampaui titik penyalaan. Pada tahap awal (*incipient stage*), kenaikan suhu mungkin hanya beberapa derajat di atas suhu lingkungan dan sulit terdeteksi tanpa alat ukur yang akurat. Namun, pada tahap lanjutan, peningkatan suhu dapat *berlangsung* lebih cepat dan menghasilkan gas-gas seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), serta metana (CH₄), yang berpotensi menimbulkan risiko tambahan berupa keracunan atau ledakan di ruang tertutup seperti palka kapal.

Dalam konteks distribusi panas, Thabari et al. (2023) melalui pemodelan skala besar menunjukkan bahwa akumulasi panas dalam timbunan batubara tidak terjadi secara *homogen*, melainkan membentuk zona panas internal yang dapat berkembang tanpa indikasi signifikan di permukaan. Model tersebut menjelaskan bahwa distribusi temperatur dipengaruhi oleh geometri tumpukan, konduktivitas termal, serta suplai oksigen yang tidak merata (Thabari et al., 2023). Temuan ini memperkuat

argumentasi bahwa *pengukuran* suhu permukaan saja sering kali tidak cukup untuk menggambarkan kondisi internal batubara secara menyeluruh.

Penelitian Andryanto et al. (2025) menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara durasi penyimpanan batubara dengan peningkatan temperatur internal pada stockpile. Semakin lama batubara berada dalam kondisi tertumpuk tanpa pengendalian yang memadai, semakin besar potensi peningkatan suhu akibat akumulasi panas oksidasi (Andryanto et al., 2025). Hal ini sejalan dengan temuan Sarmidi et al. (2024) yang menyatakan bahwa timbunan sementara batubara dengan ventilasi terbatas dan kepadatan tinggi dapat mempercepat pembentukan zona panas internal yang berujung pada pembakaran spontan (Sarmidi et al., 2024).

Faktor intrinsik batubara sangat menentukan kecenderungan self-heating. Batubara dengan rank rendah (misalnya lignit atau sub-bituminous) umumnya memiliki porositas lebih tinggi dan kandungan zat volatil yang lebih besar, sehingga lebih reaktif terhadap oksigen. Kurniawan et al. (2020) menegaskan bahwa kualitas *batubara* menjadi faktor penentu utama dalam risiko swabakar, di mana karakteristik kimia tertentu meningkatkan sensitivitas terhadap *oksidasi* suhu rendah (Kurniawan et al., 2020). Selain itu, ukuran partikel yang lebih kecil meningkatkan luas permukaan kontak dengan udara, sehingga mempercepat laju oksidasi. Struktur mikro dan luas permukaan internal yang besar memungkinkan penetrasi oksigen lebih dalam ke dalam massa batubara, yang pada akhirnya meningkatkan potensi pembentukan zona panas.

Kelembapan *juga* memiliki peran kompleks dalam proses oksidasi suhu rendah. Li et al. (2021) menjelaskan bahwa pada kadar tertentu, kelembapan dapat mempercepat reaksi oksidatif melalui mekanisme katalitik dan peningkatan difusi oksigen ke dalam pori-pori batubara. Air dapat memfasilitasi pembentukan gugus oksigen aktif serta meningkatkan mobilitas molekul, sehingga mempercepat pembentukan panas. Namun, pada kadar kelembapan yang sangat tinggi, air juga dapat bertindak sebagai media pendingin yang menyerap panas (Li et al., 2021). Oleh karena itu, pengaruh kelembapan bersifat non-linier dan sangat bergantung pada karakteristik batubara dan kondisi lingkungan.

Dalam konteks lingkungan tropis seperti Pelabuhan Muara Jawa, kombinasi suhu udara yang relatif tinggi dan kelembapan besar menciptakan kondisi yang kondusif bagi terjadinya akumulasi panas. Suhu lingkungan yang tinggi mengurangi gradien temperatur antara batubara dan udara sekitar, *sehingga* proses *pelepasan* panas menjadi kurang efektif. Kondisi ini sejalan dengan hasil kajian Juniah et al. (2025) yang menunjukkan bahwa pengelolaan kualitas lingkungan pada stockpile memiliki implikasi teknis dan ekonomi terhadap risiko pembakaran spontan (Juniah et al., 2025). Selain itu, Anghelescu dan Diaconu (2024) menegaskan bahwa kondisi lingkungan yang tidak terkontrol memerlukan pendekatan monitoring yang lebih komprehensif, termasuk penggunaan sistem deteksi *suhu* berbasis sensor dan analisis gas untuk meningkatkan akurasi identifikasi self-heating sejak tahap awal (Anghelescu & Diaconu, 2024).

