

**ANALISIS PENYEBAB TERJADINYA *OVERFLOW* PADA  
SAAT KEGIATAN MUAT *LPG* DI MT.GRACE V**



**HIDAYAT  
NIT. 21.41.136  
NAUTIKA**

**PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV  
PELAYARAN POLITEKNIK ILMU PELAYARAN  
MAKASSAR TAHUN 2025**

**ANALISIS PENYEBAB TERJADINYA OVERFLOW PADA  
SAAT KEGIATAN MUAT *LPG* DI *MT.GRACE V***

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk  
Menyelesaikan Program Pendidikan  
Diploma IV Pelayaran

Program Studi Nautika

Disusun dan Diajukan oleh

HIDAYAT

NIT. 21.41.136

**PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV  
PELAYARAN POLITEKNIK ILMU PELAYARAN  
MAKASSAR TAHUN 2025**

## SKRIPSI

### ANALISIS PENYEBAB TERJADINYA *OVERFLOW* PADA SAAT KEGIATAN MUAT *LPG* DI MT.GRACE V

HIDAYAT

NIT. 21.41.136

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Skripsi  
Pada tanggal 21 November 2025

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Capt. OKTAVERA SULISTIANA, M.T., M.Mar.  
NIP. 197710031998082001

NURUL FADLIANA, S.Kom., M.M  
NIP. 198507182005022002

Mengetahui:

a.n. Direktur  
Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar  
Pembantu Direktur I

Ketua Program Studi Nautika



Capt. FAISAL SARANSI, M.T., M.Mar  
NIP. 197503291999031002

SUBEHANA RACHMAN, S.A.P., M.Adm.S.D.A  
NIP. 197809082005022001

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisis Penyebab Terjadinya *Overflow* pada Saat Kegiatan Muat *LPG* di *MT. GRACE V*".

Sebagai salah satu persyaratan akademik, setiap Taruna dan Taruni pada Program Studi Nautika Diploma IV Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar diwajibkan untuk menyusun skripsi.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, terutama dalam aspek penyusunan kalimat, penggunaan bahasa, metode penulisan, serta kedalaman pembahasan materi. Oleh karena itu, penulis terbuka terhadap kritik dan saran konstruktif demi penyempurnaan skripsi ini. Ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya dengan rasa hormat dan ketulusan hati penulis sampaikan kepada:

1. Capt. Rudi Susanto, M.M.Tr, M.Mar., selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
2. Bapak Capt. Faisal Saransi, M.T., M.Mar., selaku Pembantu Direktur I.
3. Ibu Subehana Rachman, S.A.P., M.Adm.S.D.A., selaku Ketua Jurusan Nautika Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
4. Capt. Oktavera Sulistiana, M.T., M.Mar., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu, memberikan motivasi, dan arahan yang berkelanjutan hingga skripsi ini dapat diselesaikan.
5. Ibu Nurul Fadliana, S.Kom., M.M., selaku Dosen Pembimbing II yang telah menyisihkan waktu untuk memberikan koreksi dan saran yang konstruktif demi percepatan penyelesaian skripsi ini.
6. Segenap Civitas Akademika Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan di institusi ini.

7. Kepada kedua orang tua tercinta dan seluruh keluarga yang senantiasa memberikan doa, nasihat, motivasi, serta dukungan material maupun moral hingga penulis berhasil menyelesaikan skripsi ini.
8. Segenap kru *MT. GRACE V* dan manajemen PT. Barokah Perkasa Group atas kesempatan yang telah diberikan kepada penulis untuk melaksanakan Praktik Laut selama satu tahun.
9. Seluruh Civitas Akademika Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
10. Seluruh Taruna dan Taruni Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar, khususnya Angkatan XLII, yang telah memberikan dukungan dan semangat selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

Akhir kata, penulis menyampaikan permohonan maaf apabila terdapat kekurangan atau ketidaksesuaian dalam penulisan skripsi ini. Harapan penulis, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan menjadi referensi yang berguna bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

Makassar, 21 November 2025

  
HIDAYAT  
NIT. 21.41.136

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : Hidayat  
NIT : 21.41.136  
Program Studi : Nautika

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

### **Analisis Penyebab Terjadinya *Overflow* Pada Saat Kegiatan Muat *LPG* di MT.Grace V**

merupakan karya asli. Seluruh ide yang ada dalam skripsi ini, kecuali tema dan yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide yang saya susun sendiri.

Jika pernyataan diatas terbukti sebaliknya, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.

Makassar, 21 November 2025



HIDAYAT  
NIT. 21.41.136

## ABSTRAK

HIDAYAT 2025, “Analisis Penyebab Terjadinya *Overflow* pada Saat Kegiatan Muat *LPG* di *MT. GRACE V*” dibimbing oleh Oktavera Sulistiana dan Nurul Fadliana

Kegiatan pemuatan *Liquefied Petroleum Gas (LPG)* di atas kapal tanker merupakan proses yang memiliki risiko tinggi, terutama terkait potensi *overflow* atau melimpahnya muatan dari tangki. *Overflow* tidak hanya membahayakan keselamatan kapal dan lingkungan, tetapi juga merugikan secara ekonomis dan mencoreng reputasi perusahaan pelayaran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor penyebab *overflow* yang terjadi saat kegiatan pemuatan *LPG* di kapal *MT. GRACE V*, dengan fokus pada aspek teknis, prosedural, dan *Human Error* yang terlibat dalam kejadian tersebut.

Penelitian ini dilaksanakan di kapal *MT. GRACE V* pada saat kegiatan muat *LPG* di *Jetty Bosowa*, yang berlangsung pada tanggal 1 November 2024. Jenis penelitian adalah penelitian kualitatif dengan metode pengumpulan data melalui observasi langsung pada operasi pemuatan *LPG*, studi dokumentasi dan wawancara mendalam terhadap kru yang terlibat dalam kegiatan dinas jaga saat saat *overflow* terjadi. Pendekatan Analisis Deskriptif Kualitatif digunakan untuk menjawab tujuan penelitian dengan pertimbangan keterlibatan penulis secara langsung dalam kejadian pada latar belakang permasalahan.

Hasil analisis menunjukkan situasi saat proses *loading* berjalan tanpa indikasi visual kenaikan muatan pada sistem kontrol, hingga akhirnya terjadi limpahan dari saluran venting tangki karena adanya kerusakan peralatan sensor *Automatic Tank Gauge* dan sistem hidrolik menuju *slip tube*. Kedisiplinan petugas saja saat kegiatan bongkar muat yang merupakan bentuk kelalaian prosedural dalam pelaksanaan *SOP* juga menyumbang peran sebagai penyebab terjadinya permasalahan. Penelitian ini merekomendasikan perawatan berkala sistem pemantauan muatan, peningkatan disiplin terhadap penerapan prosedur dan verifikasi melalui *Sounding* manual secara berkala saat kegiatan bongkar muat berlangsung.

Kata kunci: *Overflow*, *LPG* tanker, *Human Error*.

## **ABSTRACT**

HIDAYAT 2025, "Analysis of the Causes of Overflow During LPG Loading Activities on MT. GRACE V" supervised by Oktavera Sulistiana and Nurul Fadliana

The loading of Liquefied Petroleum Gas (LPG) on tankers is a high-risk process, particularly related to the potential for overflow. Overflow not only endangers the safety of the ship and the environment, but also causes economic losses and tarnishes the reputation of shipping companies. This study aims to analyze the factors causing overflows during LPG loading activities on MT. GRACE V, focusing on the technical, procedural, and Human Error aspects involved in the incident.

This research was conducted on MT. GRACE V during LPG loading activities at Bosowa Jetty on November 1, 2024. The study was qualitative, with data collection methods including direct observation of LPG loading operations, documentation studies, and in-depth interviews with crew members involved in watchkeeping activities when the overflow occurred. A qualitative descriptive analysis approach was used to address the research objectives, taking into account the author's direct involvement in the events underlying the problem.

The analysis revealed a situation during the loading process, with no visual indication of a load increase in the control system. This ultimately led to an overflow from the tank venting channel due to damage to the Automatic Tank Gauge sensor and the hydraulic system leading to the slip tube. Officer discipline during loading and unloading, a form of procedural negligence in implementing standard operating procedures, also contributed to the problem. This study recommends regular maintenance of the load monitoring system, increased discipline in implementing procedures, and periodic manual Sounding verification during loading and unloading.

Keywords: Overflow, LPG tanker, Human Error.

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PRAKATA	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Karakteristik Kargo <i>LPG</i>	5
B. Klasifikasi Gas Carrier	7
C. Sistem Keamanan dan Penanganan Muatan <i>LPG</i>	9
D. <i>Overflow</i> Pada Kapal Gas	12
E. <i>ATG</i> (Automatic Tank Gauging)	21
F. Pengukuran <i>Volume</i> Tangki Cargo Liquefied Gas	27
G. <i>Automatic Hydraulic Valve</i>	31
H. Kerangka Pikir	34
BAB III METODE PENELITIAN	36
A. Jenis Penelitian	36
B. Definisi Konseptual	37
C. Teknik Pengumpulan Data	38
D. Teknik Analisis Data	39

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	41
A. Hasil Penelitian	41
B. Pembahasan	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	66
A. Kesimpulan	66
B. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	68
RIWAYAT HIDUP	73

## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
2. 1 Kerangka Pikir Penelitian	35
4. 1 Kalibrasi manual sistem <i>ATG</i>	57
4. 2 Replacement (penggantian) <i>Hyd. Valve</i>	59

## DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
4. 1 Rekapitulasi Indikasi <i>Human Error</i> dalam Kejadian <i>Overflow</i>	42
4. 2 Identifikasi Kerusakan Alat	44
4. 3 Kelalaian Prosedural dalam Proses Pemuatan	46

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

*IGC Code (International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk)* dan pedoman dari *SIGTTO (Society of International Gas Tanker and Terminal Operators)* merupakan acuan utama dalam regulasi keselamatan dan operasional kapal pengangkut *LPG*. *IGC Code* disusun oleh *IMO (International Maritime Organization)* sebagai standar internasional yang mengatur konstruksi, perlengkapan, serta prosedur keselamatan bagi kapal-kapal yang membawa gas bertekanan atau gas cair dalam jumlah besar, termasuk *LPG*. Sementara itu, *SIGTTO* menyediakan pedoman praktik terbaik (*best practices*) dalam pengoperasian kapal gas dan terminalnya, yang menekankan pada aspek keselamatan, efisiensi, dan perlindungan lingkungan. Kedua referensi ini menjadi dasar penting dalam memastikan kegiatan muat *LPG* di atas kapal dilaksanakan secara aman dan sesuai standar internasional.

