

**KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN**



**PENGEMBANGAN *DRONE* UNTUK PENGUKURAN
ATMOSFER & *VISUAL INSPECTION* DI *ENCLOSED*
SPACE TANPA *HUMAN ENTRY***

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan
Untuk Penyelesaian Program Pendidikan Diploma IV**

Oleh :

ARYA DWIPA DAMAR JATI

NRP. 364210906

**PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV
JURUSAN NAUTIKA
JAKARTA
2026**

**KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN**

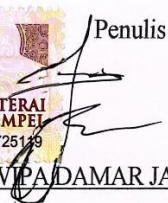


HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Arya Dwipa Damar Jati
NRP : 364210906
Program Pendidikan : Diploma IV
Jurusan : Nautika
Judul : Pengembangan *Drone* untuk Pengukuran Atmosfer & *Visual inspection* di *Enclosed space* Tanpa *Human entry*

Jakarta, 09 Maret 2026

Penulis

ARYA DWIPA DAMAR JATI

10000
METERAI TEMPEL
06823ANX298725135

**KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN**



TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama : Arya Dwipa Damar Jati
NRP : 364210906
Program Pendidikan : Diploma IV
Jurusan : Nautika
Judul : Pengembangan *Drone* untuk Pengukuran Atmosfer &
Visual inspection di *Enclosed space* Tanpa *Human entry*

Pembimbing Utama

Jakarta, 11 Maret 2026
Pembimbing Pendamping

Capt. Sajim Budi Setiawan, M.M.
Penata Tk. 1 (III/d)
NIP 19690616 199903 1 001

Derma Watty Sihombing, S.E., M.M
Penata (III/c)
NIP 19840316 201012 2 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Nautika

Dr. Meilinasari Nurhasanah H., S.Si.T., M.M.Tr.
Penata Tk. 1 (III/d)
NIP. 19810503 200212 2 001

**KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN**



TANDA PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Arya Dwipa Damar Jati
NRP : 364210906
Program Pendidikan : Diploma IV
Jurusan : Nautika
Judul : Pengembangan *Drone* untuk Pengukuran Atmosfer &
Visual inspection di *Enclosed space* Tanpa *Human entry*

Ketua Penguji

Capt. Irfan Faozun, M.M
Pembina (IV/a)
NIP. 19730908 200812 1 001

Anggota Penguji 2

Nazilul Hamidi, M. A. P
Penata Muda Tk. 1 (III/b)
NIP. 19790817 200604 1 003

Anggota Penguji 3

Capt. Sajim Budi Setiawan, M.M
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19690616 199903 1 001

Mengetahui:

Ketua Jurusan Nautika

Dr. Meilinasari N.H. S.SiT., M.MTr.
Penata Tk. 1 (III/d)
NIP. 198105032002122001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan karunia-Nya, penulisan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu oleh penulis sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan program pendidikan Diploma IV Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta. Dalam hal penulisan skripsi ini, penulis memilih judul:

“PENGEMBANGAN *DRONE* UNTUK PENGUKURAN ATMOSFER & *VISUAL INSPECTION* DI *ENCLOSED SPACE* TANPA *HUMAN ENTRY*”

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menjabarkan permasalahan yang terjadi di lapangan dengan mengkaitkannya dengan teori-teori yang relevan berdasarkan referensi ilmiah dan dokumentasi. Penulis menyadari bahwa masih terdapat beberapa kekurangan, hambatan baik dari segi penyajian materi serta dalam penggunaan bahasa. Namun berkat bantuan serta bimbingan dari dosen pembimbing maupun pihak lainnya, skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Pada penulisan skripsi penulis juga sangat berterima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu serta mendukung penulis dalam penulisan skripsi ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Yth. Bapak Dr. Capt. Tri Cahyadi, M.H., M. Mar, selaku Ketua Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran (STIP) Jakarta.
2. Yth. Ibu Dr. Meilinasari Nurhasanah Hutagaol., S. SiT., M.MTr. selaku Ketua Jurusan Nautika yang telah membantu dan memberikan ilmu terkait dunia pelayaran, dan memberi masukan kepada penulis.
3. Yth. Bapak Sajim Budi Setiawan., M.M selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan banyak pengarahan, masukan, apresiasi, serta motivasi selama penyusunan skripsi ini kepada penulis.
4. Yth. Ibu Derma Watty Sihombing., S.E., M.M selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan banyak pengarahan, masukan, apresiasi, serta motivasi selama penyusunan skripsi ini kepada penulis.
5. Kepada ayah tercinta Waris Suwardhi dan ibu tersayang Titin Hardianti, serta adik-adik yang saya kasihi Yudha, Aura, Duta, Dewa, Putra, Dinda, Dasa & Yoga terima kasih telah mendukung dengan memberikan doa dan semangat dalam penyelesaian skripsi ini.

6. Kepada Kekasih saya Putri Miranti, yang senantiasa memberikan doa, dukungan, semangat, serta motivasi kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini. Dukungan dan perhatian yang diberikan menjadi salah satu sumber kekuatan bagi penulis untuk terus berusaha hingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
7. Seluruh perwira dan *crew* kapal MT. HAFNIA BOBCAT, HAFNIA EXCEL & HAFNIA SEINE atas ilmu pengetahuan, kenangan indah dan pengalaman yang telah diberikan kepada saya selama melakukan praktik laut (PRALA).
8. Kepada *Chief officer* saya Oytun Tangül atas bimbingan dan pengetahuan yang telah diberikan kepada saya selama melakukan praktek laut dan membantu dalam pengerjaan skripsi ini.
9. Seluruh teman-teman angkatan 64 (LXIV), khususnya teman-teman kamar G-202, Tim Jateng dan teman-teman kelas Nautika VIII E yang tidak bisa disebutkan satu per satu.
10. Kepada keluarga dekor mulai dari senior saya angkatan 61 sampai adik-adik saya angkatan 67 terima kasih sudah memberikan ribuan memori dan ilmu yang tidak ada di tempat lain.
11. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung.
12. Skripsi ini saya persembahkan sebagai bentuk penghormatan dan terima kasih kepada rekan seangkatan yang telah berpulang Alm. Ahmad Rizky, sekaligus sebagai upaya menghadirkan langkah-langkah preventif agar kejadian serupa tidak terulang di masa depan.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca serta dapat memenuhi persyaratan program Diploma IV di Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta.

Jakarta, 09 Maret 2026



Arya Dwipa Damar Jati
364210906

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	i
TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI	ii
TANDA PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL.....	x
DAFTAR ISTILAH.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. IDENTIFIKASI MASALAH	4
C. BATASAN MASALAH	4
D. RUMUSAN MASALAH	4
E. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	5
F. SISTEMATIKA PENULISAN	6
BAB II LANDASAN TEORI.....	8
A. TINJAUAN PUSTAKA	8
B. PENELITIAN TERDAHULU	26
C. KERANGKA PEMIKIRAN.....	28
BAB III METODE PENELITIAN.....	31
A. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN	31
B. METODE PENDEKATAN	33
C. SUMBER DATA	34
D. TEKNIK PENGUMPULAN DATA	34
E. TEKNIK ANALISIS DATA.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
A. DESKRIPSI DATA	39
B. ANALISIS DATA	48
C. ALTERNATIF PEMECAHAN MASALAH.....	55
D. EVALUASI TERHADAP ALTERNATIF PEMECAHAN MASALAH	64
E. PEMECAHAN MASALAH	73

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	77
A. KESIMPULAN.....	77
B. SARAN.....	78
DAFTAR PUSTAKA.....	80
LAMPIRAN.....	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	<i>Enclosed Space Entry Permit Form</i>	2
Gambar 2. 1	<i>Pre-Entry Atmosphere Reading Form.</i>	12
Gambar 2. 2	<i>Personal Entering The Enclosed Space Form.</i>	13
Gambar 2. 3	<i>Portable Gas Meter Model GX 8700.</i>	16
Gambar 2. 4	<i>Gas Sampling Probe Model NC-1000.</i>	17
Gambar 2. 5	<i>Portable Gas Meter Model GX 8000.</i>	18
Gambar 2. 6	<i>Kondisi dalam ballast tank MT. Hafnia Bobcat.</i>	20
Gambar 2. 7	<i>Blueprint of Drone integrated with Gas Meter & Caged Protection</i>	21
Gambar 3. 1	<i>Kapal MT. Hafnia Bobcat</i>	33
Gambar 3. 2	<i>Fishbone analysis Diagram</i>	37
Gambar 4. 1	<i>Data kematian kecelakaan enclosed space tahun 2000-2024.</i>	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Batas aman kandungan gas dalam <i>enclosed space</i>	19
Tabel 2.2 : Ringkasan Studi Penting yang Telah Dilakukan	26
Tabel 4.1 : Tabel Kandungan Oksigen dan Efeknya di Ruang Tertutup.....	45
Tabel 4.2 : Sebab akibat <i>fishbone</i>	50
Tabel 4.3 : Sebab akibat <i>fishbone</i>	54

DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

IMO	<i>International Maritime Organization</i>
SMS	<i>Safety Management System</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
SOLAS	<i>Safety Of Life At Sea</i>
ISM	<i>International Safety Management</i>
LOTO	<i>Locked Out Tag Out</i>
LEL	<i>Lower Explosive Limit</i>
PPM	<i>Part Per Million</i>
TLV	<i>Thereshold Limit Value</i>
TWA	<i>Time Weighted Average</i>
ICAM	<i>Incident Cause Analysis Method</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
SOP	Standar Operasional Prosedur
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
APD	Alat Pelindung Diri
SLAM	<i>Simultaneous Localization and Mapping</i>
H₂S	Hidrogen Sulfida
NH₃	Amonia
CO	Karbon Monoksida
O₂	Oksigen
CH₃SH	Methyl Mercaptan

DAFTAR ISTILAH

<i>Drone</i>	Pesawat tanpa awak yang dapat terbang di udara tanpa pilot di dalamnya. <i>Drone</i> dikendalikan dari jarak jauh menggunakan <i>remote control</i> atau bisa juga terbang secara otomatis menggunakan sistem komputer dan sensor.
<i>Enclosed Space</i>	Ruang tertutup atau ruang dengan ventilasi terbatas yang tidak dirancang untuk ditempati manusia secara terus-menerus, tetapi terkadang perlu dimasuki oleh pekerja untuk melakukan inspeksi, perawatan, atau pekerjaan tertentu.
<i>Visual Inspection</i>	Metode pemeriksaan atau inspeksi yang dilakukan dengan cara melihat secara langsung kondisi suatu objek menggunakan mata manusia, biasanya untuk menemukan kerusakan, kebocoran, korosi, retakan, atau kondisi tidak normal lainnya.
<i>Intrinsically Safe</i>	Konsep keselamatan pada peralatan listrik yang dirancang agar tidak dapat menghasilkan percikan listrik atau panas yang cukup untuk menyalakan gas, uap, atau debu yang mudah terbakar.
<i>Asphyxia</i>	Kondisi ketika tubuh kekurangan oksigen sehingga jaringan dan organ tidak dapat berfungsi dengan normal. Kondisi ini bisa menyebabkan pingsan, kerusakan organ, bahkan kematian jika tidak segera ditangani.
Prosedur	Serangkaian langkah atau tahapan kerja yang harus dilakukan secara sistematis untuk mencapai tujuan tertentu atau menyelesaikan suatu pekerjaan dengan benar dan aman.
SMS	Sistem manajemen keselamatan yang terdokumentasi dan terstruktur yang diwajibkan oleh Perusahaan untuk memastikan operasional kapal yang aman dan untuk

	melindungi lingkungan. Semua prosedur, <i>checklist</i> , dan pelatihan mengacu pada SMS.
<i>Atmospheric Measurement</i>	Proses pengukuran kondisi atau komposisi udara di suatu tempat untuk mengetahui kandungan gas, kadar oksigen, serta potensi di udara tersebut. Pengukuran ini sangat penting terutama di ruang tertutup atau area berbahaya, seperti <i>enclosed space</i> di kapal.
<i>Permit to Work</i>	Sistem izin kerja tertulis yang digunakan untuk memastikan suatu pekerjaan berisiko dilakukan dengan aman, terkendali, dan sesuai prosedur keselamatan. <i>Permit</i> ini harus dikeluarkan dan disetujui oleh pihak yang berwenang sebelum pekerjaan dimulai.
Konvensional	Sesuatu yang dilakukan dengan cara tradisional atau metode yang sudah lama digunakan dan umum dipakai oleh banyak orang. Istilah ini biasanya digunakan untuk membedakan cara lama dengan cara yang lebih modern atau menggunakan teknologi baru.
<i>Fishbone Diagram</i>	Sebuah instrumen analisis yang berfungsi untuk mengenali, mengklasifikasikan, dan memvisualisasikan semua kemungkinan penyebab dari masalah kerusakan pada alat-alat keselamatan yang dikelompokkan ke dalam kategori <i>Man, Method, Machine</i> , dan <i>Enviroment</i> .
Pengembangan	Proses meningkatkan, memperbaiki, atau menyempurnakan suatu produk, sistem, metode, atau kemampuan agar menjadi lebih baik, lebih efektif, atau lebih bermanfaat.
<i>Pilot Project</i>	Proyek percobaan atau proyek percontohan yang dilakukan dalam skala kecil untuk menguji apakah suatu ide, sistem, atau teknologi dapat berjalan dengan baik sebelum diterapkan secara luas.
<i>Safety Culture</i>	Budaya kerja dalam suatu organisasi yang menempatkan keselamatan sebagai nilai utama sehingga setiap orang

berperilaku dan bekerja dengan mengutamakan keselamatan

Operator

Orang yang bertugas mengoperasikan, mengendalikan, atau menjalankan suatu alat, mesin, atau sistem agar dapat berfungsi dengan baik.