Selain faktor kimia dan kelembapan, dinamika aliran udara di dalam tumpukan batubara juga berperan signifikan. Zhou et al. (2024) melalui pemodelan numerik menunjukkan bahwa konveksi alami dapat menciptakan sirkulasi udara di dalam timbunan batubara. Aliran udara ini membawa suplai oksigen baru ke bagian dalam tumpukan dan sekaligus mempercepat reaksi oksidasi di area tertentu. Akibatnya, terbentuk zona panas internal (*internal hot zone*) yang tidak selalu terdeteksi melalui pengukuran suhu permukaan (Zhou et al., 2024). Temuan ini diperkuat oleh kajian Anghelescu dan Diaconu (2024) yang menyatakan bahwa keterbatasan metode pengukuran konvensional sering kali menjadi hambatan dalam deteksi dini pembakaran spontan.

Dalam konteks transportasi maritim, pemindahan batubara dari stockpile ke tongkang, kemudian ke grab crane, dan akhirnya ke paluk kapal menyebabkan perubahan konfigurasi tumpukan dan peningkatan paparan oksigen. Achfan et al. (2022) menunjukkan bahwa kasus *high temperature coal* saat kegiatan pemuatan di kapal dapat terjadi apabila pengendalian suhu tidak dilakukan sejak tahap sebelum muat (Achfan et al., 2022). Setiap tahap pemindahan membuka kembali permukaan *batubara* yang sebelumnya *tertutup*, sehingga memungkinkan oksigen masuk dan mempercepat proses oksidasi. Jika proses ini terjadi berulang kali tanpa pengendalian suhu yang memadai, risiko akumulasi panas menjadi semakin besar.

Dengan demikian, teori *self-heating* dan oksidasi suhu rendah menegaskan bahwa fenomena ini merupakan hasil interaksi kompleks

antara reaksi kimia eksotermis, karakteristik material, kelembapan, ventilasi, *serta* kondisi lingkungan. *Pemahaman* menyeluruh terhadap mekanisme ini menjadi dasar penting dalam merancang strategi deteksi dini, *monitoring* suhu, serta pengendalian risiko selama operasi pemuatan batubara di pelabuhan dan transportasi laut.

2. Teori Manajemen Risiko

Manajemen risiko merupakan suatu pendekatan sistematis dan terstruktur dalam mengidentifikasi, menganalisis, mengevaluasi, serta mengendalikan potensi bahaya yang dapat mengganggu keselamatan, keberlangsungan operasi, dan pencapaian tujuan organisasi. Dalam konteks industri maritim, *manajemen* risiko menjadi bagian integral dari sistem keselamatan pelayaran karena aktivitas pelayaran dan penanganan kargo selalu melibatkan potensi bahaya teknis, operasional, maupun lingkungan.

Secara konseptual, risiko dapat didefinisikan sebagai kombinasi antara *kemungkinan* terjadinya suatu kejadian berbahaya (*likelihood/probability*) dan tingkat dampak atau konsekuensi yang ditimbulkannya (*severity/consequence*). Dengan demikian, risiko bukan hanya berkaitan dengan adanya bahaya (*hazard*), tetapi juga mencerminkan seberapa besar kemungkinan bahaya tersebut terjadi dan seberapa serius dampaknya terhadap manusia, kapal, muatan, serta lingkungan.

Dalam teori manajemen risiko modern, proses pengelolaan risiko umumnya terdiri atas beberapa tahapan utama, yaitu: identifikasi bahaya, analisis risiko, evaluasi risiko, dan pengendalian risiko. Tahapan pertama, identifikasi bahaya (*hazard identification*), bertujuan mengenali seluruh

potensi *sumber* bahaya yang dapat menimbulkan kerugian atau kecelakaan. Dalam konteks pemuatan batubara, bahaya dapat berupa peningkatan suhu akibat *self-heating*, pelepasan gas beracun, potensi kebakaran palka, hingga gangguan stabilitas kapal.

Tahapan kedua adalah analisis risiko (*risk analysis*), yaitu proses menilai tingkat kemungkinan terjadinya bahaya dan besarnya dampak yang ditimbulkan. Pada tahap ini dilakukan penilaian kuantitatif atau semi-kuantitatif *untuk* menentukan level risiko. Dalam praktik keselamatan maritim, analisis risiko sering menggunakan matriks risiko (*risk matrix*) yang memadukan nilai *likelihood* dan *severity* untuk menghasilkan kategori risiko seperti rendah, sedang, tinggi, atau ekstrem.

