PT MEDIA PENERBIT INDONESIA

BUKU AJAR

PENANGANAN DAN PENGATURAN MUATAN KAPAL

PRINSIP, KESELAMATAN, DAN TEKNIK OPERASIONAL



Slamet Riyadi, M.Si., M.Mar.
Dian Erliyani, S.SiT., M.Si.

PENANGANAN DAN PENGATURAN MUATAN KAPAL

PRINSIP, KESELAMATAN, DAN TEKNIK OPERASIONAL

Slamet Riyadi, M.Si., M.Mar.
Dian Erliyani, S.SiT., M.Si.

PT MEDIA PENERBIT INDONESIA

PENANGANAN DAN PENGATURAN MUATAN KAPAL
PRINSIP, KESELAMATAN, DAN TEKNIK OPERASIONAL

Ditulis oleh:

Slamet Riyadi, M.Si., M.Mar.
Dian Erliyani, S.SiT., M.Si.

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang keras memperbanyak, menerjemahkan atau mengutip baik sebagian ataupun keseluruhan isi buku tanpa izin tertulis dari penerbit.

ISBN: 978-634-7184-40-5
X + 237 hlm; 18,2 x 25,7 cm.
Cetakan I, April 2025

Desain Cover dan Tata Letak:
Melvin Mirsal

Diterbitkan, dicetak, dan didistribusikan oleh
PT Media Penerbit Indonesia
Royal Suite No. 6C, Jalan Sedap Malam IX, Sempakata
Kecamatan Medan Selayang, Kota Medan 20131
Telp: 081362150605
Email: ptmediapenerbitindonesia@gmail.com
Web: https://mediapenerbitindonesia.com
Anggota IKAPI No.088/SUT/2024

KATA PENGANTAR

Transportasi laut merupakan salah satu moda transportasi utama dalam perdagangan global. Efisiensi dalam pengangkutan barang sangat bergantung pada teknik penanganan dan pengaturan muatan kapal yang tepat. Kesalahan dalam proses ini dapat menyebabkan kerugian ekonomi, pencemaran lingkungan, bahkan kecelakaan maritim yang berakibat fatal. Oleh karena itu, pemahaman mengenai prinsip dasar penanganan muatan, standar keselamatan, serta teknik operasional menjadi sangat penting bagi pelaut dan tenaga profesional di bidang maritim.

Buku ajar ini bertujuan untuk memberikan pemahaman komprehensif tentang konsep dan praktik penanganan serta pengaturan muatan kapal, termasuk prinsip dasar stabilitas, jenis muatan, dan teknik penanganannya. Selain itu, buku ajar ini membahas standar keselamatan, regulasi internasional, serta teknologi terbaru dalam manajemen muatan kapal guna mencegah kecelakaan dan kerusakan barang. Buku ajar ini juga membahas dampak kesalahan dalam pengaturan muatan serta strategi operasional yang efektif dalam distribusi muatan di dalam kapal.

Semoga buku ajar ini dapat memberikan pengetahuan yang dalam dunia kerja, dan dapat meningkatkan efisiensi dan keselamatan dalam operasional kapal.

Salam hangat.

TIM PENULIS

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **i**
DAFTAR ISI ..... **ii**
ANALISIS INSTRUKSIONAL ..... **v**

BAB I PENDAHULUAN **1**
A. Pengantar Penanganan Muatan 1
B. Peran dan Tanggung Jawab dalam Penanganan Muatan 7
C. Regulasi dan Standar Internasional 10
D. Soal Latihan 14

BAB II PRINSIP DASAR PENANGANAN MUATAN **15**
A. Pengaturan dan Pengamanan Muatan yang Aman 15
B. Siklus Udara dan Pengaturannya dalam Palka 20
C. Penyimpanan dan Pemisahan Muatan 25
D. Soal Latihan 30

BAB III PENANGANAN MUATAN BERBAHAYA **33**
A. Klasifikasi Muatan Berbahaya Berdasarkan IMDG Code 33
B. Penandaan, Pelabelan, dan Penyimpanan Muatan Berbahaya 41
C. Tindakan Darurat dalam Penanganan Muatan Berbahaya 44
D. Peraturan dan Prosedur Keamanan 49
E. Soal Latihan 54

BAB IV PERALATAN DAN KESELAMATAN PENANGANAN MUATAN **55**
A. Jenis dan Fungsi Peralatan Penanganan Muatan 55
B. Pengoperasian dan Perawatan *Crane*, Sling, dan Net 67
C. *Safe Working Load* (SWL) dan Inspeksi Peralatan 69
D. Soal Latihan 71

BAB V SISTEM PIPA DAN PEMOMPAAN KAPAL TANKER **73**

A. Sistem Pipa dan Pengaturan di Kapal Tanker.....73
B. Prinsip Kerja Pompa Kargo dan Eduktor 77
C. Penanganan Kargo Kimia dan Gas Cair 81
D. Soal Latihan 86

BAB VI KESELAMATAN DALAM RUANG TERTUTUP 87
A. Definisi dan Bahaya Ruang Tertutup 87
B. Risiko dan Pencegahan dalam Ruang Tertutup 89
C. Prosedur Memasuki Ruang Tertutup dengan Aman.....93
D. Soal Latihan 98

BAB VII PERHITUNGAN DAN PERENCANAAN MUATAN..99
A. Kapasitas Bale dan Kapasitas Grain 99
B. Perhitungan Volume Ruang Palka.....102
C. Penggunaan Tabel Kalibrasi dan Rencana Kapasitas Palka105
D. Soal Latihan 108

BAB VIII INSPEKSI DAN PEMELIHARAAN RUANG PENYIMPANAN MUATAN 109
A. Tata Letak Ruang Penyimpanan pada Berbagai Jenis Kapal109
B. Identifikasi Kerusakan Ruang Penyimpanan (Korosi, Retak).....115
C. Metode Pencegahan Korosi pada Ruang Penyimpanan ...118
D. Prosedur Keselamatan Sebelum Inspeksi 123
E. Soal Latihan 127

BAB IX INSPEKSI PENUTUP PALKA DAN TANGKI BALLAST.....129
A. Prinsip Kerja dan Konstruksi Penutup Palka.....129
B. Kedap Air (*Water Tight*) vs. Kedap Cuaca (*Weather Tight*)132
C. Komponen Penting dan Area Rawan Korosi.....133
D. Inspeksi Tangki Ballast dan Pencegahan Korosi.....137
E. Soal Latihan 141

BAB X PELAPORAN KERUSAKAN DAN PROGRAM PEMERIKSAAN 143

A. Prosedur Pelaporan Kerusakan dan Bukti Pendukung 143
B. *Enhanced Survey Programme* (ESP).....150
C. Program Pemeriksaan yang Ditingkatkan (*Improved Inspection Program*).....155
D. Soal Latihan.....162

BAB XI PENGENDALIAN MUATAN DI KAPAL TANKER 163
A. Prosedur Pemompaan dan Stripping Kargo.....163
B. Penggunaan *Deck Lines*, *Stripping Lines*, dan *Crossovers*168
C. Pengendalian Laju Pompa (*Flow Rate*) 172
D. Checklist Bongkar Muatan dan Tindakan Darurat 176
E. Soal Latihan.....179

BAB XII PENGAMANAN MUATAN DAN STABILITAS KAPAL 181
A. Teknik Pengamanan Muatan (*Lashing, Dunnage, Shoring*)181
B. Dampak Penempatan Muatan terhadap Stabilitas Kapal..185
C. Perhitungan Stabilitas Kapal (GM, GZ, KG) 189
D. Pencegahan Pergerakan Muatan (*Cargo Shift*) dalam Pelayaran.....195
E. Soal Latihan.....199

BAB XIII PENGOPERASIAN *CRANE* DAN PROSEDUR BONGKAR MUAT 201
A. Jenis-Jenis *Crane* (Hallen, Stulken, Velle, Thompson)....201
B. Prosedur Operasi Aman Menggunakan *Crane*.....206
C. Penanganan Muatan dengan Jaring dan Alat Bantu Lain.211
D. Inspeksi dan Pemeliharaan *Crane* secara Berkala.....216
E. Soal Latihan.....220

BAB XIV PENUTUP.....221
DAFTAR PUSTAKA 225
GLOSARIUM.....231
INDEKS 233
BIOGRAFI PENULIS.....235
SINOPSIS 237

ANALISIS INSTRUKSIONAL

No	Kemampuan Akhir yang Diharapkan	Indikator
1	Mampu memahami terkait dengan pengantar penanganan muatan, memahami peran dan tanggung jawab dalam penanganan muatan, serta memahami regulasi dan standar internasional. Sehingga pembaca dapat menerapkan prinsip-prinsip penanganan muatan yang aman, efisien, dan sesuai dengan regulasi dalam berbagai konteks industri logistik dan transportasi.	• Pengantar Penanganan Muatan • Peran dan Tanggung Jawab dalam Penanganan Muatan • Regulasi dan Standar Internasional
2	Mampu memahami terkait dengan pengaturan dan pengamanan muatan yang aman, memahami siklus udara dan pengaturannya dalam palka, serta memahami penyimpanan dan pemisahan muatan. Sehingga pembaca dapat menerapkan prosedur yang aman dan efisien dalam pengaturan, pengamanan, dan penyimpanan muatan sesuai standar keselamatan dan regulasi internasional.	• Pengaturan dan Pengamanan Muatan yang Aman • Siklus Udara dan Pengaturannya dalam Palka • Penyimpanan dan Pemisahan Muatan
3	Mampu memahami terkait dengan klasifikasi muatan berbahaya berdasarkan IMDG code, memahami penandaan, pelabelan, dan penyimpanan muatan berbahaya, memahami tindakan darurat dalam penanganan muatan berbahaya, serta memahami peraturan dan prosedur keamanan. Sehingga pembaca dapat mampu menangani muatan berbahaya dengan aman, efisien, dan sesuai	• Klasifikasi Muatan Berbahaya Berdasarkan IMDG Code • Penandaan, Pelabelan, dan Penyimpanan Muatan Berbahaya • Tindakan Darurat dalam Penanganan Muatan Berbahaya • Peraturan dan Prosedur Keamanan

	dengan regulasi internasional guna mencegah kecelakaan dan menjaga keselamatan operasional.	
4	Mampu memahami terkait dengan jenis dan fungsi peralatan penanganan muatan, memahami pengoperasian dan perawatan *crane*, sling, dan net, serta memahami *safe working load* (SWL) dan inspeksi peralatan. Sehingga pembaca dapat mampu memilih, mengoperasikan, dan merawat peralatan penanganan muatan secara aman, efisien, serta sesuai dengan standar keselamatan kerja yang berlaku.	• Jenis dan Fungsi Peralatan Penanganan Muatan • Pengoperasian dan Perawatan *Crane*, Sling, dan Net • *Safe Working Load* (SWL) dan Inspeksi Peralatan
5	Mampu memahami terkait dengan sistem pipa dan pengaturan di kapal tanker, memahami prinsip kerja pompa kargo dan eduktor, serta memahami penanganan kargo kimia dan gas cair. Sehingga pembaca dapat mampu memahami, mengoperasikan, dan mengelola sistem perpipaan, pompa kargo, serta prosedur penanganan kargo kimia dan gas cair dengan aman dan sesuai dengan standar industri maritim.	• Sistem Pipa dan Pengaturan di Kapal Tanker • Prinsip Kerja Pompa Kargo dan Eduktor • Penanganan Kargo Kimia dan Gas Cair
6	Mampu memahami terkait dengan definisi dan bahaya ruang tertutup, memahami risiko dan pencegahan dalam ruang tertutup, serta memahami prosedur memasuki ruang tertutup dengan aman. Sehingga pembaca dapat memahami risiko, menerapkan pencegahan, serta mengikuti prosedur yang aman saat bekerja di ruang tertutup guna mengurangi potensi kecelakaan dan menjaga keselamatan kerja.	• Definisi dan Bahaya Ruang Tertutup • Risiko dan Pencegahan dalam Ruang Tertutup • Prosedur Memasuki Ruang Tertutup dengan Aman
7	Mampu memahami terkait dengan	• Kapasitas Bale dan

	kapasitas bale dan kapasitas grain, memahami perhitungan volume ruang palka, serta memahami penggunaan tabel kalibrasi dan rencana kapasitas palka. Sehingga pembaca dapat memahami prinsip perhitungan kapasitas muatan, mengoptimalkan penggunaan ruang palka, serta menerapkan metode yang tepat dalam perencanaan dan pengisian muatan sesuai standar keselamatan maritim.	Kapasitas Grain • Perhitungan Volume Ruang Palka • Penggunaan Tabel Kalibrasi dan Rencana Kapasitas Palka
8	Mampu memahami terkait dengan tata letak ruang penyimpanan pada berbagai jenis kapal, memahami identifikasi kerusakan ruang penyimpanan (korosi, retak), memahami metode pencegahan korosi pada ruang penyimpanan, memahami prosedur keselamatan sebelum inspeksi. Sehingga pembaca dapat memahami tata letak ruang penyimpanan, mengidentifikasi serta mencegah kerusakan akibat korosi, dan menerapkan prosedur keselamatan yang tepat sebelum melakukan inspeksi ruang penyimpanan di kapal.	• Tata Letak Ruang Penyimpanan pada Berbagai Jenis Kapal • Identifikasi Kerusakan Ruang Penyimpanan (Korosi, Retak) • Metode Pencegahan Korosi pada Ruang Penyimpanan • Prosedur Keselamatan Sebelum Inspeksi
9	Mampu memahami terkait dengan prinsip kerja dan konstruksi penutup palka, memahami kedap air (*water tight*) vs. kedap cuaca (*weather tight*), memahami komponen penting dan area rawan korosi, serta memahami inspeksi tangki ballast dan pencegahan korosi. Sehingga pembaca dapat memahami prinsip kerja penutup palka, membedakan konsep kedap air dan kedap cuaca, mengenali area rawan korosi, serta	• Prinsip Kerja dan Konstruksi Penutup Palka • Kedap Air (*Water Tight*) vs. Kedap Cuaca (*Weather Tight*) • Komponen Penting dan Area Rawan Korosi • Inspeksi Tangki Ballast dan Pencegahan Korosi

	menerapkan inspeksi dan pencegahan korosi pada tangki ballast guna memastikan keselamatan dan efisiensi operasional kapal.	
10	Mampu memahami terkait dengan prosedur pelaporan kerusakan dan bukti pendukung, memahami *enhanced survey programme* (ESP), memahami program pemeriksaan yang ditingkatkan (*improved inspection program*). Sehingga pembaca dapat memahami prosedur pelaporan kerusakan dengan bukti yang valid, mengenali standar inspeksi dalam *Enhanced Survey Programme* (ESP), serta menerapkan program pemeriksaan yang ditingkatkan untuk memastikan keamanan dan keandalan kapal dalam jangka panjang.	• Prosedur Pelaporan Kerusakan dan Bukti Pendukung • *Enhanced Survey Programme* (ESP) • Program Pemeriksaan yang Ditingkatkan (*Improved Inspection Program*)
11	Mampu memahami terkait dengan prosedur pemompaan dan stripping kargo, memahami penggunaan *deck lines, stripping lines*, dan *crossovers*, memahami pengendalian laju pompa (*flow rate*), serta memahami checklist bongkar muatan dan tindakan darurat. Sehingga pembaca dapat memahami dan menerapkan prosedur pemompaan dan stripping kargo dengan benar, mengoperasikan sistem perpipaan kapal tanker secara efisien, mengendalikan laju pompa untuk mencegah risiko operasional, serta menjalankan checklist dan tindakan darurat saat bongkar muatan.	• Prosedur Pemompaan dan Stripping Kargo • Penggunaan *Deck Lines*, *Stripping Lines*, dan *Crossovers* • Pengendalian Laju Pompa (*Flow Rate*) • Checklist Bongkar Muatan dan Tindakan Darurat
12	Mampu memahami terkait dengan	• Teknik Pengamanan

	teknik pengamanan muatan (*lashing, dunnage, shoring*), memahami dampak penempatan muatan terhadap stabilitas kapal, memahami perhitungan stabilitas kapal (GM, GZ, KG), serta memahami pencegahan pergerakan muatan (*cargo shift*) dalam pelayaran. Sehingga pembaca dapat memahami dan menerapkan teknik pengamanan muatan yang efektif, mengelola dampak penempatan muatan terhadap stabilitas kapal, melakukan perhitungan stabilitas kapal secara akurat, serta mencegah pergerakan muatan yang dapat membahayakan keselamatan kapal dalam pelayaran.	Muatan (*Lashing, Dunnage, Shoring*) • Dampak Penempatan Muatan terhadap Stabilitas Kapal • Perhitungan Stabilitas Kapal (GM, GZ, KG) • Pencegahan Pergerakan Muatan (*Cargo Shift*) dalam Pelayaran
13	Mampu memahami terkait dengan jenis-jenis *crane* (hallen, stulken, velle, thompson), memahami prosedur operasi aman menggunakan *crane*, memahami penanganan muatan dengan jaring dan alat bantu lain, serta memahami inspeksi dan pemeliharaan *crane* secara berkala. Sehingga pembaca dapat memahami berbagai jenis *crane* dan fungsinya, mengoperasikan *crane* dengan aman sesuai prosedur, menangani muatan dengan jaring dan alat bantu lain secara efisien, serta melakukan inspeksi dan pemeliharaan *crane* secara berkala untuk memastikan kelayakan operasional di atas kapal.	• Jenis-Jenis *Crane* (Hallen, Stulken, Velle, Thompson) • Prosedur Operasi Aman Menggunakan *Crane* • Penanganan Muatan dengan Jaring dan Alat Bantu Lain • Inspeksi dan Pemeliharaan *Crane* secara Berkala

BAB I
PENDAHULUAN

Kemampuan Akhir yang Diharapkan Mampu memahami terkait dengan pengantar penanganan muatan, memahami peran dan tanggung jawab dalam penanganan muatan, serta memahami regulasi dan standar internasional. Sehingga pembaca dapat menerapkan prinsip-prinsip penanganan muatan yang aman, efisien, dan sesuai dengan regulasi dalam berbagai konteks industri logistik dan transportasi.
Materi Pembelajaran • Pengantar Penanganan Muatan • Peran dan Tanggung Jawab dalam Penanganan Muatan • Regulasi dan Standar Internasional • Soal Latihan

A. Pengantar Penanganan Muatan

Penanganan muatan adalah aspek penting dalam industri pelayaran yang mencakup proses perencanaan, pemuatan, pengangkutan, dan pembongkaran barang dari satu lokasi ke lokasi lain. Proses ini membutuhkan pendekatan yang sistematis dan mematuhi berbagai regulasi untuk memastikan efisiensi dan keselamatan operasional.

1. Definisi dan Ruang Lingkup Penanganan Muatan

Penanganan muatan di kapal merupakan aspek krusial dalam operasi maritim yang mencakup pemuatan, penyimpanan, dan pengangkutan barang dengan mempertimbangkan keselamatan, efisiensi ruang, dan stabilitas kapal. Menurut Branch (2022), setiap jenis muatan memiliki karakteristik unik yang memengaruhi cara penanganannya, baik dalam metode pemuatan, penyimpanan, maupun pemeliharaan selama perjalanan laut. Proses ini tidak hanya bertujuan untuk mengoptimalkan kapasitas muatan, tetapi juga untuk menjaga

keseimbangan kapal dan mencegah risiko kecelakaan yang dapat terjadi akibat distribusi beban yang tidak merata atau pergeseran muatan selama pelayaran.

Ruang lingkup penanganan muatan mencakup beberapa aspek utama, salah satunya adalah perencanaan muatan, yang berfokus pada cara penyusunan muatan secara optimal agar distribusi berat tetap seimbang dan stabil. Perencanaan ini sangat penting untuk menghindari ketidakseimbangan kapal yang dapat memengaruhi manuverabilitas serta meningkatkan risiko kecelakaan. Selain itu, proses ini juga mempertimbangkan jenis muatan, titik berat kapal (*center of gravity*), serta kondisi cuaca selama perjalanan.

Metode pemuatan dan pembongkaran menjadi aspek penting dalam efisiensi operasional kapal. Berbagai teknik digunakan untuk memuat dan membongkar barang, tergantung pada jenis kapal dan muatan yang diangkut. Penggunaan *crane, conveyor belt*, atau sistem otomatis lainnya dapat mempercepat proses serta mengurangi risiko kerusakan muatan. Teknologi modern juga memungkinkan integrasi sistem digital dalam pemantauan muatan, sehingga dapat meningkatkan akurasi dalam distribusi dan pengelolaan ruang kapal.

Penyimpanan dan pengamanan muatan sangat penting untuk memastikan barang tetap dalam kondisi optimal selama pelayaran. Muatan harus diikat dengan benar menggunakan metode yang sesuai dengan jenisnya, seperti penggunaan *lashings, dunnage*, atau *twist locks* pada peti kemas. Standar internasional, seperti yang ditetapkan oleh *International Maritime Organization* (IMO), mengatur bagaimana muatan harus diamankan untuk menghindari pergeseran yang dapat membahayakan keseimbangan kapal dan keselamatan kru.

Pengendalian risiko merupakan bagian integral dari penanganan muatan. Identifikasi potensi bahaya sejak awal dan implementasi langkah-langkah pencegahan dapat mencegah insiden yang tidak diinginkan, seperti tumpahan muatan berbahaya, kebakaran, atau ketidakseimbangan kapal. Oleh karena itu, regulasi internasional dan protokol keselamatan harus diterapkan secara ketat untuk memastikan operasi bongkar muat berjalan lancar dan aman. Dengan perencanaan yang matang dan metode penanganan yang tepat, efisiensi operasional kapal dapat ditingkatkan sekaligus menjaga keselamatan awak kapal dan lingkungan maritim.

2. Jenis-Jenis Muatan dan Tantangan dalam Penanganannya

Pada industri maritim, berbagai jenis muatan diangkut melalui laut untuk mendukung perdagangan global. Menurut Stopford (2023), muatan dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis utama, masing-masing dengan karakteristik dan tantangan tersendiri dalam penanganannya. Penanganan yang tidak tepat dapat mengakibatkan kecelakaan, kerusakan muatan, atau bahkan bencana lingkungan. Oleh karena itu, setiap jenis muatan memerlukan metode khusus agar dapat diangkut dengan aman dan efisien.

Salah satu jenis muatan yang umum adalah muatan curah kering (*dry bulk cargo*), seperti batu bara, bijih besi, dan gandum. Muatan ini biasanya diangkut dalam jumlah besar dan tidak dikemas dalam wadah tertentu. Tantangan utama dalam menangani muatan curah kering adalah risiko pergeseran muatan selama pelayaran, yang dapat memengaruhi stabilitas kapal dan meningkatkan kemungkinan kapal miring atau terbalik. Untuk mengatasi tantangan ini, muatan harus dimuat dan ditata dengan benar, serta dalam beberapa kasus dibasahi untuk mengurangi pergerakan.

Jenis muatan berikutnya adalah muatan curah cair (*liquid bulk cargo*), yang mencakup minyak mentah, gas alam cair (LNG), dan bahan kimia. Karena sifat cairannya, muatan ini dapat bergerak secara dinamis di dalam tangki penyimpanan kapal, menyebabkan fenomena "*free surface effect*" yang mengganggu keseimbangan kapal. Selain itu, risiko kebocoran atau tumpahan sangat tinggi, yang dapat mencemari lingkungan laut dan mengancam ekosistem. Oleh karena itu, pengangkutan muatan cair memerlukan sistem pemisahan tangki, prosedur pemompaan yang ketat, serta pemantauan tekanan dan suhu selama perjalanan.

Muatan peti kemas (*containerized cargo*) juga menjadi salah satu jenis muatan utama yang mendukung perdagangan global. Barang seperti elektronik, pakaian, dan makanan olahan diangkut dalam peti kemas standar untuk memudahkan pemindahan dan pengaturan di pelabuhan. Tantangan utama dalam penanganan muatan peti kemas adalah memastikan distribusi berat yang seimbang untuk menjaga stabilitas kapal. Peti kemas harus disusun dengan memperhatikan kapasitas daya dukung kapal, serta diikat menggunakan twist locks agar tidak bergeser selama pelayaran.

Terdapat muatan berbahaya (*hazardous cargo*), seperti bahan peledak, zat beracun, dan gas bertekanan tinggi. Muatan ini memiliki risiko tinggi terhadap keselamatan kapal dan lingkungan. Oleh karena itu, pengangkutan muatan berbahaya harus mematuhi regulasi ketat dari *International Maritime Dangerous Goods* (IMDG) *Code*, yang mencakup prosedur penyimpanan, pelabelan, dan penanganan darurat. Muatan proyek (*project cargo*) mencakup peralatan industri besar, komponen konstruksi, atau barang dengan ukuran tidak standar. Muatan ini sering kali memerlukan metode pemuatan khusus dan perlengkapan pengamanan tambahan, seperti lashing yang lebih kuat dan penggunaan *crane* berat. Koordinasi antara kru kapal, operator pelabuhan, dan pemilik barang menjadi sangat penting dalam memastikan muatan proyek diangkut dengan aman.

3. Prinsip Keselamatan dalam Penanganan Muatan

Keselamatan dalam penanganan muatan merupakan aspek krusial dalam operasi kapal untuk mencegah kecelakaan kerja, kerusakan barang, serta dampak lingkungan yang merugikan. Menurut *International Chamber of Shipping* (ICS, 2023), terdapat beberapa prinsip utama yang harus diterapkan guna memastikan bahwa muatan dapat diangkut dengan aman dan efisien. Prinsip-prinsip ini mencakup stabilitas kapal, keamanan muatan, kepatuhan terhadap regulasi internasional, serta pelatihan kru kapal yang memadai.

Salah satu prinsip keselamatan utama dalam penanganan muatan adalah stabilitas kapal. Distribusi muatan harus mempertimbangkan pusat gravitasi kapal agar tidak mengalami kemiringan yang berlebihan atau ketidakseimbangan yang berpotensi menyebabkan kapal terbalik. Ketidakseimbangan dapat terjadi jika muatan ditempatkan secara tidak merata atau jika ada pergeseran muatan selama pelayaran. Oleh karena itu, sebelum keberangkatan, perhitungan stabilitas kapal harus dilakukan dengan cermat menggunakan parameter seperti GM (*Metacentric Height*), GZ (*Righting Arm*), dan KG (*Vertical Center of Gravity*) untuk memastikan bahwa kapal tetap dalam kondisi seimbang di berbagai kondisi laut.

Keamanan muatan juga menjadi faktor penting dalam mencegah risiko pergerakan muatan yang dapat membahayakan kapal dan awaknya. Penggunaan metode pengamanan seperti *lashing* (pengikatan), *dunnage* (bantalan), dan *shoring* (penyangga) harus

diterapkan dengan tepat sesuai dengan jenis muatan yang diangkut. Muatan yang tidak terikat dengan baik berisiko bergeser selama perjalanan, terutama dalam kondisi laut yang berombak. Hal ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan kapal dan meningkatkan potensi kecelakaan. Oleh karena itu, pemilihan metode pengamanan harus dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik muatan serta kondisi operasional kapal.

Kepatuhan terhadap regulasi internasional juga menjadi bagian penting dalam memastikan keselamatan selama proses penanganan muatan. Standar seperti *Safety of Life at Sea* (SOLAS) dan *Marine Pollution Prevention Convention* (MARPOL) mengatur prosedur keselamatan terkait pemuatan, penyimpanan, dan transportasi muatan di kapal. SOLAS, misalnya, menetapkan persyaratan terkait pemuatan yang aman untuk menghindari risiko kecelakaan yang dapat mengancam nyawa awak kapal. Sementara itu, MARPOL mengatur pencegahan pencemaran laut akibat tumpahan bahan berbahaya, seperti minyak dan bahan kimia. Pelatihan kru kapal menjadi elemen krusial dalam penerapan prinsip keselamatan. Semua personel yang terlibat dalam penanganan muatan harus memiliki pemahaman yang memadai tentang prosedur pemuatan, penyimpanan, dan penanganan muatan berbahaya. Pelatihan ini mencakup aspek teknis, seperti penggunaan peralatan pemuatan, serta aspek keselamatan, termasuk prosedur tanggap darurat dalam menangani insiden seperti tumpahan bahan berbahaya atau pergeseran muatan.

4. Pentingnya Efisiensi dalam Penanganan Muatan

Efisiensi dalam penanganan muatan merupakan faktor kunci dalam industri maritim, yang bertujuan untuk mengurangi biaya operasional, mempercepat proses bongkar muat, serta meningkatkan daya saing perusahaan pelayaran dan pelabuhan. Menurut Rodrigue (2023), efisiensi dalam manajemen muatan tidak hanya berdampak pada aspek ekonomi tetapi juga pada keberlanjutan lingkungan, karena pengurangan waktu tunggu kapal di pelabuhan dapat menekan konsumsi bahan bakar dan emisi karbon.

Salah satu inovasi utama dalam meningkatkan efisiensi adalah automasi dan digitalisasi. Teknologi seperti *Port Community Systems* (PCS) dan *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemantauan muatan secara real-time, sehingga operator kapal dan pelabuhan dapat

mengakses informasi penting seperti lokasi kontainer, status pemuatan, dan estimasi waktu kedatangan dengan lebih akurat. Selain itu, penggunaan sistem manajemen terminal (TOS – *Terminal Operating System*) telah mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual dan meningkatkan efisiensi operasional dengan mengotomatiskan proses pencatatan dan pengelolaan muatan.

Gambar 1. *Big Data*



Sumber: *Dqlab*

Optimalisasi rute dan jadwal juga menjadi strategi penting dalam meningkatkan efisiensi. Dengan memanfaatkan perangkat lunak berbasis kecerdasan buatan (AI) dan big data analytics, perusahaan pelayaran dapat merencanakan jalur pelayaran yang paling hemat bahan bakar serta menyesuaikan jadwal keberangkatan dan kedatangan secara lebih dinamis. Hal ini tidak hanya mengurangi biaya operasional tetapi juga membantu menghindari kemacetan di pelabuhan tujuan, sehingga proses bongkar muat dapat dilakukan dengan lebih cepat dan tanpa hambatan.

Faktor lain yang turut menentukan efisiensi dalam penanganan muatan adalah peningkatan infrastruktur pelabuhan. Pengembangan fasilitas bongkar muat yang lebih canggih, seperti penggunaan *crane* otomatis dan sistem *conveyor belt* berkecepatan tinggi, telah mengurangi waktu tunggu kapal serta mempercepat pergerakan muatan dari kapal ke darat. Modernisasi pelabuhan dengan teknologi hijau, seperti *cold ironing* (pemasokan listrik ke kapal saat bersandar), juga

membantu mengurangi konsumsi bahan bakar selama proses bongkar muat, sehingga meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan.

B. Peran dan Tanggung Jawab dalam Penanganan Muatan

Penanganan muatan dalam industri maritim merupakan proses yang kompleks yang melibatkan berbagai pihak dengan peran dan tanggung jawab masing-masing. Setiap pihak harus bekerja secara terkoordinasi untuk memastikan bahwa muatan diangkut dengan aman, efisien, dan sesuai dengan regulasi yang berlaku. Menurut Stopford (2023), koordinasi yang baik dalam rantai logistik pelayaran dapat mengurangi risiko kecelakaan dan meningkatkan efisiensi operasional.

1. Pihak-Pihak yang Terlibat dalam Penanganan Muatan

Pada industri maritim, penanganan muatan merupakan proses kompleks yang melibatkan berbagai pihak untuk memastikan kelancaran operasional, keselamatan, serta kepatuhan terhadap regulasi internasional. Setiap pihak memiliki peran dan tanggung jawab yang berbeda, mulai dari pengelolaan kapal hingga pengiriman barang ke penerima akhir.

Pemilik kapal (*ship owner*) adalah pihak utama yang bertanggung jawab atas keselamatan kapal dan muatan selama perjalanan, memastikan bahwa kapal memenuhi standar keselamatan internasional seperti SOLAS (*Safety of Life at Sea*) dan MARPOL (*Marine Pollution Prevention Convention*). Selain itu, pemilik kapal juga berperan dalam menyediakan pelatihan bagi kru kapal terkait prosedur penanganan muatan, sehingga dapat mengurangi risiko kecelakaan dan kerusakan barang.

Operator kapal (*ship operator*) mengelola operasional harian kapal, termasuk pengaturan jadwal perjalanan dan efisiensi penggunaan bahan bakar. Berkoordinasi dengan agen pelabuhan untuk memastikan proses bongkar muat berjalan lancar dan tanpa hambatan. Selain itu, operator kapal juga bertanggung jawab dalam menyediakan dokumen muatan yang sesuai dengan regulasi internasional, guna memastikan kelancaran proses administratif selama perjalanan dan di pelabuhan tujuan.

Di atas kapal, kapten kapal (*ship master*) memiliki kewenangan penuh atas keselamatan kapal, kru, dan muatan. Kapten harus

memastikan bahwa distribusi muatan di kapal tetap seimbang guna menjaga stabilitas selama pelayaran. Selain itu, ia juga memantau kondisi cuaca serta faktor eksternal lainnya yang dapat mempengaruhi keselamatan perjalanan. Dalam tugasnya, kapten dibantu oleh perwira kargo (*cargo officer/chief officer*) yang bertanggung jawab langsung dalam pengawasan pemuatan, penyimpanan, dan pembongkaran muatan. Perwira kargo memastikan bahwa semua prosedur penanganan muatan dilakukan sesuai dengan standar keselamatan serta mengidentifikasi potensi risiko yang dapat membahayakan kapal dan kru.

Di pelabuhan, kru kapal (*deck crew and stevedores*) bertugas melaksanakan pekerjaan fisik dalam pemuatan dan pembongkaran muatan, harus memastikan bahwa semua muatan telah diamankan dengan benar sebelum kapal berlayar. Kru kapal juga menggunakan alat bantu seperti *crane* dan *forklift* untuk mengoptimalkan proses bongkar muat secara aman dan efisien. Dari sisi logistik, pengirim barang (*shipper*) berperan dalam menyediakan dokumen lengkap tentang spesifikasi dan kondisi muatan. Bertanggung jawab memastikan bahwa muatan dikemas dengan aman sebelum dikirim ke pelabuhan serta mematuhi peraturan terkait, terutama jika membawa muatan berbahaya (*hazardous cargo*). Setelah kapal tiba di tujuan, penerima barang (*consignee*) akan menerima dan memeriksa kondisi muatan, harus berkoordinasi dengan operator pelabuhan untuk memastikan pembongkaran berjalan efisien dan segera melaporkan jika ada kerusakan atau kehilangan barang selama pengiriman.

Di pelabuhan, agen pelabuhan (*port agent*) berperan sebagai perantara antara kapal dan otoritas pelabuhan. Bertanggung jawab mengurus dokumen kepabeanan, perizinan bongkar muat, serta memastikan bahwa kapal mendapatkan layanan yang dibutuhkan selama bersandar. Otoritas pelabuhan (*port authority*) sendiri memiliki peran utama dalam menjaga keselamatan dan efisiensi operasi pelabuhan. Memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan dan keselamatan kerja serta mengelola fasilitas seperti *crane*, gudang, dan sistem transportasi internal agar proses bongkar muat berjalan lancar.

2. Tanggung Jawab dalam Penanganan Muatan

Pada proses penanganan muatan, setiap pihak yang terlibat memiliki tanggung jawab spesifik untuk memastikan efisiensi

operasional serta keselamatan kapal, kru, dan barang yang diangkut. Tanggung jawab ini mencakup perencanaan awal, prosedur keselamatan, kepatuhan terhadap regulasi, pengawasan selama perjalanan, hingga proses pembongkaran dan distribusi di pelabuhan tujuan. Tahap awal dalam penanganan muatan adalah perencanaan dan koordinasi yang matang untuk menghindari risiko seperti ketidakseimbangan kapal atau kerusakan barang. Menurut Rodrigue (2023), perencanaan yang baik mencakup pemetaan distribusi muatan guna menjaga stabilitas kapal, koordinasi dengan agen pelabuhan untuk memastikan kelancaran proses bongkar muat, serta pengelompokan muatan berdasarkan jenis dan destinasi agar mempermudah akses saat pembongkaran. Dengan perencanaan yang sistematis, proses pemuatan dapat dilakukan dengan lebih efisien dan minim risiko.

Prosedur keselamatan menjadi aspek utama dalam penanganan muatan. Berdasarkan standar *International Maritime Organization* (IMO, 2023), terdapat beberapa prosedur keselamatan yang harus diterapkan. Para pekerja di kapal dan pelabuhan wajib menggunakan alat pelindung diri (APD) selama proses bongkar muat. Selain itu, muatan berbahaya harus menjalani inspeksi sesuai dengan *International Maritime Dangerous Goods* (IMDG) Code sebelum dimuat ke kapal. Sistem *lashing* (pengikatan muatan) juga diterapkan untuk mencegah pergeseran barang selama pelayaran yang dapat membahayakan stabilitas kapal dan keselamatan kru. Selain aspek teknis, dokumentasi dan kepatuhan regulasi juga menjadi bagian penting dalam penanganan muatan. Menurut Branch (2022), setiap pengiriman harus disertai dokumen lengkap seperti *Bill of Lading* (B/L) yang mencatat jenis, jumlah, dan tujuan muatan, *Cargo Manifest* yang berisi daftar lengkap barang dalam satu perjalanan, serta *Certificate of Origin* yang menunjukkan asal muatan. Untuk barang berbahaya, diperlukan *Dangerous Goods Declaration* guna memastikan kepatuhan terhadap regulasi keselamatan.

Pengawasan muatan dilakukan secara berkala untuk memastikan kondisi barang tetap terjaga. Menurut *International Chamber of Shipping* (ICS, 2023), pengawasan ini mencakup pemeriksaan tekanan tangki untuk muatan cair guna mencegah kebocoran, pemantauan suhu dan kelembaban untuk barang sensitif seperti makanan atau bahan kimia, serta pelaporan kondisi muatan ke pusat kendali kapal agar tindakan darurat dapat segera diambil jika

diperlukan. Setelah kapal tiba di tujuan, pembongkaran dan distribusi menjadi tahap akhir dalam penanganan muatan. Notteboom (2023) menjelaskan bahwa proses ini memerlukan pengaturan jadwal bongkar muat untuk menghindari kemacetan di pelabuhan, pemeriksaan kondisi barang sebelum diserahkan ke penerima, serta koordinasi dengan transportasi darat agar distribusi lebih lanjut dapat berjalan lancar. Dengan penerapan tanggung jawab ini secara sistematis, penanganan muatan dapat dilakukan dengan aman, efisien, dan sesuai standar internasional.

C. Regulasi dan Standar Internasional

Regulasi dan standar internasional dalam penanganan muatan dirancang untuk memastikan keselamatan, efisiensi, dan kepatuhan terhadap prinsip-prinsip lingkungan dalam industri maritim. Standar ini dikembangkan oleh berbagai organisasi internasional seperti *International Maritime Organization* (IMO), *International Labour Organization* (ILO), dan International Organization for Standardization (ISO) untuk mengurangi risiko kecelakaan, melindungi lingkungan, serta meningkatkan transparansi dalam proses logistik dan perdagangan global. Berikut ini akan diuraikan berbagai regulasi dan standar internasional yang berlaku dalam penanganan muatan, termasuk konvensi IMO, kode-kode khusus, standar ISO, serta pedoman dari ILO.

1. Konvensi Internasional yang Mengatur Penanganan Muatan

Pada industri pelayaran, penanganan muatan harus mematuhi berbagai konvensi internasional yang dirancang untuk memastikan keselamatan, perlindungan lingkungan, dan efisiensi operasional. Beberapa konvensi utama yang mengatur aspek ini mencakup *Safety of Life at Sea* (SOLAS) 1974, *Marine Pollution Prevention* (MARPOL) 1973/78, dan *International Convention on Load Lines* (ICLL) 1966. Ketiga konvensi ini ditetapkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) dan menjadi standar global dalam pengelolaan muatan di kapal.

Konvensi SOLAS (*Safety of Life at Sea*) 1974 adalah salah satu regulasi keselamatan maritim terpenting yang mengatur berbagai aspek operasional kapal, termasuk penanganan muatan. Dalam konteks

ini, SOLAS menetapkan aturan mengenai penyimpanan dan pengikatan muatan (*Stowage and Securing of Cargo*) untuk memastikan barang yang dimuat di kapal tersimpan dengan aman dan tidak bergeser selama pelayaran, terutama dalam kondisi cuaca buruk. Selain itu, SOLAS juga mengadopsi *International Maritime Dangerous Goods* (IMDG) Code, yang merupakan regulasi khusus untuk penanganan muatan berbahaya seperti bahan kimia, gas bertekanan, dan zat eksplosif. Regulasi ini memastikan bahwa barang berbahaya dikemas, diberi label, dan disimpan dengan cara yang aman untuk mencegah kecelakaan atau pencemaran lingkungan. Salah satu ketentuan penting lainnya dalam SOLAS adalah *Verified Gross Mass* (VGM) Requirement, yang mewajibkan verifikasi berat kotor kontainer sebelum diangkut ke kapal. Hal ini bertujuan untuk menghindari ketidakseimbangan kapal akibat pemuatan yang tidak akurat. Menurut IMO (2023), kepatuhan terhadap SOLAS sangat krusial dalam mengurangi kecelakaan akibat pemuatan yang tidak tepat serta meningkatkan keselamatan awak kapal dan kargo.

Konvensi MARPOL (*Marine Pollution Prevention*) 1973/78 juga memiliki peran penting dalam penanganan muatan, terutama dalam aspek perlindungan lingkungan maritim. MARPOL bertujuan untuk mencegah pencemaran laut akibat aktivitas pelayaran dengan menetapkan aturan ketat terkait pembuangan limbah minyak dan bahan kimia dari muatan kapal, serta pengelolaan polusi udara yang dihasilkan oleh muatan berbahaya. Konvensi ini juga mengatur pencegahan tumpahan bahan bakar dan muatan cair selama proses bongkar muat, yang dapat menyebabkan kerusakan ekosistem laut. Bagi kapal tanker dan kapal barang yang mengangkut zat berbahaya, penerapan MARPOL sangat penting untuk memastikan bahwa setiap langkah dalam penanganan muatan dilakukan dengan aman dan tidak mencemari lingkungan (ICS, 2023).

Konvensi *International Convention on Load Lines* (ICLL) 1966 mengatur batas garis muat kapal untuk memastikan bahwa kapal tidak dimuat melebihi batas aman. Garis muat ini menjadi penanda penting dalam penanganan muatan karena berfungsi untuk mencegah kapal kehilangan stabilitas akibat kelebihan beban, yang dapat meningkatkan risiko tenggelam. Dengan adanya regulasi ini, operator kapal wajib memastikan bahwa berat muatan yang diangkut tidak melampaui batas aman yang telah ditentukan. Menurut Stopford (2023), pemantauan

ketat terhadap batas garis muat sangat diperlukan untuk menjaga keseimbangan kapal, terutama saat menghadapi kondisi laut yang ekstrem.

2. Standar dan Kode Internasional dalam Penanganan Muatan

Terdapat berbagai standar dan kode internasional yang secara khusus mengatur aspek teknis dalam penanganan muatan. Standar-standar ini mencakup aturan tentang pengemasan, penyimpanan, pemisahan muatan berbahaya, serta prosedur keselamatan dalam pengangkutan barang di kapal. Beberapa kode internasional utama dalam penanganan muatan meliputi *International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code*, *Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing* (CSS Code), serta *International Convention for Safe Containers* (CSC) – 1972.

Salah satu regulasi utama dalam penanganan muatan berbahaya adalah *International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code*. Kode ini ditetapkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) untuk mengatur bagaimana muatan berbahaya harus ditangani, diangkut, dan disimpan di atas kapal. Beberapa aspek utama dalam IMDG Code meliputi *Labeling* and *Packaging*, yang mewajibkan semua muatan berbahaya untuk diberi label dengan standar khusus dan dikemas secara aman untuk mencegah kebocoran atau ledakan. Selain itu, IMDG Code juga mengatur *Segregation of Dangerous Goods*, yaitu pemisahan muatan berbahaya berdasarkan kategori risikonya untuk mencegah reaksi kimia yang berbahaya selama pelayaran. Tidak hanya itu, kode ini juga mencakup *Emergency Response Procedures*, yang memberikan panduan tindakan darurat jika terjadi insiden yang melibatkan muatan berbahaya, seperti kebakaran atau tumpahan zat beracun.

Terdapat *Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing* (CSS Code) yang memberikan pedoman tentang cara menyusun, mengamankan, dan mengikat muatan agar tetap stabil selama pelayaran. Regulasi ini sangat penting untuk kapal yang mengangkut muatan berat seperti kendaraan, mesin industri, atau material konstruksi. Jika muatan tidak diamankan dengan benar, pergeseran kargo dapat menyebabkan kapal kehilangan keseimbangan, yang berpotensi menimbulkan kecelakaan serius di laut. CSS Code memberikan standar teknis tentang metode pengikatan dan penggunaan perlengkapan pengaman, seperti rantai, tali baja, dan bantalan gesekan,

untuk memastikan kargo tetap stabil selama perjalanan. Menurut Branch (2022), penerapan CSS Code secara ketat sangat penting dalam mencegah insiden seperti kapal miring atau kontainer jatuh ke laut akibat muatan yang tidak diamankan dengan baik.

Aspek keselamatan kontainer juga menjadi perhatian utama dalam standar internasional. *International Convention for Safe Containers* (CSC) – 1972 adalah konvensi yang menetapkan standar keselamatan dan ketahanan struktural kontainer yang digunakan dalam transportasi maritim. CSC mengatur tentang pemeriksaan dan sertifikasi kontainer sebelum digunakan, yang memastikan bahwa setiap kontainer yang beroperasi memenuhi persyaratan keselamatan sebelum dimuat ke kapal. Selain itu, CSC juga menetapkan ketahanan kontainer terhadap kondisi cuaca ekstrem dan benturan mekanis, yang sangat penting untuk mencegah kerusakan pada barang yang diangkut. Standar ini juga mencakup labelisasi dan identifikasi kontainer, yang memungkinkan pemantauan kepatuhan terhadap standar internasional. Menurut *International Labour Organization* (ILO) – 2023, penerapan CSC sangat penting dalam industri pelayaran untuk memastikan bahwa kontainer tetap aman selama transportasi dan tidak mengalami kerusakan yang dapat mengancam muatan di dalamnya.

3. Standar ISO dalam Penanganan Muatan

International Organization for Standardization (ISO) telah menetapkan berbagai standar dalam penanganan muatan untuk memastikan efisiensi, keselamatan, dan keberlanjutan dalam rantai pasok global. Standar-standar ini tidak hanya membantu meningkatkan kualitas layanan dan operasional, tetapi juga memastikan bahwa proses bongkar muat dilakukan sesuai dengan praktik terbaik dan regulasi internasional. Beberapa standar utama dalam penanganan muatan meliputi ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, dan ISO 3874, yang berperan dalam meningkatkan mutu layanan, kepatuhan lingkungan, serta keamanan kontainer dalam transportasi.

Salah satu standar yang paling penting dalam manajemen operasional adalah ISO 9001:2015 (*Quality Management System*). Standar ini mengatur sistem manajemen mutu dalam penanganan muatan dan operasi pelabuhan dengan fokus pada peningkatan efisiensi operasional dan kepuasan pelanggan. ISO 9001:2015 menekankan pendekatan berbasis risiko, dokumentasi proses yang jelas, serta

kontrol kualitas yang ketat dalam setiap tahapan penanganan muatan, mulai dari penyimpanan hingga distribusi. Dengan menerapkan standar ini, perusahaan yang bergerak di bidang logistik dan pelabuhan dapat mengoptimalkan prosedur operasional, mengurangi kesalahan dalam penanganan barang, serta meningkatkan keandalan dan keamanan layanan.

Kepedulian terhadap lingkungan juga menjadi perhatian utama dalam penanganan muatan. ISO 14001:2015 (*Environmental Management System*) memastikan bahwa setiap proses bongkar muat kapal dilakukan dengan mempertimbangkan dampak lingkungan. Standar ini mengharuskan perusahaan untuk mengidentifikasi dan mengurangi potensi polusi, termasuk pengelolaan limbah, emisi gas, serta penggunaan sumber daya yang lebih efisien. Dalam konteks pelabuhan dan transportasi, penerapan ISO 14001:2015 membantu mengurangi risiko pencemaran laut, meningkatkan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan internasional, serta memperkuat reputasi perusahaan dalam keberlanjutan bisnis.

ISO 3874 (*Handling and Securing of Containers*) menjadi pedoman teknis dalam penanganan dan pengamanan kontainer selama transportasi. Standar ini mencakup prosedur tentang cara memuat, mengikat, dan mengamankan kontainer agar tetap stabil selama perjalanan laut maupun darat. Dengan mengikuti ISO 3874, operator pelabuhan dan perusahaan logistik dapat meminimalkan risiko kecelakaan akibat pergeseran muatan, meningkatkan efisiensi bongkar muat, serta memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan internasional.

D. Soal Latihan

1. Apa tujuan utama penerapan IMDG Code dalam industri maritim?
2. Sebutkan tiga prinsip utama dalam *Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing* (CSS Code).
3. Mengapa ISO 14001 penting dalam proses bongkar muat kapal?
4. Jelaskan bagaimana MARPOL membantu mengurangi pencemaran laut dari kegiatan pelayaran.
5. Apa perbedaan utama antara CSC (*Convention for Safe Containers*) dan ISO 3874 dalam konteks transportasi kontainer?



BAB II
PRINSIP DASAR PENANGANAN MUATAN

Kemampuan Akhir yang Diharapkan Mampu memahami terkait dengan pengaturan dan pengamanan muatan yang aman, memahami siklus udara dan pengaturannya dalam palka, serta memahami penyimpanan dan pemisahan muatan. Sehingga pembaca dapat menerapkan prosedur yang aman dan efisien dalam pengaturan, pengamanan, dan penyimpanan muatan sesuai standar keselamatan dan regulasi internasional.
Materi Pembelajaran • Pengaturan dan Pengamanan Muatan yang Aman • Siklus Udara dan Pengaturannya dalam Palka • Penyimpanan dan Pemisahan Muatan • Soal Latihan

A. Pengaturan dan Pengamanan Muatan yang Aman

Pengaturan dan pengamanan muatan yang aman merupakan aspek penting dalam operasi kapal untuk memastikan keselamatan pelayaran, efisiensi bongkar muat, serta perlindungan terhadap awak kapal dan lingkungan. Kesalahan dalam pengaturan dan pengamanan muatan dapat menyebabkan pergeseran muatan, kehilangan stabilitas kapal, atau bahkan kecelakaan maritim yang fatal (Smith *et al*., 2022). Oleh karena itu, penerapan prinsip-prinsip keselamatan dalam pengaturan dan pengamanan muatan sangat penting untuk mengurangi risiko yang mungkin terjadi.

1. Prinsip-Prinsip Pengaturan Muatan yang Aman

Pengaturan muatan yang aman merupakan aspek krusial dalam operasi maritim untuk memastikan keselamatan kapal, awak, serta barang yang diangkut. Menurut International Maritime Organization

(IMO) dalam *Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing* (CSS Code, 2021), terdapat beberapa prinsip utama yang harus diperhatikan dalam penyusunan dan pengamanan muatan. Prinsip-prinsip ini bertujuan untuk meminimalkan risiko kecelakaan akibat distribusi muatan yang tidak tepat, pergeseran muatan selama pelayaran, serta dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan.

Salah satu prinsip utama dalam pengaturan muatan yang aman adalah distribusi beban yang merata. Muatan harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga bobot tersebar secara seimbang di seluruh ruang muat kapal. Ketidakseimbangan distribusi beban dapat menyebabkan gangguan stabilitas kapal, meningkatkan risiko kemiringan yang berlebihan, dan dalam kasus ekstrem dapat menyebabkan kapal terbalik (*roll-over*). Oleh karena itu, perencanaan pemuatan yang cermat sangat penting untuk memastikan bahwa tidak ada bagian kapal yang mengalami beban berlebih atau kurang, sehingga keseimbangan tetap terjaga sepanjang perjalanan.

Keseimbangan stabilitas kapal juga menjadi faktor krusial dalam pengaturan muatan. Muatan yang lebih berat harus ditempatkan di bagian bawah kapal untuk menurunkan pusat gravitasi, yang pada akhirnya akan meningkatkan stabilitas kapal. Apabila pusat gravitasi terlalu tinggi, kapal akan lebih rentan terhadap guncangan dan gelombang tinggi, yang dapat mengakibatkan ketidakstabilan. Selain itu, sistem ballast air sering digunakan untuk menyeimbangkan kapal, terutama ketika terjadi perubahan berat akibat muatan yang berbeda atau konsumsi bahan bakar selama pelayaran.

Prinsip selanjutnya adalah pengelompokan muatan berdasarkan jenis dan karakteristiknya. Barang yang memiliki sifat berbahaya, seperti bahan kimia atau gas mudah terbakar, harus ditempatkan sesuai dengan standar In*ternational Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code*. Penempatan yang tidak sesuai dapat meningkatkan risiko reaksi kimia berbahaya, kebakaran, atau ledakan. Selain itu, muatan dalam bentuk cair dan padat harus dipisahkan dengan baik untuk menghindari pencampuran atau kebocoran, yang dapat merusak muatan lain serta mencemari lingkungan kapal.

Kapal juga harus mematuhi kapasitas muatan yang sesuai untuk mencegah kelebihan muatan. Setiap kapal memiliki batas muatan yang ditentukan oleh Plimsoll Line, sesuai dengan ketentuan *International Load Line Convention* (2020). Jika muatan melebihi batas yang

diizinkan, kapal dapat tenggelam lebih dalam di air, mengurangi daya apung, serta meningkatkan risiko kerusakan lambung dan ketidakstabilan akibat perubahan kondisi laut. Oleh karena itu, perhitungan muatan yang cermat sebelum keberangkatan menjadi sangat penting untuk menjamin keselamatan pelayaran. Dengan menerapkan prinsip-prinsip ini, kapal dapat beroperasi dengan lebih aman dan efisien, mengurangi risiko kecelakaan, serta memastikan bahwa muatan tiba di tujuan dengan kondisi yang baik.

2. Metode Pengamanan Muatan yang Efektif

Pada industri maritim, pengamanan muatan merupakan aspek krusial untuk memastikan keselamatan kapal, awak, dan barang yang diangkut. Selama pelayaran, kapal dapat mengalami guncangan akibat gelombang, perubahan kecepatan, atau manuver mendadak yang berisiko menyebabkan pergeseran muatan. Untuk menghindari hal tersebut, berbagai metode pengamanan muatan digunakan guna memastikan muatan tetap stabil dan tidak bergerak selama perjalanan. Salah satu metode utama dalam pengamanan muatan adalah *lashing* (pengikatan muatan). Teknik ini menggunakan tali, rantai, atau kabel baja untuk mengikat muatan agar tetap berada di tempatnya selama pelayaran. Lashing sangat umum digunakan pada kontainer, kendaraan, dan muatan berat lainnya yang berpotensi bergeser akibat guncangan kapal. Pengikatan dilakukan dengan memperhitungkan titik keseimbangan muatan dan kekuatan tarik material yang digunakan agar mampu menahan tekanan selama pelayaran.

Metode *dunnage* (bantalan muatan) digunakan untuk menstabilkan dan melindungi muatan dari benturan serta gesekan. Dunnage umumnya berupa kayu, karet, atau bahan bantalan lainnya yang ditempatkan di antara atau di sekitar muatan untuk meredam guncangan dan mengurangi risiko kerusakan. Metode ini sering digunakan dalam pengangkutan barang pecah belah atau muatan yang rentan terhadap tekanan, seperti barang elektronik atau produk industri yang sensitif terhadap getaran. Metode lain yang digunakan adalah *shoring* (penopang muatan), yang bertujuan untuk menjaga barang tetap dalam posisi tertentu, terutama untuk barang berbentuk tidak beraturan. *Shoring* menggunakan struktur kayu atau logam sebagai penopang untuk memastikan muatan tidak terguling atau berpindah tempat. Teknik ini sangat efektif dalam pengangkutan kargo curah,

pipa, atau peralatan berat, yang membutuhkan stabilitas ekstra selama pelayaran.

Metode *securing* (pengamanan tambahan) diterapkan untuk memberikan perlindungan ekstra terhadap muatan. Teknik ini menggunakan bracing atau struktur tambahan untuk mencegah pergerakan muatan yang dapat membahayakan kapal dan kru. *Securing* dapat berupa pagar pembatas di sekitar area muatan atau sistem penguncian pada kontainer yang memastikan muatan tetap pada posisinya bahkan dalam kondisi laut yang ekstrem. Dengan menerapkan metode pengamanan yang efektif, risiko kecelakaan akibat pergeseran muatan dapat diminimalkan. Kombinasi dari *lashing, dunnage, shoring,* dan *securing* akan memastikan bahwa muatan tetap stabil selama perjalanan, sehingga keselamatan kapal dan efisiensi logistik dapat terjaga dengan baik.

3. Dampak Kesalahan dalam Pengaturan dan Pengamanan Muatan

Kesalahan dalam pengaturan dan pengamanan muatan dapat menimbulkan konsekuensi serius bagi keselamatan kapal, kru, dan lingkungan. Jika muatan tidak diatur dan diamankan dengan benar, berbagai risiko dapat terjadi, mulai dari kecelakaan kapal hingga pencemaran laut. Salah satu dampak paling berbahaya adalah *shifting cargo* (pergeseran muatan). Muatan yang tidak terikat dengan baik dapat berpindah tempat akibat guncangan gelombang atau manuver mendadak kapal. Pergeseran ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan kapal, yang dalam kasus ekstrem bisa mengakibatkan kapal miring secara berlebihan atau bahkan terbalik (*capsizing*). Situasi ini sangat berbahaya, terutama bagi kapal yang membawa muatan curah seperti bijih besi atau gandum, yang dapat bergeser dengan cepat saat terkena guncangan.

Distribusi muatan yang tidak merata dapat menyebabkan *structural damage* (kerusakan struktur kapal). Jika beban tidak tersebar dengan baik, beberapa bagian kapal bisa mengalami tekanan berlebih yang berpotensi menyebabkan retakan, deformasi, atau kebocoran pada lambung kapal. Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat melemahkan struktur kapal dan meningkatkan risiko kecelakaan. Kapal yang mengalami kerusakan struktural juga dapat kehilangan daya apungnya lebih cepat dalam kondisi darurat, memperburuk situasi keselamatan di

laut. Dampak lainnya adalah *loss of cargo* (hilangnya muatan di laut), yang terjadi ketika muatan tidak diamankan dengan baik dan akhirnya jatuh ke laut. Kehilangan muatan ini tidak hanya menyebabkan kerugian finansial bagi pemilik barang, tetapi juga dapat mencemari lingkungan laut. Kontainer atau bahan berbahaya yang jatuh ke laut dapat membahayakan ekosistem laut dan menimbulkan risiko navigasi bagi kapal lain.

Kesalahan dalam pengaturan muatan juga dapat memicu fire and chemical hazards (bahaya kebakaran dan reaksi kimia). Jika bahan berbahaya seperti bahan kimia atau bahan mudah terbakar tidak disimpan sesuai dengan regulasi seperti *International Maritime Dangerous Goods* (IMDG) Code, kemungkinan terjadinya kebakaran, ledakan, atau pelepasan gas beracun meningkat. Situasi ini tidak hanya membahayakan kapal dan kru, tetapi juga dapat berdampak luas terhadap lingkungan laut jika terjadi tumpahan bahan kimia berbahaya. Oleh karena itu, memastikan bahwa muatan diatur dan diamankan dengan baik sangat penting untuk mencegah kecelakaan dan menjaga keselamatan pelayaran. Penggunaan metode *lashing, dunnage, shoring*, dan *securing* yang tepat dapat membantu mengurangi risiko dan memastikan bahwa muatan tetap dalam kondisi aman selama pelayaran.

4. Regulasi dan Standar Internasional

Untuk memastikan keselamatan dalam pengangkutan muatan melalui laut, berbagai standar dan regulasi internasional telah ditetapkan. Standar ini bertujuan untuk mencegah kecelakaan yang dapat membahayakan kapal, kru, serta lingkungan laut. Salah satu regulasi utama yang mengatur keselamatan kapal dan muatan adalah *International Maritime Organization* (IMO) - SOLAS (*Safety of Life at Sea*) *Convention*, 2020. SOLAS merupakan konvensi internasional yang mengatur standar keselamatan maritim, termasuk persyaratan teknis dalam pengamanan muatan. Regulasi ini memastikan bahwa kapal memiliki prosedur dan peralatan yang tepat untuk menangani muatan secara aman, guna mencegah kecelakaan seperti pergeseran muatan atau ketidakseimbangan kapal yang berpotensi menyebabkan kecelakaan fatal.

Untuk pengangkutan bahan berbahaya, *International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code*, 2021 menjadi pedoman utama. IMDG Code memberikan panduan tentang cara penanganan,

penyimpanan, dan transportasi bahan berbahaya seperti bahan kimia, gas mudah terbakar, dan zat beracun di kapal. Regulasi ini bertujuan untuk mengurangi risiko kebakaran, ledakan, atau kontaminasi yang dapat membahayakan kapal dan lingkungan laut. Setiap bahan berbahaya diklasifikasikan dan diberikan label sesuai dengan tingkat risikonya, serta harus dikemas dan disimpan sesuai dengan standar keamanan internasional.

Untuk pengaturan muatan secara umum, *Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing* (CSS Code, 2021) memberikan panduan teknis bagi operator kapal dalam pengaturan dan pengamanan muatan agar tetap stabil selama pelayaran. Panduan ini mencakup teknik-teknik seperti *lashing* (pengikatan muatan), *dunnage* (bantalan muatan), dan *shoring* (penopang muatan) untuk memastikan bahwa muatan tidak bergeser akibat guncangan gelombang atau manuver kapal. Dengan penerapan standar ini, risiko kerusakan muatan dan kecelakaan kapal dapat dikurangi secara signifikan.

Implementasi regulasi ini sangat penting bagi industri pelayaran dan logistik global. Kepatuhan terhadap standar internasional tidak hanya memastikan keselamatan kapal dan kru, tetapi juga mendukung kelancaran rantai pasok global. Pihak yang terlibat dalam pengangkutan muatan, seperti perusahaan pelayaran, operator terminal, dan otoritas pelabuhan, harus memahami serta menerapkan regulasi ini untuk menjaga keamanan dan efisiensi dalam operasionalnya. Dengan standar yang jelas dan sistem pengawasan yang ketat, potensi risiko dalam pengangkutan muatan dapat diminimalkan, sehingga tercipta industri pelayaran yang lebih aman dan berkelanjutan.

B. Siklus Udara dan Pengaturannya dalam Palka

Siklus udara dalam palka kapal merupakan aspek krusial dalam manajemen muatan, terutama dalam pengangkutan barang yang rentan terhadap perubahan kelembaban dan suhu, seperti biji-bijian, kayu, dan barang-barang kimia (Wang *et al*., 2023). Pengaturan ventilasi yang baik dalam palka tidak hanya berfungsi untuk menjaga kualitas muatan tetapi juga mencegah risiko seperti kondensasi, pembentukan gas berbahaya, dan potensi kebakaran akibat akumulasi gas mudah terbakar.

1. Prinsip Siklus Udara dalam Palka Kapal

Siklus udara dalam palka kapal berperan penting dalam menjaga kondisi muatan selama pelayaran. Salah satu fungsi utama dari sistem ventilasi dalam palka adalah mengontrol kelembaban agar tidak terjadi kondensasi atau "*sweating*", yang dapat menyebabkan kerusakan pada muatan. Kondensasi terjadi ketika ada perbedaan suhu antara udara dalam palka dan udara luar, sehingga uap air mengembun pada permukaan muatan atau dinding palka. Jika dibiarkan, kondisi ini dapat menyebabkan jamur, korosi, atau degradasi kualitas barang, terutama pada muatan yang sensitif terhadap kelembaban seperti biji-bijian, tekstil, dan logam.

Siklus udara yang baik juga memastikan sirkulasi oksigen yang cukup, terutama untuk muatan yang membutuhkan ventilasi khusus. Beberapa jenis muatan, seperti komoditas organik (biji-bijian, kayu, dan batu bara), dapat menghasilkan gas karbon dioksida (CO_2) selama perjalanan. Jika tidak dikeluarkan dengan baik, akumulasi gas ini dapat menciptakan lingkungan berbahaya bagi kru kapal dan berpotensi merusak muatan itu sendiri. Oleh karena itu, ventilasi kontinu sangat penting untuk menjaga kualitas udara dalam palka.

Menurut *International Maritime Organization* (IMO, 2022), pengaturan siklus udara dalam palka harus disesuaikan dengan jenis muatan yang diangkut. Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pengelolaan ventilasi adalah perbedaan suhu udara dalam dan luar palka, kelembaban udara, serta karakteristik khusus dari muatan itu sendiri. Jika terdapat perbedaan suhu yang signifikan antara udara luar dan udara dalam palka, risiko terbentuknya "*cargo sweat*" atau "*ship sweat*" menjadi lebih besar. Untuk mengatasi hal ini, kapal harus mengatur ventilasi dengan baik guna menjaga keseimbangan suhu dan mencegah terjadinya pengembunan.

Kelembaban udara dalam palka juga harus dikendalikan. Jika kelembaban terlalu tinggi, dapat menyebabkan pertumbuhan jamur dan pembusukan pada bahan organik, serta korosi pada muatan logam. Untuk mengatasi masalah ini, kapal dapat menggunakan dehumidifier atau ventilasi paksa untuk mengurangi kadar uap air dalam palka. Jenis dan karakteristik muatan juga menjadi pertimbangan penting dalam pengaturan siklus udara. Misalnya, muatan yang mudah menghasilkan gas seperti biji-bijian dan kayu membutuhkan ventilasi terbuka agar gas yang dihasilkan dapat keluar dengan aman. Sebaliknya, bahan kimia

tertentu memerlukan sistem ventilasi tertutup untuk menghindari penyebaran gas beracun yang dapat membahayakan kru kapal dan lingkungan sekitar. Dengan sistem ventilasi yang sesuai, risiko terhadap muatan dan keselamatan kapal dapat diminimalkan secara efektif.

2. Metode Pengaturan Ventilasi dalam Palka

Ventilasi dalam palka kapal memiliki peran penting dalam menjaga kondisi muatan selama pelayaran, terutama dalam mengontrol suhu, kelembaban, dan kualitas udara. Secara umum, terdapat dua metode utama dalam pengaturan ventilasi palka, yaitu ventilasi alami dan ventilasi mekanis. Pemilihan metode ini bergantung pada jenis muatan, kondisi lingkungan, serta kebutuhan spesifik selama perjalanan laut. Ventilasi alami bekerja dengan memanfaatkan perbedaan tekanan udara dan pergerakan kapal untuk mengalirkan udara ke dalam dan keluar palka. Metode ini banyak digunakan untuk muatan kering, seperti biji-bijian, kayu, dan bahan curah lainnya yang tidak terlalu sensitif terhadap perubahan kelembaban. Keunggulan utama dari ventilasi alami adalah tidak memerlukan energi tambahan, sehingga lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Selain itu, jika kondisi cuaca mendukung, metode ini cukup efektif dalam menjaga kualitas udara di dalam palka. Namun, kelemahan dari ventilasi alami adalah kurangnya kontrol terhadap sirkulasi udara, sehingga metode ini kurang cocok untuk muatan yang sangat sensitif terhadap kelembaban atau memerlukan pengaturan suhu yang lebih stabil.

Ventilasi mekanis menggunakan kipas atau sistem sirkulasi udara untuk mengontrol suhu dan kelembaban dengan lebih presisi. Ventilasi mekanis dibagi menjadi beberapa sistem utama, yaitu sistem *exhaust* (pembuangan udara), sistem *intake* (pemasukan udara), dan sistem *forced ventilation* (ventilasi paksa). Sistem *exhaust* berfungsi untuk mengeluarkan udara panas dan lembab dari dalam palka, sehingga mengurangi risiko kondensasi yang dapat merusak muatan. Sistem *intake* berfungsi memasukkan udara segar ke dalam palka guna menjaga sirkulasi udara dan menghindari penumpukan gas berbahaya. Sedangkan sistem *forced ventilation* menggunakan kipas bertenaga untuk mempercepat pergantian udara, terutama pada kapal yang membawa muatan gas berbahaya, bahan mudah terbakar, atau bahan yang menghasilkan gas seperti biji-bijian dan batu bara.

Untuk memastikan keselamatan dan efektivitas ventilasi mekanis, beberapa regulasi internasional telah ditetapkan. Salah satunya adalah SOLAS (*Safety of Life at Sea*) Chapter II-2, 2021, yang mengatur sistem ventilasi pada kapal pengangkut bahan berbahaya guna mencegah akumulasi gas yang dapat menyebabkan kebakaran atau ledakan. Selain itu, IMO *Code of Safe Practice for Solid Bulk cargo*es (BC Code, 2023) memberikan panduan teknis terkait ventilasi dalam pengangkutan kargo curah, termasuk strategi untuk mencegah kondensasi dan menjaga kualitas muatan.

3. Dampak Buruk Jika Ventilasi Tidak Diatur dengan Baik

Pengaturan ventilasi yang buruk dalam palka kapal dapat menimbulkan berbagai risiko serius terhadap muatan, struktur kapal, dan keselamatan kru. Salah satu dampak utama adalah kondensasi dan korosi. Kondensasi terjadi ketika udara hangat dari luar bertemu dengan udara dingin di dalam palka, menyebabkan terbentuknya uap air pada permukaan muatan. Jika tidak dikendalikan, kelembaban tinggi ini dapat merusak kemasan, menurunkan kualitas barang, dan mempercepat proses karat pada muatan logam. Muatan seperti baja atau peralatan elektronik sangat rentan terhadap dampak ini, sehingga memerlukan ventilasi yang baik untuk menjaga kondisi optimal selama pelayaran.