Menurut *IGC Code*, *Liquefied Petroleum Gas (LPG)* adalah campuran hidrokarbon ringan yang berada dalam bentuk cairan saat disimpan di bawah tekanan atau pada suhu rendah, dan dapat diuapkan menjadi gas pada tekanan atmosfer. *LPG* umumnya terdiri dari propana, butana, atau campuran keduanya, serta memiliki sifat mudah terbakar dan sensitif terhadap perubahan suhu dan tekanan. Dalam konteks pengangkutan laut, *IGC Code* mengatur secara ketat desain kapal, sistem penyimpanan, dan prosedur penanganan *LPG* guna mencegah risiko kebakaran, ledakan, serta pencemaran lingkungan yang dapat ditimbulkan oleh bahan ini.

Kegiatan pemuatan (*loading*) muatan cair bertekanan seperti *Liquefied Petroleum Gas (LPG)* pada kapal tanker memerlukan prosedur

yang sangat ketat dan pengawasan yang cermat. Salah satu risiko utama yang dapat terjadi selama proses ini adalah *overflow* atau melimpahnya muatan dari tangki kargo. Menurut (Mangalik, 2021) dalam *Marine Cargo Operations*, *overflow* dapat terjadi akibat kegagalan sistem pemantauan *level* muatan, ketidaksesuaian prosedur pengisian, serta kurangnya komunikasi antara pihak kapal dan darat (terminal). *Overflow* tidak hanya membahayakan keselamatan kapal dan lingkungan, tetapi juga menimbulkan kerugian ekonomis serta dapat mencoreng reputasi perusahaan pelayaran.

Pada kapal tanker *LPG*, sistem pemantauan muatan umumnya berbasis komputer dan dilengkapi alarm peringatan tinggi (*high level alarm*) serta indikator visual yang terintegrasi dengan sistem kontrol pusat. Namun, apabila sistem ini mengalami malfungsi atau kesalahan kalibrasi, operator kapal dapat kehilangan kemampuan untuk mendeteksi kenaikan *level* muatan secara akurat. Oleh karena itu, praktik standar industri merekomendasikan adanya verifikasi manual oleh personel deck setiap beberapa waktu selama proses *loading* berlangsung.

*Overflow* selama proses *loading* dapat juga disebabkan oleh kegagalan komunikasi antara pihak kapal dan terminal. Dalam praktik pelayaran, sistem komunikasi yang tidak efektif, seperti ketidaksesuaian informasi antara terminal dan petugas *deck watchkeeping officer*, sering menjadi penyebab utama kegagalan deteksi dini kondisi tangki. Komunikasi yang tidak sinkron juga memperlambat tindakan korektif saat kondisi abnormal terdeteksi.

Kondisi cuaca, tekanan muatan, serta suhu lingkungan juga turut mempengaruhi *Volume* dan tekanan *LPG* dalam tangki. *LPG* yang berada dalam keadaan cair pada tekanan tertentu bisa mengalami ekspansi akibat perubahan suhu. Dalam kasus tertentu, kenaikan suhu selama *loading* dapat mempercepat peningkatan *Volume* cairan *LPG*, sehingga memperpendek waktu penuh tangki. Inilah sebabnya prosedur

pemuatan harus mempertimbangkan aspek termal dan operasional secara bersamaan.

Pada tanggal 01 November 2024, di kapal *MT. GRACE V*, telah terjadi *overflow* saat kegiatan pemuatan *LPG* di *Jetty Bosowa*. Proses *loading* dimulai seperti biasa dengan estimasi waktu pengisian sekitar 9 jam. Namun, hingga waktu tersebut tercapai, indikator pada sistem komputer tidak menunjukkan adanya kenaikan signifikan pada *level* muatan. Hal ini menimbulkan kecurigaan dari petugas jaga.

Karena tidak ada perubahan *level* yang terdeteksi secara elektronik, maka dilakukan pengecekan manual langsung ke tangki kargo. Hasil pengecekan menunjukkan bahwa muatan telah melebihi kapasitas tangki, dan sebagian *LPG* mulai keluar dari saluran venting. Kondisi ini menandakan telah terjadinya *overflow*, yang dapat membahayakan keselamatan kapal dan lingkungan sekitar *Jetty*.

Oleh karena itulah, penulis tertarik untuk meneliti lebih lanjut dengan judul: Analisis Penyebab Terjadinya *Overflow* ada Saat Kegiatan Muat *LPG* di *MT. GRACE V* Penelitian ini dilakukan berdasarkan pengalaman langsung penulis selama berlayar sebagai Cadet di kapal tersebut selama 1 tahun. Kasus ini menjadi penting untuk dianalisis guna mengidentifikasi faktor-faktor teknis dan non-teknis yang menyebabkan *overflow*, sehingga dapat dirumuskan langkah-langkah perbaikan dan pencegahan di masa mendatang.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah apa saja faktor yang menyebabkan terjadinya *overflow* saat kegiatan muat *LPG* di kapal *MT. GRACE V*?

### **C. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran serta analisis yang mendalam mengenai kejadian *overflow* selama kegiatan muat *LPG* di kapal *MT. GRACE V*, dengan fokus menganalisis faktor-faktor penyebab terjadinya *overflow* saat kegiatan pemuatan *LPG* di kapal *MT. GRACE V*.

### **D. Manfaat Penelitian**

Beberapa manfaat yang dapat di berikan dalam penelitian ini adalah:

1. Manfaat Teoritis
  - a. Menambah referensi ilmiah di bidang nautika terkait faktor penyebab *overflow* pada kapal tanker *LPG*.
  - b. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan studi kasus pada sistem pemuatan *LPG*.
2. Manfaat Praktis
  - a. Memberikan masukan kepada awak kapal dan perusahaan pelayaran untuk mencegah *overflow* saat *loading LPG*.
  - b. Menjadi bahan evaluasi kru kapal dan terminal untuk mencegah kejadian *overflow* berdasarkan faktor penyebab yang di analisis.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Karakteristik Kargo LPG**

Berdasarkan LGHP 3 *SIGTTO (Chapter 2 – Properties of Liquefied Gases)* dan EBOOK Dasar Manajemen Kapal Tanker – Kundori *Liquefied Petroleum Gas (LPG)* merupakan istilah umum yang digunakan untuk menyebut campuran hidrokarbon ringan, terutama terdiri dari *propane* ( $C_3H_8$ ) dan butane ( $C_4H_{10}$ ), atau campuran dari keduanya. *LPG* diperoleh dari dua sumber utama, yaitu sebagai hasil sampingan dari proses pemurnian minyak bumi (*refinery*) dan dari pemisahan fraksi gas alam dalam unit pemrosesan gas (*natural gas processing (L. 4th SIGTTO, 2020)*).

Dalam kondisi standar lingkungan, *LPG* berbentuk gas. Namun, *LPG* dapat disimpan dan diangkut dalam bentuk cair melalui proses pencairan dengan pemberian tekanan sedang pada suhu sekitar lingkungan. Umumnya, *LPG* disimpan pada tekanan di bawah 1,5 MPa (megapascal) agar tetap dalam fase cair dan memudahkan proses transportasi serta pemuatan di kapal tanker.

*LPG* memiliki nilai guna yang sangat luas, antara lain sebagai bahan bakar dalam pembangkit tenaga listrik, proses industri seperti pemotongan logam dan pembakaran, bahan bakar rumah tangga untuk memasak dan pemanas, serta bahan baku utama dalam industri petrokimia. Oleh karena itu, kebutuhan akan transportasi *LPG* lintas wilayah melalui kapal tanker semakin meningkat, seiring dengan tingginya permintaan energi di berbagai sektor.

Menurut (*International Maritime Organization (IMO) IMDG Code Volume 1 (2022 Edition)*), *LPG* termasuk dalam *Class 2 – Gases*, yaitu:

1. Subclass 2.1 : *Flammable gases* (contoh: *UN 1075 – Propane*)
2. Subclass 2.2 : *Non-flammable, non-toxic gases*

3. Subclass 2.3 : Toxic gases (tergantung kontaminasi)

Setiap muatan harus dilengkapi dengan:

- a. Label Class 2 sesuai sifat bahayanya
- b. *Dokumen Dangerous Goods Declaration*
- c. Panduan respons darurat (*Emergency Schedule – EmS dan MFAG*)

Adapun karakteristik utama *LPG* yang perlu diperhatikan dalam konteks operasional di kapal tanker, khususnya dalam kegiatan pemuatan (*loading*), meliputi hal-hal sebagai berikut:

- 1) Mudah menguap. *LPG* memiliki titik didih yang rendah sehingga mudah berubah dari bentuk cair menjadi gas jika terjadi penurunan tekanan atau kenaikan suhu.
- 2) Rentan terhadap ekspansi akibat perubahan suhu. *Volume LPG* dalam tangki sangat sensitif terhadap fluktuasi suhu, yang dapat menyebabkan peningkatan tekanan internal atau bahkan *overflow* jika tidak dikontrol dengan baik.
- 3) Memiliki tekanan uap yang tinggi. Tekanan uap *LPG* jauh lebih tinggi dibandingkan dengan muatan cair lainnya, sehingga memerlukan sistem penyimpanan dan pengisian dengan kontrol tekanan yang akurat.
- 4) Sangat mudah terbakar. *LPG* bersifat sangat mudah terbakar, dan uapnya dapat membentuk campuran eksplosif di udara dalam konsentrasi tertentu, sehingga potensi bahaya kebakaran atau ledakan sangat tinggi.

Karakteristik-karakteristik di atas menjadikan *LPG* sebagai muatan berisiko tinggi yang memerlukan penanganan khusus. Dalam proses pemuatan di kapal tanker, diperlukan sistem *monitoring*, pengendalian suhu dan tekanan, serta komunikasi yang efektif antar pihak terkait untuk menghindari terjadinya kecelakaan seperti *overflow*, kebocoran, atau kebakaran.

## B. Klasifikasi Gas Carrier

Kapal pengangkut *LPG* dikenal sebagai *gas carrier*, yaitu kapal khusus yang dirancang untuk mengangkut gas cair seperti *LPG (Liquefied Petroleum Gas)*, *LNG (Liquefied Natural Gas)*, dan gas kimia lainnya dalam jumlah besar.

Berdasarkan *IGC Code (2016) (International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk)*, kapal gas carrier diklasifikasikan berdasarkan tingkat bahaya muatan dan desain tangki. Tujuan klasifikasi ini adalah untuk memastikan keselamatan operasi dan mencegah risiko ledakan, kebocoran, atau *overflow* selama pelayaran maupun saat proses muat/bongkar.