Tahapan ketiga adalah evaluasi risiko (*risk evaluation*), yaitu proses membandingkan tingkat risiko yang telah dianalisis dengan kriteria penerimaan risiko (*risk acceptance criteria*). Risiko yang berada di atas batas toleransi harus segera dikendalikan melalui tindakan mitigasi. Sedangkan *risiko* yang berada dalam batas toleransi tetap memerlukan pemantauan berkala.

Tahapan terakhir adalah pengendalian risiko (*risk control*), yang mencakup *penetapan* tindakan preventif dan korektif untuk menurunkan tingkat risiko hingga berada dalam batas yang dapat diterima. Pengendalian dapat *dilakukan* melalui pendekatan teknis (*engineering control*), prosedural (*administrative control*), maupun peningkatan kompetensi sumber daya manusia.

Dalam konteks keselamatan pelayaran internasional, manajemen risiko merupakan prinsip utama dalam penerapan *Safety Management System (SMS)* sebagaimana diatur dalam *International Safety Management (ISM) Code*. Pendekatan berbasis risiko menekankan bahwa setiap aktivitas operasional, termasuk pemuatan kargo curah seperti batubara, harus dianalisis potensi bahayanya sebelum dan selama pelaksanaan kegiatan.

Salah satu metode yang umum digunakan dalam manajemen risiko operasional adalah *Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA)*. Metode ini merupakan pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi potensi bahaya pada setiap tahapan aktivitas kerja, kemudian menilai tingkat risikonya berdasarkan parameter *likelihood* dan *severity*. HIRA bersifat aplikatif dan cocok digunakan dalam lingkungan operasional seperti pelabuhan dan kapal karena dapat diterapkan secara langsung pada prosedur kerja yang spesifik.

Dalam penerapan HIRA, setiap tahapan kegiatan misalnya pemindahan batubara dari tongkang ke *grab crane*, hingga ke dalam palka kapal diidentifikasi potensi bahayanya. Selanjutnya dilakukan penilaian kemungkinan terjadinya *self-heating* dan dampak yang mungkin timbul, seperti kebakaran atau pelepasan gas beracun. Hasil penilaian tersebut kemudian dikategorikan dalam matriks risiko untuk menentukan prioritas pengendalian.

Pendekatan ini relevan dalam konteks *self-heating* batubara karena risiko yang ditimbulkan tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga sistemik. Risiko dapat *muncul* akibat kombinasi faktor material (karakteristik

batubara), lingkungan (suhu dan kelembapan tropis), serta prosedur operasional (*monitoring* suhu yang tidak konsisten, dokumentasi yang kurang lengkap, ventilasi yang tidak optimal). Oleh karena itu, manajemen risiko harus bersifat holistik dan berorientasi pada pencegahan (*preventive approach*), bukan hanya respons terhadap kejadian.

Dalam teori pengendalian risiko, dikenal pula konsep “hierarki pengendalian risiko” (*hierarchy of risk control*), yang menyusun langkah pengendalian berdasarkan tingkat efektivitasnya. Urutan tersebut meliputi eliminasi bahaya, substitusi, rekayasa teknis, pengendalian administratif, dan penggunaan alat pelindung diri. Dalam konteks *self-heating* batubara, eliminasi bahaya dapat dilakukan dengan menolak muatan yang suhunya melebihi 55°C sesuai *IMSBC Code*, sedangkan pengendalian administratif dapat berupa prosedur inspeksi suhu berkala dan pencatatan dokumentasi.

Lebih lanjut, manajemen risiko modern juga menekankan pentingnya pendekatan proaktif (*proactive safety management*). Pendekatan ini tidak menunggu terjadinya kecelakaan, tetapi berupaya mengidentifikasi indikator awal (*leading indicators*) seperti kenaikan suhu bertahap atau munculnya asap tipis sebagai sinyal potensi bahaya. Dalam konteks penelitian ini, deteksi suhu 56°C sebelum muatan dimasukkan ke palka menunjukkan keberadaan sistem *monitoring* awal, namun juga menegaskan pentingnya konsistensi pengendalian risiko secara sistematis.

Dengan demikian, teori manajemen risiko memberikan kerangka konseptual yang kuat untuk memahami dan mengendalikan fenomena *self-heating* pada pemuatan batubara. Risiko tidak dipandang sebagai kejadian

acak, melainkan sebagai hasil interaksi berbagai faktor yang dapat dipetakan, dianalisis, dan dikendalikan melalui pendekatan terstruktur. Penerapan manajemen risiko berbasis HIRA dalam penelitian ini bertujuan untuk *memastikan* bahwa setiap tahapan operasional pemuatan batubara dianalisis secara komprehensif, sehingga keselamatan kapal, awak, dan lingkungan dapat terjaga sesuai standar internasional.