Ventilasi yang tidak memadai dapat menyebabkan akumulasi gas beracun atau mudah terbakar, yang merupakan ancaman serius bagi keselamatan kapal. Beberapa jenis muatan seperti batubara, biji-bijian, atau bahan organik lainnya secara alami menghasilkan karbon dioksida (CO_2) yang dapat mengurangi kadar oksigen dalam palka, menciptakan kondisi berbahaya bagi kru yang masuk ke dalamnya. Selain itu, gas seperti metana, yang dihasilkan dari bahan kimia berbahaya atau kargo tertentu, dapat terakumulasi dan meningkatkan risiko ledakan jika tidak ada sistem ventilasi yang cukup untuk mengeluarkannya.

Dampak buruk lainnya adalah kerusakan muatan akibat kelembaban tinggi dan kurangnya sirkulasi udara yang baik. Biji-bijian dan bahan makanan lainnya rentan terhadap pertumbuhan jamur jika ventilasi tidak terjaga dengan baik. Kondisi ini tidak hanya menurunkan kualitas produk, tetapi juga dapat menyebabkan kontaminasi biologis yang membuat muatan tidak layak untuk digunakan. Sementara itu, muatan seperti kayu dapat menjadi tempat

berkembangnya hama atau mikroorganisme, yang dapat menyebabkan penurunan kualitas material dan meningkatkan risiko penyebaran organisme asing ke wilayah tujuan.

Tidak hanya berdampak pada muatan, ventilasi yang buruk juga berisiko terhadap keselamatan kru kapal. Kekurangan oksigen atau paparan gas beracun di dalam palka dapat menyebabkan pingsan, kesulitan bernapas, hingga kematian jika kru masuk tanpa peralatan keselamatan yang memadai. Lloyd's Register (2022) mencatat bahwa keracunan gas dalam palka menjadi salah satu penyebab utama kecelakaan kerja di kapal, yang sering kali terjadi akibat ventilasi yang tidak diatur dengan baik. Oleh karena itu, pengelolaan ventilasi yang efektif dalam palka kapal sangat penting untuk melindungi muatan, memastikan keselamatan kru, dan menjaga kelayakan kapal selama pelayaran. Regulasi dan standar keselamatan harus diikuti untuk menghindari risiko-risiko ini.

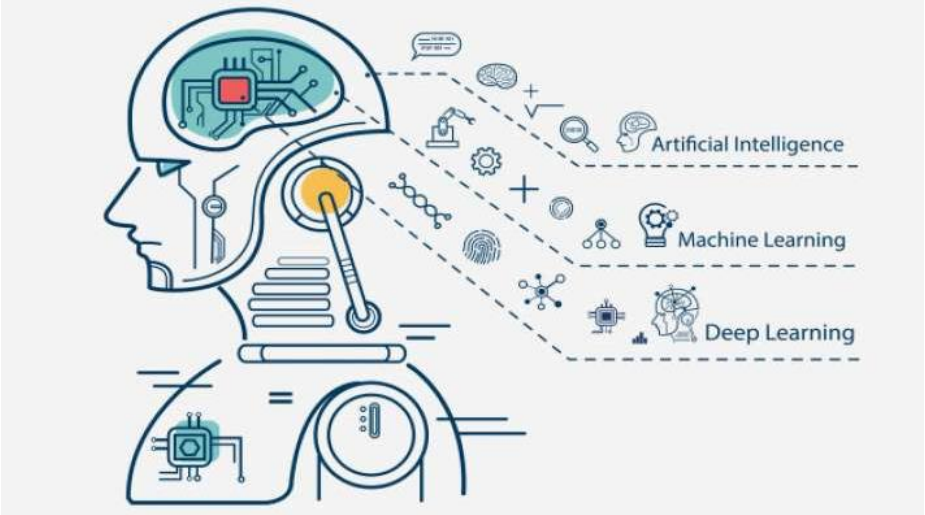
4. Teknologi Modern dalam Pengaturan Ventilasi Palka

Seiring dengan perkembangan teknologi, inovasi dalam pengaturan ventilasi palka kapal terus berkembang untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, dan perlindungan muatan. Salah satu teknologi terbaru yang diterapkan adalah sensor kelembaban dan suhu otomatis, yang memanfaatkan *Internet of Things* (IoT) untuk memantau kondisi udara secara real-time. Sensor ini dapat mendeteksi perubahan suhu dan tingkat kelembaban di dalam palka, kemudian secara otomatis menyesuaikan sistem ventilasi untuk mencegah kondensasi dan korosi. Dengan sistem ini, risiko kerusakan muatan akibat kelembaban yang berlebihan dapat dikurangi secara signifikan tanpa perlu intervensi manual yang terus-menerus.

Penerapan sistem ventilasi cerdas berbasis kecerdasan buatan (AI) menjadi solusi inovatif dalam pengelolaan sirkulasi udara di dalam palka. Teknologi ini bekerja dengan menganalisis data cuaca, suhu muatan, dan kelembaban udara untuk menentukan strategi ventilasi terbaik. Dengan algoritma pembelajaran mesin, sistem ini dapat memprediksi perubahan kondisi udara dan mengatur ventilasi secara adaptif, sehingga dapat meningkatkan efisiensi energi dan memastikan kualitas udara tetap optimal. Misalnya, jika sistem mendeteksi adanya peningkatan kelembaban akibat perbedaan suhu antara udara luar dan dalam palka, maka ventilasi dapat diatur untuk mempercepat sirkulasi

udara atau mengaktifkan sistem dehumidifikasi guna mencegah pembentukan kondensasi.

Gambar 2. Kecerdasan Buatan



Sumber: *Pemkab Lamongan*

Penggunaan material tahan lembab dalam palka juga menjadi inovasi penting dalam industri perkapalan. Material ini melibatkan pelapisan dinding palka dengan bahan yang dapat mengurangi kondensasi dan mencegah korosi, seperti lapisan antikondensasi atau cat khusus yang menyerap kelembaban. Dengan penerapan material ini, risiko karat pada struktur kapal dapat dikurangi, serta muatan lebih terlindungi dari paparan air yang bisa merusak kualitasnya. Teknologi ini sangat berguna untuk kapal yang sering beroperasi di lingkungan dengan perubahan suhu ekstrem, di mana risiko kondensasi sangat tinggi.

C. Penyimpanan dan Pemisahan Muatan

Penyimpanan dan pemisahan muatan dalam kapal merupakan aspek krusial dalam operasi pelayaran yang aman dan efisien. Tujuan utama dari pengaturan ini adalah untuk menjaga stabilitas kapal, mencegah kontaminasi silang antar muatan, serta memastikan keselamatan kru dan kapal secara keseluruhan (IMO, 2023). Dalam pengaturan ini, berbagai faktor seperti jenis muatan, berat, sifat kimia,

dan kompatibilitas harus diperhitungkan agar tidak terjadi risiko kecelakaan atau kerusakan barang selama perjalanan.

1. Prinsip Dasar Penyimpanan Muatan di Kapal

Penyimpanan muatan di kapal harus dilakukan dengan memperhatikan prinsip keselamatan, stabilitas, dan efisiensi, sebagaimana diatur dalam regulasi internasional seperti *International Maritime Dangerous Goods Code* (IMDG Code, 2023) dan *Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing* (CSS Code, 2022). Salah satu prinsip utama dalam penyimpanan muatan adalah distribusi beban yang merata, di mana muatan harus ditempatkan sedemikian rupa agar tidak menyebabkan ketidakseimbangan kapal. Distribusi yang tidak tepat dapat menggeser pusat gravitasi kapal, meningkatkan risiko kemiringan berbahaya atau bahkan kandasnya kapal akibat tekanan berlebih di satu sisi. Selain itu, pengamanan muatan (*securing cargo*) menjadi faktor krusial untuk memastikan muatan tetap berada pada posisinya selama pelayaran. Kapal sering kali menghadapi kondisi laut yang bergejolak, sehingga barang yang tidak diamankan dengan baik dapat bergeser, terguling, atau bahkan rusak. Untuk itu, berbagai metode pengamanan seperti tali, rantai, dan bantalan penyangga digunakan guna menjaga stabilitas muatan di dalam palka atau dek kapal.

Prinsip lain yang tidak kalah penting adalah pemisahan muatan yang berisiko, terutama untuk barang berbahaya atau hazardous cargo. Barang dengan potensi bahaya tinggi, seperti bahan kimia mudah terbakar atau zat beracun, harus ditempatkan terpisah dari barang lain sesuai klasifikasinya. Misalnya, bahan kimia reaktif harus dijauhkan dari sumber panas atau bahan yang dapat memicu reaksi berbahaya. Regulasi penyimpanan ini bertujuan untuk mencegah kebakaran, ledakan, atau kontaminasi silang antar-muatan. Selain itu, ventilasi yang memadai juga menjadi faktor utama dalam penyimpanan muatan, terutama untuk barang organik seperti biji-bijian atau kayu, yang dapat menghasilkan gas berbahaya seperti karbon dioksida (CO_2). Jika ventilasi tidak diatur dengan baik, gas beracun dapat terakumulasi di dalam palka, membahayakan kru kapal serta mengurangi kualitas muatan. Untuk barang yang mudah rusak seperti makanan, diperlukan ruang berpendingin dengan pengaturan suhu yang ketat guna mempertahankan kesegarannya selama pengiriman.

Keamanan dan aksesibilitas dalam penyimpanan muatan harus diperhatikan agar barang yang akan dibongkar lebih awal dapat ditempatkan di lokasi yang mudah dijangkau. Hal ini mempermudah proses bongkar muat dan mengurangi waktu sandar kapal di pelabuhan. Selain itu, kru kapal harus memiliki akses yang cukup untuk melakukan inspeksi berkala guna memastikan kondisi muatan tetap aman hingga tujuan akhir. Dengan menerapkan prinsip-prinsip ini, risiko kerusakan muatan, kecelakaan kerja, serta gangguan operasional kapal dapat diminimalkan secara signifikan.

2. Klasifikasi dan Pemisahan Muatan di Kapal

Muatan di kapal diklasifikasikan berdasarkan karakteristik fisik dan kimianya, yang berpengaruh terhadap cara penyimpanan dan pemisahannya. *International Convention for the Safety of Life at Sea* (SOLAS, 2022) menegaskan bahwa pengelolaan muatan harus dilakukan dengan mempertimbangkan aspek keselamatan, stabilitas kapal, serta potensi bahaya yang mungkin timbul. Klasifikasi utama meliputi muatan kering, muatan cair, muatan berbahaya, dan muatan berpendingin, masing-masing dengan prosedur penyimpanan dan pemisahan yang spesifik untuk mencegah risiko selama pelayaran.

Muatan kering (*Dry Cargo*) terdiri dari barang non-cair yang tidak memerlukan kondisi penyimpanan khusus selain stabilisasi selama perjalanan. Jenisnya mencakup general cargo, seperti tekstil, elektronik, dan peralatan rumah tangga yang biasanya dikemas dalam palet atau kardus. Ada juga *bulk cargo*, seperti bijih besi, batu bara, dan biji-bijian yang disimpan langsung dalam palka tanpa kemasan, serta *containerized cargo*, di mana barang dikemas dalam kontainer untuk mempermudah distribusi. Pemisahan sangat penting untuk mencegah kontaminasi dan kerusakan, misalnya biji-bijian tidak boleh dicampur dengan muatan yang menyerap kelembaban, dan barang yang mudah pecah harus ditempatkan di bagian atas untuk menghindari tekanan dari muatan lain.

Muatan cair (*Liquid Cargo*) mencakup minyak mentah, bahan bakar, bahan kimia, dan cairan lainnya yang harus disimpan dalam tangki khusus agar tidak bocor atau bercampur dengan muatan lain. Pemisahan dilakukan berdasarkan sifat kimiawi cairan tersebut, misalnya minyak mentah harus dipisahkan dari bahan kimia untuk mencegah reaksi berbahaya, dan muatan dengan titik nyala rendah

harus ditempatkan jauh dari sumber panas untuk menghindari kebakaran atau ledakan.

Muatan berbahaya (*Hazardous Cargo*) dikategorikan berdasarkan *International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code* (2023) dan mencakup bahan peledak (Class 1), gas bertekanan (Class 2), cairan mudah terbakar (Class 3), serta zat beracun dan infeksius (Class 6). Penyimpanan yang ketat diperlukan untuk mencegah insiden berbahaya, seperti bahan peledak yang harus ditempatkan dalam ruang khusus dengan akses terbatas, dan gas bertekanan yang harus disimpan di area berventilasi baik untuk menghindari akumulasi gas beracun.

Muatan berpendingin (*Refrigerated Cargo*) meliputi makanan, obat-obatan, dan bahan biologis yang memerlukan penyimpanan dalam suhu terkendali. Untuk mencegah kontaminasi silang, produk daging tidak boleh disimpan bersama dengan produk nabati, dan obat-obatan harus dijauhkan dari bahan kimia yang dapat mempengaruhi stabilitasnya. Dengan menerapkan klasifikasi dan pemisahan yang tepat, risiko kerusakan muatan serta bahaya bagi kru kapal dapat diminimalkan, sehingga pengiriman dapat berjalan dengan aman dan efisien.

3. Teknik Penyimpanan yang Efektif

Penyimpanan muatan di kapal harus dilakukan dengan teknik yang efektif untuk menjaga stabilitas, keamanan, dan kualitas barang selama perjalanan. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengoptimalkan ruang penyimpanan serta mencegah pergerakan muatan yang dapat menyebabkan kerusakan atau kecelakaan. Beberapa teknik utama yang umum digunakan dalam industri pelayaran meliputi stacking (penyusunan bertingkat), lashing (pengikatan muatan), dan penggunaan dunnage (bahan penyangga).

Stacking (Penyusunan Bertingkat) merupakan teknik dasar dalam penyimpanan muatan yang bertujuan untuk memastikan distribusi beban yang merata dan menghindari kerusakan barang. Dalam metode ini, barang dengan berat lebih besar ditempatkan di bagian bawah, sementara barang yang lebih ringan diletakkan di atas untuk mencegah tekanan berlebihan yang dapat menyebabkan deformasi atau kerusakan. Selain itu, barang berbentuk silinder seperti drum atau tabung harus diamankan dengan pengikat khusus agar tidak berguling selama perjalanan. Teknik stacking juga memperhitungkan

aksesibilitas muatan, di mana barang yang akan dibongkar lebih awal ditempatkan di lokasi yang mudah dijangkau.

Lashing (Pengikatan Muatan) digunakan untuk memastikan bahwa muatan tidak bergerak selama perjalanan akibat guncangan atau perubahan posisi kapal. Teknik ini melibatkan penggunaan tali, rantai, atau sabuk pengaman yang diikat dengan metode tertentu untuk memberikan kestabilan tambahan. Beberapa metode pengikatan yang umum digunakan adalah "*cross lashing*", di mana tali atau rantai diikat secara menyilang untuk memberikan kekuatan lebih terhadap guncangan, serta "*direct lashing*", yang mengikat barang langsung ke struktur kapal untuk menghindari pergerakan. Teknik ini sangat penting dalam penyimpanan kontainer, kendaraan, dan barang berukuran besar yang rentan terhadap pergeseran selama perjalanan.

Use of Dunnage (Penggunaan Bahan Penyangga) adalah teknik yang melibatkan penggunaan material tambahan seperti kayu, bantalan karet, atau plastik busa untuk menyerap guncangan dan memberikan perlindungan ekstra pada barang yang mudah rusak. Dunnage sering digunakan untuk barang pecah belah seperti kaca, keramik, atau peralatan elektronik, serta sebagai pemisah antara muatan untuk mencegah gesekan yang dapat menyebabkan kerusakan. Selain itu, bahan penyangga juga membantu dalam menjaga ventilasi yang baik di sekitar muatan tertentu, seperti produk organik yang memerlukan sirkulasi udara optimal.

4. Dampak Buruk Jika Penyimpanan Tidak Diatur dengan Baik

Penyimpanan dan pemisahan muatan yang tidak dilakukan dengan benar dapat menimbulkan berbagai risiko serius bagi kapal, kru, dan muatan itu sendiri. Kesalahan dalam pengaturan muatan dapat menyebabkan ketidakseimbangan kapal, kerusakan serta kontaminasi muatan, dan bahaya keselamatan bagi kru. Dampak-dampak ini tidak hanya berpotensi merugikan secara finansial, tetapi juga dapat membahayakan nyawa dan lingkungan sekitar. Salah satu risiko utama dari penyimpanan yang tidak teratur adalah ketidakseimbangan kapal (*stability issues*). Jika distribusi muatan tidak merata, kapal dapat mengalami "*listing*" (kemiringan) yang berbahaya, terutama saat menghadapi gelombang tinggi atau perubahan kondisi cuaca. Pusat gravitasi kapal yang tidak stabil dapat meningkatkan risiko kapal miring berlebihan atau bahkan terbalik (*capsizing*). Selain itu, muatan

yang tidak diamankan dengan baik dapat bergeser selama pelayaran, yang dapat menyebabkan kapal kehilangan keseimbangan secara tiba-tiba. Hal ini sering terjadi dalam kasus pengangkutan muatan curah (*bulk cargo*) seperti biji-bijian atau pasir, di mana pergeseran kecil dapat mempengaruhi keseimbangan kapal secara signifikan.

Dampak buruk lainnya adalah kerusakan dan kontaminasi muatan. Jika barang tidak dipisahkan sesuai dengan sifatnya, kontaminasi silang dapat terjadi, terutama jika bahan kimia berbahaya bocor dan mencemari makanan, obat-obatan, atau barang lain yang mudah rusak. Selain itu, barang-barang yang memerlukan kondisi suhu tertentu, seperti makanan dan obat-obatan, dapat mengalami pembusukan atau degradasi kualitas jika penyimpanan berpendingin tidak dikelola dengan baik. Misalnya, buah dan sayuran yang disimpan bersama dengan bahan yang menghasilkan gas etilen dapat matang terlalu cepat dan membusuk sebelum mencapai tujuan.

Kesalahan dalam penyimpanan juga dapat menimbulkan bahaya keselamatan bagi kru. Paparan gas beracun dari bahan kimia yang bocor atau muatan organik yang mengalami fermentasi dapat menyebabkan keracunan atau gangguan pernapasan bagi kru yang bekerja di sekitar palka. Selain itu, jika bahan mudah terbakar seperti minyak, gas, atau bahan kimia inflamabel tidak dipisahkan dengan benar, risiko kebakaran dan ledakan di dalam kapal akan meningkat secara signifikan. Kebakaran di tengah laut adalah situasi darurat yang sulit dikendalikan dan dapat berakibat fatal. Dengan mempertimbangkan semua risiko tersebut, sangat penting untuk memastikan bahwa muatan disimpan dengan aman, sesuai regulasi, dan dengan mempertimbangkan prinsip keselamatan serta efisiensi.

D. Soal Latihan

1. Sebutkan tiga prinsip utama dalam penyimpanan muatan yang aman di kapal!
2. Mengapa penyimpanan muatan dalam palka kapal memerlukan ventilasi yang baik?
3. Apa yang terjadi jika distribusi muatan tidak merata di dalam kapal?
4. Sebutkan dua metode pengikatan muatan yang umum digunakan di kapal!

5. Mengapa muatan curah seperti biji-bijian harus dikelola dengan hati-hati selama penyimpanan?



BAB III
PENANGANAN MUATAN BERBAHAYA

Kemampuan Akhir yang Diharapkan Mampu memahami terkait dengan klasifikasi muatan berbahaya berdasarkan IMDG code, memahami penandaan, pelabelan, dan penyimpanan muatan berbahaya, memahami tindakan darurat dalam penanganan muatan berbahaya, serta memahami peraturan dan prosedur keamanan. Sehingga pembaca dapat mampu menangani muatan berbahaya dengan aman, efisien, dan sesuai dengan regulasi internasional guna mencegah kecelakaan dan menjaga keselamatan operasional.
Materi Pembelajaran • Klasifikasi Muatan Berbahaya Berdasarkan IMDG Code • Penandaan, Pelabelan, dan Penyimpanan Muatan Berbahaya • Tindakan Darurat dalam Penanganan Muatan Berbahaya • Peraturan dan Prosedur Keamanan • Soal Latihan

A. Klasifikasi Muatan Berbahaya Berdasarkan IMDG Code

International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code adalah peraturan internasional yang ditetapkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) untuk memastikan keselamatan dalam pengangkutan barang berbahaya melalui laut. Klasifikasi muatan berbahaya dalam IMDG Code didasarkan pada sifat dan risiko bahan tersebut selama transportasi. IMDG Code mengelompokkan muatan berbahaya ke dalam sembilan kelas utama, yang masing-masing memiliki karakteristik khusus dan persyaratan penanganan yang berbeda (IMO, 2022).

1. **Kelas 1: Bahan Peledak (*Explosives*)**

Bahan peledak adalah zat yang dapat mengalami reaksi kimia cepat, menghasilkan gas dalam jumlah besar dengan suhu dan tekanan tinggi. Reaksi ini dapat menyebabkan ledakan dahsyat yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu, bahan peledak diklasifikasikan lebih lanjut ke dalam enam sub-kelas berdasarkan tingkat risiko dan sifat ledakannya. Sub-kelas 1.1 mencakup bahan yang memiliki risiko ledakan massal, seperti TNT dan amonium nitrat. Bahan dalam kategori ini dapat meledak sekaligus dengan daya destruktif tinggi. Sementara itu, 1.2 mencakup bahan dengan risiko ledakan proyektil, seperti granat dan amunisi, yang tidak meledak secara massal tetapi dapat menyebabkan pecahan berbahaya saat meledak.

Sub-kelas 1.3 mencakup bahan yang memiliki risiko kebakaran serta ledakan kecil, seperti kembang api. Bahan dalam kategori ini biasanya menghasilkan api yang intens dan gelombang kejut tetapi tidak menyebabkan ledakan massal. Di sisi lain, 1.4 mencakup bahan dengan risiko ledakan kecil, seperti detonator kecil, yang memiliki daya ledak terbatas dan lebih terkendali dalam penggunaannya. Kategori berikutnya, 1.5, berisi bahan sangat tidak sensitif tetapi masih memiliki potensi ledakan massal. Bahan dalam kategori ini, seperti beberapa jenis bahan peledak industri, dirancang agar lebih stabil tetapi tetap memiliki daya ledak tinggi. Terakhir, 1.6 mencakup bahan sangat tidak sensitif tanpa risiko ledakan massal, yang digunakan dalam aplikasi militer dan industri yang membutuhkan stabilitas tinggi.

2. **Kelas 2: Gas (*Gases*)**

Gas adalah zat yang diklasifikasikan berdasarkan sifatnya, yaitu mudah terbakar, beracun, atau bertekanan tinggi. Karena sifatnya yang dapat menyebar dengan cepat dan sulit dikendalikan, gas memerlukan penanganan khusus untuk mencegah risiko kebakaran, ledakan, atau keracunan. Sub-kelas 2.1 mencakup gas yang mudah terbakar, seperti propana dan butana. Gas dalam kategori ini dapat terbakar dengan cepat saat terkena percikan api atau sumber panas, sehingga penyimpanan dan pengangkutannya harus dilakukan dalam wadah bertekanan yang aman. Gas ini sering digunakan sebagai bahan bakar dalam industri maupun keperluan rumah tangga.

Sub-kelas 2.2 mencakup gas yang tidak mudah terbakar dan tidak beracun, seperti oksigen dan nitrogen. Oksigen digunakan dalam berbagai bidang, termasuk medis dan industri, tetapi dalam konsentrasi tinggi dapat meningkatkan risiko kebakaran. Sementara itu, nitrogen sering digunakan dalam proses industri untuk mencegah oksidasi dan sebagai bahan pendingin. Meskipun gas dalam kategori ini tidak beracun atau mudah terbakar, kebocoran dalam ruang tertutup dapat mengurangi kadar oksigen di udara dan menyebabkan sesak napas. Sub-kelas 2.3 mencakup gas beracun, seperti klorin dan amonia. Gas ini berbahaya bagi manusia karena dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan, kerusakan paru-paru, dan bahkan kematian dalam konsentrasi tinggi. Klorin sering digunakan dalam pengolahan air, sedangkan amonia digunakan dalam industri pupuk dan pendingin. Karena sifatnya yang beracun, gas dalam kategori ini harus ditangani dengan sangat hati-hati untuk mencegah kebocoran yang dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia.

3. Kelas 3: Cairan yang Mudah Terbakar (*Flammable Liquids*)

Cairan dalam kelas 3 merupakan zat yang memiliki titik nyala di bawah 60°C, yang berarti cairan tersebut dapat menguap dengan mudah dan menghasilkan uap yang mudah terbakar di udara. Sifat ini membuat cairan mudah terbakar sangat berbahaya jika terkena percikan api, panas tinggi, atau sumber penyalaan lainnya. Karena itu, penanganan, penyimpanan, dan transportasi cairan ini memerlukan perhatian khusus untuk menghindari risiko kebakaran atau ledakan. Beberapa contoh umum dari cairan mudah terbakar adalah bensin, alkohol, dan aseton. Bensin digunakan sebagai bahan bakar kendaraan dan memiliki volatilitas tinggi, sehingga sangat mudah menguap dan terbakar jika bersentuhan dengan api. Alkohol, seperti etanol dan metanol, sering digunakan dalam industri farmasi, kosmetik, dan sebagai bahan bakar alternatif. Meski memiliki sifat mudah terbakar, alkohol banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, seperti dalam pembersih dan antiseptik. Aseton, yang umum digunakan sebagai pelarut dalam industri kimia dan kosmetik, juga termasuk cairan yang mudah terbakar dan memerlukan penyimpanan di tempat yang sejuk serta jauh dari sumber panas.

Karena sifatnya yang mudah menguap dan terbakar, cairan dalam kelas 3 harus disimpan dalam wadah yang tertutup rapat dan

tahan api. Penyimpanan dalam jumlah besar harus dilakukan di area yang memiliki ventilasi baik untuk mencegah akumulasi uap yang dapat memicu kebakaran atau ledakan. Selain itu, dalam pengangkutan, cairan mudah terbakar harus dilengkapi dengan tanda peringatan dan diisolasi dari bahan reaktif lainnya untuk menghindari reaksi berbahaya. Keselamatan dalam menangani cairan mudah terbakar sangat penting untuk mengurangi risiko kecelakaan yang dapat membahayakan lingkungan, properti, dan nyawa manusia. Oleh karena itu, regulasi ketat, seperti yang diatur dalam standar keselamatan internasional, harus dipatuhi dalam setiap tahap penggunaan dan penyimpanan cairan kelas 3.

4. Kelas 4: Padatan yang Mudah Terbakar (*Flammable Solids*)

Bahan dalam kelas 4 terdiri dari padatan yang mudah menyala dan terbakar dengan cepat, sering kali menghasilkan panas tinggi serta gas berbahaya selama proses pembakaran. Karena sifatnya yang reaktif, bahan-bahan ini memerlukan penanganan, penyimpanan, dan transportasi khusus untuk menghindari risiko kebakaran dan ledakan. Kelas 4 terbagi menjadi beberapa sub-kelas berdasarkan karakteristiknya. Sub-kelas 4.1 mencakup padatan yang mudah terbakar, seperti belerang dan fosfor putih, yang dapat menyala akibat gesekan, panas, atau percikan api. Bahan-bahan ini sering digunakan dalam industri kimia dan farmasi, tetapi juga menimbulkan risiko kebakaran yang serius jika tidak ditangani dengan benar.

Sub-kelas 4.2 terdiri dari bahan yang dapat menyala sendiri, seperti serbuk logam (misalnya magnesium atau aluminium). Bahan ini sangat reaktif terhadap udara atau kelembaban dan dapat mengalami pembakaran spontan, sehingga harus disimpan dalam wadah kedap udara atau dalam kondisi yang sangat kering. Sub-kelas 4.3 mencakup bahan yang bereaksi dengan air dan menghasilkan gas mudah terbakar, seperti natrium dan kalsium karbida. Ketika bersentuhan dengan air atau kelembaban, bahan ini dapat melepaskan hidrogen atau asetilena, yang sangat mudah terbakar dan berpotensi menyebabkan ledakan. Oleh karena itu, bahan dalam sub-kelas ini harus disimpan dalam wadah kedap air dan dijauhkan dari lingkungan lembap. Penyimpanan dan transportasi padatan mudah terbakar harus dilakukan dengan sangat hati-hati. Area penyimpanan harus terventilasi dengan baik, bebas dari sumber api, serta menggunakan wadah yang tahan panas dan lembab.

Dalam pengangkutan, bahan-bahan ini juga harus diberi label khusus untuk memastikan keselamatan dan mencegah kecelakaan.

5. **Kelas 5: Zat Pengoksidasi dan Peroksida Organik (*Oxidizing Substances and Organic Peroxides*)**

Bahan dalam kelas 5 terdiri dari zat yang tidak mudah terbakar dengan sendirinya, tetapi dapat mempercepat pembakaran bahan lain dengan menyediakan oksigen atau melalui reaksi kimia yang sangat eksotermik. Karena sifatnya yang reaktif, zat-zat ini memerlukan penanganan khusus dalam penyimpanan dan transportasi untuk mencegah insiden berbahaya seperti kebakaran atau ledakan. Kelas 5 terbagi menjadi dua sub-kelas utama. Sub-kelas 5.1 mencakup zat pengoksidasi, seperti kalium nitrat dan amonium nitrat, yang dapat mempercepat reaksi pembakaran dengan melepaskan oksigen ke lingkungan sekitarnya. Zat ini sering digunakan dalam industri pupuk, bahan peledak, dan pemurnian logam, tetapi dapat menjadi sangat berbahaya jika bersentuhan dengan bahan organik atau bahan mudah terbakar lainnya.

Sub-kelas 5.2 terdiri dari peroksida organik, seperti benzoil peroksida, yang sangat tidak stabil dan dapat mengalami dekomposisi eksotermik bahkan tanpa adanya sumber api. Beberapa peroksida organik sangat sensitif terhadap panas, gesekan, atau benturan, sehingga harus disimpan dalam kondisi suhu terkendali dan dihindarkan dari kontaminasi dengan bahan lain. Peroksida organik sering digunakan dalam industri plastik, farmasi, dan kosmetik, tetapi dapat menimbulkan risiko kebakaran atau ledakan jika tidak ditangani dengan hati-hati. Untuk memastikan keamanan, zat dalam kelas 5 harus disimpan dalam wadah tahan api dan kedap udara, dijauhkan dari bahan mudah terbakar, serta diberi label khusus sesuai dengan regulasi transportasi bahan berbahaya. Penyimpanan dalam jumlah besar memerlukan sistem ventilasi dan pendinginan yang baik untuk mencegah reaksi yang tidak diinginkan.

6. **Kelas 6: Zat Beracun dan Zat Infeksius (*Toxic and Infectious Substances*)**

Bahan dalam kelas 6 mencakup zat beracun dan zat infeksius yang dapat menyebabkan kematian, cedera serius, atau gangguan kesehatan jika masuk ke dalam tubuh melalui penelanan, inhalasi, atau

kontak kulit. Karena sifatnya yang sangat berbahaya, zat-zat ini memerlukan penanganan khusus dalam penyimpanan, transportasi, dan penggunaannya untuk mencegah dampak buruk bagi manusia dan lingkungan. Kelas 6 terbagi menjadi dua sub-kelas utama. Sub-kelas 6.1 mencakup zat beracun, seperti sianida, arsenik, dan merkuri, yang dapat mengganggu fungsi tubuh dengan menyerang sistem saraf, pernapasan, atau organ vital lainnya. Zat ini sering digunakan dalam industri pertambangan, farmasi, dan pembuatan pestisida, tetapi jika tidak ditangani dengan baik, dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia. Paparan jangka panjang terhadap zat beracun ini dapat menyebabkan kerusakan organ permanen atau bahkan kematian.

Sub-kelas 6.2 terdiri dari zat infeksius, yang mengandung mikroorganisme patogen seperti virus Ebola, bakteri antraks, dan Mycobacterium tuberculosis. Zat ini memiliki potensi penyebaran penyakit menular yang serius, baik bagi manusia maupun hewan. Oleh karena itu, zat infeksius harus disimpan dan dikirim dengan kemasan khusus, seperti wadah kedap udara dan tahan bocor, serta diberi label peringatan yang sesuai dengan regulasi keamanan internasional. Untuk mencegah risiko, zat dalam kelas 6 harus disimpan di fasilitas dengan kontrol ketat, dijauhkan dari bahan lain, dan hanya boleh ditangani oleh personel yang terlatih dengan menggunakan alat pelindung diri (APD) yang sesuai. Pengelolaan limbah dari zat beracun dan infeksius juga harus dilakukan secara hati-hati untuk mencegah pencemaran lingkungan dan penyebaran penyakit.

7. Kelas 7: Bahan Radioaktif (*Radioactive Materials*)

Bahan radioaktif adalah zat yang mengandung radionuklida, yang dapat memancarkan radiasi ionisasi. Radiasi ini dapat berupa sinar alfa, beta, atau gamma, yang memiliki kemampuan menembus berbagai jenis material dan berpotensi membahayakan makhluk hidup serta lingkungan. Oleh karena itu, bahan radioaktif memerlukan penanganan, penyimpanan, dan transportasi yang sangat ketat untuk mencegah paparan yang tidak diinginkan. Bahan radioaktif digunakan dalam berbagai bidang, termasuk pembangkit listrik tenaga nuklir, kedokteran, industri, dan penelitian ilmiah. Uranium dan plutonium, misalnya, digunakan sebagai bahan bakar dalam reaktor nuklir untuk menghasilkan energi. Sementara itu, isotop medis seperti yodium-131

dan teknesium-99m banyak dimanfaatkan dalam diagnosis dan pengobatan penyakit, seperti kanker dan gangguan tiroid.

Karena sifatnya yang berbahaya, bahan radioaktif harus dikemas dalam wadah khusus yang dapat menahan kebocoran radiasi dan dilengkapi dengan label peringatan internasional. Penyimpanannya harus dilakukan di fasilitas yang memiliki pengamanan ketat, dengan perlindungan terhadap kebocoran radiasi dan risiko pencemaran lingkungan. Selain itu, ada batas paparan radiasi yang telah ditetapkan oleh badan pengawas untuk memastikan keselamatan pekerja dan masyarakat sekitar. Transportasi bahan radioaktif juga diatur secara ketat dengan standar internasional. Pengangkutan dilakukan menggunakan kontainer khusus, yang mampu melindungi lingkungan dari radiasi dan mencegah kecelakaan selama perjalanan. Jika terjadi kebocoran atau insiden yang melibatkan bahan radioaktif, tindakan darurat harus segera dilakukan untuk meminimalkan dampaknya terhadap manusia dan ekosistem.

8. Kelas 8: Zat Korosif (*Miscellaneous Dangerous Goods*)

Zat korosif adalah bahan yang dapat menyebabkan kerusakan serius pada jaringan hidup, seperti kulit dan mata, serta merusak logam atau struktur lain saat terjadi kontak langsung. Sifat korosif ini dapat bersifat asam atau basa, tergantung pada komposisinya. Contoh umum zat korosif meliputi asam sulfat, yang banyak digunakan dalam industri baterai dan pemrosesan logam, serta natrium hidroksida (larutan kaustik) yang digunakan dalam pembuatan sabun dan bahan pembersih industri. Dampak paparan zat korosif pada manusia bisa sangat berbahaya. Kontak langsung dengan kulit atau mata dapat menyebabkan luka bakar kimia, iritasi parah, hingga kerusakan jaringan permanen. Jika terhirup, uap atau aerosol dari zat korosif dapat merusak sistem pernapasan, menyebabkan kesulitan bernapas atau bahkan kerusakan paru-paru. Oleh karena itu, penggunaan alat pelindung diri (APD) seperti sarung tangan, kacamata pelindung, dan pakaian tahan bahan kimia sangat penting saat menangani zat ini.

Pada penyimpanan dan transportasi, zat korosif harus ditempatkan dalam wadah khusus yang tahan terhadap reaksi kimia untuk mencegah kebocoran atau tumpahan. Kontainer harus memiliki label peringatan yang jelas sesuai dengan standar internasional untuk memastikan penanganan yang aman. Selain itu, zat korosif harus

dipisahkan dari bahan lain, terutama bahan yang dapat bereaksi hebat, seperti zat mudah terbakar atau bahan pengoksidasi. Jika terjadi tumpahan atau paparan tidak disengaja, tindakan darurat harus segera dilakukan, seperti membilas area yang terkena dengan banyak air dan mencari bantuan medis. Pencegahan melalui prosedur keselamatan yang ketat sangat penting dalam penggunaan zat korosif untuk menghindari dampak berbahaya bagi manusia dan lingkungan.

9. **Kelas 9: Bahan Berbahaya Lainnya (*Miscellaneous Dangerous Goods*)**

Kelas 9 mencakup bahan-bahan yang tidak termasuk dalam kategori sebelumnya, tetapi tetap menimbulkan risiko terhadap keselamatan manusia, infrastruktur, atau lingkungan. Jenis bahaya yang ditimbulkan oleh bahan-bahan dalam kelas ini sangat beragam, mulai dari risiko lingkungan, efek magnetik, hingga potensi bahaya kimia atau fisik lainnya. Beberapa contoh umum bahan dalam kategori ini meliputi baterai litium, asbes, bahan magnetik, serta zat yang mencemari laut. Baterai litium, yang banyak digunakan dalam perangkat elektronik seperti ponsel dan laptop, dapat menyebabkan risiko kebakaran atau ledakan jika mengalami hubungan arus pendek atau kerusakan fisik. Asbes, yang dulu banyak digunakan dalam konstruksi karena ketahanannya terhadap api, kini diklasifikasikan sebagai bahan berbahaya karena seratnya dapat menyebabkan penyakit paru-paru serius, termasuk kanker. Bahan magnetik, seperti komponen dalam peralatan elektronik dan mesin, dapat mengganggu sistem navigasi dan komunikasi di pesawat atau kapal jika tidak ditangani dengan benar.

Pada pengangkutan dan penyimpanan, bahan-bahan dalam Kelas 9 harus ditangani dengan hati-hati sesuai dengan sifat bahayanya masing-masing. Misalnya, baterai litium harus dikemas dalam wadah yang tahan panas dan tidak mudah terbakar, sementara asbes harus dikemas dengan aman untuk mencegah pelepasan serat ke udara. Label peringatan dan dokumen pengangkutan juga harus disertakan untuk memastikan bahwa semua pihak yang terlibat dalam rantai logistik memahami risiko yang ada. Karena sifatnya yang beragam, bahan dalam kategori ini memerlukan prosedur penanganan khusus agar tidak menimbulkan risiko bagi pekerja, pengguna, serta lingkungan

sekitarnya. Keselamatan dalam penyimpanan dan transportasi menjadi prioritas utama dalam mengelola bahan berbahaya ini.

B. Penandaan, Pelabelan, dan Penyimpanan Muatan Berbahaya

Pada pengangkutan barang berbahaya melalui laut, penandaan (*Marking*), pelabelan (*Labeling*), dan penyimpanan (*storage*) merupakan aspek krusial yang diatur oleh *International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code* dan berbagai peraturan internasional lainnya (IMO, 2022). Tujuan utama dari sistem ini adalah memastikan bahwa barang berbahaya dapat diidentifikasi dengan jelas, ditangani dengan benar, serta disimpan dengan aman untuk mencegah kecelakaan seperti kebakaran, ledakan, atau pencemaran lingkungan.

1. Penandaan (*Marking*) Muatan Berbahaya

Penandaan muatan berbahaya adalah langkah penting dalam identifikasi dan pengelolaan barang berbahaya selama transportasi. Tujuan utama penandaan adalah memastikan bahwa barang berbahaya dapat dikenali dengan mudah, baik oleh pekerja, pihak keamanan, maupun petugas darurat, sehingga risiko kecelakaan dapat diminimalkan. Setiap kemasan barang berbahaya harus mematuhi standar yang ditetapkan dalam IMDG Code (*International Maritime Dangerous Goods Code*), yang mengatur sistem penandaan agar seragam dan dapat dipahami secara global. Salah satu komponen utama dalam penandaan adalah Nomor UN (UN Number), yaitu kode numerik unik yang diberikan oleh *United Nations Committee of Experts on the Transport of Dangerous Goods* untuk setiap bahan berbahaya. Misalnya, UN 1203 digunakan untuk bensin, sementara UN 1090 digunakan untuk aseton. Nomor ini sangat penting karena membantu dalam identifikasi cepat terhadap jenis bahaya yang mungkin ditimbulkan.

Setiap kemasan juga harus mencantumkan *Proper Shipping Name* (PSN), yaitu nama resmi bahan sesuai dengan daftar yang terdapat dalam IMDG Code. Beberapa bahan memiliki nama yang spesifik, sedangkan bahan campuran atau yang tidak diklasifikasikan secara khusus akan diberi nama generik seperti "*Flammable Liquid, N.O.S.*" (*Not Otherwise Specified*), yang menunjukkan bahwa cairan tersebut mudah terbakar tetapi tidak memiliki nama spesifik.

Penandaan juga mencakup informasi pengirim dan penerima, yang berfungsi untuk mempermudah pelacakan dan pengelolaan barang dalam rantai logistik. Dengan adanya informasi ini, pihak terkait dapat mengetahui asal dan tujuan muatan, sehingga mempermudah proses distribusi serta meningkatkan keamanan transportasi.

Untuk kemasan yang berisi cairan atau gas bertekanan, diperlukan tanda Arah Penempatan (*Orientatio*n *Marking*). Simbol ini, biasanya berupa dua panah mengarah ke atas (⬆⬆), menunjukkan arah yang benar dalam penyimpanan dan pengangkutan agar mencegah kebocoran atau kecelakaan akibat posisi yang salah. Selain itu, beberapa bahan berbahaya juga memerlukan tanda khusus tambahan. Misalnya, untuk zat yang dapat mencemari lingkungan, diperlukan label "*Marine Pollutant*" guna menunjukkan bahwa bahan tersebut berbahaya bagi ekosistem laut jika terjadi tumpahan.

2. Pelabelan (*Labeling*) Muatan Berbahaya

Pelabelan muatan berbahaya merupakan aspek penting dalam sistem identifikasi dan pengelolaan bahan berbahaya selama transportasi. Label digunakan sebagai simbol standar yang menunjukkan kategori bahaya utama dari suatu bahan, sehingga dapat dikenali dengan mudah oleh pekerja, pihak keamanan, dan petugas darurat. Sistem pelabelan ini diatur oleh IMDG Code (*International Maritime Dangerous Goods Code*), yang menetapkan bahwa setiap kemasan yang mengandung bahan berbahaya harus dilengkapi dengan label kategori bahaya sesuai dengan kelasnya. Setiap kelas bahaya memiliki label dengan simbol khusus untuk mempermudah identifikasi. Kelas 1 (Bahan Peledak) diberi label berwarna oranye dengan gambar ledakan, menunjukkan potensi bahaya ledakan tinggi. Kelas 2 (Gas) memiliki label berwarna biru dengan simbol nyala api atau tengkorak, tergantung pada sifat gas tersebut, apakah mudah terbakar, beracun, atau bertekanan tinggi. Kelas 3 (Cairan yang Mudah Terbakar) dan Kelas 4 (Padatan yang Mudah Terbakar) memiliki label berwarna merah dengan simbol nyala api, tetapi untuk padatan, nyala api ditampilkan di atas garis horizontal.

Kelas 5 (Zat Pengoksidasi dan Peroksida Organik) menggunakan label berwarna kuning dengan simbol lingkaran dan nyala api, menunjukkan kemampuannya dalam mempercepat

pembakaran bahan lain. Kelas 6 (Zat Beracun dan Infeksius) menggunakan label hitam dengan simbol tengkorak atau biohazard, menandakan bahwa bahan tersebut dapat menyebabkan keracunan atau infeksi serius. Kelas 7 (Bahan Radioaktif) memiliki label khas dengan simbol radiasi, menunjukkan potensi bahaya dari paparan radiasi ionisasi. Selanjutnya, Kelas 8 (Zat Korosif) memiliki label berwarna hitam dengan gambar cairan yang menetes ke tangan dan logam, mengindikasikan bahwa bahan ini dapat merusak jaringan hidup dan benda logam. Sementara itu, Kelas 9 (Bahan Berbahaya Lainnya) memiliki label hitam dan putih dengan garis vertikal, menunjukkan bahwa bahan dalam kelas ini tidak termasuk dalam kategori lain tetapi tetap berbahaya. IMDG Code juga menetapkan persyaratan pelabelan agar label tetap efektif dan mudah dikenali. Label harus memiliki ukuran standar 10 cm x 10 cm, dibuat dari bahan tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem seperti panas, air, dan gesekan. Label juga harus ditempatkan di setiap sisi kemasan, sehingga mudah terlihat dari berbagai sudut. Untuk kontainer besar, label harus ditempel di empat sisi, memastikan bahwa informasi bahaya dapat diidentifikasi dari berbagai arah.

3. Penyimpanan (*Storage*) Muatan Berbahaya

Penyimpanan muatan berbahaya merupakan langkah krusial dalam memastikan keselamatan selama transportasi dan distribusi. Agar risiko kecelakaan seperti kebakaran, ledakan, atau pelepasan zat berbahaya dapat diminimalkan, proses penyimpanan harus mengikuti prinsip segregasi (pemisahan) dan ventilasi. Dengan metode yang tepat, potensi reaksi kimia yang tidak diinginkan dapat dicegah. Salah satu prinsip utama dalam penyimpanan adalah pemisahan berdasarkan klasifikasi bahaya. Barang dari kelas yang berbeda harus ditempatkan secara terpisah untuk menghindari interaksi berbahaya. Misalnya, bahan pengoksidasi (kelas 5) tidak boleh disimpan bersama dengan bahan mudah terbakar (kelas 3 dan 4) karena dapat mempercepat atau memicu kebakaran. Selain itu, zat beracun (kelas 6) harus dipisahkan dari bahan makanan untuk mencegah kontaminasi.

Penyimpanan muatan berbahaya juga memerlukan kontainer yang sesuai dengan sifat kimianya. Kontainer yang bersertifikasi UN harus digunakan, karena telah diuji untuk ketahanan terhadap zat berbahaya. Misalnya, drum baja digunakan untuk cairan mudah

terbakar, sedangkan tabung tekanan dipakai untuk menyimpan gas berbahaya agar tidak bocor atau meledak akibat tekanan tinggi. Faktor lain yang perlu diperhatikan adalah ventilasi dan sistem pendingin. Gudang penyimpanan harus memiliki sistem ventilasi yang baik untuk mencegah akumulasi gas beracun atau mudah terbakar. Untuk bahan tertentu, seperti peroksida organik, diperlukan sistem pendinginan agar tidak mengalami dekomposisi termal, yang dapat menyebabkan ledakan atau kebakaran.

Agar identifikasi risiko lebih mudah, label dan tanda peringatan wajib dipasang di area penyimpanan. Setiap ruang harus memiliki papan tanda bahaya yang menunjukkan jenis bahan yang disimpan. Contohnya, ruang penyimpanan bahan radioaktif (kelas 7) harus memiliki tanda radiasi yang jelas agar pekerja dan petugas darurat dapat mengenali potensi bahaya. Selain itu, area penyimpanan harus dilengkapi dengan sistem keamanan dan alat pemadam kebakaran. Pemilihan alat pemadam harus disesuaikan dengan jenis bahaya yang ada. Misalnya, pemadam CO_2 digunakan untuk kebakaran listrik dan bahan cair, sementara busa lebih efektif untuk kebakaran bahan mudah terbakar. Untuk penyimpanan dalam jumlah besar, sistem pemadam otomatis (*sprinkler*) sangat disarankan agar risiko kebakaran dapat dikendalikan sejak dini.

C. Tindakan Darurat dalam Penanganan Muatan Berbahaya

Muatan berbahaya memiliki risiko tinggi terhadap keselamatan manusia, lingkungan, dan infrastruktur. Oleh karena itu, tindakan darurat dalam penanganannya harus dirancang dengan prosedur yang jelas dan efektif. *International Maritime Dangerous Goods* (IMDG) Code dan standar keselamatan lainnya mengatur langkah-langkah yang harus diambil jika terjadi insiden seperti kebocoran, kebakaran, ledakan, atau tumpahan bahan berbahaya (IMO, 2022).

1. Prinsip Dasar Tindakan Darurat

Pada situasi darurat yang melibatkan bahan berbahaya, respons yang cepat dan tepat sangat penting untuk mencegah cedera, kerusakan lingkungan, serta kerugian material. Tindakan darurat harus dilakukan dengan mengikuti prinsip P.A.S.S. (*Protect, Assess, Secure, and Support*) guna memastikan keselamatan pekerja, masyarakat, serta aset

yang terdampak. Langkah pertama adalah *Protect* (Perlindungan), yaitu memastikan bahwa pekerja dan lingkungan sekitar terlindungi dari bahaya langsung. Hal ini mencakup penggunaan alat pelindung diri (APD) yang sesuai, seperti pakaian tahan bahan kimia, masker, dan sarung tangan, guna mencegah paparan zat berbahaya. Selain itu, prosedur evakuasi harus segera dilakukan bagi pekerja dan individu yang berada di sekitar area insiden. Jika kebocoran atau tumpahan terjadi, langkah awal harus berfokus pada meminimalkan paparan dan menghentikan penyebaran zat berbahaya.

Assess (Penilaian) dilakukan dengan mengidentifikasi jenis bahaya dan tingkat risiko yang ditimbulkan. Tim tanggap darurat harus menentukan apakah bahan yang terlibat bersifat mudah terbakar, beracun, korosif, atau radioaktif. Data ini dapat diperoleh melalui lembar data keselamatan bahan (MSDS) serta label atau penandaan pada kemasan. Dengan informasi yang akurat, strategi penanganan yang tepat dapat diterapkan untuk menghindari eskalasi insiden. Setelah melakukan penilaian, langkah *Secure* (Keamanan) dilakukan dengan mengisolasi area terdampak guna mencegah bahaya lebih lanjut. Ini dapat mencakup penutupan area tertentu, pemasangan barikade, atau penghentian aktivitas di sekitar lokasi insiden. Jika terjadi kebocoran gas beracun, sistem ventilasi harus segera dimatikan untuk mencegah penyebaran lebih luas. Dalam kasus kebakaran, sumber api dan bahan mudah terbakar di sekitar lokasi harus dijauhkan untuk menghindari reaksi berantai yang dapat memperburuk situasi.

Langkah terakhir adalah *Support* (Dukungan), yaitu melibatkan tim darurat dan otoritas terkait untuk menangani insiden dengan lebih efektif. Tim pemadam kebakaran, unit hazmat, serta dinas kesehatan dan lingkungan harus segera dihubungi agar penanganan dapat dilakukan secara profesional. Selain itu, komunikasi dengan pihak berwenang harus berjalan lancar agar evakuasi, pengobatan korban, dan pemulihan area terdampak dapat dilakukan secepat mungkin.

2. Jenis Tindakan Darurat Berdasarkan Jenis Insiden

Pada menangani insiden yang melibatkan bahan berbahaya, tindakan darurat harus disesuaikan dengan jenis kejadian yang terjadi. Beberapa insiden umum yang memerlukan respons cepat dan tepat antara lain kebocoran atau tumpahan bahan berbahaya, kebakaran

akibat muatan berbahaya, ledakan atau reaksi kimia tidak terkendali, serta paparan bahan beracun atau berbahaya pada manusia.

Salah satu insiden yang sering terjadi adalah kebocoran atau tumpahan bahan berbahaya, yang dapat disebabkan oleh kerusakan pada kontainer, kesalahan dalam proses pemindahan, atau reaksi kimia yang tidak terkendali. Dalam menangani kejadian ini, langkah pertama adalah mengidentifikasi bahan yang tumpah berdasarkan UN Number dan *Material Safety Data Sheet* (MSDS). Penggunaan alat pelindung diri (APD) seperti sarung tangan, masker, dan pakaian pelindung sangat penting untuk menghindari paparan langsung. Jika memungkinkan, sumber kebocoran harus dihentikan tanpa membahayakan diri sendiri. Area yang terdampak harus dibatasi dengan rambu peringatan agar tidak ada orang yang memasuki zona berbahaya. Penyerap tumpahan seperti pasir, serbuk gergaji, atau bahan kimia netralisasi harus digunakan untuk membersihkan zat yang bocor, dan limbahnya harus dibuang sesuai dengan prosedur lingkungan yang berlaku. Tumpahan bahan mudah terbakar harus segera ditangani dengan busa atau bahan pemadam non-air untuk mencegah kebakaran, sementara bahan korosif harus dijauhkan dari kontak dengan tubuh manusia dan sumber air.

Insiden lainnya adalah kebakaran akibat muatan berbahaya, yang dapat dipicu oleh reaksi kimia spontan, percikan api, atau ledakan akibat tekanan gas yang meningkat. Langkah pertama dalam menangani kebakaran adalah mengidentifikasi sumber api dan jenis bahan yang terbakar agar metode pemadaman yang tepat dapat diterapkan. Tidak semua kebakaran dapat dipadamkan dengan air, terutama jika melibatkan logam reaktif atau minyak. Alat pemadam kebakaran yang digunakan harus sesuai dengan jenis bahan yang terbakar, seperti CO_2 atau dry powder untuk kebakaran gas dan listrik, serta busa atau dry chemical untuk cairan mudah terbakar. Selain itu, area di sekitar kebakaran harus segera dievakuasi untuk menghindari paparan asap beracun, dan koordinasi dengan pemadam kebakaran serta otoritas terkait harus dilakukan untuk mengendalikan situasi dengan efektif.

Ledakan atau reaksi kimia tidak terkendali juga menjadi ancaman serius dalam penanganan bahan berbahaya. Campuran bahan kimia yang tidak kompatibel, tekanan berlebih dalam wadah gas, serta kehilangan kontrol suhu pada bahan reaktif dapat memicu ledakan. Jika insiden ini terjadi, langkah utama adalah segera mengevakuasi area

dalam radius aman sesuai dengan rekomendasi MSDS. Sumber ledakan dan potensi ledakan lanjutan harus diidentifikasi agar tindakan pencegahan dapat dilakukan. Pendinginan menggunakan air mist atau bahan inert dapat diterapkan jika memungkinkan untuk mencegah eskalasi. Selain itu, penggunaan peralatan listrik atau percikan api di sekitar lokasi harus dihindari untuk mencegah reaksi lebih lanjut.

Paparan bahan beracun atau berbahaya pada manusia dapat terjadi akibat inhalasi gas beracun, kontak langsung dengan bahan korosif, atau kontaminasi melalui air dan makanan. Jika seseorang terpapar bahan berbahaya, ia harus segera dievakuasi ke tempat yang lebih aman. Jika gas beracun terhirup, alat bantu pernapasan harus digunakan untuk mencegah dampak yang lebih parah. Untuk kontak dengan bahan korosif, area tubuh yang terkena harus dibilas dengan air bersih selama minimal 15 menit. Tim medis atau pusat kendali racun harus segera dihubungi, dan tenaga medis harus diberikan MSDS bahan yang terlibat untuk memastikan prosedur perawatan yang tepat. Beberapa bahan seperti gas sianida atau klorin memerlukan ventilasi yang baik dalam penanganannya, sementara bahan radioaktif membutuhkan prosedur dekontaminasi khusus.

3. Peralatan Darurat yang Harus Disiapkan

Setiap fasilitas yang menangani muatan berbahaya harus memiliki peralatan darurat yang memadai untuk mengurangi risiko kecelakaan serta menangani insiden dengan cepat dan efektif. Peralatan ini mencakup alat pemadam kebakaran, alat pelindung diri (APD), peralatan untuk menangani tumpahan, serta perlengkapan evakuasi dan medis. Selain itu, sistem peringatan dini juga menjadi bagian penting dalam pencegahan dan respons terhadap keadaan darurat. Salah satu peralatan utama yang harus tersedia adalah alat pemadam kebakaran yang sesuai dengan jenis bahan yang dapat terbakar. Pemadam api berbasis CO_2 digunakan untuk kebakaran yang melibatkan peralatan listrik, sementara dry chemical efektif untuk kebakaran yang disebabkan oleh cairan mudah terbakar atau gas. Selain itu, foam (busa) digunakan untuk mengatasi kebakaran yang berasal dari bahan cair yang tidak dapat dipadamkan dengan air. Penggunaan alat pemadam yang tepat sangat penting agar api dapat dikendalikan dengan cepat dan tidak memperburuk situasi.

Alat pelindung diri (APD) juga wajib tersedia untuk melindungi pekerja dari paparan bahan berbahaya. APD meliputi masker gas untuk mencegah inhalasi zat beracun, sarung tangan tahan bahan kimia, serta pakaian khusus yang dapat melindungi tubuh dari bahan korosif atau beracun. Penggunaan APD yang sesuai membantu mencegah cedera serius dan memastikan keselamatan tenaga kerja saat menangani bahan berbahaya. Dalam kasus tumpahan bahan berbahaya, fasilitas harus memiliki absorben dan peralatan penahan tumpahan untuk mencegah penyebaran zat beracun. Spill kit, pasir, serta bahan netralisasi seperti serbuk gergaji atau bahan kimia khusus digunakan untuk menyerap dan menetralkan tumpahan sebelum limbah tersebut dibuang sesuai prosedur lingkungan. Dengan adanya peralatan ini, risiko pencemaran lingkungan dan bahaya bagi manusia dapat diminimalkan.

Fasilitas juga harus memiliki peralatan evakuasi dan medis untuk menangani korban dalam keadaan darurat. Tandu diperlukan untuk mengevakuasi korban dengan cepat, sementara oksigen dan pencuci mata darurat sangat penting untuk menangani kasus paparan bahan beracun atau korosif. Tim medis harus siap memberikan pertolongan pertama sebelum korban dibawa ke rumah sakit. Sistem peringatan dini harus dipasang di seluruh area yang menangani bahan berbahaya. Alarm kebakaran dan sensor gas memungkinkan deteksi dini terhadap potensi bahaya seperti kebocoran gas atau lonjakan suhu yang dapat menyebabkan kebakaran. Dengan sistem peringatan yang baik, langkah pencegahan dapat segera dilakukan sebelum insiden berkembang menjadi keadaan darurat yang lebih besar.

4. Koordinasi dengan Pihak Berwenang

Untuk menghadapi insiden besar yang melibatkan muatan berbahaya, koordinasi dengan pihak berwenang menjadi langkah krusial untuk memastikan penanganan yang cepat, efektif, dan sesuai dengan prosedur keselamatan internasional. Otoritas maritim, pemadam kebakaran, kepolisian, serta tim medis harus segera dihubungi agar dapat memberikan bantuan yang diperlukan sesuai dengan jenis dan tingkat keparahan insiden. Peraturan internasional seperti SOLAS (*Safety of Life at Sea*) dan MARPOL (*Marine Pollution Prevention*) menegaskan bahwa setiap kapal dan fasilitas yang menangani bahan berbahaya wajib memiliki *Emergency Response Plan* (ERP) yang disesuaikan dengan jenis muatan yang diangkut. ERP ini mencakup

prosedur evakuasi, metode pengendalian insiden, serta mekanisme komunikasi dengan pihak berwenang. Dengan adanya rencana darurat yang terstruktur, semua pihak yang terlibat dapat menjalankan peran masing-masing secara terkoordinasi.

Saat insiden terjadi, otoritas maritim harus segera diinformasikan, terutama jika kejadian tersebut terjadi di perairan internasional atau pelabuhan, memiliki wewenang untuk mengoordinasikan operasi penyelamatan dan pencegahan pencemaran laut. Jika insiden melibatkan tumpahan minyak atau zat beracun, maka tindakan pencegahan harus segera dilakukan untuk meminimalkan dampak lingkungan. Pemadam kebakaran juga berperan penting dalam menangani kebakaran akibat bahan berbahaya, harus diberi informasi detail mengenai jenis bahan yang terbakar agar dapat menentukan metode pemadaman yang sesuai. Beberapa bahan kimia tidak dapat dipadamkan dengan air karena dapat menyebabkan reaksi yang lebih berbahaya, sehingga penggunaan alat pemadam khusus seperti busa atau *dry chemical* menjadi solusi yang lebih efektif.

Pada situasi yang melibatkan potensi tindak kriminal, seperti sabotase atau pelanggaran aturan pengangkutan bahan berbahaya, kepolisian harus dilibatkan untuk melakukan investigasi dan memastikan keamanan di lokasi kejadian, juga bertugas mengendalikan kerumunan dan mengamankan akses menuju area terdampak agar hanya pihak yang berwenang yang dapat masuk. Sementara itu, tim medis harus siap menangani korban yang terpapar bahan beracun, mengalami luka bakar, atau cedera akibat ledakan, membutuhkan informasi mengenai jenis bahan berbahaya yang terlibat agar dapat memberikan perawatan yang tepat sesuai dengan protokol keselamatan. Koordinasi yang cepat dan efektif dengan semua pihak berwenang sangat penting untuk mencegah eskalasi insiden dan memastikan keselamatan semua orang yang terlibat. Komunikasi yang jelas, kepatuhan terhadap prosedur ERP, serta kesigapan dalam merespons keadaan darurat akan membantu meminimalkan kerugian dan dampak dari kejadian tersebut.

D. Peraturan dan Prosedur Keamanan

Muatan berbahaya memiliki risiko tinggi terhadap keselamatan manusia, lingkungan, dan infrastruktur. Oleh karena itu, peraturan dan

prosedur keamanan sangat penting untuk memastikan bahwa muatan ini ditangani dengan benar dan sesuai standar internasional. *International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code*, *Safety of Life at Sea* (SOLAS), dan *Marine Pollution* (MARPOL) *Convention* merupakan tiga regulasi utama yang mengatur aspek keselamatan dalam transportasi muatan berbahaya (IMO, 2023).

1. Peraturan Internasional yang Mengatur Muatan Berbahaya

Pengangkutan muatan berbahaya di laut diatur oleh berbagai regulasi internasional untuk memastikan keselamatan kapal, awak, lingkungan, dan masyarakat. Salah satu standar utama dalam transportasi barang berbahaya melalui laut adalah *International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code*, yang dikembangkan oleh *International Maritime Organization* (IMO). IMDG Code memberikan panduan tentang klasifikasi bahan berbahaya berdasarkan sifat fisik dan kimianya, persyaratan pengemasan dan pelabelan sesuai tingkat bahaya, serta prosedur pemuatan, penyimpanan, dan penanganan muatan di kapal dan pelabuhan. Selain itu, kode ini juga menetapkan tindakan darurat yang harus dilakukan dalam situasi seperti kebocoran, kebakaran, atau ledakan untuk mengurangi risiko kecelakaan yang dapat membahayakan awak kapal dan lingkungan maritim.

Peraturan penting lainnya adalah *Safety of Life at Sea* (SOLAS) Convention, yang menetapkan standar keselamatan kapal dalam menangani muatan berbahaya. SOLAS mengatur kewajiban sertifikasi kapal yang membawa bahan berbahaya, memastikan bahwa kapal yang digunakan memenuhi standar keselamatan tertentu. Konvensi ini juga mengharuskan penyediaan alat pemadam kebakaran khusus yang disesuaikan dengan sifat bahan kimia yang diangkut, serta sistem ventilasi yang mencegah akumulasi gas beracun di dalam kapal. Selain itu, kru kapal diwajibkan mengikuti pelatihan khusus dalam menangani muatan berbahaya guna meningkatkan kesiapannya dalam menghadapi situasi darurat.

Untuk mencegah pencemaran laut akibat tumpahan bahan berbahaya, diterapkan MARPOL Convention (*Marine Pollution Prevention*). Konvensi ini menetapkan pembatasan ketat terhadap pembuangan limbah beracun ke laut dan mewajibkan penggunaan bahan bakar rendah sulfur guna mengurangi polusi udara dari kapal. Selain itu, regulasi ini juga mengatur prosedur penanganan limbah

minyak, gas, dan bahan kimia di kapal agar tidak mencemari ekosistem laut. Di tingkat global, *United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods* (UN *Model Regulations*), yang dikenal sebagai *Orange Book*, digunakan sebagai acuan dalam penyusunan standar internasional lainnya, termasuk IMDG Code. Regulasi ini mencakup sistem klasifikasi bahan berbahaya berdasarkan karakteristiknya, persyaratan kemasan dan pelabelan internasional, serta sistem transportasi multinasional yang membantu menghindari perbedaan standar antarnegara. Dengan adanya UN Model Regulations, transportasi bahan berbahaya dapat dilakukan secara lebih aman dan terkoordinasi di berbagai wilayah.

Aspek keselamatan pekerja juga menjadi perhatian utama dalam penanganan bahan berbahaya. *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) menerapkan *Hazard Communication Standard* (HCS), yang mengharuskan perusahaan memberikan pelatihan kepada pekerja mengenai bahaya kimia dan tindakan pencegahan yang diperlukan. Regulasi ini juga mewajibkan penyediaan *Safety Data Sheets* (SDS) untuk setiap bahan kimia berbahaya serta penggunaan label dan simbol bahaya yang jelas pada setiap kemasan. Dengan adanya regulasi internasional ini, risiko kecelakaan, pencemaran lingkungan, dan dampak kesehatan akibat muatan berbahaya dapat diminimalkan. Kepatuhan terhadap standar ini sangat penting dalam memastikan keselamatan operasional, perlindungan lingkungan, dan kesejahteraan pekerja di sektor maritim serta industri terkait.

2. Prosedur Keamanan dalam Penanganan Muatan Berbahaya

Untuk memastikan keselamatan dalam menangani muatan berbahaya, diperlukan penerapan prosedur keamanan yang ketat. Langkah pertama dalam proses ini adalah identifikasi dan dokumentasi muatan berbahaya. Setiap muatan harus dilengkapi dengan dokumen yang jelas, termasuk UN Number, yang berfungsi sebagai nomor identifikasi bahan berbahaya, serta *Safety Data Sheet* (SDS) yang memberikan informasi mengenai sifat bahaya dan tindakan penanganan yang harus diambil. Selain itu, dokumen deklarasi muatan berbahaya yang sesuai dengan IMDG Code wajib disertakan untuk memastikan kepatuhan terhadap regulasi maritim. Sebelum pengiriman, dilakukan pemeriksaan menyeluruh untuk memastikan kesesuaian dokumen dengan isi muatan guna menghindari kesalahan dalam pengangkutan.

Langkah berikutnya adalah pengemasan dan pelabelan yang sesuai. Penggunaan kemasan yang tepat sangat penting untuk mencegah kebocoran atau reaksi berbahaya selama transportasi. Misalnya, bahan korosif harus disimpan dalam drum baja, sementara gas bertekanan harus dikemas dalam tabung khusus yang tahan tekanan. Setiap kemasan juga harus dilengkapi dengan label bahaya yang sesuai dengan standar *Globally Harmonized System* (GHS) agar mudah dikenali oleh petugas yang menangani muatan. Selain itu, penandaan arah pemuatan harus diterapkan, terutama untuk bahan yang mudah tumpah, guna memastikan penyimpanan dan pengangkutan yang aman.

Penyimpanan dan pemisahan muatan juga merupakan aspek krusial dalam prosedur keamanan. Bahan-bahan yang tidak kompatibel harus disimpan secara terpisah untuk mencegah reaksi berbahaya. Misalnya, bahan oksidator (kelas 5) tidak boleh ditempatkan berdekatan dengan bahan mudah terbakar (kelas 3), sementara bahan beracun (kelas 6.1) harus dijauhkan dari bahan makanan atau farmasi. Selain itu, kondisi penyimpanan seperti suhu dan kelembaban harus dikontrol dengan baik untuk bahan yang sensitif terhadap lingkungan. Ventilasi yang memadai juga harus disediakan untuk mencegah akumulasi gas beracun yang dapat membahayakan keselamatan pekerja dan kru kapal.

Untuk mengurangi risiko kebakaran dan ledakan, tindakan pencegahan khusus harus diterapkan. Area penyimpanan bahan mudah terbakar harus dilengkapi dengan sistem pemadam kebakaran otomatis, dan penggunaan peralatan listrik yang dapat memicu percikan api harus dihindari. Selain itu, alat anti-statis wajib digunakan saat menangani bahan gas dan cairan yang mudah terbakar guna mencegah pelepasan muatan listrik yang dapat menyebabkan kebakaran atau ledakan. Keselamatan pekerja juga bergantung pada pelatihan dan kesadaran keselamatan yang memadai. Pekerja dan kru kapal harus menerima pelatihan berkala mengenai prosedur darurat serta penanganan bahan berbahaya. Simulasi kebakaran, tumpahan, dan evakuasi harus dilakukan secara rutin agar seluruh tim siap menghadapi kondisi darurat. Kepatuhan pekerja terhadap prosedur keselamatan juga harus selalu dipantau untuk memastikan standar keselamatan tetap terjaga.

Sebagai langkah terakhir, dilakukan pemeriksaan dan audit keselamatan secara berkala. Pemeriksaan kondisi kemasan dan wadah

penyimpanan harus dilakukan untuk memastikan tidak ada kebocoran atau kerusakan yang dapat menimbulkan risiko. Selain itu, alat pemadam kebakaran dan sistem ventilasi harus diuji secara berkala untuk memastikan fungsinya tetap optimal. Audit keselamatan juga dilakukan oleh otoritas maritim dan badan sertifikasi independen guna memastikan kepatuhan terhadap regulasi yang berlaku.