Karena sifat gas cair yang mudah menguap, mudah terbakar, serta berpotensi membahayakan lingkungan dan keselamatan awak kapal, maka kapal gas carrier harus memenuhi standar desain dan keselamatan yang tinggi. Berdasarkan standar internasional seperti yang dikeluarkan oleh *International Maritime Organization (IMO)*, serta panduan dari *Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals*, gas carrier diklasifikasikan berdasarkan teknologi dan metode penyimpanan gas dalam tangki muatan. Klasifikasi ini juga mempertimbangkan sistem pengendalian suhu dan tekanan, yang menjadi faktor krusial dalam menjaga stabilitas muatan selama pelayaran.

Adapun tiga jenis utama gas carrier berdasarkan sistem penyimpanan dan pengangkutannya adalah sebagai berikut (*L. 4th SIGTTO, 2020*):

### 1. *Fully pressurised Gas Carrier*

Kapal *fully pressurised* merupakan tipe gas carrier paling sederhana dan ekonomis. Pada kapal ini, muatan disimpan dalam tangki baja silindris atau bola bertekanan tinggi, biasanya dalam rentang tekanan sekitar 17 bar pada suhu lingkungan (*ambient temperature*). Desain tangki pada kapal jenis ini tidak memerlukan

sistem pendingin, sehingga konstruksi dan operasinya lebih mudah dibanding jenis lainnya.

Kapasitas tangki pada kapal *fully pressurised* umumnya kecil, berkisar antara 500 hingga 11.000 meter kubik, sehingga kapal ini sangat ideal untuk distribusi *LPG* dalam skala kecil maupun menengah, seperti antar pulau, pelabuhan domestik, atau wilayah yang tidak memiliki infrastruktur terminal pendingin. Karena tidak memiliki sistem *reliquefaction* atau pendinginan, *boil-off gas* (gas yang menguap dari permukaan muatan) harus ditangani secara hati-hati untuk mencegah tekanan berlebih di dalam tangki.

## 2. *Semi-Refrigerated (Semi-Pressurised) Gas Carrier*

Kapal semi-refrigerated adalah tipe gas carrier yang dirancang dengan kombinasi sistem tekanan menengah dan pendinginan parsial, sehingga mampu mengangkut gas cair dalam kondisi suhu rendah dan tekanan sedang (sekitar 5–9 bar). Tangki muatan pada kapal ini biasanya berbentuk silindris-horizontal dan terbuat dari baja tahan rendah suhu.

Kelebihan utama kapal semi-refrigerated adalah fleksibilitasnya dalam mengakomodasi berbagai kondisi pemuatan dan pembongkaran, termasuk terminal-terminal yang memiliki keterbatasan fasilitas pendingin. Jenis ini banyak digunakan dalam pengangkutan *LPG* dan amonia ( $\text{NH}_3$ ) dalam skala regional hingga internasional dengan jarak sedang. Kapal ini juga biasanya dilengkapi sistem *reliquefaction* untuk mengembalikan *boil-off gas* ke bentuk cair, sehingga efisiensi pengangkutan dan keselamatan muatan dapat lebih terjamin.

## 3. *Fully refrigerated Gas Carrier*

Kapal *fully refrigerated* dirancang untuk mengangkut gas cair pada suhu sangat rendah, umumnya sekitar  $-48^\circ\text{C}$  hingga  $-104^\circ\text{C}$ , dalam tekanan mendekati atmosferik. Tangki penyimpanan pada kapal ini bersifat independen dan terisolasi, biasanya berbentuk

prisma atau membran, yang memungkinkan pengangkutan dalam skala besar dengan *Volume* muatan mencapai hingga 80.000 meter kubik atau lebih.

Jenis kapal ini lazim digunakan dalam perdagangan internasional untuk ekspor besar-besaran gas seperti *LPG*, etana, dan amonia. Karena teknologi dan kapasitasnya yang tinggi, kapal *fully refrigerated* dilengkapi dengan sistem pendinginan yang kompleks, termasuk sistem *reliquefaction*, insulasi termal tingkat tinggi, dan sistem kontrol otomatis untuk memantau suhu serta tekanan dalam tangki.

### **C. Sistem Keamanan dan Penanganan Muatan *LPG***

Operasi pemuatan dan pengangkutan *Liquefied Petroleum Gas (LPG)* memerlukan sistem keamanan yang sangat ketat karena sifat muatan yang mudah terbakar, berat jenis lebih besar dari udara, serta risiko tinggi terhadap ledakan dan polusi lingkungan.

Sesuai dengan *LGHP 3 SIGTTO – Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals*, (*International Maritime Organization (IMO)*, *IMDG Code Volume 1* Edisi (2022) , dan *EBOOK Dasar Manajemen Kapal Tanker – Kundori (2020)* , prosedur penanganan *LPG* harus mengacu pada prinsip keselamatan operasional yang melibatkan manusia, peralatan dan sistem prosedural.

Penanganan *Liquefied Petroleum Gas (LPG)* di kapal tanker merupakan proses yang sangat kritis dan kompleks karena sifat fisik dan kimiawi *LPG* yang sangat mudah menguap, mudah terbakar, serta berpotensi meledak jika terjadi kebocoran atau campuran dengan udara dalam rasio tertentu. Oleh karena itu, setiap tahap dalam proses penanganan muatan mulai dari pemuatan (*loading*), penyimpanan selama pelayaran (*in-transit storage*), hingga pembongkaran C harus dilakukan dengan sistem keamanan berstandar tinggi untuk mencegah terjadinya insiden berbahaya (*A. R. SIGTTO, 2020*).

Dalam praktik di atas kapal, pemuatan *LPG* dilakukan menggunakan sistem tertutup (*closed loading system*) yang menjaga agar sistem penyimpanan tidak terpapar langsung dengan atmosfer luar. Sistem ini mempertahankan tekanan positif dalam tangki, artinya tekanan di dalam tangki selalu dijaga lebih tinggi dari tekanan atmosfer. Tujuannya adalah untuk mencegah masuknya udara ke dalam tangki, yang jika bercampur dengan uap gas dapat membentuk campuran eksplosif (*explosive atmosphere*). Dengan sistem ini, potensi kebakaran atau ledakan akibat interaksi *LPG* dan oksigen dari udara luar dapat dicegah secara efektif.

Agar sistem penanganan *LPG* ini dapat berfungsi dengan aman dan efisien, kapal tanker *LPG* dilengkapi dengan berbagai fitur keselamatan teknis sebagai berikut:

#### 1. Tangki dan Pipa Tahan Tekanan

Tangki penyimpanan muatan serta sistem perpipaan dirancang khusus agar mampu menahan tekanan internal tinggi dan suhu rendah. Material yang digunakan umumnya adalah baja karbon bermutu tinggi atau baja paduan yang memiliki sifat ketahanan terhadap suhu kriogenik serta kekuatan mekanik tinggi, sehingga mampu menghindari risiko retak getas (*brittle fracture*) dan kerusakan akibat tekanan berlebih.

Tangki juga dirancang sesuai dengan jenis kapal *LPG*-nya. Misalnya, pada kapal *fully pressurised*, tangki bersifat silindris dan sepenuhnya tertutup, sementara pada kapal *fully refrigerated*, tangki bisa berbentuk prisma dan dilengkapi sistem insulasi tebal untuk menjaga suhu rendah muatan.

#### 2. Sistem Pengukuran *Level* Muatan (*Level Gauge System*)

Untuk memastikan keamanan selama pemuatan dan pelayaran, kapal *LPG* dilengkapi dengan sistem pengukuran *level* muatan secara real-time. Sistem ini biasa dikenal dengan istilah *Closed Tank Monitoring System (CTMS)*, yaitu sistem pemantauan yang bekerja

tanpa harus membuka tangki. Sensor *level* ini memungkinkan operator memantau ketinggian muatan cair dalam tangki dengan akurasi tinggi.

*CTMS* sangat penting karena *LPG* adalah zat yang sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan tekanan. Dengan data *level* muatan yang akurat, awak kapal dapat menghitung ullage (jarak kosong antara permukaan cairan dengan atap tangki) secara tepat dan menjaga agar tangki tidak melebihi kapasitas maksimum.

### 3. Alarm Tinggi (*High-Level Alarm*)

Salah satu perangkat keselamatan penting dalam sistem pemuatan *LPG* adalah *high-level alarm*, yaitu alarm otomatis yang akan berbunyi apabila ketinggian muatan mendekati batas maksimum tangki. Sistem ini biasanya memiliki dua *level* peringatan:

- a. *High Level Alarm (HLA)*: Peringatan awal untuk menunjukkan bahwa tangki hampir penuh.
- b. *High High Level Alarm (HHLA)*: Peringatan kritis yang mengharuskan penghentian segera pemuatan untuk mencegah *overflow*.

Alarm ini terhubung dengan sistem kendali otomatis sehingga operator dapat langsung mengambil tindakan sebelum terjadi kondisi darurat.

### 4. Prosedur *Shut Down* Darurat (*Emergency Shut Down System / ESD*)

Kapal *LPG* dilengkapi dengan *Emergency Shut Down System (ESD)* yang dirancang untuk menghentikan proses pemindahan muatan secara otomatis dan cepat apabila terdeteksi kondisi tidak normal, seperti lonjakan tekanan mendadak, kebocoran, atau *level* muatan berlebih. Sistem ini terintegrasi dengan sensor tekanan, suhu, dan *level* cairan, serta dapat diaktifkan secara manual oleh operator dari ruang kendali (*cargo control room*) atau langsung dari *manifold deck*.

Sistem *ESD* ini adalah lapisan perlindungan terakhir (*last line of defense*) terhadap potensi kecelakaan besar selama proses pemuatan dan pembongkaran.

#### 5. Sistem *Reliquefaction* dan Pengendalian *Boil-off gas*

Suhu rendah muatan *LPG* dapat menyebabkan sebagian muatan menguap, membentuk gas yang dikenal sebagai *boil-off gas*. Pada kapal dengan tangki bertekanan tinggi, *boil-off gas* biasanya tetap berada dalam sistem karena tangki mampu menahan tekanan. Namun, pada kapal semi-*refrigerated* dan *fully refrigerated*, diperlukan sistem *reliquefaction* yang berfungsi mengembalikan gas hasil penguapan menjadi bentuk cair kembali dan dikembalikan ke dalam tangki.

Selain mencegah hilangnya muatan, sistem *reliquefaction* juga berperan penting dalam menstabilkan tekanan internal tangki, sehingga menghindari kenaikan tekanan yang berlebihan dan berpotensi membahayakan.

