

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Dalam upaya meningkatkan peran dan tanggung jawab yang sangat penting dalam pelaksanaan operasional Kapal sering mengalami hambatan berupa kecelakaan transportasi. Kecelakaan ini mengakibatkan kerugian material dan korban jiwa. Salah satu upaya untuk mengurangi angka kecelakaan tersebut tidak hanya dilakukan fungsi pengawasan semata.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 62 Tahun 2013, jenis kecelakaan Kapal yang diinvestigasi oleh Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) adalah kapal tenggelam, kapal terbakar, kapal tubrukan, dan kapal terbakar. Total kecelakaan pelayaran yang diinvestigasi oleh KNKT selama periode 2018 – 2022 sebanyak 108 dan Semester II Tahun 2023 sebanyak tiga kecelakaan yang meliputi jenis kecelakaan terbakar, tenggelam, tubrukan, kandas, dan lain-lain.

No.	Uraian	Tahun					Total
		2018	2019	2020	2021	2022	
1.	Tenggelam	10	6	3	5	5	29
2.	Terbakar/meledak	12	6	2	6	5	31
3.	Tubrukan	3	9	2	4	1	19
4.	Kandas	7	0	4	2	2	15
5.	Lain-lain	7	4	1	2	0	14
Total		39	25	12	19	13	108

Tabel 1. Jumlah Investigasi Kecelakaan Pelayaran Berdasarkan Jenis Kecelakaan 2018 – 2022

KNKT, Statistik Investigasi Kecelakaan Transportasi, Hal.13 ,2022

No.	Uraian	Bulan						Total
		Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember	
1.	Tenggelam	0	0	0	0	0	0	0
2.	Terbakar/meledak	0	1	1	0	0	1	3
3.	Tubrukan	0	0	0	0	0	0	0
4.	Kandas	0	0	0	0	0	0	0
5.	Lain-lain	0	0	0	0	0	0	0

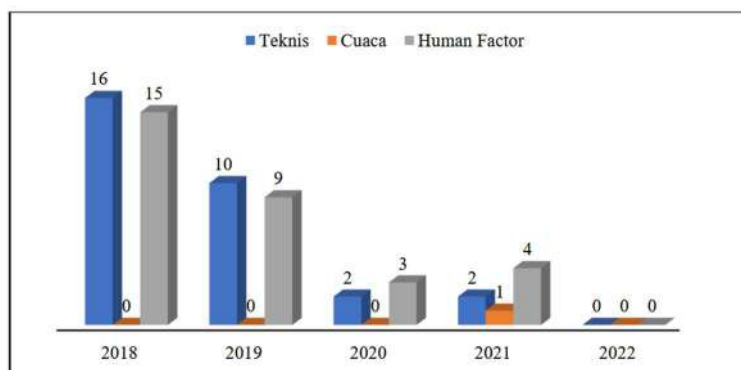
Tabel 2. Jumlah Investigasi Kecelakaan Pelayaran Berdasarkan Jenis Kecelakaan Semester II Tahun 2023

Source : KNKT, Statistik Investigasi Kecelakaan Transportasi, 2023

Faktor – faktor yang mempengaruhi kecelakaan pelayaran berdasarkan hasil investigasi KNKT antara lain adalah faktor teknis, cuaca, dan manusia. Total faktor penyebab kecelakaan Pelayaran yang diinvestigasi oleh KNKT dari tahun 2018 - 2022 yaitu sebanyak 75 faktor penyebab. Factor teknis merupakan factor penyebab kecelakaan yang paling dominan dari tahun 2018 hingga Tahun 2022 yaitu sebanyak 39 kecelakaan. Sedangkan faktor manusia juga merupakan salah satu factor yang cukup signifikan terhadap penyebab kecelakaan kapal, yang berjumlah sebanyak 35

kecelakaan. Factor cuaca merupakan factor terkecil yang mempengaruhi kecelakaan kapal.

Berikut grafik faktor penyebab kecelakaan pelayaran berdasarkan tahun kejadian kecelakaan Tahun 2018 – 2022.



Grafik 1.grafik faktor penyebab kecelakaan pelayaran berdasarkan tahun kejadian kecelakaan Tahun 2018 – 2022

KNKT, Statistik Investigasi Kecelakaan Transportasi, Hal.13 ,2022

Dan dari data diatas dapat dilihat bahwa kecelakaan transfortasi kapal laut yang paling sering terjadi adalah terbakar/meledak, salah satu jenis Kapal dengan resiko cukup tinggi pada Kecelakaan Kapal terutama pada kecelakaan Kebakaran Kapal yaitu kapal kayu/kapal phinisi, salah satu karya kreatif anak Bangsa ini sangat sering terjadi kebakaraan kapal dengan berbagai indikasi, baik itu akibat aliran pendek/korsleting (short circuit), Kerusakan mesin dll. terutama pada kapal bermaterial utamanya yang dengan mudah dapat terbakar adalah Kayu, beberapa diantara yang sering terjadi adalah type Kapal pada Kapal Wisata atau kapal kayu.



Gambar 1.Kebakaran kapal wisata dilabuan bajo

Source : hubla.dephub

Kebakaran adalah peristiwa tak terduga yang dapat terjadi kapan saja dan dimana saja, dan menyebabkan kerugian yang signifikan baik secara finansial maupun moral

(Nugroho, Jannatan, & Rosmayanti, 2024). Bencana kebakaran timbul akibat beberapa sebab seperti gangguan pada jaringan Listrik maupun alat elektronik. Kebakaran juga dapat timbul dari cairan yang mudah terbakar seperti bensin, lemak minyak, kebocoran gas dan material maupun logam yang juga mudah terbakar. Beberapa tempat yang sering terjadi kebakaran di atas kapal adalah seperti kamar mesin, ruang akomodasi dan tempat-tempat dimana terdapat bahan mudah terbakar. Tempat seperti di atas tersebut sangat tepat untuk mengaplikasikan peralatan pendeteksi kebakaran untuk mencegah terjadinya kebakaran dini. (Siregar Reski Hamonangan Kurniawan Dedi , Nurmala Eka, dkk.2024),

Dan kendala utama yang dihadapi terletak pada rendahnya tingkat implementasi sistem deteksi dini yang memadai, sehingga informasi kebakaran sering terlambat diketahui, situasi ini diperparah oleh keterbatasan teknologi konvensional yang hanya mengandalkan sensor tunggal, di mana pendekatan tersebut tidak mampu memberikan gambaran situasi kebakaran secara realtime dan umumnya tidak dilengkapi dengan sistem pemadaman awal secara otomatis.

Pada penelitian Nababan (2024), yang berjudul “Modifikasi Drone Pengakut Fireball Pemadam Titik Api pada Lahan Gambut” dan Yunita Putri Indraswari (2025), yang berjudul “Deteksi Api Berbasis Metode SIFT Pada Sistem Smart Fire Extinguisher Menggunakan Fireball” yang sama – sama memakai alat Smart Fire Extinguisher menggunakan fireball dry chemical powder otomatis dengan berbasis operasi pemadaman dengan integrasi teknologi computer vision, embedded system, dan IoT untuk memadamkan api. Namun, Penelitian dan alat tersebut di desain dan penggunaanya pada lahan terbuka dan ruangan gedung area didarat

Dengan mengarah terhadap konflik dan sumber data diatas terbuka peluang pengembangan alat tersebut terutama pada objek kapal dan dimana juga sangat pentingnya keselamatan jiwa di laut yang dimana Jenis Kecelakaan Kapal yang paling sering terjadi adalah kebakaran kapal, dimana selain perlu evaluasi dan pembaharuan system penanggulangan terhadap pencegahan kecelakaan kapal karena hal tersebut tentu saja menimbulkan kerugian yang sangat besar bagi perusahaan maupun pengguna jasa transportasi kapal diantaranya kerugian finansial berupa hangusnya kapal hingga aset berharga lainnya dari Pengguna kapal hingga kerusakan lingkungan disekitarnya, sehingga Perlu dilakukan upaya manajemen risiko yang memudahkan User/crew dalam pencegahan kecelakaan kapal selain melakukan *Safety drill* maka perlu juga pembaharuan system terhadap penanggulangan kebakaran yang modern, sederhana dan mudah dipahami oleh crew yaitu suatu system proteksi penanggulangan kebakaran di atas kapal.