3. Peran Otoritas dan Kepatuhan terhadap Regulasi

Peran otoritas dalam implementasi regulasi keamanan muatan berbahaya sangat penting untuk memastikan keselamatan dan kepatuhan terhadap standar internasional yang berlaku. Salah satu otoritas utama adalah *International Maritime Organization* (IMO), yang bertanggung jawab atas pengawasan implementasi IMDG Code (*International Maritime Dangerous Goods Code*) dan SOLAS (*Safety of Life at Sea*). IMO berfungsi untuk memastikan bahwa negara anggota mematuhi peraturan keselamatan maritim yang mengatur pengangkutan dan penanganan muatan berbahaya, baik di laut maupun di pelabuhan, guna mencegah kecelakaan yang dapat membahayakan kapal, kru, serta lingkungan sekitar. Ada *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) yang memiliki peran vital dalam memastikan keselamatan pekerja di sektor transportasi dan pergudangan. OSHA bertanggung jawab dalam mengawasi keselamatan tenaga kerja yang terlibat dalam proses bongkar muat bahan berbahaya, termasuk mengatur standar operasional yang aman, penggunaan alat pelindung diri, serta prosedur penanganan yang meminimalkan risiko kecelakaan dan paparan bahan berbahaya kepada pekerja.

Environmental Protection Agency (EPA) juga memiliki peran yang tak kalah penting dalam pengawasan pengelolaan bahan berbahaya. EPA bertanggung jawab untuk mencegah pencemaran lingkungan akibat tumpahan atau pembuangan limbah bahan berbahaya selama proses transportasi. Pengawasan ini mencakup pemantauan kualitas air, udara, dan tanah, serta penegakan regulasi yang bertujuan mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem. *National Transportation Safety Board* (NTSB) berperan dalam penyelidikan insiden yang terjadi selama transportasi bahan berbahaya. NTSB menyelidiki kecelakaan yang melibatkan muatan berbahaya, menganalisis faktor penyebab, dan memberikan rekomendasi perbaikan

untuk mencegah kejadian serupa di masa depan. Melalui kerja sama antara otoritas ini, keselamatan dalam pengangkutan muatan berbahaya dapat terjaga dengan baik, baik untuk manusia maupun lingkungan.

E. Soal Latihan

1. Jelaskan klasifikasi muatan berbahaya berdasarkan IMDG Code dan berikan contoh untuk masing-masing kategori.
2. Apa saja elemen penting yang harus ada dalam label bahan berbahaya menurut regulasi internasional?
3. Bagaimana prosedur penanganan kebakaran akibat bahan berbahaya di kapal?
4. Sebutkan langkah-langkah keamanan yang harus diterapkan dalam penyimpanan bahan berbahaya di pelabuhan.
5. Mengapa audit keselamatan dan pelatihan kru sangat penting dalam pengangkutan muatan berbahaya?

BAB IV
PERALATAN DAN KESELAMATAN PENANGANAN MUATAN

Kemampuan Akhir yang Diharapkan Mampu memahami terkait dengan jenis dan fungsi peralatan penanganan muatan, memahami pengoperasian dan perawatan *crane*, sling, dan net, serta memahami *safe working load* (SWL) dan inspeksi peralatan. Sehingga pembaca dapat mampu memilih, mengoperasikan, dan merawat peralatan penanganan muatan secara aman, efisien, serta sesuai dengan standar keselamatan kerja yang berlaku.
Materi Pembelajaran • Jenis dan Fungsi Peralatan Penanganan Muatan • Pengoperasian dan Perawatan *Crane*, Sling, dan Net • *Safe Working Load* (SWL) dan Inspeksi Peralatan • Soal Latihan

A. Jenis dan Fungsi Peralatan Penanganan Muatan

Pada industri maritim, peralatan penanganan muatan berperan penting dalam proses bongkar muat barang di kapal dan pelabuhan. Peralatan ini dirancang untuk menangani berbagai jenis muatan dengan aman dan efisien. Jenis peralatan yang digunakan bergantung pada karakteristik muatan, kapasitas angkat, serta lingkungan operasional. Berikut adalah beberapa jenis peralatan penanganan muatan beserta fungsinya:

1. Crane Kapal (*Ship Crane*)

Crane kapal merupakan alat berat yang dirancang khusus untuk mengangkat dan memindahkan muatan antara kapal dan pelabuhan tanpa bergantung pada fasilitas pelabuhan. Penggunaannya sangat vital dalam operasi bongkar muat, terutama pada kapal kargo, kapal tanker, dan kapal multipurpose. Dengan fungsinya yang fleksibel, *crane* kapal

memungkinkan pengangkutan muatan dari dan menuju kapal dengan efisien, bahkan di pelabuhan yang tidak memiliki fasilitas pengangkutan canggih. Terdapat beberapa jenis *crane* kapal yang disesuaikan dengan kebutuhan operasional, masing-masing memiliki karakteristik dan keunggulannya sendiri. Salah satu jenis *crane* kapal yang umum digunakan adalah *Jib crane*, yang memiliki lengan (jib) yang dapat bergerak naik turun dan berputar. *Jib crane* ini memungkinkan fleksibilitas tinggi dalam proses bongkar muat, terutama untuk barang curah atau kontainer yang memiliki berbagai ukuran dan bentuk. Kemampuan *crane* ini untuk bergerak secara dinamis membuatnya sangat efektif dalam mengangkat dan menurunkan muatan dengan presisi, yang sangat penting dalam ruang terbatas seperti di atas kapal.

Jenis lainnya adalah *Gantry Crane*, yang lebih sering ditemukan di pelabuhan. *Gantry crane* memiliki struktur besar dengan rel yang berjalan di atasnya, yang memungkinkannya untuk bergerak di sepanjang area yang luas dan padat. *Crane* ini biasanya digunakan untuk menangani peti kemas dalam jumlah besar, mengingat kapasitas angkatnya yang besar dan efisiensinya dalam memindahkan muatan di area terbuka. Karena dapat bergerak secara horizontal dan vertikal, *gantry crane* dapat mengakses berbagai titik di pelabuhan, membuatnya menjadi salah satu pilihan utama di fasilitas pelabuhan besar.

Ada *Derrick Crane*, jenis *crane* yang lebih sederhana dan banyak ditemukan pada kapal kargo lama. *Derrick crane* bekerja menggunakan sistem tali dan katrol untuk mengangkat barang, yang lebih mengandalkan mekanisme manual daripada sistem hidrolik atau listrik. Meskipun teknologi ini terbilang lebih tradisional, *derrick crane* tetap efektif dalam operasi bongkar muat, terutama pada kapal-kapal yang tidak dilengkapi dengan teknologi modern. Keuntungan dari jenis *crane* ini adalah kemampuannya untuk berfungsi dalam berbagai kondisi operasional dengan biaya yang lebih rendah, meskipun keterbatasan kapasitas angkat dan fleksibilitas operasionalnya lebih rendah dibandingkan dengan jenis *crane* modern lainnya.

2. Derek (*Derrick Boom System*)

Derek dengan sistem Derrick Boom adalah alat angkat tradisional yang digunakan untuk bongkar muat barang di kapal, terutama pada kapal yang tidak dilengkapi dengan *crane* modern.

Sistem ini terdiri dari tiang penyangga kokoh yang berfungsi sebagai struktur utama untuk menopang sistem pengangkatan, serta tali yang dikendalikan oleh winch untuk mengangkat muatan. Proses pengangkatan dilakukan dengan cara menarik tali yang terhubung ke muatan, menggunakan winch yang menggerakkan sistem secara mekanis. Dengan desain sederhana ini, Derrick Boom dapat mengangkat berbagai jenis muatan, meskipun kapasitas angkatnya terbatas jika dibandingkan dengan *crane* modern yang lebih canggih.

Salah satu keunggulan utama dari sistem Derrick Boom adalah kemampuannya untuk beroperasi di kapal-kapal yang lebih tua atau kapal dengan kapasitas bongkar muat yang terbatas, di mana *crane* besar tidak dapat digunakan. Kapal-kapal tersebut sering kali tidak dilengkapi dengan teknologi pengangkatan modern, sehingga Derrick Boom menjadi solusi alternatif yang ekonomis dan efisien. Tiang penyangga pada sistem ini memberikan stabilitas yang diperlukan untuk mengangkat muatan, sementara winch berfungsi untuk mengendalikan pengangkatan dan pemindahan muatan secara manual. Meskipun teknologi *crane* modern telah menggantikan banyak fungsi Derek Boom di kapal-kapal baru, sistem ini tetap relevan di kapal-kapal tertentu yang memiliki keterbatasan fasilitas pengangkutan.

Salah satu keuntungan utama dari Derrick Boom adalah desainnya yang lebih sederhana dan lebih mudah dirawat dibandingkan dengan *crane* modern. Tidak memerlukan sistem hidrolik atau mekanisme canggih, yang membuatnya lebih terjangkau dan lebih mudah dioperasikan di kapal dengan sumber daya terbatas. Dengan biaya perawatan yang lebih rendah, Derek Boom menjadi pilihan yang ekonomis untuk kapal-kapal yang beroperasi di pelabuhan dengan fasilitas terbatas atau yang tidak memerlukan kapasitas angkat besar. Meskipun tidak sefleksibel *crane* modern dalam hal kapasitas angkat dan kecepatan operasional, sistem ini tetap dapat diandalkan untuk tugas-tugas bongkar muat pada kapal-kapal yang lebih kecil atau yang tidak memerlukan pengangkatan besar.

Penggunaan Derrick Boom sering dijumpai pada kapal kargo lama atau kapal yang beroperasi di pelabuhan yang tidak memiliki fasilitas *crane* besar. Meskipun terkesan kuno, Derek Boom tetap efektif dalam berbagai situasi di mana pengangkatan dan pemindahan muatan tidak memerlukan kapasitas besar. Oleh karena itu, meskipun teknologi *crane* modern telah menggantikan sebagian besar fungsi

sistem ini, Derrick Boom masih memiliki peran penting dalam memastikan kelancaran operasional bongkar muat di beberapa jenis kapal, terutama yang memiliki keterbatasan teknis atau anggaran.

3. Forklift

Forklift adalah alat angkut yang sangat penting dalam dunia logistik, terutama di gudang atau di dek kapal, untuk memindahkan muatan yang disusun dalam palet atau kontainer kecil. Alat ini memiliki kemampuan untuk mengangkat dan memindahkan barang-barang berat dengan efisien, sehingga sangat membantu dalam mempercepat proses bongkar muat. Ada dua jenis forklift yang umum digunakan, yaitu Diesel Forklift dan Electric Forklift, masing-masing dengan keunggulannya sendiri yang membuat keduanya relevan dalam situasi yang berbeda.

Diesel Forklift umumnya digunakan di luar ruangan atau di area terbuka yang luas, seperti pelabuhan atau area pengiriman barang besar. Keunggulan utama dari diesel forklift terletak pada daya angkatnya yang besar, yang memungkinkan untuk mengangkat muatan lebih berat dan bekerja di medan yang lebih berat. Mesin diesel yang digunakan juga memberikan daya tahan yang tinggi, memungkinkan forklift ini beroperasi dalam kondisi yang lebih menantang, seperti di area dengan permukaan yang kasar atau berlumpur. Forklift jenis ini sangat cocok untuk digunakan di luar ruangan dan di lokasi yang memerlukan kapasitas angkat yang besar.

Electric Forklift lebih cocok untuk penggunaan di dalam ruangan atau di area tertutup. Salah satu keunggulan utama dari forklift listrik adalah ramah lingkungan, karena tidak menghasilkan emisi dan lebih tenang dalam operasionalnya, menjadikannya pilihan ideal untuk lingkungan gudang atau fasilitas yang lebih terbatas ruangnya. Selain itu, biaya operasional forklift listrik lebih rendah dibandingkan dengan diesel forklift. Mesin listrik juga lebih mudah dalam perawatan karena tidak memerlukan penggantian oli atau perawatan yang rumit. Dengan kapasitas angkat yang lebih rendah daripada diesel forklift, electric forklift sering digunakan untuk menangani barang yang lebih ringan atau untuk aplikasi di ruang tertutup di mana kebisingan dan polusi udara harus diminimalkan.

Kedua jenis forklift ini memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung kelancaran proses bongkar muat serta logistik secara keseluruhan. Forklift membantu dalam mempercepat proses

pemindahan barang, baik di pelabuhan, gudang, atau di dek kapal. Penggunaan forklift juga mengurangi ketergantungan pada tenaga manusia, sehingga meningkatkan efisiensi dan mengurangi potensi kecelakaan atau cedera. Dengan kemampuannya untuk memindahkan muatan dalam jumlah besar sekaligus, forklift mempercepat pergerakan barang dalam waktu singkat, yang sangat penting dalam dunia logistik yang membutuhkan kecepatan dan ketepatan.

4. Conveyor Belt

Conveyor belt adalah sistem mekanis yang sangat efisien dalam memindahkan muatan curah, seperti batu bara, pasir, atau biji-bijian, secara kontinu dari satu titik ke titik lainnya. Sistem ini dirancang untuk menggantikan tenaga manusia dalam proses bongkar muat barang, yang dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas tersebut. Conveyor belt terdiri dari sabuk panjang yang terbuat dari bahan kuat dan fleksibel, yang melilit di sekitar roller atau pulley, memungkinkan muatan dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain dengan lancar.

Salah satu keunggulan utama conveyor belt adalah kemampuannya untuk mengangkut muatan dalam jumlah besar secara terus-menerus tanpa gangguan. Hal ini sangat efektif terutama untuk material curah, yang sering kali sulit ditangani dengan alat transportasi tradisional seperti truk atau *crane*. Conveyor belt dapat dipasang pada jalur yang datar maupun miring, tergantung pada kebutuhan operasional, memungkinkan sistem ini digunakan dalam berbagai jenis lingkungan dan kondisi. Keberlanjutan dalam pengangkutan yang diberikan oleh conveyor belt menjadikannya pilihan utama di berbagai industri, termasuk di pelabuhan, tambang, pabrik, dan bahkan di kapal yang memuat barang dalam jumlah besar.

Penggunaan conveyor belt membawa banyak keuntungan dari segi produktivitas dan penghematan tenaga kerja. Dengan kemampuan untuk beroperasi secara otomatis, sistem ini mengurangi kebutuhan akan intervensi manusia dalam pengangkutan barang, sehingga mempercepat proses bongkar muat. Conveyor belt dilengkapi dengan pengaturan kecepatan yang mudah diatur dan sistem pengendalian yang memungkinkan pengoperasiannya berjalan lancar dan efisien. Penggunaan teknologi otomatis ini tidak hanya mempercepat waktu

operasional, tetapi juga mengurangi potensi kesalahan manusia yang dapat terjadi dalam pengelolaan transportasi barang secara manual.

Conveyor belt juga lebih aman dibandingkan dengan metode pengangkutan tradisional, karena dapat meminimalisir kontak langsung antara pekerja dan muatan. Hal ini mengurangi risiko cedera akibat jatuhnya barang atau kontak langsung dengan material yang mungkin berbahaya atau berat. Pekerja juga tidak perlu terlibat langsung dalam pemindahan muatan curah yang berat, yang bisa mengurangi risiko kelelahan atau cedera akibat angkat berat.

5. Sling dan Webbing Sling

Sling dan webbing sling adalah alat yang sangat penting dalam proses pengangkatan dan pemindahan muatan, terutama saat digunakan bersama *crane* atau derek. Fungsi utama dari sling adalah sebagai penghubung antara muatan dan alat angkut, memastikan muatan dapat diangkat dengan aman dan stabil. Sling hadir dalam berbagai jenis material, yang dipilih berdasarkan kebutuhan pengangkatan dan kondisi operasional. Salah satu jenis sling yang paling umum adalah sling baja, yang terbuat dari kawat baja yang memiliki ketahanan tinggi terhadap suhu ekstrem, korosi, dan kerusakan mekanis. Sling baja ideal digunakan untuk mengangkat muatan yang berat, seperti mesin besar atau material konstruksi, yang memerlukan kekuatan dan daya tahan tinggi. Selain sling baja, ada juga sling rantai yang terbuat dari rantai baja yang juga sangat kuat dan tahan lama. Sling rantai ini sering dipilih untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap gesekan atau kondisi lingkungan yang keras, seperti di area yang banyak terpapar panas atau cuaca ekstrem. Keunggulan utama dari sling rantai adalah kekuatannya yang tinggi, yang memungkinkan pengangkatan muatan berat dengan aman meskipun di bawah tekanan atau kondisi lingkungan yang menantang.

Webbing sling yang terbuat dari bahan sintetis seperti nilon atau poliester menawarkan keunggulan dalam hal ringan dan fleksibilitas. Webbing sling lebih cocok untuk pengangkatan muatan yang lebih sensitif, seperti barang-barang yang mudah rusak atau permukaan yang halus. Keunggulan lainnya adalah kemampuannya untuk mengangkat muatan dalam berbagai bentuk dan ukuran, memberikan distribusi beban yang lebih merata, yang dapat mengurangi risiko kerusakan pada muatan tersebut. Selain itu, karena terbuat dari bahan yang lebih ringan,

webbing sling lebih mudah dibawa dan dipasang, menjadikannya pilihan yang efisien untuk berbagai aplikasi di tempat terbatas atau operasional yang membutuhkan kecepatan dan mobilitas.

Meskipun webbing sling lebih ringan, kekuatannya tetap cukup besar dan dapat mengangkat muatan dengan kapasitas yang memadai. Webbing sling juga lebih aman digunakan, karena bahan sintetis yang digunakan tidak akan merusak permukaan muatan, yang sangat penting saat mengangkat barang-barang sensitif. Penggunaan webbing sling memungkinkan pengangkatan muatan dengan lebih presisi, mengurangi risiko kerusakan pada barang yang diangkat, serta memastikan keselamatan operasional secara keseluruhan.

6. *Cargo Net* (Jaring Kargo)

Cargo net, atau jaring kargo, adalah alat yang sangat penting dalam proses bongkar muat barang, terutama untuk muatan yang tidak memiliki titik angkat khusus atau yang memiliki bentuk yang tidak teratur. Jaring ini dirancang untuk memberikan dukungan yang merata dan menjaga stabilitas muatan saat diangkat menggunakan *crane* atau derek. *Cargo net* terbuat dari bahan yang kuat dan tahan lama, seperti nylon, poliester, atau kawat baja, yang memiliki daya tahan yang cukup tinggi untuk menahan beban berat. Dengan bahan yang kuat tersebut, cargo net mampu mengangkut berbagai jenis barang, mulai dari peti hingga karung atau barang lainnya yang sulit untuk diikat dengan tali atau sling biasa.

Salah satu fungsi utama dari *cargo net* adalah memastikan bahwa muatan yang diangkat tetap stabil dan terorganisir selama proses pengangkatan. Hal ini sangat penting untuk mencegah muatan bergerak atau jatuh, yang dapat menyebabkan kerusakan pada barang atau bahkan kecelakaan pada pekerja. Karena barang yang diangkat dengan *cargo net* lebih terorganisir, risiko kehilangan atau kerusakan barang dapat diminimalisir, meningkatkan efisiensi dan keselamatan dalam proses bongkar muat.

Keunggulan lain dari *cargo net* adalah kemampuannya untuk mengangkut sejumlah besar barang sekaligus. Hal ini tentu saja sangat menguntungkan dalam konteks logistik, di mana pengangkutan barang dalam jumlah besar bisa dilakukan lebih cepat dan efisien. *Cargo net* dapat mengangkut berbagai jenis barang yang memiliki ukuran atau bentuk yang tidak seragam, yang mana sulit untuk diangkut

menggunakan alat angkut lain seperti tali atau sling. Ini memungkinkan proses bongkar muat yang lebih fleksibel, karena cargo net bisa disesuaikan dengan kebutuhan operasional dan jenis muatan yang akan diangkut.

Cargo net juga memberikan keuntungan dalam hal keselamatan. Dengan stabilitas yang lebih terjaga dan risiko pergeseran atau terjatuh yang lebih rendah, penggunaan *cargo net* meminimalisir potensi cedera pada pekerja dan kerusakan pada barang. Dalam pengoperasian di pelabuhan atau kapal, di mana bongkar muat barang dilakukan dalam kondisi yang bisa cukup sibuk, *cargo net* menawarkan solusi praktis untuk menangani muatan yang sulit ditangani dengan metode konvensional. Fleksibilitas *cargo net* juga menjadikannya alat yang sangat berguna untuk berbagai aplikasi di industri maritim dan logistik. Jaring ini bisa digunakan di berbagai jenis kapal dan dalam berbagai kondisi operasional, memberikan dukungan yang diperlukan untuk menangani barang-barang yang tidak mudah diikat atau diangkat menggunakan alat angkut biasa. Dengan demikian, *cargo net* menjadi salah satu alat yang sangat vital dalam mempercepat proses bongkar muat, meningkatkan produktivitas, dan memastikan keselamatan operasional, terutama dalam pengangkutan barang yang memiliki ukuran atau bentuk yang tidak teratur.

7. *Grabs* (Bucket Grab dan Clamshell Grab)

Grabs, yang terdiri dari bucket grab dan clamshell grab, adalah alat yang sangat efektif digunakan dalam menangani muatan curah, seperti pasir, batu bara, atau bijih besi, yang sering ditemukan di pelabuhan dan kapal. Alat ini dipasang pada *crane* dan dilengkapi dengan mekanisme penjepit yang dirancang khusus untuk menggenggam dan memindahkan material dengan efisiensi tinggi. Bucket grab memiliki dua bagian cangkang yang bekerja dengan cara membuka dan menutup seperti ember. Alat ini sangat cocok digunakan untuk mengangkat material yang lebih ringan dan padat, seperti pasir atau kerikil, karena desainnya yang kompak dan efisien untuk material dengan volume lebih kecil dan padat.

Clamshell grab memiliki dua cangkang yang lebih besar dan dirancang untuk menangani material dalam jumlah lebih besar, seperti batu bara, bijih besi, atau bahan curah lainnya yang lebih berat. Cangkang clamshell grab dapat menggenggam material yang lebih luas

dan memiliki kapasitas angkat yang lebih besar, memungkinkan untuk mengangkat material dalam volume yang jauh lebih besar dalam sekali angkat. Desain clamshell grab memungkinkan alat ini untuk menggali dan mengangkat material yang lebih besar dengan cepat dan akurat, membuatnya sangat berguna di pelabuhan dan kapal yang mengangkut material dalam jumlah besar.

Keunggulan utama dari penggunaan grabs, baik bucket grab maupun clamshell grab, adalah kemampuannya untuk mempercepat proses bongkar muat. Grabs ini memiliki kapasitas angkat yang besar dan dapat mengangkut material dalam jumlah besar dalam satu kali angkat, yang sangat membantu untuk meningkatkan efisiensi operasional. Dalam industri pelabuhan dan perkapalan, waktu adalah faktor penting, dan grabs memungkinkan pemindahan material curah dengan cepat tanpa kehilangan presisi. Hal ini tidak hanya menghemat waktu tetapi juga mengurangi biaya operasional yang terkait dengan proses bongkar muat barang.

Grabs juga memberikan kemudahan dalam pengendalian dan pemindahan muatan yang tidak teratur atau berukuran besar. Material curah sering kali memiliki bentuk yang tidak teratur dan sulit diangkat dengan alat angkut konvensional, namun dengan mekanisme penjepit yang dimiliki oleh grabs, material dapat diangkat dengan lebih mudah dan stabil. Hal ini menjadikan grabs sebagai solusi yang sangat efektif dalam menangani muatan curah di pelabuhan atau kapal, di mana pengangkutan material dalam jumlah besar dan efisien sangat diperlukan.

Dengan desain yang mudah dioperasikan dan kapasitas angkat yang besar, grabs menjadi alat yang sangat vital dalam industri perkapalan dan pelabuhan. Alat ini tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga memastikan pengangkutan material dilakukan dengan lebih aman dan efisien. Oleh karena itu, penggunaan bucket grab dan clamshell grab sangat penting untuk meningkatkan kelancaran operasional, mengurangi waktu bongkar muat, dan memastikan keselamatan serta efisiensi dalam proses pengangkutan material curah.

8. *Hook* dan *Shackles* (Kait dan Pengait)

Hook dan *shackles* (kait dan pengait) adalah alat yang sangat penting dalam proses pengangkatan muatan, digunakan untuk menghubungkan muatan dengan *crane* atau sling selama proses

pengangkatan. Hook berfungsi sebagai penghubung utama antara alat angkut, seperti *crane*, dan muatan yang akan dipindahkan. Biasanya, hook terbuat dari bahan baja atau material kuat lainnya yang memiliki daya tahan tinggi untuk menahan beban yang berat. Dalam operasionalnya, hook dilengkapi dengan mekanisme pengaman, seperti penjepit atau pengait tambahan, untuk mencegah kecelakaan atau terlepasnya muatan selama pengangkatan, terutama ketika ada pergerakan atau guncangan yang terjadi selama proses tersebut. Mekanisme pengaman ini sangat penting untuk memastikan bahwa muatan tetap aman dan terjaga hingga sampai ke tempat tujuannya.

Shackles berfungsi sebagai komponen penghubung yang digunakan untuk mengaitkan tali, sling, atau kabel dengan hook. Bentuk shackles adalah cincin dengan pin yang dapat dibuka dan ditutup, yang memungkinkan pemasangan dan pelepasan muatan dengan mudah. *Shackles* ini juga terbuat dari bahan yang sangat kuat dan tahan lama, seperti baja, yang dirancang untuk menahan beban berat dan memberikan stabilitas yang diperlukan dalam proses pengangkatan. Dengan desain yang sederhana namun efektif, *shackles* membantu memfasilitasi pemindahan muatan dengan cara yang cepat dan aman.

Keamanan dalam penggunaan *hook* dan *shackles* sangatlah penting, karena kegagalan dalam salah satu komponen dapat menyebabkan kecelakaan yang merusak muatan atau bahkan membahayakan keselamatan pekerja. Misalnya, jika *hook* tidak terkunci dengan benar atau jika shackles mengalami kerusakan, muatan dapat terlepas secara tiba-tiba dan menimbulkan risiko cedera atau kerusakan. Oleh karena itu, pemeriksaan dan perawatan secara berkala pada *hook* dan *shackles* sangat diperlukan untuk memastikan fungsinya tetap optimal. Penggunaan alat ini memerlukan ketelitian dalam memeriksa kekuatan dan kondisi komponen-komponen tersebut, untuk memastikan bahwa dapat bekerja dengan baik dan aman.

9. Pallet dan Pallet Jack

Pallet dan pallet jack adalah alat yang sangat krusial dalam pengelolaan dan pemindahan barang, terutama di lingkungan gudang atau dalam proses pengangkutan barang. Pallet berfungsi sebagai alas untuk menyusun barang dengan cara yang lebih terorganisir dan efisien, sehingga barang dapat disusun dengan lebih stabil dan mudah

dipindahkan. Pallet biasanya terbuat dari bahan yang kuat dan tahan lama, seperti kayu, plastik, atau logam, yang dirancang untuk menahan beban berat. Penggunaan pallet dalam proses pemindahan barang memungkinkan pengangkutan barang menjadi lebih cepat, aman, dan terhindar dari kerusakan akibat pengangkutan yang tidak tepat, seperti terjatuh atau tergores. Dengan desain yang relatif sederhana, pallet membantu menyederhanakan proses pengelolaan barang, baik dalam gudang maupun di pelabuhan, serta memungkinkan penataan barang yang lebih efisien.

Pallet jack adalah alat yang digunakan untuk memindahkan pallet dari satu tempat ke tempat lain. Alat ini memungkinkan pengangkutan pallet yang lebih mudah, baik secara manual maupun menggunakan tenaga listrik. Pallet jack terdiri dari dua roda di bawahnya yang berfungsi untuk mengangkat pallet sedikit dari tanah, sehingga pallet dapat dipindahkan dengan mudah. Ada dua jenis pallet jack yang umum digunakan, yaitu manual dan elektrik. Pallet jack manual mengharuskan pengoperasian dengan tenaga manusia, di mana pengguna harus mengangkat dan mendorong pallet untuk memindahkannya ke lokasi yang diinginkan. Meskipun membutuhkan tenaga manusia, pallet jack manual tetap efisien dan dapat digunakan di area yang tidak memiliki akses listrik. Sementara itu, pallet jack elektrik dilengkapi dengan motor yang memungkinkan pengangkatan pallet secara otomatis, sehingga mempermudah pemindahan pallet dengan beban yang lebih berat dan mengurangi kelelahan tenaga manusia. Penggunaan pallet jack elektrik tentu lebih efisien dan dapat meningkatkan produktivitas, terutama dalam pengelolaan barang yang lebih berat atau dalam situasi di mana kecepatan sangat dibutuhkan.

Kombinasi penggunaan pallet dan pallet jack sangat membantu dalam meningkatkan efisiensi operasional di gudang, pelabuhan, atau fasilitas distribusi. Dengan menggunakan pallet untuk menata barang secara sistematis, proses pemindahan barang menjadi lebih cepat, aman, dan teratur. Pallet jack, baik manual maupun elektrik, mempermudah proses pemindahan pallet-pallet tersebut, mengurangi waktu bongkar muat, dan memungkinkan pengelolaan barang menjadi lebih terstruktur. Secara keseluruhan, penggunaan pallet dan pallet jack sangat berkontribusi terhadap efisiensi dan efektivitas operasional, membantu mengurangi potensi kerusakan barang, serta memastikan proses pengangkutan dan penyimpanan barang berjalan dengan lancar.

10. Container Spreader

Container spreader adalah alat yang dirancang khusus untuk mengangkat dan memindahkan peti kemas (kontainer) dengan bantuan *crane*, terutama di pelabuhan atau kapal. Fungsi utama dari spreader adalah untuk memastikan pengangkatan kontainer dilakukan dengan aman dan efisien, mengingat ukuran kontainer yang bervariasi. Spreader bekerja dengan cara menjepit atau menahan kontainer pada sisi-sisinya menggunakan empat penjepit yang dapat disesuaikan. Penyesuaian ini memungkinkan spreader untuk menangani berbagai ukuran kontainer, baik yang berukuran standar maupun yang lebih besar. Mekanisme penyesuaian lebar dan panjang penjepit pada spreader sangat penting untuk memastikan alat ini dapat mengakomodasi dimensi kontainer yang berbeda-beda, sehingga proses pemindahan kontainer dapat dilakukan dengan cepat dan aman.

Salah satu keunggulan utama dari container spreader adalah kemampuannya untuk mengurangi waktu yang dibutuhkan dalam proses pemuatan dan pembongkaran kontainer di pelabuhan atau kapal. Dengan menggunakan spreader, proses pengangkatan kontainer menjadi lebih stabil dan terkontrol, sehingga mengurangi risiko kerusakan pada kontainer maupun muatan yang ada di dalamnya. Proses pemindahan yang stabil juga meminimalkan potensi kecelakaan atau insiden yang dapat terjadi selama proses bongkar muat. Keamanan ini sangat penting karena kontainer seringkali mengandung barang-barang yang berharga dan berisiko tinggi untuk rusak jika tidak diangkat dengan hati-hati.

Spreader biasanya dipasang pada *crane* jenis gantry yang sering digunakan di pelabuhan, dan ini mempermudah operasi bongkar muat di kapal. Dengan alat ini, operator *crane* dapat dengan mudah mengangkat dan memindahkan kontainer dari satu tempat ke tempat lain tanpa perlu khawatir tentang ketidakstabilan atau ketidaksejajaran. Selain itu, spreader dilengkapi dengan mekanisme pengamanan yang mencegah kontainer terlepas selama proses pengangkatan atau pemindahan. Mekanisme pengamanan ini sangat penting untuk menjaga keselamatan operasi, mencegah kerugian, dan melindungi tenaga kerja dari potensi bahaya.

B. Pengoperasian dan Perawatan *Crane*, Sling, dan Net

Pada industri maritim dan logistik, pengoperasian dan perawatan peralatan bongkar muat seperti *crane*, sling, dan net sangat penting untuk memastikan efisiensi dan keselamatan kerja. Kesalahan dalam penggunaan atau kurangnya perawatan dapat menyebabkan kecelakaan yang berakibat fatal. Oleh karena itu, standar pengoperasian dan perawatan harus dipatuhi sesuai dengan regulasi yang berlaku.

1. Pengoperasian *Crane*

Pengoperasian *crane* adalah aspek penting dalam proses bongkar muat barang, terutama untuk muatan dengan kapasitas besar. *crane* digunakan untuk mengangkat dan memindahkan berbagai jenis muatan di pelabuhan atau kapal, sehingga pengoperasiannya harus dilakukan dengan sangat hati-hati dan sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. Sebelum digunakan, *crane* harus menjalani pemeriksaan menyeluruh untuk memastikan kondisi fisik alat dalam keadaan baik. Pemeriksaan ini meliputi pengecekan kabel, kait, sistem hidrolik, dan kontrol untuk memastikan tidak ada kerusakan yang dapat membahayakan operasi. Selain itu, operator harus memeriksa kapasitas angkat atau *Safe Working Load* (SWL) *crane* agar muatan yang diangkat tidak melebihi batas kapasitas yang dapat ditangani.

Selama pengoperasian, operator *crane* harus mengikuti prosedur standar untuk memastikan keamanan dan kelancaran proses. Ini termasuk mengangkat muatan secara perlahan dan stabil untuk menghindari guncangan yang bisa menyebabkan muatan terjatuh. Beban yang diangkat juga harus selalu berada dalam batas kapasitas *crane* untuk mencegah terjadinya kerusakan pada alat. Komunikasi yang efektif antara operator dan petugas darat sangat penting, baik menggunakan isyarat tangan atau sistem komunikasi radio, untuk koordinasi yang lebih baik selama proses pengangkatan dan pemindahan.

Crane harus dikembalikan ke posisi aman, dan sistem penggerak harus dinonaktifkan. Pemeriksaan pasca-operasi sangat penting untuk mendeteksi adanya kerusakan atau kebocoran pada komponen *crane* yang mungkin terjadi selama penggunaan. Agar *crane* tetap berfungsi dengan baik, perawatan berkala sangat diperlukan. Pemeriksaan harian, seperti pengecekan oli hidrolik, kabel baja, dan

sistem kontrol, harus dilakukan oleh operator. Selain itu, pelumasan bagian yang bergerak secara rutin diperlukan untuk mengurangi gesekan yang dapat menyebabkan keausan. Pemeriksaan berkala oleh teknisi bersertifikat juga harus dilakukan untuk memastikan *crane* tetap dalam kondisi optimal. Jika ada suku cadang yang rusak atau aus, penggantian segera harus dilakukan untuk menghindari kegagalan operasional yang bisa berdampak pada keselamatan dan efisiensi kerja.

2. Pengoperasian dan Perawatan Sling

Pengoperasian dan perawatan sling sangat penting dalam proses bongkar muat untuk memastikan keselamatan dan efisiensi. Sling digunakan untuk mengikat dan mengangkat muatan dengan *crane*, dan bisa terbuat dari berbagai bahan, seperti baja, rantai, atau material sintetis seperti nilon dan polyester. Pemilihan sling yang tepat adalah langkah pertama yang krusial. Sling harus memiliki kapasitas angkat yang sesuai dengan berat dan jenis muatan yang akan diangkat. Selain itu, teknik pengikatan juga harus disesuaikan dengan bentuk dan berat muatan, seperti choker hitch, vertical hitch, atau basket hitch, untuk memastikan muatan terikat dengan aman.

Penggunaan sling yang aman sangat penting untuk mencegah kerusakan pada alat atau kecelakaan. Sebelum digunakan, pastikan sling dalam kondisi baik tanpa ada kerusakan seperti sobekan, tali yang terurai, atau kawat yang putus. Selain itu, penting untuk menghindari penggunaan sling pada sudut tajam tanpa perlindungan, karena dapat merusak material sling. Pastikan pula untuk tidak membebani sling melebihi kapasitas maksimal yang dapat ditangani, untuk menghindari kegagalan yang dapat berisiko tinggi.

Perawatan sling harus dilakukan secara berkala untuk menjaga keawetannya. Pemeriksaan rutin sangat diperlukan untuk mendeteksi kerusakan atau keausan pada material sling, yang jika dibiarkan dapat mengurangi efektivitas alat ini. Setelah digunakan, sling harus dibersihkan, terutama jika terkena bahan kimia atau zat yang dapat merusak materialnya. Penyimpanan sling juga sangat penting; sling harus disimpan di tempat yang kering, jauh dari paparan sinar matahari langsung, untuk mencegah degradasi material. Dengan pengoperasian dan perawatan yang tepat, sling dapat digunakan secara optimal dan aman, mendukung proses pengangkatan muatan dengan efisien.

3. Pengoperasian dan Perawatan Cargo Net

Pengoperasian dan perawatan cargo net sangat penting untuk memastikan keselamatan dan efisiensi dalam proses bongkar muat. Cargo net digunakan untuk mengangkat muatan yang tidak memiliki titik angkat khusus, seperti karung atau peti kecil yang dikelompokkan bersama. Sebelum digunakan, persiapan yang tepat sangat diperlukan. Pastikan cargo net tidak mengalami kerusakan, seperti sobekan atau simpul yang lepas, yang dapat mengurangi kemampuannya dalam menahan muatan. Ukuran net juga harus disesuaikan dengan volume dan berat muatan, serta memastikan net terikat dengan kuat pada *crane* untuk mencegah terjadinya kecelakaan akibat muatan yang jatuh.

Selama pengoperasian, keselamatan adalah prioritas utama. Pastikan distribusi muatan merata di dalam cargo net agar keseimbangan tetap terjaga selama proses pengangkatan. Pengikatan yang benar juga sangat penting untuk mencegah muatan tergelincir atau bergeser yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan atau kerusakan pada muatan. Selain itu, penting untuk tidak membebani cargo net melebihi kapasitas yang telah direkomendasikan, karena dapat menyebabkan kegagalan pada alat dan berisiko tinggi.

Perawatan cargo net harus dilakukan secara rutin agar dapat digunakan dalam kondisi yang optimal. Pemeriksaan berkala terhadap anyaman net diperlukan untuk mendeteksi kerusakan atau keausan yang mungkin terjadi. Setelah digunakan, cargo net harus dibersihkan untuk menghindari akumulasi debu atau bahan lain yang dapat merusak serat net. Penyimpanan juga perlu diperhatikan; pastikan cargo net disimpan dalam kondisi kering dan jauh dari benda tajam yang dapat menyebabkan sobekan atau kerusakan pada materialnya. Dengan pengoperasian dan perawatan yang tepat, cargo net dapat berfungsi dengan baik dan mendukung proses pengangkatan muatan dengan aman dan efisien.

C. *Safe Working Load* (SWL) dan Inspeksi Peralatan

Safe Working Load (SWL) dan inspeksi peralatan merupakan dua aspek penting dalam penanganan muatan untuk memastikan keselamatan dan efisiensi operasi. SWL menentukan batas aman beban yang dapat diangkat oleh suatu peralatan, sedangkan inspeksi peralatan

memastikan bahwa semua alat yang digunakan berada dalam kondisi optimal dan sesuai standar keselamatan.

1. *Safe Working Load* (SWL)

Safe Working Load (SWL) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan batas maksimal beban yang dapat diangkat dengan aman oleh suatu peralatan tanpa menimbulkan risiko kegagalan struktur atau kecelakaan kerja. SWL dihitung dengan mempertimbangkan berbagai faktor, termasuk kapasitas peralatan, kondisi lingkungan, dan jenis muatan yang diangkat. Dalam standar internasional, seperti ISO 4306-1:2017, SWL menjadi pedoman penting dalam pengoperasian alat angkat seperti *crane*, sling, atau net. Beberapa faktor memengaruhi penentuan SWL. Pertama, kapasitas peralatan itu sendiri, yang ditentukan oleh desain dan kemampuan mekanis alat. Kedua, sudut pengangkatan sangat berpengaruh semakin besar sudut pengangkatan sling atau alat bantu lainnya, semakin kecil kapasitas angkatnya. Selain itu, kondisi material juga sangat penting. Kekuatan material seperti baja pada *crane* atau serat sintetis pada sling dapat memengaruhi kekuatan alat. Faktor lingkungan, seperti angin kencang, suhu ekstrem, atau korosi, juga dapat mengurangi SWL dan harus dipertimbangkan dalam pengoperasian alat.

Untuk menghitung SWL, rumus yang umum digunakan adalah SWL = MBL / FS, di mana MBL (*Minimum Breaking Load*) adalah beban maksimum sebelum alat mengalami kegagalan, dan FS (*Factor of Safety*) adalah faktor keselamatan yang bervariasi tergantung pada jenis alat dan peraturan yang berlaku. SWL biasanya tercantum pada nameplate peralatan atau dalam spesifikasi teknis. Dalam operasional, sangat penting bagi operator untuk memeriksa kapasitas SWL sebelum mengangkat beban. Beban yang melebihi SWL dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan atau bahkan kecelakaan yang membahayakan keselamatan. Oleh karena itu, pengecekan dan pemeliharaan rutin terhadap peralatan juga penting untuk memastikan bahwa SWL yang tercantum masih berlaku dan aman digunakan.

2. Inspeksi Peralatan

Inspeksi peralatan merupakan salah satu langkah penting dalam menjaga keselamatan dan keberhasilan operasional dalam kegiatan bongkar muat. Tujuan dari inspeksi adalah memastikan bahwa semua

peralatan yang digunakan dalam proses pengangkatan dan pemindahan muatan bekerja dengan baik dan aman. Inspeksi peralatan dapat dilakukan dalam beberapa tahap, yakni inspeksi harian, berkala, dan setelah kejadian khusus. Setiap jenis inspeksi memiliki tujuan dan prosedur yang berbeda.

Inspeksi harian biasanya dilakukan oleh operator sebelum penggunaan peralatan. Pemeriksaan ini meliputi pengecekan visual terhadap kondisi fisik alat, seperti mencari keretakan, keausan, atau deformasi pada komponen utama. Selain itu, label *Safe Working Load* (SWL) juga harus diperiksa untuk memastikan masih terbaca dengan jelas. Inspeksi berkala, yang dilakukan oleh teknisi atau ahli bersertifikat, mencakup pengujian beban dan pemeriksaan menyeluruh terhadap struktur, sistem hidrolik, atau kelistrikan sesuai dengan standar keselamatan seperti yang diatur oleh OSHA atau ISO 9927-1:2013. Sementara itu, inspeksi setelah kejadian khusus dilakukan apabila terjadi kecelakaan atau kerusakan, seperti jatuhnya muatan atau kegagalan mekanis. Tujuan inspeksi ini adalah untuk menilai apakah peralatan masih layak digunakan atau perlu diperbaiki.

Prosedur inspeksi untuk beberapa peralatan utama dalam bongkar muat antara lain, untuk *crane*, pemeriksaan meliputi sistem hidrolik, motor, kabel baja, serta pengujian beban untuk memastikan kapasitas angkat masih sesuai. Untuk sling, operator harus memeriksa apakah ada kawat yang putus atau tanda keausan pada sling baja, dan memastikan sling sintetis tidak memiliki sobekan atau aus. Cargo net juga memerlukan inspeksi dengan memeriksa simpul dan anyaman net, memastikan tidak ada kerusakan akibat zat kimia, serta melakukan uji daya tahan dengan mengangkat beban uji sebelum digunakan dalam operasi sebenarnya. Inspeksi yang tepat dan teratur dapat mencegah kecelakaan, kerusakan peralatan, serta memastikan operasional berjalan dengan aman dan efisien.

D. Soal Latihan

1. Jelaskan pengertian *Safe Working Load* (SWL) dan bagaimana cara menghitungnya.
2. Sebutkan dan jelaskan tiga jenis inspeksi peralatan dalam penanganan muatan.

3. Mengapa sudut pengangkatan mempengaruhi kapasitas angkat sling? Berikan penjelasan dengan contoh.
4. Apa saja tanda-tanda kerusakan pada sling baja dan sling sintetis yang harus diperhatikan saat inspeksi?
5. Bagaimana prosedur yang benar dalam melakukan inspeksi *crane* sebelum digunakan?



BAB V
SISTEM PIPA DAN PEMOMPAAN KAPAL TANKER

Kemampuan Akhir yang Diharapkan Mampu memahami terkait dengan sistem pipa dan pengaturan di kapal tanker, memahami prinsip kerja pompa kargo dan eduktor, serta memahami penanganan kargo kimia dan gas cair. Sehingga pembaca dapat mampu memahami, mengoperasikan, dan mengelola sistem perpipaan, pompa kargo, serta prosedur penanganan kargo kimia dan gas cair dengan aman dan sesuai dengan standar industri maritim.
Materi Pembelajaran • Sistem Pipa dan Pengaturan di Kapal Tanker • Prinsip Kerja Pompa Kargo dan Eduktor • Penanganan Kargo Kimia dan Gas Cair • Soal Latihan

A. Sistem Pipa dan Pengaturan di Kapal Tanker

Sistem perpipaan di kapal tanker merupakan bagian yang sangat penting dalam operasi kapal, karena berfungsi untuk mengalirkan muatan cair dari satu titik ke titik lainnya dengan aman dan efisien. Sistem ini dirancang secara khusus untuk menangani berbagai jenis kargo cair, termasuk minyak mentah, produk minyak bumi, bahan kimia, dan gas cair. Selain itu, sistem perpipaan harus memenuhi standar keselamatan internasional untuk mencegah kebocoran, kontaminasi, atau risiko lainnya yang dapat mengancam keselamatan awak kapal dan lingkungan.

1. Jenis Sistem Pipa di Kapal Tanker

Sistem perpipaan di kapal tanker memiliki peran penting dalam mendukung berbagai proses operasional, mulai dari pemuatan dan pembongkaran kargo hingga menjaga keseimbangan kapal serta

mencegah risiko kebakaran. Berdasarkan fungsinya, sistem pipa di kapal tanker dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori utama. Sistem pipa kargo (*Cargo Pipeline System*) merupakan sistem utama yang bertanggung jawab untuk mengalirkan kargo dari tangki penyimpanan ke manifold selama proses bongkar muat. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen, seperti *main cargo lines*, yaitu pipa utama yang mengalirkan kargo dari tangki ke manifold, serta *drop lines* yang berfungsi sebagai pipa vertikal untuk mengalirkan muatan dari dek ke dalam tangki. Selain itu, terdapat *stripping lines* yang digunakan untuk mengosongkan sisa muatan setelah proses utama selesai, dan *cross-over lines* yang memungkinkan distribusi muatan antar tangki agar lebih fleksibel.

Kapal tanker juga dilengkapi dengan sistem pipa ballast (*Ballast Pipeline System*), yang berfungsi untuk mengisi dan mengosongkan tangki ballast guna menjaga keseimbangan kapal selama pelayaran atau saat proses bongkar muat berlangsung. Sistem ini dirancang agar tahan terhadap korosi karena sering bersentuhan langsung dengan air laut. Untuk mencegah risiko kebakaran atau ledakan, kapal tanker juga menggunakan sistem pipa gas inert (*Inert Gas System* – IGS). Sistem ini berfungsi untuk mengurangi kadar oksigen di dalam tangki kargo dengan mengalirkan gas inert, seperti nitrogen atau gas buang yang telah dimurnikan, ke dalam ruang kosong tangki. Dengan demikian, campuran gas yang mudah terbakar dapat dicegah.

Terdapat sistem pipa ventilasi (*Ventilation Pipeline System*) yang dirancang untuk melepaskan tekanan berlebih yang dihasilkan oleh kargo cair akibat perubahan suhu atau selama proses pemuatan dan pembongkaran. Katup ventilasi dipasang untuk mengontrol tekanan dan mencegah kerusakan tangki akibat tekanan yang tidak stabil. Kapal tanker juga dilengkapi dengan sistem pipa pembuangan (*Drain and Slop Disposal System*), yang berfungsi untuk membuang atau mendaur ulang sisa kargo dan cairan limbah dari tangki kargo. Sistem ini memastikan kebersihan tangki serta mencegah kontaminasi yang dapat membahayakan lingkungan laut.

2. Bahan dan Konstruksi Pipa

Sistem perpipaan di kapal tanker harus dirancang dengan material yang tahan terhadap kondisi operasional yang berat, termasuk paparan bahan korosif, mudah terbakar, dan beracun. Pemilihan bahan

pipa menjadi faktor krusial untuk memastikan keamanan, daya tahan, dan efisiensi sistem. Beberapa jenis material yang umum digunakan dalam konstruksi pipa di kapal tanker meliputi baja karbon, baja tahan karat, serta pipa berlapis epoksi atau teflon. Baja karbon (*carbon steel*) merupakan bahan yang paling banyak digunakan dalam sistem perpipaan kapal tanker, terutama untuk menangani minyak mentah dan produk minyak bumi. Material ini memiliki kekuatan tinggi dan mampu menahan tekanan yang besar, sehingga cocok untuk pipa utama dalam sistem kargo maupun ballast. Namun, baja karbon memiliki kelemahan dalam hal ketahanan terhadap korosi, terutama saat bersentuhan dengan air laut atau bahan kimia tertentu. Oleh karena itu, pipa baja karbon sering kali dilapisi dengan bahan pelindung atau dilengkapi dengan sistem katodik untuk mengurangi risiko korosi.

Untuk menangani bahan kimia agresif dan gas cair, baja tahan karat (*stainless steel*) menjadi pilihan utama. Material ini memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, terutama terhadap zat asam dan basa kuat yang dapat merusak pipa baja karbon. Baja tahan karat juga sering digunakan dalam sistem perpipaan inert gas dan ventilasi, di mana keandalan dan ketahanan terhadap lingkungan yang ekstrem sangat diperlukan. Meskipun lebih mahal dibandingkan baja karbon, keunggulan dalam ketahanan korosi menjadikannya investasi yang baik dalam jangka panjang. Selain baja karbon dan baja tahan karat, pipa berlapis epoksi atau teflon juga digunakan dalam kapal tanker yang mengangkut bahan kimia yang sangat reaktif. Lapisan epoksi atau teflon berfungsi sebagai pelindung tambahan yang mencegah reaksi kimia antara kargo dan dinding pipa, sehingga mengurangi risiko kontaminasi serta memperpanjang umur pakai pipa. Pipa jenis ini sering ditemukan dalam kapal tanker yang mengangkut zat seperti asam kuat atau pelarut industri.

Konstruksi dan pemasangan pipa juga harus memperhatikan aspek keselamatan dan efisiensi. Sambungan pipa harus dirancang untuk menahan tekanan tinggi dan getaran selama pelayaran, sementara sistem pendukung seperti bracket dan isolasi termal harus dipasang untuk mencegah kerusakan akibat ekspansi termal atau tekanan mekanis. Dengan pemilihan material yang tepat dan konstruksi yang sesuai standar, sistem perpipaan kapal tanker dapat beroperasi dengan optimal, memastikan keselamatan dan kelancaran distribusi kargo di atas kapal.

3. Pengaturan Sistem Pipa di Kapal Tanker

Pengaturan sistem perpipaan di kapal tanker harus mematuhi standar keselamatan internasional yang ditetapkan oleh organisasi seperti *International Maritime Organization* (IMO) dan *International Convention for the Safety of Life at Sea* (SOLAS). Prinsip utama dalam pengaturan ini bertujuan untuk memastikan keamanan operasional, mencegah kebocoran, serta menjaga efisiensi dalam proses bongkar muat kargo cair. Oleh karena itu, desain dan instalasi perpipaan harus mempertimbangkan berbagai aspek teknis dan keselamatan.

Salah satu aspek penting dalam pengaturan sistem perpipaan adalah pemilihan jalur pipa yang aman. Pipa kargo umumnya dipasang di atas dek utama untuk memudahkan inspeksi dan pemeliharaan, sekaligus mengurangi risiko kebocoran ke dalam struktur kapal. Jalur pipa juga harus dirancang sedemikian rupa agar tidak menghambat aktivitas awak kapal dan tetap memberikan akses yang mudah jika diperlukan perbaikan atau penggantian komponen. Selain itu, penempatan pipa harus mempertimbangkan faktor getaran dan ekspansi termal akibat perubahan suhu kargo yang dapat mempengaruhi ketahanan material pipa.

Keamanan operasional sistem perpipaan juga sangat bergantung pada penggunaan katup pengaman (*Safety valves*). Katup ini berfungsi untuk mengontrol tekanan dalam pipa dan mencegah kebocoran yang dapat menyebabkan tumpahan kargo atau kecelakaan serius. Katup pengaman harus dipasang di titik-titik strategis, seperti pada sambungan manifold dan tangki kargo, serta harus dapat diakses dengan mudah untuk inspeksi dan pemeliharaan berkala. Selain itu, kapal tanker yang mengangkut berbagai jenis kargo memerlukan sistem pemisahan (*segregation system*) yang efektif guna mencegah kontaminasi antar muatan. Salah satu metode yang digunakan adalah *double valve segregation*, di mana dua katup dipasang secara berurutan untuk memastikan pemisahan total antara dua jenis kargo yang berbeda.

Untuk meningkatkan keselamatan, kapal tanker modern juga dilengkapi dengan sistem pemantauan dan deteksi kebocoran. Sensor tekanan dan sistem pemantauan otomatis memungkinkan awak kapal mendeteksi kebocoran sejak dini dan mengambil tindakan pencegahan sebelum insiden yang lebih besar terjadi. Selain itu, pemeliharaan berkala menjadi keharusan dalam pengoperasian sistem perpipaan di

kapal tanker. Inspeksi rutin meliputi pemeriksaan visual, uji tekanan, serta pengujian ketahanan terhadap korosi untuk memastikan semua komponen berfungsi secara optimal. Dengan pengaturan yang baik, sistem perpipaan dapat beroperasi dengan aman, mendukung efisiensi bongkar muat, serta memastikan kepatuhan terhadap regulasi keselamatan maritim internasional.

B. Prinsip Kerja Pompa Kargo dan Eduktor

Sistem pemompaan kargo di kapal tanker merupakan elemen penting dalam proses bongkar muat kargo cair, seperti minyak mentah, produk minyak bumi, bahan kimia, dan gas cair. Sistem ini dirancang untuk memastikan bahwa kargo dapat dipindahkan dengan aman, efisien, dan sesuai dengan standar keselamatan internasional. Dua jenis utama peralatan yang digunakan dalam proses ini adalah pompa kargo (*cargo pump*) dan eduktor (*eductor*).

1. Prinsip Kerja Pompa Kargo (*Cargo Pump*)

Pompa kargo merupakan komponen utama dalam sistem pemompaan kapal tanker yang berfungsi untuk mengalirkan cairan dari tangki kargo ke manifold atau sistem distribusi lainnya. Pompa ini digunakan dalam berbagai jenis kapal tanker, termasuk tanker minyak, tanker kimia, serta kapal pengangkut gas cair seperti LPG dan LNG. Pemilihan jenis pompa kargo sangat bergantung pada karakteristik cairan yang diangkut, termasuk viskositas, tekanan, dan volume yang harus dipindahkan. Salah satu jenis pompa yang paling umum digunakan adalah pompa sentrifugal (*centrifugal pump*). Pompa ini bekerja dengan prinsip gaya sentrifugal, di mana impeller berputar dengan kecepatan tinggi untuk menciptakan perbedaan tekanan yang memungkinkan cairan mengalir. Keunggulan utama pompa sentrifugal adalah kemampuannya menangani volume besar dengan efisiensi tinggi serta perawatan yang relatif rendah. Namun, pompa ini kurang efektif untuk cairan dengan viskositas tinggi dan memerlukan tekanan awal (*priming*) sebelum beroperasi.

Untuk menangani cairan dengan viskositas tinggi, pompa piston atau pompa plunger (*reciprocating pump*) sering digunakan. Pompa ini bekerja dengan gerakan maju-mundur piston yang menciptakan tekanan untuk mengalirkan kargo. Keunggulan utama pompa piston adalah

kemampuannya menangani minyak mentah berat dan bahan kimia tertentu, tetapi kapasitasnya lebih kecil dibandingkan pompa sentrifugal serta membutuhkan perawatan yang lebih sering karena adanya komponen mekanis yang bergerak. Alternatif lain yang sering digunakan dalam kapal tanker adalah pompa screw (*screw pump*). Pompa ini menggunakan dua atau lebih ulir yang berputar untuk menarik cairan dan mendorongnya keluar. Pompa screw sangat cocok untuk cairan dengan viskositas tinggi seperti minyak mentah berat dan produk minyak bumi, meskipun kapasitasnya tidak sebesar pompa sentrifugal.

Pompa submersible (*submerged pump*) dipasang langsung di dalam tangki kargo dan biasanya digunakan pada kapal tanker kimia serta LNG. Pompa ini bekerja dengan prinsip sentrifugal, tetapi keunggulannya adalah efisiensi tinggi dan tidak memerlukan pipa panjang di dalam tangki. Namun, karena pompa ini terendam dalam cairan, pemeliharaannya memerlukan prosedur khusus. Pompa gear (*gear pump*) menggunakan roda gigi untuk menarik dan mendorong cairan. Pompa ini sangat cocok untuk menangani bahan kimia dan oli berat karena kemampuannya dalam mengalirkan cairan kental. Namun, kapasitasnya lebih terbatas dibandingkan pompa sentrifugal.

2. Prinsip Kerja Eduktor (*Eductor System*)

Edukator adalah perangkat yang berfungsi untuk mengalirkan cairan menggunakan prinsip venturi, yaitu memanfaatkan aliran fluida berkecepatan tinggi untuk menciptakan perbedaan tekanan. Teknologi ini sering digunakan dalam sistem perpipaan kapal tanker untuk menangani sisa muatan dalam tangki yang tidak dapat dikeluarkan dengan pompa biasa. Eduktor bekerja dengan cara sederhana namun efektif, sehingga menjadi solusi praktis dalam operasi bongkar muat kargo yang memerlukan pengosongan tangki secara menyeluruh. Cara kerja eduktor dimulai dengan aliran cairan bertekanan tinggi, seperti air laut atau minyak, yang dialirkan melalui nozel venturi di dalam perangkat. Saat fluida ini melewati bagian sempit venturi, kecepatannya meningkat secara drastis, menciptakan area bertekanan rendah di sekitar eduktor. Tekanan rendah ini kemudian menarik cairan sisa dari tangki kargo, mencampurkannya dengan aliran utama, dan mengalirkannya keluar melalui pipa pembuangan. Proses ini

memungkinkan sisa muatan yang sulit dipompa dengan metode konvensional untuk tetap dapat dikeluarkan dengan efisien.

Salah satu keunggulan utama eduktor adalah tidak memiliki bagian yang bergerak, sehingga minim perawatan dan memiliki umur pakai yang lebih panjang dibandingkan pompa mekanis konvensional. Selain itu, eduktor mampu menangani sisa muatan yang sulit dikeluarkan dengan pompa biasa, menjadikannya perangkat penting dalam sistem pengosongan tangki di kapal tanker. Keunggulan lainnya adalah penggunaannya yang aman di lingkungan berbahaya karena tidak menghasilkan percikan api, sehingga cocok untuk kapal yang mengangkut bahan mudah terbakar atau beracun.

Eduktor juga memiliki beberapa kelemahan. Perangkat ini sangat bergantung pada pasokan cairan bertekanan tinggi agar dapat berfungsi dengan baik. Tanpa aliran tekanan yang cukup, eduktor tidak akan mampu menciptakan perbedaan tekanan yang diperlukan untuk menarik cairan sisa dari tangki. Selain itu, efisiensi eduktor lebih rendah dibandingkan pompa mekanis konvensional, karena sebagian energi dari fluida bertekanan tinggi digunakan untuk menciptakan efek venturi, bukan langsung untuk mengalirkan cairan kargo. Meskipun memiliki keterbatasan, eduktor tetap menjadi perangkat penting dalam industri perkapalan, terutama di kapal tanker yang memerlukan sistem pemompaan alternatif untuk mengosongkan tangki secara efektif. Dengan desain yang sederhana, daya tahan tinggi, dan keamanan yang lebih baik, eduktor tetap menjadi solusi andal dalam menangani sisa muatan yang tidak dapat dikeluarkan dengan pompa konvensional.

3. Peraturan dan Standar Internasional

Sistem pemompaan di kapal tanker harus memenuhi berbagai peraturan dan standar keselamatan internasional yang ditetapkan oleh organisasi maritim global. Standar ini dirancang untuk memastikan keamanan operasional, perlindungan lingkungan, dan efisiensi dalam penanganan muatan cair seperti minyak, bahan kimia, dan gas. Beberapa regulasi utama yang mengatur sistem pemompaan kapal tanker berasal dari organisasi seperti *International Maritime Organization* (IMO), *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals* (ISGOTT), *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships* (MARPOL), serta berbagai badan klasifikasi seperti Lloyd’s Register, DNV, dan ABS.

Salah satu regulasi utama yang mengatur keselamatan sistem pemompaan adalah *International Convention for the Safety of Life at Sea* (SOLAS) yang dikeluarkan oleh IMO. Konvensi ini menetapkan persyaratan teknis untuk sistem pemompaan di kapal tanker guna memastikan operasional yang aman. Dalam peraturan ini, sistem pemompaan harus dirancang untuk mengurangi risiko kebocoran, mencegah akumulasi gas berbahaya, serta memungkinkan pengendalian muatan yang efektif. Selain itu, SOLAS juga mengatur standar untuk material dan desain pipa guna menghindari kegagalan struktural selama pengoperasian.

Standar keselamatan dalam *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals* (ISGOTT, 2020) menjadi pedoman penting dalam industri perkapalan, khususnya bagi kapal tanker yang mengangkut minyak. ISGOTT memberikan panduan terkait prosedur operasi pemompaan, langkah-langkah pencegahan kebakaran, serta manajemen risiko dalam penanganan muatan cair. Panduan ini menekankan pentingnya inspeksi dan pemeliharaan rutin terhadap sistem pemompaan untuk mencegah kegagalan yang dapat menyebabkan kecelakaan atau pencemaran lingkungan.

Pada aspek perlindungan lingkungan, *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships* (MARPOL), khususnya Annex I dan Annex II, menetapkan peraturan ketat terkait pengelolaan muatan minyak dan bahan kimia di kapal. Annex I mengatur tentang pencegahan pencemaran minyak, termasuk prosedur untuk pembuangan residu minyak dari sistem pemompaan, sementara Annex II mengatur transportasi dan pembuangan bahan kimia berbahaya. Dengan adanya regulasi ini, kapal tanker diwajibkan memiliki sistem pemompaan yang dapat menangani muatan dengan aman tanpa mencemari lingkungan laut. Selain itu, badan klasifikasi seperti *Lloyd's Register* (LR), *Det Norske Veritas* (DNV), dan *American Bureau of Shipping* (ABS) memiliki peran dalam menetapkan spesifikasi teknis untuk peralatan pemompaan. Badan ini memastikan bahwa sistem perpipaan, pompa kargo, dan eduktor di kapal tanker memenuhi standar keselamatan dan kualitas yang telah ditentukan.

C. Penanganan Kargo Kimia dan Gas Cair

Penanganan kargo kimia dan gas cair di kapal tanker memerlukan sistem yang sangat terkontrol karena sifatnya yang berbahaya, beracun, mudah terbakar, atau reaktif. Kesalahan dalam penanganan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, kecelakaan kerja, dan kerusakan peralatan kapal. Oleh karena itu, pemahaman tentang karakteristik kargo, sistem penyimpanan, prosedur bongkar muat, serta regulasi keselamatan sangat penting untuk memastikan operasi yang aman dan efisien.

1. Karakteristik Kargo Kimia dan Gas Cair

Kargo kimia dan gas cair memiliki karakteristik khusus yang memerlukan sistem penanganan yang ketat dalam pengangkutannya menggunakan kapal tanker. Setiap jenis kargo memiliki sifat fisik dan kimia yang berbeda, sehingga harus ditangani dengan standar keamanan yang tinggi agar tidak menimbulkan risiko terhadap lingkungan, kapal, dan awak kapal. Kargo kimia mencakup berbagai jenis bahan seperti asam, alkohol, pelarut, dan produk petrokimia yang memiliki sifat berbeda-beda. Salah satu contoh kargo kimia yang sering diangkut adalah asam sulfat (H_2SO_4), yang sangat korosif dan memerlukan tangki khusus yang tahan terhadap asam agar tidak merusak struktur kapal. Selain itu, metanol (CH_3OH) merupakan bahan kimia yang mudah terbakar, sehingga harus diangkut dengan sistem ventilasi khusus untuk mencegah akumulasi uap yang dapat menyebabkan kebakaran. Sementara itu, benzena (C_6H_6) merupakan zat beracun yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan. Oleh karena itu, penyimpanannya memerlukan sistem inerting, yaitu pengisian gas inert seperti nitrogen ke dalam tangki untuk mencegah pembentukan campuran udara dan uap yang mudah terbakar.

Kargo gas cair seperti *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) dan *Liquefied Natural Gas* (LNG) memiliki tantangan tersendiri dalam pengangkutannya. Gas-gas ini biasanya diangkut dalam bentuk cair dengan menjaga suhu dan tekanan tertentu untuk mencegah penguapan. LPG, yang terdiri dari propana dan butana, dapat disimpan dalam kondisi tekanan tinggi atau suhu rendah untuk mempertahankan fase cairnya. Sementara itu, LNG, yang mayoritas terdiri dari metana, harus disimpan dalam kondisi kriogenik dengan suhu sekitar -162°C untuk

mencegahnya kembali ke fase gas. Proses ini memerlukan sistem insulasi termal yang sangat baik agar tidak terjadi kehilangan energi akibat pemanasan dari lingkungan luar.

Ada juga amonia (NH_3), yang merupakan gas beracun dan korosif. Pengangkutan amonia dalam bentuk cair memerlukan sistem pendinginan khusus untuk menjaga stabilitasnya serta mengurangi risiko kebocoran yang dapat membahayakan manusia dan lingkungan. Karena sifatnya yang beracun, kapal yang mengangkut amonia harus dilengkapi dengan sistem deteksi kebocoran yang sensitif serta prosedur penanganan darurat yang ketat.

2. Sistem Penyimpanan dan Pengendalian Kargo

Sistem penyimpanan dan pengendalian kargo kimia serta gas cair dalam kapal tanker dirancang dengan standar keamanan tinggi untuk mencegah reaksi berbahaya dan menjaga stabilitas muatan. Mengingat sifatnya yang reaktif dan berisiko tinggi, setiap jenis kargo memerlukan metode penyimpanan yang sesuai untuk mengurangi potensi bahaya seperti korosi, kebakaran, atau kebocoran gas beracun.

Penyimpanan kargo kimia dalam kapal tanker umumnya menggunakan tangki stainless steel atau tangki berlapis epoxy. Tangki stainless steel sering digunakan untuk menyimpan bahan kimia yang sangat korosif, seperti asam sulfat (H_2SO_4), karena material ini tahan terhadap reaksi kimia yang dapat merusak struktur tangki. Sementara itu, beberapa bahan kimia tidak boleh bersentuhan langsung dengan logam tertentu, sehingga digunakan tangki berlapis epoxy, yang memberikan perlindungan terhadap reaksi antara kargo dan dinding tangki. Selain itu, untuk mencegah risiko oksidasi yang dapat menyebabkan kebakaran atau ledakan, kapal tanker kimia juga dilengkapi dengan sistem inert gas. Sistem ini bekerja dengan menginjeksikan gas inert, seperti nitrogen atau karbon dioksida, ke dalam tangki penyimpanan guna menggantikan udara yang mengandung oksigen, sehingga mengurangi kemungkinan terbentuknya campuran udara dan uap yang mudah terbakar. Selain itu, beberapa kargo kimia memerlukan sistem pemanasan atau pendinginan untuk menjaga kestabilan kimianya selama pengangkutan.

Penyimpanan kargo gas cair membutuhkan tangki berinsulasi khusus yang mampu menahan kondisi suhu rendah dan tekanan tinggi. Terdapat beberapa jenis tangki yang digunakan berdasarkan

karakteristik gas yang diangkut. Fully pressurized tank menyimpan gas dalam tekanan tinggi tanpa pendinginan tambahan, metode ini umum digunakan untuk LPG (*Liquefied Petroleum Gas*). Selanjutnya, semi-refrigerated tank mengombinasikan tekanan sedang dengan pendinginan untuk menjaga stabilitas gas, sementara *fully refrigerated tank* digunakan untuk menyimpan gas cair dalam suhu kriogenik yang sangat rendah, seperti pada pengangkutan LNG (*Liquefied Natural Gas*) yang harus disimpan pada -162°C. Selain itu, kapal tanker gas cair dilengkapi dengan sistem *Boil-Off Gas* (BOG) untuk menangani gas yang menguap akibat perubahan suhu selama pengangkutan. Sistem ini dapat mengalirkan gas yang menguap kembali ke tangki penyimpanan atau menggunakannya sebagai bahan bakar untuk mesin kapal, sehingga mengurangi potensi kehilangan muatan serta meningkatkan efisiensi energi.

3. Prosedur Bongkar Muat Kargo Kimia dan Gas Cair

Prosedur bongkar muat kargo kimia dan gas cair di kapal tanker harus dilakukan dengan sangat hati-hati untuk mencegah kecelakaan serta menjaga keamanan muatan. Setiap langkah dalam proses ini mengikuti standar keselamatan ketat guna memastikan bahwa bahan kimia atau gas cair tidak menyebabkan kontaminasi, kebakaran, atau kebocoran yang berbahaya. Prosedur bongkar muat kargo kimia diawali dengan persiapan tangki, yang mencakup pembersihan menggunakan nitrogen atau uap untuk menghilangkan residu kargo sebelumnya. Pembersihan ini penting untuk menghindari reaksi kimia yang dapat terjadi antara muatan baru dan sisa zat sebelumnya. Setelah itu, dilakukan inspeksi kebocoran serta pengujian tekanan guna memastikan bahwa tangki dalam kondisi baik dan siap digunakan.