3. Regulasi Internasional (IMSBC Code dan IMDG Code)

Pengangkutan batubara sebagai kargo curah padat melalui jalur laut diatur oleh kerangka regulasi internasional yang bertujuan menjamin keselamatan kapal, awak, muatan, serta perlindungan lingkungan laut. Dua instrumen utama yang relevan dalam konteks penelitian ini adalah *International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC) Code* dan *International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code*, yang diterbitkan oleh International Maritime Organization (IMO).

a. *International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC) Code*

IMSBC Code merupakan regulasi internasional yang secara khusus mengatur pengangkutan kargo curah padat selain bijih logam dan gandum. Regulasi ini menjadi wajib berdasarkan ketentuan SOLAS (Safety of Life at Sea Convention) dan bertujuan untuk mencegah kecelakaan akibat sifat fisik dan kimia kargo curah padat selama proses pemuatan, pelayaran, hingga pembongkaran.

Dalam IMSBC Code edisi 2020 (International Maritime Organization, 2020), batubara diklasifikasikan sebagai kargo yang memiliki potensi bahaya khusus apabila mengalami pemanasan spontan

(*self-heating*), dapat menghasilkan gas mudah terbakar seperti metana (CH_4) ataupun gas beracun seperti karbon monoksida (CO), serta mengurangi kadar oksigen dalam ruang tertutup.

Regulasi ini secara tegas menyatakan bahwa batubara tidak boleh dimuat apabila suhu melebihi 55°C atau terdapat indikasi terjadinya *self-heating*. Ketentuan tersebut merupakan bentuk pengendalian preventif untuk mencegah masuknya muatan dengan potensi kebakaran ke dalam palka kapal. Batas 55°C ditetapkan sebagai ambang aman karena pada suhu tersebut reaksi oksidasi dapat meningkat secara akseleratif dan sulit dikendalikan.

Selain itu, IMSBC Code menekankan pentingnya dokumentasi yang akurat dan transparan. Informasi mengenai suhu muatan, kadar kelembapan, serta potensi bahaya harus dicantumkan dalam dokumen kargo (*cargo declaration*). Hal ini bertujuan agar nakhoda dan operator kapal dapat mengambil keputusan berbasis informasi risiko yang jelas.

Dalam konteks penelitian ini, ketentuan IMSBC menjadi parameter evaluasi utama terhadap praktik operasional pemuatan batubara di Pelabuhan Muara Jawa. Ketika suhu batubara terdeteksi mencapai 56°C , penghentian pemuatan menjadi langkah yang sesuai dengan prinsip kepatuhan terhadap IMSBC Code.

b. International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code

IMDG Code pada dasarnya mengatur pengangkutan barang berbahaya dalam kemasan (*packaged dangerous goods*). Meskipun batubara sebagai kargo curah tidak sepenuhnya berada dalam ruang

lingkup utama IMDG Code, prinsip-prinsip pengendalian bahaya dalam regulasi ini tetap relevan, terutama terkait risiko kebakaran, gas beracun, dan pengendalian ventilasi.

IMDG Code menekankan pendekatan berbasis klasifikasi bahaya (hazard classification), pelabelan, dokumentasi, serta pemisahan muatan yang tidak kompatibel. Dalam konteks batubara yang berpotensi menghasilkan gas mudah terbakar dan beracun, prinsip-prinsip pengendalian atmosfer dan ventilasi yang diatur dalam IMDG Code menjadi referensi tambahan dalam manajemen risiko.

Salah satu aspek penting yang relevan adalah pengendalian ruang tertutup (enclosed spaces). IMDG Code menekankan bahwa ruang yang berpotensi mengandung gas berbahaya harus dipantau menggunakan peralatan deteksi gas yang sesuai sebelum dimasuki. Dalam kasus batubara yang mengalami *self-heating*, pelepasan CO dapat terjadi tanpa gejala visual yang jelas, sehingga monitoring gas menjadi langkah esensial dalam pengendalian risiko.

Selain itu, IMDG Code juga menggarisbawahi pentingnya pelatihan personel dan kesiapan tanggap darurat (emergency response preparedness). Kapal yang mengangkut kargo berpotensi bahaya harus memiliki prosedur penanggulangan kebakaran dan pelepasan gas beracun yang jelas dan terlatih secara berkala.

c. Prinsip Risk-Based Compliance dalam Regulasi Internasional

Baik IMSBC Code maupun IMDG Code tidak hanya berfungsi sebagai dokumen normatif, tetapi juga mencerminkan pendekatan

berbasis risiko (risk-based approach). Regulasi tersebut menuntut operator kapal dan pelabuhan untuk tidak sekadar memenuhi persyaratan administratif, melainkan memahami dan mengendalikan risiko secara aktif.

