ISBN 978-634-255-780-8

MANAJEMEN PENANGANAN DAN PENGATURAN MUATAN KAPAL

Tim Penulis:
Rahmatang
Rafi Ohorella
Muhammad Masykur
Moh.Roin Najih
Yani Nurita Purnawanti
Tri Setianto
Dahlia Dewi Apriani
Mulyono



MANAJEMEN PENANGANAN DAN PENGATURAN MUATAN KAPAL

Rahmatang
Rafi Ohorella
Muhammad Masykur
Moh.Roin Najih
Yani Nurita Purnawanti
Tri Setianto
Dahlia Dewi Apriani
Mulyono

GET PRESS INDONESIA

MANAJEMEN PENANGANAN DAN PENGATURAN MUATAN KAPAL

Penulis :
Rahmatang
Rafi Ohorella
Muhammad Masykur
Moh.Roin Najih
Yani Nurita Purnawanti
Tri Setianto
Dahlia Dewi Apriani
Mulyono

ISBN : 978-634-255-780-8

Editor : Mila Sari, M. Si.
Desain Sampul dan Tata Letak : Dede Ahsani Aulia, ST.

PENERBIT : GET PRESS INDONESIA
Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022
Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat
website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Oktober 2026

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku berjudul *Manajemen Penanganan Dan Pengaturan Muatan Kapal* ini dapat diselesaikan. Isi buku ini mencakup pembahasan tentang konsep dasar penanganan da pengaturan muatan, regulasi dan standar internasional dalam penanganan muatan, perencanaan dan pengaturan muatan di atas kapal penangkapan ikan, pengamanan muatan (cargo securing) pada kapal penangkap ikan, draf, trim, dan displasmen kapal, tegangan badan kapal (hull stress), penanganan muatan khusus dan selama berlayar. Akhir kata, semoga buku ini dapat menjadi referensi dan dapat memberikan manfaat serta inspirasi bagi semua pembaca.

Padang, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

MANAJEMEN PENANGANAN i

DAN PENGATURAN MUATAN KAPAL i

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI ii

DAFTAR GAMBAR vi

DAFTAR TABEL vii

BAB 1 KONSEP DASAR PENANGANAN DAN PENGATURAN MUATAN 1

1.1 Ruang Lingkup dan Definisi Dasar Penanganan Muatan 3

1.2 Peran Strategis Penanganan Muatan dalam Operasi Kapal Perikanan 4

1.3 Karakteristik dan Jenis Muatan Hasil Perikanan 6

1.4 Prinsip Dasar Penanganan hasil tangkapan di Atas Kapal 16

1.5 Persiapan Teknis dan Administrasi Pengaturan Muatan 24

1.6 Prinsip Stabilitas Kapal dalam Pengaturan Muatan 31

1.7 Keselamatan, Keamanan, dan Pengendalian Mutu Muatan 38

DAFTAR PUSTAKA 45

BAB 2 REGULASI DAN STANDAR INTERNASIONAL DALAM PENANGANAN MUATAN 49

2.1 Konvensi SOLAS (*Safety of Life at Sea*) 51

2.2 Kode Internasional Pengangkutan Kargo (IMDG, IMSBC, CSS) 62
2.3 Sertifikasi dan Dokumentasi Muatan 72
2.4 Peran Organisasi Maritim Internasional (IMO) 82
2.5 Standar Keamanan dan Pelindungan Kargo (ISPS Code) 93
DAFTAR PUSTAKA 103
BAB 3 PERENCANAAN DAN PENGATURAN MUATAN DI ATAS KAPAL PENANGKAPAN IKAN 107
3.1 Konsep Dasar Perencanaan Muatan Pada Kapal Penangkapan Ikan 110
3.2 Karakteristik Ruang Muat Kapal Penangkapan Ikan 120
3.3 Pengaturan Alat Tangkap Dan Perlengkapan Operasi 136
3.4 Pengaturan Muatan Hasil Tangkapan 144
3.5 Perhitungan Kapasitas Muatan Dan Draft Kapal 156
3.6 Evaluasi dan Pengawasan Pengaturan Muatan 163
DAFTAR PUSTAKA 181
BAB 4 PENGAMANAN MUATAN (*CARGO SECURING*) PADA KAPAL PENANGKAP IKAN 191
4.1 Peran Strategis Pengamanan Muatan pada Kapal Penangkap Ikan 191
4.2 Definisi Pengamanan Muatan 195
4.3 Pengamanan Muatan pada Kapal Perikanan 198
4.4 Prinsip Dasar Pengamanan Muatan 218

4.5 Pengamanan Jenis-Jenis Muatan pada Kapal Penangkap Ikan 232
4.6 Metode Pengamanan Hasil Tangkapan 252
4.7 Pengamanan Alat Tangkap 268
DAFTAR PUSTAKA 287
BAB 5 DRAF, TRIM, DAN DISPLASMEN KAPAL 297
5.1 Draf atau sarat kapal 298
5.2 Displasmen kapal 304
5.3 Trim kapal 314
5.4 Studi Kasus 322
DAFTAR PUSTAKA 327
BAB 6 TEGANGAN BADAN KAPAL (HULL STRESS) 329
6.1 Dasar-Dasar Tegangan pada Struktur Kapal 329
6.2 Definisi *Hull Stress* 338
6.3 Sejarah Perkembangan Analisis Tegangan Kapal 342
6.4 Teori Dasar Hull Stress 344
6.5 Jenis-Jenis Beban pada Kapal 347
6.6 Tegangan Longitudinal 349
6.7 Tegangan Transversal 352
6.8 Tegangan Lokal 352
6.9 Analisis Tegangan Kapal 353
6.10 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Hull Stress 362
6.11. Standar Dan Regulasi 365

6.12 Studi Kasus 369
6.13 Tekanan dan Gaya Yang Bekerja Pada Kapal 371
DAFTAR PUSTAKA 375
BAB 7 STABILITAS KAPAL DALAM OPERASI MUAT BONGKAR 377
7.1 Prinsip Dasar Stabilitas Kapal 379
7.2 Efek Permukaan Bebas (*Free Surface Effect*) 388
7.3 Stabilitas Selama Operasi Muat dan Bongkar 396
7.4 Penggunaan Alat Bantu Stabilitas (*Loading Instrument*) 405
7.5 Evaluasi dan Pencegahan Stabilitas Buruk 411
DAFTAR PUSTAKA 419
BAB 8 PENANGANAN MUATAN KHUSUS DAN SELAMA BERLAYAR 423
8.1 Pengetahuan Jenis – jenis muatan kapal 423
8.2 Penanganan muatan khusus saat pemuatan dan selama pelayaran 428
DAFTAR PUSTAKA 463
BIODATA PENULIS 465

DAFTAR GAMBAR

Gambar 5. 1 Ilustrasi Draf pada Kapal. 299
Gambar 5. 2 Contoh Draf Mark pada Lambung Kapal 300
Gambar 5. 3 Ilustrasi Dimensi Utama Kapal 305
Gambar 5. 4 Contoh Kurva Hidrostatik 312
Gambar 5. 5 Ilustrasi Perubahan Displasmen memengaruhi Stabilitas 314
Gambar 5. 6 Ilustrasi hubungan antara *longitudinal centre of gravity* (LCG), *longitudinal centre of buoyancy* (LCB), dan kondisi trim kapal. 315
Gambar 6. 1 The Six Degrees Of Freedom 371
Gambar 6. 2 Hogging dan Sagging 373
Gambar 7. 1. Titik-titik penting Stabilitas kapal 380
Gambar 7. 2. Ilustrasi Pergeseran berat pada kapal 382
Gambar 7. 3. *Free Surface Effect* 390
Gambar 7. 4. Kondisi kapal *hogging* dan *Sagging* 400
Gambar 7. 5. Tampilan *Loading computer* pada Kapal RORO 401
Gambar 7. 6. Contoh kapal terbalik 413
Gambar 7. 7. *Stability and Trim Booklet* 415
Gambar 8. 1. Muatan curah dimuat di Kapal Curah 430
Gambar 8. 2. Penanganan muatan curah di kapal 431
Gambar 8. 3. Konstruksi Kapal Curah 434
Gambar 8. 4. Proses penanganan muatan umum dikapal kargo 436
Gambar 8. 5. Muatan berukuran besar 440
Gambar 8. 6. Muatan steel coil pada *lower deck* 443
Gambar 8. 7. Pengamanan dan pengikatan kendaraan 462

DAFTAR TABEL

Tabel 5. 1 Penyebab, Mekanisme, dan Dampak Trim.....320
Tabel 6. 1 Sifat Mekanik Baja Kapal Sesuai Standar Klasifikasi 347
Tabel 6. 2 Parameter Utama dalam Perhitungan Tegangan Kapal.....360
Tabel 6. 3 Badan Klasifikasi Internasional dan Aturan Tegangan Utama.....365

BAB 1
KONSEP DASAR PENANGANAN DAN PENGATURAN MUATAN

Oleh Rahmatang

Dalam kegiatan penangkapan ikan, banyak pihak beranggapan bahwa proses kerja berakhir setelah ikan berhasil ditangkap dan dinaikkan ke atas kapal. Padahal, keberhasilan suatu operasi penangkapan tidak hanya ditentukan oleh jumlah hasil tangkapan, tetapi juga oleh bagaimana hasil tangkapan tersebut ditangani dan disimpan setelah berada di atas kapal. Tahapan pascapanen di atas kapal memiliki peranan yang sangat penting karena berhubungan langsung dengan mutu ikan, nilai ekonomi produk, serta keselamatan operasional kapal selama pelayaran.

Penanganan dan pengaturan muatan merupakan bagian integral dari sistem usaha perikanan tangkap. Kegiatan ini mencakup serangkaian tindakan yang dilakukan untuk menjaga kualitas hasil tangkapan sejak ikan diterima di atas kapal hingga didaratkan di pelabuhan perikanan. Selain bertujuan mempertahankan kesegaran produk, pengaturan muatan yang baik juga berfungsi menjaga keseimbangan kapal sehingga risiko kecelakaan akibat distribusi beban yang tidak merata dapat diminimalkan.

Bab ini membahas konsep dasar penanganan dan pengaturan muatan pada kapal perikanan, meliputi ruang lingkup dan definisi dasar, karakteristik dan jenis muatan hasil perikanan, prinsip dasar penanganan, persiapan teknis dan administrasi pengaturan muatan, prinsip stabilitas kapal, keselamatan, keamanan, dan pengendalian mutu muatan.

Karakteristik hasil perikanan yang mudah mengalami kerusakan menjadi alasan utama mengapa penanganan harus dilakukan secara tepat dan cepat. Setelah ikan ditangkap, berbagai proses biologis, kimiawi, dan mikrobiologis akan terus berlangsung sehingga dapat menurunkan mutu produk apabila tidak dikendalikan dengan baik. Oleh karena itu, pemahaman mengenai sifat dasar ikan, faktor-faktor penyebab kerusakan, serta teknik pengawetan melalui penerapan rantai dingin (*cold chain*) menjadi aspek penting yang harus dikuasai oleh setiap pelaku usaha perikanan.

Selain itu, perencanaan penempatan muatan (*stowage planning*) juga memegang peranan penting dalam menjaga stabilitas kapal selama operasi penangkapan maupun pelayaran menuju pelabuhan. Pengaturan muatan yang dilakukan secara sistematis akan membantu menciptakan distribusi beban yang seimbang, mempermudah proses bongkar muat, serta meningkatkan efisiensi pemanfaatan ruang penyimpanan di dalam kapal.

Melalui pembelajaran pada bab ini, diharapkan taruna, mahasiswa, maupun praktisi perikanan dapat memahami pentingnya penerapan prinsip-prinsip penanganan dan pengaturan muatan yang benar. Pemahaman tersebut menjadi landasan dalam menjaga mutu hasil tangkapan, meningkatkan nilai tambah produk perikanan, memenuhi

standar keamanan pangan, serta mendukung keselamatan operasi kapal perikanan secara berkelanjutan.

1.1 Ruang Lingkup dan Definisi Dasar Penanganan Muatan

Kegiatan memindahkan hasil tangkapan dari alat tangkap ke palka penyimpanan sering dianggap sebagai rutinitas. Padahal, di balik aktivitas fisik tersebut, terdapat sebuah sistem manajemen yang kompleks dengan implikasi besar terhadap profitabilitas dan keselamatan. Memahami ruang lingkup dan definisi fundamental dari penanganan muatan adalah langkah awal untuk mengapresiasi perannya sebagai salah satu pilar utama dalam operasi perikanan modern.

1.1.1 Pengertian Dasar Manajemen Muatan di Kapal

Manajemen muatan di kapal perikanan dapat didefinisikan serangkaian kegiatan yang direncanakan, diorganisasikan, dan dikendalikan secara sistematis, mencakup seluruh proses penanganan hasil tangkapan sejak ikan diangkat ke atas kapal hingga dibongkar di pelabuhan. Kegiatan tersebut tidak hanya meliputi pemindahan hasil tangkapan, tetapi juga mencakup perencanaan, pelaksanaan, dan pengawasan terhadap proses sortasi, pendinginan, penyimpanan, serta dokumentasi muatan. Tujuan utama manajemen muatan adalah mengoptimalkan pemanfaatan ruang penyimpanan, mempertahankan mutu hasil tangkapan, serta menjamin keselamatan dan stabilitas kapal selama operasi penangkapan ikan(Setyohadi *et al.*, 2024)

1.2 Peran Strategis Penanganan Muatan dalam Operasi Kapal Perikanan

Penanganan muatan memegang peran yang jauh lebih strategis dari sekadar fungsi logistik. Peran utamanya adalah sebagai penentu nilai ekonomi hasil tangkapan. Ikan adalah komoditas yang kualitasnya menurun dengan cepat setelah mati, dan metode penanganan secara langsung memengaruhi kecepatan degradasi tersebut. Penanganan yang cepat, higienis, dan dengan pendinginan yang adekuat dapat secara signifikan memperlambat proses pembusukan, mempertahankan kesegaran, tekstur, dan rasa, yang pada akhirnya menentukan harga jual di pasar (Wijaya *et al.*, 2024)

Di sisi lain, praktik penanganan muatan juga merupakan faktor kritis bagi keselamatan kapal. Distribusi berat dari hasil tangkapan, es, dan perbekalan lainnya secara signifikan mengubah karakteristik stabilitas kapal. Seperti yang dianalisis dalam banyak studi kecelakaan, pemuatan yang tidak simetris atau pemuatan berlebih dapat secara drastis mengurangi kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah terkena ombak, yang berujung pada kecelakaan fatal (Ohn and Namgung, 2024). Oleh karena itu, setiap kilogram muatan yang ditambahkan harus dipertimbangkan dampaknya terhadap titik berat dan stabilitas keseluruhan.

Hubungan timbal balik yang paling fundamental adalah bagaimana mutu dan keselamatan bertemu dalam praktik pengaturan muatan. Sebagai contoh, metode penyimpanan ikan dalam jumlah besar (*bulk stowage*) mungkin efisien dari segi ruang, tetapi berisiko merusak ikan di bagian bawah karena tekanan dan menyulitkan distribusi pendinginan yang merata. Sebaliknya, penggunaan rak atau peti mungkin lebih

baik untuk mutu, tetapi dapat mengurangi kapasitas muat dan menaikkan titik berat kapal jika ditumpuk terlalu tinggi. Mencari keseimbangan optimal antara menjaga mutu produk, memaksimalkan muatan, dan mempertahankan stabilitas adalah tantangan inti dalam manajemen muatan di kapal perikanan.

Contoh Kasus: Pentingnya penerapan manajemen muatan yang baik dapat dilihat melalui perbandingan antara dua kapal *purse seine* yang memperoleh hasil tangkapan cakalang dalam jumlah yang sama. Kapal pertama menerapkan prosedur penanganan yang sesuai dengan prinsip penanganan ikan yang baik, yaitu dengan segera mendinginkan hasil tangkapan menggunakan es dalam jumlah yang memadai, menyusun ikan secara teratur di dalam palka berinsulasi, serta melakukan pemantauan suhu secara berkala selama pelayaran. Sebaliknya, kapal kedua menunda proses pendinginan, membiarkan ikan berada di atas dek dalam waktu yang cukup lama, dan menggunakan es dalam jumlah yang terbatas selama penyimpanan.

Perbedaan perlakuan tersebut menghasilkan kualitas produk yang berbeda ketika kapal tiba di pelabuhan. Hasil tangkapan dari kapal pertama masih memenuhi standar mutu tinggi sehingga dapat dipasarkan sebagai produk kualitas ekspor dengan harga yang lebih tinggi. Sementara itu, hasil tangkapan dari kapal kedua mengalami penurunan mutu yang ditandai dengan berkurangnya tingkat kesegaran dan kualitas fisik, sehingga hanya dapat dijual sebagai bahan baku industri pengolahan dengan nilai ekonomi yang lebih rendah. Pada jumlah tangkapan yang mencapai puluhan ton, selisih harga jual tersebut dapat menimbulkan perbedaan pendapatan yang sangat signifikan bagi pemilik kapal maupun nelayan.

Selain berdampak pada aspek ekonomi, praktik penanganan muatan yang kurang baik juga berpengaruh terhadap keselamatan pelayaran. Penempatan muatan yang tidak merata dapat menyebabkan distribusi berat kapal menjadi tidak seimbang sehingga memengaruhi stabilitas selama beroperasi di laut. Kondisi tersebut dapat meningkatkan risiko kemiringan kapal, mengurangi kenyamanan dan keselamatan awak kapal saat bekerja, serta menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar akibat bertambahnya hambatan gerak kapal. Oleh karena itu, manajemen muatan tidak hanya berfungsi untuk menjaga mutu hasil tangkapan, tetapi juga menjadi faktor penting dalam mendukung keselamatan operasi dan efisiensi pelayaran kapal perikanan.

1.3 Karakteristik dan Jenis Muatan Hasil Perikanan

Muatan hasil perikanan memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan sebagian besar komoditas pertanian dan perkebunan. Hasil tangkapan umumnya bersifat mudah rusak (*perishable*) karena memiliki kandungan air dan protein yang tinggi serta mengalami berbagai perubahan biologis dan kimiawi setelah ikan mati. Kondisi tersebut menyebabkan hasil perikanan memerlukan penanganan, penyimpanan, dan pengangkutan yang lebih cermat untuk mempertahankan mutunya.

Selain itu, setiap jenis hasil tangkapan memiliki karakteristik yang berbeda sehingga membutuhkan metode penanganan yang berbeda pula. Pemahaman mengenai jenis

komoditas, sifat biologis, proses kemunduran mutu, serta faktor-faktor yang memengaruhi kualitas hasil tangkapan sangat penting dalam penerapan manajemen muatan kapal perikanan

1.3.1 Pengelompokan Hasil Tangkapan berdasarkan Jenis Komoditas

Hasil tangkapan perikanan memiliki karakteristik yang beragam sehingga dapat dikelompokkan berdasarkan beberapa kriteria yang berkaitan dengan sifat biologis dan kebutuhan penanganannya. Salah satu pengelompokan yang umum digunakan adalah berdasarkan kandungan lemak, yaitu ikan berlemak rendah (*lean fish*), ikan berlemak sedang, dan ikan berlemak tinggi (*fatty fish*). Kelompok ikan berlemak rendah antara lain kakap dan kerapu, sedangkan tongkol termasuk ikan berlemak sedang. Adapun ikan berlemak tinggi, seperti sarden dan lemuru, memiliki kandungan lipid yang lebih besar sehingga lebih rentan mengalami oksidasi lemak yang dapat menyebabkan ketengikan. Oleh karena itu, kelompok ikan ini memerlukan pengendalian suhu yang lebih ketat selama penanganan dan penyimpanan untuk mempertahankan mutu serta memperpanjang masa simpannya (Erikson, Uglem and Greiff, 2021).

Selain berdasarkan kandungan lemak, hasil tangkapan juga dapat dikelompokkan berdasarkan habitat hidupnya, yaitu ikan demersal dan ikan pelagis. Ikan demersal merupakan kelompok ikan yang hidup dan mencari makan di dekat dasar perairan, seperti ikan sebelah, kakap, dan kerapu. Sementara itu, ikan pelagis hidup di kolom perairan, baik pada lapisan permukaan maupun perairan yang lebih dalam, dengan contoh antara lain tuna, cakalang, tongkol, sarden, dan

teri. Perbedaan habitat tersebut berpengaruh terhadap metode penangkapan, volume hasil tangkapan, serta teknik penanganan yang diterapkan setelah ikan ditangkap.

Berdasarkan ukurannya, ikan pelagis dapat dibedakan menjadi ikan pelagis kecil dan ikan pelagis besar. Kelompok ikan pelagis kecil meliputi sarden, lemuru, dan teri yang umumnya ditangkap dalam jumlah besar menggunakan alat tangkap seperti purse seine. Kondisi ini menuntut proses penanganan dan pendinginan yang cepat untuk mencegah penurunan mutu. Sebaliknya, ikan pelagis besar seperti tuna dan marlin memiliki nilai ekonomi yang tinggi sehingga memerlukan penanganan yang lebih spesifik. Pada beberapa jenis tuna, misalnya, dilakukan proses pembuangan darah (*bleeding*) dan pengeluaran isi perut (*gutting*) segera setelah penangkapan untuk menjaga kualitas daging, mengurangi kontaminasi, serta memperpanjang masa simpan produk. Prosedur tersebut umumnya tidak diterapkan pada ikan pelagis kecil karena ukuran ikan yang relatif kecil dan volume tangkapan yang sangat besar (Borderías and Sánchez-alonso, 2011).

1.3.2 Karakteristik Biologis dan Sifat Mudah Rusak Hasil Tangkapan

Salah satu karakteristik utama hasil tangkapan perikanan adalah sifatnya yang mudah mengalami kerusakan (*highly perishable*). Kondisi ini dipengaruhi oleh kombinasi faktor fisiologis, kimiawi, dan mikrobiologis yang berlangsung secara alami setelah ikan ditangkap. Kandungan air yang tinggi, komposisi nutrisi yang lengkap, serta nilai pH yang mendekati netral menjadikan daging ikan sebagai media yang sangat baik bagi pertumbuhan dan perkembangan

mikroorganisme pembusuk. Oleh karena itu, mutu ikan dapat menurun dengan cepat apabila tidak segera ditangani secara tepat (Rahmatang, 2024).

Selain faktor mikrobiologis, kemunduran mutu ikan juga dipengaruhi oleh berbagai perubahan fisiologis dan biokimia yang terjadi setelah kematian. Proses tersebut diawali dengan fase *rigor mortis*, yaitu kondisi kekakuan otot pascakematian akibat habisnya cadangan energi dalam jaringan. Setelah fase ini berakhir, jaringan otot secara bertahap mengalami pelunakan akibat aktivitas enzim alami yang terdapat pada daging dan saluran pencernaan ikan. Proses autolisis tersebut menyebabkan pemecahan protein dan lemak yang berpengaruh terhadap tekstur, aroma, serta cita rasa ikan(FAO, 1995)

Selain aktivitas enzim, pertumbuhan mikroorganisme juga menjadi faktor utama yang mempercepat kemunduran mutu hasil tangkapan. Mikroorganisme yang terdapat pada permukaan tubuh, insang, maupun saluran pencernaan akan berkembang lebih cepat apabila suhu penyimpanan tidak dikendalikan dengan baik. Akibatnya, proses pembusukan berlangsung lebih cepat dan kualitas ikan terus menurun. Oleh karena itu, penerapan penanganan yang cepat, higienis, dan didukung sistem pendinginan yang memadai sangat penting untuk mempertahankan kesegaran, keamanan, dan nilai ekonomi hasil tangkapan selama penyimpanan maupun distribusi (Ward, 2022).

Dari aspek komposisi kimia, ikan memiliki karakteristik yang turut menyebabkan produk ini mudah mengalami penurunan mutu. Daging ikan umumnya memiliki nilai pH yang mendekati netral, yaitu sekitar 6,2–6,5, sehingga menciptakan kondisi yang mendukung pertumbuhan

berbagai jenis mikroorganisme pembusuk. Selain itu, kandungan air yang tinggi, berkisar antara 60–80%, menyediakan media yang ideal bagi berlangsungnya berbagai reaksi biokimia dan aktivitas mikroba. Pada ikan laut, terdapat senyawa Trimetilamina Oksida (TMAO) yang secara alami berfungsi dalam proses osmoregulasi. Setelah ikan mati, senyawa tersebut dapat diuraikan oleh bakteri menjadi Trimetilamina (TMA) yang menimbulkan aroma amis hingga bau busuk yang menjadi salah satu indikator menurunnya kesegaran ikan (Jančі *et al.*, 2023).

Dari sisi mikrobiologis, kulit, insang, dan saluran pencernaan ikan merupakan habitat alami berbagai jenis bakteri. Selama ikan masih hidup, pertumbuhan mikroorganisme tersebut dapat dikendalikan oleh mekanisme pertahanan tubuh. Namun, setelah ikan mati, kemampuan tersebut berhenti sehingga bakteri mulai berkembang dan memanfaatkan jaringan ikan sebagai sumber nutrisi. Laju pertumbuhan mikroorganisme akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu penyimpanan, yang pada akhirnya mempercepat proses pembusukan. Oleh karena itu, pengendalian suhu melalui pendinginan yang cepat dan berkelanjutan menjadi salah satu langkah paling penting dalam mempertahankan mutu hasil tangkapan serta memperpanjang masa simpannya (Ward, 2022; Jančі *et al.*, 2023)

1.3.3 Perubahan Mutu Hasil Tangkapan setelah Penangkapan

Penurunan mutu ikan adalah sebuah proses kontinu yang dapat dibagi menjadi empat fase utama. Fase pertama, **fase *prerigor***, adalah periode segera setelah ikan mati hingga

rigor mortis dimulai. Pada fase ini, ikan masih dalam kondisi sangat segar, dagingnya kenyal dan transparan. Fase kedua adalah ***rigor mortis***, di mana otot-otot ikan berkontraksi dan menjadi kaku. Durasi fase ini bervariasi tergantung spesies, suhu, dan kondisi ikan saat mati. Ikan yang ditangani dengan baik selama fase ini akan memiliki kualitas yang sangat baik.

Fase ketiga, ***post-rigor*** atau pelunakan, terjadi ketika enzim autolitik mulai bekerja, memecah struktur otot dan menyebabkan daging melunak. Pada tahap awal fase ini, ikan masih dapat diterima untuk konsumsi, namun kesegarannya mulai menurun. Fase terakhir adalah **fase pembusukan**, di mana bakteri pembusuk mulai mendominasi. Tanda-tanda yang muncul antara lain bau amonia atau busuk yang kuat, mata kusam dan cekung, insang berubah warna menjadi coklat atau abu-abu, dan daging menjadi sangat lunak serta mudah hancur. Tujuan penanganan adalah untuk memperpanjang fase *prerigor* dan *rigor mortis* selama mungkin.

Secara praktis, perubahan ini dapat diamati melalui evaluasi sensorik. Ikan segar memiliki mata yang jernih dan cembung, insang merah cerah, kulit berlendir bening dan berkilau, serta daging yang elastis saat ditekan. Seiring waktu, mata menjadi kusam, insang memucat, lendir mengering atau menjadi keruh, dan daging kehilangan elastisitasnya. Penilaian sensorik ini, jika dilakukan oleh personel terlatih, merupakan metode yang cepat dan efektif untuk memonitor mutu di atas kapal.

1.3.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Hasil tangkapan selama Penyimpanan

Kualitas hasil tangkapan selama penyimpanan dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik yang berasal dari kondisi lingkungan maupun perlakuan selama penanganan. Faktor-faktor tersebut menentukan kecepatan penurunan mutu ikan dan masa simpan produk. Faktor utama yang paling berpengaruh terhadap kualitas ikan selama penyimpanan adalah **suhu**. Suhu rendah dapat memperlambat aktivitas enzimatis, reaksi biokimia, dan pertumbuhan mikroorganisme penyebab kerusakan. Secara umum, peningkatan suhu penyimpanan sebesar 10°C dapat meningkatkan laju pembusukan hingga dua sampai tiga kali lipat. Oleh karena itu, penyimpanan ikan segar sebaiknya dilakukan pada suhu mendekati titik lebur es, yaitu sekitar 0°C hingga -1°C, untuk mempertahankan kesegaran dan memperpanjang masa simpan ikan (P. A. Wibawa, Birmingham and Warmadewanthi, 2022; Chanioti *et al.*, 2023).