LiDAR

Singkatan dari “*light detection and ranging*”/deteksi cahaya dan jangkauan,” adalah teknologi penginderaan jauh yang menggunakan sinar laser untuk mengukur jarak dan pergerakan yang tepat di suatu lingkungan, secara real time. Data LiDAR dapat digunakan untuk menghasilkan segala sesuatu, mulai dari peta topografi yang mendetail hingga model 3D yang dinamis dan tepat yang diperlukan untuk memandu kendaraan otonom dengan aman melalui lingkungan yang berubah dengan cepat dan terus-menerus.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengajuan Judul.....	82
Lampiran 2 Pengajuan Sinopsis.....	83
Lampiran 3 Lembar Bimbingan.....	83
Lampiran 4 Pengecekan Turnitin	84
Lampiran 5 Wawancara.....	88
Lampiran 6 <i>Ships's Particular</i>	91
Lampiran 7 <i>Crewlist</i>	92
Lampiran 8 <i>Blue Print Drone</i>	93

ABSTRAK

Damar Jati, Arya Dwipa. 2026. “*Pengembangan Drone untuk Pengukuran Atmosfer & Visual inspection di Enclosed space Tanpa Human entry*”.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan *teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* atau *drone* sebagai alternatif metode inspeksi dan pengukuran atmosfer pada *enclosed space* di kapal tanpa melakukan *human entry* guna meningkatkan keselamatan kerja awak kapal. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi kasus yang dilakukan selama praktik laut di atas kapal MT. Hafnia Bobcat melalui teknik observasi, wawancara, dan studi pustaka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kegiatan *enclosed space entry* masih memiliki tingkat risiko kecelakaan yang tinggi akibat potensi atmosfer berbahaya seperti kekurangan oksigen, gas beracun, dan gas mudah terbakar, serta keterbatasan metode inspeksi konvensional yang mengharuskan awak kapal memasuki ruang tertutup. Berdasarkan analisis menggunakan *Fishbone Diagram*, ditemukan beberapa faktor utama yang menghambat penerapan teknologi *drone*, yaitu kurangnya kompetensi awak kapal dalam pengoperasian *drone*, belum adanya standar operasional prosedur yang baku terkait penggunaan UAV dalam *enclosed space*, keterbatasan teknis *drone* seperti stabilitas terbang dan daya tahan baterai, serta kondisi lingkungan ruang tertutup yang memiliki pencahayaan minim, tingkat kelembaban tinggi, dan struktur ruang yang kompleks. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan pelatihan operator *drone* bagi awak kapal, penyusunan standar operasional prosedur yang terintegrasi dalam *Safety Management System (SMS)*, serta pengembangan teknologi *drone* yang lebih adaptif terhadap lingkungan *enclosed space*. Implementasi teknologi ini diharapkan mampu meminimalkan risiko kecelakaan kerja, meningkatkan efisiensi inspeksi, serta mendukung penerapan keselamatan kerja di atas kapal secara lebih optimal.

Keyword: *Drone, Ruangan tertutup, Pengukuran atmosfer, Inspeksi Visual, Keselamatan kapal, Pengembangan Teknologi*

ABSTRACT

Damar Jati, Arya Dwipa. 2026. *“Development of a Drone System for Atmospheric Measurement and Visual Inspection in Ship Enclosed Spaces Without Human Entry”*.

This research aims to analyze the potential utilization of unmanned aerial vehicles (UAVs) or drones in conducting atmospheric measurement and visual inspection in enclosed spaces on board ships without human entry, as well as to identify the technical and operational challenges in their implementation. This study employs a descriptive qualitative method with a case study approach based on observation, interviews, and literature review conducted during sea practice on board MT. Hafnia Bobcat. The results show that enclosed space entry activities still pose a high risk of accidents due to the presence of hazardous atmospheric conditions such as oxygen deficiency, toxic gases, and flammable gases. In addition, conventional inspection methods still require crew members to enter confined spaces, which increases exposure to hazards and the possibility of human error. Analysis using a Fishbone Diagram indicates that the limited implementation of drone technology is influenced by several factors, including the lack of crew competence in operating drones, the absence of standardized operational procedures for UAV use in enclosed spaces, technical limitations of drones such as flight stability and battery endurance, and environmental conditions inside enclosed spaces such as poor lighting and complex structural layouts. Therefore, improvements are needed in drone operator training, the development of standardized operational procedures integrated into the Safety Management System (SMS), technological enhancement of drones to better adapt to enclosed environments, and gradual evaluation of this technology to improve occupational safety and reduce the risk of accidents during enclosed space entry activities on board ships.

Keyword: *Drone, Enclosed Space, Atmospheric measurement, Visual inspection, Ship safety, Technology Development*

BAB I

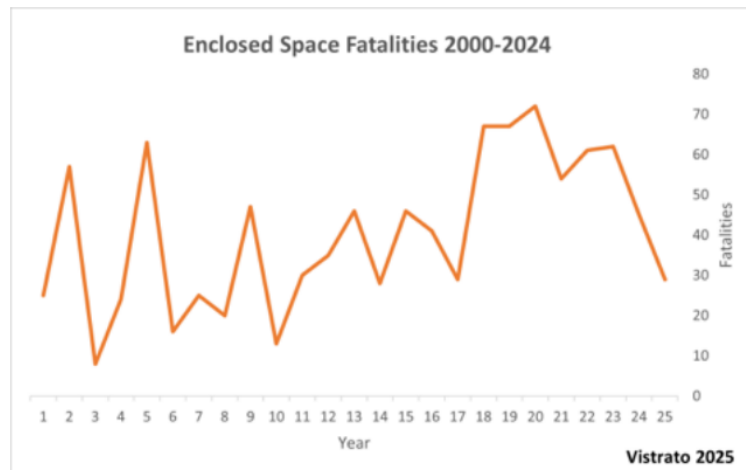
PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Keselamatan kerja merupakan elemen krusial dalam operasional kapal, khususnya pada aktivitas berisiko tinggi seperti pekerjaan di ruang tertutup (*enclosed space*), antara lain *ballast tank*, *cargo tank*, *cofferdam*, *chain locker*, dan *void space*. Ruang-ruang tersebut memiliki karakteristik yang berbahaya, seperti keterbatasan ventilasi, akses masuk yang sempit, pencahayaan yang minim, serta potensi terbentuknya atmosfer berbahaya. Kondisi tersebut dapat meliputi kekurangan oksigen (*oxygen deficiency*), keberadaan gas beracun seperti hidrogen sulfida (H_2S) dan karbon monoksida (CO), uap mudah terbakar, hingga risiko kerusakan struktural internal yang tidak terdeteksi dari luar. Kombinasi faktor-faktor ini menjadikan *enclosed space* sebagai salah satu area dengan tingkat risiko kecelakaan tertinggi di atas kapal.

Dalam praktiknya, berbagai insiden fatal masih sering terjadi akibat kelalaian dalam penerapan prosedur keselamatan, keterbatasan dalam deteksi dini risiko, serta dominasi faktor *human error*. Proses inspeksi konvensional yang masih mengandalkan kehadiran langsung awak kapal di dalam ruang tertutup turut memperbesar potensi paparan bahaya, terutama ketika kondisi internal belum sepenuhnya terverifikasi aman.

Sebagai langkah mitigasi, *International Maritime Organization* (IMO) melalui regulasi IMO Resolution A.1050(27) telah menetapkan pedoman ketat terkait prosedur *enclosed space entry*. Pedoman tersebut mencakup kewajiban pengujian atmosfer, penerapan *permit to work*, pengawasan berlapis, serta kesiapan peralatan penyelamatan. Meskipun demikian, implementasi di lapangan menunjukkan bahwa keberadaan prosedur saja belum sepenuhnya mampu mengeliminasi risiko. Hal ini disebabkan oleh masih adanya keterbatasan dalam metode inspeksi awal yang aman, serta kecenderungan terjadinya penyimpangan prosedur akibat tekanan operasional maupun faktor perilaku manusia.



Gambar 1. 1

Data kematian kecelakaan *enclosed space* tahun 2000-2024

(Sumber: Safety4sea InterManager 2025)

Berdasarkan catatan kecelakaan pada ruang tertutup (*enclosed space*) di kapal yang berada dalam cakupan SOLAS *Convention*, jumlah korban meninggal dari kalangan pelaut maupun pekerja darat mencapai sekitar 1.010 orang sepanjang periode 2000 hingga 2024. Jika dirata-ratakan, angka tersebut setara dengan sekitar 40 kematian setiap tahun selama 25 tahun terakhir. Puncak insiden fatal tercatat pada tahun 2019, dengan jumlah korban jiwa mencapai 72 orang, yang menunjukkan bahwa risiko pada ruang tertutup masih sangat signifikan dan belum sepenuhnya terkendali.

Selain didasarkan pada urgensi teknis, penelitian ini juga dilatarbelakangi oleh pengalaman personal penulis yang memperkuat relevansi permasalahan yang diangkat. Penulis pernah kehilangan salah satu rekan seangkatan dalam insiden fatal saat melaksanakan pekerjaan di ruang tertutup. Berdasarkan evaluasi yang berkembang, kejadian tersebut berkaitan dengan ketidakpatuhan terhadap prosedur keselamatan serta adanya praktik pengambilan jalan pintas (*unsafe act*), yang berujung pada kegagalan dalam mengidentifikasi dan mengendalikan risiko secara memadai. Peristiwa ini menunjukkan bahwa aspek perilaku dan disiplin terhadap prosedur memiliki peran yang sangat signifikan dalam keselamatan kerja.

Di samping itu, penulis juga memiliki pengalaman langsung ketika berada di dalam tangki kapal, di mana kondisi struktural internal yang tidak sepenuhnya terlihat dari luar menimbulkan potensi bahaya tambahan. Pada saat proses keluar dari tangki, salah

satu anak tangga yang mengalami korosi tidak mampu menopang dengan baik, sehingga menyebabkan kondisi hampir terjatuh dari ketinggian. Kejadian tersebut menegaskan bahwa risiko dalam *enclosed space* tidak hanya terbatas pada aspek atmosfer berbahaya, tetapi juga mencakup integritas struktural yang dapat membahayakan keselamatan pekerja secara langsung.

Seiring dengan perkembangan teknologi maritim, muncul alternatif solusi berbasis inovasi, salah satunya melalui pemanfaatan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) atau drone. Teknologi ini memungkinkan pelaksanaan inspeksi awal tanpa kehadiran langsung manusia di dalam ruang tertutup. *Drone* modern mampu menyediakan visual secara *real-time*, menjangkau area sempit, serta dilengkapi sensor untuk mengukur parameter atmosfer seperti kadar oksigen (O₂), karbon monoksida (CO), dan hidrogen sulfida (H₂S). Selain itu, kemampuan navigasi tanpa GPS dengan dukungan sensor visual, *depth camera*, dan sistem *collision avoidance* menjadikan UAV sebagai solusi yang potensial untuk digunakan dalam lingkungan terbatas seperti *ballast tank*.

Meskipun demikian, penerapan UAV dalam inspeksi *enclosed space* masih memerlukan kajian lebih lanjut terkait aspek teknis maupun operasional, seperti stabilitas penerbangan di ruang sempit, akurasi dan keandalan sensor, ketahanan baterai, kualitas data visual yang dihasilkan, serta kemampuan sistem dalam mendukung pengambilan keputusan yang tepat. Evaluasi komprehensif diperlukan untuk memastikan bahwa teknologi ini tidak hanya inovatif, tetapi juga efektif dan dapat diimplementasikan secara nyata di lingkungan operasional kapal.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi pengurangan risiko pada aktivitas masuk ruang tertutup, khususnya *ballast tank*, melalui pemanfaatan teknologi UAV sebagai metode inspeksi awal tanpa *human entry*. Pengembangan sistem ini diharapkan dapat mendukung proses penerbitan izin masuk (*entry permit*) yang lebih aman dan efisien, serta secara signifikan mengurangi paparan risiko terhadap awak kapal.

Dengan demikian, penelitian ini mengangkat judul: “Pengembangan *Drone* untuk Pengukuran Atmosfer dan *Visual Inspection* di *Enclosed Space* Tanpa *Human Entry*” sebagai upaya inovatif dalam meningkatkan keselamatan kerja di sektor maritim.

B. IDENTIFIKASI MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan diatas maka penulis mengambil kesimpulan terkait identifikasi masalah berikut :

1. Aktivitas *enclosed space entry* masih memiliki tingkat risiko kecelakaan yang tinggi, khususnya kecenderungan awak kapal untuk melakukan *shortcut* atau *unsafe act* yang tidak sesuai dengan prosedur keselamatan.
2. Kondisi internal tangki yang berbahaya dan tidak terdeteksi sejak awal, seperti struktur korosif yang meningkatkan risiko *slip, trip, and fall* saat inspeksi manual.
3. Pemanfaatan teknologi *drone* (UAV) untuk pengukuran atmosfer dan *visual inspection* di *enclosed space* kapal belum diterapkan secara optimal.

C. BATASAN MASALAH

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka penulis membatasi ruang lingkup penelitian sebagai berikut:

1. Aktivitas *enclosed space entry* masih memiliki tingkat risiko kecelakaan yang tinggi, khususnya kecenderungan awak kapal untuk melakukan *shortcut* atau *unsafe act* yang tidak sesuai dengan prosedur keselamatan.
2. Pemanfaatan teknologi *drone* (UAV) untuk pengukuran atmosfer dan *visual inspection* di *enclosed space* kapal belum diterapkan secara optimal.

D. RUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana potensi penggunaan *drone* (UAV) sebagai inspeksi awal dalam mengurangi risiko kecelakaan yang tinggi pada aktivitas *enclosed space entry* berdasarkan analisis prosedur, pengalaman awak kapal, dan ketentuan keselamatan yang berlaku?
2. Apa saja kendala teknis dan operasional penggunaan *drone* (UAV) dalam melakukan pengukuran atmosfer dan *visual inspection* di *enclosed space* kapal?

E. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

1. Tujuan Penelitian

- a. Menilai peran dan efektivitas pemanfaatan *drone* (UAV) dalam mendukung peningkatan keselamatan kerja serta pengambilan keputusan sebelum pelaksanaan *enclosed space* diatas kapal.
- b. Menganalisis kendala teknis dan operasional penggunaan *drone* (UAV) dalam melakukan pengukuran atmosfer dan *visual inspection* pada *enclosed space* kapal.

2. Manfaat Penelitian

a. Manfaat Teoretis

- 1) Memberi kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang keselamatan pelayaran, khususnya terkait penerapan teknologi *drone* (UAV) sebagai alternatif inspeksi awal *enclosed space* dalam rangka pengurangan risiko kerja dikapal.
- 2) Menjadi bahan kajian dan referensi untuk studi berkaitan dengan inovasi teknologi keselamatan maritim, khususnya penggunaan UAV pada inspeksi ruang tertutup di kapal.

b. Manfaat Praktis

- 1) Memberikan gambaran dan pemahaman mengenai pemanfaatan *drone* (UAV) sebagai alat bantuinspeksi *enclosed space* yang lebih aman, sehingga dapat mengurangi paparan langsung awak kapal terhadap potensi bahaya atmosfer dan kondisi lingkungan yang berisiko.
- 2) Menjadi bahan pertimbangan dalam penerapan teknologi UAV sebagai bagian dari *safety management system* (SMS) Khususnya pada prosedur *enclosed space entry* untuk meningkatkan keselamatan kerja, efisiensi operasional, serta pencegahan kecelakaan kerja diatas kapal.

F. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika dalam penulisan ini adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas latar belakang mengenai tingginya risiko keselamatan kerja pada aktivitas *enclosed space entry*, serta keterbatasan metode inspeksi konvensional yang masih mengharuskan masuknya awak kapal ke ruang tertutup. Selain itu, bab ini menguraikan identifikasi masalah, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian yang berkaitan dengan pemanfaatan teknologi *drone* (UAV) sebagai alternatif inspeksi awal tanpa *human entry*. Pada akhir bab ini disajikan pula sistematika penulisan skripsi.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini menguraikan teori-teori, konsep, dan istilah yang berkaitan dengan keselamatan kerja di atas kapal, *enclosed space entry*, ketentuan IMO *resolution A.1050(27)*, *ISM Code*, serta prinsip budaya keselamatan. Selain itu, dibahas pula konsep dasar teknologi *drone* (UAV), pengukuran atmosfer, dan visual inspection di ruang terbatas. Kerangka pemikiran penelitian yang digunakan penulis juga dijelaskan dalam bab ini,

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai waktu dan tempat melakukan penelitian, yang dilakukan oleh penulis selama melakukan praktik laut dimulai dari 4 Desember 2023 sampai dengan tanggal 30 April 2025 di tiga kapal yang berbeda yaitu MT. Hafnia Seine, MT. Hafnia Excel, dan MT. Hafnia Bobcat. Serta membahas pendekatan dan metode penelitian yang digunakan, teknik pengumpulan data (observasi, wawancara, dan studi pustaka), subjek penelitian, serta teknik analisis data dalam mengkaji pemanfaatan *drone* (UAV) sebagai inspeksi awal *enclosed space* diatas kapal.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan gambaran kondisi pelaksanaan inspeksi dan prosedur *enclosed space entry* di atas kapal, selanjutnya dilakukan analisis terhadap potensi pemanfaatan *drone* (UAV) berdasarkan data hasil observasi, wawancara, dan ketentuan keselamatan yang berlaku. Pembahasan difokuskan pada kendala teknis dan operasional, serta potensi pengurangan risiko keselamatan awak kapal melalui penggunaan UAV sebagai inspeksi awal tanpa *human entry*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis dan pembahasan mengenai pemanfaatan *drone* (UAV) dalam mendukung keselamatan kerja pada aktivitas *enclosed space entry*. Selain itu, disajikan pula saran-saran yang diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi awak kapal, perusahaan pelayaran, serta penelitian selanjutnya dalam upaya peningkatan keselamatan kerja di lingkungan maritim.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. TINJAUAN PUSTAKA

Enclosed space entry merupakan salah satu aktivitas kerja dengan tingkat risiko tertinggi di atas kapal. *Enclosed space* atau ruang tertutup didefinisikan sebagai ruang yang memiliki akses masuk dan keluar terbatas, ventilasi alami yang tidak memadai, serta tidak dirancang untuk ditempati secara terus-menerus oleh manusia. Ruang-ruang tersebut antara lain *ballast tank*, *cargo tank*, *fuel oil tank*, *cofferdam*, *void space*, *chain locker*, dan *double bottom tank*. Aktivitas memasuki ruang tertutup ini berpotensi menimbulkan kecelakaan serius hingga kematian apabila tidak dilaksanakan sesuai dengan prosedur keselamatan yang berlaku.

Bahaya utama dalam kegiatan *enclosed space entry* meliputi kekurangan oksigen (*oxygen deficiency*), keberadaan gas beracun seperti hidrogen sulfida (H₂S) dan karbon monoksida (CO), serta gas mudah terbakar yang dapat memicu ledakan. Selain bahaya atmosfer, risiko lain yang dapat terjadi adalah terjatuh, terperangkap, terpeleset, serta kesulitan evakuasi akibat keterbatasan ruang dan akses. Banyak kecelakaan di ruang tertutup terjadi bukan karena kurangnya peralatan, melainkan akibat kelalaian prosedur, pengawasan yang lemah, serta kurangnya kesadaran awak kapal terhadap potensi bahaya.

International Maritime Organization (IMO) melalui *Resolution A.1050(27)* tentang *Revised Recommendations for Entering Enclosed spaces Aboard Ships* menegaskan bahwa setiap kegiatan memasuki ruang tertutup harus didahului dengan perencanaan yang matang dan penilaian risiko yang komprehensif. Ketentuan ini mewajibkan dilaksanakannya pengujian atmosfer sebelum dan selama pekerjaan berlangsung, penyediaan ventilasi yang memadai, penggunaan alat pelindung diri, serta penempatan petugas jaga di luar ruang tertutup untuk memantau kondisi pekerja di dalam ruang tersebut.

Selain itu, penerapan *International Safety Management (ISM) Code* melalui *Safety Management System (SMS)* kapal menjadi landasan penting dalam pengendalian risiko *enclosed space entry*. *ISM Code* mengharuskan perusahaan pelayaran dan awak kapal untuk memiliki prosedur tertulis, sistem izin kerja (*permit to work*), serta pelatihan rutin yang berkaitan dengan pekerjaan berisiko tinggi. Penerapan SMS yang efektif bertujuan untuk memastikan setiap pekerjaan di ruang tertutup dilakukan secara aman, terkontrol, dan terdokumentasi.

Dalam konteks pengendalian risiko, pengukuran atmosfer merupakan tahapan krusial yang tidak dapat diabaikan. Pengukuran ini dilakukan menggunakan alat pendeteksi gas portabel untuk memastikan kadar oksigen berada dalam batas aman serta tidak terdapat gas beracun atau mudah terbakar. Pengukuran atmosfer harus dilakukan sebelum masuk, secara berkala selama pekerjaan berlangsung, dan setelah pekerjaan selesai untuk menjamin kondisi tetap aman.

Perkembangan teknologi turut memberikan kontribusi dalam meningkatkan keselamatan *enclosed space entry*, salah satunya melalui pemanfaatan *drone* atau *Unmanned Aerial Vehicle*. *Drone* yang dilengkapi kamera dan sensor memungkinkan dilakukannya inspeksi visual awal terhadap kondisi ruang tertutup tanpa harus memasukkan awak kapal secara langsung. Penggunaan *drone* dapat mengurangi paparan risiko, meningkatkan efektivitas pengamatan, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih aman sebelum pelaksanaan pekerjaan di ruang tertutup.

Dengan demikian, *enclosed space entry* menjadi aktivitas kerja berisiko tinggi yang memerlukan pendekatan keselamatan terpadu. Pendekatan tersebut meliputi kepatuhan terhadap regulasi internasional, penerapan sistem manajemen keselamatan, pengendalian atmosfer ruang tertutup, serta pemanfaatan teknologi pendukung. Seluruh aspek ini menjadi dasar teoritis dalam penelitian ini untuk menganalisis upaya peningkatan keselamatan kerja pada kegiatan *enclosed space entry* di atas kapal.

Secara normatif, *International Maritime Organization (IMO)* melalui *Resolution A.1050(27)* menegaskan bahwa sebagian besar kecelakaan fatal di ruang tertutup terjadi akibat kegagalan dalam mengenali bahaya atmosfer dan lemahnya penerapan prosedur keselamatan. Oleh karena itu, IMO menekankan bahwa setiap kegiatan *enclosed space entry* harus dilaksanakan berdasarkan perencanaan, penilaian risiko, dan pengawasan yang memadai. Prinsip ini sejalan dengan ketentuan dalam SOLAS

Convention yang menempatkan keselamatan jiwa sebagai prioritas utama dalam seluruh kegiatan operasional kapal.

Selain itu, *International Safety Management (ISM) Code* mewajibkan perusahaan pelayaran untuk membangun dan menerapkan *Safety Management System (SMS)* yang efektif guna mengidentifikasi risiko, menetapkan prosedur kerja aman, serta memastikan awak kapal memiliki kompetensi yang memadai. Dalam konteks *enclosed space entry*, SMS berfungsi sebagai pedoman operasional yang mengatur penggunaan *permit to work*, pelaksanaan pengukuran atmosfer, kesiapan peralatan keselamatan, serta tanggung jawab setiap personel yang terlibat. Dengan demikian, penerapan IMO *Resolution A.1050(27)*, SOLAS *Convention*, dan *ISM Code* saling melengkapi sebagai landasan teoritis dan normatif dalam pengendalian risiko pekerjaan di ruang tertutup di atas kapal.

1. Sistem Perizinan *Entry* pada *Enclosed space*

a. Pengertian *Enclosed space entry permit*

Enclosed space entry permit merupakan dokumen resmi yang digunakan sebagai dasar pemberian izin kepada awak kapal untuk memasuki ruang tertutup setelah seluruh persyaratan keselamatan dinyatakan terpenuhi. *Permit* ini berfungsi sebagai alat pengendalian administratif yang memastikan bahwa aktivitas masuk ke ruang tertutup hanya dilakukan oleh personel yang berwenang, dalam kondisi ruang yang telah dinilai aman, serta berada di bawah pengawasan yang memadai. Dalam konteks keselamatan kerja maritim, *permit entry* tidak hanya berperan sebagai dokumen formal, tetapi juga sebagai mekanisme pengendalian risiko yang terintegrasi dengan sistem manajemen keselamatan kapal.

International Maritime Organization (IMO) menegaskan bahwa *permit entry* harus diterbitkan sebelum setiap aktivitas masuk ke ruang tertutup dan hanya berlaku untuk jangka waktu tertentu. Apabila terjadi perubahan kondisi ruang, seperti gangguan ventilasi, perubahan atmosfer, atau potensi bahaya baru, *permit* tersebut wajib dibatalkan dan diterbitkan kembali setelah dilakukan evaluasi ulang (IMO, 2015). Ketentuan ini menegaskan bahwa *permit entry* bersifat dinamis dan harus selalu menyesuaikan dengan kondisi aktual di lapangan.

Secara fungsional, *enclosed space entry permit* memiliki peran strategis sebagai titik kontrol utama sebelum pekerjaan berisiko tinggi dimulai. Fungsi pertama *permit* adalah sebagai sarana verifikasi keselamatan, yaitu memastikan bahwa pengujian atmosfer telah dilakukan secara menyeluruh dan hasilnya berada dalam batas aman. Fungsi kedua adalah sebagai alat pengendalian akses, dengan membatasi personel yang diperkenankan memasuki ruang tertutup hanya kepada individu yang kompeten dan tercantum dalam *permit*. Selain itu, *permit entry* berfungsi sebagai media komunikasi risiko, di mana seluruh bahaya potensial, langkah pengendalian, serta prosedur darurat diinformasikan secara jelas kepada personel yang terlibat. Fungsi lainnya adalah sebagai bentuk akuntabilitas, yang ditunjukkan melalui penandatanganan oleh perwira yang bertanggung jawab, sehingga tanggung jawab keselamatan dapat ditelusuri secara jelas.

Dengan berbagai fungsi tersebut, *permit entry* menjadi instrumen penting dalam mencegah terjadinya kecelakaan kerja, khususnya kecelakaan fatal yang sering kali melibatkan lebih dari satu korban jiwa akibat masuknya personel ke dalam *enclosed space* tanpa pengendalian yang memadai.

b. Fungsi Strategis *Enclosed space Entry Permit*

Perizinan *entry* memiliki beberapa fungsi utama, antara lain:

- 1) Verifikasi Keselamatan, yaitu memastikan bahwa pengujian atmosfer telah dilakukan dan hasilnya berada dalam batas aman.
- 2) Pengendalian Akses, dengan membatasi personel yang boleh memasuki ruang tertutup.
- 3) Media Komunikasi Risiko, yang memberikan informasi bahaya kepada seluruh personel yang terlibat.
- 4) Akuntabilitas, melalui penandatanganan oleh perwira yang bertanggung jawab.

Dengan fungsi tersebut, *permit entry* menjadi titik kontrol utama sebelum pekerjaan berisiko dimulai.

Section Details									
Section No. 3 Instruction Content	PRE-ENTRY ATMOSPHERE TEST READINGS								
	"Toxic Gases - Refer to MSDS of previous contents)."								
	SNO.	Type Of Gas	Lower Limit	Upper Limit / OEL	Date	Time	Reading Values 1	Signature 1	Reading Values 2
1	LEL	0	10%						
2	O ₂	20.8%	21%						
3	H ₂ S	0	5 ppm						
4	CO	0	25 ppm						
	Other Toxic gases (Add / Delete below)								
5	Benzene(C ₆ H ₆)	0	1 ppm						
6	Sulphur Dioxide	0	2 ppm						
7	Nitrogen Dioxide (NO ₂)	0	3 ppm						
8	Chlorine	0	0.5 ppm						
9	Ozone	0	0.1 ppm						
10									
11									
12									
Name of Person Carrying out Gas Checks (SMT member)						Gas meter serial no.			
RANK									
Name of Person Verifying Gas Checks (SMT Member)						Gas meter serial no.			
RANK									

Gambar 2. 1

Pre-Entry Atmosphere Reading Form.

(Sumber : Data permit di atas Mt. Hafnia Bobcat)

Section Details						
1	Identity of the Enclosed Space					
2	This Permit is Valid	From:	To:			
3	Person in Charge for Entry	Rank:	Name:			
Section No 5	PERSONNEL ENTERING SPACE					
Entry Precautions	1. Additional, solidified cargo squeezing, work aloft, HW permit as applicable etc. must be completed. 2. Initial Entry persons must don EEBD and carry personal gas meter 3. Ensure Gas readings are within limits and recorded in Section 7. 4. Pre-entry preparations are made as per checklist. Rescue equipment ready close to the entrance. 5. Permission obtained from person in charge of enclosed space entry and description of work is agreed. 6. Communication set available with persons entering and communication system tested. 7. Confirm tank ventilation is running. 8. Reporting interval agreed. 9. Evacuation procedure understood.					
	SNO.	Person Name	Date	In Time	Out Time	Signature
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
8						
9						
10						

Gambar 2. 2

Personal Entering The Enclosed Space Form.

(Sumber : Data permit di atas Mt. Hafnia Bobcat)

2. Perspektif *Enclosed Space Entry Permit*

a. *ISM Code*

International Safety Management (ISM Code) mewajibkan perusahaan pelayaran untuk menetapkan prosedur kerja aman bagi seluruh aktivitas operasional kapal, terutama pekerjaan yang memiliki tingkat risiko tinggi. Ketentuan ini tercantum dalam *ISM Code* Bagian 7 yang menekankan pentingnya pengendalian risiko melalui prosedur tertulis yang terdokumentasi dan diterapkan secara konsisten. Dalam kerangka ini, *enclosed space entry permit* merupakan salah satu bentuk implementasi nyata dari prinsip *ISM Code* dalam praktik operasional di atas kapal.