### D. **Overflow Pada Kapal Gas**

*Overflow* dalam konteks pemuatan muatan gas cair seperti *Liquefied Petroleum Gas (LPG)* di kapal tanker gas merupakan kondisi kritis di mana *Volume* muatan yang dipompa ke dalam tangki melampaui kapasitas maksimum tangki tersebut. *Overflow* dapat terjadi baik dalam bentuk cair maupun uap, dan umumnya merupakan hasil dari kegagalan sistem *monitoring*, kesalahan operasional, atau malfungsi alat pengaman seperti alarm tingkat tinggi dan sistem proteksi otomatis (*SIGTTO, 2022; IGC Code, 2016*). Dalam praktiknya, *overflow* bukan hanya menandakan kesalahan teknis, tetapi juga mencerminkan kegagalan dalam aspek manajemen keselamatan operasi kapal gas.

Situasi *overflow* sangat berbahaya karena *LPG* memiliki karakteristik fisik dan kimia yang sangat mudah terbakar serta volatil. *LPG* dalam bentuk cair memiliki tekanan uap yang tinggi, sehingga jika

tumpah, ia akan dengan cepat berubah menjadi gas dan membentuk awan uap yang mudah terbakar di udara terbuka. Bila konsentrasi gas *LPG* yang tumpah berada dalam rentang mudah terbakar (*flammable range*), yakni antara 2% hingga 9% *Volume* di udara, maka cukup dengan adanya sumber panas kecil, seperti percikan listrik atau gesekan mekanis, dapat memicu ledakan hebat (Kundori, 2010). Oleh karena itu, *overflow* berpotensi menyebabkan kecelakaan besar, baik dalam bentuk ledakan maupun kebakaran masif yang sulit dikendalikan.

Selain itu, tumpahan *LPG* cair yang jatuh ke laut juga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan laut yang serius. *LPG* sebagai senyawa hidrokarbon dapat mencemari air laut dan berdampak langsung terhadap ekosistem perairan, termasuk kematian organisme laut serta kerusakan rantai makanan laut. Hal ini dapat menimbulkan konsekuensi hukum dan ekonomi terhadap perusahaan pelayaran maupun pelabuhan yang terlibat (Bintang Dwi Prayogo et al., 2018).

Secara struktural, *overflow* juga bisa menimbulkan kerusakan fisik pada kapal. Ketika tangki menerima muatan melebihi kapasitasnya, tekanan internal meningkat secara drastis. Tekanan berlebih ini dapat merusak bagian dinding tangki, katup-katup pengaman, dan bahkan menyebabkan retakan struktural yang membahayakan stabilitas kapal. Kerusakan semacam ini tidak hanya merugikan secara materi, tetapi juga berpotensi menghentikan operasi kapal untuk jangka waktu yang lama karena harus melalui proses perbaikan dan inspeksi keselamatan tambahan (Sanda, 2020).

Dari sisi keselamatan manusia, *overflow* menimbulkan ancaman langsung terhadap jiwa awak kapal dan petugas pelabuhan. Jika tumpahan *LPG* terjadi dan terjadi ledakan, tidak hanya properti yang akan rusak, tetapi juga nyawa dapat terancam. Bahkan dalam kondisi tanpa ledakan, terpapar uap *LPG* dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan asfiksia atau gangguan sistem pernapasan, terutama dalam ruang tertutup atau area ventilasi buruk.

Dengan demikian, *overflow* merupakan salah satu kondisi darurat yang sangat penting untuk dicegah dalam kegiatan pemuatan *LPG* di kapal tanker gas. Pencegahan dan mitigasi risiko *overflow* menjadi bagian *integral* dari sistem manajemen keselamatan (*Safety Management System*) yang diatur dalam berbagai regulasi internasional seperti *International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code)* serta panduan praktis dari *Society of International Gas Tanker and Terminal Operators (L. 3rd SIGTTO & White, 2000)*.

#### 1. Penyebab *Overflow*

*Overflow* pada saat pemuatan *LPG* di kapal tanker merupakan kejadian yang sangat berisiko dan dapat menyebabkan kerugian dalam berbagai aspek, mulai dari kerusakan fasilitas hingga ancaman serius terhadap keselamatan jiwa dan lingkungan. *Overflow* tidak terjadi karena satu penyebab tunggal, melainkan akibat dari interaksi kompleks antara berbagai faktor. Secara umum, faktor-faktor tersebut dapat dikelompokkan ke dalam empat kategori utama: kesalahan manusia (*Human Error*), kerusakan sistem instrumentasi, kesalahan prosedural, dan faktor lingkungan (IMO, 2016).

*Overflow* dapat terjadi karena satu atau kombinasi dari beberapa faktor berikut:

##### a. Faktor Manusia (*Human Error*)

Kesalahan manusia adalah penyebab paling dominan dalam insiden *overflow*, sebagaimana tercatat dalam berbagai laporan investigasi kecelakaan laut. Kesalahan manusia bisa terjadi karena kelalaian, kurangnya kompetensi, kelelahan, tekanan kerja, maupun kegagalan dalam komunikasi. Dalam konteks pengoperasian sistem muatan *LPG*, bentuk-bentuk *Human Error* yang kerap terjadi antara lain:

1) Kegagalan Memantau *Level*/Muatan secara Berkala

Operator sering kali lalai dalam melaksanakan pemantauan *level* muatan *LPG* selama proses *loading*. Ketika indikator *level* tidak dipantau secara rutin dan cermat, kemungkinan besar terjadi keterlambatan dalam menghentikan aliran muatan ketika sudah mendekati kapasitas maksimum. Kondisi ini diperparah jika operator tidak memahami karakteristik ekspansi *LPG* dalam perubahan suhu dan tekanan.

2) Kurangnya Fokus saat Mengamati Alarm dan Indikator Visual

Beberapa insiden menunjukkan bahwa operator tidak segera bereaksi ketika alarm batas atas berbunyi atau ketika visual indikator menunjukkan tanda bahaya. Hal ini bisa disebabkan oleh kelelahan, gangguan lingkungan kerja, atau minimnya pemahaman terhadap arti sinyal tersebut. Padahal, alarm dan indikator berfungsi sebagai sistem peringatan dini untuk mencegah *overflow*.

3) Kelalaian dalam Menjalankan Prosedur Tetap (*Standard Operating Procedure*)

Banyak operator yang tidak sepenuhnya mengikuti *SOP* dalam pemuatan *LPG*. Beberapa di antaranya melewatkan tahapan verifikasi alat ukur, tidak melaksanakan pengecekan *pra-loading* bersama terminal, atau bahkan mengabaikan komunikasi dua arah dengan terminal selama proses berlangsung. Padahal, *SOP* dirancang untuk mengendalikan risiko *overflow* secara sistematis.

4) Kurangnya Pelatihan dan Sertifikasi yang Memadai

Awak kapal atau operator yang belum mendapatkan pelatihan khusus terkait penanganan muatan gas cair sangat rentan melakukan kesalahan. *LPG* memiliki karakteristik teknis dan kimia yang berbeda dengan muatan cair biasa, sehingga dibutuhkan keahlian dan pemahaman yang spesifik. Sertifikasi

seperti "*Basic Training for Liquefied Gas Tanker Cargo Operations*" seharusnya menjadi syarat mutlak bagi personel yang bertugas menangani muatan tersebut.

5) Kegagalan dalam Mengelola Komunikasi Internal dan Eksternal

Komunikasi yang tidak efektif antara personel di ruang muat, anjungan, dan pihak terminal dapat memicu terjadinya miskomunikasi. Misalnya, perintah untuk menghentikan aliran muatan tidak sampai ke pihak terminal tepat waktu, sehingga muatan tetap mengalir meskipun tangki sudah hampir penuh.

6) Kondisi Psikologis dan Fisik yang Tidak Prima

Kelelahan akibat jam kerja panjang, tekanan kerja yang tinggi, atau gangguan kesehatan mental juga menjadi faktor yang tidak bisa diabaikan. Kondisi ini dapat menurunkan kewaspadaan operator dan mengurangi ketepatan pengambilan keputusan, terutama dalam situasi kritis seperti saat tangki hampir penuh.

Dalam insiden yang terjadi di kapal MT. Gas Nuri Arioza, *overflow* terjadi karena operator lalai dalam memantau sistem indikator muatan. Alarm batas atas sebenarnya sudah berbunyi, namun tidak direspons dengan tindakan penghentian aliran. Selain itu, komunikasi dengan petugas terminal tidak berjalan efektif, sehingga terjadi keterlambatan dalam pengendalian aliran *LPG* (Sanda, 2020). Kasus ini menggambarkan bagaimana kombinasi beberapa bentuk kesalahan manusia dapat menyebabkan kegagalan total dalam pengendalian pemuatan.

b. Faktor Teknis

Sistem instrumentasi berperan penting dalam memastikan proses pemuatan *LPG* berjalan aman dan terkendali. Instrumen seperti *level gauge*, alarm batas tinggi (*High-Level Alarm*), dan *Automatic Overflow Protection System (AOPS)* adalah perangkat vital dalam mendeteksi dan mencegah terjadinya *overflow*. Namun,

kerusakan atau ketidaksesuaian sistem ini sangat berpotensi menyebabkan kegagalan kontrol.

1) *Level Gauge* Tidak Akurat atau Tidak Berfungsi

*Level gauge* adalah alat utama untuk memantau tinggi permukaan *LPG* dalam tangki. Jika alat ini mengalami kerusakan, tidak terkalibrasi dengan benar, atau bahkan mati total, maka informasi mengenai kapasitas muatan menjadi tidak valid. Akibatnya, operator tidak dapat mengetahui secara pasti kapan harus menghentikan pemuatan.

2) *High-Level Alarm* Tidak Aktif atau Rusak

*High-level alarm* berfungsi sebagai sistem peringatan dini yang memberi sinyal kepada operator ketika muatan mendekati batas maksimum. Kerusakan pada sistem alarm, baik karena gangguan listrik, korosi kabel, maupun kesalahan teknis lainnya, akan membuat operator kehilangan kesempatan penting untuk bertindak sebelum *overflow* terjadi.

3) Sistem Kalibrasi Instrumen Tidak Diperbarui Sesuai Jadwal

Instrumen-instrumen ini membutuhkan kalibrasi rutin agar hasil pengukurannya tetap akurat. Ketika jadwal kalibrasi terlewat atau dilakukan secara tidak benar, maka seluruh sistem pemantauan menjadi tidak dapat diandalkan. Hal ini meningkatkan risiko kesalahan estimasi terhadap *Volume LPG* dalam tangki.

4) Kegagalan Sistem *AOPS (Automatic Overflow Protection System)*

*AOPS* merupakan perangkat otomatis yang dapat menghentikan aliran *LPG* secara langsung jika *level* muatan melewati batas aman. Ketika sistem ini tidak bekerja karena kesalahan konfigurasi atau gangguan teknis, maka satu-satunya pengaman terakhir terhadap *overflow* menjadi tidak efektif.