Kepatuhan terhadap regulasi tidak boleh bersifat formalitas, tetapi harus diterjemahkan ke dalam tindakan operasional nyata seperti:

- 1) Pengukuran suhu secara konsisten.
- 2) Dokumentasi hasil inspeksi.
- 3) Monitoring gas secara berkala.
- 4) Penghentian pemuatan ketika ambang batas terlampaui.
- 5) Evaluasi kondisi muatan sebelum pelayaran.

Dalam praktiknya, efektivitas regulasi sangat bergantung pada budaya keselamatan (safety culture) dan komitmen manajemen terhadap penerapan standar internasional. Ketidakkonsistenan dalam pencatatan suhu atau kurangnya monitoring atmosfer dapat mengurangi efektivitas regulasi dan meningkatkan risiko kecelakaan.

d. Relevansi Regulasi terhadap Penelitian Ini

Dalam penelitian ini, IMSBC Code menjadi acuan utama dalam menentukan apakah praktik pemuatan telah sesuai dengan standar internasional. Batas suhu 55°C menjadi indikator kritis dalam evaluasi risiko *self-heating*. Sementara itu, prinsip-prinsip IMDG Code memperkuat aspek pengendalian atmosfer dan kesiapan tanggap darurat terhadap potensi kebakaran dan pelepasan gas.

Dengan demikian, regulasi internasional tidak hanya menjadi latar normatif, tetapi juga menjadi kerangka evaluasi dalam analisis manajemen risiko. Penelitian ini menilai sejauh mana implementasi regulasi tersebut telah diterapkan secara konsisten dan sistematis dalam operasi pemuatan batubara di Pelabuhan Muara Jawa.

C. Kerangka Berpikir Penelitian

Fenomena self-heating pada operasi pemuatan batubara di Pelabuhan Muara Jawa merupakan hasil interaksi antara karakteristik material batubara, kondisi lingkungan, dan dinamika operasional pemuatan. Ketiga faktor tersebut membentuk suatu sistem risiko yang saling berkaitan selama proses pemindahan muatan berlangsung.

Faktor pertama adalah faktor material, yaitu karakteristik intrinsik batubara yang menentukan tingkat reaktivitasnya terhadap oksigen. Karakteristik tersebut meliputi kadar air, ukuran partikel, porositas, serta kandungan zat volatil. Batubara dengan luas permukaan kontak yang besar dan porositas tinggi memiliki kecenderungan mengalami oksidasi suhu rendah lebih cepat. Reaksi oksidatif ini menghasilkan panas yang apabila tidak terdisipasi secara efektif akan terakumulasi dan menyebabkan kenaikan suhu internal.

Faktor kedua adalah faktor lingkungan, khususnya kondisi iklim tropis di wilayah Muara Jawa yang ditandai oleh suhu udara relatif tinggi dan kelembapan signifikan. Suhu lingkungan yang tinggi mengurangi perbedaan gradien temperatur antara batubara dan udara sekitar sehingga pelepasan panas