Permit entry memastikan bahwa risiko telah diidentifikasi melalui *risk assessment*, tanggung jawab telah ditetapkan secara jelas, serta pengawasan dilakukan secara sistematis sebelum, selama, dan setelah *entry* berlangsung. IMO menegaskan bahwa kegagalan dalam menerapkan *permit entry* secara benar mencerminkan lemahnya penerapan prinsip dasar *ISM Code*, khususnya dalam hal pengendalian risiko dan perlindungan keselamatan awak kapal (IMO, 2018).

b. Keterkaitan dengan SOLAS

Konvensi Internasional untuk Keselamatan Jiwa di Laut (*International Convention for the Safety of Life at Sea/SOLAS*) memberikan landasan hukum bagi penerapan sistem manajemen keselamatan di atas kapal melalui ketentuan dalam Bab IX yang mewajibkan penerapan *ISM Code*. Meskipun SOLAS tidak secara spesifik mengatur format *enclosed space entry permit*, ketentuan tersebut secara tidak langsung mewajibkan adanya sistem pengendalian risiko yang efektif untuk pekerjaan berbahaya, termasuk pekerjaan di dalam *enclosed space*.

Selain itu, SOLAS menekankan pentingnya kesiapsiagaan darurat dan perlindungan jiwa manusia di laut. Penerapan *permit entry* yang efektif mendukung tujuan tersebut dengan memastikan bahwa prosedur darurat, peralatan keselamatan, serta rencana penyelamatan telah disiapkan sebelum pekerjaan dimulai (SOLAS, 1974).

3. Permasalahan dalam Implementasi *Permit Entry*

Meskipun sistem perizinan *entry* telah ditetapkan secara jelas dalam berbagai pedoman keselamatan internasional, kecelakaan di *enclosed space* masih sering terjadi. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara ketentuan prosedural dan praktik di lapangan. Beberapa permasalahan utama dalam implementasi *permit entry* antara lain penerbitan *permit* tanpa pengujian atmosfer yang memadai, pengisian *permit* yang bersifat formalitas administratif, kurangnya pengawasan selama *entry* berlangsung, serta tekanan waktu operasional yang mendorong percepatan pekerjaan tanpa mempertimbangkan aspek keselamatan secara menyeluruh.

IMO menekankan bahwa kelemahan utama dalam kecelakaan *enclosed space* bukan terletak pada sistem *permit* itu sendiri, melainkan pada faktor manusia dan budaya keselamatan di atas kapal (IMO, 2017). Kurangnya kepatuhan terhadap prosedur, rendahnya kesadaran risiko, serta lemahnya komitmen manajemen kapal menjadi faktor dominan yang mengurangi efektivitas *enclosed space entry permit* sebagai alat pengendalian risiko.

4. Pengukuran Atmosfer

Berdasarkan karakteristiknya, *enclosed space* di kapal memiliki potensi bahaya yang tinggi terhadap keselamatan dan kesehatan awak kapal, terutama yang berkaitan dengan kualitas atmosfer di dalam ruang tertutup. Keterbatasan ventilasi, proses kimia seperti korosi dan oksidasi, aktivitas biologis mikroorganisme, serta sisa muatan atau uap bahan kimia dapat menyebabkan perubahan komposisi udara secara cepat dan tidak terduga. Kondisi ini dapat menimbulkan bahaya berupa kekurangan oksigen, akumulasi gas beracun, maupun gas atau uap mudah terbakar. Oleh karena itu, kualitas atmosfer di dalam *enclosed space* menjadi faktor utama yang menentukan apakah suatu ruang aman untuk dimasuki dan digunakan untuk kegiatan kerja.

Pengukuran atmosfer pada *enclosed space* kapal merupakan tahapan krusial yang wajib dilakukan sebelum dan selama pelaksanaan pekerjaan di dalam ruang tertutup. Pengukuran ini bertujuan untuk memastikan bahwa kadar oksigen (O₂), gas mudah terbakar yang dinyatakan dalam *Lower Explosive Limit (LEL)*, serta gas beracun berada dalam batas aman sesuai dengan ketentuan keselamatan pelayaran. Ruang-ruang seperti *ballast tank*, *cargo tank*, dan *void space* memiliki risiko tinggi karena akses terbatas, ventilasi yang tidak memadai, serta potensi terjadinya akumulasi gas berbahaya. Oleh sebab itu, sebelum personel memasuki *enclosed space*, pengujian atmosfer wajib dilakukan untuk memastikan kondisi udara aman bagi kehidupan manusia.

Secara konvensional, pengukuran atmosfer pada *enclosed space* kapal masih dilakukan menggunakan *portable gas detector* atau *multi-gas detector* yang dioperasikan langsung oleh awak kapal. Metode ini telah menjadi standar dalam prosedur keselamatan kerja di kapal. Namun demikian, pendekatan tersebut tetap mengandung risiko, karena proses pengukuran awal sering kali mengharuskan personel mendekati atau bahkan memasuki ruang tertutup yang

kondisi atmosfernya belum sepenuhnya diketahui. Dalam beberapa kasus kecelakaan *enclosed space*, korban pertama justru merupakan personel yang melakukan pengujian awal tanpa perlindungan yang memadai.

Selama pekerjaan berlangsung di dalam *enclosed space*, sistem ventilasi harus tetap dijalankan dan pengukuran atmosfer dilakukan secara berkala, terutama pada pekerjaan dengan durasi panjang. Pengujian gas harus dilakukan oleh personel yang kompeten dan berpengalaman, serta didukung oleh peralatan pengukuran yang telah terkalibrasi. Selain itu, setiap pekerja diwajibkan membawa *personal gas detector* sebagai alat peringatan dini apabila terjadi perubahan kondisi atmosfer secara tiba-tiba. Pengukuran juga harus dilakukan pada beberapa titik dan ketinggian yang berbeda untuk mengantisipasi terjadinya stratifikasi gas akibat perbedaan densitas.



Gambar 2. 3

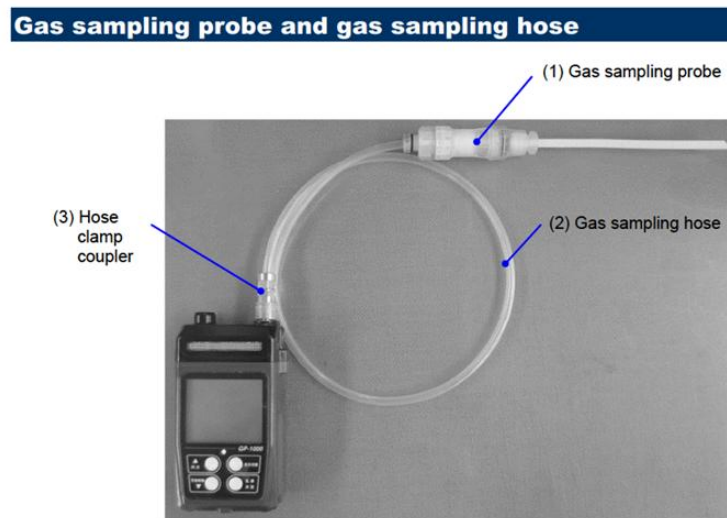
Portable Gas Meter Model GX 8700.

(Sumber : Data foto di atas Mt. Hafnia Bobcat)

a. Pengukuran Kadar Oksigen (O_2)

Kadar oksigen merupakan parameter paling mendasar dalam pengukuran atmosfer *enclosed space* di kapal. Oksigen diperlukan untuk pernapasan manusia, namun konsentrasinya dapat menurun akibat berbagai faktor, seperti proses korosi pada baja, oksidasi muatan, aktivitas mikrobiologis, maupun masuknya gas *inert* yang menggantikan oksigen di dalam ruang tertutup. Atmosfer dengan kadar oksigen di bawah batas aman dapat menyebabkan gangguan pernapasan, penurunan kesadaran, hingga kematian dalam waktu singkat.

Oleh karena itu, sebelum personel memasuki *enclosed space*, pengukuran kadar oksigen wajib dilakukan hingga mencapai kondisi normal, yaitu sekitar 20,8%–21% volume udara. Pengukuran ini juga sangat penting pada ruang yang sebelumnya telah diinertisasi dan akan dilakukan proses *gas freeing*. Apabila kadar oksigen berada di bawah 19,5%, ruang tersebut dinyatakan tidak aman untuk dimasuki tanpa tindakan pengendalian tambahan.



Gambar 2. 4

Gas Sampling Probe Model NC-1000.

(Sumber : Data foto di atas Mt. Hafnia Bobcat)

b. Pengukuran Gas Mudah Terbakar (LEL)

Gas atau uap mudah terbakar di dalam *enclosed space* kapal umumnya berasal dari sisa muatan, uap bahan bakar, residu minyak, maupun kebocoran sistem perpipaan. Keberadaan gas mudah terbakar menimbulkan risiko kebakaran dan ledakan apabila konsentrasinya mencapai batas tertentu dan terdapat sumber penyalaan. Oleh karena itu, pengukuran gas mudah terbakar menjadi bagian penting dalam pengujian atmosfer.

Pengukuran gas mudah terbakar dinyatakan dalam persentase *Lower Explosive Limit* (LEL), yaitu batas konsentrasi terendah suatu gas yang dapat menyala. Dalam prosedur keselamatan kapal, *enclosed space* hanya boleh dimasuki apabila nilai LEL berada jauh di bawah batas ledak. Untuk

keperluan inspeksi, *cold work*, maupun *hot work*, hasil pengukuran gas hidrokarbon harus menunjukkan nilai yang sangat rendah dan berada dalam batas aman sesuai dengan ketentuan keselamatan yang berlaku.



Gambar 2. 5

Portable Gas Meter Model GX 8000

(Sumber : Data foto di atas Mt. Hafnia Bobcat)

c. Pengukuran Gas Beracun

Gas beracun merupakan salah satu bahaya paling mematikan dalam *enclosed space* kapal karena sering kali tidak terdeteksi oleh indera manusia. Gas seperti hidrogen sulfida (H_2S), karbon monoksida (CO), serta uap kimia berbahaya seperti *benzene* dapat berasal dari sisa muatan, proses pembusukan, maupun reaksi kimia di dalam tangki. Paparan gas beracun dalam konsentrasi tertentu dapat menyebabkan pusing, mual, gangguan pernapasan, kehilangan kesadaran, hingga kematian dalam waktu singkat.

Oleh karena itu, pengukuran gas beracun wajib dilakukan secara menyeluruh sebelum dan selama aktivitas kerja di dalam *enclosed space*. Pengukuran ini bertujuan untuk memastikan bahwa konsentrasi gas beracun berada dalam batas paparan yang diizinkan dan tidak membahayakan keselamatan awak kapal.

Tabel 2.1Batas aman kandungan gas dalam *enclosed space*

Parameter Atmosfer	Batas Aman	Keterangan Keselamatan
Oksigen (O ₂)	20,8% - 21% volume	< 19,5% berbahaya, < 16% sangat berisiko
Gas Mudah Terbakar (LEL)	< 10% LEL	≥ 10% LEL tidak aman
Karbon Monoksida (CO)	≤ 30 ppm	Paparan tinggi menyebabkan keracunan
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	≤ 10 ppm	Gas sangat beracun
Amonia (NH ₃)	≤ 25 ppm	Menyebabkan iritasi pernapasan
Gas beracun lain	Sesuai NAB	Mengacu standar keselamatan kerja

5. Struktur korosif yang meningkatkan risiko *slip, trip, and fall* saat inspeksi manual.

Dalam kegiatan inspeksi manual pada *enclosed space*, salah satu bahaya yang sering terabaikan adalah degradasi struktur akibat korosi. Lingkungan ruang tertutup di kapal seperti *cargo tank* dan *ballast tank* umumnya memiliki tingkat kelembapan tinggi, paparan uap kimia, serta residu muatan yang bersifat agresif, sehingga mempercepat proses korosi pada permukaan logam termasuk plat, *grating*, *handrail*, dan tangga. Secara teoretis, korosi menyebabkan penurunan ketebalan material (*material loss*), berkurangnya kekuatan mekanis, serta meningkatkan potensi kegagalan struktur secara tiba-tiba (*structural failure*). Dalam perspektif keselamatan kerja, kondisi ini berkaitan erat dengan risiko *slip, trip, and fall*, di mana permukaan menjadi licin akibat karat dan kondensasi, tidak rata atau rapuh sehingga meningkatkan risiko tersandung, serta tidak mampu menopang beban secara optimal. Risiko *slip, trip, and fall* di *enclosed space* memiliki tingkat keparahan tinggi karena keterbatasan akses (*limited access*), pencahayaan minim (*low visibility*),

struktur vertikal seperti *vertical ladder*, serta lingkungan berbahaya (*hazardous environment*) yang menyulitkan evakuasi.



Gambar 2. 6

Kondisi dalam ballast tank MT. Hafnia Bobcat

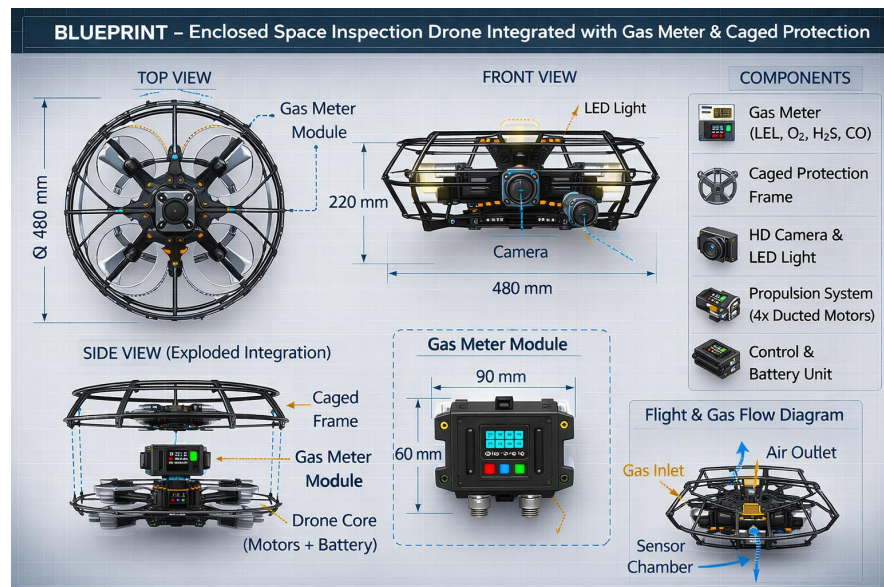
(Sumber : Data Kapal)

Fenomena ini diperkuat oleh pengalaman langsung penulis saat berada di atas kapal tanker MT Hafnia Bobcat, dalam kondisi memuat gasoline RON 98 dari Yeosu, Korea Selatan menuju Pelabuhan Botany Bay Sydney, Australia, di mana saat berada di dalam tangki kapal ditemukan bahwa kondisi struktural internal tidak sepenuhnya dapat diidentifikasi dari luar dan menyimpan potensi bahaya tersembunyi, ketika proses keluar dari tangki, salah satu anak tangga yang telah mengalami korosi tidak mampu menopang beban dengan baik sehingga menyebabkan kondisi hampir terjatuh dari ketinggian. Kejadian tersebut menegaskan bahwa risiko dalam *enclosed space* tidak hanya terbatas pada atmosfer berbahaya, tetapi juga mencakup integritas struktur yang dapat menjadi bahaya laten (*latent hazard*).