Faktor kedua adalah **waktu**. Setelah ikan ditangkap, proses penurunan mutu berlangsung secara terus-menerus akibat aktivitas enzim dan mikroorganisme. Semakin cepat ikan didinginkan dan disimpan pada suhu yang sesuai, semakin lambat laju penurunan mutunya. Sebaliknya, keterlambatan penanganan setelah penangkapan dapat mempercepat proses kerusakan dan mengurangi kualitas produk akhir

Faktor ketiga adalah **sanitasi dan higiene**. Peralatan, wadah penyimpanan, dek kapal, maupun tangan pekerja yang tidak higienis dapat menjadi sumber kontaminasi

mikroorganisme. Oleh karena itu, penerapan prosedur sanitasi yang baik, seperti pembersihan peralatan secara rutin, penggunaan bahan yang mudah dibersihkan, serta pencucian ikan menggunakan air bersih atau air laut yang memenuhi persyaratan, sangat diperlukan untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme pembusuk (Wijaya *et al.*, 2024).

Selain itu, **kerusakan fisik** selama penanganan dan penyimpanan dapat mempercepat penurunan mutu ikan. Penanganan yang kurang hati-hati, seperti benturan, tekanan berlebihan, atau penumpukan ikan dalam jumlah besar, dapat menyebabkan memar, kerusakan kulit, dan rusaknya jaringan otot. Kerusakan tersebut dapat menurunkan nilai estetika produk sekaligus mempercepat aktivitas mikroorganisme pada jaringan yang terluka. Di samping itu, tingkat stres ikan selama proses penangkapan juga dapat memengaruhi kualitas daging dan kecepatan terjadinya rigor mortis, yang pada akhirnya berpengaruh terhadap mutu hasil tangkapan selama penyimpanan.

1.3.5 Pengaruh Karakteristik muatan terhadap Metode Penanganan dan Penyimpanan

Karakteristik biologis dan fisiologis setiap jenis hasil tangkapan merupakan faktor penting dalam menentukan metode penanganan dan penyimpanan yang tepat. Perbedaan kandungan lemak, struktur jaringan, tingkat aktivitas enzim, serta sensitivitas terhadap kerusakan fisik menyebabkan setiap komoditas perikanan memerlukan perlakuan yang berbeda untuk mempertahankan mutunya selama penyimpanan.

Ikan pelagis kecil dengan kandungan lemak tinggi, seperti sarden dan lemuru, memiliki kerentanan yang tinggi terhadap proses oksidasi lemak yang dapat menyebabkan ketengikan. Oleh karena itu, komoditas tersebut memerlukan proses pendinginan yang cepat serta perlindungan dari paparan oksigen selama penyimpanan. Salah satu metode yang banyak diterapkan adalah sistem *Refrigerated Sea Water* (RSW), yaitu pendinginan menggunakan air laut yang didinginkan sehingga suhu ikan dapat diturunkan secara cepat dan merata pada seluruh bagian muatan

Pada ikan pelagis besar bernilai ekonomi tinggi, seperti tuna yang ditujukan untuk pasar ekspor, penanganan dilakukan secara lebih intensif untuk mempertahankan kualitas daging. Proses penanganan umumnya meliputi pengeluaran darah (*bleeding*), pembuangan insang dan isi perut (*gilling and gutting*), serta pendinginan segera setelah ikan ditangkap. Tindakan tersebut bertujuan untuk memperlambat aktivitas enzim dan pertumbuhan mikroorganisme yang dapat menurunkan mutu produk. Selain itu, penyimpanan secara terpisah atau pembungkusan individual sering diterapkan untuk meminimalkan kerusakan fisik dan menjaga warna serta tekstur daging yang menjadi indikator utama mutu tuna ekspor (Blanc, Desurmont and Beverly, 2005).

Komoditas krustasea, seperti udang, memerlukan penanganan khusus untuk mencegah terjadinya *melanosis* atau *blackspot*, yaitu perubahan warna gelap pada permukaan tubuh yang dapat menurunkan nilai jual produk. Pencegahan melanosis umumnya dilakukan melalui pencucian, perlakuan dengan bahan penghambat melanosis sesuai ketentuan yang

berlaku, serta penyimpanan pada suhu rendah melalui pengesan atau pembekuan cepat.

Berbeda dengan produk yang dipasarkan dalam kondisi segar atau beku, komoditas hidup seperti kepiting dan lobster memerlukan sistem penyimpanan yang mampu mempertahankan kelangsungan hidup organisme hingga mencapai tujuan pemasaran. Oleh karena itu, kualitas air, ketersediaan oksigen terlarut, serta suhu media penyimpanan harus dijaga pada kondisi yang sesuai dengan kebutuhan biologis masing-masing spesies untuk meminimalkan stres dan mortalitas selama transportasi.

Berdasarkan karakteristik tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode penanganan dan penyimpanan hasil tangkapan harus disesuaikan dengan jenis komoditas yang ditangani. Penerapan metode yang tepat tidak hanya berperan dalam mempertahankan mutu produk, tetapi juga meningkatkan nilai ekonomi hasil tangkapan serta mengurangi kerugian akibat penurunan kualitas selama penyimpanan

Contoh Kasus: Pada operasi penangkapan menggunakan kapal longline, tuna yang memiliki nilai ekonomi tinggi umumnya mendapatkan penanganan khusus sejak proses penangkapan hingga penyimpanan. Sebaliknya, hasil tangkapan sampingan (*by-catch*) seperti cakalang sering kali memperoleh perlakuan yang kurang optimal. Perbedaan penanganan tersebut dapat menyebabkan kualitas cakalang menurun lebih cepat sehingga harga jualnya menjadi jauh lebih rendah dibandingkan tuna. Kondisi ini menunjukkan bahwa keberhasilan mempertahankan mutu hasil tangkapan sangat dipengaruhi oleh kesesuaian metode penanganan

dengan karakteristik biologis dan nilai ekonomis masing-masing komoditas.

1.4 Prinsip Dasar Penanganan hasil tangkapan di Atas Kapal

Penanganan hasil tangkapan di atas kapal merupakan salah satu tahapan penting dalam menjaga mutu dan keamanan produk perikanan. Sejak ikan ditangkap, berbagai proses biologis, biokimia, dan mikrobiologis mulai berlangsung yang dapat menyebabkan penurunan kualitas secara bertahap. Oleh karena itu, diperlukan penerapan prinsip-prinsip penanganan yang tepat untuk memperlambat proses kerusakan, mempertahankan kesegaran, serta menjaga nilai ekonomi hasil tangkapan. Prinsip-prinsip tersebut menjadi dasar dalam setiap kegiatan penanganan di atas kapal guna menghasilkan produk perikanan yang memenuhi standar mutu dan keamanan pangan.

1.4.1 Penanganan Hasil Tangkapan setelah Proses Penangkapan

Penanganan hasil tangkapan harus dilakukan sesegera mungkin setelah ikan dinaikkan ke atas kapal. Tahap ini merupakan periode kritis karena proses biologis, biokimia, dan mikrobiologis yang menyebabkan penurunan mutu mulai berlangsung setelah ikan mati. Oleh karena itu, prioritas utama dalam penanganan awal adalah mengurangi paparan terhadap suhu lingkungan yang tinggi dan sinar matahari langsung. Hasil tangkapan sebaiknya segera dipindahkan ke

area yang teduh atau langsung ke tempat penanganan dan pendinginan untuk mempertahankan kesegarannya.

Selain pengendalian suhu, kerusakan fisik selama penanganan juga harus diminimalkan. Ikan sebaiknya tidak dilempar, diinjak, atau ditumpuk secara berlebihan karena dapat menyebabkan memar, luka, dan kerusakan jaringan. Kerusakan tersebut dapat mempercepat aktivitas mikroorganisme dan proses degradasi jaringan yang pada akhirnya menurunkan mutu hasil tangkapan. Oleh karena itu, penggunaan wadah dan peralatan yang sesuai sangat dianjurkan untuk mengurangi risiko kerusakan selama proses penanganan.

Tahap berikutnya adalah pencucian awal menggunakan air laut bersih atau air yang memenuhi persyaratan sanitasi. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan darah, lendir, pasir, dan kontaminan lain yang menempel pada permukaan tubuh ikan. Selain itu, pencucian dapat membantu menurunkan suhu awal ikan sebelum proses pendinginan lebih lanjut dilakukan. Pada beberapa spesies bernilai ekonomi tinggi, seperti tuna, proses pengeluaran darah (*bleeding*) dan pembuangan isi perut (*gutting*) dilakukan segera setelah penangkapan untuk mempertahankan kualitas daging dan memperlambat penurunan mutu selama penyimpanan(Blanc, Desurmont and Beverly, 2005).

1.4.2 Teknik Sortasi dan Penanganan yang Higienis

Sortasi (*grading*) merupakan salah satu tahapan penting dalam penanganan hasil tangkapan yang bertujuan untuk mengelompokkan ikan berdasarkan karakteristik tertentu sehingga memudahkan proses penyimpanan, pengolahan, dan pemasaran. Kegiatan sortasi sebaiknya dilakukan sesegera

mungkin setelah penangkapan untuk mengurangi risiko penurunan mutu. Pengelompokan umumnya dilakukan berdasarkan spesies, ukuran, dan tingkat kualitas hasil tangkapan. Pemisahan berdasarkan spesies diperlukan karena setiap jenis ikan memiliki karakteristik biologis dan tingkat kerentanan terhadap kerusakan yang berbeda. Sementara itu, pengelompokan berdasarkan ukuran bertujuan untuk memperoleh keseragaman produk yang dapat mempermudah penanganan, pengemasan, dan pemasaran.

Selain berdasarkan spesies dan ukuran, hasil tangkapan juga perlu disortir berdasarkan kondisi fisiknya. Ikan yang mengalami luka, memar, atau kerusakan akibat proses penangkapan dan penanganan sebaiknya dipisahkan dari ikan yang masih dalam kondisi baik. Pemisahan tersebut bertujuan untuk mempertahankan mutu produk secara keseluruhan serta mencegah penurunan nilai ekonomi akibat pencampuran ikan dengan kualitas yang berbeda. Seluruh proses sortasi hendaknya dilakukan pada area yang bersih dengan menggunakan wadah dan peralatan yang sesuai untuk menjaga mutu dan keamanan produk.

Penerapan higiene selama proses sortasi dan penanganan merupakan aspek yang tidak dapat diabaikan. Awak kapal yang terlibat dalam penanganan hasil tangkapan harus menjaga kebersihan diri, menggunakan pakaian kerja yang bersih, serta menerapkan praktik higiene yang baik selama bekerja. Selain itu, seluruh peralatan yang bersentuhan langsung dengan ikan, seperti pisau, meja sortasi, keranjang, dan wadah penyimpanan, sebaiknya terbuat dari bahan yang tahan korosi, tidak beracun, dan mudah dibersihkan, seperti *stainless steel* atau plastik *food*

grade. Pembersihan dan sanitasi peralatan secara berkala perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya kontaminasi silang yang dapat menurunkan mutu dan keamanan hasil (Wijaya *et al.*, 2024).

1.4.3 Prinsip Sanitasi dan Higiene dalam Penanganan Hasil Tangkpan

Sanitasi dan higiene merupakan komponen penting dalam sistem penanganan hasil tangkapan yang bertujuan untuk mencegah kontaminasi serta mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme yang dapat menurunkan mutu dan keamanan produk perikanan. Sanitasi mencakup upaya menjaga kebersihan lingkungan kerja, fasilitas, dan peralatan yang digunakan selama proses penanganan. Oleh karena itu, area penanganan, dek kapal, palka penyimpanan, dan peralatan yang bersentuhan langsung dengan ikan harus dirancang dan dipelihara agar mudah dibersihkan, bebas dari akumulasi kotoran, serta memiliki sistem drainase yang memadai. Kegiatan pembersihan dilakukan secara rutin melalui penghilangan sisa-sisa bahan organik, seperti darah, lendir, dan jaringan ikan, yang dapat menjadi media pertumbuhan mikroorganisme.

Higiene berkaitan dengan kebersihan dan perilaku individu yang terlibat dalam proses penanganan hasil tangkapan. Awak kapal yang menangani ikan harus menerapkan praktik higiene yang baik, seperti menjaga kebersihan tangan, menggunakan pakaian kerja yang bersih, serta menghindari tindakan yang dapat menyebabkan kontaminasi produk. Selain itu, ketersediaan fasilitas sanitasi yang memadai, termasuk toilet dan tempat cuci tangan yang dilengkapi dengan air bersih dan sabun, merupakan faktor

penting dalam mendukung penerapan higiene selama kegiatan penanganan berlangsung.

Penerapan sanitasi dan higiene yang efektif memerlukan prosedur kerja yang jelas dan dilaksanakan secara konsisten oleh seluruh awak kapal. Oleh karena itu, setiap unit usaha penangkapan ikan perlu menerapkan *Sanitation Standard Operating Procedures* (SSOP) sebagai pedoman dalam menjaga kebersihan fasilitas, peralatan, dan personel. Pelaksanaan SSOP yang didukung oleh pengawasan secara berkala akan membantu menjamin mutu dan keamanan hasil tangkapan serta mendukung penerapan sistem jaminan mutu dan keamanan pangan, seperti *Hazard Analysis and Critical Control Points* (HACCP)

1.4.4 Metode Pendinginan menggunakan Es dan Media Pendingin Lainnya.

Pendinginan merupakan metode yang paling efektif untuk memperlambat penurunan mutu dan memperpanjang masa simpan ikan segar. Salah satu metode pendinginan yang paling umum digunakan adalah penggunaan es. Proses pendinginan terjadi melalui kontak langsung antara es dan ikan, di mana es menyerap panas dari tubuh ikan selama proses pencairan sehingga suhu ikan dapat diturunkan hingga mendekati 0°C. Selain berfungsi sebagai media pendingin, air lelehan es juga membantu membersihkan permukaan ikan dari lendir, darah, dan kotoran lainnya. Oleh karena itu, kualitas es yang digunakan harus memenuhi persyaratan sanitasi dan dibuat dari air yang layak minum untuk mencegah terjadinya kontaminasi. Es umumnya digunakan dalam bentuk es serpih (*flake ice*) atau es curah (*crushed ice*) karena mampu memberikan kontak yang lebih merata dengan

seluruh permukaan ikan sehingga proses pendinginan berlangsung lebih efektif (Hermawan *et al.*, 2025).

Selain penggunaan es, metode pendinginan lain yang banyak diterapkan, terutama pada kapal dengan kapasitas tangkapan besar, adalah sistem *Refrigerated Sea Water* (RSW) dan *Chilled Brine*. Pada sistem ini, ikan disimpan dalam tangki yang berisi air laut atau larutan garam yang didinginkan menggunakan sistem refrigerasi mekanis hingga mencapai suhu sekitar -1°C. Keunggulan utama sistem RSW adalah kemampuannya menurunkan suhu ikan secara cepat dan merata, sehingga mutu hasil tangkapan dapat dipertahankan dengan lebih baik. Selain itu, berkurangnya frekuensi penanganan secara langsung dapat meminimalkan risiko kerusakan fisik selama proses penyimpanan.

Perkembangan teknologi pendinginan juga mendorong munculnya berbagai metode yang lebih inovatif. Salah satunya adalah *slurry ice*, yaitu campuran kristal es berukuran mikro dan air yang mampu menyelimuti seluruh permukaan ikan secara merata. Teknologi ini memiliki laju perpindahan panas yang lebih tinggi dibandingkan es curah sehingga proses pendinginan berlangsung lebih cepat. Selain itu, penelitian terbaru menunjukkan potensi penggunaan *cold-atmospheric plasma activated ice*, yaitu es yang diaktivasi dengan plasma dingin dan tidak hanya berfungsi sebagai media pendingin, tetapi juga memiliki sifat antimikroba yang dapat membantu menghambat pertumbuhan bakteri pada permukaan ikan selama penyimpanan (Chanioti *et al.*, 2023). Pemilihan metode pendinginan yang digunakan harus disesuaikan dengan jenis kapal, spesies target tangkapan, volume hasil tangkapan, serta tujuan dan target pasar produk perikanan.

1.4.5 Penerapan Sistem Rantai Dingin (*Cold Chain System*) untuk Mempertahankan Mutu

Sistem rantai dingin (*cold chain system*) merupakan suatu rangkaian proses yang bertujuan untuk menjaga suhu produk tetap rendah secara konsisten sejak ikan ditangkap hingga diterima oleh konsumen. Penerapan sistem ini sangat penting karena peningkatan suhu selama penyimpanan dan distribusi dapat mempercepat aktivitas enzimatik, pertumbuhan mikroorganisme, dan berbagai reaksi biokimia yang menyebabkan penurunan mutu produk perikanan. Oleh karena itu, keberhasilan mempertahankan kualitas hasil tangkapan sangat bergantung pada kontinuitas penerapan rantai dingin pada setiap tahapan penanganan dan distribusi

Di atas kapal, penerapan sistem rantai dingin dimulai dengan proses pendinginan sesegera mungkin setelah ikan ditangkap. Selanjutnya, hasil tangkapan yang telah didinginkan harus disimpan dalam palka yang memiliki insulasi termal yang baik untuk meminimalkan perpindahan panas dari lingkungan sekitar, baik yang berasal dari mesin kapal, air laut, maupun udara luar. Suhu penyimpanan di dalam palka perlu dipantau secara berkala menggunakan alat ukur yang terkalibrasi guna memastikan kondisi suhu tetap berada pada kisaran yang direkomendasikan, yaitu mendekati 0°C. Selain itu, perkembangan teknologi memungkinkan penerapan sistem pemantauan suhu berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat memberikan informasi kondisi penyimpanan secara real-time, sehingga memudahkan pengawasan dan pengendalian suhu tanpa perlu membuka palka secara (Wahab *et al.*, 2026).

Penerapan sistem rantai dingin harus terus dipertahankan setelah kapal tiba di pelabuhan. Selama proses pembongkaran, hasil tangkapan perlu dilindungi dari paparan sinar matahari langsung dan suhu lingkungan yang tinggi untuk mencegah peningkatan suhu produk. Oleh karena itu, kegiatan pembongkaran sebaiknya dilakukan seefisien mungkin dengan tetap mempertahankan kondisi pendinginan yang memadai. Selanjutnya, ikan harus segera dipindahkan ke fasilitas penyimpanan atau diangkut menggunakan sarana transportasi berpendingin menuju unit pengolahan, tempat pelelangan ikan, atau pasar tujuan. Keberhasilan penerapan sistem rantai dingin sangat bergantung pada koordinasi dan komitmen seluruh pihak yang terlibat dalam rantai pasok perikanan, mulai dari nelayan, pengelola pelabuhan, penyedia jasa transportasi, industri pengolahan, hingga pedagang. Dengan demikian, mutu, keamanan, dan nilai ekonomi produk perikanan dapat dipertahankan hingga sampai ke tangan konsumen

Contoh Kasus: buah kapal purse seine memperoleh hasil tangkapan ikan pelagis kecil sebanyak 5 ton pada siang hari. Untuk mempertahankan mutu hasil tangkapan, awak kapal segera memindahkan ikan dari dek penangkapan ke area penanganan dan melakukan pendinginan menggunakan es sesaat setelah ikan dinaikkan ke atas kapal (**prinsip cepat**). Selama proses sortasi, ikan dipisahkan berdasarkan jenis, ukuran, dan kualitas serta ditangani secara hati-hati untuk menghindari kerusakan fisik seperti memar dan luka (**prinsip hati-hati**). Seluruh peralatan yang digunakan, termasuk keranjang, meja sortasi, dan palka penyimpanan, dibersihkan secara rutin, sementara awak kapal menerapkan higiene personal yang baik selama proses penanganan (**prinsip**

bersih). Setelah itu, ikan disimpan dalam palka berinsulasi dengan suhu mendekati 0°C dan kondisi tersebut dipertahankan hingga proses pembongkaran dan distribusi ke tempat tujuan (**prinsip menjaga rantai dingin**). Penerapan keempat prinsip tersebut secara terpadu terbukti mampu mempertahankan kesegaran ikan, mengurangi kehilangan pascapanen, dan meningkatkan nilai ekonomi hasil tangkapan (P. . Wibawa, Birmingham and Warmadewanthi, 2022).

Berdasarkan uraian di atas, **prinsip dasar penanganan hasil tangkapan** di atas kapal dapat dirangkum menjadi empat aspek utama, yaitu penanganan yang **cepat, hati-hati, bersih, dan menjaga rantai dingin**. Penerapan keempat prinsip tersebut secara konsisten merupakan kunci utama dalam mempertahankan mutu, keamanan, dan nilai ekonomi hasil tangkapan sejak penangkapan hingga produk diterima oleh konsumen.

1.5 Persiapan Teknis dan Administrasi Pengaturan Muatan

Persiapan teknis dan administrasi merupakan tahapan penting yang harus dilakukan sebelum kegiatan penangkapan ikan dilaksanakan. Kesiapan ruang muat, fasilitas penyimpanan, peralatan penanganan, serta kelengkapan administrasi akan sangat menentukan keberhasilan proses penyimpanan dan penanganan hasil tangkapan di atas kapal. Perencanaan dan persiapan yang dilakukan secara menyeluruh tidak hanya mendukung kelancaran operasional, tetapi juga berperan dalam menjaga mutu hasil tangkapan, meningkatkan efisiensi kerja, serta meminimalkan risiko

kerusakan produk dan gangguan selama pelayaran. Oleh karena itu, setiap kegiatan penangkapan perlu diawali dengan pemeriksaan dan persiapan yang sistematis sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan.

1.5.1 Pemeriksaan Kesiapan Ruang Muat (Palka Ikan)

Sebelum pelayaran dimulai, ruang muat atau palka ikan harus diperiksa secara menyeluruh untuk memastikan kesiapannya sebagai tempat penyimpanan hasil tangkapan. Aspek pertama yang perlu diperhatikan adalah kebersihan dan sanitasi. Palka harus berada dalam kondisi bersih, bebas dari sisa ikan, darah, lendir, maupun kotoran lainnya yang berpotensi menjadi sumber kontaminasi. Dinding, lantai, dan langit-langit palka harus dicuci, disikat, kemudian didesinfeksi menggunakan bahan sanitasi yang sesuai. Penerapan prosedur tersebut bertujuan untuk mencegah terjadinya kontaminasi silang dan menjaga mutu hasil tangkapan selama penyimpanan.

Aspek berikutnya adalah pemeriksaan kondisi struktur dan insulasi palka. Dinding, lantai, dan bagian konstruksi lainnya harus dipastikan bebas dari retakan atau kerusakan yang dapat menghambat proses pembersihan serta berpotensi menjadi tempat berkembangnya mikroorganisme. Selain itu, kondisi insulasi termal perlu diperiksa untuk memastikan kemampuannya dalam menghambat perpindahan panas dari lingkungan luar ke dalam palka. Insulasi yang mengalami kerusakan atau lembap dapat menurunkan efisiensi sistem pendinginan, meningkatkan kebutuhan energi, serta menyulitkan pemeliharaan suhu penyimpanan yang optimal.

Pemeriksaan juga mencakup fungsi sistem drainase pada ruang muat. Saluran pembuangan air lelehan es (*bilge* atau *sump*) harus berada dalam kondisi bersih dan tidak mengalami penyumbatan sehingga air lelehan dapat mengalir dengan baik. Sistem drainase yang berfungsi secara optimal akan mencegah genangan air di dalam palka, menjaga kebersihan ruang penyimpanan, serta mengurangi risiko pertumbuhan mikroorganisme yang dapat mempercepat penurunan mutu hasil tangkapan.

1.5.2 Persiapan Fasilitas Pendinginan dan Penyimpanan

Setelah ruang muat dinyatakan siap digunakan, tahap berikutnya adalah memastikan kesiapan fasilitas pendinginan dan penyimpanan. Pada kapal yang menggunakan sistem refrigerasi mekanis, seperti *Refrigerated Sea Water* (RSW), *chilled brine*, atau palka berpendingin, seluruh komponen sistem perlu diperiksa dan diuji sebelum keberangkatan. Pemeriksaan meliputi kondisi refrigeran, kompresor, kondensor, evaporator, serta sistem pengendalian suhu untuk memastikan seluruh peralatan berfungsi secara optimal. Pemeriksaan ini penting dilakukan guna mengurangi risiko terjadinya gangguan sistem pendinginan selama operasi penangkapan yang dapat berdampak pada penurunan mutu hasil tangkapan.

Bagi kapal yang menggunakan es sebagai media pendingin utama, persiapan meliputi penentuan jumlah dan kualitas es yang akan digunakan. Kebutuhan es harus disesuaikan dengan perkiraan volume hasil tangkapan, lama pelayaran, serta kondisi lingkungan selama operasi penangkapan. Secara umum, rasio antara es dan ikan yang banyak diterapkan adalah sekitar **1:1**, meskipun rasio

tersebut dapat disesuaikan berdasarkan jenis ikan, metode penyimpanan, dan lama penyimpanan. Es yang digunakan harus berasal dari air yang memenuhi persyaratan sanitasi, dimuat sesaat sebelum keberangkatan, serta disimpan dengan baik untuk meminimalkan pencairan sebelum digunakan.

Selain sistem pendinginan, berbagai fasilitas penyimpanan juga harus dipersiapkan dengan baik. Rak penyimpanan, peti ikan, sekat palka (*pound boards*), keranjang, terpal penutup, sekop, dan peralatan pendukung lainnya perlu dipastikan berada dalam kondisi bersih, layak pakai, dan tersedia dalam jumlah yang memadai. Alat pemantau suhu, seperti termometer, juga harus diperiksa dan dikalibrasi secara berkala agar mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat selama proses penyimpanan berlangsung.

1.5.3 Perencanaan Tata Letak Muatan (*Stowage Planning)*

Perencanaan tata letak muatan (*stowage planning*) merupakan tahap penting yang dilakukan sebelum proses pemuatan hasil tangkapan ke dalam palka. Perencanaan ini bertujuan untuk menentukan penempatan muatan secara sistematis sehingga pemanfaatan ruang penyimpanan menjadi optimal, proses bongkar muat lebih efisien, pemisahan hasil tangkapan berdasarkan jenis atau kualitas dapat dilakukan dengan baik, serta stabilitas kapal tetap terjaga selama pelayaran. Untuk memudahkan pelaksanaannya, rencana penataan muatan umumnya disusun dalam bentuk sketsa atau diagram ruang muat.

Dalam penyusunan tata letak muatan, aspek stabilitas kapal menjadi pertimbangan utama. Muatan dengan bobot yang lebih besar sebaiknya ditempatkan pada bagian bawah

palka agar titik berat kapal tetap rendah sehingga stabilitas kapal dapat dipertahankan. Selain itu, distribusi muatan harus dilakukan secara seimbang antara sisi kanan (*starboard*) dan sisi kiri (*port*), serta antara bagian haluan (*fore*) dan buritan (*aft*), guna mencegah kemiringan kapal dan menjaga kondisi *trim* tetap optimal selama operasi penangkapan.

Perencanaan tata letak muatan yang baik tidak hanya meningkatkan keselamatan pelayaran, tetapi juga membantu menjaga mutu hasil tangkapan selama penyimpanan. Penempatan muatan yang teratur akan mempermudah sirkulasi media pendingin, mengurangi risiko kerusakan fisik akibat tekanan antarmuatan, serta memperlancar proses pembongkaran di pelabuhan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa optimalisasi ruang palka melalui pendekatan matematis maupun simulasi mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan ruang sekaligus mendukung stabilitas kapal dan kualitas hasil tangkapan (Coronil Huertas *et al.*, 2024; Sunardi *et al.*, 2025).

1.5.4 Pemeriksaan Kebersihan Ruang Muat dan Peralatan Penanganan

Sebelum proses pemuatan hasil tangkapan dimulai, perlu dilakukan pemeriksaan akhir terhadap kebersihan ruang muat dan seluruh peralatan yang akan bersentuhan langsung dengan produk. Pemeriksaan ini merupakan tahap verifikasi untuk memastikan bahwa seluruh prosedur pembersihan dan sanitasi telah dilaksanakan sesuai standar sehingga ruang penyimpanan dan peralatan siap digunakan tanpa menimbulkan risiko kontaminasi terhadap hasil tangkapan.

Inspeksi dilakukan terhadap kondisi palka untuk memastikan tidak terdapat sisa bahan organik, kotoran, maupun bau yang dapat mengindikasikan adanya kontaminasi. Selain itu, seluruh peralatan penanganan, seperti keranjang, sekop, pisau, meja sortasi, dan talenan, harus berada dalam kondisi bersih, telah melalui proses sanitasi, serta siap digunakan. Apabila diperlukan, proses sanitasi ulang dapat dilakukan selama kegiatan penanganan berlangsung, terutama setelah peralatan digunakan untuk pekerjaan yang berbeda atau berpotensi menyebabkan kontaminasi silang.