Pada tahap proses pemompaan, kargo kimia dipindahkan menggunakan pompa kargo, yang dirancang untuk menangani cairan kimia dengan viskositas dan sifat yang beragam. Selama transfer berlangsung, suhu dan tekanan harus dipantau secara ketat agar tetap stabil, mengingat beberapa bahan kimia sangat sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Untuk meningkatkan keamanan, sistem inerting digunakan dengan menginjeksikan gas nitrogen ke dalam tangki guna mengurangi kemungkinan reaksi antara kargo dan udara. Selain itu, kapal tanker juga dilengkapi dengan sistem deteksi

kebocoran dan pengontrol tekanan, yang secara otomatis memberikan peringatan jika ada indikasi kebocoran atau tekanan yang tidak normal.

Prosedur bongkar muat kargo gas cair memiliki beberapa tahapan khusus karena sifat gas yang mudah menguap dan membutuhkan suhu serta tekanan tertentu untuk tetap dalam bentuk cair. Langkah pertama adalah pendinginan awal (*pre-cooling*), di mana tangki harus didinginkan hingga mencapai suhu yang sesuai dengan karakteristik kargo yang akan dimuat. Langkah ini sangat penting, terutama dalam pengangkutan LNG (*Liquefied Natural Gas*), yang harus disimpan pada suhu sekitar -162°C. Selama transfer kargo, digunakan pompa kriogenik untuk menjaga tekanan tetap rendah dan mengalirkan gas cair ke tangki penyimpanan dengan aman. Selain itu, tekanan dalam tangki penerima dan pengirim harus dikontrol dengan ketat untuk mencegah overpressure atau penguapan yang berlebihan. Pada tahap *Boil-Off Gas* (BOG) management, gas yang menguap akibat perubahan suhu dikompresi kembali ke dalam tangki menggunakan compressor, sehingga mengurangi kehilangan kargo dan meningkatkan efisiensi penyimpanan. Prosedur ditutup dengan inspeksi akhir, di mana sistem diperiksa kembali untuk memastikan tidak ada kebocoran sebelum tangki ditutup dan gas inert dilepaskan.

4. Keamanan dalam Penanganan Kargo Kimia dan Gas Cair

Keamanan dalam penanganan kargo kimia dan gas cair merupakan aspek yang sangat penting karena sifat bahan tersebut yang berbahaya, baik bagi manusia maupun lingkungan. Oleh karena itu, setiap tahap operasional harus dilakukan dengan menerapkan protokol keselamatan yang ketat untuk mencegah kecelakaan, kebocoran, atau paparan zat beracun. Salah satu langkah utama dalam menjaga keselamatan adalah penggunaan Alat Pelindung Diri (APD). Para pekerja yang menangani kargo kimia dan gas cair wajib mengenakan helm dan pelindung wajah untuk melindungi diri dari kemungkinan percikan bahan kimia yang dapat menyebabkan luka bakar atau iritasi kulit. Selain itu, juga harus menggunakan sarung tangan tahan bahan kimia, yang terbuat dari material khusus seperti nitril atau neoprene, guna mencegah kontak langsung dengan zat beracun atau korosif. Untuk penanganan gas cair yang sangat mudah terbakar, pakaian tahan api (*FR Coverall*) menjadi perlengkapan standar guna melindungi pekerja dari potensi kebakaran atau ledakan akibat penguapan gas.

Kapal tanker juga harus dilengkapi dengan sistem deteksi kebocoran dan ventilasi yang berfungsi untuk mengidentifikasi adanya zat berbahaya di udara serta mencegah akumulasi gas yang dapat memicu kebakaran atau ledakan. Gas detector dipasang di berbagai area strategis guna mendeteksi keberadaan gas beracun atau mudah terbakar. Jika terdeteksi kebocoran, sistem alarm akan segera memberi peringatan agar langkah penanggulangan dapat dilakukan secepat mungkin. Selain itu, sistem ventilasi paksa diterapkan di ruang tertutup untuk memastikan bahwa gas yang mungkin bocor tidak terperangkap, sehingga mengurangi risiko paparan bagi kru kapal.

Pada situasi darurat, prosedur keselamatan yang telah disiapkan harus diterapkan dengan cepat dan efektif. Salah satu sistem utama yang digunakan adalah pemadam api berbasis busa, yang dirancang khusus untuk menangani kebakaran akibat bahan kimia yang mudah terbakar. Selain itu, kapal tanker juga dilengkapi dengan sistem scrubber, yang berfungsi untuk menetralisir gas beracun yang bocor sebelum menyebar ke udara bebas. Jika terjadi insiden yang mengancam keselamatan kru, prosedur evakuasi darurat harus segera dijalankan, dengan memastikan bahwa seluruh anggota kru mengetahui jalur evakuasi dan titik berkumpul yang telah ditentukan.

5. Regulasi Internasional

Keselamatan dalam penanganan kargo kimia dan gas cair di laut diatur oleh berbagai regulasi internasional yang dirancang untuk mengurangi risiko pencemaran dan kecelakaan. Salah satu regulasi penting adalah MARPOL Annex II (IMO, 2023), yang mengatur pembuangan limbah kargo kimia ke laut. Annex ini menetapkan pedoman yang ketat mengenai cara-cara yang aman dan ramah lingkungan untuk menangani limbah kimia yang dihasilkan selama kegiatan pengangkutan, termasuk prosedur pembuangan yang harus dilakukan agar tidak mencemari perairan laut.

International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk (IBC Code, 2023) menetapkan standar desain dan peralatan yang harus dimiliki oleh kapal tanker yang mengangkut bahan kimia berbahaya dalam jumlah besar. IBC Code memastikan bahwa kapal memiliki konstruksi yang mampu menahan sifat korosif atau reaktif dari bahan kimia tersebut, serta dilengkapi dengan sistem pemompaan, penyimpanan, dan pembuangan yang

sesuai. Selain itu, kode ini mengatur tentang sistem ventilasi, proteksi kebakaran, dan sistem deteksi kebocoran untuk mencegah terjadinya kecelakaan atau kontaminasi selama pengangkutan.

Untuk kapal yang mengangkut gas cair, regulasi *International Gas Carrier Code* (IGC Code, 2022) berlaku. Kode ini menetapkan standar keselamatan khusus bagi kapal yang mengangkut *Liquefied Natural Gas* (LNG) dan *Liquefied Petroleum Gas* (LPG), termasuk desain kapal, sistem penyimpanan, serta prosedur pengoperasian untuk memastikan bahwa gas cair yang mudah terbakar ini tidak menimbulkan bahaya selama transportasi. IGC Code mengatur segala aspek dari pengendalian suhu, tekanan, dan pengelolaan boil-off gas (BOG), serta peralatan pemadam kebakaran dan sistem darurat.

International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT, 2020) memberikan pedoman keselamatan dalam bongkar muat kargo kimia dan gas cair. Panduan ini berfokus pada prosedur keselamatan untuk mencegah kecelakaan yang dapat terjadi selama proses pemindahan muatan dari kapal ke terminal atau sebaliknya. ISGOTT meliputi aturan tentang pengelolaan kebocoran, penanganan gas berbahaya, serta penggunaan alat pelindung diri dan sistem deteksi kebocoran untuk meminimalkan potensi risiko kebakaran atau paparan bahan berbahaya.

D. Soal Latihan

1. Jelaskan perbedaan utama antara kapal tanker kimia dan kapal tanker gas cair dalam hal sistem penyimpanan dan pengaturan kargo.
2. Mengapa pemantauan tekanan sangat penting dalam sistem pemompaan kargo gas cair? Jelaskan dengan contoh.
3. Sebutkan dan jelaskan tiga regulasi internasional yang mengatur keselamatan dalam pengangkutan kargo kimia dan gas cair.
4. Bagaimana sistem *Boil-Off Gas* (BOG) bekerja dalam kapal LNG? Berikan penjelasan teknisnya.
5. Apa saja risiko yang dapat terjadi dalam proses bongkar muat kargo kimia dan bagaimana cara meminimalkannya?



BAB VI
KESELAMATAN DALAM RUANG TERTUTUP

Kemampuan Akhir yang Diharapkan Mampu memahami terkait dengan definisi dan bahaya ruang tertutup, memahami risiko dan pencegahan dalam ruang tertutup, serta memahami prosedur memasuki ruang tertutup dengan aman. Sehingga pembaca dapat memahami risiko, menerapkan pencegahan, serta mengikuti prosedur yang aman saat bekerja di ruang tertutup guna mengurangi potensi kecelakaan dan menjaga keselamatan kerja.
Materi Pembelajaran • Definisi dan Bahaya Ruang Tertutup • Risiko dan Pencegahan dalam Ruang Tertutup • Prosedur Memasuki Ruang Tertutup dengan Aman • Soal Latihan

A. Definisi dan Bahaya Ruang Tertutup

Ruang tertutup merupakan area kerja yang berbahaya jika tidak ditangani dengan benar. Risiko seperti kekurangan oksigen, paparan gas beracun, bahaya ledakan, dan kemungkinan terperangkap harus diantisipasi dengan perencanaan keselamatan yang ketat. Oleh karena itu, pekerja yang akan memasuki ruang tertutup harus dilengkapi dengan prosedur keselamatan, alat pelindung diri yang sesuai, serta sistem pemantauan atmosfer yang memadai.

1. Definisi Ruang Tertutup

Ruang tertutup, atau *confined space*, adalah area yang memiliki ventilasi terbatas dan akses masuk serta keluar yang sulit, yang tidak dirancang untuk dihuni secara terus-menerus. Ruang ini bisa berpotensi menimbulkan bahaya serius bagi pekerja yang masuk ke dalamnya,

terutama jika prosedur keselamatan yang tepat tidak diikuti. Menurut *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) dalam regulasinya, 29 CFR 1910.146, suatu ruangan dikategorikan sebagai ruang tertutup jika memenuhi tiga kriteria utama. Pertama, ruang tersebut tidak dirancang untuk hunian terus-menerus, artinya tidak ada sistem pendukung kehidupan yang memadai untuk menjadikannya tempat kerja permanen. Kedua, ruang tersebut memiliki akses masuk dan keluar yang terbatas, dengan lubang atau pintu kecil yang menyulitkan evakuasi darurat atau pengoperasian alat dalam keadaan kritis. Ketiga, ruang tersebut berpotensi mengandung atmosfer berbahaya, seperti kekurangan oksigen, keberadaan gas beracun, atau bahkan kemungkinan terjadinya ledakan.

Di industri perkapalan dan manufaktur, banyak contoh ruang tertutup yang dapat ditemukan, seperti tangki penyimpanan bahan bakar dan bahan kimia yang seringkali memiliki atmosfer berbahaya yang bisa menimbulkan risiko kebakaran atau keracunan. Ruang mesin kapal juga termasuk dalam kategori ruang tertutup karena ruang yang sempit dan adanya potensi bahaya terkait dengan mesin dan sistem bahan bakar. Saluran pembuangan dan gorong-gorong, yang biasanya sulit diakses dan sering mengandung gas berbahaya, serta silo penyimpanan bahan baku yang berpotensi mengandung debu eksplosif, juga masuk dalam kategori ini. Selain itu, boiler dan ruang ketel uap di industri perkapalan dan manufaktur juga dapat menjadi ruang tertutup karena adanya tekanan tinggi dan risiko kebakaran atau ledakan yang berbahaya bagi pekerja yang tidak mengikuti prosedur keselamatan dengan benar.

2. Bahaya dalam Ruang Tertutup

Ruang tertutup memiliki berbagai bahaya yang dapat membahayakan keselamatan pekerja yang memasuki area tersebut. Berdasarkan informasi dari *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH, 2022), beberapa bahaya utama yang sering ditemukan di ruang tertutup antara lain kekurangan oksigen, paparan gas beracun, risiko ledakan dan kebakaran, suhu ekstrem, risiko terperangkap atau terjatuh, serta kebisingan berlebih. Kekurangan oksigen adalah salah satu bahaya utama yang sering terjadi di ruang tertutup, di mana kadar oksigen bisa turun di bawah 19,5%. Hal ini dapat menyebabkan hipoksia atau kekurangan oksigen dalam tubuh,

yang bisa menyebabkan pusing, kehilangan kesadaran, atau bahkan kematian dalam waktu singkat. Kekurangan oksigen sering disebabkan oleh proses oksidasi, seperti karat pada logam, pergantian udara yang buruk, atau adanya gas lain seperti nitrogen atau karbon dioksida yang menggantikan oksigen.

Paparan gas beracun juga menjadi bahaya yang signifikan. Gas seperti hidrogen sulfida (H_2S), yang berbau seperti telur busuk, sering ditemukan di sistem pembuangan atau limbah organik. Karbon monoksida (CO), yang tidak berwarna dan tidak berbau, juga bisa menyebabkan keracunan parah dan bahkan kematian jika terhirup dalam jumlah besar. Gas lain seperti metana (CH_4) yang mudah terbakar dapat menyebabkan ledakan jika terkumpul di ruang tertutup yang tidak memiliki ventilasi yang memadai. Risiko ledakan dan kebakaran juga tinggi di ruang tertutup yang mengandung gas mudah terbakar. Faktor seperti penggunaan alat listrik yang menghasilkan percikan api, kebocoran bahan bakar, atau akumulasi debu atau uap bahan kimia dapat memicu ledakan atau kebakaran.

Suhu ekstrem dan kelembapan tinggi di beberapa ruang tertutup, seperti ruang mesin atau boiler, dapat menyebabkan kondisi kesehatan yang berbahaya bagi pekerja. Pekerja dapat mengalami heat stroke, dehidrasi, atau kelelahan panas karena suhu yang tinggi, sementara kelembapan tinggi dapat menyebabkan ketidaknyamanan dan memperburuk kelelahan. Risiko terperangkap atau terjatuh juga menjadi perhatian, terutama jika akses ke ruang tertutup terbatas dan sulit diakses. Misalnya, pekerja yang masuk ke dalam tangki melalui lubang kecil mungkin kesulitan untuk keluar dengan cepat dalam keadaan darurat. Selain itu, kebisingan berlebih di ruang tertutup, seperti ruang mesin kapal, dapat mengganggu komunikasi dan meningkatkan risiko gangguan pendengaran jangka panjang. Semua bahaya ini menunjukkan pentingnya penerapan prosedur keselamatan yang ketat saat bekerja di ruang tertutup.

B. Risiko dan Pencegahan dalam Ruang Tertutup

Ruang tertutup memiliki berbagai risiko, termasuk kekurangan oksigen, paparan gas beracun, kebakaran, dan risiko terperangkap. Oleh karena itu, langkah-langkah pencegahan yang ketat harus diterapkan, seperti ventilasi yang memadai, pemantauan atmosfer, penggunaan alat

pelindung diri, serta pelatihan keselamatan bagi pekerja. Dengan menerapkan prosedur keselamatan yang sesuai, risiko kecelakaan dalam ruang tertutup dapat dikurangi secara signifikan.

1. Risiko dalam Ruang Tertutup

Ruang tertutup dapat menimbulkan berbagai risiko yang mengancam keselamatan pekerja, dan penting untuk memahami bahaya yang terkait dengan lingkungan ini. Menurut *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA, 2023) dan *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH, 2022), risiko utama yang sering terjadi dalam ruang tertutup termasuk kekurangan oksigen, paparan gas beracun, risiko ledakan dan kebakaran, terperangkap atau terjatuh, serta suhu ekstrem dan kelembapan tinggi. Salah satu risiko utama di ruang tertutup adalah kekurangan oksigen, yang dapat terjadi ketika kadar oksigen turun di bawah 19,5%, menyebabkan hipoksia atau kekurangan oksigen dalam tubuh. Faktor-faktor yang menyebabkan kekurangan oksigen antara lain reaksi kimia, seperti karat pada logam yang menyerap oksigen, ventilasi yang buruk, dan adanya gas lain seperti nitrogen atau karbon dioksida yang menggantikan oksigen. Jika kadar oksigen tidak segera dipulihkan, dampaknya bisa sangat serius, mulai dari pusing, kebingungan, hingga kehilangan kesadaran dan kematian.

Paparan gas beracun juga menjadi risiko besar dalam ruang tertutup. Gas seperti hidrogen sulfida (H_2S), yang berbau seperti telur busuk, karbon monoksida (CO) yang tidak berwarna dan tidak berbau, serta amonia (NH_3) dapat ditemukan di banyak ruang tertutup. Gas-gas ini dapat menyebabkan kerusakan pada saluran pernapasan, kerusakan saraf, dan bahkan kematian jika terhirup dalam jumlah besar. Paparan terhadap gas-gas beracun ini sering terjadi tanpa tanda peringatan yang jelas, sehingga meningkatkan risiko bagi pekerja yang tidak dilengkapi dengan alat pelindung diri (APD) yang memadai.

Risiko ledakan dan kebakaran juga menjadi perhatian utama dalam ruang tertutup, terutama yang mengandung gas mudah terbakar. Kebocoran bahan bakar atau gas, penggunaan alat listrik yang menghasilkan percikan api, serta ventilasi yang buruk dapat menyebabkan akumulasi gas berbahaya yang, jika terkena percikan api, dapat memicu ledakan. Ledakan ini dapat menyebabkan luka bakar parah, cedera serius, kerusakan struktural, bahkan kematian. Oleh

karena itu, penting untuk memastikan sistem ventilasi yang baik dan pemeriksaan rutin untuk mendeteksi potensi kebocoran gas.

Akses terbatas di ruang tertutup meningkatkan risiko pekerja terperangkap atau terjatuh. Banyak ruang tertutup memiliki pintu masuk yang sempit atau tidak memadai untuk evakuasi darurat. Dalam situasi darurat, seperti kebakaran atau kebocoran gas, pekerja dapat terjebak atau kesulitan keluar, meningkatkan risiko cedera serius atau kematian. Selain itu, permukaan yang licin atau area yang penuh dengan peralatan juga dapat menyebabkan pekerja tergelincir atau jatuh. Suhu ekstrem dan kelembapan tinggi di ruang tertutup, seperti ruang mesin atau boiler, dapat menyebabkan masalah kesehatan serius. Kondisi ini meningkatkan risiko dehidrasi, heat stroke, dan penurunan daya tahan tubuh akibat paparan panas yang berlebihan. Kelelahan akibat suhu tinggi dapat menyebabkan pingsan dan kecelakaan, sehingga pekerja yang berada di lingkungan ini perlu dilindungi dengan pemantauan suhu dan sistem pendinginan yang memadai. Semua risiko ini menegaskan pentingnya penerapan prosedur keselamatan yang ketat dalam menangani pekerjaan di ruang tertutup.

2. Pencegahan Risiko dalam Ruang Tertutup

Pencegahan risiko dalam ruang tertutup merupakan langkah penting untuk melindungi keselamatan pekerja, mengingat potensi bahaya yang dapat terjadi di lingkungan tersebut. Berdasarkan pedoman dari *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA, 2023) dan *International Maritime Organization* (IMO, 2023), ada beberapa langkah utama yang perlu diterapkan untuk mencegah kecelakaan di ruang tertutup. Langkah pertama adalah melakukan evaluasi risiko melalui *Job Hazard Analysis* (JHA) sebelum memasuki ruang tertutup. Ini melibatkan penilaian terhadap potensi bahaya yang ada dan pemberian izin masuk melalui *Permit to Work* (PTW). Izin masuk ini mencakup beberapa prosedur penting, seperti pemeriksaan atmosfer ruang tertutup untuk memastikan bahwa kondisi udara aman. Pemantauan kadar oksigen dan gas berbahaya, seperti hidrogen sulfida (H_2S) dan karbon monoksida (CO), harus dilakukan secara berkala, dan petugas pengawas atau standby person perlu ditempatkan di luar ruang tertutup untuk memantau situasi secara terus-menerus.

Ventilasi yang memadai sangat penting untuk memastikan kualitas udara yang aman di dalam ruang tertutup. Penggunaan

ventilasi mekanis, seperti blower atau exhaust fan, dapat membantu menghilangkan gas berbahaya yang terakumulasi. Ventilasi alami, seperti memastikan adanya aliran udara segar, juga perlu dipastikan sebelum pekerja memasuki ruang tertutup. Hal ini bertujuan untuk memastikan oksigen yang cukup dan mengurangi konsentrasi gas berbahaya. Pemantauan atmosfer menggunakan detektor gas juga menjadi langkah penting dalam pencegahan. Pengukuran kadar gas berbahaya, seperti oksigen, hidrogen sulfida, karbon monoksida, dan gas mudah terbakar lainnya, harus dilakukan secara rutin. Kadar oksigen yang aman berada di antara 19,5% hingga 23,5%, sementara konsentrasi gas berbahaya seperti H_2S dan CO harus dijaga agar tidak melebihi batas aman yang telah ditentukan, yaitu kurang dari 10 ppm untuk H_2S dan kurang dari 50 ppm untuk CO.

Penggunaan alat pelindung diri (APD) yang sesuai dengan risiko yang ada juga sangat penting. Pekerja harus dilengkapi dengan respirator atau SCBA (*Self-Contained Breathing Apparatus*) jika bekerja di area dengan kadar oksigen rendah atau gas berbahaya. Selain itu, pelindung mata, sarung tangan, dan tali pengaman (*Safety harness*) harus digunakan untuk mencegah paparan bahan kimia atau terjatuh. Komunikasi yang efektif dan pengawasan juga harus diperhatikan. Setiap pekerja yang memasuki ruang tertutup harus diawasi oleh pengawas yang berada di luar ruang tersebut, dan sistem komunikasi yang jelas, seperti walkie-talkie atau sinyal tangan, harus digunakan untuk memastikan aliran informasi yang lancar. Ini penting terutama dalam situasi darurat.

Pelatihan yang memadai dan simulasi keadaan darurat juga merupakan bagian tak terpisahkan dari pencegahan. Semua pekerja harus mendapatkan pelatihan yang cukup mengenai cara mengenali bahaya, prosedur izin masuk, penggunaan alat pelindung diri, serta langkah-langkah darurat jika terjadi kecelakaan. Terakhir, prosedur penyelamatan darurat harus selalu siap diterapkan. Petugas penyelamat yang terlatih harus selalu siap siaga, dengan peralatan seperti tali penyelamat dan alat bantu pernapasan yang siap digunakan untuk memudahkan evakuasi dan penyelamatan pekerja yang terjebak.

C. Prosedur Memasuki Ruang Tertutup dengan Aman

Memasuki ruang tertutup merupakan aktivitas berisiko tinggi yang memerlukan prosedur ketat untuk memastikan keselamatan pekerja. Berdasarkan standar keselamatan dari *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA, 2023), *International Maritime Organization* (IMO, 2023), dan *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH, 2022), berikut adalah prosedur aman untuk memasuki ruang tertutup.

1. Evaluasi Risiko dan Persiapan Sebelum Masuk

Sebelum memasuki ruang tertutup, penting untuk melakukan evaluasi risiko yang komprehensif guna memastikan keselamatan pekerja. Langkah pertama adalah mengidentifikasi potensi bahaya yang mungkin ada di dalam ruang tersebut. Potensi bahaya yang perlu diperhatikan termasuk kekurangan oksigen (di bawah 19,5%), yang dapat menyebabkan hipoksia, serta paparan gas beracun seperti Hidrogen Sulfida (H_2S) dan Karbon Monoksida (CO), yang dapat berakibat fatal. Selain itu, risiko kebakaran atau ledakan akibat akumulasi gas mudah terbakar, suhu ekstrem, dan kelembapan tinggi juga perlu diwaspadai. Akses masuk yang terbatas dapat meningkatkan risiko pekerja terperangkap dalam ruang tersebut, sehingga perlu dilakukan pemantauan yang ketat.

Langkah selanjutnya adalah penerbitan Izin Masuk (*Permit to Work* - PTW), yang hanya dapat diberikan setelah petugas keselamatan melakukan analisis risiko terhadap ruang tertutup. Proses ini juga melibatkan penunjukan pengawas yang bertanggung jawab selama pekerjaan berlangsung untuk memastikan bahwa prosedur keselamatan diikuti dengan benar. Selain itu, izin masuk ini hanya akan diterbitkan setelah memastikan bahwa peralatan keselamatan yang sesuai, seperti alat pelindung diri dan peralatan pemantau atmosfer, tersedia dan siap digunakan.

Atmosfer ruang tertutup harus diuji dengan menggunakan gas detector untuk memastikan bahwa kondisi udara di dalam ruang tersebut aman bagi pekerja. Pengujian atmosfer meliputi pengecekan kadar oksigen yang harus berada dalam batas aman, yaitu antara 19,5% hingga 23,5%. Selain itu, gas berbahaya seperti H_2S harus terdeteksi di bawah 10 ppm, sementara kadar CO tidak boleh melebihi 50 ppm. Gas

mudah terbakar juga harus berada di bawah 10% dari batas ledakan bawah (LEL - *Lower Explosive Limit*). Jika hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar gas atau oksigen berada di luar batas aman, pekerja dilarang memasuki ruang tertutup hingga kondisi atmosfer dinyatakan aman.

Ventilasi ruang tertutup juga merupakan aspek krusial untuk mencegah akumulasi gas berbahaya. Ventilasi yang baik, baik secara alami maupun dengan bantuan alat seperti blower atau exhaust fan, harus dipastikan sebelum pekerja memasuki ruang tertutup. Ventilasi ini bertujuan untuk memastikan sirkulasi udara yang cukup dan mengurangi konsentrasi gas beracun, serta menjaga kadar oksigen tetap dalam batas aman.

2. Prosedur Masuk yang Aman

Prosedur masuk yang aman ke ruang tertutup sangat penting untuk menjaga keselamatan pekerja. Langkah pertama adalah penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) yang sesuai dengan risiko yang ada di ruang tersebut. Jika kondisi atmosfer tidak stabil, atau jika terdapat gas beracun, pekerja harus mengenakan SCBA (*Self-Contained Breathing Apparatus*) untuk memastikan pasokan oksigen yang aman. Selain itu, sarung tangan dan pakaian pelindung harus dikenakan untuk mencegah kontak langsung dengan bahan kimia berbahaya yang mungkin ada di dalam ruang tersebut. *Safety harness* dan *Life line* (tali pengaman) juga harus digunakan untuk memfasilitasi evakuasi dengan cepat jika terjadi keadaan darurat, seperti terjadinya kebakaran atau gas berbahaya.

Penting juga untuk menunjuk seorang pengawas yang berada di luar ruang tertutup, yang akan memantau kondisi pekerja di dalam. Pengawas ini, yang disebut *standby person*, bertanggung jawab memastikan pekerja dalam ruang tersebut tetap aman dan dapat segera memberikan bantuan jika terjadi masalah. Selain itu, sistem komunikasi yang jelas harus diterapkan untuk memastikan koordinasi yang efektif antara pengawas dan pekerja di dalam ruang tertutup. Penggunaan *walkie-talkie* atau sistem komunikasi dua arah sangat dianjurkan, dan apabila komunikasi verbal tidak memungkinkan, sinyal tangan dapat digunakan sebagai alternatif untuk memberi tanda atau memberi peringatan.

Pemasangan peralatan keselamatan juga sangat penting. Alat pemantau gas harus tetap aktif dan berfungsi selama pekerja berada di dalam ruang tertutup. Ini untuk memastikan bahwa kadar gas berbahaya atau oksigen tetap dalam batas yang aman. Pemasangan tangga atau jalur evakuasi darurat juga harus diperiksa dan dipastikan dapat diakses dengan mudah. Jalur evakuasi ini sangat penting agar pekerja dapat segera keluar dari ruang tertutup jika terjadi kondisi berbahaya yang memerlukan evakuasi cepat. Dengan mengikuti prosedur-prosedur ini, pekerja dapat memasuki ruang tertutup dengan lebih aman, dan risiko kecelakaan atau paparan bahan berbahaya dapat diminimalkan. Keberhasilan prosedur ini bergantung pada penerapan langkah-langkah keselamatan yang tepat dan pemantauan yang ketat oleh pengawas, serta komunikasi yang efektif antara semua pihak yang terlibat.

3. Prosedur Selama Bekerja di Ruang Tertutup

Selama bekerja di dalam ruang tertutup, sangat penting bagi pekerja untuk mematuhi berbagai protokol keselamatan untuk menghindari kecelakaan dan memastikan keselamatan. Salah satu langkah utama adalah pemantauan atmosfer secara berkala. Pekerja harus menggunakan gas detector untuk mengukur kadar gas berbahaya dan oksigen di ruang tersebut. Jika detektor menunjukkan adanya peningkatan kadar gas beracun atau penurunan kadar oksigen di bawah batas aman, pekerja harus segera keluar dari ruang tertutup untuk menghindari risiko kesehatan yang lebih lanjut, seperti keracunan atau hipoksia. Pemantauan atmosfer ini harus dilakukan secara terus-menerus agar kondisi di dalam ruang tetap terkontrol dan aman.

Pemantauan kesehatan pekerja juga merupakan langkah yang sangat penting selama berada di dalam ruang tertutup. Jika pekerja mulai menunjukkan gejala-gejala seperti pusing, mual, kesulitan bernapas, atau tanda-tanda lain yang mengindikasikan keracunan gas atau kekurangan oksigen, harus segera dievakuasi. Gejala-gejala tersebut bisa menandakan bahwa kondisi di dalam ruang tersebut sudah berbahaya, dan tindakan cepat diperlukan untuk mencegah kecelakaan atau kerusakan lebih lanjut pada kesehatan pekerja. Oleh karena itu, penting untuk memiliki sistem evakuasi yang efektif yang memungkinkan pekerja untuk segera keluar dari ruang tertutup dengan aman.

Penting juga untuk memperhatikan larangan penggunaan peralatan yang dapat memicu percikan api. Jika terdapat risiko gas mudah terbakar di dalam ruang tertutup, pekerja tidak diperbolehkan menggunakan alat atau perangkat yang bisa menghasilkan percikan api, kecuali telah disetujui setelah prosedur keselamatan yang ketat. Penggunaan peralatan yang tidak sesuai bisa menyebabkan ledakan atau kebakaran yang sangat berbahaya. Sebelum menggunakan peralatan apapun, pekerja harus memastikan bahwa peralatan tersebut aman digunakan dalam kondisi atmosfer ruang yang ada, dan harus mengikuti protokol khusus yang ditetapkan untuk situasi tersebut.

4. Prosedur Keluar dan Penutupan Pekerjaan

Prosedur keluar dan penutupan pekerjaan harus dilakukan dengan hati-hati dan teliti untuk memastikan keselamatan pekerja serta kelancaran operasional selanjutnya. Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah pembersihan dan inspeksi ruang tertutup. Pekerja harus memastikan bahwa semua alat dan bahan yang digunakan selama pekerjaan telah dikeluarkan dari ruang tertutup dengan aman. Ini penting untuk menghindari adanya benda-benda yang tertinggal yang bisa menimbulkan risiko atau hambatan jika ruang tersebut digunakan kembali. Selain itu, atmosfer ruang harus diperiksa kembali untuk memastikan bahwa tidak ada gas beracun yang tertinggal di dalam. Pemeriksaan ini dilakukan dengan menggunakan alat pemantau gas untuk mengukur kadar oksigen, gas berbahaya seperti H_2S dan CO, serta gas mudah terbakar, memastikan bahwa kondisi ruang telah kembali aman dan layak untuk digunakan atau diakses oleh orang lain setelah pekerjaan selesai.

Tahap berikutnya adalah dokumentasi dan evaluasi. Semua kondisi yang terjadi selama pekerjaan di ruang tertutup harus dicatat secara rinci, termasuk masalah atau insiden yang terjadi. Dokumentasi ini penting untuk memberikan gambaran yang jelas tentang proses yang telah dilalui, serta mengidentifikasi potensi masalah yang mungkin muncul selama pekerjaan berlangsung. Dengan mencatat kondisi atmosfer, alat yang digunakan, serta keadaan pekerja, organisasi dapat memperoleh wawasan yang berharga untuk meningkatkan keselamatan di masa mendatang. Evaluasi juga dilakukan untuk menilai efektivitas prosedur yang telah diterapkan dan mengidentifikasi area yang membutuhkan perbaikan. Jika ada insiden atau potensi bahaya yang

terdeteksi, evaluasi akan membantu dalam menyusun prosedur yang lebih baik dan lebih aman untuk pekerjaan di ruang tertutup di masa depan.

Dokumentasi dan evaluasi ini tidak hanya penting untuk tujuan keselamatan dan keamanan, tetapi juga untuk mematuhi standar keselamatan dan peraturan yang berlaku. Dengan proses yang terstruktur ini, perusahaan dapat memastikan bahwa setiap pekerjaan di ruang tertutup dilakukan dengan perhatian penuh terhadap risiko, dan setiap pekerjaan berikutnya dapat dilakukan dengan prosedur yang lebih baik dan lebih aman berdasarkan pengalaman dan pembelajaran dari pekerjaan sebelumnya.

5. Prosedur Darurat dalam Ruang Tertutup

Pada situasi darurat di ruang tertutup, tindakan yang cepat dan tepat sangat penting untuk memastikan keselamatan pekerja dan mengurangi risiko yang lebih besar. Langkah pertama yang harus diambil adalah aktivasi alarm darurat dan panggilan bantuan. Ketika terjadi keadaan darurat, seperti pekerja yang pingsan atau terpapar gas beracun, petugas pengawas luar harus segera mengaktifkan alarm untuk memberi tanda kepada semua orang bahwa ada situasi darurat yang memerlukan perhatian segera. Selain itu, petugas pengawas juga harus segera memanggil tim penyelamat untuk memberikan bantuan yang diperlukan.

Langkah berikutnya adalah evakuasi cepat dan aman dari ruang tertutup. Dalam proses ini, sangat penting untuk menggunakan peralatan penyelamatan yang tepat, seperti tali penyelamat atau alat bantu lainnya, untuk menarik pekerja keluar dari ruang tersebut dengan aman. Tindakan ini harus dilakukan dengan sangat hati-hati untuk menghindari cedera lebih lanjut pada pekerja yang terjebak. Namun, sangat penting untuk diingat bahwa tidak ada yang boleh masuk kembali ke dalam ruang tertutup tanpa perlindungan yang memadai. Upaya penyelamatan yang dilakukan tanpa peralatan yang sesuai dapat menambah risiko bagi penyelamat itu sendiri, serta bagi korban yang membutuhkan bantuan.

Langkah selanjutnya adalah memberikan pertolongan pertama dan pemulihan. Jika pekerja mengalami sesak napas atau tanda-tanda keracunan akibat paparan gas beracun, oksigen tambahan harus segera diberikan untuk membantu pernapasan. Jika kondisi pekerja memburuk

atau jika diperlukan perawatan medis lebih lanjut, pekerja harus segera dibawa ke fasilitas medis terdekat untuk mendapatkan perawatan lebih lanjut. Ini adalah langkah penting untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada kesehatan pekerja dan untuk memastikan pemulihan secepat mungkin. Dengan langkah-langkah ini, prosedur darurat di ruang tertutup dapat membantu menyelamatkan nyawa dan mengurangi dampak buruk dari kecelakaan yang terjadi. Kesiapsiagaan dan pengetahuan mengenai prosedur darurat yang benar sangat penting untuk setiap pekerja yang terlibat dalam pekerjaan di ruang tertutup, serta untuk petugas pengawas dan tim penyelamat yang bertanggung jawab untuk mengatasi situasi darurat dengan cepat dan efisien.

D. Soal Latihan

1. Jelaskan tiga bahaya utama yang bisa ditemukan dalam ruang tertutup dan bagaimana cara mengatasinya.
2. Mengapa ventilasi sangat penting dalam ruang tertutup, dan metode apa saja yang dapat digunakan untuk meningkatkan sirkulasi udara?
3. Apa perbedaan antara SCBA dan alat bantu pernapasan lainnya yang digunakan dalam ruang tertutup?
4. Sebutkan prosedur lengkap yang harus dilakukan sebelum seorang pekerja memasuki ruang tertutup.
5. Mengapa pengawas luar (*standby person*) sangat penting dalam pekerjaan di ruang tertutup?



BAB VII
PERHITUNGAN DAN PERENCANAAN MUATAN

Kemampuan Akhir yang Diharapkan Mampu memahami terkait dengan kapasitas bale dan kapasitas grain, memahami perhitungan volume ruang palka, serta memahami penggunaan tabel kalibrasi dan rencana kapasitas palka. Sehingga pembaca dapat memahami prinsip perhitungan kapasitas muatan, mengoptimalkan penggunaan ruang palka, serta menerapkan metode yang tepat dalam perencanaan dan pengisian muatan sesuai standar keselamatan maritim.
Materi Pembelajaran • Kapasitas Bale dan Kapasitas Grain • Perhitungan Volume Ruang Palka • Penggunaan Tabel Kalibrasi dan Rencana Kapasitas Palka • Soal Latihan

A. Kapasitas Bale dan Kapasitas Grain

Di dunia perkapalan, perhitungan kapasitas muatan sangat penting untuk menentukan efisiensi penggunaan ruang kargo. Kapasitas ini dapat dihitung dengan dua metode utama, yaitu kapasitas bale (*bale capacity*) dan kapasitas grain (*grain capacity*). Kedua kapasitas ini digunakan sesuai dengan jenis muatan yang akan diangkut dan memiliki perbedaan signifikan dalam penerapannya (Stopford, 2022).

1. Kapasitas Bale (*Bale Capacity*)

Kapasitas bale merujuk pada volume ruang muatan yang dapat digunakan untuk menyimpan barang-barang yang dikemas dalam unit tertentu, seperti kotak, drum, atau karung, di dalam ruang kargo sebuah kapal. Kapasitas ini dihitung berdasarkan ruang yang benar-benar dapat dimanfaatkan untuk menyimpan barang, tanpa memasukkan celah atau

ruang kosong di antara struktur internal kapal, seperti dinding atau penyangga yang mungkin ada di dalam ruang kargo. Oleh karena itu, kapasitas bale memberikan gambaran yang lebih akurat tentang seberapa banyak barang yang dapat dimuat ke dalam kapal dalam kondisi yang optimal.

Perhitungan kapasitas bale dilakukan dengan mempertimbangkan luas area yang tersedia untuk muatan, yang mencakup ruang di sepanjang lantai kargo yang dapat diisi dengan barang-barang yang dikemas dalam bentuk unit. Biasanya, kapasitas bale ini digunakan untuk kapal yang mengangkut muatan umum atau kargo yang dikemas dalam bentuk unit, seperti containerized cargo. Kapasitas ini penting dalam perencanaan pengangkutan karena memungkinkan operator kapal untuk memperkirakan jumlah barang yang dapat dimuat dan mengoptimalkan penggunaan ruang kargo.

2. Kapasitas Grain (*Grain Capacity*)

Kapasitas grain berbeda dengan kapasitas bale dalam hal perhitungan ruang muatan yang tersedia di kapal. Kapasitas grain mengacu pada volume total ruang muatan yang dapat digunakan untuk menyimpan barang-barang curah, tanpa memperhatikan bentuk atau kemasan barang. Hal ini berarti kapasitas grain menghitung seluruh ruang yang tersedia di dalam palka kapal, termasuk area yang ada di antara penyangga, dinding, dan struktur internal kapal lainnya. Kapasitas grain umumnya digunakan untuk muatan curah, seperti biji-bijian, batu bara, pasir, atau bahan-bahan lainnya yang memiliki bentuk bebas dan dapat mengalir untuk mengisi setiap celah dalam palka kapal. Ini berarti kapasitas grain dapat memanfaatkan ruang kosong yang mungkin terbuang jika barang-barang tersebut dikemas dalam wadah tetap seperti kotak atau drum, yang diukur dalam kapasitas bale. Dengan menghitung ruang yang benar-benar tersedia untuk barang-barang curah yang dapat mengalir, kapasitas grain memberikan gambaran yang lebih besar mengenai seberapa banyak muatan yang dapat dibawa oleh kapal.

Karena kapasitas grain menghitung seluruh volume ruang muatan, termasuk celah-celah kecil yang tidak dapat dimanfaatkan untuk barang dengan kemasan tertentu, kapasitas grain sering kali lebih besar dibandingkan kapasitas bale. Hal ini memungkinkan kapal yang mengangkut muatan curah untuk memanfaatkan setiap inci ruang yang

tersedia, menjadikannya lebih efisien dalam hal jumlah barang yang dapat dimuat. Misalnya, dalam pengangkutan gandum atau pasir, barang tersebut dapat mengisi ruang dengan sangat efektif, mengalir mengikuti bentuk palka kapal, sehingga kapasitas grain menjadi ukuran yang lebih sesuai. Pentingnya kapasitas grain terletak pada kemampuannya untuk menggambarkan seberapa banyak muatan curah yang dapat diangkut oleh kapal secara keseluruhan, tanpa terhambat oleh bentuk kemasan atau wadah tertentu. Ini membuat kapasitas grain menjadi ukuran yang sangat berguna dalam industri pengangkutan barang curah, di mana optimalisasi penggunaan ruang kargo dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi pemborosan ruang yang dapat mempengaruhi keuntungan.

3. Pentingnya Pemahaman Kapasitas Bale dan Kapasitas Grain

Pemahaman tentang kapasitas bale dan kapasitas grain sangat penting bagi operator kapal dan perusahaan pelayaran, karena keduanya berperan dalam menentukan strategi pemuatan yang optimal. Kapasitas bale dan kapasitas grain memberikan gambaran yang berbeda tentang bagaimana ruang muatan kapal dapat dimanfaatkan, dan pemahaman yang tepat tentang kedua kapasitas ini memungkinkan perencanaan muatan yang lebih efisien dan aman. Jika kapal mengangkut muatan berbentuk curah, seperti biji-bijian, batu bara, atau pasir, kapasitas grain menjadi faktor utama yang perlu dipertimbangkan. Karena kapasitas grain menghitung seluruh volume ruang yang dapat diisi oleh barang curah yang dapat mengalir dan mengisi setiap celah di dalam palka kapal, pemahaman ini sangat penting untuk memaksimalkan ruang muatan dan mengoptimalkan jumlah barang yang dapat diangkut. Dengan memanfaatkan kapasitas grain, perusahaan pelayaran dapat mengatur jumlah dan distribusi barang curah secara lebih efisien, menghindari pemborosan ruang, dan memastikan kapal dapat membawa beban yang lebih banyak.

Jika kapal mengangkut muatan dalam bentuk unit atau kemasan, seperti kotak, drum, atau karung, kapasitas bale menjadi lebih relevan. Kapasitas bale mengacu pada ruang yang digunakan untuk menyimpan barang-barang yang dikemas dalam unit tertentu, yang memungkinkan perhitungan yang lebih akurat tentang jumlah barang yang dapat dimuat, mengingat adanya batasan ruang yang ditentukan oleh bentuk kemasan. Dengan memahami kapasitas bale, perusahaan pelayaran

dapat memastikan bahwa pengaturan muatan dilakukan dengan memperhatikan ukuran dan bentuk barang, sehingga ruang yang tersedia dapat dimanfaatkan secara optimal.

Pemahaman yang tepat tentang kapasitas bale dan kapasitas grain juga sangat penting untuk menjaga stabilitas kapal dan menghindari kelebihan muatan (*overloading*). *Overloading* dapat menyebabkan ketidakstabilan kapal, yang meningkatkan risiko kecelakaan laut. Dengan mempertimbangkan kapasitas yang tersedia, operator kapal dapat memastikan distribusi muatan yang merata dan sesuai dengan batas kapasitas yang aman. Hal ini tidak hanya penting untuk keselamatan kapal dan awak, tetapi juga untuk memenuhi peraturan yang ditetapkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) yang mengatur standar keselamatan pelayaran global. Dengan demikian, pemahaman yang mendalam tentang kapasitas bale dan kapasitas grain membantu dalam menjaga keamanan operasional kapal serta meningkatkan efisiensi dalam pengangkutan barang.

B. Perhitungan Volume Ruang Palka

Perhitungan volume ruang palka sangat penting dalam perencanaan muatan kapal untuk memastikan efisiensi pemanfaatan ruang dan stabilitas kapal selama pelayaran. Ruang palka merupakan kompartemen khusus dalam kapal yang digunakan untuk menyimpan kargo, baik dalam bentuk curah (*bulk cargo*) maupun kargo kemasan (*general cargo*). Perhitungan volume ini bertujuan untuk menentukan kapasitas maksimum yang dapat dimuat tanpa melebihi batas beban kapal (Stopford, 2022).

1. Faktor-Faktor dalam Perhitungan Volume Ruang Palka

Perhitungan volume ruang palka kapal merupakan proses yang kompleks yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor ini harus diperhatikan dengan cermat untuk memastikan muatan dapat dimuat secara optimal dan aman di dalam kapal. Salah satu faktor utama adalah dimensi fisik palka, yang meliputi panjang, lebar, dan tinggi ruang palka itu sendiri. Ukuran dimensi ini memberikan gambaran dasar mengenai kapasitas ruang yang tersedia untuk memuat kargo. Dengan mengetahui dimensi fisik palka, operator kapal dapat

memperkirakan berapa banyak ruang yang dapat digunakan untuk mengangkut muatan.

Tipe kargo juga mempengaruhi perhitungan volume ruang palka. Kargo curah, seperti biji-bijian atau batu bara, biasanya memerlukan perhitungan volume yang berbeda dibandingkan dengan kargo dalam kemasan. Kargo curah dapat mengalir dan menyesuaikan bentuk ruang palka, sehingga volume ruang yang dihitung berdasarkan kapasitas grain akan lebih besar dibandingkan dengan kargo kemasan, yang memiliki bentuk unit yang lebih terstruktur dan membutuhkan ruang yang lebih terorganisir dengan cermat. Oleh karena itu, perhitungan volume untuk kargo kemasan umumnya lebih mengutamakan kapasitas bale daripada kapasitas grain.

Densitas kargo juga menjadi faktor penting dalam perhitungan volume ruang palka. Kepadatan atau densitas kargo, yang merujuk pada massa per unit volume, mempengaruhi jumlah total muatan yang dapat dimuat ke dalam ruang palka. Kargo dengan densitas tinggi, seperti logam atau batu bara, akan mengisi ruang palka dengan lebih padat dibandingkan dengan kargo yang lebih ringan, seperti kapas atau gandum. Oleh karena itu, operator kapal perlu mempertimbangkan densitas kargo saat menghitung jumlah muatan yang dapat dimasukkan, agar muatan tidak melebihi kapasitas maksimum yang aman untuk kapal. Selain itu, bentuk palka juga mempengaruhi cara perhitungan volume ruang palka. Beberapa kapal memiliki desain palka yang tidak simetris atau memiliki bentuk yang kompleks, seperti palka berbentuk lengkung atau berstruktur tertentu. Desain ini memerlukan perhitungan volume yang lebih rumit karena harus mempertimbangkan geometri ruang yang tidak seragam. Dalam kasus seperti ini, metode perhitungan volume harus melibatkan pengukuran secara rinci dan penggunaan rumus geometri untuk memastikan bahwa ruang yang tersedia dihitung dengan akurat.

2. Metode Perhitungan Volume Ruang Palka

Perhitungan volume ruang palka merupakan aspek penting dalam operasional kapal, karena hal ini langsung mempengaruhi efisiensi pemuatan, keseimbangan kapal, dan keselamatan selama pelayaran. Ada beberapa metode yang digunakan dalam perhitungan volume ruang palka, mulai dari metode geometris dasar hingga penggunaan teknologi canggih. Setiap metode memiliki aplikasi dan

kegunaan yang berbeda tergantung pada bentuk ruang palka dan jenis muatan yang diangkut. Metode geometris dasar adalah cara yang paling sederhana dan umum digunakan, terutama untuk kapal dengan ruang palka berbentuk balok (*rectangular hold*). Dalam hal ini, volume ruang palka dapat dihitung menggunakan rumus dasar geometri, yaitu panjang (L), lebar (W), dan tinggi (H) palka. Rumus perhitungannya adalah:

$$V = L \times W \times H$$

Di mana V adalah volume ruang palka dalam satuan meter kubik (m^3). Sebagai contoh, jika ruang palka memiliki panjang 30 meter, lebar 10 meter, dan tinggi 8 meter, maka volume ruang palka adalah 2400 m^3 ($V = 30 \times 10 \times 8$). Ini memberikan gambaran yang jelas tentang kapasitas ruang palka yang tersedia untuk memuat kargo.

Tidak semua ruang palka memiliki bentuk yang sederhana. Beberapa kapal memiliki desain ruang palka yang tidak teratur, dengan bagian miring, lengkungan, atau bentuk lainnya yang tidak dapat dihitung menggunakan rumus geometris dasar. Untuk ruang palka dengan bentuk seperti ini, perhitungan volume dilakukan dengan membagi ruang palka menjadi beberapa bagian berbentuk geometris sederhana, seperti prisma, trapesium, atau bentuk lain yang lebih mudah dihitung. Volume dari setiap bagian tersebut dihitung secara terpisah, kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan volume total ruang palka.

Pada perhitungan volume untuk kargo curah, seperti biji-bijian atau batu bara, faktor lain yang perlu dipertimbangkan adalah stowage factor, yaitu rasio antara volume dan berat kargo dalam satuan cubic feet per ton atau cubic meter per ton. Stowage factor ini penting karena kargo curah tidak selalu mengisi ruang palka dengan cara yang teratur, dan faktor ini memberikan gambaran tentang seberapa banyak ruang yang diperlukan untuk setiap ton kargo. Sebagai contoh, jika sebuah kapal memiliki ruang palka sebesar 2000 m^3 dan ingin mengangkut gandum dengan stowage factor 1,3 m^3/ton, maka kapasitas maksimum kargo yang dapat diangkut adalah 1538,46 ton ($2000 \div 1,3$).

Seiring dengan perkembangan teknologi, perangkat lunak perencanaan pemuatan kapal seperti CargoMax dan Ship Load Planning Software kini banyak digunakan untuk menghitung volume

ruang palka dengan lebih akurat. Perangkat lunak ini tidak hanya mempertimbangkan geometri kapal, tetapi juga distribusi muatan dan faktor keseimbangan kapal. Dengan menggunakan teknologi ini, perhitungan volume menjadi lebih presisi, dan operator kapal dapat merencanakan pemuatan dengan lebih efisien dan aman.

C. Penggunaan Tabel Kalibrasi dan Rencana Kapasitas Palka

Pengelolaan muatan kapal memerlukan perhitungan yang akurat untuk memastikan efisiensi penggunaan ruang palka serta menjaga stabilitas kapal. Salah satu metode yang digunakan dalam perencanaan muatan adalah tabel kalibrasi dan rencana kapasitas palka. Tabel kalibrasi membantu menentukan kapasitas ruang muatan berdasarkan pengukuran aktual, sementara rencana kapasitas palka digunakan untuk merencanakan distribusi kargo guna mengoptimalkan ruang dan menjaga keseimbangan kapal (IMO, 2023).

1. Tabel Kalibrasi dalam Perhitungan Kapasitas Muatan

Tabel kalibrasi merupakan alat penting dalam perhitungan kapasitas muatan kapal, khususnya pada kapal tanker, kapal curah, atau kapal yang mengangkut bahan cair seperti minyak atau bahan kimia. Tabel ini berfungsi untuk mengonversi pengukuran tingkat muatan atau tinggi muatan (dikenal dengan istilah *ullage* atau *sounding*) menjadi volume aktual muatan yang ada dalam tangki atau palka kapal. Oleh karena itu, tabel kalibrasi sangat berguna untuk memastikan bahwa perhitungan kapasitas muatan kapal lebih akurat, sehingga dapat mencegah kesalahan dalam perencanaan dan distribusi muatan, yang pada gilirannya dapat meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional kapal.

Cara membaca tabel kalibrasi umumnya melibatkan beberapa kolom penting. Kolom pertama adalah tinggi muatan, yang menunjukkan pengukuran ketinggian muatan dari dasar tangki atau palka kapal. Misalnya, pengukuran ullage sebesar 5 meter menunjukkan jarak antara permukaan muatan dengan dasar tangki kapal. Kolom berikutnya adalah volume terkait, yang menunjukkan volume muatan yang sesuai dengan tinggi muatan yang diukur tersebut. Sebagai contoh, jika kapal tanker memiliki ullage 5 meter, tabel kalibrasi bisa menunjukkan bahwa volume bahan bakar dalam tangki

adalah 800 m^3. Volume ini mencerminkan jumlah muatan yang ada pada titik pengukuran tertentu.

Tabel kalibrasi juga biasanya mencakup koreksi suhu dan densitas, yang penting untuk muatan cair. Karena suhu dapat mempengaruhi volume cairan, tabel ini menyediakan faktor penyesuaian yang diperlukan untuk memastikan volume yang dihitung tetap akurat meskipun ada perubahan suhu. Koreksi densitas juga penting karena kepadatan bahan cair dapat bervariasi, sehingga mempengaruhi volume yang sebenarnya. Terakhir, tabel kalibrasi sering kali mencakup koreksi trim dan list, yaitu penyesuaian volume yang disebabkan oleh kemiringan kapal (*trim*) dan perbedaan dalam distribusi muatan pada kapal (*list*). Koreksi ini penting karena kapal yang tidak sejajar atau tidak seimbang dapat menyebabkan perbedaan volume yang terukur di bagian-bagian berbeda kapal.

2. Rencana Kapasitas Palka

Rencana kapasitas palka adalah dokumen krusial dalam pengelolaan pemuatan kapal yang berfungsi untuk merencanakan distribusi muatan secara optimal dalam ruang palka. Tujuan utama dari rencana ini adalah untuk mencapai keseimbangan yang tepat, baik secara vertikal maupun horizontal, guna memastikan kapal tetap stabil dan aman selama pelayaran. Rencana kapasitas palka mempertimbangkan beberapa faktor penting, di antaranya distribusi berat muatan untuk menghindari ketidakseimbangan, kapasitas volume maksimum yang dapat dimuat tanpa melampaui batas beban kapal, serta jenis muatan yang akan diangkut. Faktor jenis muatan menjadi sangat penting, terutama jika ada bahan berbahaya yang memerlukan pemisahan khusus atau penanganan yang lebih hati-hati.

Untuk menyusun rencana kapasitas palka, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung total kapasitas muatan. Perhitungan ini dilakukan menggunakan rumus volume dasar ($L \times W \times H$), di mana L adalah panjang ruang palka, W adalah lebar, dan H adalah tinggi ruang palka. Perhitungan ini memberi gambaran tentang kapasitas maksimum setiap ruang palka, yang akan menentukan jumlah muatan yang dapat diangkut dengan aman. Namun, perhitungan ini hanya berlaku untuk ruang kosong dan tidak memperhitungkan faktor-faktor lain seperti densitas dan jenis muatan.

Langkah berikutnya adalah menyesuaikan perhitungan dengan faktor muatan, atau yang dikenal dengan *stowage factor*. Setiap jenis muatan memiliki kepadatan yang berbeda, yang mempengaruhi jumlah volume atau berat muatan yang dapat dimuat dalam satuan ruang. *Stowage factor* memberikan informasi tentang berapa banyak berat atau volume muatan yang bisa dimasukkan dalam satuan ruang tertentu, yang membantu dalam menghitung kapasitas muatan yang sebenarnya berdasarkan karakteristik fisik muatan.

Penting untuk memperhitungkan keseimbangan kapal, yang mencakup dua aspek utama: trim dan stabilitas lateral. Trim merujuk pada perbedaan antara draft depan dan belakang kapal, yang bisa mempengaruhi keseimbangan kapal dalam pergerakannya. Trim yang tidak seimbang dapat menyebabkan kapal menjadi miring ke depan atau belakang, yang mengganggu kenyamanan dan keselamatan kapal. Sedangkan stabilitas lateral mengacu pada keseimbangan samping kapal, yang penting untuk mencegah kemiringan berlebihan yang dapat mengakibatkan kecelakaan. Oleh karena itu, distribusi muatan yang merata dan perencanaan pemuatan yang cermat sangat diperlukan untuk memastikan stabilitas kapal selama pelayaran.

3. Teknologi dalam Kalibrasi dan Perencanaan Muatan

Perkembangan teknologi dalam industri perkapalan telah membawa dampak besar dalam proses kalibrasi dan perencanaan muatan kapal. Kapal-kapal modern kini banyak yang dilengkapi dengan sistem komputerisasi yang dapat mempermudah dan meningkatkan akurasi dalam perhitungan kapasitas palka dan perencanaan muatan. Salah satu contoh teknologi yang digunakan adalah sistem *loading computer* seperti LOADMASTER dan CargoMax. Sistem ini dirancang untuk menghitung kapasitas ruang palka secara otomatis, memperhitungkan distribusi berat muatan, serta memantau keseimbangan kapal dengan sangat teliti, yang sebelumnya memerlukan perhitungan manual yang memakan waktu dan rentan terhadap kesalahan.

Salah satu fitur utama dari sistem ini adalah kemampuannya untuk menghitung berat dan volume muatan secara otomatis. Dengan memasukkan data seperti jenis muatan, *stowage factor*, dan dimensi ruang palka, sistem dapat menghitung kapasitas muatan yang dapat diangkut dalam waktu singkat. Ini membantu operator kapal untuk

mengetahui secara tepat berapa banyak muatan yang dapat dimuat tanpa melebihi batas kapasitas atau daya angkut kapal. Selain itu, sistem ini juga dapat memantau keseimbangan kapal secara real-time dengan mempertimbangkan distribusi berat muatan. Hal ini sangat penting untuk memastikan kapal tetap stabil selama pelayaran, menghindari risiko ketidakseimbangan yang dapat membahayakan keselamatan kapal.

Sistem *loading computer* juga membantu dalam perencanaan bongkar muat, yang membuat proses ini menjadi lebih efisien. Dengan menggunakan data yang akurat dan analisis otomatis, perencanaan untuk pengisian dan pengosongan ruang palka bisa dilakukan dengan lebih cepat dan tepat. Ini tidak hanya mengurangi waktu yang diperlukan untuk bongkar muat, tetapi juga meminimalkan ruang yang tidak terpakai dan memastikan muatan dapat didistribusikan dengan baik dalam kapal. Efisiensi ini sangat berharga dalam meningkatkan produktivitas operasional kapal, sehingga biaya operasional dapat dikurangi.

D. Soal Latihan

1. Jelaskan perbedaan antara kapasitas bale dan kapasitas grain, serta dalam kondisi apa masing-masing kapasitas digunakan dalam perhitungan muatan kapal.
2. Bagaimana cara menghitung volume ruang palka secara akurat? Jelaskan dengan contoh perhitungan sederhana.
3. Mengapa penggunaan tabel kalibrasi sangat penting dalam perhitungan volume muatan di kapal tanker dan kapal curah?
4. Sebutkan tiga faktor utama yang harus diperhatikan dalam menyusun rencana kapasitas palka, dan jelaskan mengapa faktor-faktor tersebut berpengaruh terhadap keselamatan kapal.
5. Bagaimana peran teknologi dalam mempermudah perhitungan dan perencanaan muatan kapal? Jelaskan dengan menyebutkan contoh perangkat lunak yang digunakan di industri maritim.

BAB VIII
INSPEKSI DAN PEMELIHARAAN RUANG PENYIMPANAN MUATAN

Kemampuan Akhir yang Diharapkan Mampu memahami terkait dengan tata letak ruang penyimpanan pada berbagai jenis kapal, memahami identifikasi kerusakan ruang penyimpanan (korosi, retak), memahami metode pencegahan korosi pada ruang penyimpanan, memahami prosedur keselamatan sebelum inspeksi. Sehingga pembaca dapat memahami tata letak ruang penyimpanan, mengidentifikasi serta mencegah kerusakan akibat korosi, dan menerapkan prosedur keselamatan yang tepat sebelum melakukan inspeksi ruang penyimpanan di kapal.
Materi Pembelajaran • Tata Letak Ruang Penyimpanan pada Berbagai Jenis Kapal • Identifikasi Kerusakan Ruang Penyimpanan (Korosi, Retak) • Metode Pencegahan Korosi pada Ruang Penyimpanan • Prosedur Keselamatan Sebelum Inspeksi • Soal Latihan

A. Tata Letak Ruang Penyimpanan pada Berbagai Jenis Kapal

Tata letak ruang penyimpanan pada kapal bervariasi tergantung pada jenis kapal dan muatan yang diangkut. Perancangan ruang penyimpanan harus mempertimbangkan faktor keamanan, efisiensi bongkar muat, serta perlindungan terhadap muatan. Beberapa jenis kapal dengan tata letak ruang penyimpanan yang berbeda adalah sebagai berikut:

1. Kapal Kargo Umum (*General Cargo Ship*)

Kapal kargo umum atau *general cargo ship* adalah jenis kapal yang dirancang untuk mengangkut berbagai jenis muatan, baik yang berbentuk curah maupun dalam kemasan. Kapal ini dilengkapi dengan

beberapa palka (*hatch*) yang memiliki fungsi untuk menyimpan muatan. Setiap palka dirancang dengan ukuran dan struktur yang dapat disesuaikan dengan berbagai macam jenis barang yang diangkut, mulai dari barang berat hingga barang yang memerlukan penanganan khusus. Selain itu, untuk memastikan keamanan dan stabilitas selama perjalanan, kapal kargo umum biasanya dilengkapi dengan sekat kedap air (*watertight bulkheads*) yang berfungsi mencegah pergeseran muatan serta menghindari terjadinya kerusakan pada kapal akibat masuknya air. Desain ruang penyimpanan pada kapal kargo umum umumnya terbuat dari bahan baja yang tahan lama, yang memberikan perlindungan ekstra terhadap muatan dari berbagai ancaman, seperti kelembaban atau benturan yang dapat terjadi saat kapal berlayar di laut. Kelembaban merupakan faktor yang bisa merusak barang-barang tertentu, terutama untuk muatan yang sensitif seperti makanan atau produk kimia, sehingga bahan baja yang tahan terhadap karat dan korosi sangat diperlukan untuk memastikan muatan tetap aman.

Struktur palka yang ada pada kapal kargo umum juga dilengkapi dengan sistem yang memungkinkan penataan dan pemindahan muatan dengan mudah. Kemampuan kapal ini untuk mengangkut berbagai macam jenis barang menjadikannya fleksibel dan sering digunakan untuk pengiriman barang-barang yang tidak termasuk dalam kategori kargo kontainer, seperti mesin besar, barang-barang industri, dan kendaraan. Sistem pengamanan dan penataan muatan yang baik sangat penting agar kapal dapat beroperasi dengan stabil dan aman. Kapten dan kru kapal kargo umum juga berperan penting dalam memastikan bahwa muatan diletakkan secara tepat di dalam palka, mengingat pentingnya distribusi berat yang merata untuk menjaga keseimbangan kapal. Hal ini sangat krusial untuk mencegah kapal mengalami ketidakstabilan yang dapat membahayakan keselamatan pelayaran. Secara keseluruhan, kapal kargo umum memiliki desain yang serbaguna dan aman untuk mengangkut berbagai jenis muatan, menjadikannya pilihan utama dalam dunia perkapalan komersial.

2. Kapal Kontainer (*Container Ship*)

Kapal kontainer adalah jenis kapal yang dirancang khusus untuk mengangkut peti kemas atau kontainer dalam jumlah besar. Tata letak ruang penyimpanan pada kapal kontainer dirancang sedemikian rupa dengan slot-slot yang disusun secara vertikal dan horizontal,

memungkinkan kontainer ditempatkan secara efisien dan terorganisir. Slot-slot ini terbagi dengan jelas dalam palka kapal dan dipasang dengan sistem pengunci yang disebut *twist locks*. Fungsi utama dari *twist locks* adalah untuk memastikan bahwa setiap kontainer tetap terikat dengan aman, menghindari pergeseran selama pelayaran yang dapat memengaruhi keseimbangan kapal dan keselamatan muatan. Sistem penguncian ini sangat penting, terutama saat kapal menghadapi cuaca buruk atau guncangan di laut yang dapat menyebabkan pergeseran muatan.

Pada kapal kontainer juga terdapat ruang penyimpanan khusus yang dilengkapi dengan *cell guides*, yang berfungsi untuk memisahkan dan menyusun kontainer dengan rapi. *Cell guides* ini memberikan struktur tambahan yang memastikan kontainer tetap berada pada posisi yang tepat dan mencegah pergerakan yang tidak diinginkan. Keberadaan sistem ini tidak hanya mendukung pengelolaan muatan yang efisien, tetapi juga berperan penting dalam meningkatkan kapasitas kapal untuk mengangkut kontainer dalam jumlah besar, mengoptimalkan ruang yang ada, dan meminimalkan pemborosan ruang kosong.

Untuk muatan yang membutuhkan perlakuan khusus, seperti barang yang sensitif terhadap suhu, kapal kontainer dilengkapi dengan sistem pendingin untuk kontainer reefer. Kontainer reefer adalah jenis kontainer yang dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menjaga suhu tetap stabil, sangat berguna untuk mengangkut barang-barang seperti makanan, farmasi, dan bahan kimia yang memerlukan pengaturan suhu yang ketat. Kapal kontainer modern dapat memuat berbagai jenis kontainer reefer yang diletakkan dalam bagian tertentu di kapal yang memiliki sistem listrik untuk menjaga temperatur yang sesuai dengan kebutuhan muatan tersebut.

3. Kapal Tanker (*Tanker Ship*)

Kapal tanker adalah jenis kapal yang dirancang khusus untuk mengangkut muatan cair, seperti minyak, gas, bahan kimia, dan produk-produk cair lainnya. Tata letak ruang penyimpanan pada kapal tanker terdiri dari sejumlah tangki besar yang terbagi dalam beberapa kompartemen untuk memuat cairan dengan kapasitas yang sangat besar. Tangki-tangki ini dilengkapi dengan berbagai sistem pendukung yang esensial untuk memastikan muatan dapat dipindahkan dan

disalurkan dengan aman. Salah satu sistem utama pada kapal tanker adalah sistem pemompaan, yang digunakan untuk memindahkan cairan dari ruang penyimpanan ke dalam kapal atau sebaliknya ke dermaga atau fasilitas lainnya.

Kapal tanker juga dilengkapi dengan pipa distribusi yang menghubungkan tangki-tangki penyimpanan untuk memfasilitasi proses pemindahan muatan cair antar ruang. Pipa-pipa ini sangat penting untuk menjaga kelancaran proses pengisian dan pembongkaran muatan dengan efisien. Agar dapat mengurangi risiko kebakaran atau ledakan yang bisa disebabkan oleh akumulasi uap bahan bakar atau gas berbahaya, kapal tanker modern dilengkapi dengan sistem inert gas. Sistem ini mengalirkan gas yang tidak mudah terbakar, seperti nitrogen, ke dalam ruang penyimpanan untuk menggantikan oksigen dan mengurangi potensi terbentuknya campuran yang mudah meledak.

Kapal tanker modern menggunakan desain pelindung ganda atau *double hull*, yang merupakan lapisan pelindung tambahan di luar struktur utama kapal. Fungsi dari *double hull* ini adalah untuk memberikan perlindungan ekstra terhadap potensi kerusakan yang bisa terjadi akibat tabrakan atau benturan dengan objek lain di laut. Lapisan pelindung ganda ini bertujuan untuk mencegah tumpahan muatan cair, yang bisa berbahaya bagi lingkungan, terutama dalam kasus tumpahan minyak. Dengan adanya *double hull*, jika lapisan luar mengalami kerusakan, lapisan dalam masih mampu menjaga agar cairan muatan tetap tertahan di dalam tangki, sehingga mengurangi risiko tumpahan ke laut.

Kapal tanker berperan yang sangat penting dalam industri transportasi global, terutama dalam pengangkutan minyak dan produk-produk kimia lainnya. Dengan berbagai sistem keselamatan dan perlindungan yang ada, kapal tanker dapat memastikan bahwa muatan cair yang berharga dan kadang berbahaya dapat diangkut dengan aman dan efisien. Keberadaan teknologi dan desain yang canggih, seperti sistem inert gas dan *double hull*, turut memberikan kontribusi besar dalam menjaga keselamatan operasi kapal serta melindungi lingkungan dari potensi kerusakan akibat tumpahan.

4. Kapal Bulk Carrier

Kapal bulk carrier adalah jenis kapal yang dirancang khusus untuk mengangkut muatan curah kering dalam jumlah besar, seperti

bijih besi, batu bara, gandum, dan komoditas curah lainnya. Berbeda dengan kapal jenis lain, ruang penyimpanan pada kapal bulk carrier umumnya berupa palka besar yang tidak dibagi dengan sekat, memberikan ruang yang luas untuk mengangkut muatan dalam volume besar sekaligus. Desain ruang penyimpanan yang terbuka ini memungkinkan efisiensi dalam proses bongkar muat, karena muatan dapat dipindahkan secara massal tanpa memerlukan pembagian ruang yang rumit. Hal ini sangat menguntungkan dalam hal kecepatan dan biaya operasional, karena muatan dapat diangkut dan dibongkar dengan lebih cepat.

Dinding dan lantai ruang penyimpanan pada kapal bulk carrier biasanya dilapisi dengan bahan tahan aus seperti baja tahan karat atau pelapis khusus lainnya. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh gesekan antara muatan curah yang kasar dan permukaan ruang penyimpanan. Muatan seperti bijih besi dan batu bara cenderung memiliki tekstur yang keras dan tajam, yang bisa mengikis atau merusak struktur kapal jika tidak dilindungi dengan baik. Dengan lapisan pelindung yang tepat, daya tahan ruang penyimpanan dapat lebih lama, mengurangi biaya perawatan dan memperpanjang umur kapal.