Oleh karena itu, analisis terhadap risiko struktur korosif menjadi landasan penting dalam penelitian ini, sekaligus memperkuat urgensi penggunaan teknologi seperti UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) untuk melakukan inspeksi awal tanpa paparan langsung manusia, sehingga potensi kecelakaan dapat diminimalkan secara signifikan.

6. Potensi Pemanfaatan penggunaan *Drone* dalam Pengukuran Atmosfer *Enclosed space*

Perkembangan teknologi membuka peluang pemanfaatan *drone* atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) sebagai alternatif atau pelengkap metode pengukuran atmosfer konvensional pada *enclosed space* kapal. *Drone* yang dilengkapi dengan kamera serta sensor gas memungkinkan inspeksi dan pengukuran atmosfer dilakukan tanpa harus memasukkan personel ke dalam ruang tertutup. Dalam konteks kapal, penggunaan *drone* sangat relevan untuk *ballast tank*, *cargo tank*, dan *void space* yang memiliki akses terbatas dan tingkat risiko tinggi.



Gambar 2. 7

Blueprint of Drone integrated with Gas Meter & Caged Protection

(Sumber : Dibuat dengan AI)

Integrasi *drone* dengan sensor oksigen, sensor gas mudah terbakar, dan sensor gas beracun memungkinkan pengambilan data atmosfer secara *real-time* pada berbagai titik dan ketinggian di dalam *enclosed space*. Pendekatan ini memberikan gambaran kondisi atmosfer yang lebih menyeluruh dan representatif dibandingkan pengukuran manual yang terbatas pada titik tertentu. Selain itu, penggunaan *drone* sejalan dengan prinsip pencegahan risiko dalam Sistem Manajemen Keselamatan Kapal, khususnya sebagaimana

diatur dalam *ISM Code*, di mana pengurangan paparan bahaya terhadap awak kapal menjadi prioritas utama. Berikut penjelasan dari tiap komponen *drone* yang menjadi rancangan penulis :

a. *Protective Cage* (Struktur Pelindung)

Prototype drone yang dirancang mengadopsi struktur *protective cage* berbentuk bola sebagai sistem perlindungan utama terhadap benturan di ruang terbatas (*enclosed space*). *Cage* ini berfungsi melindungi seluruh komponen internal seperti motor, sensor, dan kamera dari kerusakan akibat kontak langsung dengan dinding atau struktur logam di dalam tangki. Selain itu, desain ini memungkinkan *drone* tetap stabil dan dapat melanjutkan operasi meskipun terjadi benturan, sehingga meningkatkan keselamatan dan efektivitas inspeksi di area yang kompleks dan berisiko tinggi.

b. *Motor dan Propeller* (Sistem Penggerak)

Sistem penggerak pada *prototype drone* terdiri dari motor *brushless* berperforma tinggi yang dikombinasikan dengan *propeller* untuk menghasilkan gaya angkat (*thrust*). Pengaturan kecepatan masing-masing motor dilakukan secara presisi untuk menghasilkan manuver seperti naik, turun, maju, mundur, serta rotasi. Sistem ini dirancang untuk memberikan stabilitas optimal saat beroperasi di ruang sempit dengan aliran udara terbatas, sehingga mendukung kontrol yang halus dan responsif selama proses inspeksi.

c. *Flight Controller* (Sistem Kendali Utama)

Flight controller berfungsi sebagai pusat kendali yang mengintegrasikan seluruh sistem *drone*, termasuk sensor navigasi dan modul deteksi gas. Dilengkapi dengan *Inertial Measurement Unit* (IMU), komponen ini mampu menjaga kestabilan dan orientasi *drone* secara *real-time*. Selain itu, *flight controller* juga mengolah data dari sensor gas untuk memberikan peringatan dini apabila terdeteksi kondisi atmosfer berbahaya, sehingga operator dapat segera mengambil keputusan yang tepat tanpa harus melakukan *human entry*.

d. Sistem Komunikasi (*Radio Frequency Data Link* – Tanpa Internet)

Drone ini secara khusus dirancang tidak menggunakan internet dalam operasionalnya, melainkan mengandalkan sistem komunikasi berbasis *radio frequency* (RF) *point-to-point*. Pemilihan sistem ini didasarkan pada kondisi lingkungan kerja seperti tangki kapal atau ruang tertutup yang umumnya tidak memiliki sinyal seluler maupun WiFi, serta pertimbangan keselamatan untuk menghindari ketergantungan pada jaringan eksternal yang tidak stabil. Dalam sistem ini, *drone* dan *controller* terhubung langsung melalui gelombang radio, di mana data seperti video *real-time*, hasil pembacaan sensor gas, dan informasi navigasi dikirimkan secara langsung ke operator dengan latensi rendah. Proses pengiriman data dilakukan melalui transmisi digital yang telah dikompresi, kemudian diterima oleh *receiver* pada *controller* dan ditampilkan melalui antarmuka operator. Dengan mekanisme ini, komunikasi tetap berlangsung secara stabil, aman, dan *real-time* meskipun tanpa koneksi internet, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi inspeksi di lingkungan terbatas dan berisiko tinggi.

e. Kamera *Explosion-Proof* dan Sistem *Visual Inspection*

Drone ini dilengkapi dengan kamera bersertifikasi *explosion-proof* (*Ex-proof*) yang dirancang untuk mencegah potensi percikan atau sumber ignisi saat digunakan di lingkungan dengan gas mudah terbakar. Kamera ini memungkinkan pelaksanaan inspeksi visual secara aman dan memenuhi standar keselamatan industri. Didukung oleh sistem pencahayaan LED yang juga dirancang sesuai standar keselamatan, kamera mampu menghasilkan gambar berkualitas tinggi meskipun dalam kondisi minim cahaya, sehingga meningkatkan akurasi analisis visual selama inspeksi.

f. *Gas Detection System* (Sistem Deteksi Gas)

Sebagai inovasi utama, *drone* ini dilengkapi dengan sistem deteksi gas terintegrasi yang mampu mengukur kondisi atmosfer secara *real-time*. Sensor gas yang digunakan dapat mendeteksi kadar oksigen (O₂), gas beracun seperti hidrogen sulfida (H₂S) dan karbon monoksida (CO), serta gas mudah terbakar dalam bentuk *Lower Explosive Limit* (LEL). Data hasil pengukuran ini dikirimkan secara langsung kepada operator bersamaan dengan visual inspeksi,

sehingga memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan secara komprehensif dan meningkatkan keselamatan kerja.

g. LiDAR (Sensor Navigasi dan Pemetaan)

Untuk mendukung navigasi di lingkungan tanpa GPS, *drone* ini dilengkapi dengan sensor LiDAR yang berfungsi untuk mengukur jarak terhadap objek di sekitarnya menggunakan pantulan sinar laser. Data yang dihasilkan digunakan untuk membentuk representasi lingkungan dalam bentuk peta tiga dimensi (*point cloud*), sehingga *drone* dapat memahami kondisi ruang secara akurat dan menghindari rintangan selama operasi.

h. SLAM (Sistem Navigasi Tanpa GPS)

Drone ini mengimplementasikan teknologi *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM), yang memungkinkan proses penentuan posisi dan pemetaan lingkungan dilakukan secara bersamaan. Dengan memanfaatkan data dari LiDAR dan sensor lainnya, sistem ini mampu memberikan informasi posisi drone secara akurat tanpa bantuan GPS, sehingga sangat cocok digunakan di ruang tertutup seperti tangki kapal atau terowongan.

i. Baterai (Sistem Daya)

Baterai berkapasitas tinggi digunakan sebagai sumber energi utama untuk menyuplai daya ke seluruh komponen *drone*. Sistem ini dirancang dengan mempertimbangkan efisiensi energi serta kemudahan penggantian (*swappable battery*) guna mendukung durasi operasional yang optimal. Manajemen daya yang baik memastikan seluruh sistem dapat bekerja secara stabil selama proses inspeksi berlangsung.

j. Controller dan Antarmuka Operator

Operator mengendalikan *drone* melalui *remote controller* yang terhubung dengan perangkat tablet atau monitor sebagai antarmuka utama. Sistem ini menampilkan berbagai data secara *real-time*, termasuk video inspeksi, hasil pemetaan LiDAR, serta informasi kondisi gas. Dengan integrasi ini, operator dapat memantau kondisi lingkungan secara menyeluruh dan mengambil

keputusan secara cepat dan tepat berdasarkan data yang diterima secara langsung dari *drone*.

Dengan demikian, penggabungan konsep *enclosed space*, pengukuran atmosfer, dan pemanfaatan *drone* menunjukkan adanya pergeseran pendekatan dari metode inspeksi konvensional menuju solusi berbasis teknologi yang lebih aman dan efisien. Hal ini menjadi landasan penting bagi penelitian yang berfokus pada pemanfaatan *drone* sebagai sarana pendukung pengukuran atmosfer guna meningkatkan keselamatan kerja pada *enclosed space* di kapal.

7. Kesimpulan

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan *drone* yang terintegrasi dengan sensor atmosfer memiliki potensi signifikan dalam meningkatkan keselamatan dan efektivitas pengukuran atmosfer pada *enclosed space* kapal. Penggunaan *drone* memungkinkan proses pengambilan data oksigen, gas mudah terbakar, dan gas beracun dilakukan secara jarak jauh pada berbagai titik dan ketinggian, sehingga mengurangi kebutuhan personel untuk melakukan *enclosed space entry* pada tahap awal inspeksi. Pendekatan ini tidak hanya memberikan gambaran kondisi atmosfer yang lebih menyeluruh dan representatif, tetapi juga sejalan dengan prinsip pencegahan risiko dalam Sistem Manajemen Keselamatan Kapal sebagaimana diatur dalam *ISM Code*. Oleh karena itu, pemanfaatan *drone* berbasis sensor atmosfer dapat dipandang sebagai solusi pendukung yang berpotensi meningkatkan tingkat keselamatan kerja serta kualitas pengambilan keputusan dalam pengelolaan *enclosed space* di kapal.

B. PENELITIAN TERDAHULU

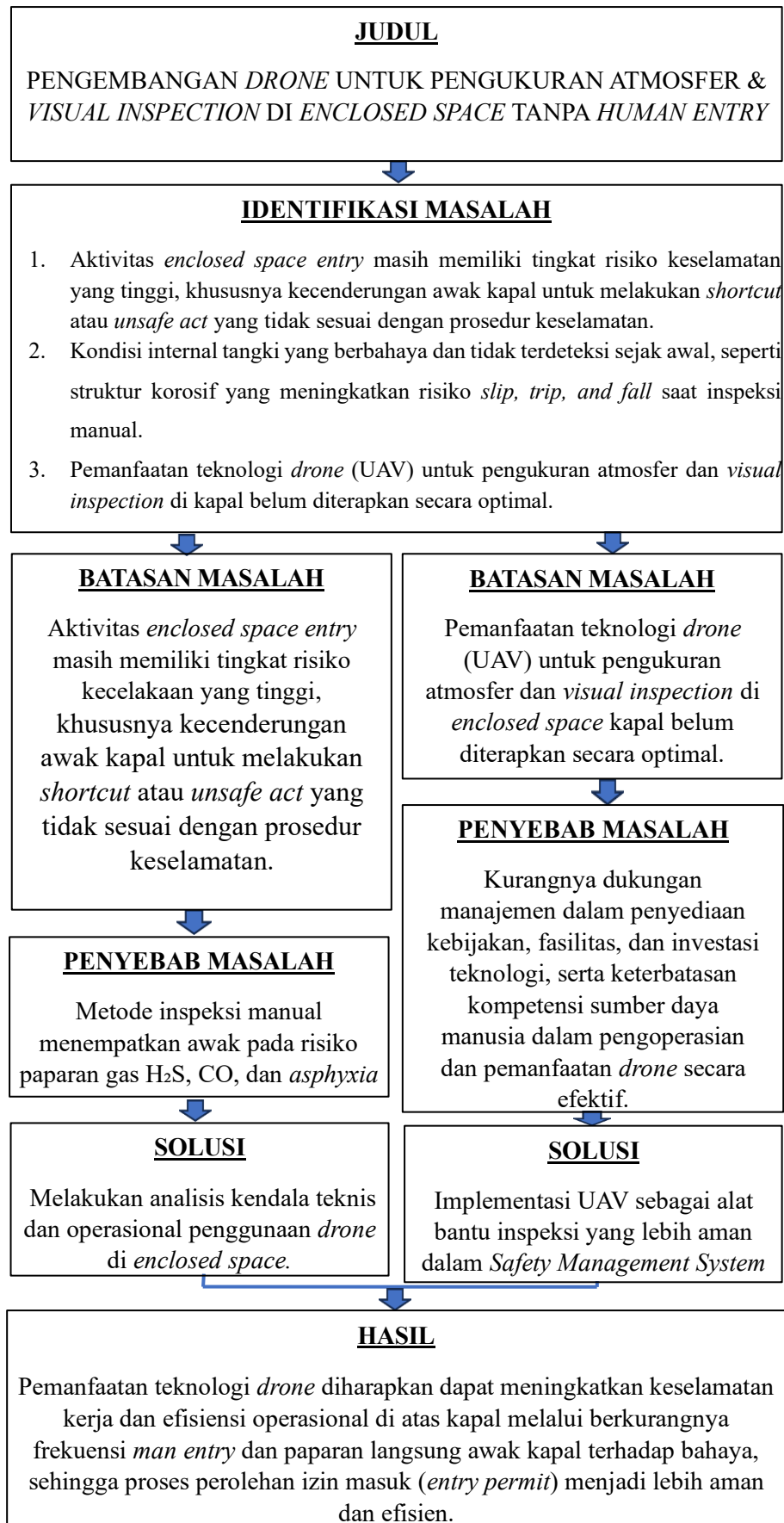
Tabel 2.2

Ringkasan Studi Penting yang Telah Dilakukan

No.	Judul Penelitian	Nama Penulis dan Tahun Terbitan	Hasil
1.	<i>Drone-Assisted Confined Space Inspection and Stockpile Volume Estimation</i>	Alsayed et al, 2021	Penelitian oleh Alsayed et al. (2021) membahas penggunaan <i>drone</i> untuk inspeksi visual dan pemetaan ruang tertutup pada lingkungan industri berisiko tinggi. Studi ini menunjukkan bahwa <i>drone</i> yang dilengkapi kamera dan sensor jarak mampu melakukan inspeksi menyeluruh pada <i>confined space</i> tanpa kehadiran manusia secara langsung. Meskipun penelitian ini dilakukan di sektor industri darat, karakteristik ruang tertutup yang diteliti memiliki kesamaan dengan <i>enclosed space</i> di kapal, khususnya dari aspek keterbatasan akses, minim pencahayaan, dan tingginya risiko keselamatan kerja. Hasil penelitian tersebut menegaskan bahwa <i>drone</i> dapat berperan sebagai alat inspeksi visual yang efektif sekaligus meningkatkan keselamatan dengan mengurangi kebutuhan <i>confined space entry</i> .
2.	<i>Uncertainties with Assessment of the Safety Atmosphere in Vessel Cargo Tanks and Enclosed spaces</i>	Jerzy Herdzyk, 2020	Penelitian yang dilakukan oleh Herdzyk (2020) menekankan peran <i>drone</i> sebagai bagian dari sistem inspeksi dan pemeliharaan kapal yang modern dan berbasis teknologi. Studi ini menyatakan bahwa <i>drone</i> dapat digunakan sebagai alat bantu inspeksi visual baik pada struktur eksternal maupun internal kapal, termasuk area <i>enclosed space</i> . Penggunaan <i>drone</i> dinilai sejalan dengan prinsip efisiensi operasional dan peningkatan keselamatan kerja, terutama dalam mengurangi risiko kecelakaan akibat pekerjaan di ruang tertutup. Herdzyk juga