*IGC Code 2016* menyatakan bahwa setiap kapal tanker gas wajib dilengkapi dengan sistem pemantauan *level* dan alarm yang sesuai standar internasional. *SIGTTO LGHP 3<sup>rd</sup> Edition (2000)* juga menekankan pentingnya perawatan berkala sistem pengaman untuk mencegah kecelakaan yang disebabkan oleh kelalaian teknis.

c. Faktor Prosedural

Prosedur operasi standar atau *Standard Operating Procedure (SOP)* dalam pemuatan *LPG* dirancang untuk meminimalkan risiko. Namun, sering kali *SOP* tidak dijalankan secara konsisten di lapangan. Ketidapatuhan terhadap prosedur kerja menjadi salah satu penyebab umum terjadinya *overflow*.

1) *Ship/Shore Safety Checklist* Tidak Dilakukan dengan Benar

Sebelum proses pemuatan dimulai, kru kapal dan petugas terminal seharusnya menyepakati dan menandatangani daftar periksa keselamatan bersama (*Ship/Shore Safety Checklist*). Jika checklist ini hanya dilakukan secara formalitas tanpa verifikasi nyata terhadap kesiapan alat, komunikasi, dan prosedur darurat, maka potensi kesalahan akan semakin besar.

2) Kurangnya Koordinasi Antara Kru Kapal dan Petugas Terminal

Keberhasilan pemuatan *LPG* sangat tergantung pada komunikasi dua arah yang jelas. Kesalahan informasi, keterlambatan penyampaian perintah berhenti memuat, atau tidak adanya orang yang bertanggung jawab dalam komunikasi bisa berakibat fatal, terutama ketika muatan sudah mendekati batas maksimum.

3) Alarm dan Indikator Visual Diabaikan atau Tidak Dikenali

Dalam beberapa kasus, indikator batas tinggi sudah menunjukkan tanda bahaya, tetapi operator gagal mengidentifikasi urgensinya atau bahkan menganggap bahwa sinyal tersebut merupakan false alarm. Hal ini menunjukkan

pentingnya pelatihan teknis terhadap awak kapal dalam mengenali sistem alarm dan indikator dengan baik.

#### 4) Tidak Adanya Simulasi dan Latihan Penanganan Keadaan Darurat *Overflow*

Kurangnya latihan rutin mengenai tindakan darurat *overflow* menyebabkan kru tidak siap dalam mengambil langkah cepat jika terjadi situasi kritis. Tanpa latihan simulasi, tanggapan terhadap kondisi berbahaya menjadi lambat dan tidak terkoordinasi.

Kundori (2010) menekankan pentingnya konsistensi dalam pelaksanaan *SOP* pada kapal tanker, termasuk pelatihan rutin, *audit internal*, serta pelaporan kejadian dekat celaka (*near-miss*) untuk menghindari terulangnya insiden serupa.

#### 2. Batasan Pengisian (*Loading Limit*) sebagai Pencegahan *Overflow*

Untuk mencegah *overflow*, *International Maritime Organization (IMO)* melalui *IGC Code (International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk)* menetapkan *loading limit (LL)* atau batas maksimum *Volume* cairan yang boleh dimasukkan ke dalam tangki.

*Loading limit* dinyatakan sebagai persentase dari *Volume* geometrik total tangki, dengan mempertimbangkan kemungkinan ekspansi cairan selama pelayaran akibat suhu lingkungan yang berubah (*L. 4th SIGTTO, 2020*).

#### 3. Peran Sistem Pengukuran dan Alarm

Agar *overflow* dapat dicegah, kapal gas cair dilengkapi berbagai perangkat untuk pemantauan dan pengendalian *level* muatan, antara lain:

##### a. *Level Gauge*

Beberapa jenis alat ukur digunakan:

1) *Float Gauge*

Menggunakan pelampung untuk mengukur ketinggian cairan.

2) *Radar Level Measurement*

Menggunakan gelombang radar non-kontak.

3) *Capacitance Gauge*

Mengukur perubahan kapasitansi akibat perubahan *level*.

b. *High Level Alarm*

Memberikan peringatan pertama bahwa muatan mendekati batas maksimum. Alarm ini menjadi sinyal bagi operator untuk memperlambat atau menghentikan pemuatan.

c. *High-High Level Alarm dan Emergency Shut Down (ESD)*

Jika *level* masih naik, sistem ini akan otomatis menghentikan proses *loading* untuk mencegah luapan. Fitur ini menjadi garis pertahanan terakhir (*last line of defense*) terhadap potensi *overflow*.

Seluruh sistem ini wajib dikalibrasi secara berkala, diuji (*test*) sebelum dan selama operasi, dan diperiksa secara visual serta elektronik guna menjamin keandalan data.

4. Dampak dan Risiko *Overflow*

*Overflow* muatan *LPG* atau *LNG* dapat menimbulkan konsekuensi yang sangat berbahaya, meliputi:

- a. Pelepasan gas bertekanan tinggi yang membentuk awan uap yang mudah terbakar (*flammable vapor cloud*).
- b. Risiko *BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)* jika tangki pecah akibat tekanan dan panas.
- c. Kerusakan lingkungan akibat kontaminasi laut dan udara.
- d. Ancaman keselamatan bagi awak kapal, pekerja terminal, dan kapal di sekitar.
- e. Potensi gangguan operasi pelabuhan dan sanksi hukum dari otoritas maritim atau lingkungan.

## 5. Langkah Pencegahan *Overflow*

Untuk menjamin keamanan muatan dan mencegah terjadinya *overflow*, beberapa langkah preventif yang wajib diterapkan adalah:

- a. Penetapan *loading limit* secara tepat sesuai *IGC Code* dan hasil perhitungan termal.
- b. Kalibrasi berkala dan pengujian sistem pengukuran serta alarm.
- c. Penerapan prosedur pemuatan yang ketat, termasuk *check list*, komunikasi antar pos, dan pemantauan berlapis.
- d. Koreksi terhadap trim, list, tekanan, dan suhu saat menghitung *Volume* muatan (gunakan *tank calibration tables*).
- e. Simulasi dan perencanaan muat (*cargo planning*) sebelum operasi dimulai, termasuk estimasi ekspansi termal berdasarkan data pelayaran.
- f. Pelatihan kru secara rutin untuk mengenali dan merespon potensi *overflow* dan kegagalan sistem.

*Overflow* merupakan kondisi abnormal yang harus dicegah dengan pendekatan teknis dan operasional yang disiplin. Keberadaan sistem pengukuran *level* yang andal, peringatan dini melalui alarm, serta penerapan *loading limit* yang diperhitungkan berdasarkan densitas dan suhu cairan, adalah kunci utama untuk menjaga keselamatan kapal dan muatannya (Sanda, 2020).

Dalam konteks pengangkutan *LPG* dan *LNG*, *overflow* tidak hanya mengancam kelangsungan operasional kapal, tetapi juga berpotensi memicu insiden besar yang berdampak pada keselamatan jiwa dan lingkungan maritim. Oleh karena itu, sistem manajemen muatan harus dijalankan secara integratif, akurat, dan sesuai standar internasional.

### **E. ATG (*Automatic Tank Gauging*)**

*Automatic Tank Gauging (ATG)* adalah sistem pengukuran ketinggian cairan dalam tangki muatan yang bekerja secara otomatis dan dapat memberikan indikasi visual maupun alarm jika *level* muatan

mendekati batas maksimum. Sistem ini sangat penting dalam mencegah *overflow* selama proses muat *LPG*.

Menurut *IGC Code 2016* (Chapter 13.2.1–13.2.3) , setiap tangki muatan harus dilengkapi dengan perangkat pengukuran ketinggian muatan yang andal, seperti *ATG* , agar bisa memberikan informasi akurat sepanjang waktu.

Cargo instrumentation merujuk pada sistem pengukuran dan pengawasan yang digunakan untuk memantau kondisi muatan gas cair (seperti *LNG* dan *LPG*) selama proses pemuatan, pengangkutan, dan pembongkaran di kapal tanker. Instrumen ini mencakup alat ukur tekanan, suhu, tinggi cairan (*level*), deteksi gas bocor, serta sistem alarm dan shutdown otomatis. Fungsinya tidak hanya untuk memastikan muatan tetap dalam kondisi aman dan stabil, tetapi juga untuk memenuhi ketentuan regulasi internasional seperti *IGC Code (IGC Code, 2016)*.

Karena sifat muatan gas cair sangat mudah menguap dan berbahaya, akurasi dan keandalan sistem ini menjadi krusial. Oleh karena itu, semua instrumen harus dikalibrasi secara berkala dan dirawat dengan standar ketat agar dapat berfungsi optimal sepanjang operasi kapal.

Berdasarkan *LGHP 3<sup>rd</sup> Edition SIGTTO (Chapter 4.9.1) (2000)*, sistem pengukuran ketinggian muatan dibagi menjadi beberapa jenis:

1. Sistem Pengukur *Level Cairan (Liquid Level Gauging System)*

*IGC Code* mengatur bahwa setiap tangki muatan pada kapal gas harus dilengkapi minimal satu sistem pengukur *level* cairan. Sistem ini berfungsi untuk mengetahui seberapa banyak kargo yang berada dalam tangki secara real-time dan akurat (Bermuda, 2023). Terdapat beberapa tipe sistem pengukuran *level*:

- a. Sistem Tidak Langsung (*Indirect System*)

Sistem ini tidak bersentuhan langsung dengan cairan di dalam tangki. Pengukuran dilakukan melalui metode tidak langsung seperti penimbangan atau pemantauan aliran dengan *flowmeter*.

Meskipun aman, sistem ini cenderung kurang presisi dalam pengukuran aktual tinggi cairan dalam tangki.

*b. Sistem Tertutup (Closed Devices)*

Sistem tertutup merupakan jenis alat ukur level cairan di tangki kargo yang dirancang tidak mengeluarkan uap atau cairan ke atmosfer selama proses pengukuran berlangsung. Sistem ini sangat direkomendasikan oleh IGC Code karena menawarkan keamanan tinggi, terutama saat menangani muatan gas cair yang mudah menguap atau bersifat toksik, seperti LNG dan LPG. Penggunaan sistem ini dapat mencegah risiko kebakaran, ledakan, atau paparan zat berbahaya terhadap personel (IGC Code, 2016).

Beberapa contoh perangkat yang termasuk dalam kategori sistem tertutup antara lain:

1) *Float Gauge*

*Float gauge* adalah alat pengukur *level* cairan yang bekerja berdasarkan prinsip pelampung (*float*) yang mengapung di permukaan cairan di dalam tangki. Pelampung ini terhubung ke tali baja, pita logam, atau batang pengukur, yang pada ujung lainnya terhubung ke sistem indikator skala (bisa lokal atau remote).