Kapasitas muatan yang besar pada kapal bulk carrier memungkinkan transportasi barang dalam jumlah besar dengan efisiensi tinggi. Biasanya, kapal jenis ini digunakan untuk mengangkut barang-barang yang memiliki permintaan tinggi di pasar global, seperti bijih besi yang digunakan dalam industri baja atau batu bara yang dibutuhkan untuk pembangkit listrik. Proses bongkar muat pada kapal bulk carrier umumnya menggunakan sistem pemindahan mekanik, seperti derek atau conveyor belt, yang memudahkan pemindahan muatan curah ke pelabuhan atau fasilitas pengolahan.

Dengan desain ruang penyimpanan yang efisien dan sistem operasional yang mendukung, kapal bulk carrier berperan penting dalam perdagangan internasional, terutama dalam pengangkutan komoditas yang vital bagi industri global. Keunggulan kapal ini terletak pada kemampuannya untuk mengangkut muatan curah dalam jumlah besar dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan jenis kapal lain yang mengangkut barang dalam bentuk kemasan. Oleh karena itu, kapal bulk carrier sangat penting dalam mendukung kelancaran rantai pasokan global untuk berbagai industri.

5. Kapal Refrigerated (*Reefer Ship*)

Kapal refrigerated, atau lebih dikenal dengan sebutan reefer ship, dirancang khusus untuk mengangkut muatan yang memerlukan pengendalian suhu yang ketat selama perjalanan laut. Muatan seperti buah-buahan, daging, ikan, produk susu, dan bahan makanan lainnya yang mudah rusak membutuhkan kondisi suhu yang terjaga agar kualitasnya tetap baik hingga sampai ke tujuan. Untuk memenuhi kebutuhan ini, kapal reefer dilengkapi dengan ruang penyimpanan yang memiliki sistem pendingin canggih yang memungkinkan pengaturan suhu yang dapat disesuaikan dengan jenis dan kebutuhan muatan.

Ruang penyimpanan pada kapal reefer terdiri dari beberapa palka yang masing-masing dilapisi dengan bahan insulasi untuk menjaga suhu tetap stabil di dalamnya. Setiap palka dilengkapi dengan sistem pengatur suhu yang bisa diatur secara individual, sehingga berbagai jenis muatan yang memerlukan suhu berbeda dapat diangkut dalam satu kapal yang sama. Misalnya, ruang untuk pengangkutan buah-buahan dapat diatur dengan suhu tertentu, sementara ruang untuk daging atau produk susu dapat memiliki suhu yang berbeda pula, sesuai dengan kebutuhan spesifik untuk menjaga kesegarannya. Sistem pengatur suhu ini berfungsi untuk menjaga kondisi muatan agar tetap optimal dan mencegah kerusakan atau pembusukan yang dapat terjadi akibat suhu yang tidak sesuai.

Salah satu aspek penting dalam desain kapal reefer adalah kapasitas sistem pendingin yang harus mampu bekerja secara efisien sepanjang perjalanan, bahkan di daerah dengan suhu luar yang ekstrem. Teknologi pendinginan pada kapal ini sering kali dilengkapi dengan mesin-mesin yang canggih dan perangkat pemantauan suhu yang memastikan bahwa suhu di dalam ruang penyimpanan tetap stabil dan terkendali selama pelayaran. Selain itu, kapal reefer juga biasanya dilengkapi dengan sistem ventilasi yang baik untuk memastikan sirkulasi udara yang merata, yang penting untuk menjaga kualitas dan kesegaran muatan.

Kapal reefer sangat penting dalam perdagangan internasional, terutama dalam pengangkutan barang-barang perishable (mudah rusak) yang memiliki permintaan tinggi di pasar global. Keberadaan kapal jenis ini memungkinkan distribusi produk makanan segar ke berbagai

belahan dunia tanpa mengorbankan kualitas dan kesegarannya. Dengan menggunakan kapal reefer, distribusi produk-produk seperti buah tropis, ikan laut, dan daging beku dapat dilakukan secara efisien, menjaga kualitas produk dan memperpanjang umur simpan barang hingga sampai ke konsumen akhir. Dengan demikian, kapal reefer memiliki peran yang sangat vital dalam mendukung rantai pasokan pangan internasional.

B. Identifikasi Kerusakan Ruang Penyimpanan (Korosi, Retak)

Ruang penyimpanan kapal mengalami berbagai jenis kerusakan akibat faktor lingkungan, muatan, dan operasional. Identifikasi dini terhadap kerusakan seperti korosi dan retak sangat penting untuk memastikan keselamatan kapal, efisiensi operasional, serta perlindungan terhadap muatan. Beberapa metode dan teknik yang digunakan dalam identifikasi kerusakan ruang penyimpanan akan dijelaskan di bawah ini.

1. Korosi di Ruang Penyimpanan Kapal

Korosi adalah proses kerusakan material yang disebabkan oleh reaksi kimia antara bahan logam dengan lingkungan sekitarnya, terutama air laut yang mengandung garam tinggi. Di kapal, korosi di ruang penyimpanan dapat menjadi masalah serius karena dapat merusak struktur kapal dan menyebabkan kebocoran yang membahayakan keselamatan pelayaran. Ruang penyimpanan kapal yang terus terpapar air laut yang bersifat korosif berisiko tinggi mengalami korosi, yang jika dibiarkan dapat mengancam kestabilan kapal dan mengurangi masa pakainya.

Ada beberapa jenis korosi yang dapat terjadi di ruang penyimpanan kapal, masing-masing dengan ciri dan penyebab yang berbeda. Korosi umum (*uniform corrosion*) terjadi secara merata di seluruh permukaan logam akibat paparan terus-menerus terhadap udara dan kelembaban laut. Ciri khasnya adalah perubahan warna pada permukaan logam, pengelupasan cat, serta munculnya lapisan karat yang sering terlihat di dinding palka atau tangki penyimpanan. Jenis korosi ini biasanya tidak langsung menyebabkan kerusakan struktural yang parah, namun jika tidak segera ditangani, dapat mengurangi daya

tahan material dan menurunkan kekuatan struktural kapal (Jones, 2022).

Korosi pitting, di sisi lain, sangat berbahaya karena menyebabkan pembentukan lubang-lubang kecil pada permukaan logam. Hal ini sering kali dipicu oleh zat kimia agresif yang ada dalam kargo, seperti bahan kimia cair atau gas bertekanan. Korosi pitting dapat sangat merusak dan menyebabkan kebocoran yang dapat membahayakan keselamatan kapal serta muatan yang dibawa (Smith, 2023). Korosi jenis ini sulit dideteksi pada tahap awal dan membutuhkan perhatian lebih dalam proses pemeliharaan. Korosi galvanik terjadi ketika dua logam yang berbeda saling bersentuhan di dalam lingkungan yang mengandung elektrolit, seperti air laut. Perbedaan potensial listrik antara kedua logam menyebabkan salah satu logam lebih cepat mengalami korosi daripada yang lainnya. Korosi ini sering ditemukan pada sambungan logam yang berbeda dalam struktur ruang penyimpanan kapal, seperti pada sambungan pipa atau elemen struktural lainnya (Taylor, 2022).

Korosi celah (*crevice corrosion*) biasanya terjadi di area yang sulit dijangkau, seperti di antara baut atau sambungan logam yang tidak mendapatkan sirkulasi udara dan cairan dengan baik. Tempat-tempat ini sering menjadi sarang korosi karena adanya akumulasi kelembaban dan ion korosif yang terperangkap di dalam celah tersebut. Korosi celah dapat menyebabkan kelemahan struktural yang berbahaya dan sering kali tidak terdeteksi tanpa inspeksi menyeluruh (Lloyd, 2023). Untuk mendeteksi dan mengidentifikasi korosi, beberapa metode dapat digunakan. Inspeksi visual adalah cara yang paling sederhana dan dilakukan dengan memeriksa perubahan warna, karat, dan pengelupasan cat pada permukaan logam. Namun, untuk deteksi yang lebih akurat, metode seperti *Ultrasonic Thickness Measurement* (UTM) digunakan untuk mengukur ketebalan material dan mendeteksi area yang mengalami penipisan akibat korosi. Selain itu, *Magnetic Particle Inspection* (MPI) juga dapat digunakan untuk mendeteksi celah atau retakan kecil yang tidak terlihat secara visual. Dengan menggunakan berbagai metode ini, korosi dapat dideteksi lebih awal dan ditangani sebelum menimbulkan kerusakan yang lebih besar pada struktur kapal.

2. Retak dalam Ruang Penyimpanan Kapal

Retak dalam struktur ruang penyimpanan kapal adalah masalah serius yang dapat menurunkan keselamatan kapal dan muatan yang diangkut. Retak ini dapat berkembang karena berbagai faktor, seperti tekanan mekanis, perubahan suhu ekstrem, atau ketidakseimbangan muatan. Jika retak tidak segera diperbaiki, dapat menyebabkan kebocoran yang dapat merusak muatan, atau bahkan mengakibatkan kegagalan struktural yang berbahaya. Karena itu, deteksi dan perbaikan retak sangat penting untuk menjaga integritas kapal.

Ada beberapa jenis retak yang umum ditemukan di ruang penyimpanan kapal. Salah satunya adalah retak fatigue, yang terjadi akibat tegangan berulang pada struktur kapal. Retak ini biasanya muncul di sekitar sambungan las atau bagian-bagian yang sering menerima tekanan tinggi, seperti area yang terlibat dalam proses bongkar muat muatan. Retak fatigue ini dimulai dari titik lemah pada struktur dan berkembang seiring waktu. Ketegangan berulang ini mengakibatkan material logam menjadi lebih rentan, sehingga menyebabkan retak yang lebih besar dan berbahaya jika tidak ditangani (Brown, 2023).

Jenis retak lainnya adalah retak tegangan (*stress cracking*), yang disebabkan oleh tekanan tinggi yang terus-menerus pada bagian tertentu dari ruang penyimpanan kapal. Retak ini sering terjadi pada kapal yang beroperasi dalam kondisi cuaca ekstrem atau kapal yang membawa muatan berat. Penekanan dan pelepasan beban yang konstan, terutama pada suhu yang berubah-ubah, dapat memperburuk kondisi material dan mengarah pada retak yang mempengaruhi daya tahan struktur kapal. Biasanya, retak ini muncul di bagian-bagian struktural yang tidak terdistribusi secara merata atau pada bagian kapal yang mengalami beban berlebihan (Smith, 2023).

Retak korosi (*corrosion cracking*) adalah jenis retak yang terjadi akibat kombinasi antara korosi dan tegangan mekanis. Korosi yang terjadi pada bagian kapal yang terpapar zat kimia agresif dapat melemahkan material logam, dan ketika struktur tersebut mengalami tekanan, retak dapat berkembang dengan cepat. Retak jenis ini sering ditemukan pada kapal tanker yang sering mengangkut bahan kimia atau minyak yang dapat menyebabkan korosi pada tangki penyimpanan. Seiring waktu, reaksi antara korosi dan tegangan menyebabkan retakan

yang dapat menembus material dan mengarah pada kebocoran atau kegagalan struktural (Jones, 2022).

Untuk mengidentifikasi retak, terdapat beberapa metode inspeksi yang dapat digunakan. *Dye Penetrant Test* (DPT) adalah salah satu metode yang menggunakan cairan penetran untuk mendeteksi retak kecil yang tidak terlihat oleh mata telanjang. Cairan penetran ini akan masuk ke dalam retakan dan menunjukkan adanya kerusakan pada permukaan logam. *Eddy Current Testing* (ECT) adalah metode lain yang menggunakan medan magnet untuk mendeteksi ketidaksempurnaan pada permukaan logam. Metode ini dapat menemukan retak tanpa merusak material kapal. Selain itu, *Radiographic Testing* (RT), yang menggunakan sinar-X atau sinar gamma, memungkinkan deteksi retak di dalam struktur logam tanpa perlu membongkar bagian kapal. Dengan metode ini, inspektur dapat melihat retakan yang ada di bagian dalam kapal yang tidak tampak secara visual. Menggunakan berbagai teknik ini, retak dalam struktur ruang penyimpanan kapal dapat terdeteksi lebih cepat dan diperbaiki sebelum menyebabkan kerusakan yang lebih serius.

C. Metode Pencegahan Korosi pada Ruang Penyimpanan

Korosi merupakan salah satu tantangan utama dalam pemeliharaan ruang penyimpanan kapal. Jika tidak dicegah, korosi dapat menyebabkan kerusakan struktural, kebocoran, dan bahkan kegagalan operasional yang berbahaya. Oleh karena itu, penerapan metode pencegahan korosi sangat penting untuk memastikan keandalan dan umur panjang ruang penyimpanan. Berikut adalah beberapa metode utama yang digunakan dalam industri maritim berdasarkan penelitian terbaru.

1. Pelapisan dan Perlindungan Permukaan

Pelapisan dan perlindungan permukaan merupakan langkah penting dalam mencegah terjadinya korosi pada ruang penyimpanan kapal. Korosi yang terjadi pada permukaan logam kapal dapat menyebabkan kerusakan struktural yang serius, seperti kebocoran atau penurunan daya tahan material. Salah satu metode paling efektif untuk melindungi permukaan logam kapal adalah dengan menerapkan pelapisan khusus yang dirancang untuk menahan pengaruh lingkungan

laut yang agresif. Beberapa jenis pelapisan yang umum digunakan antara lain cat anti-korosi dan proses anodizing.

Cat anti-korosi, seperti epoxy coating, adalah salah satu jenis pelapisan yang banyak digunakan untuk melindungi permukaan logam dari kelembaban dan zat kimia agresif dalam kargo. Epoxy coating memiliki daya tahan tinggi terhadap korosi yang disebabkan oleh air laut, sehingga sangat efektif untuk mencegah kerusakan pada ruang penyimpanan kapal yang terpapar langsung dengan lingkungan laut. Selain itu, cat ini juga memberikan perlindungan tambahan terhadap bahan kimia yang mungkin ada dalam muatan kapal (Jones, 2022). Polyurethane coating adalah jenis pelapisan lain yang sering digunakan, terutama untuk area yang sering terkena gesekan tinggi. Cat ini memiliki fleksibilitas yang lebih baik dibandingkan dengan epoxy, serta ketahanan yang lebih tinggi terhadap abrasi dan kerusakan fisik, menjadikannya pilihan ideal untuk bagian-bagian kapal yang sering terpapar beban mekanis (Smith, 2023). Sementara itu, inorganic zinc coating digunakan untuk memberikan perlindungan terhadap korosi galvanik. Lapisan ini mengandung seng, yang berfungsi sebagai elemen protektif yang mencegah reaksi korosi pada logam dasar. Zinc coating sangat efektif untuk melindungi bagian-bagian kapal yang sering bersentuhan dengan air laut, karena zinc bertindak sebagai pelindung yang lebih tahan lama terhadap pengaruh elektrokimia (Taylor, 2022).

Proses anodizing juga digunakan untuk meningkatkan ketahanan permukaan logam terhadap oksidasi dan korosi. Anodizing adalah proses elektrokimia yang menghasilkan lapisan oksida tipis pada logam seperti aluminium. Lapisan oksida ini tidak hanya meningkatkan daya tahan terhadap korosi, tetapi juga memberikan perlindungan tambahan terhadap faktor lingkungan yang dapat merusak permukaan logam. Proses anodizing ini sering digunakan pada komponen kapal yang terbuat dari aluminium, karena dapat memperpanjang umur pakai material dan menjaga kekuatannya dalam jangka waktu yang lebih lama (Brown, 2023).

2. Proteksi Katodik (*Cathodic Protection*)

Proteksi katodik adalah salah satu metode elektrokimia yang digunakan untuk mencegah terjadinya korosi pada permukaan logam dengan cara mengendalikan reaksi oksidasi yang dapat merusak material. Dalam konteks kapal, proteksi katodik sangat penting untuk

menjaga keutuhan struktur kapal, terutama pada ruang penyimpanan yang sering terpapar air laut dan bahan kimia agresif. Ada dua jenis sistem proteksi katodik yang umum digunakan, yaitu sistem anoda korban (*sacrificial anode*) dan sistem *impressed current cathodic protection* (ICCP).

Sistem anoda korban menggunakan bahan anoda yang lebih reaktif dibandingkan dengan material logam kapal, seperti seng, aluminium, atau magnesium. Anoda ini akan terkorosi terlebih dahulu daripada logam utama kapal, yang melindungi bagian kapal dari proses korosi. Konsep dasar dari sistem ini adalah bahwa anoda yang lebih reaktif akan "mengorbankan diri" dalam proses oksidasi, sehingga melindungi logam utama yang lebih stabil dan kurang reaktif. Metode ini sangat efektif dan ekonomis untuk perlindungan area-area kecil, seperti pada tangki penyimpanan bahan kimia di kapal tanker. Keuntungan dari sistem anoda korban adalah kemudahan dalam pemasangan dan pemeliharaan, serta biaya yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan sistem lainnya (Lloyd, 2023).

Sistem *impressed current cathodic protection* (ICCP) menggunakan arus listrik eksternal untuk melawan reaksi oksidasi pada permukaan logam. Sistem ini lebih kompleks, karena memanfaatkan sumber daya eksternal, seperti sumber daya listrik dari kapal, untuk memberikan arus terus-menerus yang mengalir ke permukaan logam yang dilindungi. Arus ini akan mengalir melalui elektrode yang ditempatkan di bawah permukaan kapal, seperti pada bagian-bagian ruang penyimpanan besar. Sistem ICCP lebih efektif untuk perlindungan jangka panjang, terutama pada kapal dengan ukuran besar yang memiliki ruang penyimpanan yang luas. Kelebihan dari sistem ICCP adalah kemampuannya untuk memberikan perlindungan yang lebih menyeluruh dan dapat diatur secara lebih tepat untuk setiap bagian kapal, sehingga memastikan perlindungan maksimal terhadap korosi (Taylor, 2022).

3. Pengendalian Lingkungan di Ruang Penyimpanan

Pengendalian lingkungan di ruang penyimpanan kapal sangat penting untuk memperlambat laju korosi yang dapat merusak struktur kapal. Korosi, yang disebabkan oleh interaksi antara logam dengan lingkungan, dapat dipercepat oleh kondisi kelembaban yang tinggi, paparan air laut, dan faktor kimia lainnya. Oleh karena itu, beberapa

metode diterapkan untuk mengendalikan lingkungan dalam ruang penyimpanan agar mencegah kerusakan struktural.

Salah satu metode yang paling penting adalah penerapan sistem ventilasi yang baik. Ventilasi yang memadai sangat membantu dalam mengurangi tingkat kelembaban di ruang penyimpanan, yang merupakan faktor utama dalam mempercepat korosi. Sistem ventilasi yang dirancang dengan baik memungkinkan aliran udara yang cukup untuk mengurangi kelembaban yang terperangkap di dalam ruangan. Selain itu, penggunaan dehumidifier juga menjadi langkah yang efektif dalam mengontrol kadar air dalam udara, khususnya pada ruang penyimpanan yang sering tertutup rapat, seperti ruang penyimpanan bahan kimia atau kargo yang sensitif. Sistem dehumidifier bekerja dengan cara menarik uap air dari udara, sehingga mengurangi kelembaban dan menciptakan lingkungan yang lebih kering yang dapat menghambat proses korosi (Smith, 2023).

Metode lain yang sering diterapkan adalah penggunaan inhibitor korosi. Inhibitor adalah senyawa kimia yang dirancang untuk mengurangi reaksi korosi pada logam. Terdapat dua jenis inhibitor yang umum digunakan: inhibitor organik dan inhibitor anorganik. Inhibitor organik, seperti senyawa amina, membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam, sehingga mencegah kontak langsung dengan air atau bahan kimia agresif yang dapat menyebabkan korosi (Jones, 2022). Sementara itu, inhibitor anorganik, seperti natrium nitrit dan fosfat, bekerja dengan menghambat oksidasi pada logam dalam kondisi tertentu, sehingga memperlambat terjadinya korosi (Lloyd, 2023).

Pengendalian pH dan kadar garam juga merupakan faktor penting dalam mengurangi risiko korosi. Air laut yang kaya akan garam dapat mempercepat proses korosi, sehingga disarankan untuk menggunakan air tawar untuk membersihkan ruang penyimpanan setelah digunakan, terutama jika ada sisa-sisa air laut atau kelembaban yang terperangkap (Brown, 2023). Penggunaan bahan penyerap kelembaban, seperti silica gel, juga dapat membantu menjaga kondisi lingkungan di dalam ruang penyimpanan tetap kering dan mencegah penumpukan kelembaban yang dapat mempercepat korosi.

4. Pemeliharaan dan Inspeksi Berkala

Pemeliharaan dan inspeksi berkala merupakan langkah penting dalam mencegah korosi di ruang penyimpanan kapal. Pemantauan rutin memungkinkan deteksi dini terhadap kerusakan kecil, sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan sebelum kerusakan tersebut menjadi lebih parah dan berdampak pada struktur kapal. Proses ini melibatkan berbagai metode inspeksi dan pemeliharaan yang dirancang untuk menjaga kondisi ruang penyimpanan tetap optimal.

Salah satu metode yang digunakan dalam inspeksi berkala adalah inspeksi visual yang dipadukan dengan teknik *Non-Destructive Testing* (NDT). Salah satunya adalah *Ultrasonic Thickness Measurement* (UTM), yang menggunakan gelombang ultrasonik untuk mengukur ketebalan material pada ruang penyimpanan. Teknologi ini memungkinkan deteksi korosi yang tidak tampak pada permukaan, serta memantau penipisan material akibat proses korosi (Smith, 2023). Selain itu, *Magnetic Particle Inspection* (MPI) juga sering digunakan untuk mendeteksi retakan kecil yang mungkin tidak terlihat dengan inspeksi visual, terutama pada area yang rawan kerusakan akibat stres atau korosi. MPI bekerja dengan menggunakan partikel magnetik untuk mengidentifikasi cacat di permukaan logam, yang dapat berpotensi menyebabkan kebocoran atau kegagalan struktural.

Pembersihan rutin juga merupakan bagian penting dari pemeliharaan ruang penyimpanan. Sisa-sisa muatan, minyak, atau zat kimia yang tertinggal setelah bongkar muat dapat mempercepat korosi jika tidak dibersihkan dengan baik. Oleh karena itu, setelah setiap bongkar muat, sangat disarankan untuk membersihkan ruang penyimpanan menggunakan air tawar. Penggunaan air tawar penting untuk menghilangkan residu garam yang terkandung dalam air laut, yang dapat memicu korosi galvanik, yaitu jenis korosi yang terjadi ketika dua logam yang berbeda bersentuhan dalam lingkungan yang mengandung air laut (Jones, 2022). Dengan membersihkan ruang penyimpanan secara menyeluruh, risiko terjadinya korosi dapat diminimalkan.

Perawatan cat dan pelapisan. Pengecatan ulang secara berkala sangat diperlukan untuk memastikan bahwa lapisan pelindung tetap berfungsi dengan baik dan memberikan perlindungan yang optimal terhadap elemen-elemen lingkungan yang dapat menyebabkan korosi. Evaluasi kondisi pelapisan secara rutin, misalnya setiap beberapa

bulan, dapat membantu mendeteksi area yang mengalami kerusakan atau penipisan. Jika ada bagian yang memerlukan perbaikan, tindakan seperti pengecatan ulang atau penggantian pelapisan harus segera dilakukan untuk memastikan perlindungan yang berkelanjutan terhadap permukaan logam (Smith, 2023).

D. Prosedur Keselamatan Sebelum Inspeksi

Inspeksi ruang penyimpanan muatan kapal merupakan langkah penting untuk memastikan keselamatan kargo, awak kapal, dan struktur kapal itu sendiri. Namun, sebelum inspeksi dilakukan, ada sejumlah prosedur keselamatan yang harus diterapkan guna mengurangi risiko kecelakaan, seperti paparan gas beracun, kekurangan oksigen, atau cedera akibat struktur yang tidak stabil. Berikut adalah prosedur keselamatan sebelum inspeksi ruang penyimpanan berdasarkan standar industri dan penelitian terbaru.

1. Perencanaan dan Persiapan Inspeksi

Perencanaan dan persiapan yang matang adalah langkah awal yang krusial dalam memastikan inspeksi ruang penyimpanan kapal berjalan dengan lancar, aman, dan efektif. Sebelum memulai inspeksi, langkah pertama adalah melakukan evaluasi risiko dan identifikasi bahaya. Ini melibatkan analisis terhadap potensi risiko yang ada di ruang penyimpanan, seperti paparan gas beracun, kekurangan oksigen, atau bahkan bahaya struktural yang dapat membahayakan keselamatan petugas inspeksi (Lloyd, 2023). Selain itu, penting untuk meninjau riwayat ruang penyimpanan, termasuk jenis muatan yang pernah disimpan sebelumnya, yang bisa meninggalkan residu berbahaya yang berpotensi menambah risiko bagi para inspeksi (Brown, 2023). Dengan memahami risiko dan bahaya yang mungkin terjadi, tim inspeksi dapat mempersiapkan tindakan pencegahan yang tepat.

Langkah selanjutnya adalah penyusunan tim inspeksi. Dalam hal ini, penting untuk menentukan personel yang akan terlibat, termasuk petugas keselamatan dan teknisi kapal yang memiliki keahlian khusus. Setiap anggota tim harus memiliki pelatihan keselamatan yang memadai, terutama terkait dengan prosedur darurat dan penggunaan alat pelindung diri (APD). Keahlian dalam menangani situasi darurat sangat diperlukan untuk memastikan keselamatan semua

pihak yang terlibat selama inspeksi (Taylor, 2022). Selain itu, penting juga untuk memastikan bahwa tim yang terlibat memahami perannya dan dapat bekerja dengan koordinasi yang baik agar inspeksi dapat berjalan dengan efektif.

Persiapan peralatan keselamatan juga sangat penting untuk memastikan keamanan selama inspeksi. Sebelum memasuki ruang penyimpanan, semua peralatan keselamatan harus diperiksa dan dipastikan dalam kondisi baik. Salah satu peralatan yang krusial adalah perangkat pemantauan gas, yang digunakan untuk mendeteksi kadar oksigen, karbon monoksida, hidrogen sulfida, dan gas mudah terbakar yang mungkin ada di ruang penyimpanan (Smith, 2023). Alat ini sangat penting untuk menghindari risiko keracunan atau ledakan. Selain itu, alat komunikasi seperti radio portabel atau interkom perlu disiapkan agar komunikasi antar anggota tim tetap terjaga selama inspeksi, terutama jika ruang penyimpanan sulit dijangkau atau terpisah. Harness dan tali keselamatan juga harus dipersiapkan untuk mengurangi risiko jatuh saat bekerja di ruang tertutup atau tinggi. Terakhir, peralatan penerangan tahan ledakan harus digunakan jika ruang penyimpanan berpotensi mengandung gas mudah terbakar. Dengan persiapan yang matang, keselamatan dapat terjamin, dan inspeksi dapat dilakukan dengan risiko minimal.

2. Ventilasi dan Pengujian Atmosfer Ruang Penyimpanan

Sebelum memasuki ruang penyimpanan, penting untuk memastikan bahwa atmosfer di dalamnya aman untuk keselamatan para petugas inspeksi. Salah satu langkah utama untuk mencapainya adalah dengan ventilasi yang memadai. Sistem ventilasi yang baik, baik itu alami atau mekanis, diperlukan untuk menghilangkan gas berbahaya dan meningkatkan kadar oksigen di dalam ruang penyimpanan. Ventilasi yang efektif akan membantu mengurangi potensi risiko seperti gas beracun atau oksigen yang tidak cukup, yang bisa membahayakan keselamatan petugas yang akan memasuki ruang tersebut. Proses ventilasi ini harus dilakukan dalam waktu yang cukup lama sebelum inspeksi dimulai, terutama jika ruang penyimpanan sebelumnya digunakan untuk menyimpan bahan kimia atau minyak bumi yang bisa meninggalkan sisa gas berbahaya (Jones, 2022). Hal ini memastikan bahwa udara di dalam ruangan menjadi lebih aman dan memenuhi standar kualitas udara yang diizinkan.

Langkah berikutnya adalah pengujian kadar oksigen dan gas berbahaya. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa kondisi atmosfer ruang penyimpanan memenuhi standar keselamatan yang diperlukan. Alat pengukur gas harus digunakan untuk memeriksa kadar oksigen dalam ruangan, yang harus berada dalam rentang aman antara 19,5% hingga 23,5%. Kadar oksigen yang lebih rendah dari batas ini dapat mengindikasikan risiko kekurangan oksigen, yang bisa berbahaya bagi kesehatan. Selain itu, pengujian juga perlu dilakukan untuk mendeteksi keberadaan gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), hidrogen sulfida (H_2S), dan gas-gas mudah terbakar lainnya. Gas-gas ini memiliki batas konsentrasi aman yang harus dipatuhi sesuai dengan standar industri internasional (IMO, 2022). Jika hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar gas berbahaya melebihi batas aman, maka ventilasi tambahan harus dilakukan. Proses ventilasi yang lebih intensif ini diperlukan hingga kadar gas berbahaya kembali ke level yang aman, memastikan bahwa ruang penyimpanan benar-benar siap untuk dimasuki oleh petugas inspeksi (Taylor, 2022). Dengan langkah-langkah ini, keselamatan selama inspeksi dapat terjaga dan risiko kecelakaan dapat diminimalkan.

3. Penerapan Prosedur Masuk Aman

Langkah-langkah selanjutnya harus diambil untuk menjaga keselamatan tim inspeksi yang akan masuk. Izin Masuk Ruang Tertutup (*Permit to Work* - PTW) adalah prosedur pertama yang harus diterapkan. Setiap personel yang akan memasuki ruang penyimpanan harus memiliki izin masuk resmi yang dikeluarkan oleh petugas keselamatan kapal. Izin ini penting untuk memastikan bahwa semua langkah keselamatan telah diperiksa dan dipersiapkan sebelumnya. Formulir izin masuk harus mencakup informasi tentang kondisi ruang penyimpanan, hasil pengujian gas, serta langkah-langkah darurat yang tersedia, seperti prosedur evakuasi dan cara menangani kecelakaan jika terjadi masalah selama inspeksi (Lloyd, 2023). Dengan adanya izin masuk ini, semua pihak yang terlibat dalam inspeksi akan mengetahui persis kondisi ruang dan prosedur yang harus diikuti.

Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) yang sesuai menjadi wajib untuk memastikan keselamatan personel selama inspeksi. Helm keselamatan digunakan untuk melindungi kepala dari benturan yang mungkin terjadi di ruang penyimpanan yang sempit atau dengan

peralatan yang terpasang. Jika ada risiko paparan gas berbahaya atau debu, masker atau respirator harus dikenakan untuk melindungi saluran pernapasan. Sepatu keselamatan dengan sol anti-slip juga sangat penting untuk mencegah tergelincir, terutama di permukaan yang licin atau basah. Selain itu, sarung tangan dan pakaian tahan bahan kimia harus digunakan jika inspeksi dilakukan di ruang penyimpanan yang sebelumnya digunakan untuk bahan kimia atau zat berbahaya lainnya (Smith, 2023). Penggunaan APD yang tepat ini akan meminimalkan risiko cedera atau keracunan selama inspeksi.

Penugasan petugas pengawas di luar ruang penyimpanan adalah langkah kritis untuk menjaga keselamatan tim inspeksi. Seorang petugas pengawas harus ditempatkan di luar ruang penyimpanan untuk memantau situasi dan siap memberikan bantuan jika diperlukan. Petugas pengawas harus dilengkapi dengan akses langsung ke alat komunikasi untuk berkoordinasi dengan tim inspeksi yang berada di dalam ruang. Selain itu, petugas ini juga harus memiliki peralatan penyelamatan yang dapat digunakan dalam keadaan darurat (Jones, 2022). Penugasan pengawas di luar ruangan ini bertujuan untuk memastikan bahwa bantuan dapat diberikan dengan cepat jika terjadi situasi yang tidak diinginkan, seperti gangguan kesehatan atau kecelakaan yang membutuhkan evakuasi segera. Dengan demikian, prosedur masuk yang aman dapat terlaksana dengan baik, melindungi keselamatan tim inspeksi dan memastikan kelancaran proses inspeksi ruang penyimpanan.

4. Prosedur Evakuasi Darurat

Pada situasi darurat yang terjadi selama inspeksi ruang penyimpanan, prosedur evakuasi yang jelas dan efektif sangat penting untuk memastikan keselamatan tim. Salah satu langkah utama dalam prosedur ini adalah memastikan bahwa jalur evakuasi yang jelas tersedia dan mudah diakses. Jalur evakuasi harus bebas dari hambatan, sehingga personel dapat dengan cepat meninggalkan ruang penyimpanan dalam keadaan darurat, seperti kebocoran gas berbahaya atau runtuhnya struktur ruang. Setiap anggota tim harus familiar dengan rute evakuasi ini sebelum memasuki ruang penyimpanan, sehingga dapat bergerak cepat jika terjadi situasi yang mengancam keselamatan (Brown, 2023). Memastikan jalur evakuasi yang efektif membantu meminimalkan waktu yang dibutuhkan untuk keluar dari

ruang yang terkontaminasi atau terancam bahaya, sekaligus mengurangi potensi cedera.

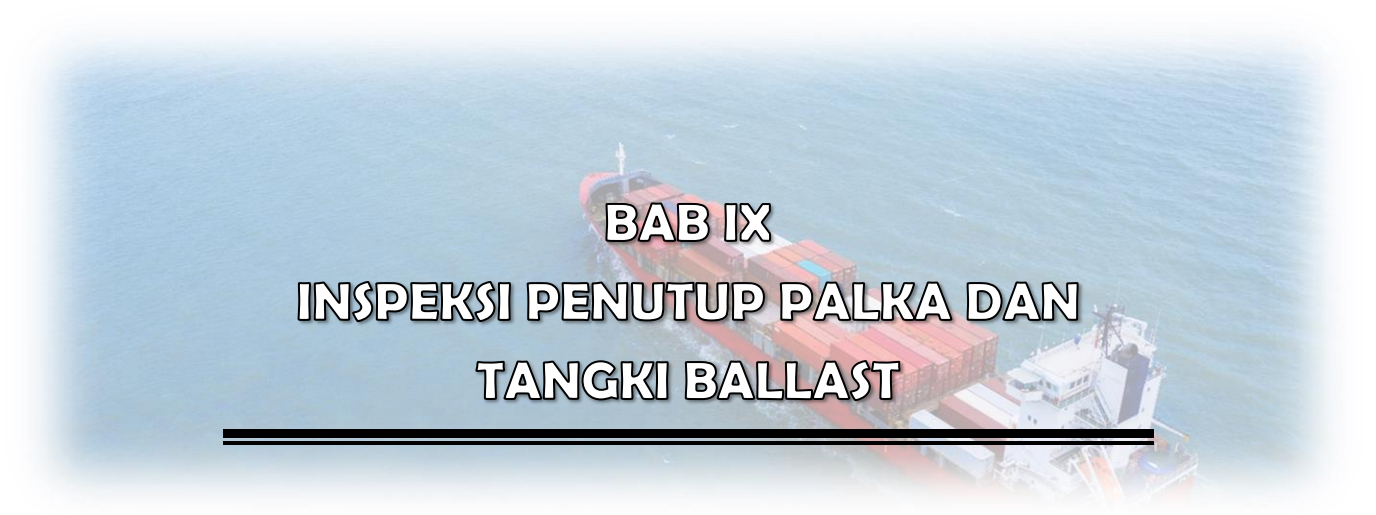
Untuk mempersiapkan tim menghadapi keadaan darurat, latihan simulasi keadaan darurat harus dilakukan secara rutin. Latihan ini bertujuan untuk memastikan bahwa semua anggota tim tahu apa yang harus dilakukan dalam situasi kritis. Sebelum inspeksi dimulai, tim harus menjalani latihan yang mencakup prosedur evakuasi yang cepat dan efektif. Simulasi ini tidak hanya melibatkan penguasaan jalur evakuasi, tetapi juga penggunaan alat bantu pernapasan, yang sangat penting jika terpapar gas berbahaya. Selama simulasi, tim juga dilatih untuk memanggil bantuan dengan cepat dan efisien, serta cara membawa korban keluar dari ruang tertutup tanpa membahayakan keselamatan lebih lanjut (Taylor, 2022). Dengan melakukan latihan secara berkala, personel dapat merespons situasi darurat dengan lebih tenang dan terkoordinasi, mengurangi risiko kesalahan atau kebingungannya.

Pentingnya latihan simulasi ini tidak hanya untuk menguji kesiapan teknis, tetapi juga untuk membangun rasa percaya diri di antara anggota tim dalam menghadapi situasi darurat. Simulasi memungkinkan untuk mengenali potensi risiko dan memahami cara menggunakan peralatan keselamatan dengan benar. Dengan kedua prosedur ini, yaitu memastikan jalur evakuasi yang jelas dan melakukan latihan darurat secara rutin, tim inspeksi dapat mengurangi potensi bahaya selama inspeksi ruang penyimpanan dan memastikan respons yang cepat dan efektif dalam menghadapi keadaan darurat yang mungkin terjadi.

E. Soal Latihan

1. Jelaskan perbedaan antara tata letak ruang penyimpanan pada kapal tanker dan kapal kargo umum.
2. Bagaimana metode identifikasi awal untuk mendeteksi adanya korosi dan retakan pada ruang penyimpanan muatan?
3. Sebutkan dan jelaskan tiga metode pencegahan korosi yang paling umum digunakan dalam ruang penyimpanan kapal.
4. Mengapa prosedur keselamatan sebelum inspeksi ruang penyimpanan sangat penting? Berikan contoh langkah-langkah yang harus dilakukan.

5. Bagaimana penggunaan tabel kalibrasi dapat membantu dalam perencanaan kapasitas ruang penyimpanan kapal?



BAB IX
INSPEKSI PENUTUP PALKA DAN TANGKI BALLAST

Kemampuan Akhir yang Diharapkan Mampu memahami terkait dengan prinsip kerja dan konstruksi penutup palka, memahami kedap air (*water tight*) vs. kedap cuaca (*weather tight*), memahami komponen penting dan area rawan korosi, serta memahami inspeksi tangki ballast dan pencegahan korosi. Sehingga pembaca dapat memahami prinsip kerja penutup palka, membedakan konsep kedap air dan kedap cuaca, mengenali area rawan korosi, serta menerapkan inspeksi dan pencegahan korosi pada tangki ballast guna memastikan keselamatan dan efisiensi operasional kapal.
Materi Pembelajaran • Prinsip Kerja dan Konstruksi Penutup Palka • Kedap Air (*Water Tight*) vs. Kedap Cuaca (*Weather Tight*) • Komponen Penting dan Area Rawan Korosi • Inspeksi Tangki Ballast dan Pencegahan Korosi • Soal Latihan

A. Prinsip Kerja dan Konstruksi Penutup Palka

Penutup palka (*hatch cover*) adalah komponen penting dalam kapal kargo yang berfungsi untuk melindungi muatan dari air laut, hujan, dan kondisi cuaca buruk selama pelayaran. Selain itu, penutup palka juga membantu menjaga stabilitas kapal dengan memastikan ruang kargo tetap kering dan aman.

1. Prinsip Kerja Penutup Palka

Prinsip kerja penutup palka berfokus pada sistem kedap cuaca (*weather tight*), yang dirancang untuk mencegah masuknya air ke dalam ruang kargo, memastikan barang yang disimpan tetap aman dari kelembaban dan kerusakan. Sistem ini mengandalkan kombinasi

berbagai komponen, seperti segel karet (*rubber gasket*), pengunci (*cleats*), dan desain struktur yang kokoh dan mampu menahan tekanan. Setiap kali palka ditutup, segel karet yang terpasang di sekitar penutup palka akan menekan permukaan coaming palka dengan rapat. Tekanan ini menciptakan efek kedap air, mencegah air laut atau hujan masuk ke dalam ruang kargo. Desain ini penting untuk memastikan bahwa tidak ada celah yang dapat dimanfaatkan oleh air untuk merembes masuk selama pelayaran.

Sistem pengunci pada penutup palka juga memiliki peran krusial dalam menjaga keamanan penutupan. Pengunci ini bekerja dengan mengamankan posisi penutup palka agar tetap tertutup rapat, bahkan ketika kapal mengalami gelombang atau getaran yang kuat selama pelayaran. Sistem pengunci ini mencegah penutup palka bergeser atau terbuka, yang dapat menyebabkan kebocoran air yang berisiko merusak kargo. Dalam hal ini, baik segel karet maupun pengunci berfungsi untuk menjaga kekedapan ruang kargo, dengan desain yang disesuaikan untuk menahan beban atau tekanan yang mungkin timbul akibat kondisi cuaca ekstrem di laut. Dengan menerapkan prinsip kerja ini, penutup palka mampu melindungi kargo dari ancaman kebocoran yang dapat menyebabkan kerugian materi atau bahkan menimbulkan risiko keselamatan bagi kapal dan awaknya.

2. Konstruksi Penutup Palka

Konstruksi penutup palka dirancang untuk memenuhi standar keselamatan yang ketat, seperti yang ditetapkan oleh SOLAS (*Safety of Life at Sea*) dan Lloyd's Register. Penutup palka umumnya dibuat dari bahan baja tahan korosi atau aluminium berkekuatan tinggi, yang dirancang untuk menahan tekanan dan benturan yang terjadi selama pelayaran. Beberapa komponen utama dalam konstruksi penutup palka meliputi panel palka, coaming, segel karet, pengunci, saluran drainase, dan sistem hidraulik, yang semuanya bekerja bersama untuk menjaga ruang kargo tetap aman dan terlindungi. Panel palka adalah bagian utama yang menutupi ruang kargo. Panel ini dirancang dengan kekuatan tinggi agar dapat menahan tekanan dari luar, seperti gelombang laut yang besar. Di sekeliling panel terdapat coaming, yaitu dinding baja yang berfungsi menahan air serta mendukung segel karet untuk menciptakan kedap air. Coaming juga memastikan bahwa segel karet dapat bekerja optimal dengan menekan celah antara panel palka

dan coaming sehingga mencegah kebocoran air yang dapat merusak kargo.

Segel karet atau rubber gasket adalah komponen penting dalam sistem kedap air penutup palka. Segel ini menutup celah antara palka dan coaming, menciptakan penghalang yang efektif untuk mencegah air masuk ke ruang kargo. Sistem pengunci yang terdiri dari cleats dan dogs memastikan bahwa penutup palka tetap tertutup dengan aman. Pengunci ini menahan panel palka agar tidak bergeser atau terbuka selama pelayaran, bahkan saat kapal menghadapi gelombang atau getaran yang kuat. Selain itu, penutup palka juga dilengkapi dengan saluran drainase yang mengalirkan air yang mungkin masuk di sekitar palka, sehingga mencegah akumulasi air yang bisa menyebabkan kerusakan pada kapal atau kargo. Beberapa jenis palka modern bahkan dilengkapi dengan sistem hidraulik yang memudahkan proses membuka dan menutup palka secara efisien. Sistem hidraulik ini meningkatkan kecepatan dan kemudahan operasi palka, terutama pada kapal dengan banyak ruang penyimpanan atau ukuran palka yang besar. Dengan desain yang kuat dan komponen yang terintegrasi dengan baik, konstruksi penutup palka dapat memberikan perlindungan maksimal terhadap kargo, memastikan keselamatan dan keamanan selama pelayaran.

3. Jenis-Jenis Penutup Palka

Penutup palka kapal hadir dalam berbagai jenis, masing-masing dirancang untuk memenuhi kebutuhan spesifik kapal dan jenis kargo yang diangkut. Setiap jenis penutup palka memiliki mekanisme operasional yang berbeda, tergantung pada jenis kapal dan cara akses ke ruang kargo. Salah satu jenis penutup palka yang umum digunakan adalah *Sliding Hatch Cover*. Penutup ini terutama digunakan pada kapal curah, dan cara kerjanya adalah dengan menggeser panel penutup ke samping untuk membuka ruang kargo. Sistem sliding ini efisien karena memungkinkan ruang kargo dibuka dengan cepat, sehingga memudahkan proses pemuatan dan pembongkaran barang.

Jenis berikutnya adalah *Folding Hatch Cover*, yang terbuat dari beberapa panel yang dapat dilipat satu per satu. Penutup jenis ini sangat umum digunakan pada kapal kontainer dan kapal curah. Keunggulan dari *folding hatch cover* adalah fleksibilitasnya, karena bisa disesuaikan dengan berbagai ukuran ruang kargo. Dengan desain yang dapat dilipat,

penutup ini juga memudahkan dalam penyimpanan saat tidak digunakan. *Lift-Away Hatch Cover* adalah jenis penutup yang panelnya diangkat menggunakan derek atau *crane*. Jenis ini biasanya digunakan pada kapal kontainer besar, di mana ukuran dan berat penutup palka membuat sistem pengangkatan manual tidak praktis. Penggunaan derek untuk mengangkat penutup memungkinkan akses yang mudah dan cepat ke ruang kargo, terutama ketika kapal memiliki banyak ruang penyimpanan yang perlu diakses dalam waktu singkat.

Ada *Rolling Hatch Cover*, yang menggunakan sistem gulung seperti pintu gulung pada umumnya. Sistem ini banyak digunakan pada kapal feri dan kapal ro-ro (*roll-on/roll-off*). *Rolling hatch cover* memungkinkan akses yang mudah dan cepat ke ruang kargo, terutama pada kapal yang sering memuat kendaraan dan barang besar. Sistem gulung ini sangat efisien karena meminimalkan ruang yang dibutuhkan untuk membuka palka, serta mempercepat proses pengoperasian.

B. Kedap Air (*Water Tight*) vs. Kedap Cuaca (*Weather Tight*)

Di dunia maritim, konsep kedap air (*water tight*) dan kedap cuaca (*weather tight*) sangat penting untuk memastikan keamanan kapal dan muatan. Meskipun keduanya berfungsi untuk mencegah masuknya air, terdapat perbedaan signifikan dalam tujuan dan tingkat perlindungan yang diberikan oleh masing-masing sistem.

1. Kedap Air (*Water Tight*)

Kedap air (*water tight*) merujuk pada desain struktur kapal yang dirancang untuk mencegah masuknya air ke dalam kapal, terutama dalam kondisi yang ekstrem, seperti saat kapal terendam atau tenggelam. Struktur yang kedap air sangat penting untuk memastikan keselamatan kapal dan kru, karena kebocoran air dapat menyebabkan kerusakan yang serius dan bahkan berpotensi menenggelamkan kapal. Karakteristik utama dari sistem kedap air adalah kemampuannya untuk menahan tekanan air, terutama di bagian-bagian kapal yang paling rentan terhadap kebocoran, seperti sekat (*bulkhead*), tangki ballast, dan pintu kedap air di ruang bawah kapal.

Komponen kedap air biasanya dibangun dengan menggunakan material yang sangat kuat dan tahan lama, seperti baja tebal atau aluminium berkualitas tinggi, untuk menahan tekanan air dari luar.

Struktur-struktur ini diuji dengan tekanan air untuk memastikan bahwa tidak ada kebocoran yang terjadi, bahkan dalam kondisi yang sangat ekstrem, seperti kapal tenggelam atau terendam sepenuhnya. Pengujian ini dilakukan untuk memverifikasi ketahanan kapal terhadap berbagai kondisi di laut, yang diatur oleh standar keselamatan maritim internasional, seperti SOLAS (*Safety of Life at Sea*) dan Lloyd's Register, untuk memastikan kapal memenuhi persyaratan keselamatan yang ketat.

2. Kedap Cuaca (*Weather Tight*)

Kedap cuaca (*weather tight*) merujuk pada struktur kapal yang dirancang untuk mencegah masuknya air hujan, cipratan air laut, dan angin ke dalam kapal, namun tidak dimaksudkan untuk menahan tekanan air jika kapal terendam sepenuhnya. Sistem kedap cuaca ini bertujuan untuk melindungi muatan dan awak kapal dari kondisi cuaca buruk, sehingga menjaga agar lingkungan kapal tetap aman dan nyaman dalam kondisi maritim yang sering kali tidak terduga. Karakteristik utama dari kedap cuaca adalah kemampuan untuk mengatasi paparan air laut dan cuaca buruk, meskipun struktur tersebut tidak dirancang untuk menahan tekanan air pada kedalaman tertentu.

Pada bagian-bagian kapal yang terpapar langsung dengan kondisi cuaca ekstrem, seperti penutup palka, pintu dek, dan ventilasi, sistem kedap cuaca digunakan untuk memastikan perlindungan terhadap muatan dan orang-orang di dalamnya. Segel karet (*gasket*) sering kali dipasang di antara bagian-bagian struktural untuk menutup celah yang dapat menjadi pintu masuk air. *Gasket* karet ini membantu mencegah hujan dan cipratan air laut yang dapat merusak muatan atau menyebabkan kerusakan pada kapal. Struktur kedap cuaca ini tidak diuji untuk menahan tekanan air yang tinggi, seperti pada kedalaman laut, tetapi harus mampu bertahan terhadap dampak air laut yang dapat mengenai kapal saat berlayar dalam cuaca buruk.

C. Komponen Penting dan Area Rawan Korosi

Korosi adalah salah satu tantangan utama dalam pemeliharaan kapal, terutama pada penutup palka dan tangki ballast. Kerusakan akibat korosi dapat menyebabkan kebocoran, kegagalan struktural, dan mengancam keselamatan kapal serta muatan. Oleh karena itu, penting

untuk memahami komponen utama yang rentan terhadap korosi dan metode pencegahannya.

1. Komponen Penting pada Penutup Palka dan Tangki Ballast

Penutup palka dan tangki ballast merupakan dua komponen vital dalam desain kapal yang berfungsi untuk melindungi muatan dan menjaga keseimbangan kapal saat berlayar. Setiap komponen ini memiliki bagian-bagian penting yang saling bekerja sama untuk mendukung kinerja kapal dalam kondisi cuaca buruk dan memastikan keselamatan operasional kapal.

Penutup Palka (*hatch covers*) berperan penting dalam melindungi ruang kargo dari air laut, hujan, dan kondisi cuaca buruk yang dapat merusak muatan. Komponen utama dari penutup palka meliputi panel penutup yang terbuat dari material kuat seperti baja atau aluminium. Panel ini dirancang untuk menahan beban dan paparan air laut. Namun, bahan-bahan ini rentan terhadap korosi akibat paparan air laut dan kelembaban, yang dapat memperpendek umur penggunaan penutup palka. Seal karet (*gasket*) digunakan untuk memastikan kedap cuaca dan air, menjaga agar tidak ada air yang masuk ke dalam ruang kargo. Seal yang rusak atau getas akibat usia pemakaian dapat menyebabkan kebocoran, yang akan merusak muatan dan mengganggu keselamatan kapal. Engsel dan sistem penguncian merupakan komponen mekanis penting yang mengamankan penutup palka. Namun, engsel dan pengunci ini sering terpapar gesekan dan kelembaban yang dapat menyebabkan keausan dan korosi jika tidak dirawat dengan baik. Selain itu, saluran drainase (*drain channels*) berfungsi untuk mengalirkan air yang mungkin masuk ke area sekitar penutup palka. Jika saluran ini tersumbat, dapat mempercepat proses korosi di sekitar penutup, yang akan merusak komponen lainnya dan mengurangi daya tahan penutup palka.

Tangki Ballast berfungsi untuk menjaga stabilitas dan keseimbangan kapal dengan mengontrol distribusi berat dan kedalaman kapal saat berlayar. Tangki ballast memiliki komponen yang rentan terhadap kerusakan akibat paparan air laut yang bersifat korosif. Salah satu komponen utama adalah dinding tangki (*tank walls*), yang sering terpapar langsung dengan air laut dan karenanya sangat rentan terhadap korosi. Untuk mengurangi risiko ini, tangki ballast dilapisi dengan pelapis anti-korosi (*coatings*), yang berfungsi untuk melindungi bagian

dalam tangki dari kerusakan akibat oksidasi. Namun, jika pelapis ini rusak atau terkelupas, korosi dapat berkembang pesat di dalam tangki dan mengurangi ketahanan struktural tangki ballast. Pipa ballast (*ballast pipes*) adalah saluran yang menyalurkan air laut ke dalam dan keluar tangki ballast. Pipa ini sangat rentan terhadap korosi internal akibat interaksi langsung dengan air laut, yang dapat mengurangi fungsinya dalam menjaga keseimbangan kapal. Selain itu, ventilasi dan saluran udara pada tangki ballast juga berperan penting dalam menjaga aliran udara yang baik di dalam tangki. Namun, area ini sering terpapar udara lembap yang dapat mempercepat proses oksidasi dan menyebabkan kerusakan pada struktur tangki.

2. Area Rawan Korosi pada Penutup Palka dan Tangki Ballast

Korosi adalah masalah serius yang dapat mengurangi umur dan kinerja komponen kapal, termasuk penutup palka dan tangki ballast. Beberapa area dalam komponen-komponen ini sangat rentan terhadap korosi akibat paparan air laut, kelembaban, dan gesekan mekanis. Pengenalan terhadap area rawan korosi pada penutup palka dan tangki ballast sangat penting untuk menjaga integritas struktural kapal dan meningkatkan keselamatan operasional.

Pada penutup palka, terdapat beberapa area yang rentan terhadap korosi. Sambungan las (*welded joints*) merupakan salah satu titik lemah yang seringkali terpapar retakan mikro, yang dapat berkembang menjadi korosi lebih lanjut. Proses pengelasan yang tidak sempurna atau penggunaan material yang tidak tahan lama dapat memperburuk masalah ini. Bagian bawah penutup palka juga menjadi area yang rawan korosi, karena seringkali terdapat kondensasi yang terbentuk dari perbedaan suhu antara ruang kargo dan atmosfer luar. Kondensasi ini memicu proses oksidasi pada material baja atau aluminium yang digunakan dalam penutup palka. Engsel dan baut pada penutup palka juga sering kali terabaikan dalam perawatan, sehingga rentan terhadap korosi. Bagian ini mengalami gesekan berulang, yang dapat merusak pelapis cat anti-korosi dan menyebabkan oksidasi yang lebih cepat. Selain itu, saluran drainase yang berfungsi untuk mengalirkan air yang masuk melalui penutup palka juga dapat menjadi tempat penumpukan air. Jika saluran drainase tersumbat atau tidak terawat dengan baik, penumpukan air dapat mempercepat korosi pada

bagian bawah penutup palka dan mengurangi efektivitas sistem kedap air.

Begitu juga dengan tangki ballast, yang memiliki sejumlah area rawan korosi yang membutuhkan perhatian khusus. Sudut dan sambungan las pada tangki ballast adalah titik yang sangat rentan terhadap korosi, terutama karena bagian ini sering kali mengalami tegangan dan lebih sulit untuk dilapisi dengan pelindung yang efektif. Dinding atas tangki (*top side tank*) juga terpapar kondensasi tinggi yang terjadi di bagian atas tangki akibat perubahan suhu. Kondensasi ini akan mempercepat proses korosi jika tidak dikelola dengan baik. Pipa ballast, yang mengalirkan air laut masuk dan keluar dari tangki, juga merupakan area yang sangat rentan terhadap korosi pitting, yaitu korosi yang terjadi pada bagian dalam pipa yang selalu terendam air laut. Jika pipa ballast tidak dilindungi dengan pelapis anti-korosi atau mengalami kerusakan pada pelapisan, maka korosi pitting dapat menyebabkan kebocoran yang serius. Selain itu, katup dan flange pada sistem ballast yang sering mengalami perubahan tekanan dan kelembaban juga dapat menjadi sumber korosi. Perubahan tekanan yang sering terjadi di dalam sistem ballast mengakibatkan material yang terpapar lebih mudah terkorosi, terutama di area yang tidak terlindungi dengan pelapis anti-korosi yang memadai.

3. Pencegahan dan Pengendalian Korosi

Pencegahan dan pengendalian korosi adalah langkah penting untuk menjaga keandalan dan umur panjang kapal serta komponen-komponennya, seperti penutup palka dan tangki ballast. Korosi dapat menyebabkan kerusakan struktural yang signifikan jika tidak ditangani dengan baik, yang dapat memengaruhi kinerja kapal dan meningkatkan biaya pemeliharaan. Untuk itu, berbagai metode dapat diterapkan untuk mencegah dan mengendalikan korosi pada kapal.

Salah satu metode paling umum dan efektif adalah pengecatan dengan lapisan anti-korosi. Pengecatan menggunakan cat berbasis epoksi atau zinc-rich primer memiliki kemampuan untuk melindungi permukaan baja atau aluminium dari paparan air laut yang bersifat korosif. Cat ini membentuk lapisan pelindung yang menghalangi interaksi langsung antara logam dengan air, sehingga mengurangi risiko korosi. Sistem proteksi katodik juga merupakan metode yang sering digunakan pada kapal untuk mencegah korosi. Dalam sistem ini, anoda

korban seperti zinc atau aluminium dipasang pada bagian kapal yang rentan terhadap korosi. Anoda ini akan mengalami korosi terlebih dahulu, melindungi bagian kapal yang lebih penting dari proses oksidasi. Sistem proteksi katodik ini sangat efektif dalam melindungi area bawah kapal dan komponen yang terendam air laut.

Inspeksi rutin dan pemeliharaan yang dilakukan secara berkala juga sangat penting untuk mendeteksi tanda-tanda awal korosi sebelum berkembang menjadi masalah besar. Inspeksi ini mencakup pemeriksaan visual serta pengujian menggunakan alat khusus untuk mengukur ketebalan material dan mendeteksi korosi yang terjadi di bawah lapisan cat. Dengan menemukan korosi sejak dini, tindakan pemeliharaan dapat dilakukan segera untuk menghindari kerusakan yang lebih serius. Penggunaan material tahan korosi juga menjadi salah satu langkah penting dalam pencegahan korosi. Pada bagian kapal yang sangat rentan terhadap korosi, seperti pipa ballast dan sambungan las, penggunaan baja tahan karat atau paduan logam khusus dapat mengurangi risiko korosi. Material ini memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap korosi dibandingkan dengan baja biasa, sehingga memperpanjang umur komponen kapal.

Untuk menjaga komponen kapal tetap dalam kondisi baik, sangat penting untuk memastikan adanya drainase yang baik di sekitar area yang rentan terhadap korosi. Saluran drainase yang berfungsi dengan baik akan mengalirkan air yang masuk ke kapal, sehingga tidak terjadi penumpukan air yang bisa menyebabkan korosi. Pada penutup palka, memastikan saluran drainase tidak tersumbat akan menghindari genangan air yang dapat mempercepat proses korosi pada bagian bawah penutup palka. Dengan penerapan metode-metode pencegahan dan pengendalian korosi ini, risiko kerusakan akibat korosi dapat dikurangi secara signifikan, sehingga meningkatkan kinerja kapal dan mengurangi biaya pemeliharaan jangka panjang. Pencegahan yang efektif juga berkontribusi pada keselamatan operasional kapal, mencegah kecelakaan atau kerusakan yang dapat terjadi akibat korosi yang tidak terdeteksi.

D. Inspeksi Tangki Ballast dan Pencegahan Korosi

Tangki ballast adalah salah satu bagian penting dari kapal yang berfungsi untuk menjaga keseimbangan dan stabilitas kapal selama

berlayar. Namun, karena tangki ini sering terisi air laut yang bersifat korosif, risiko kerusakan akibat korosi sangat tinggi. Oleh karena itu, diperlukan inspeksi berkala dan metode pencegahan yang efektif untuk memastikan kondisi tangki ballast tetap optimal dan aman digunakan.

1. Inspeksi Tangki Ballast

Inspeksi tangki ballast adalah proses yang penting untuk menjaga kondisi kapal agar tetap aman dan dapat beroperasi dengan baik. Tujuan utama inspeksi ini adalah untuk mengidentifikasi potensi kerusakan yang dapat terjadi pada tangki ballast, seperti korosi, kebocoran, atau masalah struktural lainnya. Inspeksi harus dilakukan sesuai dengan standar internasional yang ditetapkan oleh lembaga seperti *International Maritime Organization* (IMO, 2021) dan *International Association of Classification Societies* (IACS, 2022) untuk memastikan kapal memenuhi persyaratan keselamatan dan operasional. Inspeksi tangki ballast dapat dibagi menjadi beberapa jenis, dimulai dengan inspeksi visual rutin yang dilakukan secara berkala oleh awak kapal. Inspeksi ini berfungsi untuk memeriksa kondisi umum tangki, termasuk mendeteksi adanya korosi atau kebocoran. Selain itu, inspeksi ini juga memeriksa kondisi pelapis anti-korosi, pipa ballast, dan ventilasi. Inspeksi visual rutin ini sangat penting untuk mendeteksi masalah-masalah kecil yang dapat diperbaiki sebelum berkembang menjadi kerusakan besar.

Inspeksi oleh surveyor klasifikasi dilakukan oleh badan klasifikasi seperti Lloyd's Register, DNV, atau Bureau Veritas. Inspeksi ini biasanya dilakukan setiap lima tahun sekali atau sesuai dengan peraturan yang berlaku. Inspeksi oleh surveyor klasifikasi ini fokus pada pemeriksaan kondisi struktural tangki ballast, sistem proteksi katodik, dan ketebalan pelapis anti-korosi. Hal ini untuk memastikan bahwa tangki ballast memenuhi standar keselamatan dan dapat mencegah korosi yang dapat merusak struktur kapal. Selain inspeksi manual, inspeksi dengan teknologi ultrasonik juga semakin digunakan dalam dunia maritim. Teknologi ini menggunakan *ultrasonic thickness measurement* (UTM) untuk mengukur ketebalan baja pada tangki ballast dan mendeteksi korosi yang tersembunyi di bawah lapisan pelapis atau pada bagian yang sulit dijangkau. Metode ini memberikan informasi yang sangat akurat mengenai ketebalan material, yang dapat membantu merencanakan perbaikan atau

penggantian komponen sebelum terjadinya kebocoran yang dapat membahayakan operasional kapal.

Dengan kemajuan teknologi, inspeksi drone dan ROV (*Remotely Operated Vehicle*) kini semakin populer. Inspeksi ini memungkinkan pemeriksaan dilakukan tanpa perlu masuk ke dalam tangki, yang mengurangi risiko bagi pekerja. Teknologi ini sangat berguna untuk menjangkau area yang sulit diakses, seperti bagian dalam tangki ballast yang sempit dan terisolasi. Drone dan ROV dapat memberikan data visual yang sangat akurat dan real-time, sehingga membantu dalam penilaian kondisi tangki secara menyeluruh.

2. Pencegahan Korosi pada Tangki Ballast

Pencegahan korosi pada tangki ballast sangat penting untuk menjaga stabilitas kapal dan mencegah kerusakan struktural yang bisa berisiko bagi keselamatan kapal. Korosi yang terjadi pada tangki ballast dapat menyebabkan kebocoran yang serius, yang dapat memengaruhi keseimbangan kapal. Oleh karena itu, sejumlah metode dapat diterapkan untuk mencegah dan mengendalikan korosi pada komponen ini. Salah satu metode yang paling umum digunakan adalah pengecatan dan pelapisan anti-korosi. Cat epoksi atau zinc-rich primer sering digunakan karena dapat memberikan perlindungan yang efektif terhadap air laut dan kelembaban tinggi yang sering terjadi pada tangki ballast. Lapisan ini berfungsi untuk mencegah kontak langsung antara baja dan air yang dapat memicu korosi. Namun, penting untuk memeriksa dan memperbarui lapisan ini secara berkala untuk mencegah pengelupasan dan kerusakan yang dapat mengurangi efektivitasnya. Selain itu, penggunaan sistem double coating atau pelapisan ganda dapat meningkatkan perlindungan terhadap korosi dan abrasi akibat aliran air. Metode ini melibatkan dua lapisan pelindung yang bekerja bersama-sama untuk melindungi area yang sering terkena gesekan, seperti pipa ballast dan dinding tangki. Lapisan ganda ini lebih tahan lama dan memberikan ketahanan tambahan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh lingkungan laut yang keras.

Proteksi katodik merupakan metode yang efektif untuk mencegah korosi pada tangki ballast. Proteksi katodik menggunakan anoda korban yang terbuat dari material seperti zinc, aluminium, atau magnesium. Anoda ini sengaja dikorbankan dalam proses korosi agar baja tangki tidak terkorosi. Anoda korban ini harus diganti secara

berkala sesuai dengan hasil inspeksi untuk memastikan perlindungan yang optimal. Selain itu, ada juga sistem proteksi katodik *impressed current* (ICCP), yang menggunakan arus listrik terkontrol untuk menghentikan reaksi korosi pada permukaan baja. Meskipun sistem ICCP lebih efektif dibandingkan dengan anoda korban, ia membutuhkan pemeliharaan sistem kelistrikan yang lebih teliti untuk memastikan kinerjanya tetap optimal.

Metode lainnya yang juga penting dalam pencegahan korosi adalah pengelolaan air ballast yang efektif. Stagnasi air dalam tangki ballast dapat meningkatkan risiko korosi karena penumpukan sedimen dan mikroorganisme yang mempercepat proses oksidasi. Oleh karena itu, sangat disarankan untuk mengganti air ballast secara rutin agar tidak terjadi penumpukan yang merugikan. Organisasi seperti IMO (2021) merekomendasikan pengelolaan air ballast dengan cara mengganti air secara berkala untuk mencegah masalah korosi. Selain itu, penggunaan sistem *ballast water treatment* (BWT) yang modern dapat mengurangi faktor korosi dengan mengontrol kandungan kimia dalam air ballast. Teknologi ini juga bermanfaat untuk mencegah penyebaran organisme laut yang dapat merusak ekosistem dan operasional kapal, sambil turut berkontribusi dalam mengurangi potensi korosi.

3. Prosedur Keselamatan saat Inspeksi Tangki Ballast

Inspeksi tangki ballast merupakan kegiatan yang memiliki risiko tinggi bagi keselamatan pekerja, terutama karena potensi adanya gas beracun, kekurangan oksigen, dan bahaya terjebak di ruang tertutup. Oleh karena itu, prosedur keselamatan yang ketat harus diterapkan untuk memastikan keselamatan selama proses inspeksi. Salah satu langkah pertama yang harus dilakukan adalah pemeriksaan gas sebelum masuk. Penggunaan detektor gas sangat penting untuk memeriksa kadar oksigen di dalam tangki, yang harus mencapai minimal 19,5%. Selain itu, detektor juga digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas beracun seperti hidrogen sulfida (H2S) atau karbon dioksida (CO2), yang jika tidak terdeteksi dapat menyebabkan keracunan atau bahkan kematian.

Ventilasi yang cukup menjadi aspek penting lainnya dalam prosedur keselamatan. Sebelum melakukan inspeksi, tangki ballast harus diangin-anginkan setidaknya 24 jam untuk memastikan bahwa

udara di dalamnya cukup bersih dan tidak mengandung gas berbahaya. Proses ventilasi ini membantu mengurangi akumulasi gas yang mungkin terjadi di dalam tangki, menciptakan lingkungan yang lebih aman bagi para petugas yang akan melakukan inspeksi. Tanpa ventilasi yang memadai, risiko gas berbahaya tetap ada, yang dapat menyebabkan kondisi yang sangat berbahaya saat memasuki tangki.

Pekerja yang melakukan inspeksi harus menggunakan peralatan pelindung diri (APD) yang sesuai. APD yang digunakan antara lain helm, sepatu keselamatan, sarung tangan tahan korosi, serta alat pernapasan seperti masker atau respirator yang berguna untuk melindungi pekerja dari risiko inhalasi gas berbahaya. Alat pelindung diri ini sangat penting untuk memberikan perlindungan tambahan, terutama saat memasuki ruang tertutup yang mungkin tidak terjangkau oleh sistem ventilasi. APD yang sesuai dapat mengurangi risiko cedera atau keracunan yang dapat terjadi selama inspeksi.

Prosedur keselamatan juga mencakup komunikasi dan sistem pengawasan yang efektif. Selama inspeksi, harus ada tim yang bertugas di luar tangki untuk memantau kondisi dan siap memberikan bantuan jika terjadi keadaan darurat. Tim di luar tangki bertanggung jawab untuk memastikan bahwa prosedur keselamatan diikuti dan dapat mengambil tindakan cepat jika terjadi masalah, seperti kegagalan sistem ventilasi atau insiden medis. Komunikasi yang baik antara tim di dalam dan luar tangki sangat penting untuk merespons situasi darurat dengan cepat dan efektif.

E. Soal Latihan

1. Jelaskan prinsip kerja dari penutup palka dan bagaimana konstruksinya dapat mempengaruhi keselamatan kapal.
2. Bandingkan anoda korban dan ICCP dalam metode proteksi katodik pada tangki ballast. Manakah yang lebih efektif dan mengapa?
3. Sebutkan 3 komponen penting dalam inspeksi tangki ballast dan jelaskan perannya dalam pencegahan korosi.
4. Mengapa ventilasi diperlukan sebelum inspeksi tangki ballast, dan apa risiko yang mungkin terjadi jika prosedur ini tidak dilakukan?

5. Bagaimana teknologi *Remote Operated Vehicle* (ROV) dan drone membantu meningkatkan efisiensi dan keselamatan dalam inspeksi ruang penyimpanan dan tangki ballast?