			menekankan bahwa integrasi <i>drone</i> dalam inspeksi kapal berpotensi menjadi bagian dari praktik inspeksi standar di masa depan, khususnya dalam mendukung pemeriksaan rutin dan dokumentasi kondisi kapal.
3.	<i>Enclosed space Entry and Rescue drills mandated by SOLAS and their implementation in practice</i>	Santeri Uski, 2018	Penelitian yang dilakukan oleh Santeri Uski (2018) secara lebih spesifik mengkaji penerapan <i>drone</i> untuk inspeksi struktur kapal dan lingkungan maritim. Penelitian ini menyoroti potensi <i>drone</i> dalam mendukung kegiatan inspeksi visual pada area kapal yang sulit dijangkau, termasuk ruang internal dan struktur tertutup. Hasil kajian menunjukkan bahwa penggunaan <i>drone</i> memungkinkan pengambilan data visual secara cepat dan detail, serta meminimalkan paparan risiko bagi awak kapal. Dalam konteks <i>ballast tank</i> dan <i>void space</i> , <i>drone</i> dinilai mampu membantu proses pemeriksaan kondisi struktur, korosi, dan kerusakan tanpa memerlukan pemasangan perancah atau masuknya personel ke dalam ruang tertutup.

C. KERANGKA PEMIKIRAN



Kerangka pemikiran penelitian ini disusun berdasarkan tingginya risiko kecelakaan kerja pada kegiatan *enclosed space entry* di atas kapal. Risiko tersebut umumnya disebabkan oleh keterbatasan ventilasi, potensi bahaya atmosfer, serta keterbatasan akses keluar masuk ruang tertutup. Berbagai kasus kecelakaan menunjukkan bahwa lemahnya penerapan prosedur keselamatan dan kurangnya pemanfaatan teknologi pendukung menjadi faktor dominan terjadinya insiden fatal di ruang tertutup.

Sebagai landasan normatif, IMO *Resolution A.1050(27)*, SOLAS *Convention*, dan ISM *Code* memberikan pedoman dan kewajiban yang harus diterapkan oleh perusahaan pelayaran dan awak kapal dalam mengendalikan risiko *enclosed space entry*. Regulasi tersebut menuntut adanya perencanaan kerja, pengukuran atmosfer, sistem izin kerja, pengawasan, serta pelatihan yang berkesinambungan.

Namun, dalam praktik di lapangan, penerapan prosedur tersebut masih memiliki keterbatasan, khususnya ketika inspeksi awal ruang tertutup mengharuskan awak kapal untuk masuk langsung ke area berisiko. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji pemanfaatan teknologi *drone* (UAV) sebagai alternatif pendukung keselamatan dalam melakukan inspeksi visual awal pada ruang tertutup. Penggunaan *drone* diharapkan mampu mengurangi paparan langsung awak kapal terhadap bahaya, meningkatkan efektivitas pengamatan kondisi ruang, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih aman sebelum pelaksanaan *enclosed space entry*.

Berdasarkan kerangka pemikiran tersebut, penelitian ini menghubungkan landasan teori dan regulasi keselamatan (Bab II) dengan metode penelitian yang digunakan (Bab III) untuk menganalisis bagaimana penerapan prosedur *enclosed space entry* yang didukung teknologi *drone* dapat meningkatkan keselamatan kerja di atas kapal.

Secara konseptual, alur kerangka pemikiran penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut:

1. Risiko tinggi *enclosed space entry* di atas kapal.
2. Ketentuan keselamatan berdasarkan IMO *Resolution A.1050(27)*, SOLAS, dan ISM *Code*.
3. Penerapan prosedur keselamatan konvensional (*permit to work*, pengukuran atmosfer, pengawasan).
4. Keterbatasan inspeksi manual di ruang tertutup.
5. Pemanfaatan teknologi *drone* (UAV) untuk inspeksi visual awal.
6. Peningkatan keselamatan kerja dan pengurangan risiko kecelakaan.

Alur pemikiran tersebut menjadi dasar dalam penyusunan metode penelitian pada Bab III, khususnya dalam menentukan pendekatan penelitian, teknik pengumpulan data, serta analisis terhadap efektivitas penggunaan *drone* dalam mendukung keselamatan *enclosed space entry* di atas kapal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Dari pemecahan masalah serta uraian pada bab-bab di atas dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Aktivitas *enclosed space entry* masih memiliki tingkat risiko kecelakaan yang tinggi, khususnya kecenderungan awak kapal untuk melakukan *shortcut* atau *unsafe act* yang tidak sesuai dengan prosedur keselamatan.

Aktivitas *enclosed space entry* di atas kapal masih memiliki tingkat risiko kecelakaan yang tinggi karena melibatkan paparan langsung terhadap atmosfer berbahaya, keterbatasan oksigen, gas beracun, serta potensi bahaya fisik lainnya. Metode konvensional yang selama ini diterapkan memang telah terstandarisasi dalam kerangka *Safety Management System* sesuai ketentuan *International Safety Management Code* yang ditetapkan oleh *International Maritime Organization*, sehingga memiliki struktur prosedural yang jelas dan sistem pengendalian risiko yang terdokumentasi. Namun demikian, pendekatan ini tetap menyisakan risiko inheren karena manusia tetap harus masuk ke ruang berbahaya. Sebaliknya, pemanfaatan teknologi *drone* (UAV) menawarkan pendekatan yang lebih preventif melalui eliminasi atau pengurangan paparan langsung terhadap bahaya, peningkatan kualitas dokumentasi, serta efisiensi operasional, meskipun memerlukan investasi awal, integrasi sistem, dan peningkatan kompetensi sumber daya manusia. Oleh karena itu, risiko tinggi dalam aktivitas *enclosed space entry* tidak cukup ditangani hanya dengan kepatuhan prosedural, tetapi perlu transformasi metode kerja yang lebih adaptif terhadap perkembangan teknologi maritim guna menekan angka kecelakaan secara berkelanjutan.

2. Pemanfaatan teknologi *drone* (UAV) untuk pengukuran atmosfer dan *visual inspection* di *enclosed space* kapal belum diterapkan secara optimal.

Pemanfaatan teknologi *drone* (UAV) untuk pengukuran atmosfer dan *visual inspection* pada *enclosed space* kapal masih belum diterapkan secara optimal di lingkungan operasional maritim. Meskipun teknologi ini memiliki potensi besar dalam meningkatkan keselamatan kerja dengan mengurangi kebutuhan masuknya manusia ke ruang berbahaya, implementasinya masih menghadapi berbagai kendala, terutama pada aspek dukungan manajemen, kesiapan sistem operasional, serta kompetensi sumber daya manusia. Metode konvensional masih menjadi pendekatan utama karena telah terintegrasi dalam *Safety Management System* sesuai ketentuan *International Safety Management Code* yang ditetapkan oleh *International Maritime Organization*. Namun demikian, pendekatan tersebut tetap mempertahankan paparan langsung pekerja terhadap potensi bahaya atmosfer beracun, kekurangan oksigen, serta risiko fisik di dalam ruang tertutup. Di sisi lain, penggunaan *drone* dengan spesifikasi yang sesuai untuk lingkungan maritim mampu memberikan alternatif metode inspeksi yang lebih aman, efisien, dan berbasis data digital, tetapi memerlukan investasi teknologi, pengembangan standar operasional baru, serta peningkatan kompetensi operator. Dengan demikian, belum optimalnya pemanfaatan teknologi UAV lebih disebabkan oleh faktor manajerial dan kesiapan organisasi dibandingkan keterbatasan teknologi itu sendiri.

B. SARAN

Dari penjelasan di atas, kita bisa menarik beberapa rekomendasi sebagai berikut:

1. Aktivitas *enclosed space entry* masih memiliki tingkat risiko kecelakaan yang tinggi.

Sebagai langkah strategis untuk mengurangi risiko kecelakaan pada aktivitas *enclosed space entry*, perusahaan pelayaran disarankan untuk tetap mempertahankan standar keselamatan konvensional yang telah terintegrasi dalam SMS, namun secara bertahap mengembangkan dan mengimplementasikan penggunaan *drone* dengan spesifikasi sesuai kebutuhan maritim melalui program *pilot project* yang terencana. Selain itu, perlu dilakukan pembaruan SOP yang mengakomodasi penggunaan teknologi UAV dalam inspeksi dan pengukuran atmosfer, disertai pelatihan khusus bagi operator dan awak kapal guna memastikan kompetensi yang memadai.

Manajemen juga perlu membangun budaya keselamatan yang tidak hanya berbasis kepatuhan prosedur, tetapi juga berorientasi pada inovasi dan pencegahan risiko. Dengan kombinasi antara sistem manajemen keselamatan yang kuat dan pemanfaatan teknologi modern, diharapkan risiko kecelakaan pada aktivitas *enclosed space entry* dapat ditekan secara signifikan demi kemajuan industri maritim dan perlindungan keselamatan jiwa di atas kapal.

2. Pemanfaatan teknologi *drone* (UAV) untuk pengukuran atmosfer dan visual inspection di *enclosed space* kapal belum diterapkan secara optimal.

Untuk meningkatkan optimalisasi pemanfaatan teknologi *drone* (UAV) dalam pengukuran atmosfer dan *visual inspection* pada *enclosed space* kapal, perusahaan pelayaran disarankan mulai mengintegrasikan teknologi ini ke dalam sistem inspeksi kapal secara bertahap melalui program *pilot project*. Langkah ini dapat dilakukan dengan memilih jenis *drone* yang memiliki spesifikasi sesuai kebutuhan lingkungan maritim, seperti stabilisasi tinggi, kamera resolusi baik, sensor gas terintegrasi, sistem pencahayaan, serta perlindungan terhadap potensi percikan api apabila diperlukan. Selain itu, perusahaan perlu menyusun standar operasional prosedur yang mengatur penggunaan UAV dalam kegiatan inspeksi ruang tertutup serta memastikan integrasinya dengan sistem dokumentasi dan evaluasi keselamatan kapal. Penguatan kompetensi sumber daya manusia juga menjadi aspek penting, sehingga pelatihan khusus bagi operator *drone* dan personel keselamatan perlu dilakukan secara berkelanjutan. Dengan dukungan manajemen yang kuat, pengembangan kompetensi SDM, serta penerapan teknologi secara bertahap, pemanfaatan UAV diharapkan dapat meningkatkan efektivitas inspeksi, mengurangi paparan risiko terhadap pekerja, serta mendorong kemajuan teknologi keselamatan di bidang maritim.

Ke depan, diharapkan penelitian dan pengembangan *drone* maritim dapat difokuskan pada peningkatan ketahanan terhadap *leaking* / kebocoran di struktur baja tertutup, pengembangan sensor atmosfer yang lebih sensitif dan *real-time*, peningkatan daya tahan baterai, serta integrasi kecerdasan buatan untuk analisis kerusakan struktur dan deteksi potensi bahaya secara otomatis. Dengan inovasi berkelanjutan tersebut, *drone* maritim diharapkan tidak hanya berfungsi sebagai alat inspeksi, tetapi menjadi bagian integral dari sistem manajemen keselamatan kapal yang modern, adaptif, dan berorientasi pada pencegahan kecelakaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsayed, A., Yunusa-Kaltungo, A., Quinn, M.K., Arvin, F., Nabawy, M.R.A. (2021). Drone-Assisted Confined Space Inspection and Stockpile Volume Estimation.
- Andersen, R. E., Brogaard, R., and Boukas, E. (2023). Autonomous Robotic Inspection for Remote Inspection Technique Systems : A Review.
- Andersen, R., Nalpantidis, L., Ravn, O., and Boukas, E. (2020). Investigating deep learning architectures towards autonomous inspection for marine classification. In 2020 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), pp. 197–204. IEEE.
- Angus William Du Toit Steele. (2019). Development of a Close Quarters Collision-Protected Aerial Drone.
- Arikunto, Suharsimi. (2006). Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik. Jakarta: Rineka Cipta.
- Bonnin-Pascual, F., Garcia-Fidalgo, E., and Ortiz, A. (2012). Semi-Autonomous Visual Inspection of Vessels Assisted by an Unmanned Micro Aerial Vehicle.
- Brogaard, R. Y., Andersen, R. E., Kovac, L., Zajackowski, M., and Boukas, E. (2021a). Towards an autonomous, visual inspection-aware 3d exploration and mapping system for water ballast tanks of marine vessels. In 2021 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST), pp. 1–6. IEEE.
- Bryman, Alan. (2016). Social Research Methods (5th ed.). Oxford: Oxford University Press.
- Creswell, John W. (2018). Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches (5th ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Dharmadhikari, M., Petris, D. P., Kulkarni, M., Khedekar, N., Nguyen, H., Stene, E. A., Sjøvold, E., Solheim K., Gussiaas, B., and Alexis, K., (2023). Autonomous Exploration and General Visual Inspection of Ship Ballast Water Tanks using Aerial Robots.