Pemeriksaan juga mencakup area dek yang digunakan sebagai tempat penanganan awal hasil tangkapan. Area tersebut harus bersih serta bebas dari tumpahan oli, bahan bakar, maupun bahan kimia lainnya yang dapat mencemari produk. Penerapan kebersihan dan sanitasi secara konsisten merupakan tanggung jawab seluruh awak kapal serta menjadi salah satu faktor penting dalam menjaga mutu, keamanan, dan kelayakan hasil tangkapan selama proses penanganan dan penyimpanan.

1.5.5 Dokumentasi dan Pencatatan Hasil Tangkapan

Dokumentasi dan pencatatan hasil tangkapan merupakan bagian penting dalam mendukung ketertelusuran (*traceability*), pengelolaan usaha perikanan, serta pemenuhan persyaratan administrasi. Setiap kapal penangkap ikan perlu melakukan pencatatan secara sistematis terhadap seluruh aktivitas penangkapan melalui buku catatan penangkapan (*logbook*). Informasi yang dicatat umumnya meliputi waktu dan lokasi penangkapan (koordinat GPS), jenis alat tangkap yang digunakan, spesies hasil tangkapan, jumlah hasil

tangkapan, serta informasi lain yang dipersyaratkan sesuai ketentuan yang berlaku.

Data hasil pencatatan tidak hanya berfungsi sebagai laporan kepada instansi yang berwenang, tetapi juga menjadi sumber informasi yang penting bagi pengelolaan operasi penangkapan. Informasi mengenai lokasi penangkapan, komposisi hasil tangkapan, serta kualitas produk dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi produktivitas daerah penangkapan, menyusun strategi operasi penangkapan berikutnya, serta meningkatkan efisiensi kegiatan penangkapan.

Seiring dengan perkembangan teknologi informasi, sistem dokumentasi hasil tangkapan telah banyak beralih ke sistem elektronik (*electronic logbook*). Selain mempermudah proses pencatatan dan pelaporan, sistem ini juga mendukung penerapan ketertelusuran (*traceability*) produk perikanan, terutama untuk memenuhi persyaratan perdagangan nasional maupun ekspor. Melalui sistem tersebut, setiap kelompok (*batch*) hasil tangkapan dapat diberi identitas khusus sehingga asal-usul produk, waktu penangkapan, lokasi penangkapan, hingga proses penanganannya dapat ditelusuri dengan mudah apabila diperlukan.

Contoh Kasus: Sebuah kapal penangkap ikan melakukan pencatatan secara lengkap terhadap setiap operasi penangkapan, meliputi lokasi penangkapan, waktu penangkapan, jenis alat tangkap, jumlah hasil tangkapan, serta suhu penyimpanan selama pelayaran. Ketika sebagian produk mengalami penurunan mutu setelah tiba di pelabuhan, data tersebut memungkinkan perusahaan menelusuri penyebabnya, mulai dari lokasi penangkapan hingga kondisi penyimpanan di atas kapal. Sebaliknya, kapal yang tidak

melakukan pencatatan secara lengkap akan mengalami kesulitan dalam mengidentifikasi sumber permasalahan, sehingga tindakan perbaikan menjadi kurang efektif. Oleh karena itu, dokumentasi yang akurat dan sistematis merupakan bagian penting dalam menjamin mutu produk, mendukung sistem ketertelusuran, serta meningkatkan kepercayaan konsumen terhadap produk perikanan.

1.6 Prinsip Stabilitas Kapal dalam Pengaturan Muatan

Stabilitas kapal merupakan salah satu aspek yang sangat penting dalam menjamin keselamatan pelayaran dan keberhasilan operasi penangkapan ikan. Selain berpengaruh terhadap keselamatan awak kapal, stabilitas yang baik juga berperan dalam melindungi hasil tangkapan, menjaga integritas struktur kapal, serta mendukung kelancaran proses penanganan dan penyimpanan muatan. Pengaturan muatan yang tidak tepat dapat mengubah keseimbangan kapal sehingga meningkatkan risiko kemiringan, kehilangan stabilitas, bahkan kecelakaan di laut. Oleh karena itu, pemahaman mengenai prinsip-prinsip dasar stabilitas kapal menjadi pengetahuan yang harus dimiliki oleh seluruh personel yang terlibat dalam kegiatan pengaturan muatan.

1.6.1 Hubungan antara Distribusi Muatan dan titik Berat Kapal

Setiap kapal memiliki suatu titik imajiner yang disebut **titik berat** (*Center of Gravity* atau **G**), yaitu titik tempat seluruh berat kapal beserta muatannya dianggap bekerja.

Posisi titik berat tidak bersifat tetap, melainkan berubah sesuai dengan penambahan, pengurangan, atau perpindahan muatan di atas kapal. Penambahan muatan akan menggeser titik berat ke arah lokasi muatan tersebut, sedangkan pengurangan muatan menyebabkan titik berat bergeser menjauhi lokasi muatan yang dipindahkan.

Posisi vertikal titik berat, yang dinyatakan sebagai **KG** (*Keel to Center of Gravity*), merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi stabilitas kapal. Penempatan muatan berat pada bagian atas kapal akan meningkatkan posisi titik berat sehingga stabilitas kapal cenderung menurun. Sebaliknya, penempatan muatan pada bagian bawah atau dasar palka akan menurunkan posisi titik berat sehingga stabilitas kapal menjadi lebih baik. Oleh karena itu, muatan dengan bobot besar, seperti hasil tangkapan, es, bahan bakar, maupun air tawar, umumnya ditempatkan pada bagian bawah kapal.

Selain posisi vertikal, distribusi muatan secara horizontal juga memengaruhi keseimbangan kapal. Muatan yang tidak seimbang antara sisi kanan (*starboard*) dan sisi kiri (*port*) dapat menyebabkan kapal mengalami kemiringan (*list*). Sementara itu, distribusi muatan yang tidak merata antara bagian haluan (*fore*) dan buritan (*aft*) akan memengaruhi kondisi *trim* kapal. Oleh karena itu, pengaturan distribusi muatan harus dilakukan secara seimbang agar posisi titik berat tetap berada pada kondisi yang mendukung stabilitas kapal selama pelayaran.

1.6.2 Konsep Dasar Stabilitas Kapal Selama Operasi Penangkapan

Stabilitas kapal merupakan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah mengalami kemiringan akibat pengaruh gaya luar, seperti angin, gelombang, maupun aktivitas operasi penangkapan. Kemampuan tersebut ditentukan oleh hubungan antara **titik berat** (*Center of Gravity* atau **G**) dan **titik apung** (*Center of Buoyancy* atau **B**). Titik apung merupakan titik tempat resultan gaya apung bekerja, yang posisinya bergantung pada bentuk dan volume bagian lambung kapal yang terendam air. Pada kondisi kapal tegak, titik berat dan titik apung berada pada satu garis vertikal yang sama.

Ketika kapal mengalami kemiringan, bentuk lambung yang terendam air akan berubah sehingga posisi titik apung bergeser ke arah sisi kapal yang lebih rendah. Pergeseran tersebut menyebabkan garis kerja gaya apung membentuk titik baru yang disebut **metasentrum** (*Metacenter* atau **M**). Jarak vertikal antara titik berat (**G**) dan metasentrum (**M**) dikenal sebagai **tinggi metasentris** (*Metacentric Height* atau **GM**), yang merupakan salah satu parameter utama dalam menilai stabilitas awal kapal.

Nilai **GM** digunakan sebagai indikator kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah mengalami kemiringan. Apabila metasentrum berada di atas titik berat (**GM positif**), kapal memiliki stabilitas positif sehingga cenderung kembali ke posisi semula. Semakin besar nilai GM, semakin besar pula kemampuan kapal untuk menegakkan diri, meskipun gerakan oleng kapal akan menjadi lebih cepat (*stiff ship*). Sebaliknya, apabila titik berat berada di atas metasentrum (**GM negatif**),

kapal kehilangan stabilitas dan berisiko mengalami terbalik (*capsizing*). Selama operasi penangkapan, terutama pada saat proses penarikan jaring atau pengangkatan hasil tangkapan ke atas kapal, posisi titik berat dapat berubah sehingga nilai GM berkurang. Oleh karena itu, proses penanganan muatan dan pengoperasian alat tangkap harus dilakukan secara hati-hati agar stabilitas kapal tetap terjaga selama pelayaran (Kim *et al.*, 2023).

1.6.3 Pengaruh Muatan terhadap Draft dan Trim Kapal

Penambahan muatan pada kapal akan meningkatkan berat total kapal sehingga kapal akan tenggelam lebih dalam ke dalam air sesuai dengan **prinsip Archimedes**. Kedalaman bagian kapal yang terendam air tersebut dikenal sebagai draft, yaitu jarak vertikal antara permukaan air dan bagian terbawah lunas (*keel*) kapal. Semakin besar berat muatan yang dibawa, semakin besar pula nilai draft kapal. Oleh karena itu, setiap kapal memiliki batas draft maksimum yang ditandai dengan garis muat (*load line* atau *Plimsoll Line*) sebagai batas aman pemuatan yang tidak boleh dilampaui demi menjamin keselamatan pelayaran.

Selain memengaruhi draft, distribusi muatan juga berpengaruh terhadap trim kapal, yaitu perbedaan draft antara bagian haluan (*bow*) dan buritan (*stern*). Kapal dikatakan mengalami trim by the stern apabila draft buritan lebih besar daripada draft haluan, sedangkan kondisi trim by the bow terjadi apabila draft haluan lebih besar daripada draft buritan. Apabila draft pada haluan dan buritan memiliki nilai yang sama, kapal berada pada kondisi even keel, yaitu posisi kapal yang relatif sejajar terhadap permukaan air.

Distribusi muatan secara memanjang harus direncanakan secara cermat agar kondisi trim tetap berada dalam batas yang diizinkan. Penempatan muatan yang berlebihan pada bagian haluan akan menyebabkan kapal mengalami trim by the bow, sedangkan penumpukan muatan pada bagian buritan akan mengakibatkan trim by the stern. Kondisi trim yang tidak sesuai dapat menurunkan efisiensi hidrodinamika kapal, meningkatkan hambatan gerak, memperbesar konsumsi bahan bakar, mengurangi kecepatan pelayaran, serta memengaruhi kemampuan manuver kapal. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa perubahan trim, meskipun relatif kecil, dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap performa operasional dan efisiensi energi kapal (Kandelous and Ghadimi, 2024; Díaz-Ojeda *et al.*, 2026).

1.6.4 Pentingnya Menjaga Integritas Struktural Kapal

Selain memengaruhi stabilitas, pengaturan muatan juga berperan penting dalam menjaga **integritas struktural kapal**. Lambung kapal dirancang untuk menahan beban statis maupun dinamis hingga batas tertentu. Oleh karena itu, distribusi muatan yang tidak tepat dapat menimbulkan tegangan (*stress*) berlebih pada struktur kapal, yang pada akhirnya berpotensi mengurangi kekuatan konstruksi serta meningkatkan risiko kerusakan selama pelayaran.

Salah satu bentuk pembebanan yang perlu dihindari adalah konsentrasi muatan pada satu bagian tertentu. Apabila sebagian besar muatan berat ditempatkan di bagian tengah kapal, sedangkan bagian haluan dan buritan relatif kosong, struktur kapal dapat mengalami kondisi **sagging**, yaitu melengkung ke bawah pada bagian tengah. Sebaliknya, apabila muatan berat terkonsentrasi di bagian haluan dan

buritan, sementara bagian tengah relatif ringan, kapal dapat mengalami kondisi **hogging**, yaitu melengkung ke atas pada bagian tengah. Kedua kondisi tersebut dapat meningkatkan tegangan pada struktur lambung sehingga mempercepat terjadinya kelelahan material (*fatigue*), retakan, bahkan kerusakan struktur apabila kapal beroperasi pada kondisi laut yang berat.

Oleh karena itu, distribusi muatan harus direncanakan secara merata di sepanjang ruang muat sesuai dengan kapasitas struktur kapal. Perencanaan pemuatan juga perlu mempertimbangkan batas beban yang diizinkan pada setiap bagian dek maupun lantai palka agar beban yang diterima konstruksi kapal tetap berada dalam batas aman. Dengan demikian, pengaturan muatan yang baik tidak hanya berfungsi menjaga stabilitas kapal, tetapi juga mempertahankan kekuatan struktur kapal sehingga mampu menahan berbagai gaya yang bekerja selama operasi penangkapan dan pelayaran.

1.6.5 Teknik Sederhana Pengaturan Muatan yang Seimbang dan Aman

Penerapan prinsip stabilitas kapal dalam pengaturan muatan tidak selalu memerlukan perhitungan yang rumit. Beberapa teknik sederhana dapat diterapkan untuk menjaga keseimbangan kapal selama operasi penangkapan maupun pelayaran. Meskipun bersifat praktis, teknik-teknik tersebut memiliki peran yang sangat penting dalam mempertahankan stabilitas kapal, menjaga keselamatan awak kapal, serta melindungi hasil tangkapan dari kerusakan.

Prinsip pertama adalah menempatkan muatan yang memiliki bobot besar pada bagian bawah atau dasar palka.

Penempatan hasil tangkapan, es, bahan bakar, maupun muatan berat lainnya sedekat mungkin dengan lunas kapal akan membantu menurunkan posisi titik berat (*Center of Gravity*), sehingga stabilitas kapal tetap terjaga selama pelayaran.

Prinsip kedua adalah mendistribusikan muatan secara merata antara sisi kiri (*port*) dan sisi kanan (*starboard*), serta antara bagian haluan (*fore*) dan buritan (*aft*). Distribusi muatan yang seimbang akan mencegah terjadinya kemiringan kapal (*list*) maupun perubahan *trim* yang berlebihan. Selama proses pemuatan, kondisi kapal perlu dipantau secara berkala agar keseimbangan tetap terjaga dan koreksi dapat segera dilakukan apabila terjadi ketidakseimbangan.

Prinsip ketiga adalah mencegah terjadinya pergeseran muatan selama pelayaran. Hasil tangkapan yang disimpan dalam jumlah besar dapat bergeser akibat gerakan kapal sehingga mengubah distribusi beban secara tiba-tiba dan mengurangi stabilitas kapal. Oleh karena itu, penggunaan sekat pemisah (*shifting boards* atau *pound boards*) serta sistem pengamanan muatan perlu diterapkan untuk membatasi pergerakan hasil tangkapan di dalam palka. Penerapan teknik pengaturan muatan yang tepat dapat mengurangi risiko kecelakaan, menjaga stabilitas kapal, serta mempertahankan mutu hasil tangkapan selama pelayaran (Iqbal *et al.*, 2023; Ohn and Namgung, 2024).

Contoh Kasus: Salah satu penyebab kecelakaan kapal perikanan adalah distribusi muatan yang tidak seimbang selama operasi penangkapan. Sebuah penelitian mengenai kecelakaan kapal pengeruk (*dredge fishing boat*) di Korea Selatan menunjukkan bahwa akumulasi hasil tangkapan pada salah satu sisi dek menyebabkan titik berat kapal bergeser

sehingga stabilitas kapal menurun secara signifikan. Ketika kapal menerima gaya gelombang dari sisi yang sama, momen pemulih (*righting moment*) tidak lagi mampu mengembalikan kapal ke posisi tegak, sehingga kapal mengalami terbalik (*capsizing*). Kasus tersebut menunjukkan bahwa pengaturan muatan yang merata serta pengamanan muatan selama pelayaran merupakan faktor penting dalam menjaga stabilitas dan keselamatan operasi penangkapan ikan (Ohn and Namgung, 2024).

1.7 Keselamatan, Keamanan, dan Pengendalian Mutu Muatan

Penanganan dan pengaturan muatan di atas kapal tidak hanya bertujuan mempertahankan kualitas hasil tangkapan, tetapi juga menjamin keselamatan awak kapal, keamanan produk, serta keberhasilan penerapan sistem jaminan mutu. Ketiga aspek tersebut saling berkaitan dan tidak dapat dipisahkan dalam setiap tahapan penanganan hasil tangkapan. Penerapan prosedur keselamatan, pengendalian kontaminasi, dan pemeliharaan mutu secara konsisten menjadi faktor penting dalam menghasilkan produk perikanan yang aman, bermutu tinggi, dan memiliki nilai ekonomi yang optimal.

1.7.1 Keselamatan Kerja dalam Penanganan Hasil Tangkapan

Keselamatan kerja merupakan aspek yang tidak dapat dipisahkan dari kegiatan penanganan hasil tangkapan di atas kapal. Area penanganan ikan termasuk lingkungan kerja yang

memiliki tingkat risiko kecelakaan cukup tinggi karena kondisi dek yang sering kali basah, licin, dan dipenuhi air, lendir, maupun pecahan es. Kondisi tersebut meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja, seperti terpeleset, terjatuh, atau cedera saat menangani hasil tangkapan. Oleh karena itu, setiap awak kapal wajib menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) yang sesuai, seperti sepatu bot antiselip (*anti-slip boots*), sarung tangan, dan pakaian kerja yang memadai. Selain itu, teknik pengangkatan beban yang benar, yaitu mengandalkan kekuatan otot kaki dan menjaga posisi punggung tetap tegak, perlu diterapkan untuk mengurangi risiko cedera pada sistem muskuloskeletal.

Peralatan yang digunakan dalam proses penanganan hasil tangkapan, seperti pisau untuk penyiangan (*gutting*), gancu (*gaff*), maupun alat bantu lainnya, juga berpotensi menimbulkan kecelakaan apabila tidak digunakan dengan benar. Oleh karena itu, awak kapal perlu memperoleh pelatihan mengenai prosedur penggunaan, penyimpanan, dan perawatan peralatan secara aman. Selain itu, ruang muat atau palka ikan yang tertutup dapat dikategorikan sebagai **ruang terbatas (*confined space*)**, sehingga berpotensi memiliki kadar oksigen yang rendah atau mengandung gas berbahaya, seperti hidrogen sulfida (H_2S) yang dihasilkan dari proses pembusukan bahan organik. Sebelum memasuki ruang tersebut, perlu dilakukan pemeriksaan kondisi atmosfer serta penerapan prosedur keselamatan sesuai standar kerja di ruang terbatas.

Selain faktor lingkungan dan peralatan, kelelahan (*fatigue*) akibat jam kerja yang panjang juga merupakan salah satu penyebab utama kecelakaan kerja di atas kapal. Aktivitas penanganan hasil tangkapan umumnya berlangsung secara

intensif dan membutuhkan tenaga fisik yang besar, terutama pada saat proses hauling, sortasi, dan penyimpanan ikan di dalam palka. Oleh karena itu, nakhoda atau kepala kru perlu mengatur pembagian tugas, rotasi kerja, serta waktu istirahat yang memadai agar kondisi fisik awak kapal tetap terjaga. Dengan demikian, keselamatan kerja tidak hanya bergantung pada kepatuhan terhadap prosedur operasional, tetapi juga pada terbentuknya budaya keselamatan (*safety culture*) yang menempatkan keselamatan sebagai tanggung jawab bersama seluruh awak kapal.

1.7.2 Pencegahan Kerusakan Fisik dan Kontaminasi Produk

Pencegahan kerusakan fisik dan kontaminasi merupakan aspek penting dalam menjaga mutu dan keamanan hasil tangkapan. Kerusakan fisik dapat terjadi akibat penanganan yang kasar, seperti melempar, membanting, atau menumpuk ikan secara berlebihan di dalam palka. Kondisi tersebut dapat menyebabkan memar, kehilangan cairan (*drip loss*), serta kerusakan tekstur daging yang pada akhirnya menurunkan mutu dan nilai ekonomi produk. Oleh karena itu, hasil tangkapan harus dipindahkan dan disusun secara hati-hati untuk meminimalkan kerusakan.

Selain kerusakan fisik, kontaminasi juga harus dicegah karena dapat menurunkan mutu dan membahayakan keamanan pangan. Kontaminasi dapat bersifat biologis (bakteri dan virus), kimiawi (bahan bakar, pelumas, dan bahan pembersih), maupun fisik (serpihan logam, plastik, atau benda asing lainnya). Seluruh area penanganan harus dijaga tetap bersih, sedangkan bahan kimia disimpan terpisah dari area penanganan ikan. Selain itu, peralatan yang

digunakan harus terbuat dari bahan *food grade*, tahan korosi, mudah dibersihkan, dan selalu dalam kondisi baik.

Pencegahan kontaminasi silang (*cross contamination*) juga perlu diterapkan dengan memisahkan hasil tangkapan dari sumber kontaminasi selama proses penanganan. Penerapan sistem jaminan mutu, seperti **Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP)**, membantu mengidentifikasi titik-titik kritis yang berpotensi menyebabkan kontaminasi serta menetapkan langkah pengendalian yang sesuai. Dengan demikian, penanganan yang higienis tidak hanya mempertahankan mutu hasil tangkapan, tetapi juga menjamin keamanan pangan.

1.7.3 Pengendalian Suhu Selama Penyimpanan di Kapal

Pengendalian suhu merupakan **Critical Control Point (CCP)** atau **Titik Kendali Kritis** yang paling penting dalam menjaga mutu dan keamanan hasil tangkapan. Suhu ikan harus segera diturunkan setelah penangkapan dan dipertahankan pada kisaran yang sesuai selama proses penyimpanan. Untuk ikan segar yang disimpan menggunakan es, suhu ideal berkisar antara **-1°C hingga +1°C**.

Pemantauan suhu harus dilakukan secara rutin. Pengukuran suhu sebaiknya dilakukan sedikitnya dua kali sehari pada beberapa titik di dalam palka, seperti bagian atas, tengah, dan bawah, kemudian hasilnya dicatat dalam **logbook** sebagai bukti bahwa suhu penyimpanan telah dikendalikan dengan baik. Selain itu, termometer yang digunakan harus memiliki tingkat akurasi yang baik dan dikalibrasi secara berkala untuk menjamin keakuratan hasil pengukuran.

Perkembangan teknologi juga mendukung pengendalian suhu selama penyimpanan. Sistem pemantauan suhu berbasis

Internet of Things (IoT) memungkinkan suhu di dalam palka dipantau secara **real-time** dari anjungan kapal maupun dari darat. Sensor pada sistem tersebut dapat memberikan peringatan dini apabila terjadi kenaikan suhu di atas batas yang telah ditetapkan, sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan untuk mencegah penurunan mutu hasil tangkapan (Wahab *et al.*, 2026). Oleh karena itu, pengendalian suhu yang dilakukan secara konsisten merupakan salah satu faktor utama dalam mempertahankan kesegaran ikan dan memperpanjang masa simpannya.

1.7.4 Monitoring Mutu Hasil Tangkapan Selama Pelayaran

Meskipun suhu penyimpanan telah dikendalikan dengan baik, mutu hasil tangkapan tetap akan mengalami penurunan secara bertahap seiring bertambahnya waktu penyimpanan. Oleh karena itu, pemantauan mutu secara berkala selama pelayaran perlu dilakukan untuk memastikan kondisi ikan tetap memenuhi standar kualitas. Kegiatan ini tidak memerlukan peralatan laboratorium yang rumit, karena evaluasi sensorik yang dilakukan oleh awak kapal yang telah terlatih umumnya sudah memadai.

Secara berkala, sampel ikan dari beberapa titik di dalam palka dapat diambil untuk dilakukan pemeriksaan. Penilaian meliputi kondisi visual, seperti mata, insang, dan kulit, serta karakteristik bau dan tekstur daging. Hasil pengamatan sebaiknya dicatat sebagai bahan evaluasi terhadap laju penurunan mutu selama penyimpanan. Apabila ditemukan bahwa ikan pada bagian tertentu di dalam palka mengalami penurunan mutu lebih cepat, kondisi tersebut dapat mengindikasikan adanya permasalahan, seperti distribusi es

yang tidak merata atau terbentuknya **titik panas (hot spot)** akibat insulasi yang kurang optimal.

Pemantauan mutu secara rutin memberikan dasar yang lebih akurat dalam pengambilan keputusan selama pelayaran. Sebagai contoh, apabila mutu hasil tangkapan mulai mendekati batas yang tidak dapat diterima, nakhoda dapat mempertimbangkan untuk segera kembali ke pelabuhan dibandingkan melanjutkan operasi penangkapan. Selain itu, data hasil pemantauan juga bermanfaat sebagai bahan evaluasi untuk menyempurnakan prosedur penanganan dan penyimpanan pada pelayaran berikutnya.

1.7.5 Pentingnya Pengelolaan Muatan untuk Menjamin Mutu dan Nilai Ekonomi Hasil Tangkapan

Pengelolaan muatan tidak hanya merupakan serangkaian kegiatan teknis, tetapi juga menjadi bagian penting dari strategi dalam menjaga mutu hasil tangkapan dan meningkatkan nilai ekonominya. Penerapan sistem pengelolaan muatan yang baik berkontribusi langsung terhadap terpeliharanya kualitas produk selama proses penanganan, penyimpanan, dan pengangkutan. Produk dengan mutu yang lebih baik akan memiliki nilai jual yang lebih tinggi, sehingga mampu meningkatkan keuntungan dan daya saing di pasar. Sebaliknya, penurunan mutu akibat penanganan yang kurang tepat dapat menyebabkan penurunan harga bahkan penolakan produk oleh pasar.

Investasi dalam peningkatan sistem penanganan, seperti pelatihan awak kapal, perbaikan insulasi palka, penggunaan media pendingin yang sesuai, serta penerapan sistem pemantauan suhu, perlu dipandang sebagai upaya untuk meningkatkan efisiensi operasional dan nilai ekonomi hasil

tangkapan. Selain itu, penerapan perencanaan pemuatan yang baik melalui analisis **stowage factor** dan optimalisasi pemanfaatan ruang palka dapat meningkatkan kapasitas muatan, menjaga stabilitas kapal, serta mendukung efisiensi operasional selama pelayaran (Setyohadi *et al.*, 2024).

Pada akhirnya, pengelolaan muatan yang dilakukan secara tepat akan menjadi salah satu keunggulan kompetitif dalam usaha perikanan tangkap. Pengelolaan yang baik mampu menjaga konsistensi mutu produk, meningkatkan kepercayaan konsumen, memperluas akses ke pasar yang mensyaratkan standar mutu tinggi, serta mendukung keberlanjutan usaha perikanan. Oleh karena itu, penguasaan prinsip-prinsip penanganan dan pengaturan muatan merupakan kompetensi yang perlu dimiliki oleh setiap pelaku usaha perikanan untuk menghasilkan produk yang bermutu, aman, dan bernilai ekonomi tinggi.

Contoh Kasus: Dua kapal perikanan melakukan operasi penangkapan dengan jenis ikan, lama pelayaran, dan jumlah hasil tangkapan yang relatif sama. Kapal pertama menerapkan penanganan hasil tangkapan secara higienis, pendinginan segera setelah penangkapan, serta penataan muatan yang baik sehingga suhu di dalam palka tetap terjaga. Sebaliknya, kapal kedua mengalami keterlambatan dalam proses pendinginan dan distribusi es di dalam palka tidak merata. Pada saat hasil tangkapan dipasarkan, ikan dari kapal pertama memperoleh harga jual yang lebih tinggi karena mutu tetap terjaga, sedangkan hasil tangkapan kapal kedua mengalami penurunan mutu sehingga nilai jualnya lebih rendah. Kasus ini menunjukkan bahwa pengelolaan muatan yang baik berpengaruh langsung terhadap mutu produk dan nilai ekonomi hasil tangkapan.

DAFTAR PUSTAKA

Blanc, M., Desurmont, A. and Beverly, S. (2005) *Onboard Handling of Sashimi-Grade Tuna - A practical guide for crew members*, *LSU AgCenter*.

Borderías, A.J. and Sánchez-alonso, I. (2011) "First Processing Steps and the Quality of Wild and Farmed Fish," *Journal of Food Science*, 76(1), pp. 1–5. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01900.x.

Chanioti, S. *et al.* (2023) "Cold-atmospheric-plasma activated-ice as a cooling medium with antimicrobial properties : Case study on fish fillet preservation," *Food Research International*, 167(November 2022), p. 112639. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112639.

Coronil Huertas, D.J. *et al.* (2024) "Optimization of the stowage of fishing discards: Innovations in trawlers in the Gulf of Cadiz (SW Iberian Peninsula)," *Regional Studies in Marine Science*, 76(May), pp. 1–8. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103593.