- a) *Float* biasanya ditempatkan di dalam tubular well atau tabung pelindung untuk meminimalkan pengaruh dari gelombang cairan selama pelayaran.
- b) Alat ini memiliki katup isolasi (biasanya jenis *gate valve*) agar dapat dilakukan perawatan atau penggantian pelampung tanpa membuka tangki.
- c) Harus hati-hati saat menutup *valve* agar pita tidak terjepit oleh *gate*, karena dapat menyebabkan pelampung terlepas dan hilang di dalam tangki.
- d) *Float gauge* tidak dapat mengukur *level* cairan hingga dasar tangki (biasanya hanya sampai 10 cm dari dasar).

- e) Jika tidak digunakan, pelampung sebaiknya ditarik ke atas untuk menghindari kerusakan akibat gerakan cairan saat pelayaran.

## 2) *Radar Gauge*

Radar gauge adalah alat pengukur *level* cairan yang menggunakan prinsip gelombang elektromagnetik (radar). Perangkat ini memancarkan sinyal radar dari antena di atas tangki ke permukaan cairan, lalu menerima kembali sinyal pantulan tersebut untuk menghitung jarak antara alat dan permukaan cairan.

- a) Sangat akurat dan dapat memberikan pembacaan secara kontinu dan real-time.
- b) Tidak memiliki bagian bergerak yang bersentuhan langsung dengan muatan, sehingga minim perawatan.
- c) Radar *level* gauges sangat umum digunakan di kapal LNG modern, termasuk pada *sistem containment type Membrane (MK III)*.

Keterbatasan: gelombang radar dapat diserap oleh ikatan kimia dari hidrokarbon tak jenuh (*unsaturated hydrocarbons*), sehingga tidak cocok untuk kargo seperti etilena, propilena, butilena, dll.

## 3) *Magnetic Level Transmitter*

*Magnetic level transmitter* bekerja berdasarkan prinsip pelampung magnetik yang bergerak naik turun mengikuti permukaan cairan di dalam tabung atau chamber, dan posisi pelampung tersebut dideteksi oleh sensor medan magnet yang terintegrasi pada bagian luar chamber atau langsung di dalam tangki.

- a) Dapat memberikan pengukuran *level* secara kontinu dan presisi tinggi.
- b) Tersedia dalam dua konfigurasi:

- (1) *Direct in-tank installation*, yaitu pelampung dan sensor langsung terpasang di dalam tangki.
- (2) *External mounting*, yaitu pelampung berada di chamber terpisah di luar tangki, dan pembacaan dilakukan secara non-invasif dari luar chamber.
- c) Mengandalkan interaksi medan magnet untuk menghasilkan sinyal yang diubah menjadi nilai *level* cairan.
- d) Cocok untuk aplikasi *LNG* dan *LPG* karena tidak menimbulkan pelepasan gas dan aman dalam lingkungan inert.

Keunggulan Sistem Tertutup:

- 1) Keamanan tinggi: Tidak ada emisi gas atau cairan ke atmosfer.
- 2) Kepatuhan terhadap *IGC Code*: Direkomendasikan untuk semua jenis gas, khususnya yang beracun atau mudah terbakar.
- 3) Presisi dan kontinuitas: Memberikan pembacaan *level* yang konsisten dan akurat.
- 4) Perawatan relatif mudah, terutama pada sistem non-kontak seperti radar.

## 2. Sistem Alarm dan Shutdown Otomatis

*IGC Code* juga mengharuskan sistem peringatan dan penghentian otomatis dalam sistem muatan untuk mencegah terjadinya *overflow* (*IGC Code, 2016*). Setiap tangki, kecuali tipe C berkapasitas kecil (<200 m<sup>3</sup>), wajib memiliki:

- a. *High level alarm*: alarm visual dan suara saat ketinggian mencapai batas tertentu.
- b. *High-high level shutdown*: sistem otomatis yang menghentikan aliran kargo dengan menutup katup pengisian.

Tahapan alarm umumnya terdiri dari:

- a. 95% *Volume*: alarm awal (*early warning*)
- b. 97%: alarm tinggi (*high level alarm*)
- c. 98.5%: penutupan otomatis (*automatic shut-off*)
- d. 99%: *Emergency Shutdown (ESD 1)*

Namun, penutupan mendadak dapat menimbulkan *surge pressure* dalam sistem perpipaan, sehingga sistem ini harus dirancang agar tidak menyebabkan tekanan kejut yang dapat merusak pipa atau peralatan (E. S. SIGTTO, 2021).

### 3. Sistem Deteksi Gas (*Gas Detection System*)

Untuk memastikan tidak terjadi kebocoran gas ke lingkungan kapal, sistem deteksi gas permanen (*fixed gas detector*) wajib dipasang di area-area berisiko, termasuk:

- a. Ruang kargo tertutup
- b. Ruang mesin muatan
- c. Ruang penyangga (*interbarrier spaces*)
- d. Airlock
- e. Saluran ventilasi

Sensor harus disesuaikan dengan karakteristik uap gas:

- a. Gas berat (lebih padat dari udara), sensor di bawah.
- b. Gas ringan, sensor dipasang di atas.

Jenis sensor:

- a. Catalytic sensor mendeteksi gas melalui perubahan resistansi akibat pembakaran katalitik (sensitif terhadap gas hidrokarbon jenuh).
- b. Infrared (IR) sensor mendeteksi penyerapan radiasi IR oleh gas,

### 4. Kalibrasi dan Pemeliharaan Instrumen

Untuk menjaga keandalan dan akurasi pengukuran, seluruh instrumen kargo wajib menjalani kalibrasi berkala. Kalibrasi dilakukan oleh:

- a. Kru kapal menggunakan alat kalibrasi onboard
- b. Teknisi profesional dengan peralatan bersertifikat

Kalibrasi meliputi:

- a. Pengujian titik nol dan akurasi
- b. Sertifikasi hasil kalibrasi
- c. Pencatatan dalam buku log atau sistem elektronik

Sesuai *ISM Code (International Safety Management)* dalam SOLAS Chapter IX, semua prosedur kalibrasi dan dokumentasi bukti pemeliharaan harus tersedia di atas kapal untuk keperluan inspeksi dan audit.

## **F. Pengukuran *Volume* Tangki *Cargo Liquefied Gas***

Pengukuran *Volume* muatan dalam tangki kapal tanker gas merupakan langkah kritis dalam operasi pemuatan dan bongkar *LPG*. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa muatan tidak melebihi batas aman, serta memberikan data akurat terkait jumlah muatan yang diangkut.

Berdasarkan *LGHP 3 SIGTTO (Chapter 4 – Measurement of Liquid Levels and Volumes)* dan *IGC Code 2016 (Chapter 13 – Gauging and Detection Systems)*, sistem pengukuran *Volume* muatan harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu memberikan hasil yang akurat, dapat diandalkan, dan mudah dioperasikan baik oleh awak kapal maupun operator terminal.

### **1. Kalibrasi Tangki (*Calibration Tables*)**

Kalibrasi tangki adalah proses awal dan mendasar yang harus dilakukan pada setiap tangki cargo untuk memastikan bahwa setiap pengukuran tinggi cairan dapat dikonversi secara akurat menjadi *Volume*. Kalibrasi dilakukan oleh surveyor bersertifikat saat kapal berada dalam kondisi stabil (tidak trim maupun list) dan suhu serta tekanan ambient.

Tabel kalibrasi memuat informasi konversi antara tinggi cairan (*measured ullage atau innage*) ke dalam *Volume* cairan dan *Volume* ruang uap. Kalibrasi juga menyertakan faktor koreksi terhadap:

- a. Trim: Ketika kapal miring ke depan atau ke belakang.
- b. List: Ketika kapal miring ke samping.
- c. Suhu tangki: Karena kontraksi atau ekspansi baja tangki akibat perubahan suhu.

d. Deformasi struktur: Jika tangki mengalami tekanan operasional tinggi secara berulang, bentuk geometrisnya bisa berubah sedikit.

Tabel ini menjadi acuan utama selama kegiatan pemuatan, pengangkutan, dan pembongkaran muatan, serta saat penentuan inventaris cargo untuk kebutuhan dokumentasi, perpajakan, dan asuransi.

## 2. Inventarisasi Tangki (*Tank Inventory*)

Inventarisasi tangki merupakan langkah pengumpulan data real-time yang melibatkan:

- a. Tinggi cairan (*ullage/innage*): Diukur menggunakan radar gauge, pelampung, atau pita ukur.
- b. Densitas cairan cargo: Diambil dari data lab atau sensor densitas online.
- c. Suhu cairan dan suhu ruang uap: Diukur menggunakan sensor multipoint platinum resistance.
- d. Tekanan ruang uap: Diperoleh dari pressure transmitter.
- e. *Volume* uap (*vapor space*): Diperhitungkan untuk menghindari kondisi “liquid-full” yang berbahaya.

Semua parameter tersebut digunakan dalam perhitungan *Volume* akhir dan massa muatan, dengan penyesuaian menggunakan tabel kalibrasi dan koreksi yang relevan.

## 3. Pengukuran Suhu

Suhu adalah parameter kritis karena gas cair sangat sensitif terhadap perubahan suhu, baik dalam bentuk cair maupun uap. Pengukuran suhu dilakukan pada berbagai titik di dalam tangki, termasuk:

- a. Multipoint temperature probe: Untuk mengukur suhu cairan di berbagai kedalaman.
- b. Suhu ruang uap: Diambil pada titik di atas permukaan cairan dan dekat langit-langit tangki.

Rata-rata suhu dihitung dengan dua metode:

- a. Rata-rata aritmatika: Jika penampang tangki seragam.
- b. Rata-rata berbobot *Volume*: Jika penampang tidak seragam, untuk keakuratan lebih tinggi.

Hasil suhu ini digunakan dalam koreksi densitas dan konversi ke massa.

#### 4. Pengukuran Tekanan dan Tinggi Cairan

Tekanan ruang uap harus diukur secara konstan untuk memantau kondisi stabil tangki. Ini penting untuk:

- a. Mencegah pelepasan gas berlebihan (*boil-off gas*).
- b. Menentukan titik keseimbangan antara fase cair dan gas.
- c. Kalibrasi sistem *reliquefaction* jika tersedia.

Tinggi cairan diukur menggunakan:

- a. Radar *level gauge*
- b. Capacitance probe
- c. Mechanical float gauge
- d. Manual tape (dengan koreksi termal)

Hasil pengukuran ini harus sesuai dengan kondisi aktual dan diverifikasi dengan alarm *level system*.