- Enguita, P. E., Jiang, J., Chen, C., Samuel, K., and Lebel, R. (2025). Potential of LiDAR and Hyperspectral Sensing for Overcoming Challenges in Current Maritime Ballast Tank Corrosion Inspection.
- Fabris, Amadeo., Steffen, K., Stefano, M., (2021). A Soft Drone with Multi-Modal Mobility for the Exploration of Confined Spaces.
- Herdzik, J. (2020). Uncertainties with Assessment of the Safety Atmosphere in Vessel Cargo Tanks and Enclosed Spaces. Scientific Journals of the Gdynia Maritime University
- Kuncoro, Mudrajad. (2017). Metode Riset untuk Bisnis dan Ekonomi. Jakarta: Erlangga.
- Krystosik-Gromadzińska, A. (2021). The use of drones in the maritime sector areas and benefits. Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin.
- Muchiri, N., Kimathi, S. (2016). A Review of Applications and Potential Applications of UAV.
- Rune, Y. Brogaard., Boukas, E. (2024). Autonomous GPU-based UAS for Inspection of Confined Spaces: Application to Marine Vessel Classification.
- SOLAS (Safety of Life at Sea). (1974). International Convention for the Safety of Life at Sea. London: IMO.
- Sugiyono. (2017). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta..
- Sydney, Shockley. (2024). A Methodology for Evaluating and Comparing Unmanned Inspection Platforms In Underground and Indoor Environments.
- Tripicchio, P., Satler, M., Unetti, M., and Avizzano, A. C. (2018). Confined Spaces Industrial Inspection with Micro Aerial Vehicles and Laser Range Finder Localization.
- Uski, Santeri. (2021). Enclosed Space Entry and Rescue Drills Mandated by SOLAS and Their Implementation in Practice.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengajuan Judul



KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN
JAKARTA



PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI

Nama : ARYA DWIPA DAMAR JATI
N R P : 364210906
Bidang Keahlian : NAUTIKA
Semester : VII

Mengajukan Judul Skripsi Sebagai Berikut :

A. JUDUL : "PENGEMBANGAN DRONE UNTUK PENGUKURAN ATMOSFER & VISUAL INSPECTION DI ENCLOSED SPACE KAPAL TANPA HUMAN ENTRY"

B. MASALAH POKOK :

- 1) Aktivitas enclosed space entry masih menjadi salah satu pekerjaan paling berisiko di atas kapal.
- 2) Human error dalam proses persiapan entry, seperti kesalahan pembacaan gas detector, kurangnya ventilasi, atau kelalaian pada permit to work, masih sering terjadi
- 3) Visibilitas kondisi internal ruangan terbatas sehingga penilaian awal sering tidak mewakili keadaan sebenarnya.
- 4) Diperlukan kajian perbandingan risiko antara metode inspeksi manual dan metode berbasis UAV untuk menghasilkan rekomendasi yang valid.
- 5) Belum tersedia standar operasional tetap (SOP) penggunaan UAV untuk enclosed space yang terintegrasi dengan regulasi IMO dan ISM code.

C. PENDEKATAN PEMECAHAN MASALAH :

1. Kualitatif Deskriptif
Memberikan gambaran dan penjelasan terkait efektivitas penggunaan drone (UAV) demi mengurangi risiko keselamatan bagi awak kapal.
2. Metode Pengumpulan Data:
 - a. Observasi
 - b. Dokumentasi
 - c. Wawancara

Mengetahui :

PEMBIMBING I



(Capt. SAJIM BUDI SETIAWAN,
MM)

NIP.19641218 199103 1 003

PEMBIMBING II



(DERMA WATTY SIHOMBING,
SE., MM)

NIP.19800307 200502 2 002

Mengetahui
KETUA JURUSAN NAUTIKA



(Dr. Meilinasari N.H, S.SIT., M.MTr.)

NIP. 198105032002122001

Jakarta, 18 November 2025

PENULIS



(ARYA DWIPA DAMAR JATI)

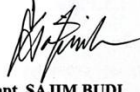
NRP.364210906

FM.JR.1.030/R.2

Lampiran 2 Pengajuan Sinopsis

Menyetujui, Jakarta, 26 November 2025

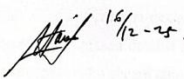
PEMBIMBING UTAMA PEMBIMBING PENDAMPING PENULIS


Capt. SAJIM BUDI
SETIAWAN, MM
NIP : 19641218 199103 1 003


DERMA WATTY
SIHOMBING, SE., MM
NIP : 19800307 200502 2 002


ARYA DWIPA
DAMAR JATI
NRP : 364210906

KETUA JURUSAN NAUTIKA

 16/12-25.

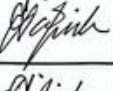
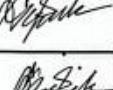
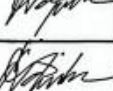
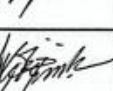
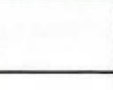
Dr. Meilinasari N.H., S.SiT., M.MTr
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19810503 200212 2 001

Lampiran 3 Lembar Bimbingan

 KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN
PROGRAM DIPLOMA IV
JAKARTA



PEMBIMBING I : Capt. SAJIM BUDI SETIAWAN, MM
MATERI PEMBIMBING : "PENGEMBANGAN DRONE UNTUK PENGUKURAN ATMOSFER & VISUAL INSPECTION DI ENCLOSED SPACE KAPAL TANPA HUMAN ENTRY"

NO.	TANGGAL	URAIAN MATERI	TANDA TANGAN PEMBIMBING
1	26-10-2025	Pengajuan Sinopsis	
2	04-12-2025	Kuis bab I, kuis pelebaran kuis	
3	15-12-2025	Kuis bab I, kuis	
4	05-02-2026	Kuis bab I, kuis pelebaran kuis	
5	06-02-2026	Kuis bab II, kuis	
6	02-03-2026	Kuis bab II, kuis	
7	04-03-2026	Kuis bab II, kuis	
8	05-03-2026	Kuis bab I, kuis	
9			
10		Mudah-mudahan sukses	

Catatan :

- Kepada Dosen Pembimbing agar melengkapi form, minimal 8 (delapan) kali pertemuan.
- Kepada Penulis agar form di lampirkan pada saat pengumpulan tugas akhir/skripsi.

FM-JR.1.02B-R.2



KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN
PROGRAM DIPLOMA IV
JAKARTA



PEMBIMBING II : DERMA WATTY SIHOMBING, SE., MM
MATERI PEMBIMBING : "PENGEMBANGAN DRONE UNTUK PENGUKURAN ATMOSFER & VISUAL INSPECTION DI ENCLOSED SPACE KAPAL TANPA HUMAN ENTRY"

NO.	TANGGAL	URAIAN MATERI	TANDA TANGAN PEMBIMBING
1	26/10'25	acc Sinopsis	
2	04/12'25	Penyerahan Bab 1	
3	15/12'25	Revisi Bab 1, lanjut Bab 2	
4	5/2'26	Penyerahan Bab 2.	
5	23/2'26	acc Bab 2. Penyerahan Bab 3.	
6	26/2'26	acc Bab 3, lanjut Bab 4	
7	02/03'26	Penyerahan Bab 4	
8	04/01'26	acc Bab 4, lanjut Bab 5	
9	5/3'26	acc Bab 5 dapat ditandatangani	
10			

Catatan :
1. Kepada Dosen Pembimbing agar melengkapi form, minimal 8 (delapan) kali pertemuan.
2. Kepada Peserta agar form di lampirkan pada saat pengumpulan tugas akhir/jilid.

FM-JR.1.02B-R.2

Lampiran 4 Pengecekan Turnitin



KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN
SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN
INDONESIA
UNIT PERPUSTAKAAN DAN DOKUMENTASI



TANDA TERIMA HASIL PENGECEKAN TURNITIN

JUDUL : PENGEMBANGAN DRONE UNTUK PENGUKURAN ATMOSFER & VISUAL
INSPECTION DI ENCLOSED SPACE TANPA HUMAN ENTRY
NAMA : ARYA DWIPA DAMAR JATI
JURUSAN : NAUTIKA
HASIL SIMILARITY : 10 %

Jakarta, 9. MARET 2026

Yang Mengetima

Yang Menyerahkan

(ARYA DWIPA DAMAR JATI)



(MUTIA)

FM.UK.31.020/R.0

Pengembangan Drone untuk Pengukuran Atmosfer & Visual Inspection di Enclosed Space tanpa Human Entry

ORIGINALITY REPORT

10%	9%	3%	4%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	journal.unimar-amni.ac.id	3%
	Internet Source	
2	repository.stipjakarta.ac.id	1%
	Internet Source	
3	Submitted to Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta	1%
	Student Paper	
4	repository.ub.ac.id	<1%
	Internet Source	
5	docplayer.info	<1%
	Internet Source	
6	123dok.com	<1%
	Internet Source	
7	Submitted to Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang	<1%
	Student Paper	
8	repository.unissula.ac.id	<1%
	Internet Source	
	www.diklatkerja.com	
9	Internet Source	<1%
10	Mona Lestari, Annisa Rahmawaty, Fenny Etrawati, Nova Apriza Cahyani, Shinta Dwi Kasih, Masayu Gemala Rabiah, Reza Ardiansyah. "Persepsi Risiko Penumpang Pesawat Terbang", Jurnal Kesehatan, 2019	<1%
	Publication	
11	Muhammed Fatih Gulen, C. Guedes Soares, Ozcan Arslan. "A comprehensive risk assessment of enclosed space operations on ships", Reliability Engineering & System Safety, 2026	<1%
	Publication	
12	repo.palcomtech.ac.id	<1%
	Internet Source	
13	Submitted to Southampton Solent University	<1%
	Student Paper	
14	www.coursehero.com	<1%
	Internet Source	
15	Submitted to Universitas Mohammad Husni Thamrin Jakarta	<1%
	Student Paper	
16	e-campus.iainbukittinggi.ac.id	<1%
	Internet Source	
17	www.liferafts.asia	<1%
	Internet Source	

18	adoc.pub Internet Source	<1 %
19	id.scribd.com Internet Source	<1 %
20	smp.am.szczecin.pl Internet Source	<1 %
21	repository.pip-semarang.ac.id Internet Source	<1 %
22	repository.uin-suska.ac.id Internet Source	<1 %
23	www.theseus.fi Internet Source	<1 %
24	bp3ip3sakti11.wordpress.com Internet Source	<1 %
25	digilib.unila.ac.id Internet Source	<1 %
26	Submitted to LSPR Communication & Business Institute Student Paper	<1 %
27	Mukhlis Mukhlis. "Analysis of the Study Asbabun Nuzul: "The Urgency and Contribution in Understanding the Qur'an."" Al-Muhith: Jurnal Ilmu Qur'an dan Hadits, 2024 Publication	<1 %
28	isprs-annals.copernicus.org Internet Source	<1 %
29	repository.ar-raniry.ac.id Internet Source	<1 %
30	repository.upi.edu Internet Source	<1 %
31	tematik.unisi.ac.id Internet Source	<1 %
32	pqiconsultant.com Internet Source	<1 %
33	bond.bseindia.com Internet Source	<1 %
34	eprints.umm.ac.id Internet Source	<1 %
35	text-id.123dok.com Internet Source	<1 %
36	eprints.ums.ac.id Internet Source	<1 %
37	eprints.uns.ac.id Internet Source	<1 %
38	es.scribd.com Internet Source	<1 %
39	inameq.com Internet Source	<1 %

40	media.neliti.com Internet Source	<1 %
41	menulisilmiah123.blogspot.com Internet Source	<1 %
42	my.gvda-instrument.com Internet Source	<1 %
43	pmikabupatenngawi.blogspot.com Internet Source	<1 %
44	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
45	ejournal.appihi.or.id Internet Source	<1 %
46	fr.scribd.com Internet Source	<1 %
47	journal.ipb.ac.id Internet Source	<1 %
48	repositori.buddhidharma.ac.id Internet Source	<1 %
49	repository.usu.ac.id Internet Source	<1 %
50	www.keuangan.umm.ac.id Internet Source	<1 %
51	www.roadlesstraveledstore.com Internet Source	<1 %
52	www.sumselnian.com Internet Source	<1 %
53	id.wikibooks.org Internet Source	<1 %

Exclude quotes Off
Exclude bibliography Off

Exclude matches Off

Lampiran 5 Wawancara

Dalam penelitian ini dilakukan terdapat salah satu teknik untuk mengumpulkan data primer yaitu wawancara, hal ini dilakukan oleh peneliti guna mencari dan menemukan informasi yang ada diatas kapal. Hal ini dilakukan dengan cara melakukan tanya jawab secara langsung kepada kriteria seorang perwira yang telah melaksanakan *enclosed space entry* lebih dari 10 kali , wawancara ini memiliki fungsi guna memberi jawaban untuk semua rumusan masalah pada penelitian ini dengan judul “ Pengembangan *Drone* untuk pengukuran atmosfer & *Visual Inspection* di *Enclosed Space* tanpa *Human Entry*”. Adapun unsur yang berdasarkan rumusan masalah.

Identitas Responden

Nama : Oytun Tangu

Jabatan: *Chief Officer*

Kewarganegaraan : Turkey

Pewawancara : Arya Dwipa Damar Jati

Author: Good afternoon, Chief. Thank you for taking the time to participate in this interview. I would like to ask several questions related to the potential use of a drone prototype for enclosed space inspection on ships.

Chief Officer: Good afternoon. You're welcome. I'm glad to assist with your research.

Author: Chief, since the drone system for enclosed space inspection is still in the prototype stage and has not yet been implemented on board ships, how do you think the crew might respond to the introduction of this technology in the future?

Chief Officer: In my opinion, the crew would likely show interest in this technology because it has the potential to reduce the need for personnel to enter enclosed spaces directly. As we know, enclosed space entry is considered a high-risk activity on board ships. However, because this technology has not yet been used on board, most crew members may not fully understand how the drone operates or how it will be integrated into existing inspection procedures.

Author: From a human resource perspective, what challenges might arise if this technology is introduced in the future?

Chief Officer: One possible challenge is the lack of familiarity among crew members with drone technology. Currently, most crew members are trained using conventional inspection methods, which involve physically entering tanks or enclosed compartments. When a new technology like a drone inspection system is introduced, there will likely be a transition period where the crew must adapt to new operational methods and technological systems.

Author: What preparations should be made to ensure that the crew can effectively use this technology in the future?

Chief Officer: Shipping companies should provide specific training programs related to drone operation and inspection procedures. In addition, demonstration sessions or

simulation exercises could help introduce the technology to the crew. It would also be important to establish competency standards for personnel who will operate the drone.

Author: Moving on to operational procedures, since the drone system is still in development, how important is it to establish standard procedures before implementing the technology?

Chief Officer: It is very important. Any new technology introduced on board must be supported by clear operational procedures. Without standardized procedures, the implementation of the technology may lead to inconsistent practices or safety concerns.