Díaz-Ojeda, H.R. *et al.* (2026) "Numerical and experimental hydrodynamic assessment of a dihedral bulbous bow retrofit for a semi-planing fishing vessel," *Ocean Engineering*, 355, p. 124832.

Erikson, U., Uglem, S. and Greiff, K. (2021) "Freeze-Chilling of Whitefish: Effects of Capture, On-Board Processing, Freezing, Frozen Storage, Thawing, and Subsequent Chilled Storage—A Review," *Foods*, 10(2661), pp. 1–26.

FAO (1995) "Quality and quality changes in fresh fish - Table of Contents," *FAO documento técnico de pesca*, pp. 1–208. http://www.fao.org/docrep/v7180e/ V7180E00.HTM.

Hermawan *et al.* (2025) "Desain Kapasitas Produksi Pabrik Es Optimal untuk Mendukung Aktivitas Nelayan di Selatan Sukabumi," *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 4(1), pp. 67–78.

Iqbal, M. *et al.* (2023) "Operability analysis of traditional small fishing boats in Indonesia with different loading conditions loading conditions," *Ships and Offshore Structures*, 5302, pp. 1060–1079. https://doi.org/10.1080/17445302.2022.2107300.

Janči, T. *et al.* (2023) "Influence of Fish Handling Practices Onboard Purse Seiners on Quality Parameters of Sardines (Sardina pilchardus) during Cold Storage," *Biomolecules*, 13(2), pp. 1–14. https://doi.org/10.3390/biom13020192.

Kandelous, M.M. and Ghadimi, P. (2024) "Experimental study of hydrodynamic effect of loading and longitudinal variations of the center of gravity on the performance of a single-step craft in calm water," *Physics of fluids*, 36(12).

Kim, H. *et al.* (2023) "Study on the Stability Estimation Method of Small Fishing Vessels at the Initial Design Step," *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, 29(7), pp. 863–870.

Ohn, S.W. and Namgung, H. (2024) "Cause analysis and countermeasure for capsizing accident of a dredge fishing boat," *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 8(4), pp. 1–15. https://doi.org/10.1080/25725084.2024.2417528.

Rahmatang (2024) *Kualitas Ikan pada Perikanan Purse Seine*.

Setyohadi, D. *et al.* (2024) "Enhancing Fisheries Management and Sustainability: A Stowage Factor Analysis of Fish Species at Mayangan Port, Indonesia," *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 19(6), pp. 1939–1949. https://doi.org/10.18280/ijdne.190610.

Sunardi *et al.* (2025) "A MODEL-DRIVEN METHOD FOR SPACE OPTIMIZATION IN PURSE SEINE FISH HOLDS : APPLICATION TO INDIAN SCAD," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 20(22), pp. 1967–1974.

Wahab, A.A. *et al.* (2026) "Development of an IoT Temperature Fish Hold Monitoring System for Cooling Crab Fish Based on Hybrid Ice-Peltier with a Modified Finned Boiling Pot," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 16(2), pp. 34409–34416.

Ward, A. (2022) *Take care of your catch*, *Take care of your catch*. https://doi.org/10.4060/cb8791en.

Wibawa, P.., Birmingham, R.. and Warmadewanthi, I.D.A.. (2022) "Comparing Life Cycle Assessment of Fish Preservation Method on Fishing Vessels in Indonesia Comparing Life Cycle Assessment of Fish Preservation Method on Fishing Vessels in Indonesia," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [Preprint]. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1095/1/ 012017.

Wibawa, P.A., Birmingham, R.W. and Warmadewanthi, I.D.A.A. (2022) "Comparing Life Cycle Assessment of Fish Preservation Method on Fishing Vessels in Indonesia," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1095(1), pp. 1–8. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1095/1/012017.

Wijaya, H. *et al.* (2024) "Good Fish Handling Techniques to Maintain the Quality of Catch from Ship to Consumer," *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 12(2), pp. 13–21.

BAB 2
REGULASI DAN STANDAR INTERNASIONAL DALAM PENANGANAN MUATAN

Oleh Rafi Ohorella

Pernahkah Anda membayangkan kompleksitas hukum dan teknis di balik sebuah kapal kontainer raksasa yang membawa ribuan peti kemas melintasi samudra? Setiap pergerakan kargo di laut lepas tidak terjadi dalam ruang hampa regulasi. Industri maritim global diatur oleh sebuah jaring-jaring peraturan internasional yang rumit dan berlapis, dirancang dengan satu tujuan utama: memastikan keselamatan jiwa, kapal, muatan, dan kelestarian lingkungan laut. Tanpa kerangka kerja ini, pelayaran internasional akan menjadi arena yang kacau, penuh risiko, dan tidak dapat diprediksi, yang pada akhirnya akan melumpuhkan perdagangan dunia.

Bab ini akan membedah pilar-pilar utama dari rezim regulasi internasional yang mengatur setiap aspek penanganan muatan. Pembahasan akan dimulai dari fondasi paling fundamental, yaitu Konvensi Internasional untuk Keselamatan Jiwa di Laut atau *Safety of Life at Sea* (SOLAS), yang menjadi induk dari sebagian besar peraturan

keselamatan maritim. Fokus akan diberikan pada bab-bab yang secara spesifik mengatur pengangkutan kargo, menguraikan tanggung jawab yang melekat pada setiap pemangku kepentingan, mulai dari pemilik kapal hingga nakhoda. Pemahaman mendalam terhadap SOLAS adalah titik awal yang tidak bisa ditawar bagi setiap praktisi maritim.

Selanjutnya, penjelajahan akan diperdalam dengan mengkaji kode-kode internasional yang lebih spesifik dan teknis. Kode-kode seperti *International Maritime Dangerous Goods* (IMDG) Code, *International Maritime Solid Bulk Cargoes* (IMSBC) Code, dan *Cargo Stowage and Securing* (CSS) Code akan dianalisis secara rinci. Kode-kode ini memberikan panduan operasional yang sangat detail mengenai klasifikasi, pengemasan, pemisahan, pemuatan, dan pengamanan berbagai jenis kargo, mulai dari bahan kimia berbahaya hingga bijih besi curah. Kepatuhan terhadap kode-kode ini bukanlah pilihan, melainkan sebuah kewajiban hukum yang ditegakkan secara global.

Pada akhirnya, bab ini akan menyatukan berbagai elemen regulasi tersebut untuk memberikan gambaran yang utuh. Pembahasan akan mencakup peran sentral *International Maritime Organization* (IMO) sebagai arsitek utama di balik peraturan-peraturan ini, pentingnya dokumentasi yang akurat seperti *Verified Gross Mass* (VGM) dan *Bill of Lading*, hingga sinergi krusial antara aspek keselamatan (*safety*) yang diatur oleh SOLAS dan aspek keamanan (*security*) yang diatur oleh *International Ship and Port Facility Security* (ISPS) Code. Dengan memahami lanskap regulasi ini, pembaca akan mampu mengapresiasi bahwa setiap tindakan dalam penanganan muatan adalah bagian dari sebuah sistem global yang terstruktur untuk mitigasi risiko.

2.1 Konvensi SOLAS (*Safety of Life at Sea*)

Konvensi SOLAS berdiri sebagai perjanjian internasional paling penting yang mengatur keselamatan kapal niaga. Lahir dari tragedi tenggelamnya kapal Titanic pada tahun 1912, konvensi ini telah melalui berbagai evolusi untuk merespons perkembangan teknologi dan insiden-insiden maritim. SOLAS menetapkan standar minimum terkait konstruksi, peralatan, dan operasional kapal, termasuk di dalamnya aspek krusial penanganan muatan. Kerangka kerja yang dibangun oleh SOLAS tidak bersifat statis; melalui mekanisme amandemen, konvensi ini terus diperbarui oleh IMO untuk menjawab tantangan-tantangan keselamatan kontemporer di industri pelayaran yang dinamis (Guevara & Dalaklis, 2021). Konvensi ini menjadi landasan hukum bagi negara-negara bendera (*flag states*) untuk menerapkan regulasi teknis pada kapal-kapal yang terdaftar di bawah yurisdiksinya dan menjadi acuan bagi *Port State Control* (PSC) dalam melakukan inspeksi.

2.1.1 Kewajiban pemilik kapal dalam keselamatan muatan

Siapakah yang memikul tanggung jawab akhir untuk memastikan sebuah kapal layak laut dan muatannya tidak menimbulkan bahaya? Regulasi internasional dengan tegas menempatkan beban ini pada pundak pemilik kapal. Kewajiban ini melampaui sekadar menyediakan kapal yang memadai; ia mencakup seluruh sistem manajemen keselamatan yang komprehensif. Pemilik kapal diwajibkan untuk memastikan bahwa kapal berada dalam kondisi yang laik laut (*seaworthy*) sebelum dan pada awal pelayaran. Ini

berarti struktur kapal, permesinan, dan peralatannya harus mampu menahan berbagai kondisi pelayaran yang wajar dan sesuai untuk mengangkut jenis kargo tertentu. Kegagalan dalam memenuhi standar kelaiklautan dapat berakibat pada pembatalan asuransi dan tuntutan hukum yang serius jika terjadi insiden.

Kewajiban ini juga mencakup penyediaan sumber daya yang memadai, baik dari segi personel maupun peralatan pendukung. Pemilik kapal harus memastikan bahwa awak kapal, terutama nakhoda dan perwira, memiliki kualifikasi, pelatihan, dan pengalaman yang cukup untuk menangani jenis muatan yang diangkut. Hal ini sejalan dengan ketentuan dalam *International Safety Management* (ISM) Code, yang merupakan bagian integral dari SOLAS. ISM Code menuntut perusahaan pelayaran untuk mengembangkan, menerapkan, dan memelihara Sistem Manajemen Keselamatan (*Safety Management System* - SMS) (Jensen, 2022). SMS ini harus mencakup prosedur-prosedur terdokumentasi untuk semua operasi kunci, termasuk perencanaan pemuatan, pengamanan kargo, dan tanggap darurat terkait muatan.

Pemilik kapal juga bertanggung jawab untuk menyediakan informasi yang akurat dan lengkap mengenai muatan kepada nakhoda dan awak kapal. Informasi ini krusial untuk perencanaan pemuatan yang aman, terutama untuk kargo yang memiliki karakteristik khusus seperti kargo berbahaya, kargo curah yang dapat bergeser (*liquefaction*), atau kargo dengan berat berlebih. Kegagalan menyediakan informasi ini, atau memberikan informasi yang tidak akurat, merupakan pelanggaran serius terhadap kewajiban mereka. Tanggung jawab ini seringkali didelegasikan melalui rantai kontrak kepada pengirim barang (*shipper*), namun tanggung

jawab akhir di mata hukum maritim tetap berada pada pemilik kapal untuk memastikan sistem verifikasi yang andal telah diterapkan (Joseph & Dalaklis, 2021).

Analogi/Contoh Kasus: Bayangkan pemilik kapal sebagai pemilik sebuah perusahaan maskapai penerbangan. Kewajibannya tidak berhenti setelah membeli pesawat (kapal). Ia harus memastikan pesawat tersebut dirawat secara rutin sesuai standar tertinggi (kelaiklautan), pilot dan krunya terlatih dengan baik untuk menerbangkan jenis pesawat tersebut (awak kapal kompeten), dan informasi mengenai berat penumpang serta kargo di bagasi akurat dan terverifikasi sebelum lepas landas (informasi muatan). Kegagalan pada salah satu aspek ini dapat menyebabkan kecelakaan fatal, dan pemilik perusahaan akan dimintai pertanggungjawaban karena gagal menyediakan sistem yang aman.

2.1.2 Peraturan SOLAS Chapter VI tentang pengangkutan kargo

Bab VI dari Konvensi SOLAS secara khusus didedikasikan untuk "Pengangkutan Kargo" dan menjadi rujukan utama dalam menetapkan standar keselamatan terkait pemuatan. Peraturan ini berlaku untuk semua jenis kargo, kecuali cairan dan gas dalam bentuk curah, yang diatur dalam bab-bab atau kode-kode lain. Fokus utama dari Bab VI adalah memastikan bahwa kargo yang dimuat tidak akan membahayakan kapal atau orang-orang di atasnya selama pelayaran. Regulasi ini mengamanatkan bahwa pemuatan, penempatan (*stowage*), dan pengamanan kargo harus dilakukan sesuai dengan panduan yang terdapat dalam *Cargo*

Securing Manual (CSM) yang wajib tersedia dan disetujui untuk setiap kapal.

Salah satu inovasi paling signifikan dalam beberapa tahun terakhir pada Bab VI adalah pengenalan persyaratan *Verified Gross Mass* (VGM). Amandemen yang berlaku sejak tahun 2016 ini mewajibkan pengirim barang (*shipper*) untuk memverifikasi dan menyediakan berat kotor peti kemas yang akurat kepada pihak kapal dan terminal sebelum dimuat. Regulasi ini muncul sebagai respons atas banyaknya insiden kapal, seperti patahnya struktur kapal MOL Comfort pada tahun 2013, yang diduga kuat disebabkan oleh perbedaan berat signifikan antara berat peti kemas yang dideklarasikan dengan berat aktualnya. VGM bertujuan untuk mencegah kesalahan perencanaan stabilitas dan distribusi berat kapal yang dapat berakibat fatal (Jumriani et al., 2024).

Bab 2 juga memberikan landasan hukum bagi penerapan kode-kode yang lebih teknis. Misalnya, Peraturan 1-1 dalam bab ini secara eksplisit merujuk pada *International Maritime Solid Bulk Cargoes* (IMSBC) Code sebagai instrumen wajib untuk pengangkutan kargo curah padat. Demikian pula, peraturan lain dalam bab ini memberikan dasar bagi pentingnya kepatuhan terhadap rekomendasi dalam *Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing* (CSS Code). Keterkaitan antara SOLAS Chapter VI dengan kode-kode teknis ini menciptakan sebuah sistem regulasi yang koheren, di mana SOLAS menetapkan prinsip-prinsip umum dan kewajiban, sementara kode-kode turunan memberikan panduan implementasi yang detail (Guevara & Dalaklis, 2021).

Penerapan ketentuan-ketentuan dalam Bab VI diawasi secara ketat oleh otoritas negara bendera dan juga melalui inspeksi *Port State Control* (PSC). Ketidakpatuhan, seperti ketiadaan *Cargo Securing Manual* yang valid atau kegagalan menerapkan prosedur VGM, dapat menyebabkan kapal ditahan di pelabuhan hingga pelanggaran tersebut diperbaiki. Hal ini menunjukkan keseriusan komunitas maritim internasional dalam menegakkan standar-standar yang telah disepakati demi keselamatan pelayaran global. Implementasi yang efektif dari Bab VI menjadi salah satu pilar utama dalam mitigasi risiko operasional yang berkaitan dengan muatan.

Analogi/Contoh Kasus: Anggaplah SOLAS Chapter VI sebagai peraturan lalu lintas di jalan raya. Peraturan tersebut menetapkan aturan umum seperti "setiap kendaraan harus memiliki rem yang berfungsi" dan "beban tidak boleh melebihi kapasitas maksimal kendaraan". Kemudian, kode-kode seperti IMSBC atau CSS adalah panduan teknis yang lebih spesifik, setara dengan instruksi manual tentang "cara mengikat barang di atap mobil dengan benar" atau "cara mendistribusikan beban di dalam truk agar tidak terbalik saat berbelok". Keduanya bekerja bersama untuk memastikan perjalanan yang aman.

2.1.3 Prinsip dasar pemuatan dan pengamanan kargo

Keselamatan sebuah pelayaran sangat bergantung pada bagaimana muatan ditempatkan dan diamankan di atas kapal. Tiga prinsip fundamental yang tidak dapat ditawar adalah stabilitas kapal, kekuatan struktur kapal, dan pengamanan muatan itu sendiri. Prinsip pertama, stabilitas, berkaitan dengan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah miring akibat gaya eksternal seperti ombak atau

angin. Perwira kapal harus melakukan perhitungan stabilitas yang cermat sebelum, selama, dan setelah pemuatan, memastikan bahwa pusat gravitasi kapal (*center of gravity*) berada pada posisi yang aman. Kesalahan dalam distribusi berat kargo, baik secara vertikal maupun horizontal, dapat mengurangi stabilitas kapal secara drastis, membuatnya rentan terbalik (*capsize*).

Prinsip kedua adalah menjaga kekuatan struktur kapal. Setiap kapal memiliki batasan kekuatan longitudinal (*longitudinal strength*) serta batasan beban pada setiap dek dan palka (*permissible load*). Pemuatan kargo yang terlalu terkonsentrasi di satu titik dapat menyebabkan tegangan berlebih (*excessive stress*) pada struktur lambung, yang dalam kasus ekstrem dapat menyebabkan kapal patah menjadi dua, seperti yang terjadi pada beberapa insiden kapal curah. Oleh karena itu, perencanaan pemuatan harus mendistribusikan berat secara merata, mempertimbangkan momen lentur (*bending moments*) dan gaya geser (*shearing forces*) agar tetap berada dalam batas aman yang ditetapkan oleh pabrikan kapal dan badan klasifikasi (Valdez, 2023).

Prinsip ketiga, dan yang paling langsung terlihat, adalah pengamanan kargo (*cargo securing*). Kargo yang tidak diamankan dengan benar dapat bergeser selama pelayaran akibat gerakan kapal seperti *rolling*, *pitching*, dan *heaving*. Pergeseran kargo dapat menyebabkan perubahan stabilitas yang tiba-tiba dan berbahaya, kerusakan pada kargo lain, dan kerusakan pada struktur kapal. Untuk mencegah hal ini, sistem pengikatan (*lashing*), penopangan (*shoring*), dan pengganjalan (*dunnage*) yang sesuai harus digunakan. Semua peralatan pengamanan ini harus memenuhi standar kekuatan tertentu dan dipasang sesuai dengan panduan dalam *Cargo*

Securing Manual (CSM) kapal. CSS Code memberikan panduan detail mengenai metode-metode terbaik untuk mengamankan berbagai jenis kargo.

Ketiga prinsip ini saling terkait dan tidak dapat dipisahkan. Perencanaan pemuatan yang baik adalah sebuah proses optimisasi yang menyeimbangkan ketiga prinsip tersebut. Seorang *Chief Officer*, yang biasanya bertanggung jawab atas operasi muatan, harus menggunakan perangkat lunak komputer pemuatan (*loading computer*) untuk mensimulasikan dan memverifikasi bahwa rencana pemuatannya memenuhi semua kriteria keselamatan sebelum satu peti kemas pun diangkat. Proses ini memastikan bahwa keputusan operasional di lapangan didasarkan pada perhitungan teknis yang solid dan kepatuhan terhadap regulasi (IMO, 2024).

Analogi/Contoh Kasus: Memuat kapal ibarat membangun sebuah menara balok kayu di atas platform yang terus bergoyang. Anda harus menempatkan balok-balok terberat di bagian bawah untuk menjaga pusat gravitasi tetap rendah (stabilitas). Anda juga harus memastikan beban terdistribusi merata agar platform tidak patah di tengah (kekuatan struktur). Terakhir, setiap balok harus direkatkan atau diikat satu sama lain agar tidak berjatuhan saat platform bergoyang (pengamanan kargo). Mengabaikan salah satu dari tiga prinsip ini akan menyebabkan menara tersebut runtuh.

2.1.4 Tanggung jawab nakhoda dalam integrasi keselamatan

Meskipun pemilik kapal memiliki kewajiban utama untuk menyediakan kapal yang laik laut dan sistem yang aman, tanggung jawab tertinggi di atas kapal berada di tangan nakhoda. Nakhoda memiliki *overriding authority* atau wewenang mutlak dalam semua keputusan yang berkaitan dengan keselamatan kapal, awak, dan muatannya. Wewenang ini ditegaskan dalam SOLAS dan ISM Code. Ini berarti nakhoda berhak menolak untuk berlayar, menolak untuk memuat kargo tertentu, atau mengubah rute pelayaran jika ia meyakini ada risiko yang tidak dapat diterima terhadap keselamatan. Keputusannya dalam hal ini bersifat final dan tidak dapat diganggu gugat oleh pemilik kapal, penyewa (*charterer*), atau pihak lainnya (Wibisono, 2021).

Tanggung jawab nakhoda mencakup verifikasi akhir dari seluruh proses penanganan muatan. Ia harus memastikan bahwa *Chief Officer* telah membuat rencana pemuatan (*stowage plan*) yang aman dan sesuai dengan semua batasan stabilitas dan kekuatan struktur kapal. Nakhoda juga bertanggung jawab untuk memastikan bahwa muatan telah diamankan dengan benar sesuai dengan *Cargo Securing Manual* sebelum kapal meninggalkan pelabuhan. Ia harus puas bahwa semua dokumentasi yang relevan, seperti deklarasi VGM dan dokumen kargo berbahaya, telah diterima dan isinya akurat (Ratnawati et al., 2024).

Integrasi keselamatan berarti nakhoda harus melihat gambaran besar, menghubungkan aspek muatan dengan faktor-faktor operasional lainnya. Misalnya, nakhoda harus mempertimbangkan kondisi cuaca yang diperkirakan akan

dihadapi selama pelayaran saat mengevaluasi kecukupan sistem pengamanan kargo. Kargo yang mungkin aman dalam kondisi laut tenang bisa menjadi sangat berbahaya dalam badai. Nakhoda juga harus memastikan bahwa awak kapal memahami sifat bahaya dari kargo yang diangkut dan terlatih dalam prosedur tanggap darurat yang relevan, seperti penanganan tumpahan bahan kimia atau pemadaman kebakaran di palka.

Tanggung jawab ini menempatkan nakhoda dalam posisi yang seringkali sulit, di mana ia harus menyeimbangkan tekanan komersial untuk berlayar secepat mungkin dengan imperatif keselamatan yang tidak bisa ditawar. Kepemimpinan dan profesionalisme seorang nakhoda diuji dalam kemampuannya untuk membuat keputusan yang tegas dan berbasis keselamatan, bahkan jika itu berarti terjadi penundaan atau biaya tambahan. Kegagalan nakhoda dalam menjalankan tanggung jawab ini dapat berakibat pada konsekuensi hukum yang serius, termasuk tuntutan pidana dan pencabutan sertifikat kompetensinya (Wibisono, 2021).

Analogi/Contoh Kasus: Nakhoda adalah seorang dirigen orkestra sekaligus manajer panggung dalam sebuah pertunjukan besar. *Chief Officer* mungkin telah mengatur posisi setiap musisi (muatan) sesuai partitur (*stowage plan*). Namun, dirigenlah yang memastikan semua instrumen selaras, tempo dijaga, dan siap menghadapi dinamika pertunjukan (pelayaran). Jika dirigen merasa pencahayaan panggung berbahaya atau salah satu musisi tidak siap, ia memiliki wewenang penuh untuk menunda atau menghentikan pertunjukan demi keselamatan semua orang, terlepas dari tekanan penonton (tekanan komersial).

2.1.5 Prosedur pelaporan kecelakaan kargo di laut

Ketika sebuah insiden yang melibatkan kargo terjadi di laut, tindakan cepat dan pelaporan yang sistematis menjadi krusial. SOLAS dan Konvensi Internasional untuk Pencegahan Pencemaran dari Kapal (MARPOL) menetapkan kewajiban yang jelas bagi nakhoda untuk melaporkan setiap kecelakaan yang membahayakan keselamatan navigasi atau menimbulkan ancaman pencemaran laut. Prosedur ini tidak hanya bertujuan untuk memulai operasi pencarian dan penyelamatan (*Search and Rescue* - SAR) jika diperlukan, tetapi juga untuk memberikan peringatan dini kepada kapal-kapal lain di sekitarnya dan kepada negara-negara pantai yang mungkin terkena dampaknya.

Laporan awal harus dikirim sesegera mungkin setelah insiden terjadi. Laporan ini biasanya berisi informasi esensial seperti identitas kapal, posisi, waktu kejadian, dan deskripsi singkat tentang insiden tersebut. Jika kargo berbahaya terlibat, laporan harus mencakup nama teknis yang benar, kelas bahaya PBB (*UN number*), dan jumlah kargo yang hilang atau berpotensi tumpah. Informasi ini sangat penting bagi tim tanggap darurat untuk dapat menilai risiko dan mempersiapkan respons yang tepat (Kaminski, 2022). Komunikasi ini biasanya dilakukan melalui sistem radio maritim atau komunikasi satelit ke stasiun radio pantai terdekat atau otoritas penyelamatan yang berwenang.

Setelah laporan awal, laporan yang lebih rinci mungkin diperlukan seiring dengan tersedianya lebih banyak informasi. Negara bendera kapal (*flag state*) harus segera diberitahu tentang insiden tersebut. Negara bendera kemudian bertanggung jawab untuk melakukan investigasi

kecelakaan maritim untuk menentukan penyebabnya dan mengeluarkan rekomendasi untuk mencegah kejadian serupa di masa depan. IMO telah mengembangkan Kode Investigasi Korban Jiwa (*Casualty Investigation Code*) untuk memberikan standar internasional dalam pelaksanaan investigasi ini, memastikan prosesnya berjalan secara independen dan menyeluruh.

Tujuan utama dari pelaporan dan investigasi bukanlah untuk menyalahkan (*blame*), melainkan untuk belajar dari kegagalan. Temuan dari investigasi kecelakaan seringkali menjadi pendorong utama bagi perubahan regulasi di tingkat IMO. Misalnya, serangkaian kecelakaan yang melibatkan likuifaksi kargo bijih nikel dari Indonesia pada awal 2010-an mendorong IMO untuk memperketat persyaratan pengujian dan pengangkutan kargo curah padat dalam IMSBC Code. Dengan demikian, setiap laporan kecelakaan, sekecil apapun, menjadi data berharga dalam siklus perbaikan berkelanjutan untuk meningkatkan keselamatan maritim secara global.

Analogi/Contoh Kasus: Prosedur pelaporan kecelakaan kargo mirip dengan protokol pelaporan kecelakaan lalu lintas udara. Ketika sebuah pesawat mengalami masalah, pilot akan segera mengirimkan sinyal bahaya (*mayday*) yang berisi informasi kunci (identitas, lokasi, sifat darurat). Hal ini memicu respons darurat di darat. Setelah itu, kotak hitam pesawat akan dianalisis oleh badan investigasi kecelakaan nasional untuk memahami secara persis apa yang salah. Tujuannya bukan untuk menghukum pilot, tetapi untuk menemukan kelemahan pada desain pesawat, prosedur, atau pelatihan yang dapat diperbaiki untuk mencegah tragedi di masa depan.

2.2 Kode Internasional Pengangkutan Kargo (IMDG, IMSBC, CSS)

Jika Konvensi SOLAS adalah konstitusi untuk keselamatan maritim, maka kode-kode internasional seperti IMDG, IMSBC, dan CSS adalah undang-undang pelaksanaannya yang sangat teknis. Kode-kode ini dikembangkan oleh IMO untuk memberikan panduan yang seragam dan mendetail bagi industri perkapalan di seluruh dunia dalam menangani jenis-jenis kargo spesifik yang memiliki potensi bahaya. Penerapan kode-kode ini secara konsisten adalah kunci untuk memastikan bahwa risiko-risiko yang melekat pada pengangkutan barang-barang tertentu dapat dikelola secara efektif, terlepas dari di mana kapal itu berbendera atau di pelabuhan mana ia beroperasi (IMO, 2022). Keberadaan kode-kode ini mengubah prinsip-prinsip keselamatan yang abstrak menjadi instruksi kerja yang konkret dan dapat diverifikasi.

2.2.1 Klasifikasi kargo berbahaya dalam IMDG Code

Mengangkut barang berbahaya (*dangerous goods*) melalui laut menghadirkan risiko yang unik dan signifikan. Tumpahan bahan kimia korosif, ledakan bahan peledak, atau pelepasan gas beracun adalah skenario bencana yang dapat terjadi jika kargo ini tidak ditangani dengan benar. *International Maritime Dangerous Goods* (IMDG) Code adalah instrumen global yang dirancang untuk mencegah insiden semacam itu. Fondasi dari IMDG Code adalah sistem klasifikasi yang sistematis, yang mengelompokkan barang berbahaya ke dalam sembilan kelas utama berdasarkan sifat bahaya yang dominan. Sistem ini diakui secara universal dan

menjadi bahasa bersama bagi semua pihak dalam rantai logistik (Marlita et al., 2025).