Pada Penelitian ini, objek yang diteliti adalah kapal phinisi dengan menentukan dan mendesain posisi alat *Smart Fire Extinguisher* pada sumber api yang berasal dari berbagai titik area rawan di atas kapal, alat yang digunakan yaitu *Smart Fire Extinguisher* adalah salah satu evolusi alat pemadam api cerdas dan otomatis berisi *Dry Chemical Powder* yang dipasang langsung pada titik - titik rawan kebakaran dengan berbagai type lainnya, dimana alat pemadam kebakaran ini berbentuk bulat atau tabung dengan

berbagai bentuk lainnya yang dapat memadamkan api secara otomatis ketika bersentuhan dengan lidah api sehingga mencegah perluasan kebakaran pada area sekitarnya sehingga meminimalkan kerugian material dan risiko keselamatan. Alat ini dapat digunakan di berbagai tempat, seperti rumah, kantor, pabrik, dan kendaraan, Mudah digunakan, Ramah lingkungan, aman bagi pengguna, Dapat digunakan secara aktif dan pasif, Tidak memerlukan prosedur apapun, untuk itu Peneliti bertujuan untuk melakukan Pengkajian Penelitian tentang **“Analisis Sistem Pencegahan Kebakaran Pada Kapal Menggunakan Smart Fire Extinguisher”**, adapun teori pendukung sebagai berikut :

1.1.1 Kapal Wisata/Kayu

Kapal kayu adalah kapal yang dibuat dari kayu sebagai bahan utama adalah kayu, serta dilengkapi dengan alat penggerak berupa mesin penggerak atau alat lainnya seperti layar. (Jinca, 2002). Dalam Biro Klasifikasi Indonesia Tahun 1992 tentang Pedoman Pembangunan Kapal Layar Motor (KLM), kapal layar motor atau KLM adalah kapal yang dibuat dari kayu sebagai bahan utama dengan menggunakan layar lengkap sebagai penggerak utama dan dilengkapi dengan pesawat penggerak bantu. Pesawat penggerak bantu adalah motor atau sejenisnya pada kapal, yang hanya digunakan dalam keadaan tertentu sebagai alat penggerak disaat layar tidak dapat berfungsi. Dalam aktivitasnya tentu tidak akan berjalan dengan lancar tanpa konstruksi yang kuat dan salah satu factor yang mempengaruhi kekuatan konstruksi kapal ialah pemilihan material pada kapal

1.1.2 Penyebab Terjadinya Kebakaran

Terjadinya kebakaran di atas kapal disebabkan dari berbagai macam sebab dan berbagai tempat di atas kapal. Menurut DNV berdasarkan tempat terjadinya kebakaran di atas kapal adalah sebagai berikut: kebakaran di kamar mesin 63%, kebakaran di ruang akomodasi dan cargo spaces 27%, dan kebakaran di ruang dek kendaraan 10% (DNV).

Kebakaran di kapal dapat terjadi di berbagai lokasi yang rawan terhadap kebakaran, misalnya di kamar mesin, ruang muatan, gudang penyimpanan perlengkapan kapal, instalasi listrik dan tempat akomodasi Nakhoda dan anak buah kapal. Sedangkan ledakan dapat terjadi karena kebakaran atau sebaliknya kebakaran terjadi karena ledakan, yang pasti kedua-duanya dapat menimbulkan situasi darurat serta perlu untuk diatasi, dan Berdasarkan hasil Penelitian Jurnal pada KL. Frans Kaisiepo sumber area potensi bahaya kebakaran yang teridentifikasi di atas kapal adalah antara lain:

Lokasi	Bagian Di Atas Kapal	Sumber Kebakaran
Engine Room	Main Engine Auxilliary Engine Sistem Perpipaan Exhaust Oil Tanks	Engine blast atau Ledakan Engine blast atau Ledakan Kebocoran dan Tumpahan System Blast atau Ledakan Kebocoran dan Tumpahan

	Electrical System	Perawatan Terhadap Panel Circuit Braker Yang Rusak, Kegagalan Isolasi Bertegangan, Korsleting
Pump room and pumping system	Mesin Pompa Sistem Perpipaan Valves	Blast atau Ledakan, Kebocoran dan Tumpahan Kebocoran dan Tumpahan Kebocoran dan Tumpahan
Store Room	Sistem Kelistrikan	Hubungan Pendek (Short Circuit)
Deck	Deck Machinery	Panas dan Percikan Bunga
Fuel Tank	Fuel Tank Structure	Kebocoran dan Tumpahan
Vehicle decks	Pintu/ Gate Piping system Electrical system Ventilation system	Confusing, Macet Tidak Berfungsi Penyumbatan atau Kebocoran Kerusakan Fisik Kabel Hubungan Arus Pendek (Short Circuit) Gas Beracun
Kamar Penumpang/ Kamar Kru	Tata Letak dan Pengaturan Sistem Penerangan Ventilation	Membingungkan Berasap dan Beracun Terjebak Kacau system Udara Beracun Gerah karena udara pengab (Sulit bernafas)
Galley	Instalasi Saluran Gas	Kebocoran

Tabel 3..Potensi Sumber Bahaya Kebakaran Di Atas Kapal Latih Franskaisiepo
Sumber : Iskandar, Risianto,Wisnu. Rahman ,Moh. Arief. Dkk. (2021)

1.1.3 The Fire Triangle

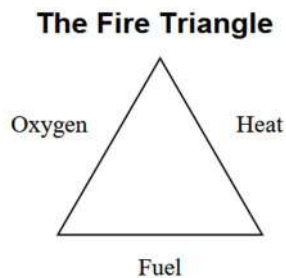
Kebakaran dapat terjadi karena tiga faktor yang merupakan unsur pembentuk api yaitu bahan bakar (*fuel*), sumber panas (*heat*), dan oksigen. Ketiga unsur ini dikenal sebagai teori Segitiga Api. Tanpa adanya salah satu unsur tersebut, api tidak dapat terjadi (Ramli, 2010:16).

Dan Terdapat tiga (3) komponen yang diperlukan agar pembakaran dapat terjadi:

- Bahan bakar/ Fuel – menguap dan terbakar, Bahan bakar/Fuel diperlukan untuk menyalakan api, dan tanpa bahan bakar, proses pembakaran akan berhenti.

Molekul bahan bakar yang terlibat dalam api harus dalam keadaan uap (gas). Namun, sumber bahan bakar awal dapat berupa padatan, cairan, atau gas. Banyak contoh dari masing-masing jenis bahan bakar ini dapat ditemukan di atas kapal.

- Oksigen – bergabung dengan uap bahan bakar
 - *Heat/Panas* – menaikkan suhu uap bahan bakar ke suhu penyalanyaannya
- American Bureau of Shipping Guidance notes on Fire-Fighting Systems (2005: 2)*



Gambar 2.segitiga api

American Bureau of Shipping Guidance notes on Fire-Fighting Systems (2005: 2)

Ada dua faktor penting yang perlu diingat dalam mencegah dan memadamkan api:

- (i) Jika salah satu dari ketiga komponen tersebut tidak ada, maka api tidak dapat menyala.
- (ii) Jika salah satu dari ketiga komponen tersebut dihilangkan, maka api akan padam.

Penting untuk memiliki pemahaman yang jelas tentang ketiga komponen ini dan interaksinya dalam kebakaran.

Keterangan Unsur dari Segitiga Api, Yaitu :

1. **Bahan bakar**, terdiri dari:
 - Bahan bakar padat (contoh: serat, kayu, partikel logam, plastik, kertas, dll).
 - Bahan bakar cair (contoh: bensin, solar, minyak tanah, aseton, tiner, avtur, dll).
 - Bahan bakar gas (contoh: asetilen, propane, hidrogen, dll).
2. **Oksigen**, kadar Oksigen yang terdapat di udara Bebas sebesar 21%
3. **Sumber Panas Atau Ignisi**, Selain Berasal mesin dapat pula berasal dari (ILO 1991) :
 - Api Terbuka
 - Loncatan Listrik dari Sumber arus Listrik maupun Listrik statis

- Permukaan panas
- Bunga api karena gesekan
- Penyalaan Sendiri
- Radiasi
- Zat piroforik (Logam bentuk debu halus, hidrida dari Boron (B) dan Paspur (P)
- Kompresi Campuran Zat Mudah terbakar

Estria, Cintha. (2008)

1.1.4 Klasifikasi Sumber API

Adapun Klasifikasi Api berdasarkan Sumbernya (Goetsch, 2005)

1. Api Kelas A : Berasal dari benda pada seperti kayu, plastic, kain, kertas, dll.
2. Api Kelas B : Berasal dari benda gas dan cair
3. Api Kelas C : Berasal dari listrik (arus pendek)
4. Api Kelas D : Berasal dari logam yang mudah terbakar seperti magnesium, aluminium dll.
5. Kategori Lainnya : Oksidasi yang ekstrim yang berasal dari tempat – tempat penampungan seperti hydrogen peroksida, asam, nitrat, dll.

Menurut *National Fire Protection Association* (NFPA), sumber api diklasifikasikan sebagai berikut :

Api Kelas	Jenis Kebakaran
A	Bahan padat Kecuali logam, seperti kayu, plastik, arang, kertas, tekstil dan sejenisnya
B	Bahan cair dan gas seperti bensin, solar, minyak tanah, aspal, gemuk , alcohol, gas alam, gas LPG dan sejenisnya
C	Peralatan Listrik yang bertegangan
D	Bahan Logam seperti magnesium, aluminium, kalium, dll,

Tabel 4. Klasifikasi Sumber Kebakaran Menurut NFPA

1.1.5 Tahapan Kebakaran

adapun menurut Mantra (2005) Beberapa Awal (*Incipient*), Pertumbuhan (*Growth*), *flashover* , Berkembang Penuh (*Fully Developed*), dan Surut (*Decay*). Memantau perilaku api dan menentukan risiko yang ditimbulkannya berdasarkan tahap-tahap ini merupakan bagian penting dari pemadaman kebakaran

Tahapan terjadinya kebakaran adalah sebagai berikut :

- 1) Tahap penyalaan/peletusan (*Incipient*)

Pada tahapan ini ditandai dengan munculnya api yang disebabkan oleh energi panas yang mengenai material dalam ruang.