Author: What elements should be included in the operational procedures for drone-based inspections?

Chief Officer: The procedures should include pre-operation equipment checks, operational guidelines for flying the drone inside enclosed spaces, documentation procedures for inspection results, and emergency procedures in case of equipment malfunction. These procedures should also be integrated into the ship's Safety Management System.

Author: From a technical perspective, what challenges might drones face when operating inside enclosed spaces such as cargo tanks?

Chief Officer: Enclosed spaces inside ships usually have complex internal structures, including frames, pipes, and structural supports. These structures could pose obstacles for drone navigation and increase the risk of collision. In addition, GPS signals are typically unavailable inside tanks, which makes drone positioning and navigation more challenging.

Author: How could these technical limitations affect the effectiveness of inspections?

Chief Officer: If the drone cannot maintain stable flight or navigate safely, the inspection process may become inefficient or incomplete. Collisions with structural components could also damage the equipment and interrupt the inspection.

Author: What technological considerations should be taken into account when developing this drone prototype?

Chief Officer: The drone should be designed specifically for confined industrial environments. Features such as protective cages, obstacle avoidance sensors, stable flight control systems, strong lighting systems, and high-resolution cameras would greatly support inspection activities.

Author: From the environmental perspective, what conditions inside enclosed spaces could affect drone operations?

Chief Officer: Enclosed spaces on ships often have very limited lighting conditions. Additionally, humidity levels can be quite high, and the internal layout of tanks can be complex. These environmental conditions could affect both drone navigation and the quality of inspection data.

Author: What measures should be considered to address these environmental challenges?

Chief Officer: The drone should be equipped with high-intensity lighting to improve visibility during inspections. It should also be designed to operate safely in humid environments. Additionally, conducting a preliminary assessment of the tank structure before deploying the drone would help determine safe flight paths.

Author: Based on our discussion, it seems that the potential implementation of drone technology for enclosed space inspection depends on several factors, including crew readiness, operational procedures, technological capability, and environmental conditions.

Chief Officer: Yes, that is correct. If these factors are properly addressed, drone technology could significantly improve safety and efficiency in enclosed space inspections by reducing the need for direct human entry.

Author: Thank you very much for your time and valuable insights, Chief.

Chief Officer: You're welcome. I hope your research contributes to the development of safer inspection methods in maritime operations.

Lampiran 6 Ships's Particular

HAFNIA BOBCAT		SHIP'S PARTICULARS		 Member of BW Group	
CLASS Notation:		*100A1, Double Hull Oil & Chemical Tanker, Ship Type 2, CSR, ESP, ShipRight(CM, ACS(B)), *IWS, LI, SPM4, *LMC, IGS, UMS, Descriptive note: COW(LR), ETA, Partial Higher Tensile Steel, Ship Right(BWMP(S,T), IHM, SERS, SCM)			
Email ID:		bobcat@bwfleet.net			
Name Of Vessel	HAFNIA BOBCAT		Call Sign	9V2551	
Flag / Port of Registry	SINGAPORE / SINGAPORE		MMSI	564970000	
Official No.	399160		V-Sat Phone Master	+6531588207	
IMO Number	9694476		V-Sat Phone CCR	+6531588206	
Builder	SPP Shipbuilding Co Ltd, Republic of South Korea		Iridium Phone Master	+88 1677110322	
			Iridium Phone Bridge	+88 1677116098	
Keel Laid	March 11, 2014		Inmarsat C Tlx	456497010 / 456497011	
Launched	May 22, 2014		Class	Lloyds	
Delivered	August 28, 2014		Class ID No.	LR NO. 9694476	
Previous Name	BW BOBCAT		Last Drydocked	24th Sept 2024	
OWNER	BW ALDRICH PTE. LTD 10 Pasir Panjang Rd, #18-01 Mapletree Business City Singapore 117438				
OPERATOR	Hafnia Pte Ltd, 10 Pasir Panjang Rd, #18-01 Mapletree Business City Singapore 117438				
CONTACT DETAILS	Tel: + 65 6337 2133 Fax: + 65 6337 1623 Telex: RS 21088 WORSING E-mail: Marine@hafniabw.com Web Site: www.hafniabw.com				
GRT	29737		L.O.A.	183.000 M	
NRT	13757		L.B.P.	174.000 M	
P & I Club	UK P&I Club		Keel to top of mast	48.45 M	
Depth (Moulded)	19.100 M		Breadth (Moulded)	32.200 M	
Parallel Body S.Draft	90.52 m		Suez GRT	31223.34	
Parallel Body Ballast	80.05 m		Suez NRT	26631.25	
MAIN ENGINE	MAN B&W 6S50ME-B9.2		NCSR Speed	15.10 KTS Loaded	
MCR	7,240KW @ 99.0 RPM		SNCR	6,082kW@93.4 RPM	
DIESEL GENERATORS	YANMAR 6EY22ALW X 970 KW		STEERING GEAR	Rotary Vane System	
Propeller Blades / Dia / Pitch	4 blades / 6.400 M / 5.2314M		Prop.Immersion 100%	6.60 mtrs	
Anchors	2 X 6.525 T STOCKLESS		Windlass	25.3T (9mtr / min)	
Anchor Chain Cables	P - 11 / S - 12 / 73mm dia		Windlass Brake cap	1796kN / 18.3 T	
Mooring Winches	16.0 T (15mtr / min)		Winch Brake Cap.	657kN / 67.0 T	
SBM chain stopper	1 X 204 MT, 76mm Tongue type		Mooring Tails	Not Applicable	
Panama Chock	600 mm x 450 mm, SWL 204 MT		Spare Mooring Ropes	4 x 60 mm x 250 mtrs Superflex	
Mooring Ropes	16No's X 60mm X 250M SUPERFLEX				
Hose Handling Crane	10T X 25m Radius		Provision Crane	SWL 3.5T X 8.0 MTR	
Cargo Pumps	12 X 600 m3/h @ 125 mlc		Ballast Pump	2 X 750m ³ /hr @ 30 mlc	
Cargo Slop Pump	2 X 300 m3/h @ 125 mlc		Hydraulic Power Pack	Elec: 2 x 825 ltr/min @ 275 bar, Diesel : 2 x 830 ltr/min @ 275 bar	
Cargo Residual Pump	1 X 100 m3/hr @ 125 mlc		Ballast Capacity	22434.7 m3	
Cargo Capacity 98% incl Slops	52927.36 m ³		SBT Capacity	44.8% OF SDWT	
Slop Tanks Total 98%	1194.06 m ³		IG Blower Capacity	EACH 4500 m ³ / hr	
Max. Loading Rate	4,500.00 m3/hr (2 Manifold Connections)		HFO Capacity 95%	1093.6 m3	
	2,500.00 m3/hr (1 Manifold Connection)		MDO/ MGO 95%	404.1 m3	
Max. Discharge Rate	3600 cu. M / hr (6 COPs)		Fresh Water 100%	325.8 m3	
Cargo Tank Coating	Phenolic Epoxy (Epicon T-800)				
Max. Loading Temp	As per Grade (Resistance List)		CARGO(Slop)-HFO-VAPOR	4.000 M - 4.000 M	
Manifolds	Each Side 14"x16" : 6 no's (1w-6w); Each Side 8" x 16" (Slop)		Stern - Manifold	91.87 M	
M'fold Center-Center	2.000 M		Bow - Manifold centre	91.13 M	
Manifold - Shipside Rail	4.600 M		Bridge - Manifold Centre	57.72 M	
Height of M'fid above Keel	21.227 M		Bridge - Stern	34.15 M	
Height of M'fid above Deck	2.100 M		Bridge - Bow	148.85 M	
Height of M'fid above Tray	0.900 M		MANOEUVERING	RPM	SPEED Loaded
	DRAFT(M)	FREEBOARD			
	extreme	From Deck	FULL	75	11.9
LIGHTSHIP	2.846	16.150	HALF	57	9.1
TROPICAL FW (TF)	13.849	5.278	SLOW	40	6.3
TROPICAL (T)	13.559	5.568	DEAD SLOW	32	5.0
FRESH WATER (F)	13.573	5.554	CARGO REDUCERS (ANSI)		
SUMMER (S)	13.283	5.844	14" x 16" = 12	14" x 8" = 4	8" x 10" = 1
WINTER (W)	13.007	6.120	14" x 12" = 6	8" x 16" = 2	8" x 8" = 1
@ SUMMER DRAFT	TPC	52.4 T	14" x 10" = 6	8" x 12" = 1	8" x 5" = 3
Maximum Summer Draft	13.283 M EXTREME		VAPOR REDUCERS (ANSI)		
			12"x12"=4 // 12"x16"=2 // 12"x10"=1 // 12"x8"=1 // 12"x6"=1		

Lampiran 7 Crewlist

1. Name of Ship HAFNIA BOBCAT			12. MO Number 9694476			13. Call Sign 9V2551		14. Voyage Number 55/4		
4. Port Of Arrival / Departure SINGAPORE			3. Date Of Arrival / Departure TBA			4. Flag State of Ship SINGAPORE		5. Call / Next Port Of Call TBA		
7. No. 8. Family Name, Given Name, Middle name	9. Rank	10. Sex	11. Nationality	12. Date and place of birth		Passport	Passport exp. Date	Seaman book	Seaman book exp.	Date and place of joined
1. JENSEN LARS JOHAN	MASTER	M	SWEDISH	19-Oct-05	ST:LARS	36731460	08-Dec-26	96589	28-Oct-31	14-Jan-2025 NINGBO, CHINA
2. TANGUL OYTUN	CHIEF OFFICER	M	TURKISH	12-Mar-90	TURKEY	U13274258	04-Oct-26	S00327428	28-May-26	14-Feb-2025 PULAU UPEH
3. CABLING MARK JOSEPH MADRID	2ND OFFICER	M	FILIPINO	06-Oct-87	CABANATUAN CITY	P19241978	11-Jun-29	C1432739	08-Feb-29	1-Oct-2024 SINGAPORE
4. DUAN DAMING	3RD OFFICER	M	CHINESE	27-Jun-98	LIAONING	EM8008009	18-Jun-34	210302199806273419	NO EXPIRY	1-Oct-2024 SINGAPORE
5. DAMAR JATI, ARYA DWIPA	DECK CADET	M	INDONESIAN	22-Aug-02	PALEMBANG	E4322390	03-Oct-33	I087573	26-Sep-26	30-Nov-2024 SINGAPORE
6. MAULANA, DIMAS AZIZ	DECK CADET	M	INDONESIAN	06-Sep-04	SAMPIT	E6367497	18-Apr-34	J039204	28-May-27	30-Nov-2024 SINGAPORE
7. GADHOK, ABHISHEK	CHIEF ENGINEER	M	INDIAN	15-Mar-81	NASIRABAD, RAJASTHAN	Z7789341	02-May-34	MUM 119734	21-Mar-28	14-Feb-2025 PULAU UPEH
8. RAJE KEDAR ARUN	2ND ENGINEER	M	INDIAN	27-May-81	MUMBAI, MAHARASHTRA	Z3883100	16-Aug-26	MUM 85510	14-Aug-34	25-Nov-2024 SINGAPORE
9. SINGH ROHIT	3RD ENGINEER	M	INDIAN	05-Jul-90	RAMABAI NAGAR, UTTAR PRA	U9907154	14-Apr-31	MUM 203188	04-Jan-32	14-Jan-2025 NINGBO, CHINA
10. LI XIURUI	4TH ENGINEER	M	CHINESE	22-Jul-00	HENAN	E3357763	13-Jan-31	410928200007226191	NO EXPIRY	15-Oct-2024 NINGBO, CHINA
11. WIJAYAWARDHANA YASIRU BHAWANTHA	ENGINE CADET	M	SRI LANKAN	27-Jun-99	COLOMBO	N9785012	10-Aug-32	C058051	05-Jul-28	14-Jan-2025 NINGBO, CHINA
12. LUZON JAYSON BAQUAL	ABLE SEAMAN	M	FILIPINO	11-Jul-85	LOAY BOHOL	P91150788	29-Feb-32	C1097592	15-Aug-27	1-Oct-2024 SINGAPORE
13. MANGASER SEIAN ARIZ	ABLE SEAMAN	M	FILIPINO	20-Mar-94	COTABATO CITY	P6073034A	16-Feb-28	C1179580	27-Feb-28	15-Jul-2024 ULSAN, SOUTH KOREA
14. NICANOR, EDU NAYAN	ABLE SEAMAN	M	FILIPINO	07-Oct-88	AGNO, PANGASINAN	P59318378	11-Dec-30	C0854546	12-Jul-26	14-Feb-2025 PULAU UPEH
15. PINGUET, EMMANUEL B OLAMBOT	ABLE SEAMAN	M	FILIPINO	09-Sep-89	AGUSAN DEL NORTE	P6035502B	04-Jan-31	C0762867	27-Jul-26	14-Feb-2025 PULAU UPEH
16. LADRIDO, KARL JYSTHER DELA CRUZ	ORDINARY SEAMAN	M	FILIPINO	02-Jun-97	ESPERANZA, SULTAN KUDARAT	P4772353B	10-Feb-30	A0060345	10-Mar-30	14-Feb-2025 PULAU UPEH
17. VICENTE ELTHON JHON SAYAGO	ORDINARY SEAMAN	M	FILIPINO	22-Feb-99	MAILOS BULACAN	P9839286B	28-Apr-32	C1351515	14-May-29	1-Oct-2024 SINGAPORE
18. CONDESA ROLAN DENGAL	ENGINE FITTER	M	FILIPINO	24-Nov-77	BATARAZA PALAWAN	P6239256A	29-Feb-28	C1314756	13-Jul-28	25-Nov-2024 SINGAPORE
19. SERASPE EUGENIO IWAG	OILER	M	FILIPINO	30-May-68	ECHAGUE ISABELA	P5623419B	11-Oct-30	A0108016	10-Dec-30	15-Jul-2024 ULSAN, SOUTH KOREA
20. TABORNAL NORIEL CRUZ	WIPER	M	FILIPINO	17-Jan-94	PASAY CITY	P5723927B	04-Nov-30	A0073958	18-Sep-30	1-Oct-2024 SINGAPORE
21. CABASA, RAMON BENADERA	CHIEF COOK	M	FILIPINO	20-Jan-74	DAVAO CITY	P5557422B	24-Sep-30	C1388027	11-Apr-29	14-Feb-2025 PULAU UPEH
22. RAYPAN ELFRENE JAY LAO	MESSMAN	M	FILIPINO	16-Aug-92	CEBU CITY	P6335527A	07-Mar-28	A0103213	11-Dec-30	1-Oct-2024 SINGAPORE

Lampiran 8 Blue Print Drone