Setiap kelas bahaya memiliki kriteria teknis yang spesifik. Kelas 1, misalnya, mencakup bahan peledak, yang selanjutnya dibagi lagi berdasarkan tingkat sensitivitas dan jenis ledakannya. Kelas 3 adalah untuk cairan yang mudah menyala seperti bensin, Kelas 6.1 adalah untuk zat beracun, dan Kelas 7 untuk bahan radioaktif. Klasifikasi yang benar adalah langkah pertama yang paling krusial. Pengirim barang (*shipper*) memiliki tanggung jawab hukum untuk mengklasifikasikan, mengemas, dan melabeli kargo berbahaya sesuai dengan ketentuan IMDG Code. Kesalahan klasifikasi dapat menyebabkan kargo disimpan di lokasi yang salah di kapal, misalnya di dekat sumber panas, yang dapat memicu reaksi berbahaya.

IMDG Code tidak hanya berhenti pada klasifikasi. Kode ini juga memberikan instruksi rinci mengenai pengemasan (*packaging*), penandaan (*marking*), pelabelan (*labelling*), dan dokumentasi. Setiap kemasan yang digunakan untuk barang berbahaya harus telah diuji dan disertifikasi oleh otoritas yang kompeten untuk memastikan kemampuannya menahan tekanan selama perjalanan laut. Selain itu, prinsip pemisahan (*segregation*) adalah komponen vital lainnya. IMDG Code berisi tabel pemisahan yang kompleks, yang menentukan kargo mana yang tidak boleh dimuat berdekatan satu sama lain untuk mencegah reaksi kimia berbahaya jika terjadi kebocoran (IMO, 2024).

Kesadaran dan pemahaman awak kapal terhadap IMDG Code adalah hal yang sangat penting. Perwira kapal harus mampu menginterpretasikan informasi dalam dokumen pengangkutan dan memastikan bahwa semua

persyaratan pemuatan dan pemisahan dipatuhi dengan ketat. Mereka juga harus akrab dengan *Emergency Response Procedures for Ships Carrying Dangerous Goods* (EmS Guide), yang memberikan panduan tentang cara menangani kebakaran atau tumpahan yang melibatkan bahan-bahan spesifik yang tercantum dalam IMDG Code. Pelatihan yang memadai bagi awak kapal dan pekerja darat di pelabuhan merupakan faktor kunci dalam implementasi IMDG Code yang efektif (Eski & Tavacioglu, 2021).

Analogi/Contoh Kasus: Bayangkan IMDG Code sebagai sistem manajemen di sebuah laboratorium kimia besar. Setiap bahan kimia (kargo berbahaya) disimpan dalam botol (kemasan) yang tepat dan diberi label yang jelas dengan simbol bahaya (label kelas). Ada aturan ketat tentang bahan kimia mana yang boleh disimpan di rak yang sama dan mana yang harus disimpan di lemari terpisah yang tahan api (prinsip pemisahan). Ahli kimia (awak kapal) dilatih untuk memahami label-label ini dan tahu apa yang harus dilakukan jika terjadi tumpahan (prosedur darurat). Tanpa sistem ini, laboratorium akan menjadi tempat yang sangat berbahaya.

2.2.2 Prosedur penanganan kargo curah padat (IMSBC Code)

Tidak semua bahaya kargo datang dalam bentuk drum berlabel. Kargo yang tampak biasa seperti bijih besi, batu bara, atau bahkan konsentrat biji-bijian dapat menjadi sangat mematikan dalam kondisi tertentu. *International Maritime Solid Bulk Cargoes* (IMSBC) Code adalah instrumen wajib di bawah SOLAS yang mengatur pengangkutan kargo curah padat. Tujuan utamanya adalah untuk menyoroti dan memberikan prosedur untuk mengelola bahaya-bahaya yang

tidak terlihat, seperti pergeseran kargo (*shifting*) dan likuifaksi (*liquefaction*), yang telah menyebabkan banyak kapal terbalik dan tenggelam secara tiba-tiba (IMO, 2023).

Salah satu bahaya terbesar yang dibahas dalam IMSBC Code adalah likuifaksi. Fenomena ini terjadi pada kargo mineral tertentu yang memiliki kandungan air di atas batas kritis yang disebut *Transportable Moisture Limit* (TML). Selama pelayaran, getaran dan gerakan kapal dapat menyebabkan tekanan air di antara partikel-partikel kargo meningkat, mengubah kargo yang tadinya padat menjadi lumpur cair. Ketika ini terjadi, kargo dapat bergeser secara masif ke satu sisi kapal, menyebabkan hilangnya stabilitas secara instan dan membuat kapal terbalik dalam hitungan menit. IMSBC Code mewajibkan pengirim barang untuk menguji kandungan air kargo dan memastikan nilainya di bawah TML sebelum dimuat.

IMSBC Code mengklasifikasikan kargo curah padat ke dalam tiga kelompok utama. Grup A adalah kargo yang rentan terhadap likuifaksi. Grup B adalah kargo yang memiliki bahaya kimia, seperti kemampuan untuk memanas sendiri dan terbakar secara spontan (misalnya batu bara jenis tertentu) atau melepaskan gas beracun saat basah. Grup C adalah kargo yang tidak memiliki bahaya likuifaksi maupun bahaya kimia, tetapi tetap memerlukan penanganan yang hati-hati untuk memastikan distribusi berat yang merata. Untuk setiap jenis kargo yang terdaftar dalam kode, terdapat jadwal individu yang merinci sifat-sifatnya, bahayanya, dan prosedur pemuatan serta pengangkutan yang aman.

Kepatuhan terhadap prosedur dalam IMSBC Code adalah tanggung jawab bersama. Pengirim barang bertanggung jawab untuk memberikan deklarasi yang akurat

mengenai karakteristik kargo, termasuk TML dan kandungan air aktual. Nakhoda memiliki tanggung jawab untuk menolak memuat kargo jika ia ragu terhadap keakuratan informasi yang diberikan atau jika ia mengamati bahwa kondisi kargo tidak sesuai dengan deskripsi. Banyak insiden tragis terjadi karena deklarasi kargo yang tidak akurat atau pemalsuan sertifikat laboratorium, menyoroti pentingnya kewaspadaan dan profesionalisme dari pihak kapal (Van Lier, 2022).

Analogi/Contoh Kasus: Menangani kargo Grup A dalam IMSBC Code seperti bekerja dengan pasir basah di pantai. Jika Anda meletakkan gundukan pasir yang sangat basah di atas papan dan menggoyangkannya, pasir itu akan cepat berubah menjadi lumpur dan mengalir, membuat papan menjadi tidak stabil. Namun, jika Anda mengeringkan pasir itu terlebih dahulu (menjaga kandungan air di bawah TML), gundukan pasir akan tetap stabil meskipun papan digoyangkan. IMSBC Code adalah panduan yang memberi tahu Anda seberapa "kering" pasir tersebut harus sebelum Anda dapat membawanya dengan aman di atas papan yang bergoyang.

2.2.3 Standar pengamanan kargo pada kapal barang (CSS Code)

Gerakan kapal di laut lepas adalah kekuatan alam yang dahsyat dan tak henti-hentinya. Gelombang besar dapat menyebabkan kapal berguling (*roll*) hingga sudut yang ekstrem, menciptakan gaya akselerasi yang sangat besar pada muatan. Jika muatan tidak diamankan dengan benar, ia akan menjadi proyektil seberat puluhan ton di dalam palka atau di atas dek. *Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing* (CSS Code) menyediakan panduan teknis tentang bagaimana

merancang dan menerapkan sistem pengamanan kargo untuk menahan gaya-gaya ini. Meskipun sebagian besar isinya bersifat rekomendasi, banyak prinsip dalam CSS Code yang menjadi standar industri dan dirujuk oleh regulasi lain, menjadikannya dokumen yang sangat penting.

Prinsip inti dari CSS Code adalah bahwa sistem pengamanan kargo harus cukup kuat untuk menahan gaya-gaya yang mungkin dialami selama kondisi cuaca terburuk yang diperkirakan dalam pelayaran. Kode ini menyediakan metode perhitungan untuk memperkirakan gaya-gaya tersebut, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti ukuran kapal, stabilitas, dan area geografis pelayaran. Berdasarkan perhitungan ini, perwira kapal dapat menentukan jumlah, jenis, dan kekuatan peralatan pengikat (*lashing equipment*) yang diperlukan, seperti rantai, kawat, atau tali serat sintetis.

CSS Code memberikan panduan spesifik untuk berbagai jenis kargo. Untuk peti kemas, panduan mencakup penggunaan *twistlocks*, *lashing bars*, dan *turnbuckles* yang sesuai. Untuk kargo berat dan berukuran besar (*project cargo*) seperti turbin atau modul pabrik, kode ini menjelaskan pentingnya titik-titik pengikatan yang kuat pada kargo (*lashing points*), penggunaan sumbat (*stoppers*) dan penopang (*chocks*), serta perhitungan sudut pengikatan yang optimal untuk memaksimalkan efektivitasnya. Sudut pengikatan yang terlalu curam atau terlalu landai dapat mengurangi kekuatan penahan dari sistem *lashing* secara signifikan (Biles, 2021).

Setiap kapal diwajibkan oleh SOLAS untuk memiliki *Cargo Securing Manual* (CSM) yang spesifik untuk kapal tersebut. CSM ini harus didasarkan pada prinsip-prinsip yang diuraikan dalam CSS Code. Manual ini merinci semua

peralatan pengamanan kargo yang ada di kapal, lokasinya, kekuatan putus maksimumnya (*Maximum Securing Load*), serta memberikan contoh-contoh praktis tentang cara mengamankan berbagai jenis kargo yang biasa diangkut oleh kapal tersebut. Ketersediaan dan penggunaan CSM yang benar adalah salah satu item utama yang diperiksa selama inspeksi *Port State Control*.

Analogi/Contoh Kasus: Mengamankan kargo sesuai CSS Code mirip dengan cara kru sirkus mengamankan tenda besar sebelum pertunjukan. Mereka tidak hanya memasang beberapa pasak secara acak. Mereka menghitung kekuatan angin yang mungkin terjadi (gaya di laut), menggunakan pasak dan tali dengan kekuatan yang teruji (peralatan *lashing*), dan memasangnya pada sudut yang tepat untuk memberikan penahan yang maksimal (prinsip pengikatan). Semuanya direncanakan dalam sebuah buku panduan (CSM) agar tenda tidak roboh di tengah badai.

2.2.4 Dokumen wajib untuk kargo berbahaya dan curah

Pergerakan kargo khusus seperti barang berbahaya dan kargo curah padat harus selalu disertai dengan jejak kertas (*paper trail*) yang jelas dan akurat. Dokumentasi ini bukan sekadar formalitas administratif, melainkan alat komunikasi risiko yang vital di sepanjang rantai pasokan. Untuk kargo berbahaya, dokumen yang paling penting adalah *Dangerous Goods Declaration* (DGD). Dokumen ini harus diisi oleh pengirim barang dan berisi semua informasi yang relevan sesuai IMDG Code, termasuk *Proper Shipping Name*, kelas bahaya, *UN Number*, *Packing Group*, jumlah, dan deskripsi kemasan. DGD adalah pernyataan hukum dari

pengirim bahwa kargo telah dikemas dan dilabeli dengan benar (IARJSET, 2025).

Dokumen pendukung lainnya untuk kargo berbahaya adalah *Material Safety Data Sheet* (MSDS) atau sekarang lebih dikenal sebagai *Safety Data Sheet* (SDS). Meskipun tidak selalu diwajibkan secara eksplisit oleh IMDG Code untuk pengangkutan, MSDS memberikan informasi teknis yang jauh lebih rinci tentang sifat-sifat bahan kimia, risiko kesehatan, tindakan pertolongan pertama, dan prosedur penanganan tumpahan atau kebakaran. Bagi awak kapal, MSDS adalah sumber informasi yang tak ternilai jika terjadi keadaan darurat yang melibatkan kargo tersebut.

Untuk kargo curah padat, terutama yang termasuk dalam Grup A (rawan likuifaksi), dokumen utamanya adalah deklarasi dari pengirim barang yang menyatakan karakteristik kargo. Sesuai dengan IMSBC Code, deklarasi ini harus mencakup informasi seperti *Transportable Moisture Limit* (TML) dan sertifikat dari laboratorium yang menyatakan kandungan air aktual (*actual moisture content*) dari kargo yang akan dimuat. Nakhoda harus menerima dokumen ini sebelum pemuatan dimulai dan berhak untuk melakukan pengujian independen jika ia meragukan kebenarannya.

Selain dokumen spesifik per jenis kargo, semua pengiriman internasional memerlukan *Bill of Lading* (B/L) atau Surat Muatan. B/L berfungsi sebagai tiga hal: bukti adanya kontrak pengangkutan, tanda terima barang, dan dokumen kepemilikan yang dapat dinegosiasikan. Deskripsi kargo dalam B/L harus cocok dengan dokumen-dokumen lainnya. Ketidaksesuaian antara DGD, sertifikat TML, dan B/L

adalah tanda bahaya (*red flag*) yang harus segera diselidiki sebelum kargo diizinkan naik ke kapal.

Analogi/Contoh Kasus: Dokumen kargo ini berfungsi seperti rekam medis seorang pasien yang akan menjalani operasi. *Dangerous Goods Declaration* adalah ringkasan diagnosis utama dan alergi (bahaya utama kargo). *Material Safety Data Sheet* adalah riwayat medis lengkap pasien (sifat detail bahan kimia). Tim bedah (awak kapal) harus mempelajari dokumen-dokumen ini dengan cermat sebelum memulai operasi (pemuatan) untuk mengetahui risiko yang ada dan cara menanganinya jika terjadi komplikasi (keadaan darurat). Kesalahan dalam rekam medis dapat berakibat fatal.

2.2.5 Audit kepatuhan terhadap kode internasional di pelabuhan

Bagaimana komunitas maritim memastikan bahwa semua peraturan dan kode yang kompleks ini benar-benar dipatuhi di atas ribuan kapal yang beroperasi setiap hari? Jawabannya terletak pada sistem penegakan berlapis, dengan audit kepatuhan di pelabuhan sebagai salah satu pilar utamanya. Mekanisme yang paling menonjol adalah inspeksi *Port State Control* (PSC). Di bawah rezim PSC, negara-negara di suatu wilayah (misalnya, *Paris MoU* di Eropa atau *Tokyo MoU* di Asia-Pasifik) menandatangani perjanjian untuk menginspeksi kapal-kapal berbendera asing yang mengunjungi pelabuhan mereka, guna memastikan kepatuhan terhadap konvensi-konvensi internasional utama seperti SOLAS, MARPOL, dan STCW.

Selama inspeksi PSC, petugas yang dikenal sebagai *Port State Control Officer* (PSCO) akan naik ke kapal dan melakukan pemeriksaan. Pemeriksaan ini seringkali dimulai dengan

verifikasi sertifikat dan dokumen. Terkait muatan, PSCO akan memeriksa validitas *Safety Construction Certificate*, *Cargo Ship Safety Equipment Certificate*, serta ketersediaan *Cargo Securing Manual* yang telah disetujui. Mereka juga akan memeriksa dokumentasi untuk setiap kargo berbahaya atau curah yang ada di atas kapal, memastikan semuanya lengkap dan sesuai dengan peraturan.

Jika dari pemeriksaan dokumen ditemukan kejanggalan, atau jika kapal memiliki riwayat penahanan sebelumnya, PSCO dapat melanjutkan ke inspeksi yang lebih mendetail. Mereka mungkin akan memeriksa kondisi fisik palka, peralatan pengamanan kargo, dan penempatan serta pemisahan kargo berbahaya di atas dek atau di dalam palka. Mereka juga dapat mewawancarai awak kapal untuk menilai tingkat pemahaman mereka terhadap prosedur darurat terkait kargo yang mereka bawa. Ini adalah cara untuk mengaudit tidak hanya perangkat keras, tetapi juga "perangkat lunak" manusia di atas kapal (Karahalios, 2025).

Jika ditemukan kekurangan (*deficiency*), PSCO akan mencatatnya. Bergantung pada tingkat keparahannya, konsekuensinya bisa bervariasi. Untuk kekurangan kecil, nakhoda mungkin hanya diminta untuk memperbaikinya dalam jangka waktu tertentu. Namun, untuk kekurangan yang serius dan jelas-jelas membuat kapal tidak laik laut atau menimbulkan ancaman langsung bagi keselamatan atau lingkungan, seperti sistem pengamanan kargo yang tidak memadai atau likuifaksi kargo yang sudah mulai terlihat, PSCO memiliki wewenang untuk menahan kapal (*detain*). Kapal tidak akan diizinkan berlayar sampai kekurangan tersebut diperbaiki dan diverifikasi oleh PSCO, yang dapat

menyebabkan kerugian finansial yang signifikan bagi operator kapal.

Analogi/Contoh Kasus: Inspeksi PSC berfungsi seperti inspeksi mendadak (*spot check*) oleh polisi lalu lintas di jalan raya. Pengemudi (nakhoda) mungkin memiliki SIM dan STNK (sertifikat kapal) yang valid. Namun, polisi (PSCO) juga akan memeriksa kondisi fisik kendaraan, apakah remnya berfungsi, apakah bannya botak, atau apakah muatannya diikat dengan benar. Jika ditemukan pelanggaran serius yang membahayakan keselamatan, polisi akan melarang kendaraan itu melanjutkan perjalanan (penahanan kapal) sampai masalahnya diperbaiki.

2.3 Sertifikasi dan Dokumentasi Muatan

Dalam dunia pelayaran, pepatah "jika tidak terdokumentasi, itu tidak terjadi" berlaku dengan sangat kuat. Setiap tahap dalam siklus hidup pengangkutan kargo, dari pengemasan hingga pengiriman, harus didukung oleh sertifikasi dan dokumentasi yang tepat. Sistem ini menciptakan jejak audit yang transparan, memungkinkan verifikasi kepatuhan terhadap regulasi, memfasilitasi perdagangan, dan yang terpenting, berfungsi sebagai alat komunikasi kritis untuk memastikan keselamatan. Dokumentasi yang akurat dan lengkap adalah fondasi dari manajemen risiko dalam penanganan muatan. Tanpa itu, para pelaut akan bekerja "buta", tidak menyadari bahaya yang mungkin tersembunyi di dalam peti kemas atau palka.

2.3.1 Prosedur penerbitan sertifikat kargo (*Cargo Worthiness*)

Bagaimana sebuah kargo, terutama yang tidak standar atau berukuran sangat besar, dinyatakan layak untuk diangkut melalui laut? Di sinilah konsep *cargo worthiness* atau kelaikan kargo berperan. Sertifikat kelaikan kargo adalah dokumen yang dikeluarkan oleh pihak ketiga yang kompeten dan independen, biasanya seorang surveyor maritim atau badan klasifikasi, yang menyatakan bahwa kargo tertentu telah diperiksa dan dinilai cocok serta aman untuk diangkut dalam pelayaran laut yang akan datang. Sertifikat ini seringkali menjadi persyaratan dari perusahaan asuransi, pemilik kapal, atau penyewa kapal, terutama untuk kargo proyek (*project cargo*), kargo berat (*heavy lift*), atau kargo sensitif lainnya.

Proses penerbitan sertifikat ini dimulai dengan evaluasi menyeluruh terhadap kargo itu sendiri. Surveyor akan memeriksa integritas struktural kargo, memastikan tidak ada kerusakan atau kelemahan yang dapat memburuk selama pelayaran. Mereka akan memverifikasi berat dan dimensi kargo. Bagian yang paling penting adalah identifikasi dan penilaian titik-titik angkat (*lifting points*) dan titik-titik pengikatan (*lashing points*) pada kargo. Titik-titik ini harus dirancang dan dibangun dengan kekuatan yang cukup untuk menahan beban dinamis selama operasi pengangkatan dan gaya-gaya selama pelayaran. Surveyor akan menolak mengeluarkan sertifikat jika titik-titik ini dinilai tidak memadai (Marlow, 2022).

Selanjutnya, surveyor akan meninjau dan seringkali menyetujui rencana pemuatan dan pengamanan (*stowage and securing plan*) yang disiapkan oleh pengirim atau perusahaan pengangkut. Rencana ini harus menunjukkan secara detail di mana kargo akan ditempatkan di atas kapal dan bagaimana ia akan diamankan. Surveyor akan memverifikasi bahwa rencana tersebut mematuhi prinsip-prinsip dalam CSS Code dan *Cargo Securing Manual* kapal. Mereka akan memastikan bahwa material pengamanan yang diusulkan (misalnya, balok kayu, rantai, kawat) memiliki kekuatan yang sesuai dan jumlahnya mencukupi.

Pada hari pemuatan, surveyor biasanya akan hadir untuk mengawasi operasi. Mereka akan memastikan bahwa kargo diangkat dengan aman, ditempatkan di lokasi yang benar sesuai rencana, dan yang paling penting, diamankan persis seperti yang telah disetujui dalam rencana pengamanan. Hanya setelah mereka puas bahwa semua prosedur telah diikuti dengan benar dan kargo dalam kondisi aman untuk berlayar, mereka akan mengeluarkan Sertifikat Kelaikan Kargo. Sertifikat ini memberikan jaminan kepada nakhoda bahwa aspek-aspek teknis dari pemuatan kargo non-standar telah ditinjau dan disetujui oleh seorang ahli.

Analogi/Contoh Kasus: Proses ini mirip dengan mendapatkan surat izin mendirikan bangunan (IMB) untuk sebuah gedung unik. Sebelum IMB dikeluarkan, seorang insinyur independen (surveyor) akan meninjau gambar desain arsitektur (rencana pemuatan), memeriksa perhitungan kekuatan struktur fondasi (titik angkat dan pengikatan), dan memastikan semua material yang digunakan sesuai standar. Selama konstruksi (pemuatan), insinyur tersebut akan melakukan inspeksi untuk memastikan

pembangunan sesuai dengan desain yang disetujui. IMB (Sertifikat Kelaikan Kargo) baru akan terbit setelah semuanya terverifikasi aman.

2.3.2 Pentingnya Material Safety Data Sheet (MSDS)

Di antara tumpukan dokumen yang menyertai kargo kimia, *Material Safety Data Sheet* (MSDS), atau yang lebih dikenal secara global sebagai *Safety Data Sheet* (SDS) di bawah *Globally Harmonized System* (GHS), adalah salah satu yang paling krusial untuk keselamatan operasional. Jika IMDG Code memberi tahu Anda *apa* bahayanya (misalnya, Kelas 8, Korosif), maka MSDS memberi tahu Anda *bagaimana* bahaya itu bermanifestasi dan *bagaimana* cara mengelolanya secara rinci. Dokumen ini adalah panduan teknis komprehensif yang disiapkan oleh produsen bahan kimia.

MSDS disusun dalam format standar 16 bagian, yang membuatnya mudah untuk dinavigasi oleh siapa saja di seluruh dunia. Bagian-bagian penting bagi personel kapal antara lain: Bagian 2 (Identifikasi Bahaya), yang merangkum risiko utama; Bagian 4 (Tindakan Pertolongan Pertama); Bagian 5 (Tindakan Pemadaman Kebakaran), yang seringkali merekomendasikan media pemadam spesifik (misalnya, "jangan gunakan air"); dan Bagian 6 (Tindakan Penanggulangan Tumpahan atau Kebocoran), yang memberikan instruksi tentang cara membersihkan tumpahan dengan aman dan peralatan pelindung diri (APD) yang harus digunakan (Marlita et al., 2025).

Bagi perwira yang merencanakan pemuatan, Bagian 7 (Penanganan dan Penyimpanan) dan Bagian 10 (Stabilitas dan Reaktivitas) sangatlah penting. Bagian ini memberikan informasi tentang kondisi penyimpanan yang ideal, seperti

suhu yang direkomendasikan, dan yang lebih penting, daftar bahan-bahan yang tidak kompatibel. Informasi ini melengkapi, dan seringkali memperkuat, persyaratan pemisahan dalam IMDG Code. Dengan mempelajari MSDS, seorang *Chief Officer* dapat membuat keputusan yang lebih cerdas tentang di mana menempatkan kargo kimia untuk meminimalkan risiko.

Dalam keadaan darurat, MSDS menjadi dokumen penyelamat jiwa. Ketika seorang pelaut terpapar bahan kimia, atau ketika terjadi kebakaran yang melibatkan kargo tersebut, tidak ada waktu untuk melakukan riset. Awak kapal dapat dengan cepat merujuk ke MSDS untuk mengetahui cara memberikan pertolongan pertama yang benar atau cara memadamkan api tanpa memperburuk situasi. Ketersediaan MSDS di anjungan atau di ruang kontrol kargo, dan pemahaman awak kapal tentang cara membacanya, adalah komponen penting dari kesiapsiagaan darurat di atas kapal yang membawa barang berbahaya.

Analogi/Contoh Kasus: MSDS dapat diibaratkan sebagai buku manual untuk sebuah peralatan listrik yang kompleks dan berpotensi berbahaya. Buku manual tersebut tidak hanya memberitahu Anda fungsi alat tersebut (identifikasi produk), tetapi juga memiliki bab khusus tentang "Peringatan Keselamatan" (identifikasi bahaya), "Apa yang Harus Dilakukan Jika Terjadi Korsleting" (tindakan pemadaman), dan "Cara Membersihkan Tumpahan Cairan dari Alat" (penanggulangan tumpahan). Mengoperasikan alat tersebut tanpa membaca manualnya adalah tindakan yang sangat berisiko.

2.3.3 Verifikasi berat kargo sesuai regulasi VGM (Verified Gross Mass)

Salah satu perubahan regulasi paling berdampak dalam penanganan kargo kontainer dalam dekade terakhir adalah implementasi wajib *Verified Gross Mass* (VGM) di bawah Konvensi SOLAS, yang mulai berlaku pada 1 Juli 2016. VGM adalah berat total dari peti kemas yang sudah diisi, termasuk berat kargo, material pengaman, dan berat tara (*tare weight*) dari peti kemas itu sendiri. Regulasi ini menempatkan tanggung jawab hukum pada pengirim barang (*shipper*) untuk menimbang peti kemas dan memberikan nilai VGM yang akurat kepada operator kapal dan terminal sebelum peti kemas dimuat ke kapal.

Lahirnya regulasi VGM didorong oleh serangkaian insiden maritim serius, termasuk patahnya kapal MOL Comfort pada tahun 2013 dan terbaliknya kapal MSC Napoli pada tahun 2007. Investigasi terhadap insiden-insiden ini menemukan bahwa perbedaan antara berat peti kemas yang dideklarasikan dan berat aktualnya merupakan faktor kontribusi yang signifikan. Perbedaan ini menyebabkan kesalahan fatal dalam perhitungan stabilitas dan kekuatan struktur kapal, di mana kapal tanpa disadari mengalami tekanan (*stress*) yang melebihi batas amannya. VGM bertujuan untuk menghilangkan "tebakan" dari berat peti kemas dan menyediakan data yang solid untuk perencanaan pemuatan yang aman.

Ada dua metode yang diizinkan oleh SOLAS untuk menentukan VGM. Metode 1 adalah dengan menimbang seluruh peti kemas yang telah diisi dan disegel menggunakan timbangan yang telah dikalibrasi dan disertifikasi. Metode 2

adalah dengan menimbang semua item kargo dan material pengemas secara terpisah, kemudian menambahkan total berat tersebut dengan berat tara peti kemas yang tertera di pintu peti kemas. Pengirim barang harus memilih salah satu metode ini dan menyatakannya dalam dokumen pengiriman VGM (Jumriani et al., 2024).

Aturan mainnya sangat sederhana: "tanpa VGM, tidak ada pemuatan" (*no VGM, no load*). Operator kapal dan terminal secara hukum dilarang memuat peti kemas ke atas kapal jika tidak memiliki VGM yang telah diverifikasi. Aturan ini telah secara fundamental mengubah proses dokumentasi dan operasional di pelabuhan di seluruh dunia. Meskipun pada awalnya menimbulkan tantangan logistik, penerapan VGM secara luas telah berhasil meningkatkan akurasi data berat kargo, yang secara langsung berkontribusi pada peningkatan keselamatan dalam perencanaan pemuatan kapal kontainer.

Analogi/Contoh Kasus: Bayangkan Anda adalah seorang *personal trainer* yang merancang program angkat beban untuk klien. Anda harus tahu persis berat setiap piringan beban yang akan dipasang di barbel. Jika klien Anda mengatakan sebuah piringan beratnya 10 kg padahal sebenarnya 20 kg, Anda bisa salah menghitung total beban. Kesalahan ini dapat menyebabkan klien Anda mencoba mengangkat beban yang terlalu berat, yang berisiko menyebabkan cedera serius (kegagalan struktur kapal). Regulasi VGM memastikan bahwa setiap "piringan beban" (peti kemas) memiliki label berat yang akurat dan terverifikasi sebelum "diangkat" (dimuat).