#### 5. Koreksi Pengukuran

Karena kapal beroperasi dalam kondisi dinamis, pengukuran harus dikoreksi terhadap berbagai variabel fisik:

##### a. Koreksi Trim

Jika kapal mengalami trim (miring ke haluan atau buritan), maka tinggi cairan yang terbaca pada pengukur bisa menyesatkan. Tabel koreksi trim digunakan untuk menyesuaikan tinggi cairan agar sesuai dengan posisi geometrik yang digunakan saat kalibrasi.

##### b. Koreksi List

Kondisi list menyebabkan permukaan cairan tidak sejajar dengan alat ukur jika alat tidak berada di pusat. Koreksi dilakukan berdasarkan derajat list dan posisi alat ukur dalam tangki.

c. Koreksi Pita Pengukur (*Tape Correction*)

Pada pengukuran manual, pita ukur bisa memendek saat berada dalam suhu rendah, terutama di ruang uap. Koreksi dilakukan berdasarkan koefisien pemuaian linear material pita dan suhu ruang uap saat pengukuran.

d. Koreksi Pelampung (*Float Correction*)

Karena pelampung bekerja berdasarkan gaya apung, densitas cairan berpengaruh pada hasil ukur. Bila densitas aktual berbeda dengan kondisi kalibrasi, koreksi *Volume* diperlukan.

e. Koreksi Ekspansi/Kontraksi Tangki

Tangki baja dapat mengembang atau menyusut tergantung suhu lingkungan dan suhu muatan. *Volume* geometrik aktual akan berbeda dengan *Volume* pada saat kalibrasi, sehingga perlu koreksi menggunakan koefisien ekspansi termal baja.

Pengukuran *Volume* tangki cargo untuk gas cair bukan sekadar membaca angka dari alat ukur. Diperlukan proses kalibrasi, pengumpulan parameter fisik, serta penerapan koreksi untuk berbagai kondisi kapal dan muatan. Akurasi pengukuran ini krusial karena:

1. Mempengaruhi transaksi komersial (jumlah muatan dijual/beli).
2. Menjamin keselamatan operasi, terutama untuk mencegah *overflow* dan BLEVE.
3. Menjadi dasar dokumentasi hukum dan pelaporan lingkungan.

Oleh karena itu, operator kapal *LPG/LNG* harus memiliki pemahaman mendalam terhadap teknik pengukuran ini, serta disiplin dalam menerapkan standar internasional seperti yang tercantum dalam *IGC Code* dan *OCIMF Guidelines*.

Menurut *IGC Code 2016 (Chapter 13.2.1–13.2.3)*, sistem pengukuran *Volume* harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Harus bisa memberikan pembacaan *Volume* kapanpun kapal dalam kondisi operasional.

2. Jika hanya ada satu alat ukur, harus dirancang agar bisa dioperasikan tanpa harus mengosongkan atau degassing tangki.
3. Semua elemen *level* alarm dan flow meter harus bisa diuji fungsinya sebelum operasi muat dimulai.
4. Data hasil pengukuran harus tersedia dalam format digital dan manual untuk verifikasi dua arah antara kapal dan dermaga.

### **G. Automatic Hydraulic Valve**

*Valve* atau katup merupakan komponen kritis dalam sistem muat dan bongkar *LPG* di kapal tanker gas. Salah satu jenis katup yang sering digunakan dalam operasi ini adalah *Automatic Hydraulic Valve*, yaitu katup yang bekerja secara otomatis dengan tenaga hidrolik untuk mengontrol aliran cairan atau uap *LPG* dalam pipa.

Berdasarkan referensi dari *IGC Code 2016 (Chapter 7 – Cargo Handling and Transfer)*, *LGHP 3 SIGTTO (Chapter 7 – Loading and Discharging Operations)*, dan *EBOOK Dasar Manajemen Kapal Tanker – Kundori*, penggunaan *automatic Hydraulic Valve* sangat penting untuk menjaga keselamatan operasi serta mencegah risiko *overflow* selama proses pemuatan.

Menurut *IGC Code 2016 (Chapter 7.5 – Loading and Unloading Arrangements)*, sistem katup pada kapal gas carrier harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat dioperasikan secara lokal maupun remote.
2. Katup isolasi harus dipasang di dekat titik sambungan dengan dermaga.
3. Semua katup yang terlibat dalam sistem muat harus dilengkapi indikator posisi (*open/close*).
4. Harus ada sistem interlock antara katup dan pompa muatan untuk mencegah operasi tanpa izin.

*Automatic Hydraulic Valve* merupakan salah satu komponen penting dalam sistem kendali fluida pada kapal tanker modern, khususnya kapal pembawa muatan cair seperti *LNG (Liquefied Natural Gas)* dan *LPG (Liquefied Petroleum Gas)*. *Valve* ini bekerja secara otomatis menggunakan tenaga dari fluida hidrolik untuk membuka, menutup, atau mengatur aliran cairan di dalam sistem perpipaan, tanpa memerlukan tenaga manual. Pengoperasiannya biasanya dikendalikan dari ruang kendali pusat atau *Cargo Control Room (CCR)*, yang terintegrasi dengan sistem kontrol berbasis elektronik serta sistem hidrolik terpusat di atas kapal.

Peran utama dari katup ini adalah memberikan kendali jarak jauh terhadap jalur aliran muatan cair selama proses pemuatan, penyimpanan, dan pembongkaran. Karena jenis muatan seperti *LNG* dan *LPG* bersifat mudah terbakar, bertekanan tinggi, dan dalam beberapa kasus bersifat kriogenik (suhu sangat rendah), maka pengoperasian manual terhadap katup langsung di dek akan sangat berisiko (Bermuda, 2023). Kehadiran sistem otomatis hidrolik membuat proses tersebut menjadi lebih aman, efisien, dan cepat karena memungkinkan kru kapal untuk mengelola aliran kargo dari lokasi yang aman, tanpa perlu terpapar langsung pada area muatan yang berbahaya.

Secara teknis, sistem ini terdiri dari tiga elemen utama: sumber tekanan hidrolik (biasanya pompa dan tangki oli hidrolik), aktuator hidrolik yang terhubung langsung dengan *valve*, serta panel kendali jarak jauh yang memungkinkan operator memberi perintah buka/tutup atau pengaturan aliran dari *CCR*. Ketika operator mengaktifkan perintah dari panel kendali, tekanan hidrolik dialirkan melalui pipa kendali ke aktuator, yang kemudian menggerakkan batang katup untuk membuka atau menutup aliran. Proses ini dapat berlangsung dalam hitungan detik, menjadikan sistem ini sangat responsif terhadap situasi operasional maupun keadaan darurat (Bintang Dwi Prayogo et al., 2018).

Di dalam sistem kargo kapal tanker, *Automatic Hydraulic Valve* tidak hanya berfungsi sebagai alat kendali aliran, tetapi juga terintegrasi dengan sistem pengukuran otomatis atau *Automatic Tank Gauging (ATG)*. Dalam integrasi ini, katup dapat bekerja secara sinkron dengan sensor pengukur *level* muatan di dalam tangki. Misalnya, saat *level* muatan mendekati kapasitas maksimum, sistem *ATG* akan secara otomatis mengaktifkan katup untuk menutup jalur aliran guna mencegah terjadinya *overflow*. Hal ini menjadi sangat penting dalam mencegah insiden serius seperti tumpahan muatan, ledakan akibat tekanan berlebih, atau kebocoran gas beracun (Mangalik, 2021).

Namun demikian, seperti sistem mekanik dan elektronik lainnya, *Automatic Hydraulic Valve* juga memiliki potensi risiko jika terjadi kerusakan. Gangguan pada aktuator, kebocoran pada sistem hidrolik, atau malfungsi pada sensor dapat menyebabkan katup gagal beroperasi. Dalam kasus kegagalan sistem, kapal dapat mengalami keterlambatan dalam operasi bongkar muat, bahkan berpotensi menciptakan situasi darurat jika katup gagal menutup saat muatan dalam tekanan tinggi. Oleh karena itu, pemeliharaan rutin, kalibrasi berkala, dan pengujian fungsi sistem menjadi sangat penting dan biasanya sudah diatur dalam program perawatan kapal berdasarkan ketentuan dari *International Safety Management Code (ISM Code) (IGC Code, 2016)*.

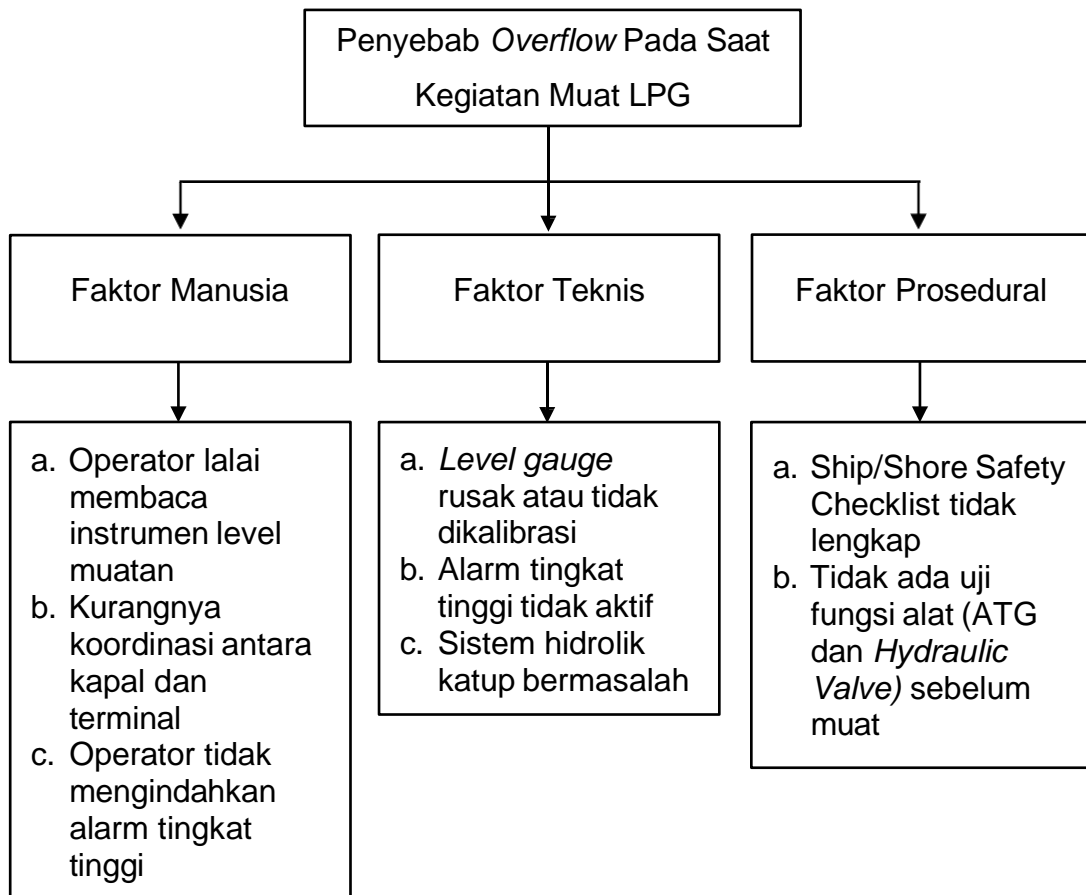
Keunggulan utama dari sistem ini terletak pada kemampuannya memberikan kontrol yang presisi, cepat, dan aman, terutama saat kapal beroperasi dalam lingkungan eksplosif atau di pelabuhan dengan protokol keselamatan tinggi. Karena aktuator hidrolik tidak menghasilkan percikan api atau arus listrik langsung di area berisiko, sistem ini menjadi pilihan yang unggul dibandingkan sistem kendali elektrik biasa di zona-zona berbahaya. Selain itu, sistem ini juga dapat dirancang untuk mengontrol katup-katup besar berdiameter tinggi yang tidak memungkinkan untuk dikendalikan secara manual karena memerlukan torsi besar (Kundori, 2022).