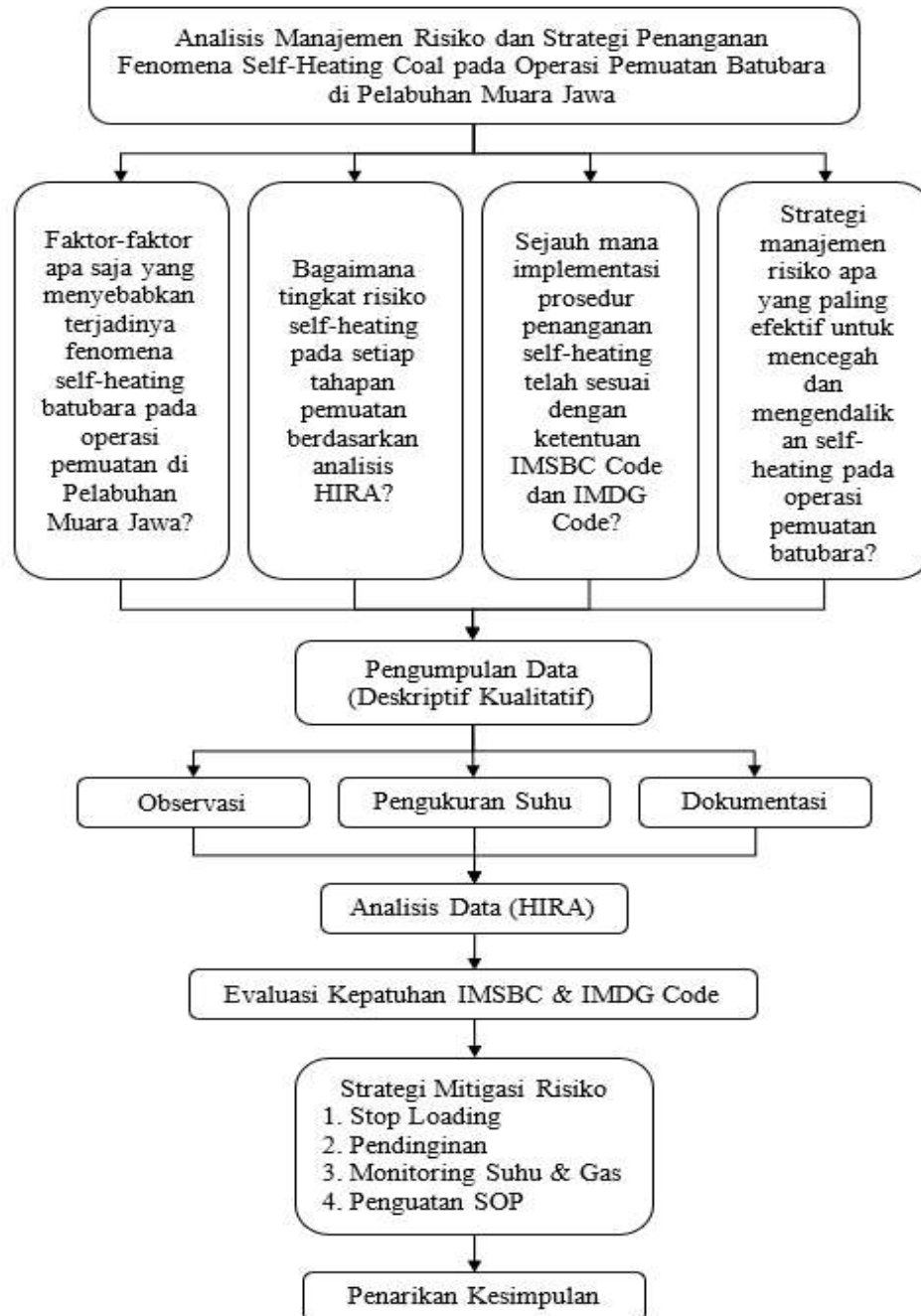
menjadi kurang optimal. Kelembapan tertentu juga dapat mempercepat proses oksidasi, sehingga memperbesar potensi peningkatan suhu.

Faktor ketiga adalah faktor operasional, yaitu tahapan pemindahan batubara dari tongkang ke grab crane dan selanjutnya ke palka kapal. Proses ini menyebabkan perubahan konfigurasi tumpukan serta paparan ulang batubara terhadap oksigen. Agitasi material saat pengangkatan dan penjatuhan muatan memungkinkan oksigen masuk lebih dalam ke dalam pori-pori batubara, sehingga mempercepat laju reaksi oksidasi.

Interaksi ketiga faktor tersebut menghasilkan potensi bahaya berupa peningkatan suhu internal batubara. Apabila suhu melebihi ambang batas 55°C sebagaimana diatur dalam IMSBC Code, maka risiko dapat berkembang menjadi kondisi berbahaya seperti pembentukan hot spot, pelepasan gas beracun, hingga kebakaran palka.

Untuk memahami dan mengendalikan risiko tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA). Melalui pendekatan ini, setiap tahapan operasional pemuatan diidentifikasi potensi bahayanya, kemudian dinilai tingkat kemungkinan (likelihood) dan dampaknya (severity), sehingga diperoleh level Risiko terhadap dukungan analisis pada observasi langsung terhadap kegiatan pemuatan batubara dan pengukuran suhu menggunakan thermal scanner pada setiap siklus pemindahan sebelum muatan dijatuhkan ke palka.

Hasil analisis risiko selanjutnya dibandingkan dengan ketentuan IMSBC Code dan IMDG Code untuk menilai tingkat kesesuaian implementasi di lapangan. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, dirumuskan strategi mitigasi risiko yang bersifat preventif dan aplikatif.