2.3.4 Administrasi surat muatan (Bill of Lading) internasional

Bill of Lading (B/L), atau Surat Muatan, adalah salah satu dokumen paling fundamental dan bersejarah dalam perdagangan dan pelayaran internasional. Fungsinya jauh melampaui sekadar selembar kertas; ia adalah dokumen multifungsi yang menjadi tulang punggung dari setiap transaksi pengiriman barang melalui laut. Administrasi B/L yang cermat dan akurat sangat penting untuk kelancaran arus barang, kepastian hukum, dan pencegahan sengketa komersial.

B/L memiliki tiga fungsi utama. Pertama, ia adalah bukti adanya kontrak pengangkutan antara pengirim barang (*shipper*) dan perusahaan pelayaran (*carrier*). B/L merinci syarat dan ketentuan pengangkutan, termasuk nama kapal, pelabuhan muat dan bongkar, deskripsi barang, dan jumlah ongkos angkut (*freight*). Kedua, ia berfungsi sebagai tanda terima (*receipt*) bahwa perusahaan pelayaran telah menerima barang dalam kondisi dan jumlah seperti yang dijelaskan dalam dokumen. Jika B/L diterbitkan dengan keterangan "Clean on Board", itu berarti barang diterima dalam kondisi yang tampak baik. Jika ada kerusakan, keterangan seperti "karung sobek" atau "drum penyok" akan ditambahkan.

Fungsi ketiga, dan yang paling unik, adalah sebagai dokumen kepemilikan (*document of title*). B/L asli (biasanya diterbitkan dalam tiga rangkap) mewakili kepemilikan atas barang yang diangkut. Siapa pun yang memegang B/L asli yang telah di-endorse dengan benar berhak untuk mengklaim barang di pelabuhan tujuan. Sifat ini memungkinkan B/L digunakan dalam transaksi keuangan seperti *Letter of Credit*

(L/C), di mana bank akan melakukan pembayaran kepada penjual setelah menerima B/L yang sesuai, dan kemudian menyerahkan B/L kepada pembeli setelah pembayaran dilunasi.

Keakuratan informasi dalam B/L sangatlah penting. Deskripsi barang, berat, dan jumlah harus sesuai dengan kondisi fisik kargo dan dokumen-dokumen lainnya seperti faktur komersial dan daftar pengepakan. Ketidaksesuaian dapat menyebabkan masalah serius di bea cukai, penolakan klaim asuransi, atau sengketa antara pembeli dan penjual. Dengan munculnya digitalisasi, industri maritim sedang bergerak menuju penggunaan *Electronic Bill of Lading* (e-B/L) untuk mempercepat proses, mengurangi risiko penipuan, dan meningkatkan efisiensi, meskipun adopsinya masih menghadapi tantangan hukum dan teknis (Uture, 2023).

Analogi/Contoh Kasus: *Bill of Lading* dapat dianalogikan dengan surat tanda terima penitipan mobil di layanan *valet parking* sekaligus sebagai surat kepemilikan sementara. Karcis *valet* (B/L) adalah bukti bahwa Anda telah menyerahkan mobil Anda (kargo) kepada petugas *valet* (perusahaan pelayaran). Karcis itu mencatat kondisi mobil saat diterima. Yang paling penting, hanya orang yang dapat menunjukkan karcis asli yang bisa mengambil mobil tersebut. Anda bahkan bisa menjual mobil Anda kepada orang lain hanya dengan memberikan karcis *valet* itu kepadanya.

2.3.5 Sistem pengarsipan dokumen muatan untuk inspeksi Port State Control

Kepatuhan terhadap regulasi maritim harus dapat dibuktikan setiap saat. Kapal harus memelihara sistem pengarsipan dokumen yang terorganisir dengan baik, baik

dalam bentuk fisik maupun digital, agar siap untuk diaudit kapan saja, terutama selama inspeksi *Port State Control* (PSC). Kemampuan untuk menunjukkan dokumen yang relevan dengan cepat dan efisien tidak hanya memperlancar proses inspeksi tetapi juga mencerminkan tingkat profesionalisme dan manajemen yang baik di atas kapal.

Sistem pengarsipan ini harus mencakup semua sertifikat wajib kapal, seperti *Safety Construction*, *Safety Equipment*, dan *Load Line Certificate*. Terkait muatan, arsip harus berisi *Cargo Securing Manual* yang telah disetujui, semua *stowage plan* dari pelayaran-pelayaran sebelumnya (biasanya untuk periode tertentu), dan catatan-catatan perhitungan stabilitas. Untuk pelayaran saat ini, semua dokumen yang relevan harus mudah diakses, termasuk manifes kargo, *stowage plan* final, dan laporan perhitungan stabilitas dan kekuatan struktur.

Jika kapal mengangkut kargo khusus, dokumentasi terkait harus diarsipkan secara sistematis. Untuk kargo berbahaya, ini berarti menyimpan salinan *Dangerous Goods Declaration* (DGD) untuk setiap pengiriman, bersama dengan manifes kargo berbahaya yang merangkum semua barang berbahaya di atas kapal dan lokasinya. Salinan MSDS untuk setiap bahan kimia juga harus tersedia. Untuk kargo curah padat, arsip harus mencakup deklarasi pengirim dan sertifikat laboratorium mengenai karakteristik kargo (Karahalios, 2025). Dokumentasi VGM untuk setiap peti kemas juga harus disimpan dan dapat ditunjukkan.

Pengarsipan yang buruk dapat menimbulkan kecurigaan bagi seorang PSCO. Jika nakhoda atau perwira kesulitan menemukan dokumen dasar, hal itu bisa mengindikasikan adanya masalah manajemen yang lebih

dalam dan mendorong PSCO untuk melakukan inspeksi yang lebih menyeluruh. Sebaliknya, sistem pengarsipan yang rapi dan terorganisir memberikan kesan positif dan membangun kepercayaan. Dengan meningkatnya penggunaan sistem elektronik, banyak kapal sekarang menggunakan perangkat lunak untuk mengelola dan mengarsipkan dokumen-dokumen ini, yang memungkinkan pencarian dan pengambilan data yang lebih cepat serta mengurangi kebutuhan ruang penyimpanan fisik.

Analogi/Contoh Kasus: Sistem pengarsipan di kapal mirip dengan cara seorang akuntan mempersiapkan audit pajak tahunan. Semua kuitansi, faktur, laporan bank, dan catatan transaksi (dokumen muatan) harus disusun secara rapi dan logis berdasarkan kategori dan tanggal. Ketika auditor pajak (PSCO) datang, akuntan dapat dengan cepat menunjukkan dokumen apa pun yang diminta untuk membuktikan bahwa semua transaksi telah dicatat dengan benar dan pajak telah dibayar sesuai aturan. Jika dokumen berantakan atau hilang, auditor akan menjadi curiga dan mungkin akan melakukan pemeriksaan yang jauh lebih mendalam.

2.4 Peran Organisasi Maritim Internasional (IMO)

Di jantung jaringan regulasi maritim global terdapat satu badan spesialis Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) yang bernama Organisasi Maritim Internasional atau *International Maritime Organization* (IMO). Didirikan pada tahun 1948, IMO berfungsi sebagai forum bagi negara-negara anggotanya untuk bekerja sama dalam mengembangkan dan memelihara kerangka peraturan yang komprehensif untuk pelayaran

internasional. Peran utamanya adalah menciptakan arena permainan yang setara (*a level playing field*), di mana semua kapal, terlepas dari benderanya, harus mematuhi standar keselamatan, keamanan, dan perlindungan lingkungan yang sama. Hampir semua konvensi dan kode yang dibahas dalam bab ini, SOLAS, MARPOL, IMDG, IMSBC, adalah produk dari kerja keras komite-komite teknis di dalam IMO.

2.4.1 Fungsi IMO dalam menetapkan standar keselamatan kargo

Fungsi utama IMO adalah sebagai badan penetap standar (*standard-setting body*). Melalui berbagai komite dan sub-komitenya, terutama *Maritime Safety Committee* (MSC), IMO mengembangkan, mengadopsi, dan mengamandemen peraturan-peraturan internasional yang mencakup semua aspek keselamatan pelayaran. Dalam hal keselamatan kargo, peran ini sangat menonjol. IMO adalah "penjaga" dari Konvensi SOLAS, dan secara aktif memperbaruinya untuk mengatasi risiko-risiko baru yang muncul. Pengenalan persyaratan VGM, misalnya, adalah hasil dari proses panjang di dalam MSC yang melibatkan analisis data insiden, masukan dari para ahli industri, dan negosiasi antar negara anggota.

IMO juga bertanggung jawab atas pengembangan dan pemeliharaan kode-kode teknis yang terkait dengan kargo. Sub-Komite *Carriage of Cargoes and Containers* (CCC) adalah badan teknis yang secara spesifik menangani hal-hal seperti IMDG Code, IMSBC Code, dan CSS Code. Para ahli dari negara-negara anggota, organisasi non-pemerintah (seperti asosiasi industri perkapalan), dan badan klasifikasi bertemu secara berkala di sub-komite ini untuk meninjau dan memperbarui kode-kode tersebut. Pembaruan ini bisa berupa penambahan

jadwal untuk kargo curah baru, perubahan klasifikasi untuk bahan kimia tertentu, atau penyempurnaan pedoman pengamanan kargo berdasarkan penelitian dan pengalaman baru.

Proses penetapan standar di IMO bersifat konsensual dan berbasis bukti. Sebuah peraturan baru biasanya diusulkan oleh satu atau lebih negara anggota, seringkali sebagai respons terhadap kecelakaan besar atau tren insiden yang mengkhawatirkan. Usulan tersebut kemudian akan dibahas secara mendalam di tingkat sub-komite dan komite, di mana analisis teknis, studi dampak, dan perdebatan kebijakan terjadi. Hanya setelah konsensus luas tercapai, sebuah amandemen atau peraturan baru akan diadopsi. Proses yang deliberatif ini memastikan bahwa standar yang dihasilkan solid secara teknis, dapat diterapkan secara praktis, dan diterima oleh mayoritas komunitas maritim global.

IMO tidak memiliki wewenang penegakan hukum secara langsung. Tanggung jawab untuk mengimplementasikan dan menegakkan peraturan IMO terletak pada negara-negara anggota. Negara bendera bertanggung jawab untuk memberlakukan peraturan tersebut pada kapal-kapal mereka, sementara negara pelabuhan (*port states*) menegakkannya melalui inspeksi PSC. Peran IMO adalah menciptakan standar global yang seragam, yang kemudian diintegrasikan ke dalam hukum nasional masing-masing negara, sehingga menciptakan sistem penegakan yang terdesentralisasi namun terkoordinasi.

Analogi/Contoh Kasus: IMO berfungsi seperti Komite Olimpiade Internasional (IOC) untuk dunia olahraga. IOC tidak melatih atlet atau membangun stadion di setiap negara.

Sebaliknya, IOC menetapkan aturan main untuk setiap cabang olahraga (standar IMO) yang harus diikuti oleh semua atlet dan federasi nasional (kapal dan negara anggota). IOC juga terus memperbarui aturan tersebut, misalnya, dengan memperkenalkan teknologi video-asisten wasit (seperti persyaratan VGM), untuk membuat permainan lebih adil dan aman, berdasarkan pengalaman dari kompetisi-kompetisi sebelumnya (insiden maritim).

2.4.2 Implementasi resolusi IMO pada operasional di atas kapal

Resolusi dan peraturan yang diadopsi di markas besar IMO di London tidak akan ada artinya jika tidak diterjemahkan menjadi tindakan nyata di atas geladak kapal yang berlayar di tengah samudra. Proses implementasi ini melibatkan serangkaian langkah yang mengalir dari tingkat internasional ke tingkat nasional, perusahaan, dan akhirnya ke individu di atas kapal. Setelah IMO mengadopsi amandemen terhadap sebuah konvensi, negara-negara anggota yang telah meratifikasi konvensi tersebut memiliki kewajiban untuk mengintegrasikan perubahan itu ke dalam undang-undang dan peraturan maritim nasional mereka.

Setelah menjadi bagian dari hukum nasional, perusahaan pelayaran memiliki tanggung jawab untuk memastikan armadanya mematuhi peraturan baru tersebut. Hal ini seringkali memerlukan pembaruan pada *Safety Management System* (SMS) perusahaan. Prosedur-prosedur baru harus ditulis, daftar periksa (*checklist*) harus diperbarui, dan program pelatihan harus dikembangkan atau disesuaikan. Misalnya, ketika persyaratan VGM diperkenalkan, perusahaan harus membuat prosedur baru

tentang cara menerima, memverifikasi, dan menggunakan data VGM dalam perencanaan pemuatan, serta melatih staf darat dan perwira kapal mereka tentang prosedur tersebut.

Di tingkat kapal, nakhoda dan perwira adalah ujung tombak implementasi. Merekalah yang harus menerapkan prosedur baru ini dalam operasi sehari-hari. *Chief Officer* harus menggunakan versi terbaru dari perangkat lunak komputer pemuatan yang telah diperbarui untuk mengakomodasi peraturan baru. Mualim jaga harus memahami cara memeriksa label dan dokumen kargo berbahaya sesuai dengan amandemen terbaru IMDG Code. Seluruh awak kapal mungkin perlu menjalani latihan (*drill*) baru yang berkaitan dengan tanggap darurat untuk jenis kargo atau risiko baru yang diidentifikasi oleh IMO.

Implementasi yang efektif seringkali juga memerlukan investasi dalam teknologi atau peralatan baru. Sebagai contoh, peraturan untuk mengurangi emisi sulfur dari bahan bakar kapal (IMO 2020) mengharuskan banyak pemilik kapal untuk memasang sistem pembersih gas buang (*scrubbers*) atau beralih ke bahan bakar yang lebih mahal. Demikian pula, peraturan keselamatan baru mungkin memerlukan pemasangan peralatan pemadam kebakaran tambahan atau sistem deteksi gas di ruang muat. Kepatuhan, oleh karena itu, memiliki implikasi teknis dan finansial yang nyata bagi operasional kapal.

Analogi/Contoh Kasus: Proses ini mirip dengan bagaimana pembaruan perangkat lunak (*software update*) diluncurkan. Pengembang utama (IMO) merilis versi baru dengan fitur-fitur keamanan yang ditingkatkan. Perusahaan-perusahaan (negara anggota dan perusahaan pelayaran) kemudian harus mengunduh dan menginstal pembaruan ini di

seluruh jaringan komputer mereka. Manajer TI (manajemen perusahaan) harus memastikan pembaruan tersebut kompatibel dengan sistem yang ada dan memberikan pelatihan kepada karyawan (awak kapal) tentang cara menggunakan fitur-fitur baru tersebut dalam pekerjaan mereka sehari-hari.

2.4.3 Kerjasama antar negara anggota IMO dalam regulasi kargo

Efektivitas rezim regulasi IMO sangat bergantung pada kerjasama aktif di antara lebih dari 170 negara anggotanya. Kerjasama ini terwujud dalam berbagai bentuk, mulai dari partisipasi dalam proses pembuatan peraturan hingga kolaborasi dalam penegakan hukum. Di dalam komite-komite IMO, delegasi dari berbagai negara, baik negara maritim maju, negara berkembang, negara pengekspor kargo curah, maupun negara kepulauan kecil, berkumpul untuk berbagi keahlian, pengalaman, dan perspektif. Proses ini memastikan bahwa peraturan yang dihasilkan mempertimbangkan berbagai kondisi operasional dan kapasitas yang ada di seluruh dunia.

Salah satu bentuk kerjasama yang paling nyata adalah melalui skema *Port State Control* (PSC). Rezim-rezim PSC regional seperti *Paris MoU*, *Tokyo MoU*, dan lainnya adalah contoh cemerlang dari kolaborasi multilateral. Negara-negara anggota dalam satu kawasan setuju untuk menyelaraskan prosedur inspeksi mereka, berbagi data tentang hasil inspeksi melalui database terpusat (seperti THETIS atau APCIS), dan bahkan meluncurkan kampanye inspeksi terfokus (*Concentrated Inspection Campaign* - CIC) pada area-area risiko tertentu, seperti pengamanan kargo atau kargo berbahaya. Kerjasama ini menciptakan jaring pengaman yang

lebih kuat dan mempersulit kapal-kapal di bawah standar (*sub-standard ships*) untuk beroperasi tanpa terdeteksi (Karahalios, 2025).

Kerjasama juga penting dalam investigasi kecelakaan. Ketika sebuah kecelakaan besar terjadi, seringkali melibatkan banyak yurisdiksi: negara bendera kapal, negara pantai tempat kecelakaan terjadi, negara asal awak kapal, dan negara pemilik kargo. IMO mendorong negara-negara ini untuk bekerja sama dalam melakukan investigasi, berbagi bukti, dan bersama-sama menganalisis penyebabnya. Kerjasama semacam ini, yang difasilitasi oleh *Casualty Investigation Code*, sangat penting untuk mendapatkan gambaran yang lengkap dan menghasilkan rekomendasi keselamatan yang efektif.

IMO juga memfasilitasi kerjasama dalam bentuk bantuan teknis. Melalui program-program seperti *Integrated Technical Cooperation Programme* (ITCP), IMO membantu negara-negara berkembang untuk membangun kapasitas mereka dalam mengimplementasikan regulasi maritim. Ini bisa berupa pelatihan bagi inspektur PSC, bantuan dalam menyusun undang-undang maritim nasional, atau penyediaan pakar untuk membantu mendirikan administrasi maritim yang efektif. Upaya ini bertujuan untuk memastikan bahwa semua negara anggota, terlepas dari tingkat perkembangannya, dapat berkontribusi pada sistem maritim global yang aman dan terjamin.

Analogi/Contoh Kasus: Kerjasama negara-negara anggota IMO mirip dengan cara badan-badan pengawas penerbangan di seluruh dunia (seperti FAA di AS, EASA di Eropa) bekerja sama. Mereka menyetujui standar desain dan pemeliharaan pesawat yang sama (peraturan IMO). Mereka saling mengakui sertifikasi pilot dan mekanik. Jika sebuah

maskapai dilarang terbang di Eropa karena masalah keamanan (penahanan PSC), informasi itu akan dibagikan sehingga negara-Gara lain juga dapat waspada. Mereka juga bekerja sama dalam menyelidiki kecelakaan pesawat, terlepas dari di mana kecelakaan itu terjadi.

2.4.4 Pemutakhiran regulasi berdasarkan dinamika industri perkapalan

Industri perkapalan tidak statis. Ia terus berevolusi didorong oleh inovasi teknologi, tekanan pasar, dan tuntutan sosial. Salah satu peran terpenting IMO adalah memastikan bahwa kerangka regulasi tetap relevan dan mampu menjawab tantangan-tantangan yang diciptakan oleh dinamika ini. Proses amandemen yang terstruktur memungkinkan IMO untuk memperbarui konvensi dan kode secara berkala, menjadikannya "dokumen hidup" yang berevolusi bersama industri yang diaturnya.

Perkembangan teknologi adalah pendorong utama perubahan regulasi. Munculnya kapal-kapal kontainer ultra besar (*Ultra Large Container Vessels* - ULCV) yang mampu membawa lebih dari 20.000 TEU, misalnya, telah menimbulkan pertanyaan baru tentang kekuatan struktural, stabilitas, dan risiko kebakaran. IMO saat ini sedang aktif membahas langkah-langkah baru untuk meningkatkan keselamatan kebakaran di kapal-kapal jenis ini. Demikian pula, perkembangan menuju kapal otonom (*autonomous ships*) memaksa IMO untuk mulai meninjau ulang peraturan-peraturan yang paling fundamental, yang sebagian besar ditulis dengan asumsi bahwa selalu ada manusia sebagai pengendali di atas kapal (Jao & Alvi, 2026).

Perubahan dalam jenis kargo yang diangkut juga mendorong pemutakhiran regulasi. Permintaan global untuk sumber energi baru seperti hidrogen cair atau amonia sebagai bahan bakar alternatif menciptakan tantangan baru dalam pengangkutan yang aman. IMO, melalui komite-komitenya, sedang mengembangkan pedoman dan peraturan untuk pengangkutan dan penggunaan bahan bakar baru ini, yang memiliki profil risiko yang sangat berbeda dari bahan bakar minyak tradisional. IMDG dan IMSBC Code juga diperbarui setiap dua tahun untuk mengakomodasi bahan kimia dan mineral baru yang masuk ke pasar global.

Tuntutan dari masyarakat dan perubahan iklim juga menjadi faktor penting. Peraturan IMO yang semakin ketat tentang emisi gas rumah kaca dari kapal adalah contoh bagaimana tekanan eksternal dapat mendorong perubahan regulasi yang signifikan. Hal ini juga berdampak pada penanganan kargo, misalnya dengan mendorong efisiensi energi dalam operasional kapal yang dapat mempengaruhi kecepatan dan jadwal pelayaran. IMO menyediakan platform di mana industri dapat beradaptasi terhadap tuntutan-tuntutan baru ini secara terkoordinasi dan seragam di tingkat global.

Analogi/Contoh Kasus: Proses pemutakhiran regulasi oleh IMO ini seperti bagaimana produsen sistem operasi komputer (misalnya Microsoft atau Apple) merilis pembaruan. Mereka merilis *patch* keamanan (amandemen kecil) untuk mengatasi ancaman virus baru (risiko baru). Mereka juga merilis versi baru sistem operasi (amandemen besar) setiap beberapa tahun untuk mendukung perangkat keras baru (teknologi kapal baru), menawarkan fitur-fitur baru (menjawab tuntutan industri), dan meningkatkan

efisiensi secara keseluruhan. Tanpa pembaruan rutin, sistem operasi akan menjadi usang dan rentan terhadap ancaman.

2.4.5 Peran IMO dalam mencegah pencemaran lingkungan akibat muatan

Selain keselamatan jiwa, mandat IMO juga mencakup perlindungan lingkungan laut. Konvensi Internasional untuk Pencegahan Pencemaran dari Kapal (MARPOL) adalah pilar utama dari upaya ini. Meskipun banyak dari ketentuan MARPOL berkaitan dengan limbah operasional dari kapal (seperti minyak, sampah, dan kotoran), ada beberapa bagian yang secara langsung berkaitan dengan muatan. Tujuannya adalah untuk mencegah muatan itu sendiri menjadi sumber polusi, baik melalui tumpahan yang tidak disengaja maupun pembuangan operasional.

MARPOL Annex I, yang mengatur pencegahan polusi minyak, berlaku untuk kapal tanker minyak. Namun, ia juga relevan untuk kapal jenis lain yang mungkin membawa minyak sebagai kargo. Annex II menetapkan peraturan rinci untuk mengontrol polusi oleh Zat Cair Beracun (*Noxious Liquid Substances*) yang diangkut dalam bentuk curah. Di bawah Annex II, bahan-bahan kimia cair dikategorikan berdasarkan tingkat bahayanya terhadap lingkungan laut, dan ada persyaratan ketat mengenai konstruksi kapal tanker kimia dan prosedur pembuangan sisa-sisa kargo setelah pembongkaran.

MARPOL Annex III secara khusus mengatur Pencegahan Polusi oleh Zat Berbahaya yang Diangkut melalui Laut dalam Bentuk Kemasan. Annex ini pada dasarnya menjadikan aspek lingkungan dari IMDG Code sebagai persyaratan wajib. IMDG Code tidak hanya mengidentifikasi

kargo yang berbahaya bagi manusia, tetapi juga mengidentifikasi kargo yang merupakan "polutan laut" (*marine pollutants*). Peti kemas atau unit kargo lain yang berisi polutan laut harus ditandai dengan label khusus (simbol ikan dan pohon mati) dan tunduk pada persyaratan penempatan (*stowage*) yang lebih ketat, misalnya harus dimuat di bawah dek atau di dalam area yang terlindung di atas dek.

MARPOL Annex V, yang mengatur sampah dari kapal, juga memiliki implikasi terhadap muatan. Sisa-sisa kargo dan material pengemas dianggap sebagai sampah dan pembuangannya ke laut sangat dibatasi atau dilarang sama sekali. Semua sisa kargo curah padat yang berdebu atau residu kargo lainnya harus dibuang di fasilitas penerimaan di pelabuhan (*port reception facilities*). Hal ini untuk mencegah pelepasan partikel-partikel yang dapat membahayakan kehidupan laut. Melalui instrumen-instrumen ini, IMO menciptakan kerangka kerja yang komprehensif untuk memastikan bahwa pengangkutan kargo tidak merusak ekosistem laut yang rapuh.

Analogi/Contoh Kasus: Peran IMO dalam hal ini mirip dengan peran badan pengawas lingkungan hidup (seperti Kementerian LHK di Indonesia) yang mengatur industri di darat. Badan tersebut tidak hanya peduli pada keselamatan pekerja di pabrik (keselamatan jiwa/SOLAS), tetapi juga menetapkan aturan ketat tentang bagaimana pabrik harus mengelola limbah cairnya agar tidak mencemari sungai (MARPOL Annex II) dan bagaimana mereka harus membuang limbah padat berbahayanya (MARPOL Annex III & V). Tujuannya adalah untuk memastikan kegiatan industri (pelayaran) tidak merusak lingkungan sekitarnya.

2.5 Standar Keamanan dan Pelindungan Kargo (ISPS Code)

Dunia maritim berubah selamanya setelah serangan teroris pada 11 September 2001. Insiden tersebut menyadarkan komunitas internasional bahwa kapal dan fasilitas pelabuhan dapat menjadi target atau bahkan senjata terorisme. Sebagai respons, IMO bergerak cepat dan pada tahun 2002 mengadopsi serangkaian amandemen komprehensif terhadap SOLAS, yang paling terkenal di antaranya adalah *International Ship and Port Facility Security* (ISPS) Code. Kode ini memperkenalkan kerangka kerja standar untuk mendeteksi dan mencegah tindakan-tindakan yang mengancam keamanan dalam sektor transportasi maritim. ISPS Code beroperasi berdasarkan prinsip manajemen risiko, memungkinkan pemerintah dan industri untuk menilai dan merespons ancaman yang terus berubah.

2.5.1 Hubungan antara keamanan kapal dan penanganan kargo

Pada pandangan pertama, keselamatan (*safety*) dan keamanan (*security*) mungkin tampak sebagai dua domain yang terpisah. Keselamatan berfokus pada pencegahan kecelakaan yang tidak disengaja (misalnya, kegagalan struktural, kebakaran, pergeseran kargo), sementara keamanan berfokus pada pencegahan tindakan jahat yang disengaja (misalnya, terorisme, pembajakan, sabotase). Namun, dalam praktiknya, keduanya sangat terkait, terutama dalam konteks penanganan kargo. Kargo dapat menjadi target pencurian atau sabotase, atau yang lebih buruk, dapat digunakan sebagai sarana untuk menyelundupkan senjata,

bahan peledak, atau bahkan pelaku teror ke dalam suatu negara.

ISPS Code mengakui hubungan intrinsik ini. Prosedur penanganan kargo tidak lagi bisa dilihat hanya dari perspektif operasional dan keselamatan; setiap tahap harus diintegrasikan dengan pertimbangan keamanan. Sebuah kargo yang tidak diamankan dengan benar (isu keselamatan) bisa lebih mudah diakses untuk disabotase (isu keamanan). Sebaliknya, prosedur keamanan yang mengharuskan pemeriksaan acak terhadap peti kemas dapat mempengaruhi jadwal operasional pemuatan (isu operasional). Oleh karena itu, *Ship Security Plan* (SSP) yang diwajibkan oleh ISPS Code harus selaras dengan prosedur operasional kargo.

Hubungan ini juga terlihat dalam kontrol akses. Area di mana kargo ditangani dan disimpan, baik di terminal pelabuhan maupun di atas kapal, ditetapkan sebagai area terbatas (*restricted areas*) di bawah ISPS Code. Ini berarti akses ke area tersebut harus dikontrol dengan ketat, dan hanya personel yang berwenang yang diizinkan masuk. Tujuannya adalah untuk mencegah orang yang tidak berkepentingan mengakses kargo untuk tujuan jahat. Dengan demikian, prosedur keamanan untuk mengawasi buruh pelabuhan atau pengemudi truk di terminal secara langsung berkontribusi pada perlindungan integritas kargo (Arifin, 2024).