BAB X
PELAPORAN KERUSAKAN DAN PROGRAM PEMERIKSAAN

Kemampuan Akhir yang Diharapkan Mampu memahami terkait dengan prosedur pelaporan kerusakan dan bukti pendukung, memahami *enhanced survey programme* (ESP), memahami program pemeriksaan yang ditingkatkan (*improved inspection program*). Sehingga pembaca dapat memahami prosedur pelaporan kerusakan dengan bukti yang valid, mengenali standar inspeksi dalam *Enhanced Survey Programme* (ESP), serta menerapkan program pemeriksaan yang ditingkatkan untuk memastikan keamanan dan keandalan kapal dalam jangka panjang.
Materi Pembelajaran • Prosedur Pelaporan Kerusakan dan Bukti Pendukung • *Enhanced Survey Programme* (ESP) • Program Pemeriksaan yang Ditingkatkan (*Improved Inspection Program*) • Soal Latihan

A. Prosedur Pelaporan Kerusakan dan Bukti Pendukung

Pelaporan kerusakan pada kapal merupakan langkah penting dalam memastikan keselamatan operasional dan mencegah kerusakan lebih lanjut yang dapat berdampak pada efisiensi dan keamanan pelayaran. Prosedur ini harus dilakukan secara sistematis dan sesuai dengan regulasi yang ditetapkan oleh badan klasifikasi dan organisasi maritim internasional seperti *International Maritime Organization* (IMO) dan *International Association of Classification Societies* (IACS) (IMO, 2023).

1. **Identifikasi Kerusakan**

Langkah pertama dalam pelaporan kerusakan pada kapal adalah melakukan identifikasi awal terhadap jenis dan tingkat keparahan kerusakan. Proses ini sangat penting untuk menentukan tindakan perbaikan yang diperlukan dan mencegah dampak lebih lanjut terhadap keselamatan serta operasional kapal. Awak kapal bertanggung jawab untuk mengamati dan mencatat setiap tanda-tanda kerusakan yang muncul, termasuk lokasi spesifiknya. Kerusakan dapat terjadi di berbagai bagian kapal, seperti lambung kapal, tangki ballast, atau ruang kargo. Setiap lokasi memiliki tingkat risiko yang berbeda, sehingga pengidentifikasian yang akurat sangat diperlukan untuk menentukan prioritas perbaikan.

Jenis kerusakan juga harus dicatat secara rinci. Kerusakan pada kapal dapat berupa korosi yang mengikis struktur baja, retakan struktural yang dapat melemahkan kekuatan lambung, kebocoran yang berpotensi menyebabkan masuknya air laut atau keluarnya bahan bakar, serta kegagalan mekanis yang dapat menghambat operasional kapal. Setiap jenis kerusakan memerlukan pendekatan yang berbeda dalam perbaikannya. Misalnya, korosi pada tangki ballast mungkin membutuhkan perawatan dengan pengecatan ulang dan pelapisan anti-korosi, sementara retakan struktural memerlukan inspeksi lebih lanjut dengan teknologi ultrasonik untuk menilai tingkat keparahannya sebelum dilakukan perbaikan las.

Dampak dari kerusakan terhadap operasional kapal juga harus dievaluasi. Beberapa jenis kerusakan dapat langsung mempengaruhi keselamatan kapal, seperti kebocoran pada lambung yang dapat menyebabkan penurunan daya apung atau ketidakseimbangan muatan yang dapat mengganggu stabilitas kapal di lautan. Kerusakan pada sistem bahan bakar atau mesin juga dapat menghambat kinerja kapal dan meningkatkan risiko kecelakaan. Oleh karena itu, setiap temuan harus didokumentasikan dengan baik dalam laporan kerusakan, yang nantinya akan menjadi dasar bagi insinyur kapal atau otoritas terkait dalam menentukan langkah perbaikan yang tepat.

2. **Dokumentasi dan Bukti Pendukung**

Langkah selanjutnya yang krusial adalah mengumpulkan bukti pendukung yang dapat memperkuat laporan. Dokumentasi yang akurat dan lengkap sangat penting untuk memastikan bahwa langkah

perbaikan yang diambil sesuai dengan kondisi kerusakan yang terjadi. Bukti ini tidak hanya berguna bagi awak kapal, tetapi juga bagi insinyur kapal, badan klasifikasi, serta otoritas maritim dalam menentukan tindakan lebih lanjut. Salah satu bentuk dokumentasi utama adalah pengambilan foto dan video dengan tanda waktu yang menunjukkan kondisi aktual dari kerusakan yang ditemukan. Dokumentasi visual ini membantu memberikan gambaran yang jelas tentang tingkat keparahan kerusakan serta perkembangan kondisi dari waktu ke waktu. Dengan adanya foto dan video, insinyur kapal dapat melakukan analisis lebih lanjut tanpa harus langsung berada di lokasi kejadian, sehingga mempercepat proses evaluasi dan perbaikan.

Laporan teknis dari insinyur kapal atau petugas inspeksi juga menjadi bagian penting dalam mendukung laporan kerusakan. Laporan ini biasanya mencakup analisis tentang kemungkinan penyebab kerusakan, perkiraan dampak terhadap operasional kapal, serta rekomendasi perbaikan. Misalnya, jika terjadi korosi pada lambung kapal, laporan teknis akan mencantumkan tingkat keparahan korosi berdasarkan hasil inspeksi serta kemungkinan penyebabnya, seperti kelembaban tinggi atau kegagalan sistem proteksi katodik. Untuk memastikan bahwa analisis terhadap kerusakan bersifat objektif dan berbasis data, berbagai hasil pengukuran juga harus disertakan dalam laporan. Salah satu metode yang sering digunakan adalah *Ultrasonic Thickness Measurement* (UTM), yang dapat mendeteksi tingkat korosi pada lambung kapal dengan mengukur ketebalan baja. Pengukuran ini penting karena korosi sering kali tidak terlihat secara langsung dan hanya dapat terdeteksi melalui metode inspeksi non-destruktif. Hasil UTM yang menunjukkan penipisan baja di bawah batas aman dapat menjadi dasar untuk tindakan perbaikan segera guna mencegah kebocoran atau kegagalan struktural.

Rekaman data operasional dari sistem pemantauan kapal juga dapat digunakan sebagai bukti pendukung. Misalnya, data tekanan dalam tangki ballast atau suhu mesin dapat membantu dalam menganalisis penyebab kegagalan mekanis atau kebocoran. Jika ada perubahan abnormal dalam tekanan tangki, hal ini bisa menjadi indikasi adanya kebocoran yang perlu segera ditangani. Dengan adanya data ini, tim teknis dapat mengidentifikasi pola kerusakan lebih cepat dan merencanakan tindakan perbaikan dengan lebih akurat. Dengan mendokumentasikan setiap aspek kerusakan secara sistematis, termasuk

melalui foto, laporan teknis, hasil pengukuran, dan data operasional, laporan kerusakan menjadi lebih komprehensif dan dapat dipercaya. Dokumentasi yang baik tidak hanya mempercepat proses perbaikan, tetapi juga dapat digunakan sebagai referensi untuk tindakan pencegahan di masa mendatang. Oleh karena itu, setiap awak kapal harus memahami pentingnya dokumentasi dan memastikan bahwa setiap bukti pendukung dikumpulkan dengan cara yang tepat.

3. Penyusunan Laporan Kerusakan

Laporan kerusakan kapal merupakan dokumen penting yang digunakan untuk mencatat dan menganalisis insiden yang terjadi, sehingga langkah perbaikan dapat dilakukan secara tepat. Laporan ini harus disusun secara sistematis dan mencakup informasi yang jelas serta akurat agar dapat digunakan sebagai referensi dalam investigasi dan perbaikan lebih lanjut. Dengan adanya laporan yang lengkap, operator kapal, badan klasifikasi, dan otoritas maritim dapat mengambil tindakan yang sesuai untuk memastikan keselamatan dan kelayakan operasional kapal. Bagian pertama dalam laporan kerusakan adalah identifikasi kapal. Informasi dasar seperti nama kapal, nomor IMO (*International Maritime Organization*), dan operator kapal harus dicantumkan dengan jelas. Data ini memastikan bahwa laporan terkait dengan kapal yang benar dan dapat ditelusuri dengan mudah oleh pihak yang berkepentingan. Selain itu, identifikasi kapal juga penting untuk tujuan dokumentasi resmi, termasuk kepatuhan terhadap regulasi maritim dan asuransi kapal.

Laporan harus mencantumkan tanggal dan waktu kejadian secara akurat. Informasi ini sangat krusial untuk investigasi lebih lanjut, terutama dalam menentukan penyebab kerusakan dan menghubungkannya dengan faktor lingkungan atau operasional pada saat itu. Misalnya, jika kerusakan terjadi akibat kondisi cuaca buruk atau benturan dengan objek lain, maka pencatatan waktu yang tepat dapat membantu dalam melakukan rekonstruksi kejadian. Bagian utama dari laporan adalah deskripsi rinci mengenai kerusakan yang terjadi. Dalam bagian ini, perlu dijelaskan jenis kerusakan, lokasi spesifik di kapal, serta dampak yang ditimbulkan terhadap operasional kapal. Misalnya, jika terjadi kebocoran pada tangki ballast, laporan harus mencantumkan tingkat keparahan kebocoran dan bagaimana hal tersebut mempengaruhi stabilitas kapal. Selain itu, laporan juga harus

mencantumkan kemungkinan penyebab kerusakan, baik yang bersifat mekanis, struktural, maupun akibat faktor lingkungan. Dalam beberapa kasus, kerusakan dapat disebabkan oleh kombinasi beberapa faktor, seperti korosi akibat paparan air laut yang berkepanjangan serta tekanan mekanis dari beban kapal.

Laporan juga harus mencatat tindakan sementara yang telah dilakukan untuk mengatasi atau mengurangi dampak kerusakan. Tindakan sementara ini bisa berupa pemasangan penutup darurat pada kebocoran, pengeringan area yang terkena air, atau pengalihan beban untuk menjaga keseimbangan kapal. Dengan mencantumkan tindakan sementara ini, pihak yang bertanggung jawab atas perbaikan dapat memahami kondisi terkini kapal dan menentukan langkah yang harus dilakukan selanjutnya. Laporan harus mencakup saran tindakan perbaikan untuk menghindari risiko lebih lanjut. Rekomendasi ini dapat berupa perbaikan struktural permanen, penggantian komponen yang rusak, atau penerapan prosedur pemeliharaan yang lebih ketat. Saran ini sangat penting karena dapat membantu dalam mencegah kerusakan serupa di masa depan dan meningkatkan keselamatan serta efisiensi operasional kapal.

4. Pengajuan Laporan ke Pihak Berwenang

Langkah selanjutnya adalah mengajukannya ke pihak-pihak yang berkepentingan. Pengajuan laporan ini bertujuan untuk memastikan bahwa semua pemangku kepentingan memiliki informasi yang akurat mengenai kondisi kapal serta langkah-langkah yang harus diambil untuk mengatasi kerusakan. Laporan ini juga berperan penting dalam proses perbaikan, sertifikasi ulang, dan kepatuhan terhadap regulasi maritim yang berlaku. Salah satu pihak utama yang harus menerima laporan adalah kantor pusat perusahaan pelayaran. Perusahaan pelayaran bertanggung jawab untuk menilai risiko yang ditimbulkan oleh kerusakan serta menyusun rencana perbaikan yang sesuai. Dengan adanya laporan kerusakan, manajemen perusahaan dapat melakukan analisis terhadap dampak operasional dan keuangan yang mungkin terjadi. Selain itu, perusahaan juga dapat menentukan apakah kapal dapat terus beroperasi dengan tindakan sementara atau harus segera menjalani perbaikan di galangan kapal. Dalam beberapa kasus, perusahaan mungkin juga perlu berkonsultasi dengan perusahaan asuransi untuk mengajukan klaim atas kerusakan yang terjadi.

Laporan juga harus dikirimkan ke badan klasifikasi, seperti *American Bureau of Shipping* (ABS), *Det Norske Veritas* (DNV), atau Lloyd's Register, jika kerusakan yang terjadi mempengaruhi sertifikasi kapal. Badan klasifikasi bertanggung jawab dalam memastikan bahwa kapal tetap memenuhi standar keselamatan dan kelayakan operasional. Jika kerusakan yang terjadi cukup parah, badan klasifikasi mungkin akan melakukan inspeksi tambahan dan mewajibkan perbaikan sebelum kapal dapat berlayar kembali. Dalam beberapa kasus, sertifikasi kapal dapat dicabut sementara hingga kapal diperbaiki sesuai dengan standar yang ditetapkan. Oleh karena itu, komunikasi yang baik dengan badan klasifikasi sangat penting agar proses sertifikasi ulang dapat berjalan dengan lancar dan tidak mengganggu jadwal operasional kapal.

Otoritas pelabuhan juga merupakan pihak yang perlu menerima laporan jika kerusakan kapal dapat berdampak pada kepatuhan terhadap regulasi pelabuhan setempat. Misalnya, jika terjadi kebocoran minyak atau zat berbahaya lainnya, pihak pelabuhan harus diberitahu agar dapat mengambil langkah-langkah pencegahan terhadap pencemaran lingkungan. Selain itu, jika kerusakan mengganggu sistem navigasi atau stabilitas kapal, pihak pelabuhan mungkin akan membatasi pergerakan kapal hingga perbaikan dilakukan. Otoritas pelabuhan juga memiliki kewenangan untuk menahan kapal yang tidak memenuhi persyaratan keselamatan hingga masalah yang dilaporkan telah ditangani dengan baik.

Proses pengajuan laporan harus dilakukan dengan cepat dan efisien untuk memastikan bahwa semua pihak dapat mengambil tindakan yang diperlukan tanpa penundaan. Laporan biasanya dikirimkan dalam bentuk dokumen tertulis, dilengkapi dengan bukti pendukung seperti foto, video, dan hasil inspeksi teknis. Dalam beberapa kasus, komunikasi langsung melalui email atau sistem pelaporan maritim juga diperlukan untuk mempercepat respons dari pihak berwenang. Dengan mengajukan laporan secara tepat waktu dan kepada pihak yang berwenang, proses perbaikan dapat dilakukan dengan lebih efektif, risiko operasional dapat diminimalkan, dan kepatuhan terhadap regulasi maritim dapat tetap terjaga. Kejelasan dan ketepatan informasi dalam laporan sangat penting agar semua pemangku kepentingan dapat mengambil keputusan yang tepat dalam menangani kerusakan kapal.

5. Evaluasi dan Tindakan Perbaikan

Pihak yang berkepentingan, seperti perusahaan pelayaran, badan klasifikasi, dan otoritas pelabuhan, akan melakukan evaluasi lebih lanjut untuk menentukan langkah-langkah perbaikan yang diperlukan. Evaluasi ini bertujuan untuk memahami tingkat keparahan kerusakan, dampaknya terhadap keselamatan kapal, serta metode terbaik untuk memperbaiki masalah tersebut. Dalam beberapa kasus, inspeksi tambahan mungkin diperlukan untuk mendapatkan gambaran yang lebih akurat mengenai kondisi kapal dan memastikan bahwa semua aspek yang berpotensi menimbulkan risiko telah diperiksa dengan cermat.

Langkah pertama dalam proses evaluasi adalah analisis teknis terhadap laporan dan bukti yang telah dikumpulkan. Insinyur kapal dan teknisi dari badan klasifikasi akan mempelajari dokumentasi yang telah dikirimkan, termasuk foto, video, serta hasil pengukuran teknis seperti *Ultrasonic Thickness Measurement* (UTM). Data ini membantu dalam menentukan apakah kerusakan dapat diperbaiki langsung di atas kapal atau apakah kapal harus masuk ke galangan untuk perbaikan lebih lanjut. Jika kerusakan teridentifikasi sebagai ancaman serius terhadap keselamatan kapal dan awaknya, tindakan darurat dapat diterapkan, seperti pembatasan kecepatan, pengurangan muatan, atau penyesuaian rute pelayaran agar kapal dapat mencapai pelabuhan terdekat dengan aman.

Tim perbaikan akan merancang strategi perbaikan yang sesuai dengan standar keselamatan maritim global, seperti yang ditetapkan oleh *International Chamber of Shipping* (ICS) dan badan klasifikasi terkait. Jika perbaikan dapat dilakukan di kapal, teknisi akan segera melakukan tindakan, seperti penggantian komponen yang rusak, pengelasan struktur yang mengalami retakan, atau penerapan pelapis anti-korosi pada area yang terdampak. Namun, jika kerusakan lebih kompleks dan membutuhkan perbaikan besar, kapal mungkin harus ditarik ke galangan kapal untuk menjalani proses perbaikan lebih mendalam.

Inspeksi lanjutan sering kali diperlukan setelah perbaikan selesai untuk memastikan bahwa semua pekerjaan telah dilakukan sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku. Badan klasifikasi akan melakukan pemeriksaan ulang dan mengeluarkan sertifikasi jika perbaikan telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Inspeksi ini

tidak hanya memastikan bahwa kapal siap untuk kembali beroperasi, tetapi juga mencegah kemungkinan terjadinya masalah serupa di masa mendatang. Selain itu, jika kerusakan yang terjadi disebabkan oleh kesalahan dalam prosedur operasional, evaluasi ini dapat membantu dalam mengidentifikasi langkah-langkah pencegahan agar kejadian yang sama tidak terulang.

B. *Enhanced Survey Programme* (ESP)

Enhanced Survey Programme (ESP) adalah program inspeksi yang diperkenalkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) untuk meningkatkan keselamatan kapal, terutama bagi kapal tanker dan bulk carrier yang rentan terhadap kerusakan struktural akibat usia, korosi, dan tekanan operasional. Program ini bertujuan untuk memastikan bahwa kapal tetap dalam kondisi layak laut dengan melakukan pemeriksaan lebih rinci dibandingkan survei standar (IMO, 2023).

1. Latar Belakang dan Regulasi ESP

Enhanced Survey Program (ESP) diperkenalkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) melalui Resolusi A.744(18) sebagai respons terhadap meningkatnya insiden kerusakan struktural pada kapal, terutama pada kapal tanker minyak dan bulk carrier. Regulasi ini kemudian diperkuat oleh *International Association of Classification Societies* (IACS) serta dimasukkan ke dalam Konvensi *Safety of Life at Sea* (SOLAS), khususnya dalam Chapter XI-1, Regulation 2. Penerapan ESP bertujuan untuk meningkatkan keselamatan kapal dengan memastikan bahwa kondisi strukturalnya tetap dalam batas yang dapat diterima selama masa operasionalnya.

ESP diwajibkan untuk beberapa jenis kapal yang memiliki risiko tinggi terhadap degradasi struktural. Kapal yang termasuk dalam kategori ini adalah kapal tanker minyak yang telah berusia lebih dari lima tahun, bulk carrier dengan panjang lebih dari 150 meter, serta kapal-kapal yang memiliki riwayat kerusakan struktural yang signifikan. Dengan adanya program ini, inspeksi yang lebih ketat diterapkan pada komponen-komponen kritis kapal guna mengidentifikasi potensi permasalahan sejak dini, sehingga langkah-

langkah perbaikan dapat dilakukan sebelum terjadi kegagalan struktural yang lebih serius.

Salah satu aspek utama dari ESP adalah fokus pada area yang rentan terhadap korosi, retakan, deformasi struktural, serta keausan akibat paparan kondisi laut yang ekstrem. Inspeksi ini dilakukan secara lebih menyeluruh dibandingkan dengan inspeksi standar, mencakup penggunaan metode seperti *Ultrasonic Thickness Measurement* (UTM) untuk mendeteksi tingkat korosi pada lambung kapal dan tangki ballast. Selain itu, ESP juga mewajibkan pengawasan ketat terhadap area dengan tegangan tinggi yang rentan mengalami kelelahan material akibat siklus beban selama operasional kapal.

Pada pelaksanaannya, ESP mengharuskan pemilik kapal untuk bekerja sama dengan badan klasifikasi yang berwenang guna memastikan bahwa inspeksi dilakukan secara berkala dan sesuai dengan standar internasional. Proses inspeksi melibatkan pemeriksaan internal dan eksternal lambung kapal, serta pengujian sistem keselamatan untuk memastikan bahwa kapal tetap memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh IMO dan IACS. Jika ditemukan adanya kerusakan struktural yang signifikan, perbaikan harus dilakukan sesuai rekomendasi badan klasifikasi sebelum kapal dapat melanjutkan operasionalnya.

Penerapan ESP memberikan manfaat besar dalam meningkatkan keselamatan maritim dengan mengurangi risiko kecelakaan akibat kegagalan struktural. Dengan sistem inspeksi yang lebih ketat dan terstruktur, program ini membantu memastikan bahwa kapal-kapal yang beroperasi di perairan internasional tetap dalam kondisi yang aman dan layak laut. Selain itu, ESP juga berkontribusi dalam memperpanjang umur kapal serta mengurangi biaya perbaikan yang lebih besar di masa mendatang dengan mendeteksi dan menangani permasalahan struktural sejak dini. Seiring dengan perkembangan teknologi dan standar keselamatan maritim, ESP terus mengalami pembaruan untuk memastikan efektivitasnya dalam menjaga keselamatan kapal dan perlindungan lingkungan laut (IACS, 2023).

2. Metode Inspeksi dalam ESP

Enhanced Survey Program (ESP) menetapkan prosedur inspeksi ketat untuk memastikan bahwa kapal tetap dalam kondisi struktural yang aman dan layak beroperasi. Pemilik kapal dan badan

klasifikasi diwajibkan untuk melakukan pemeriksaan menyeluruh menggunakan berbagai metode inspeksi yang telah ditentukan. Metode ini bertujuan untuk mendeteksi potensi kerusakan sebelum berkembang menjadi masalah yang lebih serius, seperti kebocoran, kegagalan struktural, atau gangguan operasional lainnya. Salah satu metode utama yang digunakan dalam ESP adalah inspeksi visual langsung. Inspeksi ini dilakukan oleh petugas badan klasifikasi yang memeriksa area kritis kapal secara langsung untuk mengidentifikasi tanda-tanda kerusakan, seperti retakan, deformasi, atau korosi. Pada kapal bulk carrier, inspeksi visual mencakup lambung kapal dan ruang palka, sementara pada kapal tanker, pemeriksaan difokuskan pada tangki kargo dan tangki ballast. Selain itu, struktur utama dan sambungan las juga diperiksa dengan cermat guna memastikan bahwa tidak ada indikasi kelelahan material atau degradasi yang dapat memengaruhi integritas struktural kapal.

ESP juga mewajibkan penggunaan *Ultrasonic Thickness Measurement* (UTM) untuk mendeteksi korosi yang tidak terlihat secara kasat mata. Teknologi UTM memungkinkan petugas inspeksi untuk mengukur ketebalan pelat baja di berbagai bagian kapal. Jika hasil pengukuran menunjukkan bahwa ketebalan baja telah berkurang hingga di bawah batas yang diizinkan, maka bagian tersebut harus diperbaiki atau diganti guna menghindari risiko kebocoran atau kegagalan struktural yang lebih besar. Penggunaan UTM sangat penting terutama pada area yang rentan terhadap korosi, seperti lambung kapal, tangki ballast, dan struktur di bawah permukaan air (Lloyd's Register, 2023).

Metode lain yang digunakan dalam ESP adalah close-up survey, yaitu survei mendalam terhadap bagian-bagian struktural kapal yang mengalami keausan tinggi. Survei ini umumnya dilakukan di area yang sulit dijangkau, seperti bagian dalam tangki ballast atau struktur internal palka kargo. Untuk meningkatkan efektivitas inspeksi, beberapa badan klasifikasi menggunakan teknologi modern seperti drone dan robot inspeksi bawah air, yang memungkinkan pemeriksaan lebih rinci tanpa membahayakan petugas. Penggunaan alat bantu ini juga mempercepat proses inspeksi dan meningkatkan akurasi dalam mendeteksi potensi kerusakan (BV, 2023).

Pengujian beban (*load testing*) juga menjadi bagian penting dari inspeksi dalam ESP. Beberapa komponen kapal, seperti penutup palka dan tangki tekanan, diuji dengan simulasi beban untuk memastikan

bahwa masih dapat berfungsi dengan aman di bawah tekanan operasional normal. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan struktural dan daya tahan komponen terhadap tekanan eksternal, sehingga dapat diketahui apakah ada bagian yang memerlukan perbaikan atau penggantian sebelum kapal kembali beroperasi. Dengan kombinasi metode inspeksi yang ketat dan teknologi modern, ESP memastikan bahwa kapal tetap memenuhi standar keselamatan maritim yang ditetapkan oleh IMO dan badan klasifikasi. Inspeksi menyeluruh yang dilakukan secara berkala membantu mendeteksi dan mengatasi potensi permasalahan sebelum menyebabkan kegagalan struktural, sehingga meningkatkan keselamatan pelayaran dan memperpanjang umur operasional kapal.

3. Frekuensi Inspeksi dalam ESP

Enhanced Survey Programme (ESP) menetapkan frekuensi inspeksi yang ketat untuk memastikan kapal tetap dalam kondisi layak laut dan memenuhi standar keselamatan internasional. Frekuensi inspeksi ini disesuaikan dengan usia kapal, mengingat bahwa kapal yang lebih tua cenderung mengalami peningkatan risiko kerusakan struktural akibat korosi, kelelahan material, serta tekanan operasional yang terus-menerus. Oleh karena itu, ESP mewajibkan beberapa jenis inspeksi pada tahap-tahap tertentu dalam siklus hidup kapal. Inspeksi pertama dalam ESP adalah *Initial Survey*, yang dilakukan ketika kapal mencapai usia lima tahun. Inspeksi ini bertujuan untuk menilai kondisi awal struktur kapal setelah beberapa tahun beroperasi. Petugas inspeksi akan memeriksa integritas lambung kapal, struktur utama, dan sistem keselamatan yang ada. *Initial Survey* sangat penting untuk mengidentifikasi potensi permasalahan sejak dini dan memastikan bahwa kapal memenuhi persyaratan klasifikasi serta regulasi internasional.

Ketika kapal mencapai usia sepuluh tahun, inspeksi yang dilakukan adalah *Intermediate Survey*. Inspeksi ini lebih mendalam dibandingkan *Initial Survey*, karena bertujuan untuk mengevaluasi tingkat keausan dan perubahan struktural yang mungkin telah terjadi selama satu dekade operasional. Pemeriksaan ini meliputi inspeksi lambung kapal, ruang kargo, tangki ballast, serta komponen struktural lainnya yang rentan terhadap korosi dan retakan. Hasil dari inspeksi ini menjadi dasar untuk menentukan apakah kapal memerlukan perawatan

lebih lanjut guna mencegah kerusakan yang lebih serius di masa mendatang.

Pada usia lima belas tahun, kapal harus menjalani *Renewal Survey*, yang merupakan inspeksi menyeluruh guna memperpanjang sertifikat klasifikasi kapal. Inspeksi ini mencakup evaluasi mendetail terhadap seluruh aspek struktural kapal, termasuk ketebalan lambung, kekuatan sambungan las, kondisi tangki ballast, serta sistem pendukung operasional lainnya. Jika ditemukan bagian kapal yang mengalami degradasi signifikan, perbaikan atau penggantian komponen harus dilakukan sebelum sertifikat kapal dapat diperpanjang. Renewal Survey menjadi titik krusial dalam menentukan apakah kapal masih layak beroperasi atau perlu dilakukan tindakan lebih lanjut, seperti modifikasi struktural atau peningkatan sistem keselamatan.

Untuk kapal yang telah beroperasi selama dua puluh tahun atau lebih, ESP mewajibkan Special Survey setiap 2,5 tahun. Special Survey dirancang untuk mengidentifikasi risiko tinggi yang mungkin muncul pada kapal-kapal tua, seperti korosi berat, kegagalan struktural akibat kelelahan material, atau kerusakan akibat lingkungan laut yang ekstrem. Inspeksi ini sering kali dilakukan dengan menggunakan teknologi canggih seperti *Ultrasonic Thickness Measurement* (UTM) untuk mendeteksi korosi yang tidak terlihat, serta drone atau robot inspeksi bawah air untuk memeriksa area yang sulit dijangkau.

4. Manfaat *Enhanced Survey Programme* (ESP)

Enhanced Survey Programme (ESP) memberikan berbagai manfaat penting yang berkontribusi pada keselamatan kapal, efisiensi operasional, dan kepatuhan terhadap regulasi internasional. Salah satu manfaat utama dari ESP adalah kemampuannya dalam mencegah kegagalan struktural yang dapat berisiko tinggi menyebabkan kecelakaan laut atau bahkan pencemaran lingkungan. Dengan menggunakan berbagai metode inspeksi canggih, seperti *Ultrasonic Thickness Measurement* (UTM) dan *Close-up Survey*, ESP membantu mengidentifikasi masalah struktural yang mungkin tidak terlihat dalam inspeksi rutin. Misalnya, korosi atau retakan kecil yang dapat berkembang menjadi masalah serius jika dibiarkan tanpa perhatian. Dengan mendeteksi dan mengatasi masalah ini lebih awal, risiko kecelakaan atau kebocoran bahan berbahaya dapat diminimalisir, menjaga keselamatan awak kapal, muatan, dan lingkungan laut.

ESP juga dapat meningkatkan umur operasional kapal dengan memastikan bahwa pemeliharaan dan perbaikan dilakukan tepat waktu. Inspeksi yang dilakukan dalam kerangka ESP memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi kapal, memungkinkan pemilik kapal untuk merencanakan pemeliharaan yang lebih terstruktur dan terhindar dari kerusakan yang lebih besar di masa depan. Pemeliharaan yang tepat waktu tidak hanya memperpanjang umur kapal tetapi juga meningkatkan efisiensi operasionalnya, karena kapal yang terawat dengan baik dapat beroperasi dengan lebih optimal dan mengurangi waktu henti yang disebabkan oleh kerusakan tak terduga.

Manfaat lain yang tak kalah penting adalah mengurangi risiko detensi oleh otoritas pelabuhan akibat ketidaksesuaian dengan standar keselamatan internasional. Kapal yang tidak memenuhi standar keselamatan yang ditetapkan oleh badan klasifikasi atau organisasi internasional seperti IMO berisiko mengalami detensi saat memasuki pelabuhan. Dengan mengikuti program ESP, kapal lebih mungkin untuk memenuhi persyaratan regulasi yang ketat, sehingga menghindari gangguan operasional yang dapat merugikan pemilik kapal dan perusahaan pelayaran. Detensi kapal dapat menghambat pengiriman dan menyebabkan biaya tambahan, baik untuk perbaikan maupun penundaan operasional.

Dengan melaksanakan inspeksi yang ditetapkan dalam ESP, pemilik kapal dapat memastikan kepatuhan terhadap regulasi IMO dan IACS, yang pada gilirannya memastikan bahwa kapal tetap mendapatkan sertifikat klasifikasi yang valid. Sertifikat ini penting untuk memastikan bahwa kapal memenuhi standar keselamatan yang ditetapkan oleh badan klasifikasi internasional. Kepatuhan terhadap regulasi ini tidak hanya memastikan keselamatan kapal dan awaknya, tetapi juga mendukung reputasi perusahaan pelayaran dalam hal standar keselamatan dan keberlanjutan operasional.

C. Program Pemeriksaan yang Ditingkatkan (*Improved Inspection Program*)

Program Pemeriksaan yang Ditingkatkan (*Improved Inspection Program*/IIP) adalah sistem pemeriksaan yang dirancang untuk melengkapi dan meningkatkan metode inspeksi standar dalam industri perkapalan. Program ini bertujuan untuk meningkatkan keselamatan

kapal, memastikan keandalan struktural, serta mengurangi risiko kecelakaan yang disebabkan oleh kegagalan teknis atau korosi. Program ini diperkenalkan oleh berbagai badan klasifikasi dan regulator maritim, termasuk *International Maritime Organization* (IMO) dan *International Association of Classification Societies* (IACS), serta dipraktikkan oleh perusahaan perkapalan untuk memastikan kondisi kapal tetap optimal (DNV, 2023).

1. Tujuan dan Prinsip Program IIP

Program Inspeksi dan Pemeliharaan Kapal (IIP) dirancang dengan tujuan utama untuk meningkatkan keselamatan dan keberlanjutan operasional kapal. Salah satu tujuan utamanya adalah memperpanjang umur kapal dengan mendeteksi dan memperbaiki kerusakan sejak dini. Proses ini dilakukan dengan memantau kondisi kapal secara menyeluruh, sehingga kerusakan struktural, korosi, atau masalah teknis lainnya dapat diidentifikasi sebelum berkembang menjadi masalah yang lebih besar. Dengan deteksi dini, pemeliharaan dapat dilakukan secara tepat waktu, mencegah kerusakan lebih lanjut yang bisa memperpendek umur kapal atau menurunkan efisiensinya.

IIP juga berperan dalam mengurangi risiko kecelakaan maritim yang sering kali disebabkan oleh kerusakan struktural seperti korosi, retakan, atau kegagalan teknis lainnya. Kecelakaan yang terjadi akibat kerusakan tersebut bisa sangat berbahaya bagi kapal, awak kapal, dan lingkungan laut. Oleh karena itu, inspeksi yang dilakukan melalui IIP membantu mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan yang dapat mengancam keselamatan dan menyebabkan kerusakan lingkungan. Dengan menerapkan IIP, kapal dapat mengurangi potensi kecelakaan yang berhubungan dengan kerusakan yang tidak terdeteksi.

Program IIP juga bertujuan untuk memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan internasional, seperti yang ditetapkan dalam Konvensi SOLAS (*Safety of Life at Sea*) dan MARPOL (*Marine Pollution Convention*). Kepatuhan terhadap regulasi internasional ini sangat penting untuk menjaga standar keselamatan dan untuk mencegah kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh polusi laut, baik itu dari kebocoran bahan bakar, limbah kargo, maupun polusi lainnya. Dengan melakukan inspeksi dan pemeliharaan yang terjadwal dan sistematis, kapal dapat menjaga agar operasionalnya tetap

memenuhi semua persyaratan yang ditetapkan oleh badan internasional tersebut.

IIP juga berfokus pada peningkatan efisiensi operasional kapal. Dengan melakukan inspeksi secara lebih proaktif dan berbasis kondisi nyata kapal, bukan hanya berdasarkan jadwal tetap, program ini memungkinkan deteksi masalah teknis yang lebih akurat. Dengan cara ini, pemeliharaan dapat disesuaikan dengan kondisi kapal yang sesungguhnya, memastikan bahwa sistem kapal berfungsi dengan optimal tanpa harus menunggu hingga masalah menjadi lebih besar. Efisiensi operasional ini tidak hanya mengurangi biaya pemeliharaan yang tidak perlu, tetapi juga mengurangi waktu henti kapal yang dapat merugikan operasional.

IIP mengadopsi prinsip *preventive maintenance* dan c*ondition-based monitoring*. Prinsip ini mengedepankan perawatan yang dilakukan berdasarkan kondisi kapal yang sebenarnya, bukan berdasarkan waktu atau interval tetap. Dengan pendekatan ini, inspeksi dilakukan ketika diperlukan, memastikan bahwa kapal tetap dalam kondisi baik tanpa memperlambat operasionalnya. Prinsip tersebut memastikan bahwa setiap masalah yang ada dapat segera ditangani sebelum berkembang menjadi kerusakan yang lebih besar, menjaga kapal tetap efisien dan aman sepanjang masa operasionalnya (Lloyd's Register, 2023).

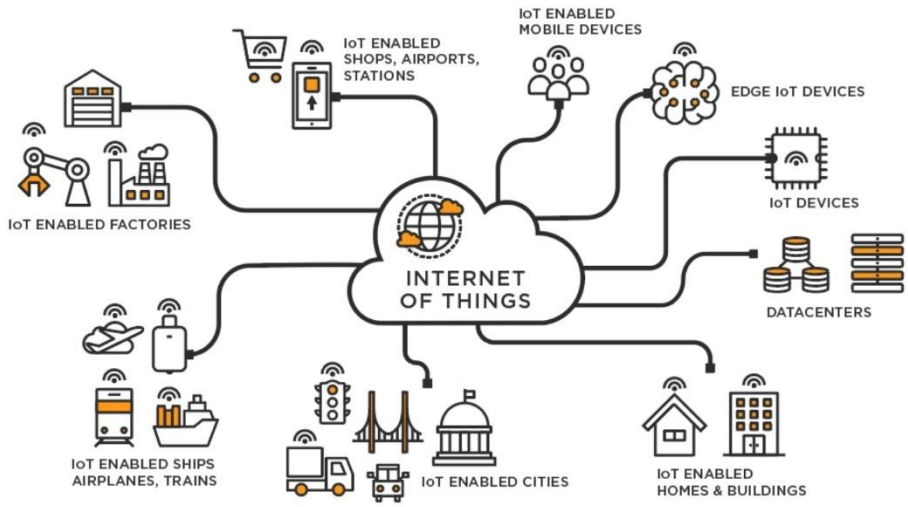
2. Metode Inspeksi dalam IIP

Program Inspeksi dan Pemeliharaan Kapal (IIP) menggabungkan metode inspeksi manual tradisional dan teknologi modern untuk meningkatkan akurasi deteksi kerusakan pada kapal. Salah satu metode dasar yang digunakan dalam IIP adalah Inspeksi Visual (*Visual Inspection*), yang dilakukan oleh petugas dari badan klasifikasi atau tim internal perusahaan pelayaran. Inspeksi ini bertujuan untuk memeriksa kondisi fisik kapal secara langsung. Area yang diperiksa mencakup lambung kapal, ruang penyimpanan muatan, serta struktur pendukung seperti sekat dan dek. Selain itu, tangki ballast dan sistem perpipaan juga menjadi fokus pemeriksaan untuk memastikan tidak ada kerusakan atau potensi kebocoran yang bisa mengganggu keselamatan kapal. Inspeksi visual memungkinkan deteksi dini terhadap kerusakan yang tampak jelas, seperti korosi atau retakan pada permukaan kapal.

Non-Destructive Testing (NDT) digunakan dalam IIP untuk mendeteksi kerusakan pada kapal tanpa merusak strukturnya. Salah satu teknologi yang digunakan adalah *Ultrasonic Thickness Measurement* (UTM), yang mengukur ketebalan pelat baja kapal untuk mendeteksi adanya korosi yang mungkin tidak terlihat secara visual. Jika ketebalan baja berkurang di bawah batas yang aman, tindakan perbaikan bisa segera dilakukan. Teknologi lainnya adalah *Magnetic Particle Testing* (MPT), yang digunakan untuk mendeteksi adanya retakan atau cacat pada struktur baja kapal yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Selain itu, *Infrared Thermography* juga diterapkan untuk mengidentifikasi kebocoran atau anomali suhu pada sistem perpipaan kapal, memberikan informasi tentang potensi masalah seperti kebocoran bahan bakar atau cairan lainnya.

Seiring perkembangan teknologi, banyak perusahaan pelayaran kini mengadopsi *Predictive Maintenance* dengan memanfaatkan sensor dan *Internet of Things* (IoT) untuk melakukan pemantauan kondisi kapal secara real-time. Dengan memasang sensor pada struktur utama kapal, data tentang kondisi kapal dapat dikumpulkan dan dianalisis untuk mendeteksi masalah lebih awal. Misalnya, sensor dapat mengukur perubahan ketebalan baja akibat korosi atau mendeteksi kelembaban di dalam ruang penyimpanan untuk mencegah korosi atau pertumbuhan jamur. Sensor juga dapat mendeteksi getaran abnormal pada mesin atau struktur kapal yang dapat menunjukkan kerusakan atau kegagalan mekanis yang akan datang. Teknologi ini memungkinkan pemeliharaan dilakukan berdasarkan kondisi aktual kapal, sehingga perawatan lebih tepat sasaran dan lebih efisien.

Gambar 3. *Internet of Things*



Sumber: *Fakta News*

Untuk area-area yang sulit dijangkau, seperti tangki ballast, ruang kargo, dan lambung kapal bagian bawah, drone dan robot inspeksi bawah air kini semakin banyak digunakan. Teknologi ini memungkinkan inspeksi dilakukan dengan lebih cepat dan aman. Drone dapat mengakses area tinggi atau sulit dijangkau, sementara robot bawah air memungkinkan pemeriksaan struktur kapal di bawah permukaan air, yang sebelumnya memerlukan penyelaman manual. Penggunaan teknologi ini meningkatkan efisiensi dan mengurangi risiko yang mungkin terjadi selama proses inspeksi manual. Dengan kombinasi metode-metode ini, IIP memastikan bahwa kapal dapat beroperasi dengan aman, efisien, dan sesuai dengan standar keselamatan yang ditetapkan.

3. Frekuensi dan Tahapan Inspeksi dalam IIP

Pada Program Inspeksi dan Pemeliharaan Kapal (IIP), frekuensi pemeriksaan dilakukan lebih sering dibandingkan dengan inspeksi standar. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa kapal selalu dalam kondisi terbaik dan terhindar dari kerusakan yang dapat membahayakan keselamatan pelayaran serta mengurangi biaya perawatan jangka panjang. Pemeriksaan dalam IIP dilakukan melalui tahapan yang disesuaikan dengan usia kapal, yang meliputi inspeksi dasar, pemeriksaan lanjutan, dan inspeksi menyeluruh. Pada kapal yang berusia kurang dari 5 tahun, inspeksi yang dilakukan adalah inspeksi dasar dan pemetaan awal kondisi kapal. Pada tahap ini, tujuan utama adalah untuk mendapatkan gambaran awal mengenai kondisi fisik

kapal, termasuk lambung, struktur utama, serta sistem vital lainnya. Inspeksi ini bertujuan untuk memastikan bahwa kapal baru atau yang relatif muda tidak memiliki cacat struktural yang signifikan, seperti korosi atau retakan yang mungkin muncul karena faktor produksi atau kondisi operasional awal.

Untuk kapal yang berusia antara 5 hingga 10 tahun, pemeriksaan yang lebih mendalam dilakukan dengan fokus pada korosi, ketebalan baja, dan kondisi tangki ballast. Pada usia ini, kapal mulai mengalami proses penuaan yang dapat menyebabkan kerusakan pada bagian-bagian tertentu, terutama pada lambung kapal yang sering terpapar air laut. Inspeksi korosi dan pengukuran ketebalan baja dengan menggunakan teknologi seperti *Ultrasonic Thickness Measurement* (UTM) menjadi krusial untuk mendeteksi penipisan pada pelat baja yang disebabkan oleh korosi. Selain itu, tangki ballast yang berfungsi untuk menjaga kestabilan kapal juga diperiksa untuk memastikan bahwa tidak ada kebocoran atau kerusakan yang dapat mempengaruhi kinerja kapal.

Pada kapal yang berusia 10 hingga 15 tahun, pemeriksaan lanjutan dilakukan menggunakan *Non-Destructive Testing* (NDT) dan teknologi modern lainnya seperti drone. Pada tahap ini, inspeksi bertujuan untuk mendeteksi kerusakan yang lebih dalam dan lebih sulit terdeteksi oleh inspeksi visual. Teknologi NDT, seperti *Magnetic Particle Testing* (MPT) atau Infrared Thermography, digunakan untuk mendeteksi retakan atau kebocoran pada struktur kapal yang mungkin tidak terlihat. Selain itu, penggunaan drone memungkinkan pemeriksaan pada area yang sulit dijangkau, seperti bagian bawah lambung kapal atau ruang tangki ballast, dengan lebih cepat dan aman.

Kapal yang berusia lebih dari 15 tahun memerlukan inspeksi penuh setiap tahun, yang mencakup uji beban struktural untuk memastikan bahwa kapal masih mampu menahan tekanan operasional. Pada usia ini, kapal cenderung memiliki risiko lebih tinggi terhadap kerusakan struktural yang signifikan. Oleh karena itu, inspeksi dilakukan secara lebih intensif dengan pemeriksaan menyeluruh pada seluruh struktur kapal, termasuk simulasi beban untuk menguji kekuatan dan daya tahan struktural. Setiap tahapan inspeksi ini membantu mengidentifikasi potensi masalah secara dini, yang memungkinkan tindakan pencegahan atau perbaikan yang diperlukan sebelum kerusakan lebih lanjut terjadi. Dengan demikian, IIP

memastikan bahwa kapal tetap beroperasi dengan aman dan sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku.

4. Manfaat Program IIP

Implementasi *Improved Inspection Program* (IIP) memberikan berbagai manfaat signifikan bagi industri perkapalan, yang tidak hanya berfokus pada peningkatan keselamatan kapal, tetapi juga pada pengurangan biaya operasional dan perawatan jangka panjang. Salah satu manfaat utama dari IIP adalah peningkatan keselamatan kapal dan awak. Dengan mendeteksi kerusakan struktural sejak dini, program ini memungkinkan perusahaan pelayaran untuk mengidentifikasi masalah sebelum berkembang menjadi kegagalan yang lebih besar dan lebih berbahaya. Deteksi dini ini sangat penting untuk menghindari kecelakaan yang dapat membahayakan keselamatan awak kapal serta mengurangi risiko kerusakan lingkungan yang mungkin disebabkan oleh kebocoran atau kecelakaan lainnya.

IIP juga mengurangi biaya perawatan melalui penerapan pemeliharaan berbasis kondisi (*condition-based maintenance*). Dalam pendekatan ini, perawatan dilakukan hanya ketika diperlukan berdasarkan kondisi nyata dari kapal, bukan pada interval waktu tetap. Hal ini membantu meminimalkan biaya yang dikeluarkan untuk pemeliharaan yang tidak perlu, serta mengurangi risiko kerusakan lebih lanjut yang bisa terjadi jika pemeliharaan terlambat dilakukan. Dengan menggunakan teknologi seperti sensor dan analisis data real-time, kapal dapat dipantau secara terus-menerus, sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan lebih cepat dan lebih efisien.

IIP juga memastikan kepatuhan terhadap regulasi internasional seperti yang ditetapkan oleh IMO (*International Maritime Organization*), IACS (*International Association of Classification Societies*), dan badan klasifikasi lainnya. Kepatuhan ini sangat penting agar kapal tetap layak laut dan beroperasi sesuai dengan standar keselamatan internasional. Kegagalan dalam memenuhi standar ini dapat mengakibatkan penundaan dalam perjalanan, biaya tambahan, atau bahkan penarikan sertifikat klasifikasi yang dapat memengaruhi izin operasional kapal.

Manfaat lainnya adalah pengurangan downtime kapal. Dengan inspeksi yang lebih efisien dan berbasis data real-time, kapal dapat beroperasi lebih lama tanpa gangguan signifikan. Pemantauan kondisi

kapal secara real-time memungkinkan identifikasi masalah pada tahap paling awal, yang berarti perbaikan dapat dilakukan segera tanpa menunggu kerusakan menjadi lebih parah. Hal ini mengurangi waktu kapal berada di dok untuk perbaikan, memungkinkan kapal untuk kembali beroperasi lebih cepat dan mengurangi kerugian yang terkait dengan *downtime*.

IIP meningkatkan efisiensi operasional melalui perencanaan perawatan yang lebih baik. Dengan data yang diperoleh dari teknologi canggih seperti sensor dan perangkat IoT, perusahaan pelayaran dapat merencanakan perawatan dan inspeksi kapal dengan lebih tepat waktu dan lebih terstruktur. Ini tidak hanya membantu mengoptimalkan penggunaan kapal, tetapi juga memperpanjang umur operasionalnya, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi dan produktivitas industri perkapalan secara keseluruhan.

D. Soal Latihan

1. Jelaskan prosedur pelaporan kerusakan yang harus dilakukan oleh awak kapal ketika menemukan masalah struktural.
2. Bandingkan *Enhanced Survey Programme* (ESP) dan *Improved Inspection Program* (IIP) dalam hal tujuan dan metode inspeksi.
3. Sebutkan dan jelaskan tiga metode inspeksi yang digunakan untuk mendeteksi kerusakan struktural pada kapal.
4. Mengapa drone dan robot inspeksi semakin banyak digunakan dalam pemeriksaan kapal?
5. Bagaimana penggunaan *Internet of Things* (IoT) dapat membantu meningkatkan efektivitas inspeksi dan pemeliharaan kapal?



BAB XI
PENGENDALIAN MUATAN DI KAPAL TANKER

Kemampuan Akhir yang Diharapkan Mampu memahami terkait dengan prosedur pemompaan dan stripping kargo, memahami penggunaan *deck lines*, *stripping lines*, dan *crossovers*, memahami pengendalian laju pompa (*flow rate*), serta memahami checklist bongkar muatan dan tindakan darurat. Sehingga pembaca dapat memahami dan menerapkan prosedur pemompaan dan stripping kargo dengan benar, mengoperasikan sistem perpipaan kapal tanker secara efisien, mengendalikan laju pompa untuk mencegah risiko operasional, serta menjalankan checklist dan tindakan darurat saat bongkar muatan.
Materi Pembelajaran • Prosedur Pemompaan dan Stripping Kargo • Penggunaan *Deck Lines*, *Stripping Lines*, dan *Crossovers* • Pengendalian Laju Pompa (*Flow Rate*) • Checklist Bongkar Muatan dan Tindakan Darurat • Soal Latihan

A. Prosedur Pemompaan dan Stripping Kargo

Pemompaan dan stripping kargo adalah dua proses utama dalam pengendalian muatan di kapal tanker. Pemompaan bertujuan untuk memindahkan kargo cair dari tangki penyimpanan ke sistem bongkar muat, sedangkan stripping dilakukan untuk memastikan tidak ada residu muatan yang tertinggal di tangki. Proses ini harus dilakukan dengan hati-hati untuk mencegah kerusakan pada sistem perpipaan, menghindari kontaminasi kargo, dan memastikan keselamatan kapal serta lingkungan.

1. Persiapan Pemompaan Kargo

Sebelum proses pemompaan kargo dimulai, ada beberapa langkah persiapan yang harus dilakukan untuk memastikan operasional yang aman dan efisien. Langkah pertama adalah pemeriksaan sistem. Semua peralatan yang digunakan dalam proses pemompaan, seperti pompa, katup, pipa, dan sistem pemantauan, harus diperiksa secara menyeluruh untuk memastikan tidak ada kebocoran atau kerusakan. Pemeriksaan ini sangat penting untuk mencegah adanya masalah teknis yang dapat menyebabkan gangguan dalam proses pemompaan atau bahkan kecelakaan. Jika ditemukan kerusakan atau kebocoran, perbaikan harus dilakukan sebelum pemompaan dimulai.

Komunikasi yang jelas dan efektif antara awak kapal, terminal bongkar muat, dan pihak terkait lainnya sangat penting dalam tahap persiapan ini. Koordinasi ini diperlukan untuk menyusun rencana pemompaan yang mencakup waktu, prosedur, dan tahapan yang akan diikuti. Komunikasi yang baik memastikan bahwa semua pihak terlibat memiliki pemahaman yang sama mengenai proses pemompaan, sehingga dapat menghindari kesalahan atau kebingungannya. Hal ini juga termasuk pemberitahuan mengenai kondisi kargo, jenis kapal, dan potensi risiko yang mungkin timbul selama pemompaan.

Langkah ketiga dalam persiapan pemompaan adalah pemeriksaan manifold. Manifold adalah sistem yang menghubungkan kapal dengan terminal atau fasilitas pengisian dan pengosongan kargo. Koneksi selang dan manifold harus diperiksa secara menyeluruh untuk memastikan bahwa semuanya dalam kondisi baik dan siap digunakan. Selain itu, uji tekanan pada manifold juga perlu dilakukan sebelum operasi dimulai untuk memastikan bahwa sistem dapat menahan tekanan yang dihasilkan selama pemompaan tanpa ada kebocoran atau kerusakan. Uji tekanan ini juga membantu memastikan bahwa aliran kargo akan berjalan lancar dan aman selama proses pemompaan.

Langkah terakhir adalah persiapan jalur pemompaan. Pemilihan jalur pipa yang tepat sangat penting untuk menjaga kualitas dan keselamatan kargo yang akan dipompa. Jalur pipa harus disesuaikan dengan jenis kargo yang dipompa dan lokasi tangki untuk menghindari risiko kontaminasi silang antara berbagai jenis kargo. Misalnya, jika kapal tersebut mengangkut berbagai jenis cairan, setiap jenis cairan harus dipompa melalui jalur pipa yang terpisah untuk mencegah pencampuran yang bisa merusak kualitas kargo. Selain itu, jalur

pemompaan juga harus dipastikan bebas dari kotoran atau benda asing yang dapat merusak pompa atau tangki.

2. Pelaksanaan Pemompaan

Pelaksanaan pemompaan kargo harus dilakukan secara hati-hati dan bertahap untuk memastikan keselamatan kapal dan muatan. Salah satu hal utama yang perlu diperhatikan adalah menghindari tekanan berlebih serta pembentukan listrik statis yang dapat memicu kebakaran atau ledakan, yang dapat membahayakan keselamatan kapal dan kru (ISGOTT, 2023). Untuk itu, proses pemompaan dimulai dengan tahap awal di mana pompa dijalankan dengan kecepatan rendah. Hal ini bertujuan untuk menghindari lonjakan tekanan mendadak yang dapat terjadi jika pemompaan dilakukan secara tiba-tiba dengan kecepatan tinggi. Mengawali pemompaan dengan kecepatan rendah juga memberikan kesempatan untuk memantau dan mengontrol kondisi sistem dengan lebih baik, sehingga risiko kerusakan pada peralatan atau kebocoran dapat diminimalkan.

Perhatian selanjutnya diberikan pada pemantauan flow rate atau laju aliran kargo. Kecepatan aliran harus disesuaikan dengan kapasitas manifold dan sistem perpipaan yang ada. Menggunakan flow meter dalam proses ini sangat penting untuk memastikan bahwa aliran kargo tetap dalam batas yang aman dan terkendali. Pengaturan laju aliran yang tepat tidak hanya menjamin kelancaran pemompaan, tetapi juga membantu menjaga stabilitas tekanan dalam sistem pemompaan, yang penting untuk mencegah kerusakan pada peralatan dan struktur kapal. Flow meter berfungsi sebagai alat yang memberikan data yang akurat tentang laju aliran, memungkinkan operator untuk menyesuaikan parameter pemompaan dengan lebih efisien.

Selama pemompaan, pemantauan terhadap tekanan dan suhu sistem juga sangat penting. Penggunaan sistem pemantauan otomatis dapat membantu mendeteksi anomali, seperti tekanan berlebih atau suhu yang terlalu tinggi, yang dapat menyebabkan kegagalan pompa atau kerusakan pada sistem. Pemantauan otomatis ini memberikan peringatan dini kepada operator jika ada kondisi yang tidak sesuai dengan batas yang aman, sehingga tindakan korektif dapat segera diambil sebelum terjadi kerusakan lebih lanjut. Dengan adanya sistem pemantauan otomatis, keamanan operasional pemompaan dapat lebih terjamin dan risiko kecelakaan dapat dikurangi.

Pada proses pemompaan, perlu juga diperhatikan pencegahan pembentukan vakum di dalam tangki. Pembentukan vakum dapat terjadi jika aliran kargo terlalu cepat atau tidak seimbang, yang dapat menyebabkan tekanan negatif dalam tangki. Tekanan negatif ini bisa merusak struktur tangki dan menyebabkan kerusakan pada kapal. Oleh karena itu, katup ventilasi harus tetap terbuka selama pemompaan untuk memungkinkan udara masuk dan menjaga tekanan tangki tetap stabil. Dengan cara ini, risiko kerusakan struktural yang disebabkan oleh perubahan tekanan dalam tangki dapat diminimalkan.

3. Stripping Kargo

Stripping kargo adalah tahap akhir dalam proses pemompaan yang bertujuan untuk mengosongkan tangki dari sisa-sisa residu kargo yang masih tertinggal. Proses ini sangat penting karena tidak hanya mencegah kontaminasi pada muatan berikutnya, tetapi juga memastikan keselamatan operasional kapal. Residual kargo yang tertinggal dapat menjadi masalah serius, terutama jika kargo yang diangkut memiliki sifat yang mudah terkontaminasi atau jika kapal akan mengangkut jenis kargo yang berbeda pada perjalanan berikutnya. Dengan melakukan stripping, kapal dapat meminimalkan risiko kontaminasi dan menjaga kebersihan tangki untuk pengiriman berikutnya.

Ada beberapa metode yang umum digunakan dalam stripping kargo, masing-masing dengan kelebihan dan aplikasinya dalam kondisi yang berbeda. Pompa stripping adalah salah satu metode utama yang digunakan. Pompa ini biasanya lebih kecil daripada pompa utama dan dirancang khusus untuk menangani sisa kargo yang terkumpul di dasar tangki setelah pemompaan utama selesai. Pompa stripping memiliki kemampuan untuk menghisap kargo cair yang tersisa dalam jumlah yang sangat kecil, sehingga memastikan tangki dapat benar-benar kosong dan siap untuk muatan berikutnya. Selain itu, desain pompa ini memungkinkan untuk menjangkau area-area yang sulit dijangkau oleh pompa utama.

Metode lainnya adalah sistem eductor, yang memanfaatkan prinsip venturi untuk menciptakan efek hisap. Eductor system bekerja dengan cara mengalirkan cairan melalui saluran sempit yang menghasilkan tekanan rendah, memungkinkan kargo cair yang tersisa untuk terhisap keluar dari tangki. Metode ini sangat efektif untuk

mengeluarkan residu kargo dalam jumlah kecil dan dapat bekerja dengan efisien meskipun dalam kondisi di mana pompa stripping tidak dapat beroperasi secara optimal. Eductor system sering digunakan dalam tangki-tangki yang memiliki konfigurasi sulit atau di mana akses untuk pemasangan pompa stripping terbatas.

Prinsip gravitasi juga sering diterapkan dalam proses stripping. Gravitasi dimanfaatkan dengan memanfaatkan kemiringan kapal atau sistem drainase yang ada untuk mengalirkan residu kargo menuju pompa utama. Dengan cara ini, kargo cair yang tersisa dapat mengalir dengan sendirinya ke dalam pompa stripping atau pompa utama, mengurangi kebutuhan akan peralatan tambahan dan mempermudah proses pengosongan tangki. Metode ini sangat bergantung pada kondisi kapal, terutama pada sudut kemiringan atau sistem drainase yang tersedia.

4. Tantangan dalam Pemompaan dan Stripping Kargo

Proses pemompaan dan stripping kargo merupakan langkah kritis dalam operasional kapal pengangkut, namun terdapat beberapa tantangan teknis dan operasional yang dapat mempengaruhi efektivitas dan keselamatan kegiatan tersebut. Salah satu tantangan utama adalah emulsi dan endapan, yang sering terjadi pada kargo-kargo tertentu seperti minyak mentah berat. Minyak mentah jenis ini memiliki kecenderungan untuk meninggalkan endapan atau bahkan membentuk emulsi campuran antara minyak dan air yang sangat sulit untuk dipompa. Endapan yang terbentuk di dasar tangki dapat menghambat proses pemompaan dan stripping, serta meningkatkan waktu yang dibutuhkan untuk mengosongkan tangki secara efisien. Endapan ini juga dapat menyumbat pipa dan pompa, sehingga meningkatkan risiko kerusakan pada sistem dan memerlukan pembersihan lebih lanjut. Penanganan endapan ini sering kali memerlukan penggunaan teknologi khusus atau prosedur pemeliharaan yang lebih intensif untuk memastikan kargo dapat dipompa dengan lancar.

Tantangan lain yang sering dihadapi adalah kavitasi, sebuah fenomena yang terjadi ketika pompa bekerja dalam kondisi tekanan rendah. Kavitasi terjadi ketika tekanan cairan dalam pompa menurun di bawah tekanan uapnya, sehingga terbentuk gelembung udara yang kemudian meledak saat tekanan meningkat kembali. Proses ini dapat merusak impeller pompa dan komponen lainnya, yang pada gilirannya

mengurangi efisiensi pompa dan memperpendek umur peralatan. Kavitasi tidak hanya dapat merusak peralatan, tetapi juga dapat menyebabkan gangguan dalam aliran kargo, yang memperlambat proses pemompaan dan stripping. Untuk mencegah kavitasi, penting untuk memastikan bahwa pompa beroperasi pada tingkat tekanan yang benar dan sistem perpipaan terjaga dengan baik agar tekanan tetap stabil selama pemompaan.

Kebocoran dan tumpahan merupakan tantangan yang tidak dapat diabaikan dalam proses pemompaan dan stripping kargo. Kebocoran dapat terjadi akibat kesalahan operasional, misalnya jika katup atau koneksi pipa tidak dipasang dengan benar, atau karena kegagalan material pada sistem perpipaan. Kebocoran ini dapat menyebabkan tumpahan kargo, yang tidak hanya merugikan dari segi biaya, tetapi juga menimbulkan risiko lingkungan yang serius. Tumpahan minyak atau bahan kimia berbahaya di laut dapat mencemari lingkungan dan merusak ekosistem laut. Oleh karena itu, kontrol ketat terhadap peralatan dan prosedur operasional sangat diperlukan untuk mengurangi kemungkinan kebocoran dan memastikan bahwa setiap prosedur pemompaan dan stripping dilakukan dengan aman dan sesuai dengan standar yang berlaku.

B. Penggunaan *Deck Lines*, *Stripping Lines*, dan *Crossovers*

Pada pengendalian muatan di kapal tanker, sistem perpipaan berperan penting untuk memastikan pemompaan dan stripping kargo berjalan dengan efisien dan aman. Tiga elemen utama dalam sistem perpipaan adalah *deck lines*, *stripping lines*, dan *crossovers*, yang masing-masing memiliki fungsi spesifik dalam distribusi dan pengosongan kargo. Pemahaman yang baik terhadap penggunaan dan perawatan sistem ini sangat penting untuk menghindari kontaminasi kargo, meningkatkan efisiensi pemindahan muatan, serta mencegah kebocoran dan kegagalan sistem perpipaan (OCIMF, 2023).

1. *Deck Lines* (Pipa Dek Kapal)

Deck lines adalah sistem perpipaan yang terpasang di atas dek kapal dan berperan sangat penting dalam operasional pengangkutan kargo laut. Sistem ini dirancang untuk mengalirkan kargo dari tangki penyimpanan kapal menuju manifold bongkar muat atau sebaliknya,

sehingga memungkinkan proses pemompaan dan transfer muatan yang efisien. *Deck lines* memiliki berbagai fungsi utama, yang pertama adalah menghubungkan tangki penyimpanan dengan manifold bongkar muat, sehingga memudahkan pemindahan kargo ke fasilitas darat atau antar kapal dalam operasi transfer muatan (STS - *Ship to Ship Transfer*). Selain itu, *deck lines* juga memungkinkan distribusi kargo ke berbagai tangki selama proses pemuatan atau penyimpanan sementara, yang sangat penting untuk menjaga keseimbangan beban kapal serta mengoptimalkan penggunaan ruang penyimpanan di kapal tanker.

Meskipun memiliki fungsi yang sangat krusial, penggunaan *deck lines* juga menghadapi berbagai tantangan yang perlu dikelola dengan hati-hati. Salah satu masalah utama adalah korosi dan keausan, yang terjadi karena sistem perpipaan ini terpapar langsung pada lingkungan laut. Paparan terhadap air laut yang mengandung garam, serta perubahan suhu yang ekstrem, dapat menyebabkan karat dan penurunan kekuatan material pipa. Korosi ini tidak hanya mengurangi umur panjang *deck lines*, tetapi juga dapat memengaruhi efisiensi sistem pemompaan dan meningkatkan risiko kebocoran. Oleh karena itu, perawatan dan pemeriksaan berkala menjadi sangat penting untuk memastikan *deck lines* tetap dalam kondisi baik.

Kebocoran juga merupakan tantangan yang signifikan dalam penggunaan *deck lines*. Jika sistem ini tidak diperiksa secara rutin atau tekanan dalam pipa terlalu tinggi, sambungan pipa bisa menjadi longgar atau retak, yang dapat menyebabkan kebocoran kargo. Kebocoran ini berisiko tidak hanya membahayakan keselamatan awak kapal, tetapi juga dapat mencemari lingkungan laut, yang tentu saja melanggar regulasi lingkungan yang ketat. Untuk mencegah hal ini, diperlukan pemantauan dan pengendalian yang ketat terhadap tekanan serta sambungan pipa.

Masalah lain yang sering terjadi adalah penyumbatan akibat residu kargo. Beberapa jenis kargo, seperti minyak mentah berat atau bahan kimia tertentu, dapat meninggalkan sisa-sisa atau endapan yang menyumbat aliran dalam *deck lines*. Penyumbatan ini dapat mengurangi efisiensi pemompaan dan memerlukan pembersihan berkala yang memakan waktu dan biaya. Untuk itu, penting untuk menggunakan teknologi pembersihan yang efektif serta prosedur operasi yang tepat untuk memastikan *deck lines* tetap bersih dan berfungsi dengan baik.

2. *Stripping Lines* (Pipa Stripping)

Stripping lines adalah sistem perpipaan berukuran kecil yang dirancang untuk mengosongkan sisa kargo yang tertinggal di dasar tangki setelah proses pemompaan utama selesai. Tujuan utama dari sistem ini adalah memastikan bahwa tidak ada residu kargo yang tersisa, yang dapat menyebabkan kontaminasi pada muatan berikutnya dan menjaga agar kondisi tangki tetap optimal untuk proses pemuatan kargo selanjutnya. *Stripping lines* berfungsi untuk mengalirkan sisa kargo dari dasar tangki menuju pompa stripping khusus yang dirancang untuk menangani volume kecil dengan efisiensi tinggi. Dengan menggunakan sistem ini, kapal dapat mengosongkan tangki secara menyeluruh sebelum muatan baru dimasukkan, sehingga risiko pencampuran antara muatan lama dan baru dapat diminimalisir.

Metode stripping yang umum digunakan dalam industri perkapalan mencakup beberapa teknologi yang efektif dalam mengosongkan tangki. Salah satunya adalah stripping dengan pompa vakum, yang memanfaatkan tekanan negatif untuk menarik residu kargo dari dasar tangki. Metode ini efektif dalam menciptakan daya hisap yang kuat untuk mengangkat sisa kargo yang menempel pada permukaan tangki. Selain itu, eductor system juga digunakan dalam proses stripping, dengan mengandalkan prinsip venturi untuk menciptakan efek hisapan yang membantu mengeluarkan kargo cair yang tersisa dari tangki. Prinsip ini bekerja dengan mengalirkan cairan melalui saluran sempit yang menghasilkan perbedaan tekanan, yang kemudian menarik sisa kargo keluar dari tangki. Metode lainnya adalah stripping dengan pompa kecil, yang menggunakan pompa berkapasitas rendah yang dapat menangani sisa kargo tanpa risiko kavitasi, sehingga memastikan proses pengosongan berjalan dengan lancar.

Meskipun *stripping lines* memiliki banyak manfaat, beberapa tantangan juga perlu dihadapi dalam penggunaannya. Salah satu tantangan utama adalah efisiensi pengosongan. Jika desain perpipaan atau sistem stripping tidak diatur dengan optimal, masih mungkin ada sisa kargo yang tertinggal di dasar tangki. Keberhasilan proses stripping sangat tergantung pada bagaimana sistem perpipaan dirancang untuk memaksimalkan aliran dan menghindari terjadinya penumpukan sisa kargo yang sulit dikeluarkan. Tantangan lainnya adalah korosi yang disebabkan oleh residu kargo, terutama untuk jenis kargo yang bersifat korosif seperti minyak berat atau bahan kimia tertentu. Jika

residu ini tidak dibersihkan dengan benar, ia dapat mempercepat degradasi material pipa stripping, yang dapat menurunkan umur pakai sistem perpipaan dan menyebabkan kebocoran atau kerusakan struktural pada tangki.

3. *Crossovers* (Sambungan Antartangki)

Crossovers adalah sambungan perpipaan yang menghubungkan berbagai tangki di dalam kapal dan memungkinkan pemindahan kargo dari satu tangki ke tangki lainnya. Keberadaan *crossover* sangat penting dalam pengelolaan muatan kapal untuk menjaga keseimbangan kapal, serta untuk memfasilitasi pemindahan kargo jika terjadi perubahan rencana operasional, seperti perubahan posisi tangki atau kebutuhan untuk menyesuaikan trim dan stabilitas kapal. Fungsi utama dari *crossover* adalah untuk memungkinkan pemindahan kargo antar tangki guna menyesuaikan distribusi muatan, yang pada gilirannya membantu kapal tetap stabil dan seimbang selama perjalanan. Pemindahan ini juga penting dalam situasi di mana pencampuran muatan diperlukan, seperti ketika dua jenis kargo yang kompatibel harus dicampurkan sebelum dikirim ke fasilitas darat. Ini juga berfungsi sebagai alternatif jalur aliran kargo, terutama jika terjadi kegagalan pada sistem pemompaan utama kapal, sehingga *crossover* memberikan jalur cadangan untuk memastikan kelancaran operasi pemompaan dan distribusi muatan.

Meskipun memiliki banyak manfaat, penggunaan crossover juga membawa tantangan yang perlu dikelola dengan hati-hati. Salah satu tantangan utama adalah risiko kontaminasi yang dapat terjadi jika pengelolaan sistem *crossover* tidak dilakukan dengan cermat. Jika kargo yang sebelumnya belum sepenuhnya dikeluarkan dari tangki, *crossover* dapat menyebabkan pencampuran muatan yang tidak diinginkan. Hal ini sangat penting dalam industri perkapalan, terutama ketika kapal mengangkut berbagai jenis kargo yang mungkin tidak kompatibel satu sama lain. Misalnya, pencampuran antara minyak mentah dengan produk petrokimia lainnya dapat menyebabkan kerusakan pada kualitas kargo atau bahkan kerusakan pada fasilitas penerima kargo di darat. Oleh karena itu, pengelolaan yang cermat dan prosedur yang jelas untuk memastikan bahwa tangki sudah benar-benar kosong sebelum *crossover* digunakan sangat diperlukan.