Gambar 2. 1: Kerangka Pikir Penelitian
Sumber: Dokumen Peneliti

Dengan demikian, kerangka berpikir penelitian ini menempatkan self-heating sebagai fenomena yang dipengaruhi oleh faktor material, lingkungan, dan operasional, yang kemudian dianalisis melalui pendekatan manajemen risiko berbasis HIRA untuk menghasilkan rekomendasi pengendalian yang sesuai dengan standar keselamatan pelayaran internasional.

Berdasarkan bagan kerangka pikir penelitian tersebut, dapat dijelaskan bahwa penelitian ini diawali dengan identifikasi permasalahan utama, yaitu fenomena *self-heating* coal yang terjadi pada operasi pemuatan batubara di Pelabuhan Muara Jawa. Permasalahan tersebut difokuskan pada dua aspek utama, yakni faktor-faktor penyebab terjadinya *self-heating* serta strategi penanganan dan manajemen risiko yang sesuai dengan ketentuan IMSBC Code dan IMDG Code.

Faktor penyebab *self-heating* dianalisis melalui pendekatan deskriptif kualitatif dengan teknik pengumpulan data berupa observasi langsung pada proses pemuatan di MV Golden Ace, dokumentasi dan pengukuran suhu menggunakan thermal scanner, serta wawancara dengan awak kapal dan operator pelabuhan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA) untuk mengidentifikasi potensi bahaya pada setiap tahapan pemuatan, menilai tingkat kemungkinan dan dampaknya, serta menentukan level risiko yang dihasilkan.

Hasil analisis risiko selanjutnya dievaluasi terhadap standar internasional, khususnya IMSBC Code dan IMDG Code, untuk menilai tingkat kesesuaian implementasi prosedur operasional di lapangan. Evaluasi tersebut menjadi dasar dalam merumuskan strategi mitigasi risiko yang meliputi penghentian

pemuatan ketika suhu melebihi batas aman, pendinginan muatan, penguatan monitoring suhu dan gas di palka, serta penyempurnaan SOP dan dokumentasi. Dengan alur berpikir tersebut, penelitian ini tidak hanya mengidentifikasi penyebab masalah, tetapi juga menghasilkan rekomendasi aplikatif yang bertujuan meningkatkan keselamatan operasional pemuatan batubara sesuai standar keselamatan pelayaran internasional.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan karakter penelitian terapan (*applied research*). Pendekatan deskriptif kualitatif dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan dan menganalisis secara mendalam fenomena self-heating batubara yang terjadi selama proses pemuatan di Pelabuhan Muara Jawa berdasarkan kondisi nyata di lapangan.

Sebagai penelitian terapan, fokus utama penelitian ini adalah pada pemecahan masalah operasional yang terjadi dalam kegiatan pemuatan batubara, khususnya terkait manajemen risiko self-heating. Penelitian ini tidak bertujuan mengembangkan teori baru, melainkan memberikan rekomendasi yang aplikatif dan relevan terhadap praktik keselamatan operasional di kapal dan pelabuhan.

Pendekatan kualitatif digunakan karena fenomena self-heating tidak hanya dipengaruhi oleh data suhu semata, tetapi juga oleh dinamika operasional, kondisi lingkungan, dan penerapan prosedur keselamatan yang memerlukan analisis deskriptif dan interpretatif.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama penulis menjalani praktik laut di atas kapal MV Golden Ace yang melakukan kegiatan pemuatan batubara di Pelabuhan Muara Jawa, Kalimantan Timur. Pemilihan lokasi penelitian

didasarkan pada karakteristik Muara Jawa sebagai salah satu pelabuhan utama pemuatan batubara di Indonesia dengan kondisi iklim tropis, tingkat kelembapan tinggi, serta aktivitas pemuatan yang intensif.

Waktu penelitian disesuaikan dengan jadwal kegiatan pemuatan batubara, mulai dari persiapan pemuatan, proses pemindahan muatan dari tongkang ke grab crane, hingga batubara dimasukkan ke dalam palka kapal. Rentang waktu tersebut memungkinkan peneliti untuk mengamati dinamika suhu batubara dan penerapan prosedur keselamatan secara menyeluruh.