2) Tahap Kebakaran Tumbuh (*Growth*),

Tahap ini api mulai berkembang sesuai dengan kuantitas bahan bakar yang ada dan pada tahapan ini merupakan yang paling baik untuk melakukan evakuasi.

3) Tahap *flashover*

Merupakan tahap transisi dari tahap pertumbuhan menuju tahap pembakaran penuh. Tahap ini sangat cepat dengan suhu berkisar antara 300°C - 600°C

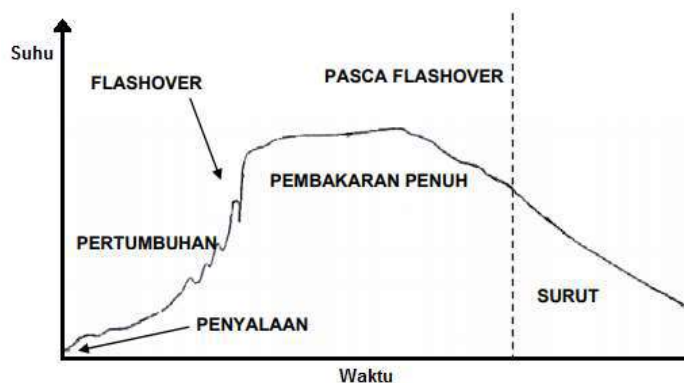
4) Tahap Kebakaran Puncak (*Fully Developed*),

Pada tahap ini kalor yang dilepaskan adalah yang paling besar karena api sudah menjalar ke seluruh ruang dengan suhu bisa mencapai 1200°C.

5 Tahap Kebakaran Reda (*Decay*).

Tahap surut ialah seluruh material telah habis terbakar dan temperatur sudah mulai turun serta laju pembakaran juga menurun. (*Mantra, 2005*)

Gambar di bawah mengilustrasikan tahap-tahap kebakaran dari muncul api sampai kebakaran reda (padam):



Gambar 3. Kurva tahap - tahap kebakaran/flashover

1.1.6 Potensi area -area bahaya kebakaran di Kapal

Dalam menentukan rute evakuasi dan Penempatan Alat Pencegahan Kebakaran Kapal untuk penumpang kapal harus mempertimbangkan lokasi kritis atau Berbahaya berdasarkan peraturan SOLAS (3) Bab II-2, Peraturan 9 adalah 14 lokasi lokasi kritis dan peringkat risiko berdasarkan frekuensi penyulutan dan seperti hasil dari *Technical Paper* Muradi, M. and Mutmainnah, W. (2020) tentang Analisis Evakuasi Kapal Penumpang dengan Pendekatan Penilaian Risiko Kebakaran Menggunakan NFPA 551 pada Tabel 5

1. *Control station / Navigation Control*
2. *Tangga*
3. *Koridor*
4. *Evacuation stations and external escape route*
5. *Open deck spaces*
6. *Accommodation spaces for minor fire risk*
7. *Accommodation spaces for moderate fire risk*
8. *Accommodation spaces for greater fire risk*
9. *Ruang sanitasi dan sejenisnya*
10. *Tanks, voids and auxiliary machinery spaces*
11. *Ruang mesin bantu, Ruang kargo, Barang/Kargo dan Tangki Minyak*
12. *Ruangan mesin and main galleys*
13. *Store rooms, workshops, pantries*
14. *Ruang lain tempat penyimpanan cairan yang mudah terbakar*

No.	SOLAS Category	Space	Number of Occurrence	Frequenc y of Ignition/ s-y	Risk Ranking
1	<i>Control station</i>		0	0	1
2	<i>Stairways</i>		23	0.5	3
3	<i>Corridors</i>		52	0.112	2
4	<i>Evacuation stations and external escape route</i>		11	0.024	1
5	<i>Open deck spaces</i>		72	0.155	2
6	<i>Accommodation spaces for minor fire risk</i>		315	0.68	4
7	<i>Accommodation spaces for moderate fire risk</i>		19	0.041	2
8	<i>Accommodation spaces for greater fire risk</i>		192	0.415	3
9	<i>Sanitary and similar spaces</i>		55	0.119	2
10	<i>Tanks, voids and auxiliary machinery spaces</i>		10	0.022	1
11	<i>Auxiliary machinery spaces, cargo spaces, cargo and other oil tanks</i>		0	0	1

12	Machinery spaces and main galleys	642	1.386	5
13	Store rooms, workshops, pantries	126	0.272	2
14	Other spaces in which flammable liquids are stowed	4	0.009	1

Tabel 5. Frekuensi terjadinya kebakaran dan peringkat risiko untuk ruang kapal berdasarkan data kecelakaan kebakaran

1=Sangat ringan (Negligible), 2 = Ringan (Marginal), 3= Sedang (Critical), 4= Berat (Serious) dan 5 = Sangat Berat / Bencana (Catastrophic)
Muradi,M. and Mutmainnah ,W. (2020)

1.1.7 Analisis risiko (Risk analysis)

Berdasarkan ISO 31000:2018 tujuan analisis risiko adalah untuk memahami sifat risiko dan karakteristiknya sesuai dengan tingkat risiko. Analisis risiko terdiri dari penentuan konsekuensi dan probabilitas masing masing risiko dengan memperhitungkan keberadaan dan efektifitas dari setiap pengendalian yang ada. Risiko dapat dilakukan dengan berbagai tingkat kompleksitas, tergantung pada tujuan analisis, ketersediaan dan keandalan informasi, dan sumber daya yang

tersedia. Ada beberapa factor yang harus dipertimbangkan untuk melakukan analisis risiko menurut ISO 31000:2018 ialah sebagai berikut:

- Kemungkinan kejadian dan konsekuensi risiko.
- Sifat dan besarnya konsekuensi.
- Kompleksitas dan konektivitas.
- Faktor terkait waktu dan volatilitas (kecenderungan berubah).
- Efektivitas pengontrolan terhadap risiko.
- Tingkat sensitivitas dan kepercayaan.

Analisis risiko dapat dipengaruhi oleh perbedaan pendapat, bias dan persepsi risiko dan penilaian, oleh karena itu segala bentuk aktivitas dalam menganalisis risiko harus dipertimbangkan, dilakukan monitoring dan review serta recording dan reporting kepada para pembuat keputusan. Proses analisis risiko dilakukan dengan cara memperkirakan atau memberi skala pada probabilitas dan konsekuensi terhadap masing-masing variabel risiko. Skala likert dapat digunakan dalam mengukur probabilitas dan konsekuensi risiko dengan menggunakan rentang angka 1 sampai dengan 5. Para responden memberikan penilaian terhadap probabilitas dan konsekuensi berdasarkan kejadian sebenarnya pada pelaksanaan proyek. Penilaian tersebut dilandaskan berdasarkan pengetahuan dan pengalaman oleh responden. Skala penilaian terhadap probabilitas variabel risiko yang teridentifikasi pada proyek konstruksi dapat dilihat pada table 6

- **Identifikasi bahaya (Hazard Identification)**

Identifikasi bahaya adalah proses sistematis untuk mengenali sumber bahaya yang berpotensi menimbulkan kerugian terhadap keselamatan, kesehatan manusia, properti, lingkungan, atau kelangsungan operasi. Tujuan dari proses ini adalah untuk merancang Langkah pencegahan yang tepat dan memastikan tindakan keselamatan yang efektif diterapkan, roses identifikasi dilakukan melalui observasi langsung di lapangan dan wawancara dengan karyawan. Setelah bahaya teridentifikasi, tingkat risikonya dianalisis dengan mempertimbangkan seberapa sering bahaya tersebut bisa terjadi (likelihood) dan seberapa parah dampaknya (severity) (Ihsan et al.,2020).

- **Penilaian risiko**

Penilaian risiko adalah proses lanjutan yang bertujuan untuk mengetahui tingkat risiko dari bahaya yang telah diidentifikasi. Proses ini mencakup dua tahap utama: analisis dan evaluasi risiko. Tahap analisis membantu menentukan seberapa besar risiko berdasarkan kemungkinan terjadinya dan dampaknya, sedangkan tahap evaluasi digunakan untuk menilai apakah risiko tersebut dapat diterima atau perlu ditindaklanjuti. Dengan melakukan penilaian risiko secara menyeluruh, perusahaan bisa merancang strategi pengendalian yang efektif dan mengurangi kemungkinan kecelakaan kerja atau penyakit akibat kerja,

Tujuan akhirnya adalah untuk memastikan semua risiko yang ada dapat dikendalikan, diminimalkan, atau dihilangkan sepenuhnya untuk melindungi pekerja dan aset perusahaan. Setelah mengetahui tingkat risiko yang ada maka diklasifikasikan risiko yang ada dimulai dari tingkatan paling rendah sampai ke tingkat paling tinggi. Tingkatan risiko yang didapat dari penilaian ini berdasarkan perbandingan antara Tingkat kemungkinan terjadinya suatu risiko (Occurance) dan tingkat keparahan terjadinya risiko (Severity).