Tantangan lainnya adalah pengelolaan tekanan dalam sistem *crossover*. Sistem perpipaan yang digunakan dalam *crossover* harus

dipantau secara ketat untuk memastikan bahwa tidak terjadi tekanan berlebih yang dapat merusak sistem atau menyebabkan kebocoran. Pengaturan dan pemantauan tekanan secara tepat penting agar tidak terjadi kerusakan pada sambungan atau pipa itu sendiri. Selain itu, perawatan dan inspeksi sistem *crossover* juga menjadi tantangan tersendiri. *Crossovers* harus diperiksa secara berkala untuk mendeteksi potensi kerusakan, kebocoran, atau kegagalan sistem. Kegagalan dalam pemeriksaan dan pemeliharaan bisa mengganggu proses bongkar muat atau bahkan menyebabkan tumpahan kargo, yang tentunya berisiko bagi keselamatan kapal dan lingkungan sekitar.

C. Pengendalian Laju Pompa (*Flow Rate*)

Pengendalian laju pompa (*flow rate*) merupakan faktor krusial dalam proses bongkar muat di kapal tanker, terutama untuk memastikan efisiensi operasional, keamanan, serta menghindari tekanan berlebih pada sistem perpipaan. Pengaturan yang tepat terhadap laju aliran kargo dapat mencegah risiko kontaminasi, kavitasi pada pompa, dan kerusakan pada sistem transfer kargo.

1. Prinsip Pengendalian Laju Pompa

Laju aliran pompa merujuk pada volume cairan yang dipindahkan oleh pompa dalam satuan waktu tertentu, yang biasanya diukur dalam *barrels per hour* (BPH) atau *cubic meters per hour* (m^3/h). Pengendalian laju aliran yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa proses pemompaan berjalan dengan efisien dan aman. Kecepatan pemompaan yang terlalu tinggi dapat menimbulkan tekanan berlebih, yang berisiko merusak sistem pompa, pipa, atau manifold. Sebaliknya, aliran yang terlalu rendah dapat memperlambat proses bongkar muat, mengurangi produktivitas, dan meningkatkan risiko kontaminasi kargo yang tersisa dalam sistem pipa.

Menurut OCIMF (2023), pengendalian laju aliran pompa harus memperhatikan beberapa faktor penting yang mempengaruhi kinerja pompa dan keseluruhan sistem perpipaan kapal. Salah satu faktor utama adalah kapasitas pompa utama. Setiap kapal memiliki pompa dengan kapasitas maksimal tertentu, dan kapasitas ini harus dimanfaatkan dengan baik untuk menjaga efisiensi operasi. Menggunakan pompa dengan kapasitas yang terlalu tinggi bisa

menyebabkan tekanan berlebih pada sistem, sementara pemanfaatan kapasitas pompa yang lebih rendah dapat memperlambat proses pemompaan. Oleh karena itu, pengaturan laju aliran harus disesuaikan dengan kapasitas optimal pompa untuk menghindari kerusakan sistem dan memastikan aliran yang stabil.

Jenis kargo yang dipompa juga berperan penting dalam pengendalian laju aliran. Kargo dengan viskositas tinggi, seperti minyak mentah, membutuhkan perhatian lebih dalam pengaturan laju aliran. Produk-produk ini cenderung lebih kental, yang mempengaruhi kemampuan pompa untuk mengalirkannya secara efisien. Untuk mengatasi hal ini, pemanasan kargo sering kali diperlukan untuk menurunkan viskositasnya dan memudahkan pemompaan. Pengaturan tekanan juga harus dilakukan dengan hati-hati untuk mencegah terjadinya beban berlebih pada pompa dan sistem pipa.

Faktor lainnya yang mempengaruhi laju aliran adalah suhu kargo. Suhu yang lebih rendah dapat meningkatkan viskositas kargo, membuatnya lebih sulit untuk dipompa. Ketika suhu kargo rendah, viskositasnya meningkat, yang berarti pemompaan harus dilakukan dengan laju aliran yang lebih lambat untuk menghindari tekanan berlebih. Pengontrolan suhu, melalui sistem pemanas atau pemantauan suhu secara terus-menerus, menjadi bagian penting dari pengendalian laju pompa untuk menjaga agar pompa bekerja dalam kondisi optimal.

Kondisi perpipaan dan manifold harus dipastikan dalam keadaan baik dan bebas dari penyumbatan atau kebocoran. Penyumbatan dalam sistem pipa dapat menghambat aliran kargo dan menyebabkan penurunan efisiensi pemompaan. Kebocoran juga bisa berisiko bagi keselamatan operasional dan lingkungan. Oleh karena itu, pemeliharaan dan pemeriksaan rutin terhadap kondisi perpipaan dan manifold sangat penting untuk memastikan laju aliran tetap stabil dan proses pemompaan berjalan lancar.

2. Metode Pengendalian Laju Aliran Pompa

Pengendalian laju aliran pompa yang efisien dan aman sangat penting dalam industri perkapalan untuk memastikan proses pemompaan berjalan dengan lancar tanpa merusak sistem atau menimbulkan masalah operasional. Beberapa metode yang digunakan dalam pengendalian laju aliran pompa melibatkan penggunaan alat

kontrol, pemantauan tekanan, dan teknik penyesuaian aliran yang bertujuan untuk menjaga stabilitas aliran dan mencegah kerusakan.

Salah satu metode yang umum digunakan adalah penggunaan valve kontrol aliran. Katup kontrol aliran atau flow control valves berfungsi untuk mengatur tekanan dan laju aliran dengan cara membuka atau menutup secara bertahap. Katup ini bisa dikendalikan secara manual oleh operator atau secara otomatis menggunakan sistem *automated flow control*, yang memanfaatkan komputer untuk mengatur laju aliran sesuai dengan parameter yang ditentukan. Penggunaan katup ini memungkinkan operator untuk menyesuaikan aliran pompa dengan kebutuhan operasional secara real-time, menghindari lonjakan tekanan yang berpotensi merusak sistem perpipaan.

Penting juga untuk memonitor tekanan dan kecepatan aliran secara kontinu. Sistem pemantauan tekanan dilengkapi dengan sensor aliran yang dapat mendeteksi fluktuasi dalam sistem pemompaan. Menurut ISGOTT (2023), sensor tekanan harus dipasang di titik-titik strategis, seperti di manifold dan sepanjang sistem perpipaan, untuk mendeteksi lonjakan tekanan yang bisa menyebabkan kebocoran atau kegagalan sistem. Dengan adanya pemantauan yang terus-menerus, operator dapat segera mengambil tindakan untuk menyesuaikan laju aliran jika terdeteksi adanya masalah seperti peningkatan tekanan yang mendadak, yang bisa berbahaya bagi keselamatan dan integritas kapal.

Teknik ramping juga digunakan untuk mengendalikan laju aliran secara bertahap. Teknik ramp-up dilakukan dengan meningkatkan laju aliran secara perlahan saat pemompaan dimulai. Hal ini bertujuan untuk menghindari lonjakan tekanan yang tiba-tiba yang bisa merusak sistem pompa atau pipa. Sebaliknya, ramp-down dilakukan dengan mengurangi laju aliran secara bertahap sebelum proses pemompaan selesai. Pengurangan aliran yang perlahan mencegah terjadinya kejutan tekanan yang dapat merusak pipa atau mengganggu keseimbangan kargo di dalam tangki, sehingga keseluruhan proses pemompaan berjalan lebih lancar.

Penggunaan pompa *stripping* digunakan untuk mengeluarkan sisa muatan yang masih ada setelah pemompaan utama selesai. Pompa stripping berukuran lebih kecil dibandingkan pompa utama dan dirancang untuk mengeluarkan kargo yang tersisa di dasar tangki dengan laju aliran yang lebih rendah. Pompa ini sangat efektif untuk mengosongkan tangki sepenuhnya, sehingga mengurangi risiko

kontaminasi pada muatan berikutnya serta memastikan sistem perpipaan tetap bersih dan efisien.

3. Tantangan dalam Pengendalian Laju Pompa

Meski sistem pengendalian laju pompa telah berkembang pesat, masih ada sejumlah tantangan yang sering dihadapi dalam operasi pemompaan, terutama di industri perkapalan yang melibatkan berbagai jenis kargo. Tantangan-tantangan ini memerlukan perhatian khusus untuk mencegah kerusakan pada sistem dan memastikan proses pemompaan tetap efisien serta aman. Salah satu tantangan utama adalah kavitasi pompa, yang terjadi ketika tekanan dalam pompa turun di bawah tekanan uap kargo, mengakibatkan terbentuknya gelembung gas. Gelembung ini, ketika meledak, dapat merusak impeller pompa dan menurunkan efisiensi pemompaan. Untuk mencegah terjadinya kavitasi, penting untuk menjaga tekanan hisap pompa tetap stabil dan menghindari peningkatan laju pemompaan yang terlalu cepat pada awal operasi. Dengan demikian, tekanan di dalam pompa dapat dipertahankan pada tingkat yang cukup untuk menghindari pembentukan gelembung gas.

Fluktuasi tekanan dalam sistem perpipaan juga merupakan tantangan yang signifikan. Perubahan tekanan yang mendadak dapat menyebabkan terjadinya tekanan balik (*back pressure*) yang berisiko merusak pompa dan katup, serta mengganggu aliran kargo yang stabil. Fluktuasi tekanan ini biasanya disebabkan oleh perubahan mendadak dalam kecepatan aliran atau kesalahan pengaturan katup. Untuk mengatasi masalah ini, sistem kontrol otomatis dapat digunakan untuk menyesuaikan tekanan secara real-time, memastikan tekanan dalam sistem tetap berada dalam rentang yang aman dan stabil sepanjang proses pemompaan.

Tantangan lainnya adalah kontaminasi kargo akibat laju aliran yang tidak stabil. Jika pemompaan tidak dikendalikan dengan baik, residu kargo yang tersisa di dalam pipa atau tangki sebelumnya dapat tercampur dengan kargo baru, yang berpotensi menyebabkan pencampuran produk yang tidak diinginkan atau bahkan merusak kualitas kargo. Untuk mencegah kontaminasi ini, penting untuk menerapkan prosedur pembersihan, seperti flushing dan purging sebelum proses pemompaan dimulai. Sistem pembersihan ini memastikan bahwa sisa-sisa kargo yang ada di dalam pipa atau tangki

sebelumnya dikeluarkan dengan baik, sehingga kargo yang baru akan tetap bersih dan sesuai dengan spesifikasinya.

Dampak cuaca dan temperatur lingkungan juga dapat mempengaruhi laju aliran pompa, terutama saat mengangkut produk seperti minyak mentah yang viskositasnya dapat meningkat pada suhu rendah. Ketika suhu turun, minyak menjadi lebih kental, yang mengakibatkan pompa kesulitan dalam memindahkan kargo dengan laju yang stabil. Untuk mengatasi hal ini, sistem pemanas tangki perlu digunakan untuk menjaga suhu kargo pada tingkat yang optimal sebelum dipompa. Dengan demikian, aliran tetap stabil, dan pemompaan dapat dilakukan tanpa masalah terkait kekentalan kargo.

D. Checklist Bongkar Muatan dan Tindakan Darurat

Bongkar muatan (*discharging cargo*) di kapal tanker adalah proses yang membutuhkan koordinasi, pengawasan ketat, dan penerapan prosedur keselamatan untuk memastikan efisiensi serta mencegah risiko lingkungan atau kecelakaan kerja. Salah satu aspek penting dalam operasi ini adalah penggunaan checklist bongkar muatan, yang berfungsi sebagai panduan sistematis untuk memastikan semua langkah dilakukan sesuai prosedur. Selain itu, adanya prosedur tindakan darurat sangat penting untuk mengatasi situasi yang tidak terduga, seperti kebocoran, tumpahan kargo, atau kegagalan sistem pompa.

1. Checklist Bongkar Muatan

Checklist bongkar muatan merupakan dokumen penting yang digunakan untuk memastikan bahwa seluruh proses pemindahan muatan dari kapal ke terminal darat berlangsung dengan aman dan efisien. Menurut ISGOTT (2023) dan OCIMF (2023), checklist ini mencakup serangkaian langkah yang harus diikuti oleh kru kapal sebelum, selama, dan setelah proses bongkar muatan, dengan tujuan untuk menjaga keselamatan, stabilitas, dan kelancaran operasional.

Pada tahap persiapan sebelum bongkar muatan, hal pertama yang harus dilakukan adalah pemeriksaan sistem peralatan. Kru kapal perlu memastikan bahwa pompa kargo dalam kondisi baik dan siap beroperasi. Selain itu, sistem perpipaan, valve, dan manifold harus diperiksa untuk memastikan tidak ada kebocoran yang dapat

mengganggu proses pemompaan. Pemeriksaan juga dilakukan pada sistem stripping, yang berfungsi untuk mengeluarkan sisa kargo setelah pemompaan utama. Selanjutnya, koordinasi dengan terminal darat sangat penting, di mana rencana pemompaan (*discharge plan*) harus disetujui bersama petugas terminal, jumlah muatan yang akan dibongkar dikonfirmasi, dan komunikasi antara kapal dan darat dijaga agar tetap efektif. Selain itu, aspek keselamatan juga harus menjadi perhatian utama dengan memastikan sistem deteksi gas berfungsi dengan baik, alat pemadam kebakaran dalam kondisi siap pakai, dan peralatan tumpahan (*spill kit*) tersedia di area yang mudah dijangkau.

Pada tahap proses bongkar muatan, pemompaan harus dimulai dengan teknik ramping (*ramp-up*), yaitu memulai pemompaan dengan kecepatan rendah untuk menghindari lonjakan tekanan yang dapat merusak sistem. Selama pemompaan, tekanan dan aliran kargo di manifold dan sistem perpipaan harus terus dipantau untuk memastikan tidak ada kebocoran atau gangguan lainnya. Laju pemompaan juga harus disesuaikan dengan kapasitas terminal penerima agar proses pemindahan berlangsung lancar. Pengendalian tekanan dan flow rate dilakukan dengan menyesuaikan kecepatan pompa secara bertahap untuk menjaga stabilitas sistem. Sistem stripping digunakan untuk mengosongkan tangki dari sisa kargo yang tertinggal. Selain itu, keamanan juga sangat diperhatikan dengan memastikan penggunaan alat deteksi gas untuk memantau uap berbahaya, serta memastikan kru menggunakan alat pelindung diri (APD) yang sesuai dengan standar keselamatan.

Pada tahap penyelesaian bongkar muatan dan tindakan akhir, pemompaan dihentikan dengan teknik ramping (*ramp-down*), di mana laju pemompaan dikurangi secara bertahap sebelum penghentian total. Untuk memastikan pipa kosong dari sisa kargo, dilakukan proses *line blowing* menggunakan udara tekan atau nitrogen. Setelah itu, pembersihan tangki dan sistem perpipaan dilakukan dengan cara melakukan tank stripping untuk menghilangkan residu kargo. Jika diperlukan, tangki juga dapat dibilas dengan air atau inert gas untuk memastikan tidak ada sisa kargo yang tertinggal. Terakhir, verifikasi akhir dilakukan untuk memastikan bahwa tidak ada kebocoran pada manifold dan pipa, serta mengukur tangki untuk memastikan tidak ada kargo yang tertinggal. Laporan bongkar muatan (*discharge report*) harus diisi dengan lengkap dan mendapatkan konfirmasi dari terminal

darat sebagai bukti bahwa proses bongkar muatan telah selesai dengan baik.

2. Tindakan Darurat dalam Bongkar Muatan

Kegiatan bongkar muatan di kapal tanker melibatkan berbagai risiko tinggi yang dapat membahayakan keselamatan kapal dan lingkungan, seperti tumpahan minyak, kebakaran, atau kegagalan sistem. Oleh karena itu, penting bagi kru kapal untuk mempersiapkan dan melaksanakan prosedur darurat dengan cepat dan tepat apabila terjadi insiden yang tidak diinginkan. Kebocoran atau Tumpahan Kargo menjadi salah satu risiko utama dalam proses bongkar muatan. Untuk mencegah tumpahan, kru harus memastikan bahwa manifold, valve, dan flange dipasang dengan benar sebelum pemompaan dimulai. Selain itu, penggunaan containment tray di bawah manifold dapat membantu menangkap tumpahan kecil yang mungkin terjadi. Jika tumpahan terjadi, tindakan darurat harus segera diambil dengan menutup katup pompa untuk menghentikan aliran kargo. Kru harus menggunakan oil spill kit untuk menyerap dan mengendalikan tumpahan, serta segera melaporkan kejadian tersebut kepada petugas darat dan otoritas terkait, agar tindakan lebih lanjut bisa dilakukan sesuai dengan prosedur keselamatan dan lingkungan yang berlaku.

Kebakaran atau Ledakan juga merupakan ancaman yang signifikan selama proses bongkar muatan, terutama ketika bahan yang dipompa adalah minyak atau bahan berbahaya lainnya. Untuk mencegah kebakaran atau ledakan, sangat penting untuk melarang penggunaan peralatan listrik atau sumber api terbuka di sekitar area bongkar muatan. Selain itu, penggunaan sistem inert gas untuk mengurangi risiko ledakan di tangki kosong dapat membantu menjaga keamanan. Jika terjadi kebakaran atau ledakan, langkah pertama adalah mengaktifkan sistem pemadam kebakaran otomatis jika tersedia. Untuk api kecil, alat pemadam api portabel bisa digunakan untuk mengendalikannya. Jika situasi semakin memburuk, alarm darurat harus diaktifkan, dan kru harus mengevakuasi area untuk menghindari bahaya lebih lanjut.

Kegagalan Sistem Pompa atau Perpipaan juga dapat terjadi, mengingat kompleksitas dan banyaknya komponen yang terlibat dalam sistem pemompaan kapal tanker. Untuk mencegah kegagalan sistem, inspeksi rutin terhadap pompa dan sistem perpipaan harus dilakukan

sebelum bongkar muatan dimulai. Kru juga harus memastikan bahwa ada pompa cadangan yang siap digunakan jika terjadi masalah dengan pompa utama. Jika kegagalan terjadi selama proses pemompaan, langkah darurat yang harus diambil adalah segera menghentikan pemompaan dan menutup semua katup untuk mencegah kebocoran lebih lanjut. Aliran kargo bisa dialihkan ke pompa cadangan jika memungkinkan. Jika masalah tidak dapat diatasi dengan cepat, kru harus segera meminta bantuan teknis dari pihak darat untuk melakukan perbaikan.

E. Soal Latihan

1. Jelaskan langkah-langkah utama dalam prosedur pemompaan dan stripping kargo di kapal tanker.
2. Sebutkan dan jelaskan fungsi dari *deck lines*, *stripping lines*, dan *crossovers* dalam sistem perpipaan kapal tanker.
3. Bagaimana cara mengontrol flow rate saat pemompaan kargo, dan mengapa hal ini penting untuk keselamatan operasional?
4. Apa saja isi dari checklist bongkar muatan, dan mengapa checklist ini penting untuk efisiensi serta keselamatan?
5. Jika terjadi tumpahan minyak selama bongkar muatan, jelaskan langkah-langkah tindakan darurat yang harus dilakukan oleh kru kapal tanker.



BAB XII
PENGAMANAN MUATAN DAN STABILITAS KAPAL

Kemampuan Akhir yang Diharapkan Mampu memahami terkait dengan teknik pengamanan muatan (*lashing, dunnage, shoring*), memahami dampak penempatan muatan terhadap stabilitas kapal, memahami perhitungan stabilitas kapal (GM, GZ, KG), serta memahami pencegahan pergerakan muatan (*cargo shift*) dalam pelayaran. Sehingga pembaca dapat memahami dan menerapkan teknik pengamanan muatan yang efektif, mengelola dampak penempatan muatan terhadap stabilitas kapal, melakukan perhitungan stabilitas kapal secara akurat, serta mencegah pergerakan muatan yang dapat membahayakan keselamatan kapal dalam pelayaran.
Materi Pembelajaran • Teknik Pengamanan Muatan (*Lashing, Dunnage, Shoring*) • Dampak Penempatan Muatan terhadap Stabilitas Kapal • Perhitungan Stabilitas Kapal (GM, GZ, KG) • Pencegahan Pergerakan Muatan (*Cargo Shift*) dalam Pelayaran • Soal Latihan

A. Teknik Pengamanan Muatan (*Lashing, Dunnage, Shoring*)

Pengamanan muatan di kapal merupakan aspek penting dalam operasi pelayaran untuk mencegah pergeseran muatan (*cargo shift*) yang dapat mempengaruhi stabilitas kapal. Menurut Hetherington *et al*. (2022), pengamanan muatan yang tidak memadai dapat menyebabkan kecelakaan serius, termasuk kapal miring atau terbalik (*capsizing*). Oleh karena itu, metode seperti lashing, dunnage, dan shoring digunakan untuk memastikan muatan tetap pada posisinya selama pelayaran.

1. *Lashing* (Pengikatan Muatan)

Lashing atau pengikatan muatan adalah metode penting untuk menjaga keamanan muatan selama proses pengangkutan kapal, dengan tujuan untuk mencegah pergerakan barang yang dapat menyebabkan kerusakan atau bahkan membahayakan keselamatan kapal dan kru. Proses ini melibatkan penggunaan tali, rantai, batang baja, atau perangkat pengikat lainnya yang diatur sedemikian rupa untuk menahan muatan tetap stabil di atas kapal. Agar pengikatan muatan efektif, sistem lashing harus memenuhi standar yang ditetapkan oleh IMO (*International Maritime Organization*) dan SOLAS (*Safety of Life at Sea*), yang memastikan keselamatan dalam kondisi laut yang ekstrem.

Ada beberapa jenis lashing yang digunakan dalam industri perkapalan, tergantung pada jenis muatan yang diangkut dan kebutuhan stabilitasnya. Salah satu jenis lashing yang paling umum adalah *Wire Rope Lashing*. Jenis ini menggunakan tali kawat baja yang kuat untuk mengikat kontainer atau muatan berat. *Wire rope* sangat ideal untuk menahan beban yang besar dan menjaga kestabilan muatan selama perjalanan laut. Kekuatan dan daya tahan kawat baja memberikan ketegangan yang diperlukan untuk menahan pergerakan barang yang lebih besar dan berat.

Chain Lashing adalah metode pengikatan yang menggunakan rantai baja. *Chain lashing* sering digunakan untuk menahan muatan besar seperti kendaraan, alat berat, atau mesin yang memerlukan pengikatan yang sangat kuat dan tahan lama. Rantai baja, dilengkapi dengan pengunci khusus, memberikan ketahanan terhadap beban yang berat dan tekanan selama pelayaran. Penggunaan chain lashing memberikan keuntungan dalam hal ketahanan terhadap keausan dan kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan dengan sistem pengikatan lainnya. Selain itu, *Webbing Lashing* menggunakan tali berbahan sintetis yang fleksibel dan ringan, membuatnya sangat cocok untuk pengikatan muatan yang lebih kecil dan sensitif. Jenis ini banyak digunakan untuk barang yang lebih rapuh atau barang yang perlu diikat dengan ketegangan yang lebih rendah. Keunggulan webbing lashing adalah kemudahan dalam pemasangan dan pembongkarannya, serta perlindungan terhadap permukaan muatan agar tidak tergores atau rusak.

Turnbuckle Lashing adalah sistem pengikatan yang menggunakan batang baja dengan mekanisme putar untuk

menyesuaikan ketegangan pengikat. Turnbuckle lashing sering digunakan untuk pengikatan muatan yang memerlukan penyesuaian ketegangan dengan presisi tinggi. Batang baja ini dilengkapi dengan mekanisme yang memungkinkan pengaturannya dengan mudah, memberikan kontrol yang lebih baik terhadap ketegangan tali yang digunakan dalam proses lashing.

2. *Dunnage* (Bantalan Muatan)

Dunnage adalah material yang digunakan untuk melindungi dan menopang muatan selama transportasi di atas kapal, guna memastikan keamanan dan stabilitas muatan sepanjang perjalanan. Tujuan utama dari penggunaan dunnage adalah untuk mengurangi gesekan antar muatan, mencegah kerusakan akibat guncangan atau tekanan, dan menjaga agar muatan tetap berada pada posisi yang aman di dek kapal. Dalam konteks pengangkutan kargo curah (*bulk cargo*) dan barang kemasan, dunnage berperan sangat penting dalam menghindari kerusakan yang disebabkan oleh pergerakan barang selama pelayaran, seperti gesekan atau penumpukan tekanan pada bagian tertentu dari muatan. Sebagaimana yang dijelaskan oleh Stopford (2023), penggunaan dunnage sangat menentukan dalam memastikan bahwa muatan sampai di tujuan dalam kondisi yang baik.

Beberapa jenis dunnage yang umum digunakan dalam industri perkapalan antara lain *Wood Dunnage, Plastic Dunnage, Inflatable Dunnage Bags*, dan *Foam Dunnage*. *Wood Dunnage* adalah jenis bantalan yang paling tradisional, menggunakan kayu sebagai material utama. Kayu digunakan untuk memisahkan muatan dari dek kapal dan memberikan bantalan yang dapat mengurangi tekanan langsung pada muatan, terutama pada muatan curah seperti biji-bijian, batu bara, atau bahan kimia. Selain itu, kayu juga dapat membantu menstabilkan muatan, mencegah pergeseran selama pelayaran yang dapat merusak barang.

Plastic Dunnage menawarkan beberapa keuntungan dibandingkan kayu, terutama dalam hal ketahanan terhadap kelembapan. Plastik tidak mudah rusak oleh air atau kondisi cuaca yang lembap, menjadikannya pilihan yang lebih tahan lama dan lebih higienis dalam beberapa aplikasi. Plastic dunnage juga lebih ringan dan mudah dipasang, serta dapat digunakan kembali setelah pelayaran, mengurangi pemborosan dan dampak lingkungan. *Inflatable Dunnage*

Bags adalah jenis bantalan yang semakin populer dalam pengangkutan barang yang lebih sensitif, seperti barang kemasan dan peralatan elektronik. Kantong udara ini diisi dengan udara atau gas lainnya untuk mengisi celah-celah di antara muatan dan menjaga agar barang tetap stabil dan tidak bergerak selama perjalanan. *Inflatable dunnage* juga memudahkan proses penyesuaian dan pengaturan ruang kosong di antara muatan, serta memberikan perlindungan ekstra terhadap guncangan dan getaran yang terjadi selama pelayaran.

Foam Dunnage, yang terbuat dari busa, digunakan untuk melindungi barang-barang sensitif seperti elektronik, peralatan rumah tangga, atau barang pecah belah. *Foam dunnage* memberikan bantalan yang lembut namun kokoh, membantu menyerap benturan dan guncangan yang mungkin terjadi selama proses bongkar muatan atau pelayaran. Busa ini juga ringan, mudah dipasang, dan memberikan perlindungan yang efektif untuk barang-barang dengan bentuk atau ukuran yang tidak teratur.

3. *Shoring* (Penyangga Muatan)

Shoring adalah metode pengamanan yang digunakan untuk menstabilkan dan menahan muatan agar tidak bergeser atau jatuh selama pelayaran. Teknik ini sangat penting, terutama untuk pengangkutan barang berat atau barang yang memiliki bentuk tidak beraturan, yang lebih rentan terhadap pergerakan selama perjalanan. Tanpa pengamanan yang tepat, muatan yang bergeser dapat merusak barang itu sendiri atau bahkan membahayakan keselamatan kapal dan kru. Oleh karena itu, shoring berfungsi untuk memastikan bahwa muatan tetap aman dan stabil sepanjang perjalanan, mengurangi risiko kerusakan akibat guncangan atau pergerakan yang tidak terkendali.

Ada beberapa jenis shoring yang umum digunakan, antara lain *Vertical Shoring*, *Horizontal Shoring*, dan *Diagonal Shoring. Vertical Shoring* adalah metode di mana penyangga ditempatkan secara vertikal, baik di bagian depan, belakang, maupun tengah muatan. Tujuan utama dari teknik ini adalah untuk menahan tekanan dari atas ke bawah, menghindari pergeseran atau terjatuhnya muatan yang disebabkan oleh gravitasi. *Vertical shoring* sangat efektif untuk mengamankan muatan yang memiliki tinggi lebih dari panjangnya, seperti tumpukan barang berat yang dapat terjepit atau bergeser jika tidak ada penyangga vertikal yang cukup kuat.

Horizontal Shoring adalah metode di mana penyangga ditempatkan secara horizontal di sisi muatan. Teknik ini berfungsi untuk mencegah pergerakan atau pergeseran muatan ke samping selama pelayaran. Horizontal shoring umumnya digunakan untuk barang yang memiliki bentuk yang lebih panjang dan berat, seperti kendaraan atau alat berat, yang dapat terbalik atau terjatuh jika tidak ditopang dengan penyangga horizontal. Metode ini memastikan bahwa muatan tetap berada di posisi yang aman, mencegah terjadinya gesekan yang dapat merusak barang atau kapal.

Diagonal Shoring adalah kombinasi antara penyangga vertikal dan horizontal untuk memberikan stabilitas tambahan pada muatan. Dalam teknik ini, penyangga diagonal ditempatkan dengan sudut tertentu, yang menggabungkan efek penahan tekanan vertikal dengan pengamanan lateral horizontal. Diagonal shoring sering digunakan untuk muatan yang lebih kompleks, seperti barang-barang dengan bentuk yang tidak teratur atau tumpukan yang membutuhkan dukungan tambahan dari berbagai arah. Dengan cara ini, diagonal shoring memberikan stabilitas yang lebih baik dan meminimalkan potensi pergeseran muatan yang dapat mengganggu keseimbangan kapal.

B. Dampak Penempatan Muatan terhadap Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal sangat dipengaruhi oleh cara muatan ditempatkan di dalam ruang penyimpanan. Posisi, distribusi berat, dan keseimbangan muatan dapat menentukan apakah kapal akan beroperasi dengan aman atau mengalami masalah stabilitas yang berisiko, seperti kemiringan (*listing*), oleng (*rolling*), atau bahkan terbalik (*capsizing*). Menurut Stopford (2023), prinsip dasar stabilitas kapal berkaitan erat dengan pusat gravitasi (*center of gravity*), pusat apung (*center of buoyancy*), dan momen keseimbangan (*righting moment*).

1. Prinsip Stabilitas Kapal dalam Hubungan dengan Penempatan Muatan

Stabilitas kapal adalah faktor kritikal yang memastikan kapal dapat beroperasi dengan aman dan efisien selama pelayaran. Stabilitas ini sangat bergantung pada keseimbangan antara pusat gravitasi (G) kapal dan pusat apung (B). Dua parameter utama yang menentukan stabilitas kapal adalah *Metacentric Height* (GM) dan *Righting Arm*

(GZ), yang keduanya berperan penting dalam mengatur bagaimana kapal merespons pergerakan atau gaya luar yang dapat mengganggu posisinya di air. *Metacentric Height* (GM) adalah jarak antara pusat gravitasi kapal (G) dan titik metacentric (M). Titik metacentric (M) adalah titik teoritis di mana kapal akan bergeser jika terhuyung atau miring. Semakin besar nilai GM, semakin cepat kapal akan kembali ke posisi tegaknya setelah miring. Ini menunjukkan seberapa mudah kapal dapat kembali ke posisi stabil setelah mengalami gangguan, seperti gelombang atau angin kencang. Dengan kata lain, kapal dengan GM yang lebih tinggi lebih stabil dan lebih mampu bertahan terhadap perubahan sudut kemiringan.

Righting Arm (GZ) adalah jarak horizontal antara pusat gravitasi (G) dan garis gaya apung, yang memengaruhi kekuatan kapal dalam menahan gaya miring. Semakin besar GZ, semakin besar pula kemampuan kapal untuk melawan pergerakan miring. *Righting Arm* ini bekerja untuk mengembalikan kapal ke posisi semula dengan memberikan gaya yang menentang kecenderungan kapal untuk miring lebih jauh. Jika kapal miring, GZ akan menciptakan gaya yang menstabilkan kapal dan membantunya kembali ke posisi tegak. Selain itu, *Vertical Center of Gravity* (KG) merupakan posisi vertikal dari pusat gravitasi kapal yang memengaruhi kecenderungan kapal untuk stabil. Jika KG terlalu tinggi, stabilitas kapal akan menurun karena kapal akan lebih mudah miring saat terkena gaya luar. Sebaliknya, jika KG terlalu rendah, kapal bisa menjadi terlalu kaku dan sulit untuk bergerak atau beradaptasi dengan kondisi laut yang bergelombang.

Penempatan muatan pada kapal sangat berpengaruh terhadap stabilitas ini. Jika muatan ditempatkan terlalu tinggi, pusat gravitasi kapal (G) akan naik, mengurangi nilai GM, dan membuat kapal lebih rentan terhadap kemiringan. Dalam kondisi ini, kapal akan lebih mudah terbalik atau kehilangan keseimbangan ketika terjadi guncangan atau pergerakan. Sebaliknya, jika muatan diletakkan terlalu rendah, meskipun kapal menjadi lebih stabil, kapal bisa menjadi terlalu kaku, dan gerakannya di air bisa terbatas, menjadikannya sulit untuk mengatasi gelombang atau kondisi laut yang berubah-ubah. Oleh karena itu, penempatan muatan harus dilakukan dengan hati-hati untuk menjaga keseimbangan yang tepat antara stabilitas dan kelincahan kapal.

2. Dampak Penempatan Muatan terhadap Stabilitas Kapal

Penempatan muatan pada kapal memiliki dampak yang signifikan terhadap stabilitas kapal selama pelayaran. Distribusi berat muatan yang tidak merata dapat menimbulkan berbagai masalah serius yang memengaruhi kinerja dan keselamatan kapal. Salah satu dampak utama dari distribusi berat yang tidak seimbang adalah kapal miring (*listing*), di mana kapal akan cenderung condong ke satu sisi jika muatan lebih berat pada sisi tersebut. Hal ini mengurangi kemampuan kapal untuk dikendalikan dan meningkatkan risiko kecelakaan. Selain itu, trim berlebihan (*too much trim*) dapat terjadi ketika muatan terlalu berat di bagian depan (*bow trim*) atau belakang (*stern trim*) kapal. Kondisi ini mengganggu efisiensi hidrodinamis kapal, menyebabkan kapal bergerak lebih lambat dan meningkatkan konsumsi bahan bakar. Menurut Hetherington *et al*. (2022), distribusi berat yang tidak tepat juga dapat mempengaruhi kemampuan kapal untuk menghadapi gelombang besar, yang meningkatkan risiko kerusakan struktural pada kapal akibat tekanan yang tidak merata.

Free surface effect (efek permukaan bebas) adalah fenomena yang terjadi pada muatan cair, seperti minyak atau bahan kimia dalam tangki penyimpanan. Ketika cairan bergerak bebas dalam tangki, pergerakannya dapat mengubah posisi pusat gravitasi kapal, yang menurunkan *metacentric height* (GM) dan mengurangi stabilitas kapal. Kapal yang terkena efek permukaan bebas menjadi lebih mudah miring dan kehilangan keseimbangan. Oleh karena itu, untuk mengurangi efek ini, tangki penyimpanan biasanya dilengkapi dengan sekat (*baffles*) untuk membatasi pergerakan cairan dan menjaga kestabilan kapal. Penelitian oleh Zhou *et al*. (2023) mengungkapkan bahwa penggunaan sekat dapat membantu menjaga metacentric height tetap stabil dan mengurangi risiko kehilangan stabilitas akibat pergerakan cairan dalam tangki.

Satu lagi masalah yang dapat terjadi akibat penempatan muatan yang tidak tepat adalah *cargo shift* (pergeseran muatan). Pergeseran muatan terjadi ketika barang-barang di kapal tidak diamankan dengan baik, sehingga bisa bergerak saat kapal bergerak dalam kondisi laut bergelombang. Pergeseran muatan ini dapat menyebabkan kehilangan stabilitas dinamis, di mana kapal tidak bisa kembali ke posisi tegak setelah miring. Dalam kasus yang lebih parah, pergeseran muatan dalam cuaca ekstrem dapat menyebabkan risiko *capsizing* (terbaliknya

kapal). Oleh karena itu, sangat penting untuk menggunakan teknik pengamanan yang tepat, seperti lashing, dunnage, dan shoring, untuk memastikan muatan tetap stabil dan tidak bergeser selama pelayaran. Menurut *International Maritime Organization* (IMO) pada tahun 2022, teknik-teknik ini penting untuk mencegah pergeseran muatan dan menjaga keselamatan kapal.

3. Strategi Penempatan Muatan yang Aman

Strategi penempatan muatan yang aman sangat penting untuk memastikan stabilitas kapal selama pelayaran. Salah satu prinsip dasar yang harus diperhatikan adalah menjaga pusat gravitasi rendah. Dengan menempatkan muatan berat di bagian bawah kapal, stabilitas kapal dapat ditingkatkan. Pusat gravitasi yang rendah membuat kapal lebih stabil dan mengurangi risiko terbalik atau miring akibat perubahan kondisi laut. Oleh karena itu, barang-barang yang berat seperti mesin atau kendaraan harus diletakkan di dek bawah untuk menjaga keseimbangan dan mencegah pergerakan yang bisa membahayakan kapal. Selain itu, distribusi muatan yang merata juga sangat penting untuk mencegah kapal miring atau listing. Muatan harus disebar secara seimbang di seluruh kapal, baik dari sisi ke sisi maupun dari depan ke belakang. Muatan yang terkonsentrasi pada satu sisi atau bagian kapal dapat menyebabkan ketidakseimbangan, yang membuat kapal lebih sulit dikendalikan dan meningkatkan risiko kecelakaan. Oleh karena itu, penting untuk memeriksa dan merencanakan penempatan muatan sebelum kapal berangkat untuk memastikan bahwa distribusinya seimbang dan stabil.

Strategi selanjutnya adalah menghindari trim berlebihan, yaitu ketika muatan terlalu berat di bagian depan (*bow trim*) atau belakang (*stern trim*) kapal. Perhitungan beban yang tepat harus dilakukan untuk memastikan bahwa bagian depan dan belakang kapal memiliki keseimbangan yang optimal. Trim yang berlebihan dapat mengurangi efisiensi hidrodinamis kapal, menyebabkan kapal bergerak lebih lambat dan meningkatkan konsumsi bahan bakar. Selain itu, kondisi ini juga dapat menurunkan kemampuan kapal dalam menghadapi gelombang besar dan meningkatkan ketidaknyamanan serta risiko kerusakan struktural. Untuk mengurangi free surface effect atau efek permukaan bebas, muatan cair seperti minyak atau bahan kimia dalam tangki penyimpanan harus diatur dengan hati-hati. Efek ini terjadi ketika

cairan bergerak bebas di dalam tangki, mengubah pusat gravitasi kapal dan menurunkan stabilitas. Untuk mencegah hal ini, tangki penyimpanan harus diisi dengan benar dan dilengkapi dengan sekat internal atau baffles yang membatasi pergerakan cairan. Dengan cara ini, pergerakan cairan yang berlebihan dapat dikendalikan, menjaga metacentric height kapal tetap stabil dan mengurangi risiko kehilangan stabilitas.

Menggunakan sistem pengamanan muatan adalah langkah yang tidak kalah penting. Muatan harus diamankan dengan baik untuk mencegah pergeseran selama pelayaran. Teknik pengamanan seperti lashing, shoring, dan dunnage harus diterapkan dengan benar untuk menjaga muatan tetap pada posisinya, terutama dalam kondisi laut bergelombang. Lashing menggunakan tali, rantai, atau batang baja untuk mengikat muatan, sementara shoring menggunakan penyangga untuk mencegah pergerakan muatan. Penggunaan teknik-teknik ini sangat penting untuk menghindari pergeseran muatan yang dapat merusak stabilitas kapal dan mengancam keselamatan pelayaran.

C. Perhitungan Stabilitas Kapal (GM, GZ, KG)

Stabilitas kapal adalah faktor kunci dalam keselamatan dan kinerja operasional kapal. Perhitungan stabilitas kapal melibatkan beberapa parameter utama, termasuk *Metacentric Height* (GM), *Righting Arm* (GZ), dan *Vertical Center of Gravity* (KG). Parameter ini menentukan bagaimana kapal merespons gelombang, distribusi muatan, dan gaya eksternal selama pelayaran. Menurut Rawson & Tupper (2023), memahami dan menghitung faktor-faktor ini sangat penting untuk memastikan kapal tetap dalam kondisi seimbang dan aman.

1. *Metacentric Height* (GM)

Metacentric Height (GM) adalah salah satu parameter penting dalam menentukan stabilitas kapal. GM dihitung dengan mengukur perbedaan antara titik metacentric (M) dan pusat gravitasi (G) kapal. Titik metacentric adalah titik di mana gaya apung bertindak ketika kapal miring, sementara pusat gravitasi adalah titik di mana seluruh massa kapal dianggap terkonsentrasi. Jarak vertikal dari dasar kapal ke titik metacentric disebut sebagai KM, sementara jarak vertikal dari dasar kapal ke pusat gravitasi disebut KG. Rumus untuk menghitung

GM adalah GM = KM - KG. Nilai GM yang besar menunjukkan bahwa kapal memiliki stabilitas yang lebih baik. Kapal dengan GM yang besar cenderung memiliki kemampuan untuk kembali ke posisi tegak setelah miring, yang berarti kapal tersebut lebih stabil. Hal ini sangat penting untuk menjaga keselamatan kapal dan muatan, terutama dalam kondisi laut yang bergelombang. Sebaliknya, kapal dengan nilai GM yang kecil cenderung lebih mudah miring dan bahkan bisa terbalik (*capsizing*), yang tentunya sangat berbahaya.

Meskipun GM yang besar menunjukkan stabilitas yang lebih baik, jika nilai GM terlalu besar, kapal bisa menjadi terlalu kaku dan tidak nyaman. Kapal dengan GM yang terlalu tinggi akan mengalami guncangan yang lebih keras saat menghadapi gelombang, yang dapat mengganggu kenyamanan awak kapal dan juga dapat menyebabkan kerusakan pada muatan. Oleh karena itu, meskipun stabilitas kapal sangat penting, keseimbangan yang tepat harus dicapai agar kapal tetap stabil namun tidak terlalu kaku. Jika nilai GM positif, kapal akan memiliki stabilitas yang baik, cenderung kembali ke posisi tegak setelah miring, dan lebih mudah dikendalikan. Sebaliknya, jika nilai GM negatif, maka kapal akan memiliki ketidakstabilan yang tinggi, dan pergerakan kapal akan lebih sulit dikendalikan, meningkatkan risiko terbalik. Dalam kondisi seperti ini, kapal tidak dapat dengan efektif menahan gaya miring, yang sangat berbahaya terutama dalam kondisi cuaca buruk atau gelombang tinggi.

2. *Righting Arm* (GZ)

Righting Arm (GZ) adalah salah satu indikator penting dalam menilai stabilitas kapal. GZ mengukur jarak horizontal antara pusat gravitasi (G) kapal dan garis aksi gaya apung pada saat kapal miring. Konsep ini sangat penting untuk memahami seberapa efektif kapal dapat kembali ke posisi tegak setelah mengalami kemiringan, baik akibat gelombang, pergeseran muatan, atau perubahan lain yang menyebabkan kapal miring. Rumus untuk menghitung GZ adalah $GZ = GM \times \sin(\theta)$, di mana GM adalah Metacentric Height (tinggi metacentric) dan θ adalah sudut kemiringan kapal dalam derajat. Semakin besar nilai GM, semakin besar nilai GZ yang dapat dicapai, yang berarti kapal lebih stabil dan memiliki daya pulih (righting moment) yang lebih baik. Righting moment adalah gaya yang membantu kapal kembali ke posisi tegak setelah miring, dan ini

merupakan aspek penting dalam menjaga keselamatan kapal, awak kapal, dan muatan.

Jika kapal miring karena gelombang atau pergeseran muatan, nilai GZ yang besar menunjukkan bahwa kapal memiliki kemampuan yang lebih baik untuk kembali ke posisi tegak. Hal ini karena semakin besar GZ, semakin besar pula gaya yang diterapkan oleh kapal untuk melawan kemiringan dan kembali ke posisi yang stabil. Sebaliknya, jika nilai GZ terlalu kecil, kapal mungkin tidak cukup kuat untuk mengembalikan dirinya ke posisi tegak, sehingga meningkatkan risiko terbalik (*capsizing*). GZ juga dipengaruhi oleh sudut kemiringan kapal (θ). Ketika kapal miring, GZ akan berubah sesuai dengan besar sudut kemiringannya. Pada sudut kemiringan yang lebih kecil, GZ biasanya lebih besar, memberikan kapal kemampuan untuk kembali ke posisi tegak dengan lebih mudah. Namun, saat sudut kemiringan semakin besar, GZ akan menurun, dan jika sudut kemiringan terlalu besar, kapal bisa mencapai titik di mana righting moment tidak lagi efektif, yang dapat menyebabkan kapal terbalik.

3. *Vertical Center of Gravity* (KG)

Vertical Center of Gravity (KG) adalah jarak vertikal antara dasar kapal dan pusat gravitasi kapal. Posisi KG sangat penting dalam menentukan stabilitas kapal karena semakin tinggi posisi KG, semakin kecil nilai *Metacentric Height* (GM), yang pada akhirnya mengurangi stabilitas kapal. Sebaliknya, jika KG terlalu rendah, kapal bisa menjadi terlalu kaku dan sulit untuk dikendalikan dalam kondisi laut yang bergelombang. Oleh karena itu, pengelolaan posisi KG sangat krusial untuk memastikan bahwa kapal tetap stabil dalam perjalanan. Beberapa faktor mempengaruhi posisi KG kapal. Salah satu faktor utama adalah distribusi muatan. Muatan yang diletakkan terlalu tinggi akan menaikkan posisi KG, sehingga mengurangi stabilitas kapal. Hal ini dapat terjadi apabila muatan berat ditempatkan di dek atas kapal atau jika muatan tersebut tidak didistribusikan dengan baik. Distribusi muatan yang tidak merata ini menyebabkan perubahan dalam pusat gravitasi kapal, yang dapat menambah risiko ketidakstabilan, terutama dalam kondisi laut yang tidak menentu.

Faktor lain yang mempengaruhi KG adalah penggunaan ballast, seperti air ballast yang sering digunakan pada kapal. Ballast digunakan untuk menurunkan posisi KG kapal dengan menambah berat di bagian

bawah kapal, sehingga meningkatkan GM dan stabilitas kapal. Air ballast ini biasanya ditempatkan di bagian bawah lambung kapal atau di ruang-ruang khusus yang didesain untuk itu. Dengan menurunkan KG, kapal menjadi lebih stabil dan lebih mampu menghadapi gelombang besar atau kondisi laut yang ekstrem. Selain itu, pergerakan muatan yang tidak stabil atau bergeser selama pelayaran juga dapat mengubah posisi KG kapal. Jika muatan bergeser, misalnya karena tidak diamankan dengan baik, pusat gravitasi kapal akan berubah, yang mengubah stabilitas kapal. Dalam hal ini, lashing, dunnage, dan shoring sangat penting untuk menjaga agar muatan tetap di posisi yang aman dan tidak mengganggu keseimbangan kapal.

Perhitungan posisi KG yang tepat sangat penting untuk menjaga stabilitas kapal, terutama saat ada penambahan atau pengurangan muatan. Rumus perubahan KG akibat penambahan muatan adalah sebagai berikut:

$$KG_{baru} = \frac{(KG_{lama} \times W_{lama}) + (KG_{muatan} \times W_{muatan})}{W_{total}}$$

Di mana:

- KG_{lama} adalah posisi KG sebelum penambahan muatan,
- W_{lama} adalah berat kapal sebelum penambahan muatan,
- KG_{muatan} adalah posisi KG dari muatan yang ditambahkan,
- W_{muatan} adalah berat muatan yang ditambahkan,
- W_{total} adalah berat total kapal setelah penambahan muatan.

Menurut Stopford (2023), perhitungan KG yang akurat sangat penting untuk memastikan bahwa kapal tetap stabil ketika muatan ditambah atau dikurangi. Sebagai contoh, jika kapal menambah muatan berat di bagian atas, perhitungan ulang KG dan GM akan membantu pengelola kapal untuk memastikan kapal tetap stabil dan aman untuk berlayar. Dengan memperhatikan faktor-faktor ini, kapal dapat beroperasi dengan efisien dan aman dalam berbagai kondisi perairan.

4. Hubungan GM, GZ, dan KG dalam Stabilitas Kapal

Hubungan antara *Metacentric Height* (GM), *Righting Arm* (GZ), dan *Vertical Center of Gravity* (KG) sangat penting dalam menentukan stabilitas kapal, karena ketiga parameter ini saling

berinteraksi untuk mempengaruhi bagaimana kapal berperilaku di laut. GM adalah ukuran dari stabilitas awal kapal, yang dihitung sebagai jarak vertikal antara titik *metacentric* (M) dan pusat gravitasi (G). Semakin besar nilai GM, semakin besar pula nilai GZ, yang berarti kapal memiliki daya pulih yang lebih baik ketika mengalami kemiringan. Daya pulih ini sangat penting untuk menjaga kapal tetap tegak setelah terpapar gaya miring akibat gelombang atau pergeseran muatan.

Perubahan pada posisi KG dapat mempengaruhi stabilitas kapal secara signifikan. Jika KG naik, seperti ketika muatan ditempatkan terlalu tinggi, maka nilai GM akan turun. Penurunan GM ini menyebabkan kapal menjadi lebih labil dan lebih mudah miring, mengurangi kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah terbalik. Hal ini berisiko menyebabkan kapal kehilangan stabilitas, terutama dalam kondisi cuaca yang buruk atau gelombang besar. Sebaliknya, jika KG ditempatkan lebih rendah, maka GM akan meningkat, membuat kapal lebih stabil dan mampu menghadapi kondisi laut yang lebih ekstrem. GZ, yang merupakan jarak horizontal antara pusat gravitasi dan garis aksi gaya apung saat kapal miring, juga berperan penting dalam stabilitas. GZ menentukan kekuatan kapal dalam menahan kemiringan dan memberikan kapal kemampuan untuk kembali ke posisi tegak setelah miring. Namun, jika nilai GZ terlalu kecil dalam sudut kemiringan tertentu, kapal berisiko tidak mampu kembali ke posisi semula setelah kemiringan. Hal ini dapat meningkatkan risiko kapal terbalik (*capsizing*) jika terjadi pergerakan muatan yang tidak terkontrol atau cuaca ekstrem yang menyebabkan kapal miring lebih jauh.

Menurut *International Maritime Organization* (IMO, 2022), kapal harus memiliki nilai GM dan GZ yang memadai untuk dapat beroperasi dalam berbagai kondisi cuaca dan gelombang. Agar kapal tetap stabil, perlu diperhatikan penempatan muatan yang optimal, sehingga pusat gravitasi kapal tetap rendah dan distribusi muatan merata. Dengan pengelolaan yang tepat terhadap ketiga parameter ini, kapal dapat menghindari kondisi ketidakstabilan dan meningkatkan keselamatan serta efisiensi operasional. Oleh karena itu, perhitungan yang cermat terkait GM, GZ, dan KG menjadi krusial dalam desain kapal dan selama operasi pelayaran.

5. Penerapan Perhitungan Stabilitas dalam Operasi Kapal

Penerapan perhitungan stabilitas kapal, yang melibatkan pengukuran *Metacentric Height* (GM), *Righting Arm* (GZ), dan *Vertical Center of Gravity* (KG), sangat penting dalam berbagai aspek operasional kapal untuk memastikan keselamatan dan efisiensi operasional selama pelayaran. Salah satu penerapan utama dari perhitungan stabilitas adalah dalam perencanaan pemuatan dan pembongkaran kargo. Distribusi muatan yang tepat sangat krusial agar berat kapal tetap terdistribusi secara merata dan pusat gravitasi (KG) tetap terjaga pada posisi yang stabil. Hal ini akan mencegah kapal miring (*listing*) atau kehilangan keseimbangan yang dapat terjadi akibat pemuatan yang tidak merata. Dalam perencanaan ini, operator kapal harus memastikan bahwa beban muatan ditempatkan dengan hati-hati untuk menghindari perubahan besar pada GM yang dapat mengurangi daya pulih kapal.

Penggunaan ballast atau pemberat juga berperan penting dalam stabilitas kapal. Ballast digunakan untuk menyesuaikan nilai GM dan meningkatkan stabilitas kapal, terutama dalam kondisi muatan kosong atau saat kapal membawa muatan ringan. Pemasangan ballast yang tepat dapat membantu menjaga keseimbangan kapal dengan menurunkan pusat gravitasi (KG), sehingga kapal lebih stabil dan lebih tahan terhadap gelombang besar. Sebaliknya, tanpa ballast yang tepat, kapal bisa lebih rentan terhadap kemiringan dan berisiko kehilangan keseimbangan, terutama dalam cuaca buruk atau ketika kapal terpapar gelombang tinggi.

Manajemen muatan cair juga menjadi faktor yang sangat penting dalam mempertahankan stabilitas kapal. Muatan cair, seperti bahan kimia atau minyak dalam tangki penyimpanan, dapat menyebabkan efek permukaan bebas (*free surface effect*), yang mengubah posisi pusat gravitasi kapal. Hal ini dapat menurunkan nilai GM, mengurangi daya pulih kapal, dan membuatnya lebih rentan terhadap pergeseran muatan atau miring. Oleh karena itu, untuk mengurangi efek permukaan bebas, tangki penyimpanan biasanya dilengkapi dengan sekat-sekat (*baffles*) yang membatasi pergerakan cairan di dalam tangki, serta memastikan bahwa tangki diisi dengan cara yang tepat agar kestabilan kapal tetap terjaga.

Menurut Bryant *et al*. (2022), pemahaman yang baik tentang perhitungan stabilitas kapal dan penerapannya secara tepat dapat

mengurangi risiko kecelakaan yang terjadi akibat ketidakstabilan kapal, seperti terbaliknya kapal (*capsizing*), broaching (kehilangan kendali saat kapal miring), atau kehilangan keseimbangan akibat pergeseran muatan (*shifting cargo*). Penerapan perhitungan ini tidak hanya penting pada saat perencanaan, tetapi juga harus terus diperhatikan selama operasional kapal, terutama dalam menghadapi kondisi cuaca yang berubah-ubah dan di tengah pergerakan muatan yang dinamis. Dengan memperhatikan stabilitas kapal melalui perhitungan yang akurat dan langkah-langkah pencegahan yang tepat, risiko kecelakaan dapat diminimalkan, meningkatkan keselamatan serta efisiensi operasional kapal.

D. Pencegahan Pergerakan Muatan (*Cargo Shift*) dalam Pelayaran

Pergerakan muatan (*cargo shift*) selama pelayaran merupakan salah satu faktor risiko utama yang dapat menyebabkan ketidakstabilan kapal, bahkan mengakibatkan kecelakaan serius seperti kapal miring berlebihan (*listing*) atau terbalik (*capsizing*). Oleh karena itu, pencegahan pergerakan muatan menjadi aspek krusial dalam manajemen stabilitas kapal. Menurut IMO (2022), strategi pencegahan cargo shift harus mencakup metode pengamanan muatan yang efektif, distribusi muatan yang optimal, serta pemantauan kondisi kapal selama perjalanan.

1. Penyebab Pergerakan Muatan

Pergerakan muatan dalam kapal dapat disebabkan oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi dan mempengaruhi kestabilan kapal. Salah satu faktor utama adalah gaya guling (*rolling*) dan gaya mengangguk (*pitching*), yang terjadi ketika kapal bergerak melalui gelombang laut. Gelombang tinggi atau pergerakan kapal yang tidak stabil dapat menyebabkan muatan berpindah tempat. Gaya guling merujuk pada gerakan kapal yang bergoyang dari sisi ke sisi, sementara gaya mengangguk terjadi saat kapal bergerak naik dan turun dalam arah vertikal. Kedua gaya ini menyebabkan perubahan posisi muatan yang bisa memengaruhi keseimbangan kapal dan berpotensi menyebabkan kapal miring atau kehilangan stabilitas.

Efek *free surface* pada muatan cair juga menjadi faktor penyebab pergerakan muatan, terutama pada kapal tanker yang membawa muatan cair. Efek *free surface* terjadi ketika cairan dalam tangki bergerak bebas, mengubah posisi pusat gravitasi kapal dan mengurangi stabilitasnya. Gerakan cairan yang tidak terkendali dalam tangki dapat menyebabkan kapal lebih mudah miring atau bahkan kehilangan keseimbangan. Oleh karena itu, untuk mengurangi efek ini, tangki penyimpanan di kapal biasanya dilengkapi dengan sekat-sekat (*baffles*) untuk mengendalikan pergerakan cairan, serta memastikan bahwa tangki diisi dengan benar dan tidak menambah ketidakstabilan kapal.

Penyimpanan muatan yang tidak aman juga merupakan salah satu penyebab utama pergerakan muatan. Jika muatan tidak terikat dengan baik atau disusun dengan cara yang tidak sesuai, maka muatan tersebut bisa bergeser akibat getaran atau hentakan mendadak yang terjadi selama pelayaran. Pergerakan muatan ini bisa merusak struktur kapal, menyebabkan perubahan keseimbangan, atau bahkan menyebabkan muatan terjatuh. Oleh karena itu, pengamanan muatan dengan menggunakan teknik seperti lashing, shoring, dan dunnage sangat penting untuk mencegah pergeseran muatan yang dapat membahayakan keselamatan kapal.

Faktor terakhir yang berperan dalam pergerakan muatan adalah distribusi berat yang tidak merata. Ketika muatan tidak ditempatkan secara seimbang, misalnya lebih berat di satu sisi atau bagian depan kapal, kapal menjadi lebih rentan terhadap kemiringan yang berlebihan. Kondisi ini bisa memperburuk stabilitas kapal dan meningkatkan risiko terbalik atau kehilangan keseimbangan dalam kondisi laut yang bergelombang. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa muatan didistribusikan dengan baik di seluruh kapal, mempertimbangkan posisi dan berat masing-masing kargo agar stabilitas kapal tetap terjaga.

2. Teknik Pencegahan Cargo Shift

Teknik pencegahan pergeseran muatan (*cargo shift*) sangat penting untuk memastikan keselamatan kapal, awak kapal, dan kargo selama pelayaran. Salah satu teknik utama dalam pengamanan muatan adalah pengikatan atau *lashing*. Lashing dilakukan dengan mengikat muatan menggunakan tali, rantai, atau kawat baja untuk mencegah

pergerakan lateral (ke samping) dan longitudinal (ke depan atau belakang). Dengan menggunakan lashing, muatan dapat diamankan secara erat, sehingga mencegahnya bergeser akibat getaran atau guncangan kapal. Selain itu, teknik *dunnage* juga diterapkan untuk mengisi celah kosong di antara muatan agar tetap stabil. Dunnage dapat berupa bahan penyekat seperti kayu, karet, atau bahan sintetis lainnya yang mencegah pergerakan muatan. Sedangkan *shoring* adalah pemasangan penopang kayu atau baja di sepanjang muatan untuk memberikan tambahan kekuatan terhadap tekanan dari berbagai arah. Menurut Stopford (2023), kombinasi antara ketiga teknik ini sangat efektif dalam mencegah pergeseran muatan, terutama dalam kondisi laut yang bergelombang dan cuaca yang buruk.

Pada kapal tanker yang mengangkut muatan cair, pengelolaan efek permukaan bebas (*free surface effect*) sangat penting untuk menjaga stabilitas kapal. *Free surface effect* terjadi ketika cairan dalam tangki bergerak bebas, mengubah posisi pusat gravitasi kapal dan mengurangi stabilitasnya. Untuk mengatasi masalah ini, pengisian tangki secara penuh atau kosong sangat dianjurkan. Jika tangki diisi hanya sebagian, cairan dalam tangki akan bergerak bebas, meningkatkan efek permukaan bebas yang bisa membahayakan keseimbangan kapal. Untuk mengurangi pergerakan cairan, pemasangan *baffle plates* atau sekat-sekat di dalam tangki juga dapat membantu membatasi pergerakan cairan dalam jumlah besar. Selain itu, sistem *stripping* yang digunakan untuk menguras sisa cairan di dasar tangki juga sangat penting untuk mencegah cairan bergerak berlebihan dan memengaruhi stabilitas kapal. Menurut IMO (2022), pengelolaan yang tepat terhadap efek permukaan bebas ini sangat penting agar kapal tetap stabil selama pelayaran.

Distribusi muatan yang seimbang juga berperan penting dalam mencegah pergeseran muatan dan meningkatkan stabilitas kapal. Salah satu prinsip utama dalam distribusi muatan adalah menempatkan muatan berat di bagian bawah kapal untuk menurunkan pusat gravitasi (KG), yang akan meningkatkan stabilitas kapal. Dengan menurunkan KG, kapal akan lebih sulit miring, dan daya pulih (*righting moment*) kapal menjadi lebih tinggi. Selain itu, penempatan muatan secara simetris di kedua sisi kapal sangat penting untuk menghindari kemiringan asimetris yang dapat menyebabkan kapal bergoyang atau kehilangan keseimbangan. Dalam beberapa situasi, penggunaan *ballast*

atau pemberat tambahan dapat digunakan untuk mengoreksi keseimbangan kapal, terutama jika distribusi muatan tidak merata atau ada perubahan dalam muatan selama pelayaran. Rawson & Tupper (2023) menekankan pentingnya distribusi muatan yang tepat untuk mengurangi risiko ketidakstabilan akibat pergeseran muatan yang tidak terkendali.

Selain langkah-langkah teknis, pemantauan dan inspeksi berkala terhadap kondisi muatan sangat penting untuk mencegah insiden akibat pergeseran muatan. Pengecekan lashing dan shoring secara berkala diperlukan untuk memastikan bahwa pengamanan muatan tetap dalam kondisi optimal selama pelayaran. Untuk kapal tanker, penggunaan sistem pemantauan tangki yang dilengkapi dengan sensor untuk mendeteksi pergerakan cairan dalam tangki juga sangat penting. Selain itu, setiap awak kapal harus mengetahui langkah-langkah yang harus diambil jika terjadi pergeseran muatan yang berbahaya, dan menyusun rencana darurat yang jelas. Menurut Bryant *et al*. (2022), inspeksi berkala dan kesiapan awak kapal adalah kunci untuk mencegah terjadinya insiden terkait pergeseran muatan yang dapat membahayakan kapal dan keselamatan pelayaran. Dengan penerapan langkah-langkah ini, risiko pergeseran muatan dapat dikurangi, dan kapal dapat berlayar dengan lebih aman.

3. Regulasi Internasional terkait Pencegahan *Cargo Shift*

Pencegahan pergerakan muatan atau *cargo shift* merupakan aspek penting dalam keselamatan pelayaran, dan berbagai regulasi internasional telah ditetapkan untuk mengatur cara pengamanan muatan dan mencegah pergeseran yang dapat membahayakan kapal, awak kapal, dan muatan itu sendiri. Salah satu regulasi yang paling berpengaruh dalam hal ini adalah *International Maritime Solid Bulk cargoes (IMSBC) Code*. Kode ini mengatur prosedur penanganan dan pengamanan muatan curah padat yang diangkut oleh kapal. Kode ini memberikan pedoman tentang cara mengemas, menstabilkan, dan mengamankan muatan agar tidak bergeser selama pelayaran. Selain itu, IMSBC Code juga memberikan panduan terkait penanganan bahan berbahaya dan cara menangani muatan dengan karakteristik khusus yang memerlukan perhatian lebih, seperti muatan yang mudah terbakar atau berisiko terhadap keseimbangan kapal.

Regulasi penting lainnya adalah *International Convention for the Safety of Life at Sea* (SOLAS), khususnya pada *Chapter VI*. SOLAS adalah konvensi internasional yang bertujuan untuk memastikan keselamatan kapal dan awaknya, serta penumpang yang ada di atas kapal. Chapter VI dalam SOLAS mengharuskan kapal untuk memiliki sistem pengamanan muatan yang memadai untuk mencegah pergeseran muatan selama pelayaran. Dalam chapter ini, terdapat aturan yang mengharuskan kapal untuk melakukan pengamanan muatan secara tepat dengan menggunakan lashing, dunnage, dan shoring, serta memastikan bahwa kapal memiliki distribusi muatan yang seimbang. Kepatuhan terhadap SOLAS sangat penting untuk memastikan bahwa kapal dapat menghadapi berbagai kondisi cuaca dan gelombang tanpa menghadapi risiko pergeseran muatan yang dapat menyebabkan ketidakstabilan.

International Maritime Organization (IMO) juga mengeluarkan *Resolution A.714(17)* yang memberikan pedoman lebih lanjut tentang metode lashing dan penempatan muatan untuk meningkatkan keselamatan kapal. Resolusi ini memberikan instruksi rinci tentang penggunaan alat pengaman seperti tali, rantai, dan kawat baja untuk mengikat muatan dengan kuat. Selain itu, IMO juga memberikan panduan terkait dengan teknik penataan muatan yang baik, yang bertujuan untuk menjaga keseimbangan kapal dan mencegah pergeseran muatan yang dapat membahayakan stabilitas kapal. Menurut IMO (2022), kepatuhan terhadap regulasi-regulasi ini sangat penting, karena hal ini memastikan bahwa standar keselamatan yang tinggi dapat dipenuhi, sehingga risiko kecelakaan akibat pergeseran muatan dapat diminimalkan.

E. Soal Latihan

1. Jelaskan perbedaan antara *lashing*, *dunnage*, dan *shoring* dalam teknik pengamanan muatan!
2. Bagaimana cara mencegah *cargo shift* pada kapal yang mengangkut muatan cair?
3. Sebutkan tiga cara untuk mengoptimalkan stabilitas kapal saat membawa muatan berat!
4. Apa yang dimaksud dengan GZ Curve, dan bagaimana peranannya dalam stabilitas kapal?

5. Mengapa penting untuk melakukan inspeksi berkala terhadap muatan selama pelayaran?



BAB XIII
PENGOPERASIAN CRANE DAN PROSEDUR BONGKAR MUAT

Kemampuan Akhir yang Diharapkan Mampu memahami terkait dengan jenis-jenis *crane* (hallen, stulken, velle, thompson), memahami prosedur operasi aman menggunakan *crane*, memahami penanganan muatan dengan jaring dan alat bantu lain, serta memahami inspeksi dan pemeliharaan *crane* secara berkala. Sehingga pembaca dapat memahami berbagai jenis *crane* dan fungsinya, mengoperasikan *crane* dengan aman sesuai prosedur, menangani muatan dengan jaring dan alat bantu lain secara efisien, serta melakukan inspeksi dan pemeliharaan *crane* secara berkala untuk memastikan kelayakan operasional di atas kapal.
Materi Pembelajaran • Jenis-Jenis *Crane* (Hallen, Stulken, Velle, Thompson) • Prosedur Operasi Aman Menggunakan *Crane* • Penanganan Muatan dengan Jaring dan Alat Bantu Lain • Inspeksi dan Pemeliharaan *Crane* secara Berkala • Soal Latihan

A. Jenis-Jenis *Crane* (Hallen, Stulken, Velle, Thompson)

Crane merupakan komponen vital dalam operasional bongkar muat kapal, khususnya pada kapal yang sering beroperasi di pelabuhan dengan fasilitas terbatas. Berbagai jenis *crane* telah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan spesifik dalam industri maritim. Berikut adalah beberapa jenis *crane* yang umum digunakan:

1. *Hallen Crane*

Hallen crane adalah jenis *crane* yang banyak digunakan pada kapal kargo, terutama dalam kegiatan bongkar muat muatan berat. *Crane* ini dirancang dengan sistem lengan ganda dan mekanisme

hidrolik, yang memberikan keuntungan dalam distribusi beban yang lebih merata. Salah satu keunggulan utama dari *Hallen crane* adalah stabilitasnya saat mengangkat beban berat, yang membuatnya sangat efektif dalam menangani muatan yang sulit diangkat oleh *crane* lainnya. Karena menggunakan mekanisme hidrolik, *crane* ini mampu memberikan daya angkat yang tinggi dengan kontrol yang lebih halus, mengurangi risiko kerusakan pada muatan atau kapal itu sendiri.

Hallen crane juga memiliki desain yang fleksibel, memungkinkan operasinya di ruang yang terbatas. Hal ini menjadi sangat penting pada kapal kargo dengan ruang terbatas atau pelabuhan yang memiliki fasilitas yang tidak begitu luas. *Crane* ini dapat mengoperasikan beban dalam berbagai sudut dan posisi, memberikan kemudahan saat bongkar muat di area yang sempit. Fleksibilitas ini sangat berguna terutama pada kapal peti kemas atau kapal kargo umum yang sering mengangkat berbagai jenis muatan dengan dimensi dan berat yang berbeda-beda.

Hallen crane juga terkenal dengan efisiensinya dalam menangani berbagai jenis muatan, termasuk kontainer dan kargo curah (*bulk cargo*). Keunggulan lainnya adalah kemampuannya untuk bekerja dengan presisi tinggi, terutama saat menangani kargo yang memerlukan penanganan hati-hati, seperti barang-barang dengan ukuran besar, berat, atau mudah rusak. *Crane* ini memudahkan operator untuk mengangkat dan memindahkan beban dengan akurasi tinggi, mengurangi waktu yang diperlukan untuk proses bongkar muat, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi operasional kapal.