C. Sumber Data Penelitian

1. Data Primer

Data primer merupakan data utama yang diperoleh langsung dari lapangan selama kegiatan penelitian berlangsung. Data primer dalam penelitian ini meliputi:

- a. Data hasil observasi lapangan, yaitu pengamatan langsung terhadap proses pemuatan batubara, kondisi muatan, dan penerapan prosedur keselamatan di atas kapal.
- b. Data pengukuran suhu batubara, yang diperoleh menggunakan thermal scanner pada saat batubara berada di tongkang dan ketika dipindahkan menggunakan grab crane sebelum dimasukkan ke palka kapal.
- c. Kondisi visual muatan seperti munculnya asap tipis atau indikasi peningkatan suhu.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh dari sumber tidak langsung, antara lain:

- a. Dokumen regulasi internasional, seperti IMSBC Code dan IMDG Code.
- b. Dokumen operasional kapal dan pedoman keselamatan.
- c. Literatur ilmiah berupa jurnal, buku, dan penelitian terdahulu yang membahas *self-heating* batubara, manajemen risiko, dan keselamatan kargo curah.
- d. Laporan kejadian dan referensi pendukung lainnya yang relevan dengan penelitian.

D. Teknik Pengumpulan Data

1. Observasi

Observasi dilakukan secara langsung terhadap kegiatan pemuatan batubara di Pelabuhan Muara Jawa. Observasi bersifat non-partisipatif, di mana peneliti tidak terlibat langsung dalam pengambilan keputusan operasional, tetapi mengamati proses pemuatan, kondisi muatan, serta penerapan prosedur keselamatan. Aspek yang diamati meliputi:

- a. Tahapan pemindahan batubara dari tongkang ke grab crane
- b. Kondisi visual batubara (asap, perubahan warna)
- c. Waktu tunggu sebelum pemuatan
- d. Respons operasional ketika terjadi peningkatan suhu

2. Pengukuran Suhu

Pengukuran suhu dilakukan menggunakan thermal scanner untuk mendeteksi suhu permukaan batubara selama proses pemuatan. Pengukuran suhu dilakukan pada setiap siklus pemindahan menggunakan grab crane sebelum muatan dijatuhkan ke palka, dengan pencatatan waktu, kondisi cuaca, dan nilai suhu tertinggi yang terdeteksi.

Pengukuran dilakukan pada beberapa titik permukaan batubara untuk memperoleh nilai suhu maksimum yang representatif. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan ambang batas 55°C sebagaimana ditetapkan dalam IMSBC Code.

Pencatatan suhu dilakukan secara sistematis untuk mendeteksi tren kenaikan suhu selama proses pemuatan berlangsung.

3. Studi Dokumentasi

Dokumentasi ini digunakan sebagai dasar evaluasi kesesuaian praktik operasional dengan regulasi internasional. Studi dokumentasi dilakukan dengan mengkaji:

- a. Ketentuan IMSBC Code dan IMDG Code terkait batubara.
- b. Catatan operasional pemuatan.
- c. Dokumentasi internal terkait prosedur keselamatan.

E. Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap dan sistematis menggunakan metode *Hazard Identification and Risk Assessment* (HIRA).

1. *Hazard Identification*

Pada tahap ini, peneliti mengidentifikasi seluruh potensi bahaya yang dapat muncul selama proses pemuatan batubara, khususnya yang berkaitan dengan *self-heating*.

2. *Risk Assessment*

Di dalam Risk Assesment ini terdapat dua tahap penilaian risiko dilakukan dengan menilai, yaitu:

- a. *Likelihood*, yaitu kemungkinan terjadinya *self-heating*
- b. *Severity*, yaitu tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan

Penilaian likelihood dan severity dilakukan secara kualitatif menggunakan skala tertentu, kemudian dipetakan dalam matriks risiko untuk menentukan level risiko (rendah, sedang, tinggi).

3. *Risk Control*

Berdasarkan level risiko yang diperoleh, dilakukan analisis terhadap tindakan pengendalian yang telah diterapkan dan kebutuhan pengendalian tambahan. Pengendalian risiko dievaluasi berdasarkan prinsip pencegahan, mitigasi, dan kesiapan tanggap darurat.

F. Keabsahan Data

Untuk menjamin keabsahan data, penelitian ini menggunakan teknik triangulasi, yaitu:

1. Triangulasi teknik, dengan membandingkan hasil observasi, pengukuran suhu, dan dokumentasi.
2. Konsistensi penggunaan alat ukur yang sama selama penelitian.

3. Pencatatan waktu, kondisi cuaca, dan nilai suhu tertinggi pada setiap siklus pemuatan.
4. Perbandingan hasil lapangan dengan ketentuan IMSBC Code dan literatur ilmiah.

G. Alur Penelitian

Secara umum, alur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi beberapa aspek, diantaranya adalah:

1. Identifikasi masalah
2. Pengumpulan data lapangan
3. Analisis risiko menggunakan HIRA
4. Evaluasi kepatuhan terhadap IMSBC Code dan IMDG Code
5. Perumusan strategi mitigasi risiko
6. Penarikan kesimpulan