Dengan mempertimbangkan keseluruhan perannya, *Automatic Hydraulic Valve* menjadi bagian integral dari sistem kendali kargo di kapal tanker modern. Ia tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga mendukung aspek keselamatan kapal, perlindungan lingkungan laut, serta kepatuhan terhadap regulasi internasional dalam pengangkutan bahan berbahaya dalam jumlah besar.

## H. Kerangka Pikir

Secara teori, *overflow* muatan gas cair pada kapal tanker disebabkan oleh tiga faktor utama, yaitu faktor manusia, faktor teknis, dan faktor prosedural. Faktor manusia umumnya menjadi penyebab utama, yang mencakup kelalaian dalam membaca instrumen *level* muatan, kurangnya koordinasi antara kapal dan terminal, serta pengabaian alarm tingkat tinggi yang aktif. Dari segi faktor teknis, *overflow* dapat terjadi akibat kerusakan pada alat pengukur *level* (*level gauge*) yang tidak dikalibrasi secara rutin, alarm tingkat tinggi yang tidak berfungsi, dan gangguan pada sistem katup hidrolik. Sementara itu, dari sisi faktor prosedural, kejadian *overflow* dapat dipicu oleh tidak diterapkannya prosedur keselamatan, seperti tidak lengkapnya *Ship/Shore Safety Checklist* sesuai panduan *SIGTTO LGHP (2020)* dan *IGC Code (2016)*, serta tidak dilakukannya uji fungsi terhadap peralatan *Automatic Tank Gauging (ATG)* dan katup hidrolik sebelum proses pemuatan. Penjelasan di atas dapat dilihat pada Kerangka Pikir di halaman berikutnya.

Gambar 2. 1 Kerangka Pikir Penelitian



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Jenis Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif, yaitu suatu metode penelitian yang bertujuan untuk memahami fenomena secara mendalam melalui pengumpulan data non-numerik seperti kata-kata, narasi, dan observasi. Pendekatan ini sangat cocok digunakan karena penelitian ini mengkaji penyebab terjadinya *overflow* selama proses pemuatan *LPG* di kapal tanker, yang melibatkan berbagai faktor kompleks seperti *Human Error*, kerusakan alat dan kelalaian prosedural.

Metode kualitatif memungkinkan peneliti untuk menjelaskan situasi secara utuh dan kontekstual, tanpa harus bergantung pada data statistik atau pengujian hipotesis. Fokusnya adalah pada pemahaman makna, pola perilaku, interaksi sosial, dan pengalaman langsung dari pelaku operasional.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah studium kasus (*case study*), yaitu metode penelitian yang mendalami suatu fenomena dalam konteks kehidupan nyata sebagaimana adanya. Studi kasus memberikan kesempatan untuk mengamati peristiwa *overflow* secara rinci, termasuk dinamika internal dan eksternal yang menyertainya.

Penelitian ini dilakukan langsung di atas kapal *MT. GRACE V*, di mana peneliti ikut serta sebagai kadet selama satu tahun dan memiliki pengalaman serta akses terhadap dokumen dan personel yang relevan dengan kejadian *overflow* yang terjadi pada tanggal 01 November 2024 saat proses *loading LPG* di *Jetty Bosowa*.

## B. Definisi Konseptual

Agar tidak terjadi penafsiran yang berbeda terhadap istilah yang digunakan dalam penelitian ini, maka berikut adalah definisi konseptual dari aspek-aspek utama yang dikaji:

### 1. *Overflow*

Adalah kondisi di mana muatan *LPG* melampaui kapasitas maksimum tangki kargo dan menyebabkan tumpahan ke luar tangki, baik ke ruang containment maupun ke lingkungan luar kapal. *Overflow* merupakan indikator kegagalan dalam sistem pengendalian muatan yang dapat menimbulkan risiko keselamatan dan pencemaran.

### 2. *Human Error*

*Human Error* merujuk pada kesalahan yang dilakukan oleh operator kapal maupun personel terminal dalam melaksanakan tugas dan tanggung jawab selama proses pemuatan *LPG*. Kesalahan ini dapat bersifat aktif (aktif melakukan kesalahan) maupun pasif (lalai menjalankan kewajiban), dan menjadi salah satu faktor dominan dalam terjadinya insiden *overflow*.

### 3. Kerusakan Alat (*Malfunction of Equipment*)

Kerusakan alat merujuk pada kondisi tidak berfungsinya peralatan atau sistem instrumensi yang digunakan dalam proses pemantauan dan pengendalian muatan *LPG*, baik akibat gangguan teknis, kurangnya pemeliharaan, maupun usia pakai alat yang sudah melampaui batas.

### 4. Kelalaian Prosedural (*Procedural Negligence*)

Kelalaian prosedural adalah bentuk ketidakterpenuhan, pengabaian, atau pelaksanaan yang tidak tepat terhadap standar operasional yang telah ditetapkan dalam proses pemuatan *LPG*. Faktor ini kerap disebabkan oleh kebiasaan kerja yang tidak disiplin atau lemahnya budaya keselamatan kerja di lingkungan operasional.

### C. Teknik Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data yang akurat, peneliti menggunakan tiga teknik utama dalam pengumpulan data, yaitu:

#### 1. Observasi Langsung

Peneliti melakukan pengamatan langsung terhadap kondisi kapal, sistem pemuatan *LPG*, serta perangkat keselamatan yang digunakan. Observasi dilakukan secara partisipatif mengingat peneliti berada langsung di kapal selama periode waktu tertentu. Observasi ini mencakup pengecekan kondisi sistem *CTMS*, alarm, pelaksanaan prosedur pemuatan, dan respons kru terhadap indikator muatan.

#### 2. Studi Dokumentasi

Peneliti mengumpulkan dan menelaah dokumen-dokumen yang berkaitan dengan kegiatan pemuatan pada saat kejadian *overflow*, seperti:

- a. *Cargo Record Book*
- b. *Port Loading Report*
- c. *Tank Sounding Sheet*
- d. *High-level alarm logs*
- e. *Standard Operating Procedure (SOP)* pemuatan *LPG*
- f. Maintenance record sistem pemantauan

Studi ini penting untuk mencocokkan antara catatan resmi dengan hasil wawancara dan observasi.

#### 3. Wawancara Mendalam

Wawancara dilakukan secara langsung kepada pihak-pihak yang terlibat dalam proses pemuatan *LPG*, seperti Chief Officer, Cargo Operator, dan Petugas Terminal. Teknik ini bertujuan untuk menggali informasi lebih dalam tentang persepsi mereka terhadap penyebab *overflow*, serta kendala teknis maupun non-teknis yang terjadi pada saat kejadian.

Wawancara bersifat semi-terstruktur, di mana peneliti menyiapkan pertanyaan kunci namun terbuka terhadap jawaban-

jawaban yang berkembang. Dengan metode ini, diharapkan diperoleh pemahaman menyeluruh dari berbagai sudut pandang.

#### **D. Teknik Analisis Data**

Data yang diperoleh dalam penelitian ini dianalisis secara kualitatif, yakni melalui proses pemahaman makna dari data non-numerik yang berasal dari observasi lapangan, dokumentasi, serta wawancara. Teknik analisis ini digunakan untuk menemukan pola, tema, dan hubungan sebab-akibat dari berbagai faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya *overflow* saat pemuatan *LPG* di *MT. GRACE V*.

##### **1. Penyajian Data**

Tahap pertama adalah menyusun seluruh data hasil pengumpulan menjadi informasi yang terstruktur. Data yang diperoleh dari observasi langsung, wawancara dengan personel kapal dan pihak terminal, serta dokumen-dokumen seperti *Cargo Record Book*, *Tank Sounding Sheet*, dan *SOP* pemuatan *LPG*, disusun dalam bentuk narasi deskriptif, kutipan langsung, tabel, dan skema alur kejadian. Penyajian data yang sistematis ini bertujuan agar pembaca dapat memahami alur kejadian, kronologi, serta situasi aktual yang terjadi secara jelas dan utuh.

##### **2. Analisis Data**

Pada tahap ini, peneliti mulai melakukan proses kategorisasi dan pengkodean tematik dari seluruh data yang telah disusun. Informasi yang serupa dikelompokkan ke dalam tema tertentu, seperti:

- a. *Human Error*
- b. Kerusakan Alat
- c. Kelalaian Prosedur

Setelah tema-tema teridentifikasi, peneliti menganalisis hubungan antar faktor, serta bagaimana kombinasi dari beberapa penyebab tersebut berkontribusi terhadap terjadinya *overflow*.

Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi aktual di lapangan dengan prosedur baku atau standar industri yang berlaku.

### 3. Penarikan Kesimpulan

Setelah seluruh data dianalisis dan pola penyebab telah ditemukan, peneliti menyusun kesimpulan yang merangkum akar penyebab utama dari terjadinya *overflow LPG* di *MT. GRACE V*. Kesimpulan disusun berdasarkan data yang sah dan telah diverifikasi dari berbagai sumber (observasi, wawancara, dan dokumen), sehingga mencerminkan gambaran nyata peristiwa yang terjadi.

Kesimpulan ini juga mengarah pada pemahaman holistik terhadap faktor teknis, faktor manusia, dan faktor prosedural yang harus mendapat perhatian dalam operasi pemuatan *LPG*.

### 4. Pemberian Saran dan Rekomendasi

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan yang diperoleh, peneliti menyusun saran yang bersifat aplikatif dan solutif untuk mencegah terulangnya kejadian serupa di masa depan. Saran disesuaikan dengan kondisi operasional kapal serta standar keamanan internasional dalam penanganan muatan *LPG*.