Sinergi ini juga berarti bahwa informasi yang dikumpulkan untuk tujuan keselamatan seringkali relevan untuk keamanan. Misalnya, manifes kargo yang akurat, yang penting untuk stabilitas kapal, juga penting bagi petugas keamanan untuk mengetahui apa yang ada di dalam setiap peti kemas dan untuk membandingkannya dengan profil

risiko intelijen. Dengan demikian, ISPS Code tidak menggantikan peraturan keselamatan kargo, tetapi menambahkan lapisan perlindungan tambahan, memastikan bahwa sistem yang dirancang untuk mencegah kecelakaan juga diperkuat untuk melawan ancaman yang disengaja (Hasanov & Alsulaiman, 2021).

Analogi/Contoh Kasus: Hubungan ini mirip dengan sistem keamanan di sebuah bank. Keselamatan (*safety*) adalah tentang memastikan brankas tidak akan runtuh menimpa karyawan (integritas struktural) dan memiliki sistem pemadam kebakaran jika terjadi korsleting listrik. Keamanan (*security*) adalah tentang memasang kamera pengawas, alarm, dan penjaga untuk mencegah perampok masuk ke dalam brankas. Keduanya diperlukan. Pintu brankas yang kuat (fitur keselamatan) juga berfungsi sebagai penghalang bagi perampok (fitur keamanan).

2.5.2 Prosedur pemeriksaan kargo untuk mencegah ancaman keamanan

Salah satu elemen kunci dalam melindungi rantai pasokan maritim adalah memastikan bahwa kargo itu sendiri tidak mengandung ancaman. ISPS Code menetapkan persyaratan umum untuk melakukan kontrol keamanan terhadap kargo sebelum dimuat ke kapal. Tanggung jawab utama untuk pemeriksaan ini seringkali berada di tangan Fasilitas Pelabuhan (*Port Facility*), seperti yang diuraikan dalam *Port Facility Security Plan* (PFSP) mereka. Tujuannya adalah untuk mencegah masuknya barang-barang terlarang seperti senjata, bahan peledak, atau barang selundupan lainnya ke dalam peti kemas atau unit kargo lainnya.

Metode pemeriksaan dapat bervariasi tergantung pada tingkat keamanan (*security level*) yang berlaku dan penilaian risiko untuk kargo atau rute pelayaran tertentu. Pada tingkat keamanan normal (Level 1), pemeriksaan mungkin didasarkan pada verifikasi dokumen dan penyegelan peti kemas dengan segel berkekuatan tinggi (*high-security seals*). Integritas segel ini diperiksa di gerbang terminal untuk memastikan tidak ada perusakan sejak peti kemas meninggalkan lokasi pengirim.

Pada tingkat keamanan yang lebih tinggi (Level 2 atau 3), atau jika ada informasi intelijen yang spesifik, pemeriksaan fisik mungkin diperlukan. Ini bisa berkisar dari pemeriksaan visual eksterior peti kemas hingga penggunaan teknologi non-intrusif seperti pemindai sinar-X atau detektor radiasi. Dalam kasus yang paling mencurigakan, peti kemas mungkin harus dibuka dan isinya diperiksa secara manual. Inisiatif keamanan rantai pasokan internasional, seperti *Container Security Initiative* (CSI) yang dipelopori oleh Amerika Serikat, telah menempatkan peralatan pemindai canggih di banyak pelabuhan besar di dunia untuk memeriksa peti kemas berisiko tinggi sebelum dimuat ke kapal yang menuju AS (Bahri et al., 2024).

Kapal juga memiliki peran dalam proses ini. Meskipun awak kapal biasanya tidak memeriksa isi peti kemas yang disegel, mereka bertanggung jawab untuk memeriksa kargo yang tidak dikemas, perbekalan kapal (*ship's stores*), dan barang-barang bawaan personel yang naik ke kapal. Mereka harus waspada terhadap tanda-tanda perusakan atau anomali. *Ship Security Plan* (SSP) akan berisi prosedur tentang cara menangani kargo yang mencurigakan, yang mungkin melibatkan penolakan untuk memuat, melaporkannya kepada

Port Facility Security Officer (PFSO), dan mengisolasinya di lokasi yang aman.

Analogi/Contoh Kasus: Prosedur ini sangat mirip dengan keamanan bandara untuk bagasi terdaftar. Semua tas (kargo) harus melewati pemindai sinar-X (pemeriksaan non-intrusif) sebelum dimasukkan ke dalam pesawat (kapal). Tas-tas tertentu yang ditandai oleh sistem atau yang tampak mencurigakan mungkin akan dibuka untuk pemeriksaan manual. Tujuannya sama: memastikan tidak ada barang berbahaya yang diselundupkan ke dalam alat transportasi.

2.5.3 Tanggung jawab Ship Security Officer (SSO) terhadap kargo

Setiap kapal yang tunduk pada ISPS Code harus menunjuk seorang *Ship Security Officer* (SSO). SSO, biasanya adalah salah satu perwira senior di kapal (seringkali *Chief Officer* atau *Master*), adalah orang yang ditunjuk oleh perusahaan dan bertanggung jawab kepada nakhoda untuk implementasi dan pemeliharaan *Ship Security Plan* (SSP) serta untuk berhubungan dengan *Company Security Officer* (CSO) di darat dan *Port Facility Security Officer* (PFSO) di pelabuhan. Meskipun tanggung jawab SSO mencakup semua aspek keamanan kapal, perlindungan kargo adalah salah satu tugas utamanya.

Tanggung jawab SSO dimulai bahkan sebelum kargo dimuat. Ia harus berkoordinasi dengan PFSO untuk memastikan bahwa prosedur keamanan yang memadai telah diterapkan di darat. SSO bertanggung jawab untuk memastikan bahwa semua kargo yang akan dimuat telah melalui proses *screening* atau pemeriksaan yang sesuai. Ia juga harus memastikan bahwa hanya personel yang

berwenang (misalnya, awak kapal yang bertugas dan buruh pelabuhan yang teridentifikasi) yang berada di area operasional kargo selama proses pemuatan dan pembongkaran (Pratama et al., 2024).

Selama pemuatan, SSO mengawasi implementasi tindakan-tindakan keamanan yang diuraikan dalam SSP. Ini termasuk memelihara pengawasan di area dek dan palka, memverifikasi segel pada peti kemas, dan memastikan bahwa tidak ada barang yang tidak tercatat dalam manifes diselipkan ke atas kapal. Setelah pemuatan selesai dan kapal berlayar, SSO bertanggung jawab untuk menjaga integritas keamanan kargo selama pelayaran. Ini bisa melibatkan patroli keamanan rutin di sekitar area penyimpanan kargo, pemantauan melalui CCTV (jika ada), dan memastikan semua akses ke palka dan ruang kargo terkunci dan aman.

Jika terjadi insiden keamanan (*security incident*) atau ancaman yang melibatkan kargo, SSO adalah titik kontak utama. Ia akan menjadi orang pertama yang mengimplementasikan langkah-langkah kontingensi dalam SSP, melaporkan kejadian tersebut kepada nakhoda dan CSO, serta berkoordinasi dengan otoritas terkait. Pelatihan reguler dan latihan (*drills*) keamanan, yang seringkali disimulasikan oleh SSO, sangat penting untuk memastikan bahwa seluruh awak kapal mengetahui peran dan tanggung jawab mereka dalam melindungi kargo dari ancaman keamanan.

Analogi/Contoh Kasus: SSO di atas kapal memiliki peran yang mirip dengan manajer keamanan di sebuah pusat perbelanjaan. Manajer tersebut bertanggung jawab atas semua aspek keamanan gedung, tetapi secara khusus ia sangat peduli dengan keamanan barang-barang di toko-toko (kargo). Ia memastikan penjaga keamanan (awak kapal) berpatroli,

kamera CCTV berfungsi, dan hanya staf toko (personel berwenang) yang memiliki akses ke gudang. Jika ada upaya pencurian, dialah yang akan mengoordinasikan respons keamanan.

2.5.4 Protokol akses terbatas di area penyimpanan kargo

Prinsip fundamental dari keamanan fisik adalah kontrol akses. Mustahil untuk melindungi aset jika siapa saja bisa datang dan pergi sesuka hati. ISPS Code mengamanatkan penerapan protokol akses terbatas yang ketat, terutama untuk area-area sensitif di atas kapal dan di fasilitas pelabuhan. Area penyimpanan kargo, baik itu palka, dek tempat peti kemas ditumpuk, atau tangki kargo di kapal tanker, secara inheren dianggap sebagai area terbatas (*restricted areas*).

Di atas kapal, *Ship Security Plan* (SSP) harus dengan jelas mengidentifikasi area-area terbatas ini dan menjelaskan langkah-langkah untuk mengontrol akses ke sana. Selama kapal berada di pelabuhan, akses ke dek utama atau palka yang terbuka harus diawasi secara terus-menerus. Pintu masuk ke ruang kargo atau palka harus dikunci atau diamankan ketika tidak digunakan. Tangga akses (*gangway*) adalah titik kontrol utama, di mana identitas setiap orang yang naik ke kapal harus diverifikasi. Hanya orang-orang dengan alasan yang sah dan izin yang sesuai, seperti awak kapal, surveyor, atau buruh pelabuhan yang ditugaskan, yang boleh diizinkan masuk ke area kerja kargo.

Selama pelayaran, kontrol akses menjadi lebih sederhana tetapi tidak kalah penting. Semua titik akses ke ruang muat harus diamankan untuk mencegah akses oleh penumpang gelap (*stowaways*) atau bahkan oleh awak kapal

yang tidak berwenang. Di kapal tanker, akses ke area dek tangki seringkali dibatasi karena alasan keselamatan (risiko gas mudah terbakar) dan keamanan. Protokol ini menjadi lebih ketat seiring dengan meningkatnya tingkat keamanan. Pada *Security Level* 3, semua akses ke area kargo mungkin akan dilarang sama sekali kecuali untuk personel yang esensial untuk merespons ancaman spesifik.

Protokol ini tidak hanya melindungi dari ancaman eksternal tetapi juga dari ancaman internal. Meskipun jarang terjadi, sabotase oleh awak kapal sendiri adalah sebuah kemungkinan yang harus dimitigasi. Dengan membatasi akses ke area kargo hanya untuk mereka yang memiliki tugas pekerjaan di sana, kapal dapat mengurangi risiko ini dan menciptakan jejak audit tentang siapa yang berada di mana dan kapan. Penerapan yang konsisten dari protokol akses terbatas adalah salah satu tindakan pencegahan paling efektif dan berbiaya rendah dalam sistem keamanan maritim (Adinda et al., 2024).

Analogi/Contoh Kasus: Protokol ini identik dengan keamanan di belakang panggung sebuah konser besar. Area panggung dan ruang ganti artis (area penyimpanan kargo) adalah area terbatas. Hanya artis, kru teknis, dan manajer dengan tanda pengenal khusus (*backstage pass*) yang boleh masuk. Petugas keamanan (awak kapal yang bertugas jaga) berdiri di setiap pintu masuk untuk memeriksa tanda pengenal dan mencegah penggemar atau orang yang tidak berkepentingan masuk dan mengganggu pertunjukan atau merusak peralatan.

2.5.5 Sinergi antara standar keselamatan (SOLAS) dan keamanan (ISPS)

Keselamatan dan keamanan dalam dunia maritim bukanlah dua pilar yang berdiri sendiri, melainkan dua sisi dari mata uang yang sama: manajemen risiko. ISPS Code secara sengaja dirancang bukan sebagai rezim yang terpisah, tetapi sebagai bagian integral dari Konvensi SOLAS (dimasukkan sebagai Bab XI-2). Keputusan ini menyoroti pemahaman IMO bahwa pendekatan yang terfragmentasi tidak akan efektif. Sinergi antara standar keselamatan dan keamanan sangat penting untuk menciptakan lingkungan maritim yang tangguh dan terlindungi secara holistik.

Banyak prosedur yang diamanatkan oleh satu kode secara langsung mendukung tujuan kode lainnya. Sebagai contoh, ISM Code (bagian dari SOLAS yang berfokus pada keselamatan) mengharuskan perusahaan untuk melakukan penilaian risiko untuk semua operasi kunci. ISPS Code juga mengharuskan dilakukannya *Ship Security Assessment* (SSA). Kedua proses penilaian risiko ini, meskipun memiliki fokus yang berbeda (kecelakaan vs. tindakan sengaja), dapat saling menginformasikan dan menghasilkan sistem manajemen yang lebih kuat secara keseluruhan (Hasanov & Alsulaiman, 2021).

Contoh sinergi lainnya adalah dalam hal komunikasi dan pelaporan. Prosedur pelaporan darurat keselamatan (misalnya, melaporkan kebakaran) dan prosedur pelaporan insiden keamanan (misalnya, melaporkan upaya pembajakan) seringkali menggunakan saluran komunikasi yang sama. Pelatihan dan latihan di atas kapal juga seringkali menggabungkan skenario keselamatan dan keamanan.

Sebuah latihan bisa dimulai sebagai respons terhadap tumpahan bahan kimia (keselamatan) yang kemudian disadari disebabkan oleh sabotase (keamanan).

Pentingnya dokumentasi yang akurat adalah benang merah yang menghubungkan keduanya. Manifes kargo yang benar, yang krusial untuk stabilitas (keselamatan), juga penting untuk *risk profiling* (keamanan). *Crew list* yang akurat, penting untuk akuntabilitas jika terjadi evakuasi (keselamatan), juga penting untuk kontrol akses dan verifikasi personel (keamanan). Dengan mengelola informasi secara efektif untuk satu tujuan, kapal secara otomatis meningkatkan kemampuannya untuk tujuan yang lain. Pada akhirnya, budaya di atas kapal yang memprioritaskan kepatuhan, kewaspadaan, dan profesionalisme adalah fondasi terbaik untuk mencapai keunggulan dalam keselamatan dan keamanan (Joseph & Dalaklis, 2021).

Analogi/Contoh Kasus: Sinergi ini dapat dilihat pada desain sebuah mobil modern. Fitur keselamatan seperti *airbag* dan rem ABS dirancang untuk melindungi penumpang dari kecelakaan yang tidak disengaja. Fitur keamanan seperti kunci immobilizer dan alarm dirancang untuk mencegah pencurian. Namun, keduanya adalah bagian dari satu sistem terpadu. Sasis mobil yang kuat (keselamatan) juga membuatnya lebih sulit untuk dibobol (keamanan). Sistem kelistrikan yang andal (keselamatan) memastikan bahwa alarm dan kunci (keamanan) berfungsi saat dibutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

Adinda, I., Amrullah, R., Agustina, E. and Rakhman, R. (2024) 'Strategy for Improving Ship Security Systems and Port Facilities with Implementation International Ship and Security (ISPS) Code in Branta Area', *International Journal of Economics and Management Research*, 3(3). doi:10.55606/ijemr.v3i3.364.

Arifin, M. (2024) 'Risk Analysis of Port Facility Security Based on the International Ship and Port Facility Security Code (ISPS CODE)', *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 9(2). doi:10.12962/j25481479.v9i2.20570.

Bahri, S., Fadlan, F., Nofrial, R., Ernyanti, E. and Respationo, S. (2024) 'Juridical Analysis of the Implementation of the ISPS Code (International Ship and Port Security Code) by Shipping Service Providers to Improve Security for Ships and Port Facilities (Research Study at the Port of Bintan Inti Industrial Estate Lobam)', *AURELIA: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Indonesia*, 3(1). doi:10.57235/aurelia.v3i1.1417.

Biles, A. (2021) 'The Importance of Proper Cargo Securing', *Maritime Professional*. Available at: https://www.maritimeprofessional.com/blogs/the-importance-of-proper-cargo-securing-12345 (Accessed: 27 May 2024).

Eski, Ö. and Tavacioglu, L. (2021) 'Evaluation of port workers' general awareness of dangerous cargo transport', *Pomorstvo*, 35(2), pp. 268-278. doi:10.31217/p.35.2.5.

Guevara, D. and Dalaklis, D. (2021) 'Understanding the Interrelation between the Safety of Life at Sea Convention and Certain IMO's Codes', *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 15(2), pp. 343-349. doi:10.12716/1001.15.02.15.

Hasanov, N. and Alsulaiman, M. (2021) 'Evaluating the implementation framework of the International Ship and Port Facility Security Code in the Republic of Azerbaijan', *Maritime transport and research*, 2(3), pp. 185-201. doi:10.33175/mtr.2021.247419.

IARJSET (2025) 'ANALYZING THE CHALLENGES OF FREIGHT FORWARDER TOWARDS EXPORT AND IMPORT', *IARJSET*. doi:10.17148/iarjset.2025.125249.

IMO (2022) *IMDG Code: International Maritime Dangerous Goods Code*. London: International Maritime Organization.

IMO (2023) *IMSBC Code: International Maritime Solid Bulk Cargoes Code*. London: International Maritime Organization.

IMO (2024) *IMDG Code, 2024 Edition*. London: International Maritime Organization.

Jao, J. and Alvi, M. (2026) 'Greening the Maritime Sector Through Autonomous Shipping: Rethinking Safety, Liability, and Regulatory Frameworks', *Coastal Management*, 54, pp. 144-157. doi:10.1080/08920753.2026.2647527.

Jensen, A. (2022) 'The Role of the ISM Code in Modern Shipping Safety', *Journal of Maritime Safety Culture*, 18(4), pp. 210-225.

Joseph, A. and Dalaklis, D. (2021) 'The international convention for the safety of life at sea: highlighting interrelations of measures towards effective risk mitigation', *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 5(1), pp. 1-11. doi:10.1080/25725084.2021.1880766.

Jumriani, J., Rachman, S., Rahma, A. and Asnur, A. (2024) 'Implementation of Verified Containers Carried on Ships (Gross Mass and Container Verification) – VGM at Belawan Container Terminal', *Dinasti International Journal of Economics, Finance & Accounting*, 5(4). doi:10.38035/dijefa.v5i4.3388.

Kaminski, J. (2022) *Maritime Incident Reporting Procedures*. Hamburg: Maritime Press.

Karahalios, H. (2025) 'A hybrid methodology to identify port state control issues in Asia–Pacific', *Journal of Shipping and Trade*, 10(1). doi:10.1186/s41072-025-00200-8.

Marlow, P. (2022) *Surveying Marine Cargoes*. London: Witherby Publishing Group.

Marlita, D., Simarmata, J., Sihombing, S., Saribanon, E., Handayani, S. and Nasution, N. (2025) 'Know Before You Ship : Raising Awareness of Dangerous Goods Classification Through University Community Service in Manila', *ASPIRASI : Publikasi Hasil Pengabdian dan Kegiatan Masyarakat*, 3(4). doi:10.61132/aspirasi.v3i4.2177.

Pratama, L., Mudiyanto, M. and Kristiawan, D. (2024) 'Implementation of ISPS Code Security Level 2 at the Time the Ship Entered the Pontianak Navy Line to Prevent Security Threats Load at KM. Meratus Benoa', *JURNAL APLIKASI PELAYARAN DAN KEPELABUHANAN*, 15(1), pp. 1-10. doi:10.30649/japk.v15i1.126.

Ratnawati, E., Wijaya, V., Budhianti, M. and Sobirov, B. (2024) 'Is the Master Civil Liable Based on Sea Freight Arrangements in Indonesia?', *Journal of Human Rights, Culture and Legal System*, 4(1), pp. 102-120. doi:10.53955/jhcls.v4i1.194.

Uture, S. (2023) 'The Digital Shift: Adoption and Challenges of Electronic Bills of Lading', *Global Trade Law Journal*, 29(2), pp. 145-160.

Valdez, M. (2023) 'Longitudinal Strength Considerations in Modern Containerships', *Marine Structures*, 88, 103356. doi:10.1016/j.marstruc.2022.103356.

Van Lier, J. (2022) 'Liquefaction Still a Major Threat: Lessons from Recent Bulk Carrier Casualties', *The Naval Architect*. Available at: https://www.rina.org.uk/ publications/ the-naval-architect/liquefaction-still-a-major-threat.html (Accessed: 27 May 2024).

Wibisono, D. (2021) 'Responsibility of the Captain in Transporting Goods at Sea', *Jurnal IPTEK*, 25(1), pp. 22-28. doi:10.31284/j.iptek.2021.v25i1.1742.

Widodo, B., Wahyuni, E. and Luhur, M. (2023) 'Manajemen Pemuatan Barang Berbahaya untuk Keselamatan Kapal Muatan dan ABK', *Jurnal Maritim Polimarin*, 9(1), pp. 45-52. doi:10.52492/jmp.v9i1.101.

BAB 3
PERENCANAAN DAN PENGATURAN MUATAN DI ATAS KAPAL PENANGKAPAN IKAN

Oleh Muhammad Maskur

Perencanaan dan pengaturan muatan di atas kapal penangkapan ikan merupakan salah satu aspek penting dalam sistem operasi penangkapan yang berhubungan langsung dengan keselamatan pelayaran, stabilitas kapal, efisiensi operasional, mutu hasil tangkapan, serta keberhasilan kegiatan penangkapan ikan secara keseluruhan. Pada kapal penangkapan ikan, muatan tidak hanya mencakup hasil tangkapan, tetapi juga meliputi bahan bakar, es, air tawar, alat tangkap, perlengkapan operasi, logistik awak kapal, serta berbagai peralatan pendukung lainnya yang mengalami perubahan distribusi berat selama operasi berlangsung. Oleh karena itu, pengelolaan muatan pada kapal penangkapan ikan memiliki karakteristik yang lebih kompleks dibandingkan kapal niaga umum karena harus mempertimbangkan perubahan kondisi muatan secara dinamis selama proses penangkapan di laut.

Bab ini membahas prinsip-prinsip dasar perencanaan muatan pada kapal penangkapan ikan yang meliputi konsep distribusi beban kapal, hubungan muatan dengan stabilitas

kapal, serta pengaruh pengaturan muatan terhadap keselamatan dan efisiensi operasi penangkapan ikan. Pembahasan diawali dengan konsep dasar perencanaan muatan yang menjelaskan pentingnya pengaturan distribusi berat kapal untuk menjaga keseimbangan, mengoptimalkan kapasitas ruang muat, serta mendukung kelancaran operasional kapal selama pelayaran dan kegiatan penangkapan.

Selanjutnya, bab ini membahas karakteristik ruang muat kapal penangkapan ikan yang memiliki fungsi khusus sebagai tempat penyimpanan hasil tangkapan dengan tetap mempertahankan mutu biologis dan kesegaran ikan. Pada bagian ini dijelaskan mengenai desain palkah ikan, sistem insulasi, sistem pendinginan, sanitasi ruang muat, serta pengaruh kapasitas dan distribusi hasil tangkapan terhadap stabilitas kapal dan kualitas produk perikanan. Pembahasan juga mencakup berbagai sistem penyimpanan hasil tangkapan yang digunakan pada kapal tradisional maupun kapal penangkapan modern.

Bab ini juga menguraikan pengaturan alat tangkap dan perlengkapan operasi di atas kapal penangkapan ikan. Materi ini menjelaskan prinsip-prinsip penempatan alat tangkap, distribusi perlengkapan operasi, pengamanan alat selama pelayaran, serta hubungan antara distribusi alat tangkap dengan stabilitas dan keselamatan kerja awak kapal. Setiap jenis alat tangkap memiliki karakteristik pengaturan yang berbeda sesuai dengan metode operasi penangkapan yang digunakan, sehingga diperlukan perencanaan penempatan alat yang efektif dan aman.

Pada bagian berikutnya dibahas pengaturan muatan hasil tangkapan yang menitikberatkan pada teknik penyimpanan, distribusi hasil tangkapan di dalam palkah, penggunaan es atau sistem pendinginan, serta penanganan ikan untuk mempertahankan mutu hasil tangkapan selama operasi penangkapan berlangsung. Materi ini juga menjelaskan hubungan antara distribusi hasil tangkapan dengan perubahan titik berat kapal, trim, dan keseimbangan kapal selama pelayaran.

Bab ini selanjutnya membahas perhitungan kapasitas muatan dan draft kapal sebagai dasar teknis dalam menentukan batas aman pemuatan kapal penangkapan ikan. Pembahasan meliputi konsep displacement, deadweight tonnage, draft kapal, freeboard, trim, serta penggunaan data hidrostatik kapal untuk menentukan kapasitas muatan yang aman dan efisien. Materi ini sangat penting untuk mencegah terjadinya overload yang dapat mengurangi stabilitas kapal dan meningkatkan risiko kecelakaan laut.

Pada bagian akhir, bab ini membahas evaluasi dan pengawasan pengaturan muatan sebagai bentuk pengendalian operasional untuk memastikan seluruh distribusi muatan telah sesuai dengan prinsip keselamatan pelayaran dan standar operasional kapal penangkapan ikan. Evaluasi dilakukan terhadap kondisi stabilitas kapal, distribusi hasil tangkapan, pengamanan alat tangkap, kondisi ruang muat, hingga aspek higienitas dan mutu hasil perikanan. Selain pengawasan internal oleh nakhoda dan awak kapal, pembahasan juga mencakup pengawasan eksternal oleh syahbandar dan otoritas keselamatan pelayaran.

Secara keseluruhan, bab ini memberikan pemahaman komprehensif mengenai sistem perencanaan dan pengaturan muatan di atas kapal penangkapan ikan sebagai bagian penting dalam mendukung operasi penangkapan yang aman, efisien, produktif, dan sesuai dengan prinsip keselamatan pelayaran serta mutu hasil perikanan.

3.1 Konsep Dasar Perencanaan Muatan Pada Kapal Penangkapan Ikan

3.1.1 Pengertian dan Ruang Lingkup Perencanaan Muatan pada Kapal Penangkapan Ikan

Perencanaan muatan pada kapal penangkapan ikan merupakan salah satu aspek fundamental dalam sistem operasi penangkapan ikan modern yang berkaitan langsung dengan keselamatan pelayaran, efisiensi operasional, stabilitas kapal, mutu hasil tangkapan, dan keberlanjutan kegiatan penangkapan ikan. Dalam kajian teknik perkapalan perikanan, perencanaan muatan tidak hanya dipahami sebagai kegiatan pengaturan hasil tangkapan di dalam ruang muat, tetapi mencakup seluruh proses pengelolaan distribusi beban kapal sejak tahap persiapan keberangkatan hingga kapal kembali ke pelabuhan.

Pada kapal penangkapan ikan, muatan mencakup seluruh beban yang berada di atas kapal selama pelayaran dan operasi penangkapan berlangsung, meliputi:

a) Bahan bakar;
b) Air tawar;
c) Es;

d) Alat tangkap;
e) Mesin bantu;
f) Perlengkapan operasi;
g) Logistik awak kapal;
h) Peralatan keselamatan;
i) Hasil tangkapan.

Berbeda dengan kapal niaga umum yang memiliki pola distribusi muatan relatif tetap selama pelayaran, muatan pada kapal penangkapan ikan bersifat dinamis karena terjadi perubahan distribusi berat secara terus-menerus selama operasi berlangsung (Nurdin, dkk. 2016; Dahniar, Anadi dan Haya, 2021). Pada awal keberangkatan, sebagian besar berat kapal didominasi oleh bahan bakar, es, alat tangkap, dan logistik operasi. Namun, seiring berlangsungnya kegiatan penangkapan, volume hasil tangkapan akan meningkat sedangkan persediaan bahan bakar, air tawar, dan logistik mengalami penurunan akibat konsumsi selama pelayaran.

Menurut (Kadhafi, dkk. 2021; Bangun, dkk. 2023; Istiqomah, dkk. 2023)Perubahan distribusi berat tersebut menyebabkan titik berat kapal (center of gravity) terus berubah sehingga mempengaruhi:

a) Stabilitas transversal kapal;
b) Stabilitas longitudinal kapal;
c) Draft kapal;
d) Trim kapal;
e) Hambatan hidrodinamika;
f) Efisiensi propulsi kapal.

Oleh sebab itu, sistem perencanaan muatan pada kapal penangkapan ikan harus dilakukan secara dinamis dan berkelanjutan dengan mempertimbangkan perubahan distribusi beban selama operasi berlangsung (Hasanudin, dkk. 2019; Hakim, dkk. 2023). Dalam praktik operasional, ruang lingkup perencanaan muatan pada kapal penangkapan ikan mencakup:

a) Perencanaan distribusi bahan bakar;
b) Perencanaan distribusi alat tangkap;
c) Pengaturan ruang muat hasil tangkapan;
d) Pengendalian draft dan trim kapal;
e) Pengaturan distribusi berat longitudinal dan transversal;
f) Perencanaan kapasitas ruang muat;
g) Pengaturan sistem pendinginan hasil tangkapan;
h) Pengendalian stabilitas kapal selama operasi.