Rating	Kategori	Deskripsi
1	Rare	Salah satu Insiden yang sangat jarang terjadi
2	Unlikely	Salah satu Insiden yang kecil kemungkinannya terjadi
3	Moderate	Suatu kasus yang akan muncul dalam beberapa keadaan tertentu
4	Likely	Salah satu Insiden yang sering terjadi
5	Almost Certain	Salah satu Insiden yang dapat terjadi setiap saat

Tabel 6.Tingkatan kemungkinan Risiko

Sumber : AS/NZS 4360:2004

Risiko juga diklasifikasikan berdasarkan tingkat keparahannya, dari dampak ringan hingga paling fatal:

Tingkat	Deskripsi	Keterangan
1	Insignificant	Tidak Ada cedera, kerugian finansial sangat kecil
2	Minor	Ada Cidera Ringan, hanya butuh Pertolongan pertama dan tingkat kerugian finansial kecil
3	Moderate	cidera yang memerlukan perawatan medis, kehilangan waktu kerja dan kerugian finansial menengah
4	Major	Ada cidera parah yang mengakibatkan kehilangan fungsi tubuh(cacat) dan produksi berhenti mengakibatkan kerugian finansial yang besar
5	Catastrophe	Ada kematian dan menyebabkan kerugian finansial yang sangat besar

Tabel 7. Tingkat Keparahan Terjadinya Risiko (Severity)

Sumber : AS/NZS 4360:2004

Rumus penilaian risikonya adalah:

dari risk matrix hitungan rata – rata *Probability (P)* × *Severity (S/C)* yang didapatkan dari hasil dari responden sesuai dengan informasi di atas, kemudian dapat dihitung skor resiko dan prioritas untuk melakukan tindakan perbaikan. Untuk menghitung skor resiko adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$$

dengan:

- P = nilai *Likelihood* rata-rata
- C = nilai konsekuensi rata-rata
- P_i , C_i = nilai dari responden ke-i
- n = jumlah responden (8 Responden)

Skor resiko = **Risk (R) = Likelihood/ Probability (L/P) × Severity (S/C)**

Contoh perhitungan pada skor resiko pertama diketahui nilai likelihood (L/P) sebesar 4 dan nilai Severity/consequences (S/C) sebesar 2, maka perhitungan adalah sebagai berikut:

$$\text{Skor resiko} = 4 \times 2 = 8$$

(Hidayat, 2020).

Setelah dilakukan analisis menggunakan faktor kemungkinan (likelihood/ *Probability*) dan Tingkat keparahan (severity), hasil tingkat risiko yang diperoleh dapat diklasifikasikan lebih lanjut menggunakan matriks risiko. Matriks ini berfungsi untuk mengelompokkan risiko ke dalam tingkat tertentu, sehingga memudahkan dalam menentukan prioritas pengendalian yang harus dilakukan sebagai berikut :

Matriks Analisa Resiko			Tingkat Kemungkinan (likelihood/ <i>Probability</i>)				
			1	2	3	4	5
			rare	<i>Unlikely</i>	Moderate	Likely	Almost Certain
Tingkat Keparahan (Severity)	1	<i>Insignificant</i>	1	2	3	4	5
	2	<i>Minor</i>	2	4	6	8	10
	3	<i>Moderate</i>	3	6	9	12	15
	4	<i>Major</i>	4	8	12	16	20
	5	<i>Catastrophic</i>	5	10	15	20	25

Tabel 8.Matriks Nilai Risiko Likelihood dan Severity

Sumber : Sukwika & Pranata, 2022

Hasil perhitungan nilai risiko dapat dikelompokkan ke dalam beberapa tingkat, dengan kategori dan tindakan yang berbeda-beda, seperti berikut:

Risk Score	Kategori	Indikator Warna	Tindakan
> 16	Very high/ Extreme	Dark Red	Perlu tindakan pengendalian segera dan prioritas utama karena bersifat darurat
10-16	High	Red	Harus segera dikendalikan, termasuk dalam risiko prioritas
5-9	Medium	Yellow	5-9 Butuh rencana pengendalian meskipun tidak khusus
0-4	Low	Green	Risiko dapat diterima dan tidak perlu Tindakan khusus

Tabel 9.kategori dan tindakan Nilai Risiko

Sumber : (Sukwika & Pranata, 2022)

1.1.8 Peralatan Keselamatan Kapal Layar Motor – Alat Pemadam Kebakaran

Surat Keputusan Dirjen Perhubungan Laut No. PY.66/1/2-02 tanggal 7 Pebruari 2002 tentang “ Persyaratan Keselamatan bagi Kapal Layar Motor (KLM) berukuran Tonase Kotor sampai GT 500” Bab IV “ khususnya tentang Alat-alat Keselamatan dan Perangkat Komunikasi Radio” Setiap KLM harus dilengkapi dengan alat-alat pemadam kebakaran dan alat penolong yang memenuhi syarat serta dalam keadaan baik yang meliputi:

a. Alat-alat Pemadam Kebakaran:

- 1) Sekurang-kurangnya 2 (dua) buah tabung pemadam kebakaran type busa dengan kapasitas @ 9 liter atau yang sepadan ditempatkan di dalam kamar mesin.
- 2) Sekurang-kurangnya 2 (dua) buah tabung pemadam kebakaran type ABC dengan kapasitas @ 9 liter atau yang sepadan, yang ditempatkan diluar kamar mesin.
- 3) 1 (satu) bak berisi sekurang-kurangnya $\frac{1}{2}$ (setengah) meter kubik pasir dengan 2 (dua) buah tembilang.
- 4) Untuk kapal yang lebih besar dari 200 GT harus dilengkapi dengan 1 (satu) pompa pemadam kebakaran yang berdiri sendiri dengan kapasitas yang cukup.

1.1.9 Peraturan dan Penempatan Posisi Alat Pemadam Kebakaran Dikapal

Menurut Perhub RI no.11 2023 tentang pelaksanaan konvensi internasional untuk keselamatan jiwa dilaut beserta amandmennya, aturan 10 Pemadaman Kebakaran dimana Tujuan dari peraturan ini adalah untuk menekan dan dengan cepat

memadamkan api di ruang asal, persyaratan fungsional berikut harus dipenuhi yaitu:

- sistem pemadaman kebakaran tetap harus dipasang dengan mempertimbangkan potensi pertumbuhan api dari ruang-ruang yang dilindungi; dan
- peralatan pemadaman kebakaran harus siap tersedia.

Dengan Peralatan Kebakaraan Sebagai berikut :

A. Pemadam Kebakaran Jinjing (Fire Extinguisher) (Alat Pemadam Kebakaran Manual)

Pemadam kebakaran jinjing dirancang untuk dapat dibawa dan dioperasikan dengan tangan sehingga total berat dari pemadam kebakaran jinjing tersebut tidak melebihi 23 kg. Ruang akomodasi, ruang layanan, dan stasiun kontrol juga harus dilengkapi dengan pemadam kebakaran jinjing tersebut. Pada kapal dengan berat kotor 1.000 GT atau lebih minimal terdapat 5 buah fire extinguisher. Terdapat bermacam-macam fire extinguisher, antara lain :

- Dry Powder Fire Extinguisher
- Foam Fire Extinguisher
- CO2 Fire Extinguisher
- Water Fire Extinguisher

(*Perhub RI no.11 2023*)

Salah satu dari alat pemadam kebakaran jinjing yang diharapkan digunakan dalam ruang apapun harus dimuat dekat pintu masuk ke ruang itu.

- Alat pemadam kebakaran karbon dioksida tidak boleh ditempatkan di ruang akomodasi. Di stasiun kontrol dan ruang lain yang berisi perlengkapan atau peralatan listrik atau elektronik yang diperlukan untuk keselamatan kapal, alat pemadam kebakaran harus disediakan yang mana media pemadamannya tidak

bersifat penghantar listrik ataupun berbahaya terhadap perlengkapan dan peralatan tersebut.

- Alat pemadam kebakaran harus diposisikan siap untuk dipakai pada tempat yang mudah terlihat, yang dapat dicapai dengan cepat dan dengan mudah pada setiap waktu dalam hal terjadi kebakaran, dan dengan cara sedemikian sehingga kemampuan pemenuhan fungsinya tidak dilemahkan oleh cuaca, getaran atau faktor eksternal lainnya. Alat pemadam kebakaran jinjing harus dilengkapi dengan alat yang menandai apakah mereka telah digunakan. (*Perhub RI no.11 2023*)

Pemasangan APAR satu sama lain tidak boleh lebih dari 15 meter, menurut Permenakertrans No: Per.04/MEN/1980 tentang Syarat-syarat Pemasangan dan Pemeliharaan APAR. Tingkat kesesuaian pemasangan atau tata letak APAR dilakukan dengan menggunakan checklist yang didasarkan pada Permenaker No.4 Tahun 1980. Adapun 11 elemen yang digunakan dalam checklist.