Menurut Jones (2022), *Hallen crane* banyak digunakan di kapal kargo umum dan kapal peti kemas karena kemampuannya untuk menangani berbagai jenis muatan dengan presisi dan efisiensi yang tinggi. Penggunaan *Hallen crane* memungkinkan operator kapal untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi waktu yang diperlukan untuk proses bongkar muat, yang sangat penting dalam industri pelayaran yang membutuhkan kecepatan dan efisiensi tinggi. Oleh karena itu, *Hallen crane* merupakan alat yang sangat berharga dalam pengoperasian kapal kargo, memberikan solusi untuk mengangkat beban berat dan kompleks dengan cara yang stabil, efisien, dan fleksibel.

2. *Stulken Crane*

Stulken crane adalah jenis *crane* yang dirancang khusus untuk menangani muatan berat dengan kapasitas angkat yang besar, sering digunakan pada kapal kargo berat dan kapal derek (*floating crane*). Fitur utama dari *Stulken crane* adalah kemampuannya mengangkat muatan hingga ratusan ton, menjadikannya alat yang sangat penting dalam operasi *heavy-lifting. Crane* ini mampu menangani berbagai jenis muatan besar, seperti barang proyek atau peralatan industri berat yang membutuhkan peralatan angkat yang kuat dan efisien. Dengan kapasitas angkat yang besar, *Stulken crane* memungkinkan proses bongkar muat yang lebih cepat dan efisien, yang sangat berharga dalam industri pelayaran dan logistik.

Salah satu keunggulan utama *Stulken crane* adalah sistem keseimbangan otomatis yang dilengkapi pada *crane* ini. Sistem ini dirancang untuk mencegah kapal miring atau tidak stabil akibat distribusi beban yang tidak merata. Dalam operasi dengan beban berat, distribusi beban yang tidak seimbang dapat menyebabkan kapal mengalami kemiringan atau bahkan terbalik. Oleh karena itu, *Stulken crane* dilengkapi dengan sistem keseimbangan otomatis yang secara aktif menyesuaikan posisi beban, memastikan bahwa muatan diangkat dengan cara yang aman dan stabil. Hal ini sangat penting dalam menghindari potensi bahaya bagi kapal dan kru, serta memastikan keamanan muatan selama proses bongkar muat.

Stulken crane sangat cocok digunakan pada kapal yang membawa barang proyek atau peralatan industri berat, yang sering kali memiliki ukuran yang sangat besar dan membutuhkan penanganan khusus. Dalam hal ini, *crane* ini memungkinkan pengoperasian yang efisien dan aman, sehingga kapal dapat melakukan bongkar muat dengan waktu yang lebih singkat dan mengurangi risiko kerusakan pada muatan atau kapal itu sendiri. Keandalan *Stulken crane* dalam menangani muatan berat menjadikannya alat yang sangat dicari dalam operasi pelayaran komersial yang melibatkan peralatan besar atau bahan konstruksi.

Menurut Lloyd’s Register (2023), *Stulken crane* telah menjadi standar dalam operasi *heavy-lifting*, terutama karena kemampuannya untuk meningkatkan efisiensi waktu bongkar muat. Dengan kemampuan mengangkat muatan berat secara stabil dan aman, *crane* ini memungkinkan kapal untuk beroperasi dengan lebih efisien,

mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk proses bongkar muat, dan pada gilirannya meningkatkan produktivitas. Keberadaan *Stulken crane* di kapal kargo berat dan kapal derek menjadi faktor penting dalam memastikan kelancaran operasional di pelabuhan, khususnya untuk proyek-proyek yang melibatkan peralatan industri besar dan material konstruksi.

3. *Velle Crane*

Velle crane adalah sistem *crane* modern yang menggabungkan teknologi listrik dan hidrolik untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan dalam operasional bongkar muat kapal. *Crane* ini dirancang untuk digunakan pada kapal tanker dan kapal kargo khusus, dan memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya pilihan utama dalam industri maritim. Salah satu keunggulan utama dari *Velle crane* adalah desain modularnya, yang memungkinkan *crane* ini disesuaikan dengan kebutuhan operasional spesifik kapal. Dengan desain ini, *Velle crane* dapat dipasang dan dimodifikasi sesuai dengan berbagai jenis kapal dan kondisi operasional, memberikan fleksibilitas yang tinggi dalam penggunaannya.

Velle crane juga dilengkapi dengan sistem kontrol elektronik canggih. Sistem ini memberikan tingkat akurasi yang lebih tinggi dalam pengangkatan dan pemindahan muatan, meminimalkan risiko kesalahan atau kerusakan pada muatan selama proses bongkar muat. Dengan kontrol elektronik, operator dapat memantau dan mengatur pergerakan *crane* dengan presisi yang lebih baik, memungkinkan pemindahan muatan yang lebih cepat dan efisien. Hal ini sangat penting dalam industri maritim, di mana waktu adalah faktor yang sangat berharga, dan keselamatan serta ketepatan dalam pengangkatan muatan harus dijaga dengan baik.

Keunggulan lainnya dari *Velle crane* adalah konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan *crane* hidrolik konvensional. *Crane* ini menggunakan teknologi listrik yang lebih efisien, mengurangi penggunaan bahan bakar dan emisi karbon yang dihasilkan selama operasional. Dalam konteks industri maritim yang semakin memperhatikan keberlanjutan lingkungan, penggunaan *Velle crane* menjadi pilihan yang lebih ramah lingkungan. Dengan efisiensi energi yang lebih tinggi, kapal dapat mengurangi dampak ekologisnya dan

memenuhi standar emisi yang lebih ketat yang diterapkan oleh otoritas maritim internasional.

Menurut Anderson (2023), *Velle crane* merupakan inovasi yang sangat membantu kapal dalam mengurangi emisi karbon selama operasional bongkar muat. Mengingat pentingnya pengurangan emisi gas rumah kaca dalam industri pelayaran global, *Velle crane* memberikan kontribusi yang signifikan dalam upaya tersebut. Dengan mengintegrasikan teknologi listrik yang efisien dan sistem kontrol elektronik yang canggih, *Velle crane* tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional kapal, tetapi juga membantu kapal memenuhi persyaratan lingkungan yang semakin ketat. Inovasi ini menunjukkan bagaimana teknologi dapat digunakan untuk mengoptimalkan operasional kapal sambil mendukung keberlanjutan dan efisiensi energi dalam industri maritim.

4. *Thompson Crane*

Thompson crane adalah jenis *crane* yang banyak digunakan pada kapal kargo berukuran kecil hingga menengah, terutama yang beroperasi di pelabuhan dengan fasilitas terbatas. *Crane* ini memiliki desain yang kompak, menjadikannya pilihan ideal untuk kapal-kapal yang memiliki ruang terbatas. Desain yang sederhana ini tidak hanya memberikan keuntungan dalam hal penghematan ruang, tetapi juga membuatnya mudah untuk dipasang dan dioperasikan di kapal dengan berbagai jenis konfigurasi ruang kargo. Dengan ukuran dan bentuknya yang ringkas, *Thompson crane* sangat cocok untuk kapal yang sering beroperasi di pelabuhan yang tidak dilengkapi dengan fasilitas bongkar muat besar atau alat berat lainnya.

Thompson crane juga dikenal karena kemudahan dalam perawatannya. *Crane* ini memiliki lebih sedikit komponen dibandingkan dengan *crane* jenis lainnya, yang membuat proses pemeliharaan lebih sederhana dan lebih cepat. Dengan sedikitnya komponen yang terlibat, potensi kerusakan atau masalah teknis juga lebih rendah, sehingga mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan dan meningkatkan keandalan operasional. Hal ini sangat penting, terutama bagi kapal yang sering berlayar di daerah dengan fasilitas pemeliharaan terbatas, di mana keandalan dan kesederhanaan perawatan menjadi faktor utama dalam menjaga kelancaran operasional.

Keunggulan lain dari *Thompson crane* adalah fleksibilitas operasinya. *Crane* ini dapat digunakan untuk menangani berbagai jenis muatan, baik itu kargo curah (*bulk cargo*) maupun peti kemas kecil. Fleksibilitas ini memungkinkan kapal untuk mengangkut berbagai jenis barang, memberikan manfaat dalam hal efisiensi operasional dan kemampuan kapal untuk beradaptasi dengan berbagai kebutuhan bongkar muat. Kemampuan ini sangat menguntungkan bagi kapal dagang yang sering beroperasi di berbagai pelabuhan dengan kebutuhan kargo yang beragam. Dengan menggunakan *Thompson crane*, kapal dapat dengan mudah menangani muatan yang berbeda tanpa memerlukan alat angkat khusus untuk setiap jenis kargo.

Menurut Miller (2023), meskipun ada berbagai jenis *crane* canggih lainnya yang digunakan di kapal kargo besar, *Thompson crane* masih menjadi pilihan utama untuk kapal dagang yang beroperasi di daerah dengan fasilitas pelabuhan terbatas. Keunggulannya yang terletak pada desain yang sederhana, perawatan yang mudah, dan fleksibilitas dalam pengoperasian membuatnya sangat efektif dan efisien, terutama di pelabuhan-pelabuhan yang tidak memiliki fasilitas bongkar muat yang lebih besar. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor ini, *Thompson* crane tetap menjadi alat yang sangat penting dalam operasional kapal-kapal kargo kecil hingga menengah.

B. Prosedur Operasi Aman Menggunakan Crane

Operasi *crane* di kapal merupakan aktivitas yang berisiko tinggi karena melibatkan beban berat dan pergerakan mekanis yang kompleks. Oleh karena itu, prosedur keselamatan harus diterapkan secara ketat untuk menghindari kecelakaan dan memastikan efisiensi dalam bongkar muat. Berikut adalah prosedur operasi aman dalam penggunaan *crane* di kapal berdasarkan standar keselamatan internasional.

1. Persiapan Sebelum Operasi *Crane*

Persiapan yang matang sangat penting untuk memastikan keselamatan dan kelancaran proses bongkar muat. Salah satu langkah pertama yang harus dilakukan adalah pemeriksaan visual menyeluruh terhadap kondisi *crane*. Operator harus memastikan bahwa semua bagian *crane*, seperti kabel baja, katrol, motor, sistem hidrolik, dan

kontrol elektronik dalam kondisi baik dan berfungsi dengan semestinya. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi masalah atau kerusakan yang dapat mengganggu operasional *crane*. Sebagai referensi, standar ISO 12480-1:2021 menekankan pentingnya pemeriksaan visual rutin untuk menjaga kinerja *crane* dan mencegah kecelakaan yang disebabkan oleh kerusakan mekanis.

Pengecekan beban maksimum yang dapat diangkat *crane* atau *Safe Working Load* (SWL) juga merupakan hal yang tidak kalah penting. Setiap *crane* dirancang dengan kapasitas tertentu yang harus dipatuhi untuk mencegah overloading yang bisa berisiko merusak *crane* atau menyebabkan kecelakaan. Operator harus memverifikasi bahwa beban yang akan diangkat tidak melebihi kapasitas yang telah ditentukan oleh pabrik, sesuai dengan pedoman yang dikeluarkan oleh Lloyd's Register (2023). Dengan memastikan beban yang diangkat berada dalam batas kapasitas aman, operator dapat mengurangi risiko kecelakaan atau kerusakan peralatan yang disebabkan oleh pengoperasian *crane* dengan beban berlebih.

Komunikasi yang efektif antara operator *crane* dan tim yang berada di dek juga merupakan elemen krusial dalam persiapan sebelum operasi. Penggunaan radio komunikasi atau sinyal tangan yang telah disepakati sebelumnya sangat penting untuk memastikan koordinasi yang baik. Komunikasi yang jelas dan tepat dapat mencegah miskomunikasi, yang sering menjadi penyebab utama kecelakaan selama pengangkatan muatan. Menurut IMO (2022), penerapan prosedur komunikasi yang tepat dapat mengurangi risiko kesalahan dalam pengoperasian *crane*, serta memastikan bahwa setiap langkah dilakukan dengan aman dan efisien.

Penentuan area aman juga merupakan langkah persiapan yang sangat penting untuk menghindari kecelakaan. Sebelum operasi *crane* dimulai, pastikan bahwa tidak ada personel yang berada di bawah atau dekat jalur pergerakan beban. Semua orang yang terlibat dalam operasi *crane* harus mengetahui dan menjaga jarak aman dari jalur pergerakan beban. Hal ini untuk mencegah terjadinya kecelakaan akibat jatuhnya muatan atau peralatan *crane*. Dengan memastikan area aman, maka resiko kecelakaan akibat beban yang tidak terduga dapat diminimalkan. Semua langkah persiapan ini harus dilakukan dengan teliti untuk memastikan bahwa operasi *crane* dapat berjalan dengan aman dan efektif, serta menghindari potensi bahaya bagi operator dan kru kapal.

2. Prosedur Pengangkatan dan Pemindahan Beban

Prosedur pengangkatan dan pemindahan beban harus dilaksanakan dengan cermat dan hati-hati untuk memastikan keselamatan selama operasi. Langkah pertama yang harus diikuti adalah pengangkatan beban secara perlahan dan bertahap. Pengangkatan yang terlalu cepat atau mendadak dapat menyebabkan guncangan yang kuat, yang berpotensi membuat *crane* kehilangan keseimbangan dan merusak sistem mekaniknya. Sebagaimana dijelaskan dalam pedoman ABS (2023), pengangkatan perlahan membantu mengurangi risiko ketidakseimbangan *crane* yang dapat berakibat fatal. Oleh karena itu, operator *crane* harus memastikan bahwa proses pengangkatan dilakukan secara bertahap, memberikan waktu yang cukup bagi *crane* untuk mengatur posisi beban dengan stabil.

Stabilitas kapal juga harus diperhatikan dengan cermat selama operasi pengangkatan dan pemindahan beban. Pergerakan beban yang diangkat oleh *crane* dapat mempengaruhi keseimbangan kapal, terutama jika beban tidak didistribusikan dengan merata. Menurut OCIMF (2022), jika distribusi beban tidak dihitung dengan tepat, dapat menyebabkan kemiringan kapal yang berlebihan, yang dapat membahayakan keselamatan kapal dan kru. Oleh karena itu, sangat penting untuk memastikan bahwa distribusi beban diperhitungkan dengan matang, dan jika diperlukan, melakukan penyesuaian seperti menggunakan ballast untuk menjaga keseimbangan kapal selama pengangkatan.

Penggunaan alat bantu juga sangat penting dalam memastikan bahwa beban dapat dipindahkan dengan aman dan efisien. Sling, spreader bar, dan alat bantu lainnya digunakan untuk mendistribusikan beban secara merata dan menghindari pergerakan yang tidak terkendali selama pengangkatan. Alat bantu ini membantu mengurangi risiko kerusakan pada muatan serta meningkatkan kestabilan selama proses pengangkatan. Penggunaan alat bantu yang tepat juga memungkinkan pengangkatan beban yang lebih besar dan lebih berat dengan lebih aman, serta menghindari kecelakaan yang dapat terjadi akibat ketidakstabilan beban.

Kecepatan pergerakan *crane* juga merupakan faktor yang sangat penting dalam menjaga keselamatan selama pengangkatan. Menggerakkan *crane* dengan terlalu cepat atau mendadak dapat

menyebabkan beban terayun, yang dapat mengganggu kendali operator dan menyebabkan kerusakan pada *crane* atau muatan. Menurut pedoman DNV (2023), kecepatan pergerakan *crane* harus dikontrol dengan hati-hati agar pergerakan beban tetap terkendali. Pengayunan yang tidak terkendali dapat menyebabkan kerusakan serius pada struktur kapal atau *crane*, serta membahayakan personel di sekitar area pengangkatan.

3. Prosedur Setelah Pengoperasian *Crane*

Penting untuk melakukan langkah-langkah tertentu guna memastikan bahwa *crane* tetap dalam kondisi yang baik untuk digunakan kembali dan untuk menjaga keselamatan operasional di masa depan. Langkah pertama yang harus diambil adalah menurunkan hook dengan aman. Hook dan alat pengangkat lainnya harus diletakkan pada posisi yang aman setelah beban dipindahkan. Hal ini untuk mencegah kerusakan pada hook itu sendiri serta untuk menghindari gangguan atau masalah pada operasi selanjutnya. Dengan memastikan bahwa semua alat pengangkat disimpan dengan benar, risiko kerusakan atau kegagalan sistem dapat diminimalisir.

Langkah berikutnya adalah memeriksa dan membersihkan komponen *crane*. Proses ini mencakup pembersihan kabel baja dari sisa-sisa minyak, debu, atau kotoran lain yang dapat menyebabkan korosi atau keausan pada kabel. Kabel baja yang terkontaminasi dapat menurunkan kekuatan tariknya, yang dapat berbahaya saat *crane* digunakan untuk mengangkat beban berat. Oleh karena itu, pembersihan yang rutin sangat penting untuk memperpanjang umur komponen *crane* serta memastikan kinerja optimalnya. Selain itu, pengecekan rutin terhadap bagian-bagian mekanis lainnya, seperti katrol, sistem hidrolik, dan motor *crane*, juga diperlukan untuk memastikan bahwa semuanya berfungsi dengan baik setelah setiap penggunaan (ISO 9927-1:2022).

Mencatat setiap detail penggunaan *crane* dalam logbook operasional juga merupakan langkah yang tidak kalah penting. Setiap kali *crane* digunakan, operator harus mencatat rincian penting dalam logbook, seperti waktu penggunaan, jenis beban yang diangkat, kondisi *crane* selama operasi, serta catatan perawatan atau perbaikan yang dilakukan. Pencatatan ini berfungsi sebagai riwayat operasional dan perawatan yang berguna untuk memantau kondisi *crane* secara

keseluruhan. Logbook operasional ini tidak hanya menjadi referensi penting bagi operator *crane* untuk mengidentifikasi potensi masalah, tetapi juga membantu dalam perencanaan pemeliharaan dan penggantian suku cadang yang diperlukan. Selain itu, catatan ini sangat berguna untuk kepatuhan terhadap standar keselamatan dan peraturan yang berlaku dalam operasional *crane*.

Dengan menjalankan prosedur ini secara konsisten setelah setiap operasi *crane*, pengelola dapat memastikan bahwa *crane* tetap dalam kondisi terbaik untuk digunakan kembali dan dapat meminimalkan risiko kegagalan peralatan yang dapat menyebabkan kecelakaan atau kerusakan. Keamanan dan efisiensi operasional *crane* sangat bergantung pada perawatan yang cermat dan pencatatan yang tepat, yang memungkinkan operator dan tim pemeliharaan untuk merespons dengan cepat terhadap masalah yang muncul serta menjaga kelancaran dan keselamatan operasional di masa depan.

4. Pencegahan dan Penanganan Keadaan Darurat

Pada kondisi darurat, sangat penting bagi operator dan kru kapal untuk mengetahui langkah-langkah yang harus diambil untuk menjaga keselamatan dan mencegah kecelakaan yang lebih parah. Salah satu langkah pertama yang harus dilakukan adalah pemutusan daya darurat. Jika terjadi kerusakan sistem pada *crane* atau jika beban kehilangan kendali, operator harus segera mematikan daya *crane* untuk menghentikan operasi secara otomatis. Hal ini bertujuan untuk menghindari pergerakan lebih lanjut yang dapat memperburuk situasi, seperti beban yang terayun atau bahkan terjatuh. Pemutusan daya ini juga membantu mencegah kerusakan lebih lanjut pada *crane* dan mencegah risiko cedera yang lebih besar bagi kru yang ada di sekitar area tersebut.

Evakuasi area berbahaya merupakan langkah penting yang harus diambil segera setelah ada indikasi kegagalan sistem atau ancaman bahaya lainnya. Semua kru yang berada di sekitar area kerja *crane* harus segera menjauh untuk menghindari potensi kecelakaan akibat kerusakan peralatan atau pergerakan muatan yang tidak terkendali. Evakuasi ini harus dilakukan dengan cepat dan teratur, dengan memastikan bahwa semua anggota kru tahu jalur evakuasi yang aman dan tidak ada yang terperangkap di area berbahaya. Dalam situasi darurat, komunikasi yang jelas antara operator *crane*, kru kapal, dan

petugas keselamatan sangat diperlukan untuk memastikan bahwa semua orang dapat keluar dari zona bahaya dengan aman.

Laporan insiden harus segera dilakukan. Setiap kejadian yang tidak terduga, seperti kerusakan *crane* atau kecelakaan yang melibatkan muatan, harus segera dilaporkan kepada manajemen kapal dan dicatat dengan detail. Laporan ini harus mencakup informasi tentang kejadian yang terjadi, penyebab yang mungkin, serta tindakan yang diambil untuk mengatasi masalah tersebut. Dokumentasi insiden ini penting untuk analisis lebih lanjut, yang akan membantu dalam menentukan langkah-langkah pencegahan agar kejadian serupa tidak terulang di masa depan. Proses pelaporan ini juga merupakan bagian dari kewajiban yang diatur oleh regulasi internasional seperti SOLAS (2023), yang mengharuskan kapal untuk memiliki prosedur pelaporan yang jelas dalam menghadapi keadaan darurat.

C. Penanganan Muatan dengan Jaring dan Alat Bantu Lain

Penanganan muatan di kapal memerlukan teknik dan peralatan yang tepat agar proses bongkar muat berjalan efisien dan aman. Salah satu metode yang sering digunakan adalah pemanfaatan jaring kargo (*cargo net*) dan berbagai alat bantu lainnya seperti spreader bar, sling, dan forklift. Pemilihan alat bantu yang sesuai tergantung pada jenis muatan, berat, serta kondisi operasional kapal.

1. Penggunaan Jaring Kargo (*Cargo Net*) dalam Bongkar Muat

Jaring kargo, atau *cargo net*, adalah salah satu alat yang sangat penting dalam operasi bongkar muat barang menggunakan *crane*, terutama untuk muatan yang tidak memiliki struktur rigid atau berbentuk tidak beraturan. Alat ini dirancang untuk memberikan stabilitas pada muatan yang diangkat, serta mencegah pergerakan yang tidak diinginkan selama proses pengangkatan dan pemindahan. Penggunaan jaring kargo memiliki beberapa keuntungan signifikan dalam meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional. Salah satunya adalah kemampuannya untuk mendistribusikan beban secara merata. Dengan menggunakan jaring, beban yang diangkat dapat lebih stabil karena muatan yang tidak terstruktur dapat terikat dengan baik dan terdistribusi dengan baik dalam jaringan, mengurangi risiko

terjadinya pergeseran atau jatuh yang dapat membahayakan kru dan fasilitas di sekitarnya.

Jaring kargo juga sangat cocok untuk mengangkat muatan yang berukuran kecil atau yang tidak memiliki titik angkat yang jelas, seperti karung berisi bahan curah atau peti kecil. Tanpa adanya jaring, barang-barang ini akan lebih sulit untuk diangkat dengan *crane*, karena tidak memiliki titik yang cukup kuat untuk diikat dengan tali angkat biasa. Dengan jaring, barang-barang ini dapat dikemas secara rapi dan aman, memudahkan proses pengangkatan tanpa risiko kerusakan atau kehilangan muatan.

Keamanan kru dan muatan juga menjadi aspek penting dalam penggunaan jaring kargo. Dengan memastikan bahwa muatan tetap berada dalam jaring selama proses pengangkatan, risiko kecelakaan dapat dikurangi secara signifikan. Tanpa jaring, muatan yang tidak stabil bisa saja jatuh atau bergeser, membahayakan kru yang bekerja di sekitar area bongkar muat. Sebagai contoh, penggunaan jaring untuk mengangkat material seperti bahan bangunan, peralatan berat, atau muatan curah dapat membantu meminimalkan potensi kecelakaan yang dapat terjadi akibat pergeseran muatan yang tidak terkendali. Menurut Lloyd's Register (2023), jaring kargo sangat penting dalam memastikan keselamatan baik bagi muatan maupun kru yang terlibat.

Penggunaan jaring kargo tidak hanya sekadar mengangkat dan memindahkan barang. Prosedur standar dalam penggunaan jaring harus diikuti dengan ketat. Pertama, muatan yang akan diangkat harus tersusun rapi di dalam jaring untuk memastikan distribusi beban yang merata. Selanjutnya, penting untuk mengikat sudut-sudut jaring dengan kuat, menghindari risiko ketidakstabilan yang dapat mengancam keselamatan. Sebelum digunakan, jaring harus diperiksa secara menyeluruh untuk memastikan tidak ada kerusakan atau keausan yang dapat mengurangi kekuatan jaring. Jika jaring ditemukan rusak, sebaiknya tidak digunakan hingga diperbaiki atau diganti, untuk menghindari kegagalan struktural yang berpotensi menyebabkan kecelakaan.

2. Penggunaan Sling dan Spreader Bar dalam Bongkar Muat

Sling dan spreader bar adalah dua alat bantu yang sangat penting dalam operasi bongkar muat dengan *crane*. Kedua alat ini membantu mempermudah dan meningkatkan keamanan dalam

pengangkatan muatan, terutama yang memiliki bentuk atau ukuran khusus. Sling, yang terbuat dari berbagai bahan seperti baja, serat sintetis, atau rantai, digunakan untuk mengangkat muatan dengan titik angkat yang jelas, seperti peti kemas atau drum baja. Pemilihan jenis sling bergantung pada berat dan sifat muatan yang akan diangkat. Misalnya, sling baja digunakan untuk muatan yang sangat berat dan membutuhkan kekuatan lebih, sementara sling berbahan serat sintetis lebih ringan dan fleksibel untuk muatan yang lebih ringan. Menurut ISO 8792:2021, penting untuk memilih sling yang tepat untuk mencegah kerusakan pada muatan atau kegagalan alat angkat yang dapat membahayakan keselamatan.

Sling bekerja dengan mengikatkan alat ini pada titik angkat muatan dan kemudian mengangkatnya menggunakan *crane*. Keuntungan utama dari penggunaan sling adalah kemampuannya untuk menahan dan mengangkat muatan dengan aman saat titik angkat yang jelas tersedia. Namun, sebelum digunakan, sling harus diperiksa secara menyeluruh untuk memastikan tidak ada keausan, kerusakan, atau cacat yang dapat mengurangi kekuatannya. Pemeriksaan rutin terhadap kondisi sling sangat penting untuk mencegah kecelakaan yang dapat terjadi akibat kegagalan sling saat pengangkatan muatan.

Spreader bar adalah alat bantu yang digunakan untuk mengangkat muatan yang panjang atau besar dengan cara mengurangi tekanan pada titik angkat. Alat ini dirancang untuk mendistribusikan beban secara merata di sepanjang muatan, sehingga menghindari terjadinya deformasi atau kerusakan pada muatan selama proses pengangkatan. Spreader bar sangat berguna saat mengangkat muatan yang memiliki panjang atau lebar yang besar, seperti batang baja atau balok panjang, yang tidak dapat diangkat dengan cara biasa tanpa alat bantu. Dengan menggunakan spreader bar, beban dapat didistribusikan secara merata, mengurangi risiko ketegangan yang berlebihan pada titik angkat.

Spreader bar memiliki beberapa ukuran dan kapasitas yang berbeda, tergantung pada jenis dan ukuran muatan yang diangkat. Spreader bar juga sering dilengkapi dengan mekanisme pengatur jarak atau penghubung untuk menyesuaikan dengan ukuran muatan yang akan diangkat. Sebagai alat yang bekerja dengan berat muatan, spreader bar juga harus menjalani inspeksi rutin untuk memastikan kondisinya tetap baik dan aman digunakan. Jika ditemukan tanda-tanda kerusakan

atau keausan pada spreader bar, alat ini harus diganti atau diperbaiki segera untuk mencegah terjadinya kegagalan saat digunakan.

3. Forklift dan Pallet dalam Bongkar Muat

Forklift dan pallet merupakan kombinasi yang sangat efektif dalam proses bongkar muat, terutama untuk muatan yang lebih kecil atau yang sudah terorganisir dalam bentuk palet. Forklift sering digunakan di dalam gudang kapal atau terminal pelabuhan untuk memindahkan barang dalam jumlah besar dengan efisien. Salah satu keuntungan utama menggunakan forklift adalah efisiensi waktu. Dengan forklift, proses pemindahan barang bisa dilakukan dengan cepat dan dalam jumlah banyak sekaligus, yang sangat menguntungkan di lingkungan pelabuhan yang sibuk. Forklift memungkinkan pengangkatan dan pemindahan barang dalam palet atau kontainer kecil, yang biasanya digunakan untuk produk konsolidasi atau barang dengan ukuran yang lebih kecil.

Keamanan muatan juga menjadi salah satu aspek penting dalam penggunaan forklift. Dengan sistem penanganan yang stabil, forklift dapat mengurangi risiko kerusakan pada muatan yang disebabkan oleh jatuh atau benturan saat pemindahan. Penggunaan forklift memungkinkan muatan tetap aman dan terhindar dari kerusakan yang sering terjadi pada metode pengangkatan yang kurang terorganisir. Hal ini sangat penting dalam industri logistik dan pelabuhan di mana kerusakan pada barang dapat menyebabkan kerugian finansial yang besar. Forklift membantu memastikan bahwa barang tetap berada pada posisinya selama proses bongkar muat, sehingga meminimalisir kemungkinan kecelakaan atau kerusakan.

Fleksibilitas forklift juga menjadi nilai tambah dalam operasional bongkar muat. Forklift dapat digunakan untuk mengangkat berbagai jenis muatan yang disusun dalam palet atau kontainer kecil. Palet ini mempermudah proses penataan dan pengangkutan barang dalam jumlah banyak, serta membuat proses bongkar muat menjadi lebih efisien. Forklift dapat digunakan untuk memindahkan barang dengan berbagai ukuran dan berat, sehingga sangat berguna di berbagai jenis kegiatan bongkar muat, baik untuk barang dalam jumlah besar maupun untuk barang kecil yang terorganisir dalam bentuk palet.

Penggunaan forklift juga memerlukan perhatian terhadap standar operasional keselamatan yang ketat. Operator forklift harus terlatih dengan baik agar dapat mengoperasikan alat ini dengan aman

dan efektif. Selain itu, penting untuk memastikan bahwa forklift berjalan di jalur pergerakan yang aman dan bebas dari hambatan untuk mencegah kecelakaan. Kapasitas angkat maksimum forklift juga harus diperhatikan dengan seksama. Menggunakan forklift untuk mengangkat beban yang melebihi kapasitas angkatnya dapat menyebabkan kerusakan pada alat dan meningkatkan risiko kecelakaan.

4. Standar Keselamatan dalam Penggunaan Alat Bantu

Standar keselamatan dalam penggunaan alat bantu pada proses bongkar muat sangat penting untuk memastikan operasional berjalan dengan lancar dan aman. Berdasarkan pedoman dari SOLAS (2023), setiap alat bantu yang digunakan dalam pengangkatan atau pemindahan muatan harus memenuhi sejumlah standar keselamatan yang ketat untuk menghindari kecelakaan dan kerusakan. Salah satu standar utama adalah inspeksi berkala. Semua peralatan, seperti *crane*, sling, spreader bar, atau forklift, harus diperiksa secara rutin untuk memastikan bahwa tidak ada kerusakan, keausan, atau komponen yang dapat membahayakan kelancaran operasi. Inspeksi ini meliputi pengecekan terhadap struktur fisik alat, kondisi kabel baja, sistem hidrolik, dan elemen-elemen penting lainnya. Dengan inspeksi rutin, operator dapat mendeteksi masalah lebih awal dan mencegah kerusakan lebih lanjut yang bisa berujung pada kecelakaan fatal.

Penggunaan alat bantu harus sesuai dengan kapasitas maksimum yang telah ditentukan oleh pabrikan. Setiap alat bantu memiliki batas beban yang telah dirancang untuk menjaga integritas struktural dan fungsionalitasnya. Jika alat digunakan untuk mengangkat beban yang melebihi kapasitas yang ditentukan, hal ini dapat menyebabkan kegagalan struktural pada alat tersebut, yang bisa mengakibatkan kecelakaan atau kerusakan besar pada muatan. Oleh karena itu, penting bagi operator untuk selalu memeriksa dan memastikan bahwa beban yang diangkat tidak melebihi batas yang ditentukan. Hal ini juga berkaitan dengan keselamatan muatan dan kru yang terlibat dalam operasional.

Pelatihan operator juga merupakan bagian integral dari standar keselamatan yang ditetapkan dalam pengoperasian alat bantu. Operator yang menangani alat bantu harus memiliki pemahaman yang baik mengenai cara kerja masing-masing alat serta potensi risiko yang mungkin terjadi. Pelatihan ini mencakup pemahaman teknis tentang

alat bantu yang digunakan, prosedur operasi yang benar, dan tindakan pencegahan yang perlu diambil untuk menghindari kecelakaan. Dengan adanya pelatihan yang memadai, operator dapat mengoperasikan alat dengan efisien dan mengurangi risiko kesalahan manusia yang dapat menyebabkan kecelakaan atau kerusakan.

Pentingnya standar keselamatan ini juga mencakup penggunaan alat bantu yang sesuai dengan jenis dan karakteristik muatan. Setiap alat bantu dirancang untuk menangani jenis beban tertentu, dan pemilihan alat yang tepat akan sangat menentukan keberhasilan dan keselamatan operasional. Secara keseluruhan, dengan mematuhi standar keselamatan ini, proses bongkar muat dapat berjalan dengan lebih aman, mengurangi risiko kecelakaan, dan meningkatkan efisiensi operasional. Dengan demikian, penerapan inspeksi berkala, penggunaan sesuai kapasitas, dan pelatihan operator yang baik adalah langkah-langkah penting untuk memastikan bahwa semua alat bantu berfungsi dengan optimal dan aman.

D. Inspeksi dan Pemeliharaan *Crane* secara Berkala

Crane merupakan salah satu peralatan vital dalam proses bongkar muat kapal yang harus selalu dalam kondisi optimal untuk memastikan kelancaran dan keselamatan operasional. Oleh karena itu, inspeksi dan pemeliharaan *crane* secara berkala sangat penting untuk mencegah kegagalan mekanis yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja dan kerugian operasional. Menurut International Maritime Organization (IMO, 2023), inspeksi dan pemeliharaan *crane* di kapal harus dilakukan sesuai dengan standar keselamatan internasional guna memastikan keandalan dan efisiensi operasionalnya.

1. Jenis-Jenis Inspeksi *Crane*

Inspeksi *crane* merupakan bagian penting dalam menjaga keamanan dan kelancaran operasional *crane*. Terdapat beberapa jenis inspeksi yang perlu dilakukan secara rutin, yaitu inspeksi harian, inspeksi berkala, dan inspeksi khusus. Setiap jenis inspeksi memiliki tujuan dan cakupan yang berbeda-beda untuk memastikan *crane* berfungsi dengan baik dan aman digunakan.

Inspeksi harian atau *pre-operational check* dilakukan setiap hari sebelum *crane* digunakan untuk memastikan tidak ada komponen yang

rusak atau aus. Menurut Lloyd's Register (2023), inspeksi harian mencakup beberapa pemeriksaan dasar yang penting, seperti kondisi kabel dan sling. Operator perlu memastikan bahwa tidak ada keausan atau kerusakan pada kabel yang dapat menyebabkan kegagalan saat pengangkatan. Selain itu, fungsi rem dan sistem hidrolik juga harus diperiksa untuk memastikan respons yang baik dalam mengontrol pergerakan *crane*. Aspek kelistrikan dan panel kontrol juga menjadi perhatian penting, mengingat adanya potensi korsleting atau gangguan daya yang dapat menghambat operasional. Selain itu, pemeriksaan level pelumas dan kondisi gearbox penting untuk memastikan tidak ada kebocoran yang dapat mengurangi kinerja *crane* dan berisiko merusak komponen lainnya.

Inspeksi berkala dilakukan dalam jangka waktu tertentu, seperti bulanan atau tahunan, sesuai dengan rekomendasi produsen dan regulasi internasional. Inspeksi ini lebih menyeluruh dan melibatkan pemeriksaan komponen yang lebih besar. Salah satu yang penting dalam inspeksi berkala adalah pemeriksaan struktur utama *crane*. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mendeteksi adanya retakan atau deformasi pada *crane* yang dapat membahayakan operasional. Selain itu, pengujian kapasitas angkat dilakukan untuk memastikan bahwa *crane* masih mampu mengangkat beban sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh pabrik. Kalibrasi sensor beban dan sistem keamanan juga harus dilakukan untuk memastikan akurasi dan keandalan sistem, agar *crane* dapat beroperasi dengan aman. Tidak kalah penting, pengujian tekanan hidrolik untuk mendeteksi kebocoran atau penurunan performa juga merupakan bagian dari inspeksi berkala yang dapat mengidentifikasi masalah sejak dini.

Inspeksi khusus dilakukan setelah terjadinya kejadian tertentu, seperti kecelakaan, cuaca ekstrem, atau setelah perbaikan besar pada *crane*. Inspeksi ini lebih mendalam dan memerlukan pengujian non-destruktif (NDT) untuk mengevaluasi kondisi komponen struktural dan mekanis *crane*. Menurut DNV (2023), inspeksi khusus bertujuan untuk memastikan bahwa *crane* dapat kembali beroperasi dengan aman setelah terjadi insiden yang dapat mempengaruhi kekuatan dan keandalannya. Pengujian NDT digunakan untuk mendeteksi kerusakan atau ketegangan pada komponen tanpa merusak bagian yang diuji, sehingga memastikan *crane* tidak mengalami kerusakan lebih lanjut yang dapat membahayakan operasional.

2. Program Pemeliharaan *Crane*

Pemeliharaan *crane* merupakan kegiatan yang sangat penting untuk memastikan peralatan tetap berfungsi dengan baik, aman digunakan, dan memiliki umur panjang. Berdasarkan standar OCIMF (2023), pemeliharaan *crane* di kapal mencakup beberapa aspek yang terperinci, seperti pelumasan dan perawatan rutin, penggantian suku cadang yang aus, pengujian beban, dan dokumentasi pemeliharaan.

Pelumasan dan perawatan rutin adalah langkah pertama yang harus dilakukan untuk menjaga *crane* tetap beroperasi dengan baik. Semua bagian bergerak pada *crane*, seperti gir, rantai, dan kabel, harus dilumasi secara berkala untuk mengurangi gesekan yang dapat menyebabkan keausan. Proses pelumasan ini penting untuk memperpanjang umur komponen dan menjaga kinerja *crane* tetap optimal. Selain itu, sistem hidrolik *crane* juga harus diperiksa secara rutin untuk mendeteksi adanya kebocoran atau kontaminasi pada fluida hidrolik. Kebocoran atau kontaminasi dapat mengurangi efisiensi sistem dan meningkatkan risiko kegagalan operasional *crane*.

Penggantian suku cadang yang aus juga merupakan bagian dari pemeliharaan rutin. Komponen-komponen seperti kabel sling, bearing, dan rem harus diganti sebelum mencapai batas keausan kritis. Penggantian ini bertujuan untuk mencegah kegagalan mendadak yang dapat berbahaya bagi keselamatan operasional. Menurut ISO 12482:2023, setiap *crane* memiliki siklus hidup untuk suku cadangnya yang harus diikuti sesuai dengan rekomendasi pabrikannya. Mematuhi jadwal penggantian suku cadang akan memastikan *crane* beroperasi dengan kondisi terbaik dan meminimalkan risiko kerusakan yang dapat mengganggu operasi.

Pengujian beban atau load testing juga merupakan bagian penting dari pemeliharaan *crane*. *Crane* harus diuji dengan beban maksimum secara berkala untuk memastikan bahwa sistem angkatnya masih berfungsi dengan baik dan sesuai dengan kapasitas yang ditetapkan. Uji beban statis dan dinamis harus dilakukan sesuai dengan regulasi SOLAS (2023) guna memastikan keandalan struktur *crane* serta sistem keselamatan yang ada. Pengujian ini bertujuan untuk mendeteksi masalah pada *crane* yang tidak dapat dilihat selama inspeksi biasa, seperti ketegangan berlebih pada struktur atau sistem yang berisiko gagal jika digunakan dengan beban berlebih.

Dokumentasi dan catatan pemeliharaan juga penting untuk memastikan bahwa semua inspeksi dan pemeliharaan tercatat dengan lengkap. Catatan ini diperlukan untuk keperluan audit dan memastikan kepatuhan terhadap standar internasional yang berlaku. Selain itu, dokumentasi pemeliharaan berfungsi sebagai referensi yang sangat berguna untuk mendeteksi pola kerusakan atau permasalahan yang sering terjadi, sehingga jadwal perawatan berikutnya dapat disesuaikan dan dilakukan lebih efektif. Dengan adanya catatan yang lengkap, pihak yang bertanggung jawab dapat merencanakan perawatan lebih baik dan mengidentifikasi area yang membutuhkan perhatian lebih.

3. Regulasi dan Standar Keselamatan

Regulasi dan standar keselamatan yang mengatur inspeksi dan pemeliharaan *crane* di kapal sangat penting untuk memastikan operasi yang aman dan efisien, serta untuk melindungi keselamatan kru dan muatan. Beberapa regulasi dan standar keselamatan yang perlu dipatuhi oleh pihak terkait meliputi IMO MSC.1/Circ.1331 (2023), SOLAS Chapter II-1 (2023), *OCIMF Guidelines for Lifting Equipment* (2023), dan ISO 12482:2023. Masing-masing standar ini memberikan panduan yang jelas terkait penggunaan, pemeliharaan, dan pemeriksaan *crane* di kapal. IMO MSC.1/Circ.1331 (2023) adalah dokumen yang dikeluarkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) untuk memberikan pedoman tentang keselamatan penggunaan dan pemeliharaan *crane* di kapal. Dokumen ini berfokus pada prosedur yang harus diikuti untuk memastikan bahwa *crane* berfungsi dengan baik, aman digunakan, dan memenuhi standar keselamatan internasional. MSC.1/Circ.1331 mencakup berbagai aspek penting, seperti inspeksi berkala, pemeliharaan rutin, serta pelatihan operator *crane*. Dengan mengikuti pedoman ini, operator dapat memastikan bahwa *crane* di kapal beroperasi sesuai dengan standar keselamatan yang telah ditetapkan.

SOLAS (*Safety of Life at Sea*) Chapter II-1 (2023) berisi persyaratan teknis terkait sistem pengangkatan di kapal, termasuk *crane*. Salah satu poin penting dalam regulasi ini adalah penetapan kriteria terkait kekuatan struktur dan sistem pengangkatan yang harus mampu menahan beban maksimum yang ditentukan. SOLAS juga menekankan pentingnya pengujian dan inspeksi secara rutin untuk memastikan bahwa sistem pengangkatan selalu dalam kondisi baik.

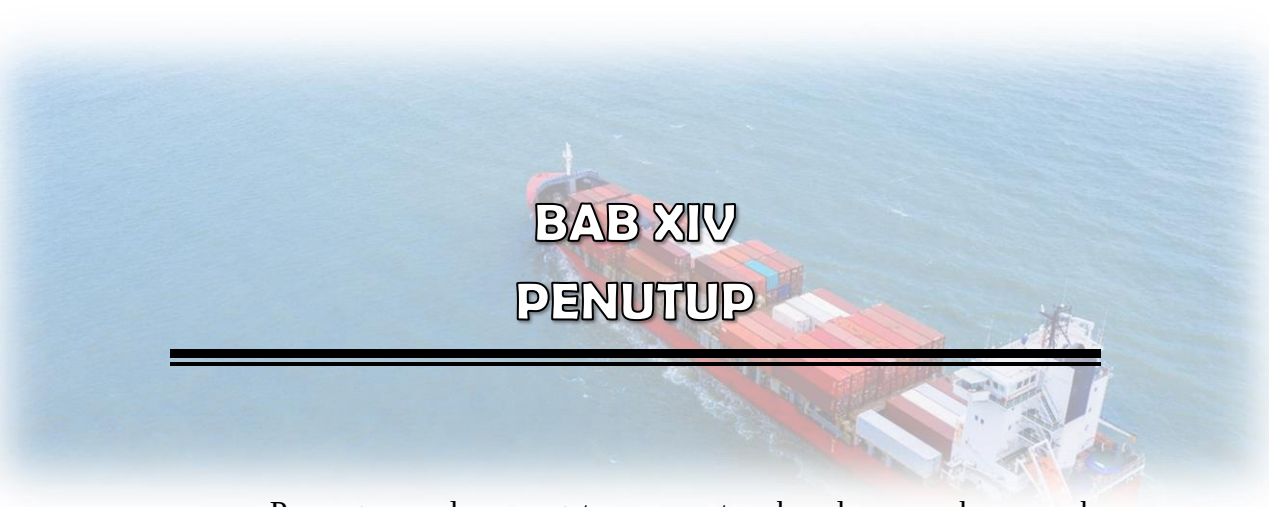
Keamanan dalam pengangkatan barang menjadi aspek utama yang diatur dalam SOLAS, dengan tujuan untuk mencegah kecelakaan yang dapat membahayakan kapal, kru, dan muatan.

OCIMF (*Oil Companies International Marine Forum*) *Guidelines for Lifting Equipment* (2023) memberikan pedoman operasional terkait penggunaan peralatan lifting di industri maritim, termasuk *crane*. Pedoman ini bertujuan untuk meningkatkan keselamatan operasional melalui perencanaan, pelaksanaan, dan pengawasan yang ketat dalam penggunaan *crane*. OCIMF menekankan pentingnya penerapan prosedur yang tepat dalam penggunaan alat angkat untuk meminimalkan risiko kecelakaan, serta pentingnya pemeliharaan berkala dan inspeksi alat lifting agar tetap dalam kondisi optimal.

ISO 12482:2023 adalah standar internasional yang mengatur pemeliharaan berbasis kondisi (*Condition-Based Maintenance*) untuk *crane*. Pemeliharaan berbasis kondisi ini berarti bahwa perawatan *crane* dilakukan berdasarkan kondisi nyata dari *crane* itu sendiri, yang dideteksi melalui inspeksi dan pengujian rutin. Standar ini mendorong pemeliharaan yang lebih efisien dengan fokus pada penggantian komponen atau perbaikan hanya ketika benar-benar diperlukan, berdasarkan analisis kondisi *crane*. Hal ini bertujuan untuk memperpanjang umur peralatan dan mengurangi biaya pemeliharaan yang tidak perlu.

E. Soal Latihan

1. Jelaskan perbedaan antara *Hallen Crane* dan *Stulken Crane* dalam pengoperasian di kapal.
2. Mengapa inspeksi harian penting dalam pengoperasian *crane*? Sebutkan minimal tiga aspek yang harus diperiksa sebelum operasi.
3. Bagaimana prosedur yang aman dalam menggunakan *crane* untuk bongkar muat barang berukuran besar dan berat?
4. Sebutkan dan jelaskan tiga alat bantu yang digunakan dalam penanganan muatan menggunakan *crane*.
5. Apa langkah-langkah yang harus dilakukan dalam keadaan darurat jika *crane* mengalami kegagalan saat operasi?



BAB XIV
PENUTUP

Penanganan dan pengaturan muatan kapal merupakan aspek krusial dalam operasi maritim yang mencakup prinsip-prinsip dasar, keselamatan, dan teknik operasional yang harus diterapkan dengan cermat. Efektivitas dalam menangani muatan tidak hanya berdampak pada efisiensi logistik, tetapi juga pada keselamatan awak kapal, perlindungan lingkungan, serta kelancaran transportasi barang di seluruh dunia. Dengan berbagai metode dan teknologi yang terus berkembang, industri maritim semakin menekankan pentingnya manajemen muatan yang baik demi mengoptimalkan kinerja kapal sekaligus meminimalkan risiko kecelakaan dan kerusakan muatan.

Salah satu prinsip utama dalam pengaturan muatan kapal adalah memastikan distribusi beban yang seimbang agar stabilitas kapal tetap terjaga selama pelayaran. Prinsip ini mengacu pada konsep stabilitas kapal, yang melibatkan perhitungan seperti *center of gravity* (KG), *metacentric height* (GM), dan *Righting Arm* (GZ). Penempatan muatan yang tidak merata dapat menyebabkan kapal mengalami *listing* atau bahkan *capsizing* di tengah lautan, sehingga penting bagi operator kapal untuk memahami dan menerapkan prinsip keseimbangan muatan dengan baik. Selain itu, aspek daya dukung struktur kapal juga menjadi perhatian utama, di mana beban yang melebihi kapasitas dapat menyebabkan deformasi lambung kapal atau kerusakan struktural lainnya.

Pada keselamatan, prosedur standar internasional seperti yang ditetapkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) melalui *International Convention for the Safety of Life at Sea* (SOLAS) dan *International Maritime Dangerous Goods Code* (IMDG Code) menjadi pedoman utama dalam menangani muatan. Keselamatan tidak hanya mencakup perlindungan terhadap awak kapal dan kapal itu sendiri, tetapi juga terhadap muatan yang diangkut. Protokol keselamatan dalam bongkar muat, penggunaan alat pelindung diri, serta prosedur

darurat harus selalu diterapkan untuk mengurangi potensi kecelakaan kerja.

Pengendalian muatan di kapal tanker juga menjadi tantangan tersendiri, terutama dalam hal pemompaan dan *stripping* kargo cair. Prosedur ini memerlukan koordinasi yang ketat untuk mencegah tumpahan dan kontaminasi, serta menjaga tekanan di dalam tangki agar tidak terjadi ledakan atau deformasi akibat perbedaan tekanan yang drastis. Penggunaan *deck lines*, *stripping lines*, *dan crossovers* membantu memastikan proses transfer muatan berjalan dengan aman dan efisien. Selain itu, pengendalian laju pompa (*flow rate*) juga perlu diperhatikan agar tidak terjadi kelebihan tekanan yang dapat merusak pipa atau sambungan antar tangki.

Teknik pengamanan muatan seperti *lashing*, *dunnage*, dan *shoring* juga sangat penting dalam memastikan bahwa muatan tetap dalam posisi yang aman selama pelayaran. Dengan berbagai kondisi cuaca yang tidak menentu, pergerakan muatan di dalam ruang kargo harus dicegah agar tidak mengganggu keseimbangan kapal. Selain itu, metode perhitungan stabilitas kapal menjadi aspek kritikal dalam memastikan bahwa kapal tidak mengalami *free surface effect* yang dapat menyebabkan ketidakstabilan mendadak akibat pergerakan cairan dalam tangki kargo.

Inspeksi dan pemeliharaan ruang penyimpanan juga menjadi bagian penting dari manajemen muatan kapal. Kerusakan akibat korosi atau retakan pada struktur ruang penyimpanan dapat mengakibatkan kebocoran atau kontaminasi muatan, yang berpotensi menyebabkan kerugian finansial dan risiko keselamatan. Oleh karena itu, metode pencegahan korosi seperti pelapisan pelindung, sistem katodik, dan inspeksi rutin harus diterapkan untuk memastikan ruang penyimpanan tetap dalam kondisi optimal.

Pelaporan kerusakan dan program pemeriksaan merupakan langkah esensial dalam memastikan kelayakan kapal untuk beroperasi. Prosedur pelaporan kerusakan harus mencakup bukti pendukung yang akurat agar dapat segera ditindaklanjuti oleh pihak terkait. Program pemeriksaan yang ditingkatkan seperti *Enhanced Survey Programme* (ESP) dan *Improved Inspection Program* memastikan bahwa kapal selalu dalam kondisi terbaik sebelum melakukan perjalanan. Inspeksi terhadap penutup palka dan tangki ballast juga tidak kalah penting,

mengingat fungsi vitalnya dalam menjaga keseimbangan kapal dan mencegah masuknya air laut ke dalam ruang kargo.

Pada operasi bongkar muat, penggunaan *crane* menjadi bagian integral yang harus dilakukan dengan prosedur aman. Jenis *crane* seperti Hallen, Stulken, Velle, dan Thompson memiliki karakteristik yang berbeda sesuai dengan kebutuhan pengangkutan muatan. Prosedur operasi aman menggunakan *crane* mencakup inspeksi sebelum penggunaan, pemantauan selama operasi, serta perawatan berkala untuk memastikan bahwa alat ini tetap berfungsi dengan optimal. Selain itu, penggunaan alat bantu seperti jaring dan sling dalam penanganan muatan juga dapat membantu meningkatkan efisiensi dan mengurangi risiko kecelakaan.

DAFTAR PUSTAKA

American Bureau of Shipping (ABS). (2022). Guide for Safe Handling of Cargo. ABS.

Antoni, A. P. (2020). Dasar-Dasar Penanganan dan Pengaturan Muatan Kapal Niaga. Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.

ASEAN Ports Association. (2022). Regional Standards for Container Handling and Crane *Safety* . APA Press.

Asian Shipowners' Association (ASA). (2021). Best Practices for Safe Cargo Handling and Stowage. ASA Publications.

Badarusman, B., Caehsa, M., & Setiawati, R. (2017). Utilisasi Quay Container Crane dan Produktivitas Bongkar Muat Petikemas terhadap Effective Time Kapal Petikemas di Terminal Operasi 3 PT Pelabuhan Tanjung Priok. Jurnal Manajemen Bisnis Transportasi dan Logistik, 4(1).

Baltic and International Maritime Council (BIMCO). (2023). Cargo *Safety* and Stowage Best Practices. BIMCO Publications.

Bambang Suryantoro, Devita Wimpi Punama, M. H. (2020). Tenaga Kerja, Peralatan Bongkar Muat Lift ON/Off dan Efektivitas Lapangan Penumpukan terhadap Produktivitas Bongkar Muat Peti Kemas. Jurnal Manajemen Bisnis Transportasi dan Logistik, 3(1), 156–169.

Banu, S. (2021). Optimalisasi Perawatan Wire Grab Crane terhadap Proses Bongkar Muat di MV. Jurnal Teknik, 3(1), 156–169.

Berata, I. O. (2014). Panduan Praktis Ekspor Impor. Raih Asa Sukses.

Branch, A. E. (2020). Elements of Shipping (9th ed.). Routledge.

Bureau Veritas. (2022). Marine Cargo and Crane Certification Guidelines. Bureau Veritas.

Center, I. T. (2023, March 31). Diambil kembali dari Trademap.org: https://www.trademap.org/

Chen, Y., & Huang, J. (2023). Risk Assessment in Cargo Handling and Stowage Operations: A Data-driven Approach. *Safety* and Reliability Journal, 18(1), 72-90.

Choi, Y., & Kim, J. (2023). Enhancing Port Efficiency Through IoT-Based Crane Monitoring. Smart Maritime Journal, 16(4), 287-302.

Clark, R. (2021). Crane Operations in Ports: *Safety* and Efficiency Guidelines. Springer.

DNV. (2022). Tanker Cargo Operations and *Safety* . DNV Maritime.

European Maritime *Safety* Agency (EMSA). (2023). *Safety* and Compliance Standards for Shipboard Cranes. EMSA Publications.

Fakhrurrozi. (2017). Penanganan, Pengaturan dan Pengamatan Muatan Kapal.

Feng, Y., Zhang, H., & Liu, J. (2022). A Study on Cargo Shift Prevention Techniques in Rough Sea Conditions. Ocean Engineering Journal, 189, 103457.

García, J. M., & Suárez, P. (2021). Optimization of Cargo Loading and Unloading in Maritime Logistics. Journal of Maritime Science and Technology, 58(2), 135-150.

Henuk, R. L. (2020). Penanganan dan Pengaturan Muatan di Atas Kapal Bagian 1. Media Sains Indonesia.

IMO. (2023). Updated *Safety* Code for Cargo Handling on Ships and Terminals. IMO Circular.

International Association of Classification Societies (IACS). (2021). Unified Requirements on Ship Crane *Safety* and Certification. IACS Circular.

International Cargo Handling Coordination Association (ICHCA). (2023). Cargo Handling Standards and Operational Efficiency Guidelines. ICHCA Reports.

International Chamber of Shipping (ICS). (2021). Guidelines on Safe and Efficient Cargo Handling for Ship Operators. ICS Publications.

International Labour Organization (ILO). (2023). *Safety* and Health in Ports and Cargo Handling. ILO Publications.

International Maritime Organization (2022). *Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing* (CSS Code). IMO.

International Maritime Organization (IMO). (2010). IMDG Code: International Maritime Dangerous Goods Code.

International Transport Forum (ITF). (2023). Improving Cargo Handling and Terminal Efficiency. OECD Publishing.

International Transport Workers' Federation (ITF). (2022). Seafarers' Guide to Safe Cargo Handling Practices. ITF Publications.

International Union of Marine Insurers (IUMI). (2022). Cargo Claims and Liability in Maritime Operations. IUMI Reports.

ISGOTT. (2023). International *Safety* Guide for Oil Tankers and Terminals. OCIMF.

ITF. (2022). Enhancing the *Safety* and Efficiency of Cargo Handling Operations. OECD Transport Studies.

Japanese Classification Society (ClassNK). (2023). Cargo Loading *Safety* Manual. ClassNK Publications.

Jones, P. (2021). Advanced Cargo Operations and Maritime *Safety* . Routledge.

Kim, H., & Park, S. (2023). Simulation-based Analysis of Cargo Handling Procedures in Container Terminals. Maritime Logistics Research, 31(2), 95-120.

Klein, R. (2020). Maritime Logistics: A Guide to Cargo Handling, Stowage, and Transport. Taylor & Francis.

Kongsberg Maritime. (2020). Automation in Cargo Handling and Crane Operation. Kongsberg Digital.

Lloyd's Register. (2022). Guidelines for Marine Cargo Handling and Securing. Lloyd's Register Group.

Marine Accident Investigation Branch (MAIB). (2022). Report on Cargo Crane Incidents and *Safety* Measures. UK Government.

Maritime and Coastguard Agency (MCA). (2023). Code of Safe Working Practices for Merchant Seafarers.

Maritime *Safety* Committee (MSC). (2021). Guidelines on Safe Crane Operations and Maintenance on Ships. IMO.

Martopo, A., & Soegiyanto. (2004). Penanganan dan Pengaturan Muatan. Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.

Martopo, A., & Soegiyanto. (2004). Penanganan dan Pengaturan Muatan. Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.

McNicholas, M. (2022). Maritime Security: An Introduction (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

Mortensen, C. (2006). Norden News Aug 2006. Damskibsselskabet Norden.

Mukhtar. (2013). Metode Penelitian Kuantitatif. Pustaka Setia.

Nakamura, K. (2023). Automation and AI-Based Crane Operations: A Future Perspective. Journal of Intelligent Transport Systems, 18(2), 134-148.

Nurhadini, A., Rafie, & Indrayadi, M. (2018). Optimasi Pelayanan Bongkar Muat Peti Kemas di Pelabuhan Dwikora Pontianak. Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil.

Ocean Shipping Research Institute. (2022). Trends in Maritime Cargo Operations and *Safety* Measures. Ocean Shipping Journal, 45(3), 200-218.

OCIMF. (2023). Cargo Handling Guidelines for Oil Tankers. Witherby Publishing.

Pallis, A. A., & Notteboom, T. (2023). Port Economics, Management and Policy. Routledge.

Peraturan Pemerintah No. 11 Tahun 1983 tentang Pembinaan Kepelabuhanan.

Peraturan Pemerintah No. 51 Tahun 2015 tentang Penyelenggaraan Pelabuhan Laut.

Petrović, M., & Ivanković, D. (2022). Analysis of Maritime Crane Operations: Efficiency and Risks. Maritime Engineering Journal, 35(2), 112-126.

Pettersen, J., & Vassbakk, T. (2022). *Safety* Measures in Cargo Handling Operations: A Case Study on Bulk Carriers. *Safety* Science, 140, 105-119.

Presiden RI. (2003). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 1999 tentang Angkutan Perairan.

Presiden RI. (2003). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 1999 tentang Angkutan Perairan.

Presiden RI. (2003). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 1999 tentang Angkutan Perairan.

Rahman, F., & Jafar, M. (2023). The Role of AI in Predictive Maintenance of Ship Cranes. Journal of Maritime Science and Technology, 12(1), 78-94.

Roberts, S. (2019). Ship Stability for Masters and Mates. Elsevier.

Sharma, R. (2020). Handbook of Cargo Handling and Maritime *Safety* . Elsevier.

Singh, A., & Patel, R. (2021). Evaluating the Impact of Digitalization in Port Crane Operations. Maritime Technology Journal, 27(3), 215-233.

Soegiyanto. (2004). Stabilitas Kapal. Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.

Stopford, M. (2021). Maritime Economics (4th ed.). Routledge.

Sugiyono. (2012). Memahami Penelitian Kualitatif. Alfabeta.

Suyono, R. P. (2017). Prosedur Bongkar Muat.

Tim Penyusun Kamus Besar Bahasa Indonesia. (2005). Kamus Besar Bahasa Indonesia (Edisi ke-3). Balai Pustaka.

Tim Penyusun PIP Semarang. (2012). Penanganan dan Pengaturan Muatan.

UK Maritime and Coastguard Agency. (2023). Guide to Safe Working with Shipboard Cranes. UK Government.

United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2023). Review of Maritime Transport and Cargo Handling Trends. UNCTAD Reports.

Weng, C., & Zhang, R. (2021). Smart Sensor Applications in Maritime Crane Operations. IEEE Transactions on Marine Systems Engineering, 15(1), 93-107.

Wright, C., & Laing, R. (2021). Port Management and Operations (3rd ed.). Routledge.

Xu, K., & Liu, T. (2020). Energy Efficiency in Container Terminal Cranes: A Review. Renewable Energy Journal, 165, 1294-1309.

Xu, L., & Wang, M. (2022). Case Studies in Container Crane Failures and Lessons Learned. Engineering Failure Analysis, 127, 105432.

Xu, Y., & Li, F. (2022). Impact of Cargo Distribution on Ship Stability and Fuel Efficiency. Journal of Maritime Transportation, 52(4), 145-163.

Yang, H., & Sun, L. (2022). The Role of Digital Twins in Enhancing Cargo Crane Performance. Maritime Innovation Journal, 11(2), 99-121.

Yang, Z., & Chen, L. (2022). Risk Assessment Models for Cargo Stowage and Lashing Failures. Maritime Risk and *Safety* Journal, 9(1), 27-45.

Zhang, W., & Xie, L. (2021). Digital Twin Technology in Smart Port Cargo Handling. IEEE Transactions on Maritime Navigation and *Safety* , 8(4), 455-470.

Zhou, L., & Wang, H. (2023). Advances in Smart Cargo Handling Systems: AI and Automation Applications. Journal of Maritime Engineering, 67(1), 85-102.

Zohar, D., & Levitt, S. (2020). *Safety* Culture in Maritime Cargo Handling: Challenges and Solutions. International Journal of Maritime Research, 14(2), 67-83.

GLOSARIUM

Muatan: Barang atau benda yang diangkut oleh kapal dari satu pelabuhan ke pelabuhan lainnya. Muatan dapat berupa barang curah, kemasan, atau cairan.

Dock: Area khusus di pelabuhan tempat kapal bersandar untuk melakukan bongkar muat, perbaikan, atau persiapan pelayaran.

Crane: Alat berat yang digunakan untuk mengangkat dan memindahkan muatan dari kapal ke dermaga atau sebaliknya. *Crane* memiliki kapasitas angkat yang bervariasi tergantung jenisnya.

Hook: Pengait yang terpasang pada tali atau rantai *crane* untuk mengamankan muatan saat diangkat. Hook dirancang untuk menahan beban berat dengan aman.

Net: Jaring yang digunakan untuk membungkus atau mengangkat muatan tertentu, seperti barang-barang kecil atau muatan yang sulit dipegang.

Bale: Kemasan muatan yang berbentuk balok, biasanya digunakan untuk barang seperti kapas, karet, atau kertas. Bale memudahkan penyusunan dan pengangkutan.

Load: Total beban muatan yang diangkut oleh kapal, termasuk berat barang, bahan bakar, dan perlengkapan lainnya.

Cargo: Istilah umum untuk semua jenis muatan yang diangkut oleh kapal, baik berupa barang padat, cair, atau gas.

Hold: Ruang penyimpanan di dalam kapal yang dirancang khusus untuk menampung muatan selama pelayaran. Hold dilengkapi dengan sistem ventilasi dan pengaman.

Bulk: Muatan curah yang tidak dikemas, seperti biji-bijian, batubara, atau mineral. Muatan ini biasanya diangkut dalam jumlah besar dan memerlukan penanganan khusus.

Tank: Wadah khusus di kapal yang digunakan untuk menyimpan muatan cair, seperti minyak, bahan kimia, atau gas cair. Tank dirancang untuk mencegah kebocoran dan tahan terhadap tekanan.

Hatch: Pintu atau bukaan di dek kapal yang memberikan akses ke ruang muatan (hold). Hatch harus ditutup rapat selama pelayaran untuk mencegah air masuk.

Lift: Alat mekanis yang digunakan untuk mengangkat muatan dari atau ke kapal. Lift dapat berupa derek, forklift, atau peralatan sejenis.

Stack: Tumpukan muatan yang disusun secara teratur di dalam kapal atau di dermaga. Penyusunan yang baik memastikan stabilitas kapal dan efisiensi ruang.

Roll: Muatan berbentuk gulungan, seperti kertas, kabel, atau tekstil. Muatan ini memerlukan penanganan khusus untuk mencegah kerusakan.

INDEKS

A

aksesibilitas, 27, 29
audit, 52, 54, 219

B

big data, 6

D

digitalisasi, 5
distribusi, 2, 3, 8, 9, 10, 14, 16, 18, 26, 27, 28, 29, 30, 42, 43, 60, 65, 69, 74, 75, 77, 101, 102, 105, 106, 107, 108, 110, 112, 114, 134, 168, 169, 171, 185, 187, 188, 189, 191, 193, 195, 196, 197, 199, 202, 203, 208, 212, 221

E

E-Business, v
ekonomi, 5
ekspansi, 75, 76
emisi, 5, 14, 58, 204, 205

F

finansial, 19, 29, 214, 222
fleksibilitas, 56, 60, 119, 204, 206
fluktuasi, 174, 175

I

infrastruktur, 6, 40, 44, 49
inovatif, 24
integrasi, 2
integritas, 117, 135, 152, 153, 174, 215
investasi, 75

K

komoditas, 21, 113
komprehensif, 93, 146

M

manufaktur, 88
mikroorganisme, 24, 38, 140

O

otoritas, 8, 20, 45, 46, 49, 53, 54, 144, 145, 146, 149, 155, 178, 205

R

real-time, 5, 24, 108, 139, 158, 161, 174, 175

regulasi, 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 19, 20, 23, 26, 30, 36, 37, 38, 50, 51, 53, 54, 67, 77, 79, 80, 81, 85, 86, 143, 146, 147, 148, 153, 154, 155, 156, 161, 169, 198, 199, 211, 217, 218, 219

S

stabilitas, 1, 3, 4, 8, 9, 11, 15, 16, 18, 25, 26, 27, 28, 34, 57, 61, 62, 64, 82, 83, 102, 105, 107, 110, 129, 134, 137, 139, 144, 146, 148, 165, 171, 174, 176, 177, 181, 183, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 199, 208, 211, 221, 222,232

T

transparansi, 10

BIOGRAFI PENULIS



Slamet Riyadi, M.Si., M.Mar.

Lulus Strata A Nautika tahun 1998 di BPLP Semarang, Lulus Strata B Nautika tahun 2003 di STIP Jakarta, dan Lulus Program Magister Manejemen (S2) pada Program Studi SDM Pendidikan di Unisbank Semarang tahun 2011. Berkarir di PIP Semarang sejak tahun 1998 dan diangkat sebagai dosen tahun 2008 s.d. sekarang. Tahun 2023 hingga saat ini ditugaskan di Politeknik Pelayaran Sumatera Barat dengan Bidang Studi yang digeluti yaitu Stabilitas Kapal, Pelayaran Datar dan Penanganan dan Pengaturan Muatan.



Dian Erliyani, S.SiT., M.Si.

Lahir di Sidoarjo, 12 Oktober 1979. Lulus SMA pada tahun 1997 kemudian masuk ke BPLP (Balai Pendidikan dan Latihan Pelayaran) Semarang yang sekarang dikenal sebagai PIP (Politeknik Ilmu Pelayaran) Semarang mengambil Program Studi Nautika dan selesai pada tahun 2002. Setelah itu melanjutkan studi S2 di Unisbank Semarang dengan Perogram Studi Manajemen Manusia Pendidikan di tahun 2011 dan lulus pada tahun 2013. Saat ini bekerja sebagai Dosen di Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.

PENANGANAN DAN PENGATURAN
MUATAN KAPAL
PRINSIP, KESELAMATAN, DAN TEKNIK OPERASIONAL

Buku ajar "Penanganan dan Pengaturan Muatan Kapal: Prinsip, Keselamatan, dan Teknik Operasional" merupakan sebuah panduan komprehensif yang membahas aspek-aspek krusial dalam pengelolaan muatan kapal, mulai dari prinsip dasar hingga teknik operasional yang diterapkan di dunia maritim. Buku ajar ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan mahasiswa, praktisi, dan profesional di bidang pelayaran yang ingin memahami secara mendalam tentang proses penanganan dan pengaturan muatan kapal, serta implikasinya terhadap keselamatan dan efisiensi operasional. Dalam industri maritim, penanganan dan pengaturan muatan kapal bukanlah sekadar proses fisik memuat dan membongkar barang. Proses ini melibatkan perhitungan yang cermat terkait stabilitas kapal, distribusi berat, serta kepatuhan terhadap standar keselamatan internasional. Kesalahan dalam pengaturan muatan dapat menyebabkan ketidakstabilan kapal, kerusakan muatan, atau bahkan kecelakaan yang mengancam nyawa. Oleh karena itu, buku ajar ini membahas prinsip-prinsip dasar yang harus dipahami, seperti perhitungan stabilitas kapal, perencanaan muatan, dan manajemen ruang muat.

PT MEDIA PENERBIT INDONESIA

mediapenerbitindonesia.com
+6281362150605
Penerbit Idn
@pt.mediapenerbitidn

ISBN 978-634-7184-40-5
9 786347 184405