1. Penempatan APAR pada posisi yang mudah dilihat dengan jelas.
2. APAR mudah dijangkau
3. APAR dilengkapi dengan tanda pemasangan APAR yang tingginya 125 cm dari dasar lantai tepat di atas APAR.
4. Pemasangan APAR sesuai dengan jenis penggolongan kebakaran.
5. penempatan APAR satu dengan yang lainnya tidak boleh melebihi 15 meter.
6. semua APAR berwarna merah
7. tabung APAR tidak berlubang atau cacat karat
8. APAR dipasang menggantung pada dinding dengan penguatan sengkang
9. ketinggian bagian paling atas APAR 1,2 meter dari permukaan lantai atau minimal 15 cm dari lantai.
10. APAR tidak dipasang dalam ruangan atau tempat dimana suhu melebihi 49°C atau turun sampai -44°C
11. APAR yang ditempatkan di alam terbuka harus dilindungi dengan tutup pengaman

Ashari ,Moch. Luqman. Agustin ,Shintya Putri . Ulfah,Salwa Nadia (2023)

B. Alarm Kebakaran (Fire Alarm)

Alarm kebakaran diletakkan pada tempat dimana penumpang dan awak kapal dapat mendengar saat alarm kebakaran diaktifkan. Alarm kebakaran dilengkapi dengan penekan manual (switch on) untuk mengaktifkan alarm dan dilindungi.

C. Sprinkle (Alat Pemadam Kebakaran Tetap)

Sprinkle adalah alat bantu pemadam kebakaran berupa saluran air yang menyembrot dari langit - langit saat diaktifkan jika terjadi kebakaran. Sistem sprinkler otomatis adalah kombinasi dari deteksi panas dan pemadaman yang bekerja sama otomatis penuh tanpa bantuan manusia. Sprinkler akan berfungsi

pada suhu sekitar 68oC sampai 79oC, kecuali yang dipasang dilokasi ruang pengering yang dapat memiliki suhu tinggi. Pada ruang tersebut sprinkler akan berfungsi tidak melebihi 30oC diatas suhu maksimum. Sprinkler harus dapat berfungsi menyembprotkan air secara berkelanjutan selama 30 menit.

D. Detektor (Panas dan Asap)

Kapal yang memuat penumpang lebih dari 36 orang harus memiliki alat pendeteksi kebakaran yang tetap. Sistem alarm kebakaran harus dipasang dan disusun untuk mendukung pendeteksi asap di ruangan -ruangan publik, pusat kontrol / kemudi dan ruang akomodasi, termasuk koridor, tangga, dan rute penyelamatan. Alat pendeteksi kebakaran dibagi menjadi 2, yaitu : Detektor Panas (Heat Detector), Detektor Asap (Smoke Detector), atau Dibawah ini adalah tata letak dan jarak peletakan dari pemasangan fire detector :

- Detektor Panas (Heat Detector)
Detektor panas akan berfungsi sebelum temperature melebihi 780C, tetapi tidak sampai temperature melebihi 540C, dengan laju kenaikan temperature kurang dari 10C permenit. Detektor panas akan berfungsi melebihi suhu tersebut ditempat yang memiliki suhu yang lebih tinggi dari ruangan biasanya seperti di ruang pengering detector panas akan berfungsi pada suhu 1300C dan di ruang sauna.
Detektor panas akan berfungsi pada suhu 140oC. Detektor panas harus dipasang pada ruang akomodasi, ruang pelayanan, dan stasiun pengontrol.
- Detektor Asap (Smoke Detector)
Detektor asap harus dipasang pada semua tangga, koridor dan jalur evakuasi dalam ruang akomodasi. Detektor asap harus berfungsi sebelum kepadatan asap melebihi 12.5% bagian per meter, tetapi detector asap tidak perlu berfungsi apabila kepadatan asap melebihi 2% bagian per meter. Pertimbangan- pertimbangan harus diberikan untuk instalasi dari detektor asap dengan maksud khusus dalam saluran ventilasi.

Jenis Detektor	Luas Lantai Maksimum Setiap Detektor	Jarak Maksimum Antar Pusat	Jarak Maksimum Antar Sekat
Panas	37 m ²	9 m	4.5 m
Asap	74 m ²	1 m	5.5 m

Tabel 10.Peraturan peletakan alat pendeteksi kebakaran

1.1.10 Smart Fire Extinguisher

Smart Fire Extinguisher adalah salah satu evolusi alat pemadam api cerdas dan otomatis yang dipasang langsung pada titik - titik rawan kebakaran dengan berbagai type lainnya, dimana alat pemadam kebakaran ini berbentuk tabung atau dengan berbagai

bentuk lainnya yang dapat memadamkan api secara otomatis ketika bersentuhan dengan api.

Smart Fire Extinguisher adalah alat pemadam api cerdas dan otomatis Teknologi pemadam kebakaran yang dikembangkan oleh berbagai macam institusi salah satunya SUMATO berbeda dari alat pemadam api konvensional yang rumit, SFE cukup ditempatkan di titik rawan api dan akan bekerja secara otomatis dalam hitungan detik apabila ada nyala api dan tanpa instalasi serta perangkat penunjang lainnya, Selain itu, suara yang ditimbulkan saat SFE bekerja dapat menjadi peringatan untuk orang-orang sekitar. Disisi lain SFE juga dapat dilemparkan ke titik api apabila terjadi kebakaran, Perlindungan sempurna selama 3 tahun, Tidak perlu melakukan perawatan dan tanpa isi ulang, dan Bekerja tanpa tenaga manusia serta dapat di tempat di berbagai titik rawan kebakaran Seperti Gas cylinder, Control Panel, Mesin, Genset serta Area paling besar Gedung, Rumah Sakit , pabrik dan Kendaraan, Serta Telah memiliki sertifikasi global, termasuk ISO 9001:2015 yang bergengsi, Lulus Uji Sertifikasi Laboratorium Dinas Pemandan Kebakaran dan Penyelamatan (2023) dan Lulus Uji Sertifikasi dari BTKP (Balai Teknologi Keselamatan Pelayaran) Direktorat Jenderal Perhubungan Laut (2020), dengan 4 type model dengan Capacity dan Composition “ **SM-05, SM-08 dan SM-10 , SM-40** “ yang berbeda - beda berikut spesifikasi alat *Smart Fire Extinguisher* Gambar dibawah ini :

NO	PRODUCT TYPE	SPEIFICATION
1		Sumato Type SM-05 Information : Capacity : 500 Gram Extinguishing Area : 1 M ² Best Before : 3 Years (Maintenance Free) Storage Temperature : -40°C s/d 80°C Composition : Ammonium Dihydrogen Phosphate Diammonium Phosphate, Sodium Bicarbonate
2		Sumato Type SM-08 Information : Capacity : 800 ML Extinguishing Area : 1 M ² Best Before : 3 Years (Maintenance Free) Storage Temperature : -10°C s/d 55°C Composition : Flourine Surfactant, Antifreeze, Purified Water, Hydrocarbon Surfactant
3		Sumato Type SM-10 Information : Capacity : 1 Litre Extinguishing Area : 2 M ² Best Before : 3 Years (Maintenance Free) Storage Temperature : -10°C s/d 55°C Composition : Flourine Surfactant, Antifreeze, Purified Water, Hydrocarbon Surfactant
4		Sumato Type SM-40 Information : Capacity : 4 Litre Extinguishing Area : 7 M ² Best Before : 3 Years (Maintenance Free) Storage Temperature : -10°C s/d 55°C Composition : Flourine Surfactant, Antifreeze Purified Water, Hydrocarbon Surfactant

Gambar 4.SFE - Sumato Prodak

Pt. Sahabat Prima Sukses , Sumato - Smart Fire Extinguisher 2020

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini yaitu :

1. Potensi area dan besar bahaya yang dapat menimbulkan kebakaran pada kapal ?
2. Berapa Jumlah dan kapasitas serta jenis produk Alat yang dibutuhkan?
3. Menentukan dan menetapkan posisi alat *Smart Fire Extinguisher* ideal pada Kapal ?

1.3 BATASAN MASALAH

Agar Penelitian dapat terarah sesuai dengan kerangka pikir yang direncanakan, maka dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Analisa yang dilakukan menyangkut Estimasi Jumlah dan *Plan* Posisi alat yang ideal
2. Pemasangan yang di gunakan hanya Berfokus pada Kapal Wisata/Kayu dengan GT 225

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Adapun Tujuan Penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi Potensi area -area bahaya yang dapat menimbulkan kebakaran Kapal Wisata/kayu
2. Menganalisis jumlah dan kapasitas alat *Smart Fire Extinguisher* yang dibutuhkan pada Kapal Wisata/kayu
3. Menentukan Posisi Penempatan SFE ideal pada Kapal Wisata/kayu.

BAB II METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan **deskriptif–kualitatif** yang didukung analisis kuantitatif melalui **Metode Penilaian Risiko (Risk Assessment)**. Fokus penelitian adalah mengidentifikasi area – area potensi bahaya kebakaran pada kapal wisata/kayu, penempatan dan jumlah alat smart fire extinguisher yang dibutuhkan

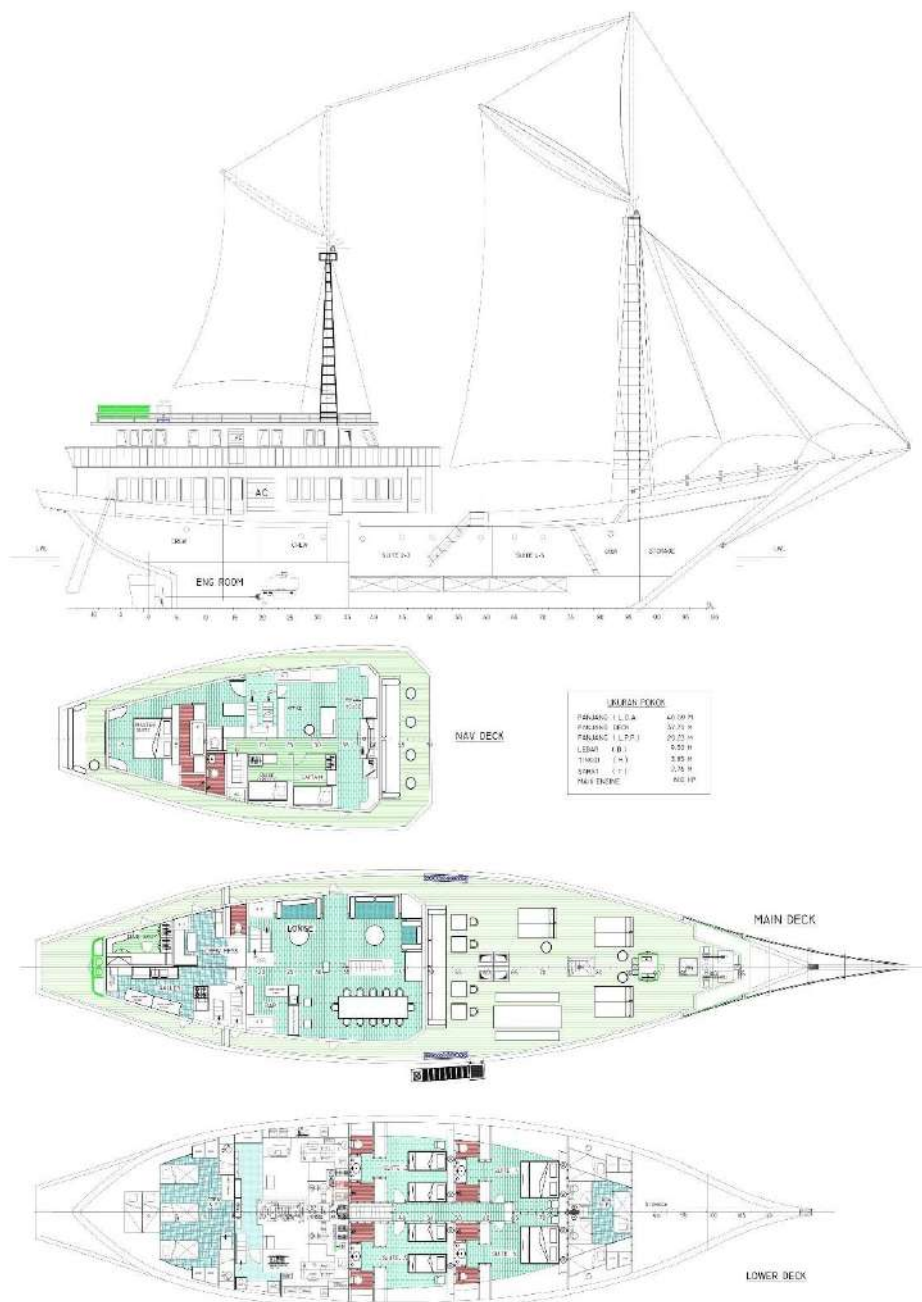
2.1 Objek Dan Waktu Penelitian

a. Objek Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan Pada Kapal Wisata/Kapal Kayu 225 GT dengan ukuran kapal ini kemudian digunakan sebagai data Beberapa bahan yang dibutuhkan dalam penelitian, berikut adalah data ukuran utama kapal wisata/kapal kayu :

Name of Vessel	KLM XYZ	
Type of Ship	PASSENGER	
GT/NT	255/77	
Year Build	2011	
Builder	Bulukumba	
Port Register	JAKARTA	
Material of Hull	Wood	
Length (LOA)	46.92	m
Lenght (LBP)	32.57	m
Breadth (B)	9.56	m
Tinggi (Height)	3.85	m
Draft	2.95	m
Main Engine	MAN - D2842 LE419 - 440/598 KW/BHP	
Auxiliary Engine	Cummins Onan Marine - 65x2 Kva	
Auxiliary Standby/Emergency	Mitshubishi 4D32 - 40 KVA	

dan gambar *arrangement* untuk mengetahui ruangan dan area - area diatas kapal wisata dan accuan untuk penempatan alat smart fire extinguisher Sebagai berikut:



Gambar 5. gambar arrangement kapal wisata

b. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan $\pm$ 5 bulan terhitung dari bulan Juli.

c. Sumber Data

Sumber data yang diperoleh peneliti berasal dari pengamatan langsung di lapangan serta informasi yang didapatkan melalui berbagai sumber, termasuk referensi dari beberapa buku dan hasil penelusuran melalui internet. Berdasarkan sumber-sumber tersebut, peneliti menggunakan dua jenis data, yaitu:

c.1 Data Primer

Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap identifikasi kemungkinan risiko kecelakaan kebakaran pada kapal. Peneliti mengumpulkan data dari hasil observasi lapangan serta melalui wawancara atau diskusi dengan awak kapal sebagai pengguna yang terlibat langsung ataupun yang pernah mengalami kejadian risiko kebakaran di atas kapal. Selain itu, peneliti juga melakukan wawancara dengan pihak eksternal, yaitu instansi pemerintah dalam hal ini Kesyahbandaran dan Otoritas Pelabuhan, serta surveyor dari BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) untuk memperoleh informasi dari berbagai perspektif. Hasil wawancara tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan terjadinya risiko serta dampaknya sebagai dasar dalam melakukan upaya antisipasi agar risiko kecelakaan kebakaran tidak bertambah atau meluas di atas kapal, dalam penelitian ini mencakup teknik-teknik yang diperlukan untuk mendukung analisis penilaian risiko bahaya kebakaran (Fire Risk Assessment). Proses analisis tersebut dilakukan melalui sejumlah tahapan acuan, yaitu sebagai berikut:

- I. Identifikasi area-area berpotensi bahaya, meliputi sumber api, bahan mudah terbakar, serta kondisi rentan pada setiap area kapal yang dapat memicu terjadinya kebakaran.
- II. Frekuensi area bahaya kebakaran kapal
- III. Pembuatan atau penempatan *fire and safety plan arrangement sebagai dasar pemetaan lokasi peralatan keselamatan dan sistem proteksi kebakaran.*

c.2 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari studi kepustakaan dengan mempelajari dan menganalisis sumber literatur yang ada hubungannya dengan objek penelitian.

1. Library Research - Penelitian ini juga menggunakan data yang diperoleh dari beberapa literatur, buku, artikel, jurnal dan sejenisnya yang berhubungan dengan objek penelitian dan dapat mendukung bahan kajian penelitian.
2. Internet Research - Peneliti juga dapat menggunakan data dari internet sebagai alternatif, karena terkadang data yang didapat dari sumber lainnya kurang memadai atau sudah kadaluarsa seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan

2.2 Teknik Pengumpulan Data

Informan dalam penelitian ini terdiri atas awak kapal, perwakilan instansi pemerintah dalam hal Kesyahbandaran dan Otoritas Pelabuhan, serta Class dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Untuk memperoleh informasi yang relevan dengan topik penelitian, teknik pengumpulan data yang digunakan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

- **Wawancara (Interview)**
Wawancara adalah percakapan dengan tujuan tertentu. Percakapan tersebut dilakukan oleh dua pihak, yaitu pewawancara yang mengajukan berbagai pertanyaan seputar resiko dan area kemungkinan terjadi kebakaran di atas kapal dan narasumber yang menjawab pertanyaan tersebut. Teknik ini digunakan Wawancara ini bertujuan menggali informasi faktual dan pengalaman langsung dari pihak-pihak yang kompeten sehingga dapat mendukung proses penilaian risiko kebakaran di atas kapal
- **Observasi (Pengamatan)**
Observasi dilakukan secara langsung pada kapal wisata yang menjadi objek penelitian untuk mengidentifikasi:
 - Kondisi nyata area-area berpotensi kebakaran
 - Instalasi peralatan keselamatan
 - Tata letak ruang – ruangan di atas kapal wisata
 - Peluang integrasi *Smart Fire Extinguisher* ke dalam sistem keselamatan kapal
 Observasi dilakukan secara sistematis dengan menggunakan lembar pengamatan yang telah disusun berdasarkan metode *Fire Risk Assessment*.
- **Kuisisioner Penelitian**
Kuisisioner Adalah metode atau teknik yang peneliti gunakan untuk mengumpulkan data dan informasi dengan cara memberikan pertanyaan kepada responden untuk dijawab. Dalam hal ini metode melalui Metode Penilaian Risiko (*Risk Assessment*) ini, pertanyaan-pertanyaan bermasalah dituliskan pada kuisisioner kemudian dibagikan kepada responden, yang menjawabnya dan kemudian mengembalikannya kepada peneliti. Dari hasil pernyataan yang sudah tervalidasi maka peneliti mengirimkan angket untuk menentukan penilaian kemungkinan area – area dan Frekuensi area bahaya kebakaran kapal serta nilai dampak apa saja yang terjadi dari bahaya , Kuisisioner disusun berdasarkan variable penelitian didapatkan dengan melakukan studi literatur atau jurnal dan dari informasi kondisi kapal yang menjadi variable-variabel risiko dengan metode *Risk Assessment* sesuai dengan dengan fokus pada:
 - penilaian kemungkinan (*Probability/likelihood*) terjadinya kebakaran pada setiap area kapal

- Penilaian tingkat dampak (*severity*)
- Identifikasi area prioritas mitigasi risiko
- klasifikasi Sumber Kebakaran Menurut Jenis kebakaran dan area/ruangan
- Evaluasi kebutuhan sistem pencegahan kebakaran berbasis *Smart Fire Extinguisher*

Penelitian menggunakan pendekatan Pemilihan *panel Delphi* atau *expert judgment* terhadap stakeholder kunci keselamatan kapal minimal 8 hingga 12 responden, dengan Kriteria pemilihan mencakup individu dengan pengalaman minimal satu tahun, pemahaman komprehensif (*Lingga Ikaditya , Zulfan Zazuli, Dkk. 2025*) dan dipilih berdasarkan keahlian mereka tentang keselamatan kapal, Penelitian ini melibatkan total delapan Ahli dan expert dibidangnya masing – masing didunia perkapalan dan maritim, Daftar yang terlibat dalam penelitian ini dibagikan kepada 8 responden, yang terdiri dari :

- 4 orang awak kapal (crew) yang memahami aktivitas operasional dengan masing -masing pengalaman kerja dibidangnya 3 -15 Tahun
- 2 orang ahli (expert) dari perusahaan BKI yang memiliki kompetensi dalam teknis keselamatan kapal dengan masing -masing pengalaman kerja dibidangnya 4-10 Tahun
- 2 orang ahli (expert) dari Kesyahbandaran atau instansi pemerintahan yang memahami standar keselamatan kapal dengan masing -masing pengalaman kerja dibidangnya 5 -7 Tahun

pendapat dan sikap responden terhadap masalah yang diteliti. dalam penelitian ini hasil kuisioner yang didapat berupa data terkait potensi risiko kebakaran kapal tersebut akan dicantumkan oleh peneliti pada halaman lampiran.

- Teknik Dokumentasi
Dokumentasi digunakan untuk mendukung hasil wawancara dan observasi, serta memastikan bahwa analisis risiko didasarkan pada kondisi nyata kapal.

2.3 Daftar Peralatan dan dimensi Mesin, Kelistrikan, dan Elektronik Kapal KLM XYZ pada masing – masing area

Berikut daftar peralatan mesin, kelistrikan, dan elektronik yang terpasang pada Kapal wisata yang didapatkan dari data kapal wisata berdasarkan KLM XYZ pembagian area operasional kapal dan dapat dilihat pada tabel 11, Inventarisasi dilakukan untuk mengidentifikasi jenis, jumlah, serta lokasi penempatan peralatan pada masing-masing area, sehingga memudahkan analisis kondisi sistem, potensi bahaya, serta keterkaitannya dengan upaya pencegahan kebakaran. Rincian peralatan pada setiap area disajikan dalam bentuk tabel pada bagian berikut:

AREA	Keterangan	Detail Item	
		Qty	Ukuran – PxLxT (mm)
Ruang Mesin (Engine Room)	Main Engine	1	1795 x 1230 x 1105
	Main Genset	2	1141 x 700x 882
	Emergency genset	1	1120 x 410 x 820
	AKI / Battery	8	521 x 278 x 220
	Main Control Panel	5	400 x 300 x 1250
	Control Panel bantu	4	300 x 300 x 750
	Water Maker	1	1200 x 1000 x 350
	Pompa fuel	2	300 x 300 x 300
Dapur/Galley	Alat pemanggang	1	900 x 450 x 350
	Kompor	1	1000 x 950 x 1000
Ruangan Gas	Tabung gas	2	T. 1350 x Dia. 370
Lounge/Bar	Stopkontak	2	250x150x100
Ruang Nahkoda	Control Panel	3	500 x 350 x 500
	AKI / Battery	2	521 x 278 x 220
Fuel Tank Room	Tangki BBM	4	2000 x 2000 x 1000
	Bilga Got	1	8000 x 300 x 300
Ruang Rantai jangkar dan Storage Tangki BBM dan area penyimpanan	Control Panel	2	500 x 350 x 750
	Kabel Listrik		-
Kamar Crew	Saklar/Stopkontak	10	-
Guest Cabin	Saklar/Stopkontak	10	-

Tabel 11. Peralatan Mesin, Kelistrikan, dan Elektronik Kapal KLM Full Moon pada masing – masing area

2.4 Dimensi dan daftar ruangan Kapal KLM XYZ

Berikut Dimensi dan daftar ruangan pada Kapal wisata berdasarkan KLM XYZ pada pembagian area operasional kapal dan dapat dilihat pada tabel 12, dilakukan untuk mengidentifikasi jenis, jumlah, serta lokasi penempatan peralatan SFE pada masing-masing area, sehingga memudahkan analisis kondisi sistem, potensi bahaya, serta keterkaitannya dengan upaya pencegahan kebakaran :

No	AREA	Qty	Dimensi – Pxlxt (mm)	Volume (m ³)
1	Ruang Mesin (Engine Room)	1	6300x5850x 2500	92.1
2	Dapur/Galley	1	6300 x 2550 x 2000	32.1
3	Ruangan Gas	1	500 x 2000 x2 000	2.0
4	Lounge/Bar	1	9500 x 9500 x 2000	141.6
5	Ruang Nahkoda	1	2700 x 7300 x 2000	39.4
6	Fuel Tank Room	1	2000 x 2000 x 1000	31.2
7	Ruang Rantai jangkar dan Storage	1	3200 x 5600 x 2100	37.6
8	Kamar Crew	2	6700 x 5000 x 2000	67.0
9	Guest cabin	5	5100 x 4100 x 2000	41.8

Tabel 12 Dimensi dan daftar ruangan Kapal KLM XYZ

2.4 Daftar Safety Equipment diatas kapal wisata KLM. XYZ

Pada kapal wisata ini juga memiliki beberapa peralatan keselamatan (safety equipment), khususnya pada sistem pemadam kebakaran. Berdasarkan hasil observasi, seluruh peralatan tersebut masih berbasis sistem manual, sehingga proses pengoperasian dan pengaktifannya sepenuhnya bergantung pada intervensi keterlibatan awak kapal maupun pengguna dalam proses pengoperasian dan pengaktifannya. Adapun peralatan keselamatan yang tersedia pada Kapal Wisata KLM XYZ adalah sebagai berikut:

No	Equipment	Qty
1	General Alarm	2 Pcs
2	Fire Hose Box	2 Pcs
3	Lifebouy	9 Pcs
4	Lifecraft 20 Person	2 Unit
5	Fire Hydrant	2 Unit
6	APAR Dry Powder 2 kg	17 Pcs
7	APAR CO ² 2kg	2 Pcs
8	APAR Dry Powder 6 kg	6 Pcs
9	APAR Foam 6 Lites	4 Pcs

Tabel 13 Daftar Safety Equipment diatas kapal wisata KLM. XYZ

Kondisi ini mengindikasikan bahwa tingkat efektivitas penanganan keadaan darurat sangat dipengaruhi oleh faktor manusia (human factor), seperti tingkat pengetahuan, kesiapsiagaan, serta kecepatan respons dalam menghadapi potensi kebakaran.

Ketergantungan pada sistem manual berpotensi menimbulkan keterlambatan dalam penanganan awal, dalam situasi darurat, faktor kepanikan dan kurangnya koordinasi dapat menurunkan efektivitas penggunaan peralatan tersebut.

2.4 Variabel Penelitian Resiko Area Potensi bahaya kebakaran dikapal Wisata

Adapun Potensi area bahaya kebakaran dikapal yang didapat dari hasil literatur, data kapal dan dari gambar arrangement pada gambar 5 untuk mendapatkan hasil penelitian dan analisis yang sesuai dan mendalam berdasarkan peraturan solas (3) bab ii-2, peraturan 9 adalah 14 lokasi lokasi kritis dan peringkat risiko berdasarkan frekuensi penyulutan dan seperti hasil dari *technical paper* muradi,m. And mutmainnah ,w. (2020) dan potensi sumber bahaya kebakaran di atas kapal berdasarkan jurnal iskanda. Risianto,wisnu. Rahman ,moh. Arief. Dkk. (2021), *jurnal patria bahari*, vol 1 (no 1). Yang disesuaikan dengan ruang - ruang area pada kapal – kapal wisata / kapal kayu, yaitu sebagai seperti pada tabel 11, berikut adalah Variabel Potensi area bahaya kebakaran dikapal wisata

AREA	Hazard
Ruang Mesin (Engine Room)	Kebocoran pipa/pompa bahan bakar ke <i>Main Engine</i>
	Kebocoran pipa/pompa bahan bakar Genset
	Overheat Mesin Utama
	short circuit/Korsleting pada panel Control Main engine
	Overheat Mesin Bantu (Generator, Kompresor, Watermaker,OWS dll.
	short circuit/Korsleting pada Control panel Mesin bantu
	Main Control Panel - short circuit/Korsleting
	Main Control Panel - overload listrik
	Battery/Aki terjadi short circuit/Korsleting
Dapur/Galley	selang gas bocor
	percikan dari kompor
Ruangan Gas	Kebocoran gas
Lounge/Bar	Korsleting
Ruang Nahkoda	Korsleting
	Overload listrik

	Kabel terbuka atau sambungan tidak standar
	Battery/Aki terjadi short circuit/Korsleting
Fuel Tank Room	Kebocoran BBM
	Tutup tangki, ada uap bahan bakar minyak
	Ventilasi tangki berfungsi baik
Ruang Rantai jangkar dan Storage	Control Panel - short circuit/Korsleting
	Control Panel - overload listrik
	Kabel terbuka atau sambungan tidak standar
Kamar Crew	Interior kayu / Korsleting
Guest Cabin	Interior kayu / Korsleting

Tabel 14. Variabel Potensi area bahaya kebakaran dikapal wisata

2.5 Smart Fire Extinguisher

Smart Fire Extinguisher adalah salah satu evolusi alat pemadam api cerdas dan otomatis yang dipasang langsung pada titik - titik rawan kebakaran dengan berbagai type lainnya, dimana alat pemadam kebakaran ini berbentuk tabung, bulat atau dengan berbagai bentuk lainnya yang dapat memadamkan api secara otomatis ketika bersentuhan dengan lidah api, Sistem Smart Fire Extinguisher bekerja secara otomatis tanpa memerlukan intervensi pengguna, sehingga efektif digunakan sebagai sistem pencegahan kebakaran tahap awal di atas kapal, berikut Adalah Spesifikasi masing – masing tipe

• Gambar 6. Tipe SM - 05



Keterangan	Spesifikasi
Capacity	150 gr
Capacity kotor	500 gr
Extinguishing Area	1m ³
Storage Temperature	-40° s/d 80°C
Composition	Ammonium Dihydrogen Phosphate Diammonium Phosphate, Sodium Bicarbonate
Time	5 detik
Klasifikasi Kebakaran NPFA	Dry Chemical Powder, kelas A-B-C
Penggunaan	ruangan tertutup dan eletrical

Detector	1.5 m
----------	-------

- **Gambar 7. Tipe SM - 08**



Keterangan	Spesifikasi
Capacity	800 ML
Extinguishing Area	1m ²
Storage Temperature	-10° s/d 55°C
Composition	Fluorine Surfactant, Antifreeze Purified Water, Hydrocarbon Surfactant
Time	5 detik
Klasifikasi Kebakaran NPFA	Water-based Surfactant klas A,B & D
Penggunaan	tidak cocok area electrical,
Detector	1.5 m

- **Gambar 8. Tipe SM - 10**



Keterangan	Spesifikasi
Capacity	1 Liter
Extinguishing Area	2m ²
Storage Temperature	-10° s/d 55°C
Composition	Fluorine Surfactant, Antifreeze Purified Water, Hydrocarbon Surfactant
Time	5 detik
Klasifikasi Kebakaran NPFA	Water-based Surfactant klas A,B & D
Penggunaan	tidak cocok area eletrical
Detector	1.8 m

• **Gambar 9. Tipe SM - 40**



Keterangan	Spesifikasi
Capacity	4 Liter
Extinguishing Area	7m ²
Storage Temperature	-10° s/d 55°C
Composition	Fluorine Surfactant, Antifreeze Purified Water, Hydrocarbon Surfactant
Time	5 detik
Klasifikasi Kebakaran NPFA	Water-based Surfactant klas A,B & D
Penggunaan	tidak cocok area electrical
Detector	2.8 m

2.6. Cara Penggunaan Smart Fire Extinguisher

Tabel 13. menunjukkan tahapan kerja dan Cara penggunaan *Smart Fire Extinguisher* yang beroperasi secara otomatis tanpa keterlibatan pengguna/user. Sistem bekerja berdasarkan prinsip deteksi dini lidah api, sehingga mampu memberikan respon pemadaman awal secara cepat pada area rawan kebakaran, sebagai berikut :

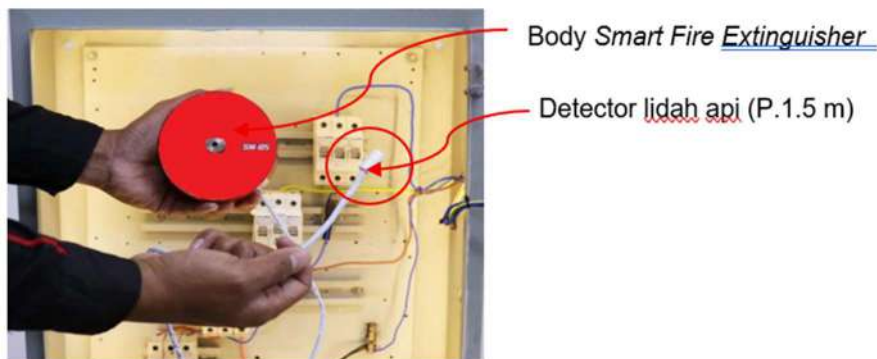
Tahap Sistem	Deskripsi Teknis
Pemasangan Alat	Smart Fire Extinguisher dipasang pada area rawan kebakaran dengan mempertimbangkan jenis sumber api dan spesifikasi alat.
Deteksi Api	Posisikan detektor lidah api sebagai pendeteksi keberadaan api pada dari titik potensi kebakaran.
Aktivasi Sistem	Sistem aktif secara otomatis setelah detektor menerima sinyal keberadaan lidah api
Respon Pemadaman	Media pemadam dilepaskan secara otomatis untuk menekan dan memadamkan api pada area terdeteksi.

Waktu Respon	Seluruh proses aktivasi berlangsung dalam waktu ± 5 detik sejak api terdeteksi.
--------------	---

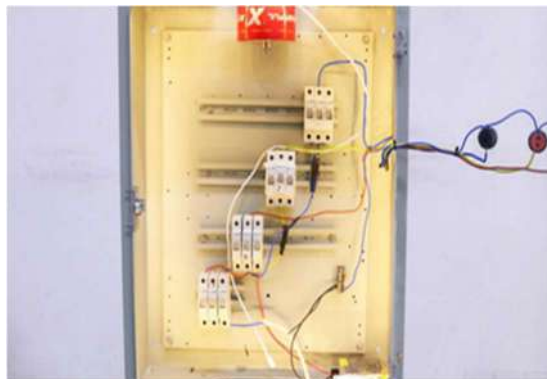
Tabel 15. Tahapan kerja dan Cara menggunakan Smart Fire Extinguisher

2.7. Gambaran Pemasangan dari *Smart Fire Extinguisher*

Berikut Adalah Gambaran Pemasangan dari Smart Fire Extinguisher yang menunjukkan konfigurasi instalasi Smart Fire Extinguisher yang terintegrasi dengan sistem deteksi lidah api pada area rawan kebakaran Sebagai berikut :



Gambar 9. Pemasangan awal dari *Smart Fire Extinguisher* pada Control panel



Gambar 10. Pemasangan awal dari Smart fire extiguisher pada control panel
Source : Sahabat Prima Sukses , Sumato - Smart Fire Extinguisher 2

2.8. Comparison Fire Expenditure Konvensional dan SFE (Smart Fire Expenditure)

No	Description	Konvensional	SFE
1	<i>Lifetime</i> (masa pakai)	1 years	3 years
2	Extinguishing Time (waktu Pemadaman)	30 Detik	5 Detik
3	Use (pemakaian)	Perlu Pelaithan dan Intervensi User	<i>Automatic</i>
4	<i>Weight</i> (Bobot)	Berat	Ringan
5	Korosi	bisa	tidak
6	<i>Maintenance</i>	<i>Annual Maintenace</i>	<i>Free Maintenace</i>
7	Isi Pemakaian	Refillable Yearly (Isi Ulang)	<i>Disposable</i> (sekali Pakai)

Pt. Sahabat Prima Sukses , Sumato - Smart Fire Extinguisher 2020