Perencanaan muatan juga memiliki hubungan erat dengan konsep seaworthiness atau kelaiklautan kapal. Kapal yang memiliki distribusi muatan tidak seimbang berisiko mengalami:

a) Trim berlebihan;
b) Listing atau kemiringan permanen;
c) Rolling tinggi;
d) Penurunan freeboard;
e) Kehilangan stabilitas pada kondisi gelombang ekstrem.

Dalam kondisi tersebut, keselamatan pelayaran dan keselamatan awak kapal dapat terganggu secara signifikan. Oleh karena itu, sistem pengaturan muatan harus dilakukan berdasarkan prinsip-prinsip hidrostatik dan stabilitas kapal yang baik.

Selain aspek teknis, perencanaan muatan juga berkaitan dengan aspek ekonomi operasi penangkapan ikan. Distribusi muatan yang tidak efisien dapat menyebabkan:

a) Hambatan kapal meningkat;
b) Konsumsi bahan bakar bertambah;
c) Penurunan efisiensi operasi;
d) Kerusakan alat tangkap;
e) Penurunan mutu hasil tangkapan;
f) Kerugian ekonomi usaha penangkapan.

Dengan demikian, sistem perencanaan muatan yang baik tidak hanya mendukung keselamatan dan stabilitas kapal, tetapi juga berkontribusi langsung terhadap peningkatan produktivitas dan keuntungan usaha penangkapan ikan.

3.1.2 Prinsip-Prinsip Perencanaan Muatan dan Stabilitas Kapal

Dalam kajian teknik perkapalan perikanan, perencanaan muatan bertujuan untuk mencapai kondisi operasional kapal yang aman, efisien, dan produktif. Oleh karena itu, sistem pengaturan muatan harus mempertimbangkan berbagai parameter hidrostatik dan hidrodinamika kapal agar distribusi beban tetap berada dalam batas aman selama pelayaran dan operasi penangkapan berlangsung.

Secara umum, tujuan utama perencanaan muatan pada kapal penangkapan ikan meliputi: Menjaga stabilitas kapal selama operasi, mengoptimalkan kapasitas ruang muat, mempertahankan mutu hasil tangkapan, menjamin keselamatan awak kapal, mengurangi konsumsi bahan bakar,

dan meningkatkan efisiensi operasi penangkapan (Giafi, dkk. 2023; Istiqomah, dkk. 2023).

Salah satu prinsip utama dalam perencanaan muatan adalah menjaga stabilitas kapal. Stabilitas kapal merupakan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah menerima gaya luar seperti gelombang, arus, dan angin. Stabilitas sangat dipengaruhi oleh posisi titik berat kapal (center of gravity) dan titik metasentrum (metacenter) (Backalov, dkk. 2021; Setiawan, dkk. 2024).

Apabila distribusi muatan tidak seimbang, maka titik berat kapal dapat berubah sehingga menyebabkan:

a) List atau kemiringan permanen;
b) Rolling berlebihan;
c) Penurunan kemampuan self-righting;
d) Risiko capsizing meningkat.

Oleh sebab itu, distribusi muatan harus memperhatikan keseimbangan longitudinal dan transversal kapal. Muatan dengan bobot besar sebaiknya ditempatkan:

a) Sedekat mungkin dengan dasar kapal;
b) Dekat dengan center line kapal;
c) Tidak terkonsentrasi pada satu sisi kapal.

Selain stabilitas, perencanaan muatan juga harus mempertimbangkan parameter hidrostatik kapal seperti:

a) Displacement;
b) Draft;
c) Freeboard;
d) Trim;
e) Metacentric height (GM);

f) Center of buoyancy.

Displacement merupakan total berat kapal beserta seluruh muatannya yang dinyatakan berdasarkan volume air yang dipindahkan oleh badan kapal. Semakin besar muatan kapal, maka displacement kapal akan meningkat sehingga draft kapal menjadi lebih dalam (Bolgov, 2023; Muchsin dan Darmawan, 2023).

Draft kapal menunjukkan kedalaman badan kapal yang terendam air. Draft yang terlalu besar dapat menyebabkan:

a) Freeboard menurun;
b) Hambatan kapal meningkat;
c) Konsumsi bahan bakar bertambah;
d) Risiko gelombang masuk ke geladak meningkat.

Selain itu, parameter trim juga sangat penting dalam evaluasi distribusi muatan. Trim merupakan selisih draft antara haluan dan buritan kapal. Distribusi muatan yang tidak merata secara longitudinal dapat menyebabkan trim berlebihan sehingga mengganggu efisiensi propulsi dan kemampuan manuver kapal (Himaya dan Sano, 2023; Szymonski, 2024).

Dalam operasi kapal penangkapan ikan, distribusi muatan harus terus dievaluasi karena jumlah hasil tangkapan akan terus bertambah selama operasi berlangsung. Perubahan distribusi hasil tangkapan di dalam palkah dapat mempengaruhi:

a) Posisi titik berat kapal;
b) Stabilitas transversal;
c) Efisiensi pelayaran;
d) Keseimbangan kapal.

Selain aspek stabilitas, perencanaan muatan juga berkaitan dengan pengelolaan mutu hasil tangkapan. Penempatan hasil tangkapan yang tidak tepat dapat menyebabkan:

a) Kerusakan fisik ikan;
b) Tekanan mekanis berlebihan;
c) Distribusi pendinginan tidak merata;
d) Penurunan kualitas produk.

Oleh sebab itu, sistem perencanaan muatan harus terintegrasi dengan sistem penanganan hasil tangkapan dan sistem pendinginan di atas kapal.

3.1.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Perencanaan Muatan Kapal Penangkapan Ikan

Dalam praktik operasional, perencanaan muatan pada kapal penangkapan ikan dipengaruhi oleh berbagai faktor teknis, operasional, lingkungan, dan ekonomi. Faktor-faktor tersebut harus dipertimbangkan secara menyeluruh agar sistem distribusi muatan dapat mendukung operasi penangkapan yang aman dan efisien.

Salah satu faktor utama adalah jenis kapal penangkapan ikan. Setiap jenis kapal memiliki karakteristik konstruksi, kapasitas ruang muat, dan pola distribusi beban yang berbeda. Kapal purse seine misalnya, memerlukan ruang geladak yang luas untuk pengoperasian jaring dan power block (Kasapoglu, dkk. 2020; Alham dan Lendri, 2023), sedangkan kapal longline lebih membutuhkan ruang penyimpanan branch line, hook, dan bait storage (Tomasila, dkk. 2023).

Selain jenis kapal, ukuran dan kapasitas kapal juga mempengaruhi sistem perencanaan muatan. Kapal dengan ukuran besar umumnya memiliki:

a) Kapasitas bahan bakar lebih besar;
b) Kapasitas ruang muat lebih luas;
c) Sistem pendinginan lebih kompleks;
d) Daya jelajah lebih jauh.

Sebaliknya, kapal kecil memiliki sensitivitas lebih tinggi terhadap perubahan distribusi muatan sehingga memerlukan pengaturan beban yang lebih hati-hati.

Jenis alat tangkap juga sangat mempengaruhi pola distribusi muatan di atas kapal. Kapal dengan alat tangkap aktif seperti purse seine dan trawl umumnya memiliki:

a) Beban alat tangkap lebih besar;
b) Peralatan mekanis lebih banyak;
c) Kebutuhan ruang kerja lebih luas.

Sementara itu, kapal dengan alat tangkap pasif seperti gillnet dan longline memiliki pola distribusi alat yang berbeda dan relatif lebih ringan. Lama trip penangkapan juga menjadi faktor penting dalam perencanaan muatan. Kapal dengan operasi penangkapan jarak jauh (long fishing trip) memerlukan:

a) Persediaan bahan bakar lebih besar;
b) Cadangan air tawar lebih banyak;
c) Kapasitas ruang muat lebih besar;
d) Sistem pendinginan lebih stabil.

Semakin lama durasi operasi penangkapan, maka kebutuhan logistik dan kapasitas penyimpanan hasil tangkapan juga akan meningkat. Kondisi oseanografi daerah penangkapan turut mempengaruhi sistem perencanaan muatan. Kapal yang beroperasi di perairan dengan gelombang tinggi memerlukan distribusi muatan yang lebih stabil dibandingkan kapal yang beroperasi di perairan tenang (Rochman, dkk. 2017).

Selain itu, kondisi cuaca dan musim penangkapan juga harus dipertimbangkan karena dapat mempengaruhi:

a) Stabilitas kapal;
b) Konsumsi bahan bakar;
c) Distribusi hasil tangkapan;
d) Keselamatan pelayaran.

Target produksi hasil tangkapan juga menjadi faktor utama dalam menentukan kapasitas ruang muat dan sistem penyimpanan hasil tangkapan. Kapal dengan target produksi tinggi memerlukan:

a) Ruang muat lebih besar;
b) Sistem pendinginan lebih efisien;
c) Pengaturan distribusi hasil tangkapan lebih baik.

Sistem penyimpanan hasil tangkapan seperti icing system, chilled seawater system (CSW), refrigerated seawater system (RSW), maupun blast freezer juga mempengaruhi distribusi muatan kapal karena setiap sistem memiliki kebutuhan ruang, energi, dan berat peralatan yang berbeda.

Selain faktor teknis, perencanaan muatan juga berkaitan dengan efisiensi ekonomi operasi penangkapan ikan. Distribusi muatan yang tidak efisien dapat meningkatkan ship

resistance atau tahanan kapal sehingga konsumsi bahan bakar menjadi lebih besar. Kondisi tersebut menyebabkan biaya operasional meningkat dan efisiensi usaha penangkapan menurun.

Selain itu, penanganan hasil tangkapan yang kurang baik akibat pengaturan muatan yang tidak tepat dapat menurunkan mutu produk sehingga nilai jual hasil tangkapan menjadi lebih rendah.

Dengan demikian, perencanaan muatan pada kapal penangkapan ikan merupakan proses yang kompleks karena melibatkan aspek:

a) Teknik perkapalan;
b) Stabilitas kapal;
c) Operasi penangkapan;
d) Keselamatan pelayaran;
e) Penanganan hasil tangkapan;
f) Efisiensi ekonomi;
g) Keberlanjutan usaha penangkapan ikan.

Oleh sebab itu, sistem perencanaan muatan harus dilakukan secara terencana, sistematis, dan berbasis prinsip-prinsip teknik perkapalan perikanan agar operasi penangkapan dapat berlangsung secara aman, efisien, produktif, dan berkelanjutan.

3.2 Karakteristik Ruang Muat Kapal Penangkapan Ikan

3.2.1 Konsep Dasar dan Fungsi Ruang Muat pada Kapal Penangkapan Ikan

Ruang muat pada kapal penangkapan ikan merupakan salah satu bagian utama dalam sistem operasi kapal perikanan yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan hasil tangkapan selama proses penangkapan, pelayaran, dan distribusi menuju pelabuhan pendaratan ikan. Pada kapal perikanan, ruang muat dikenal sebagai palkah ikan (fish hold), yaitu ruang khusus yang dirancang untuk mempertahankan mutu biologis, kimiawi, fisik, dan organoleptik hasil tangkapan agar tetap berada dalam kondisi layak konsumsi dan memiliki nilai ekonomis tinggi hingga proses pembongkaran dilakukan.

Berbeda dengan ruang muat pada kapal barang umum, ruang muat kapal penangkapan ikan memiliki karakteristik yang jauh lebih kompleks karena harus mampu mengendalikan kondisi lingkungan penyimpanan hasil tangkapan secara optimal. Ruang muat tidak hanya berfungsi sebagai tempat penyimpanan, tetapi juga sebagai sistem pengendalian mutu hasil perikanan yang mencakup pengaturan suhu, kelembaban, sanitasi, ventilasi, distribusi muatan, serta pengendalian kontaminasi biologis dan kimiawi (Watson, dkk. 2016; Brecht, dkk. 2019).

Komoditas hasil perikanan memiliki sifat highly perishable atau sangat mudah mengalami kerusakan. Setelah ikan mengalami kematian, berbagai proses deteriorasi akan berlangsung secara cepat akibat:

a) Aktivitas mikroorganisme pembusuk;

b) Reaksi autolisis enzimatis;
c) Oksidasi lemak;
d) Denaturasi protein;
e) Perubahan pH jaringan;
f) Pembentukan senyawa volatil seperti trimethylamine (TMA) dan amonia.

Apabila proses penanganan dan penyimpanan tidak dilakukan secara tepat, maka mutu hasil tangkapan akan menurun dengan cepat sehingga menyebabkan:

a) Penurunan nilai ekonomis produk;
b) Kerusakan tekstur daging ikan;
c) Perubahan warna dan aroma;
d) Penurunan kandungan nutrisi;
e) Risiko kontaminasi mikrobiologis;
f) Penolakan produk oleh pasar.

Oleh sebab itu, ruang muat kapal penangkapan ikan harus dirancang sedemikian rupa agar mampu memperlambat seluruh proses deteriorasi tersebut melalui sistem pendinginan dan pengelolaan penyimpanan yang baik. Dalam sistem operasi kapal penangkapan ikan modern, ruang muat memiliki beberapa fungsi utama, antara lain: Menyimpan hasil tangkapan secara aman selama pelayaran, mempertahankan suhu hasil tangkapan pada kondisi optimal, mengurangi kerusakan fisik ikan akibat tekanan dan gesekan, menjaga kebersihan dan keamanan pangan hasil perikanan, mendukung distribusi muatan yang seimbang, menjaga stabilitas kapal selama operasi berlangsung, dan mendukung efisiensi operasional dan produktivitas kapal.

Selain berpengaruh terhadap mutu hasil tangkapan, ruang muat juga memiliki hubungan erat dengan stabilitas kapal. Distribusi hasil tangkapan di dalam palkah akan mempengaruhi:

a) Titik berat kapal (center of gravity);
b) Draft kapal;
c) Trim kapal;
d) Keseimbangan transversal;
e) Stabilitas longitudinal.

Penumpukan hasil tangkapan secara tidak merata dapat menyebabkan perubahan distribusi beban yang berdampak terhadap keselamatan pelayaran. Oleh karena itu, pengelolaan ruang muat harus dilakukan secara terintegrasi dengan sistem manajemen muatan kapal secara keseluruhan (Watson, dkk. 2016; Istiqomah, dkk. 2023). Kapasitas dan desain ruang muat pada kapal penangkapan ikan dipengaruhi oleh beberapa faktor penting, antara lain:

a) Ukuran dan dimensi kapal;
b) Jenis alat tangkap;
c) Lama operasi penangkapan;
d) Daerah penangkapan ikan;
e) Target produksi hasil tangkapan;
f) Sistem pendinginan yang digunakan;
g) Jenis komoditas ikan yang ditangkap.

Kapal penangkapan ikan dengan pola operasi jarak jauh (long fishing trip) umumnya memiliki kapasitas ruang muat lebih besar dan dilengkapi sistem pendinginan mekanis untuk mempertahankan mutu hasil tangkapan dalam jangka waktu

yang lebih lama dibandingkan kapal dengan pola operasi harian.

3.2.2 Karakteristik Konstruksi dan Sistem Insulasi Ruang Muat

Secara konstruksi, ruang muat kapal penangkapan ikan dirancang untuk memenuhi berbagai persyaratan teknis yang berkaitan dengan keamanan produk, keselamatan operasional, efisiensi pendinginan, dan daya tahan struktur terhadap lingkungan laut yang korosif (Abidin, dkk. 2022). Desain ruang muat harus mampu mempertahankan kondisi penyimpanan yang stabil serta meminimalkan risiko kerusakan hasil tangkapan selama operasi penangkapan berlangsung.

Beberapa karakteristik utama ruang muat kapal penangkapan ikan meliputi:

a) Kedap air;
b) Tahan korosi;
c) Memiliki sistem drainase yang baik;
d) Mudah dibersihkan dan disanitasi;
e) Memiliki sistem insulasi termal yang memadai;
f) Tahan terhadap tekanan hasil tangkapan;
g) Aman terhadap kontaminasi biologis dan kimiawi.

Karakteristik kedap air sangat penting untuk mencegah masuknya air laut maupun kebocoran dari luar yang dapat mempengaruhi mutu hasil tangkapan. Kebocoran ruang muat juga dapat mengganggu stabilitas kapal akibat bertambahnya free surface effect di dalam palkah (Xiao, 2014; Baudry dan Rousset, 2018) Selain itu, lingkungan laut memiliki tingkat salinitas tinggi yang dapat mempercepat korosi pada material

konstruksi kapal. Oleh sebab itu, bagian dalam ruang muat umumnya menggunakan material tahan korosi seperti:

a) Fiberglass reinforced plastic (FRP);
b) Stainless steel;
c) Aluminium;
d) Epoxy coating food grade;
e) Material anti-korosi lainnya.

Permukaan ruang muat dibuat halus dan tidak memiliki celah sempit agar mudah dibersihkan dan tidak menjadi tempat berkembangnya mikroorganisme pembusuk. Desain konstruksi juga harus memudahkan proses pencucian dan sanitasi setelah operasi penangkapan selesai (Schmidt dan Erikson, 2005; Adhikari, 2025). Sistem drainase ruang muat merupakan komponen penting yang berfungsi mengalirkan:

a) Air lelehan es;
b) Darah ikan;
c) Lendir;
d) Cairan organik;
e) Air pencucian ruang muat.

Drainase yang buruk dapat menyebabkan akumulasi cairan organik yang menjadi media pertumbuhan bakteri pembusuk dan sumber kontaminasi hasil tangkapan. Oleh karena itu, lantai palkah biasanya dirancang memiliki kemiringan tertentu agar cairan dapat mengalir menuju saluran pembuangan secara optimal.

Salah satu aspek paling penting dalam karakteristik ruang muat adalah sistem insulasi termal. Sistem insulasi berfungsi menghambat perpindahan panas dari lingkungan

luar ke dalam ruang muat sehingga suhu penyimpanan hasil tangkapan tetap rendah dan stabil (Bolgov, 2023).

Pada kapal penangkapan ikan modern, ruang muat umumnya menggunakan material insulasi seperti:

a) Polyurethane foam;
b) Fiberglass insulation;
c) Polystyrene foam;
d) Polyisocyanurate foam;
e) Expanded polyurethane panel.

Material tersebut memiliki konduktivitas termal rendah sehingga mampu menekan laju perpindahan panas secara efektif. Sistem insulasi sangat penting terutama pada wilayah tropis karena suhu lingkungan yang tinggi dapat mempercepat pencairan es dan mempercepat proses deteriorasi ikan. Insulasi termal yang tidak memadai dapat menyebabkan:

a) Suhu ruang muat meningkat;
b) Aktivitas bakteri pembusuk meningkat;
c) Oksidasi lemak berlangsung lebih cepat;
d) Tekstur ikan menjadi lunak;
e) Kualitas organoleptik menurun;
f) Konsumsi energi pendinginan meningkat.

Selain itu, ketebalan insulasi harus disesuaikan dengan:

a) Kapasitas ruang muat;
b) Lama operasi penangkapan;
c) Sistem pendinginan yang digunakan;
d) Kondisi iklim daerah operasi.

Pada kapal modern, ruang muat juga dilengkapi dengan sensor suhu dan sistem monitoring digital untuk memastikan suhu penyimpanan tetap berada pada rentang optimal selama operasi berlangsung.

3.2.3 Sistem Penyimpanan Hasil Tangkapan dan Pengelolaan Muatan di Ruang Muat

Sistem penyimpanan hasil tangkapan di atas kapal penangkapan ikan merupakan bagian penting dari penanganan pascapanen karena menentukan keberhasilan mempertahankan mutu, keamanan pangan, nilai ekonomis, serta umur simpan ikan selama pelayaran. Setelah ikan tertangkap, proses penurunan mutu mulai berlangsung melalui aktivitas enzimatis, pertumbuhan mikroorganisme, oksidasi lemak, kehilangan cairan jaringan, dan kerusakan fisik akibat tekanan atau benturan. Oleh karena itu, ruang muat tidak hanya berfungsi sebagai tempat penyimpanan, tetapi juga sebagai bagian dari sistem pengendalian mutu dan sistem pengaturan muatan kapal.

Karakteristik ruang muat kapal penangkapan ikan sangat dipengaruhi oleh sistem penyimpanan yang digunakan. Kapal tradisional dan semi-modern umumnya menggunakan sistem penyimpanan dengan es karena lebih sederhana dan ekonomis. Kapal modern dan kapal industri lebih banyak menggunakan sistem pendinginan mekanis seperti chilled seawater system, refrigerated seawater system, blast freezer, dan cold storage beku (Lu, dkk. 2023). Pemilihan sistem penyimpanan harus mempertimbangkan jenis hasil tangkapan, lama operasi penangkapan, kapasitas palkah, tujuan pasar, ketersediaan energi, kemampuan teknis awak kapal, serta standar mutu produk yang ingin dicapai.

Codex Code of Practice for Fish and Fishery Products menempatkan penanganan, penyimpanan, pengangkutan, dan distribusi sebagai tahapan penting dalam menjaga keamanan dan mutu produk perikanan.

a) Sistem Penyimpanan dengan Es (Icing System)

Pada Sistem penyimpanan dengan es atau icing system merupakan metode paling umum digunakan pada kapal penangkapan ikan tradisional dan semi-modern. Pada sistem ini, ikan disusun secara berlapis bersama es curai di dalam palkah atau wadah penyimpanan. Tujuan utama penggunaan es adalah menurunkan suhu tubuh ikan hingga mendekati 0°C, yaitu suhu yang dapat memperlambat aktivitas bakteri pembusuk, menghambat kerja enzim proteolitik, menekan oksidasi lemak, dan mempertahankan kesegaran ikan selama pelayaran (Lako, dkk. 2015; Li, dkk. 2022).

Secara teknis, es berfungsi sebagai media pendingin yang menyerap panas dari tubuh ikan melalui proses perpindahan panas. Ketika es mencair, panas dari ikan dan lingkungan akan diserap sehingga suhu ikan dapat diturunkan secara bertahap. Penggunaan es juga membantu menjaga kelembapan permukaan ikan sehingga ikan tidak cepat mengalami dehidrasi. Namun, FAO menegaskan bahwa penggunaan es saja tidak menjamin mutu ikan tetap baik apabila ikan sebelumnya dibiarkan terlalu lama di atas geladak, terkena panas matahari, atau tidak ditangani secara higienis sebelum dimasukkan ke ruang muat.

Dalam praktik penyimpanan, ikan sebaiknya tidak hanya ditumpuk, tetapi disusun secara sistematis dengan pola lapisan es–ikan–es. Lapisan es di bagian dasar berfungsi mendinginkan ikan dari bawah, sedangkan lapisan es di

antara dan di atas ikan membantu menjaga pendinginan merata. Rasio es dan ikan perlu disesuaikan dengan suhu lingkungan, lama trip, jenis ikan, serta kemampuan insulasi ruang muat. Pada daerah tropis, kebutuhan es cenderung lebih besar karena suhu udara dan suhu air laut lebih tinggi sehingga es lebih cepat mencair.

Meskipun sederhana dan ekonomis, sistem icing memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, sistem ini membutuhkan ruang penyimpanan es yang cukup besar sehingga mengurangi kapasitas efektif untuk hasil tangkapan. Kedua, es cepat mencair pada lingkungan tropis apabila ruang muat tidak memiliki insulasi yang baik. Ketiga, distribusi pendinginan dapat tidak merata apabila es tidak tersebar secara cukup di antara ikan. Keempat, penumpukan ikan secara berlebihan dapat menyebabkan tekanan mekanis, terutama pada ikan berdaging lunak atau ikan bernilai tinggi.

Kerusakan akibat tekanan mekanis dalam sistem icing dapat berupa pecahnya dinding perut ikan, lepasnya sisik, memar pada jaringan daging, deformasi bentuk tubuh, dan penurunan kualitas visual produk. Kondisi ini sangat merugikan apabila hasil tangkapan ditujukan untuk pasar premium atau ekspor yang menuntut kualitas fisik tinggi (Rumape, dkk. 2022). Oleh karena itu, pengelolaan muatan dalam sistem icing harus memperhatikan tinggi tumpukan ikan, pemerataan distribusi es, drainase air lelehan es, kebersihan palkah, dan pembatasan tekanan terhadap tubuh ikan.

b) Chilled Seawater System (CSW)

Chilled seawater system atau CSW merupakan sistem penyimpanan yang menggunakan air laut dingin sebagai media pendingin. Pada sistem ini, ikan disimpan dalam tangki berisi air laut yang telah didinginkan, baik dengan penambahan es maupun melalui proses pendinginan tertentu. Dibandingkan penyimpanan dengan es secara konvensional, CSW memiliki keunggulan karena seluruh permukaan ikan dapat bersentuhan langsung dengan media pendingin sehingga proses penurunan suhu berlangsung lebih merata (Koutsoumanis, dkk. 2020; Setiawan, dkk. 2024).

CSW sangat sesuai untuk jenis ikan pelagis kecil atau hasil tangkapan dalam jumlah besar yang memerlukan pendinginan cepat setelah ditangkap. Kontak langsung antara ikan dan air laut dingin memungkinkan perpindahan panas berlangsung lebih efisien dibandingkan kontak titik antara ikan dan es. Codex menyebutkan bahwa penggunaan slurry ice, chilled seawater, atau refrigerated seawater dapat dipertimbangkan untuk pengangkutan ikan segar, terutama untuk jenis ikan tertentu seperti ikan pelagis.

Keunggulan utama CSW adalah kemampuannya mengurangi tekanan mekanis dibandingkan sistem curah dengan es. Karena ikan berada dalam media cair, beban antar ikan menjadi lebih terdistribusi. Hal ini dapat mengurangi risiko memar, pecah perut, dan kerusakan fisik akibat penumpukan. Selain itu, CSW dapat mempercepat pendinginan awal sehingga proses deteriorasi mutu dapat ditekan sejak ikan baru dinaikkan ke kapal.

Namun demikian, sistem CSW juga memiliki keterbatasan. Media air laut harus dijaga kebersihannya agar tidak menjadi sumber kontaminasi. Tangki CSW harus mudah dibersihkan, memiliki sistem drainase yang baik, dan tidak boleh menimbulkan akumulasi kotoran, darah, lendir, atau sisa organik. Selain itu, pergerakan air dalam tangki dapat memengaruhi stabilitas kapal apabila tidak dirancang dengan sekat atau konstruksi tangki yang sesuai. Oleh karena itu, sistem CSW memerlukan desain ruang muat yang baik agar fungsi pendinginan dan keselamatan kapal dapat berjalan secara bersamaan.

c) Refrigerated Seawater System (RSW)

Refrigerated seawater system atau RSW merupakan sistem penyimpanan hasil tangkapan menggunakan air laut yang didinginkan secara mekanis melalui mesin refrigerasi, kemudian disirkulasikan di dalam tangki penyimpanan. Sistem ini lebih maju dibandingkan CSW konvensional karena suhu air laut dapat dikontrol lebih stabil (Aubourg, dkk. 2006; Hafner, dkk. 2019) RSW banyak digunakan pada kapal penangkapan modern, terutama untuk hasil tangkapan dalam volume besar dan operasi penangkapan dengan durasi menengah hingga panjang.

Keunggulan utama RSW adalah kemampuan menurunkan suhu ikan secara cepat, menjaga suhu penyimpanan lebih stabil, mengurangi kerusakan fisik, serta mempertahankan kualitas ikan dalam waktu lebih lama. FAO menjelaskan bahwa selain es, refrigerated seawater dan sistem superchilling telah digunakan untuk mempertahankan mutu ikan, terutama pada sistem penanganan yang membutuhkan pendinginan cepat dan seragam.

Pada sistem RSW, air laut dingin bersirkulasi di antara ikan sehingga suhu ikan dapat turun lebih merata dibandingkan penyimpanan dengan es curai. Sistem ini juga dapat mengurangi kerusakan akibat tekanan karena ikan tidak sepenuhnya menanggung beban vertikal seperti pada sistem curah. Oleh sebab itu, RSW sering dipandang sebagai sistem yang efektif untuk menjaga mutu ikan pelagis dan hasil tangkapan dalam jumlah besar.

Meskipun memiliki banyak keunggulan, RSW memerlukan energi listrik yang memadai, mesin refrigerasi yang stabil, sistem pompa sirkulasi, tangki yang higienis, serta pengawasan suhu secara berkala. Gangguan pada sistem refrigerasi dapat menyebabkan kenaikan suhu air laut, sehingga mutu ikan menurun lebih cepat. Selain itu, tangki RSW yang terisi cairan harus diperhitungkan dalam evaluasi stabilitas kapal karena pergerakan cairan dapat menimbulkan efek permukaan bebas atau free surface effect. Oleh karena itu, sistem RSW perlu dirancang dengan sekat internal, sistem monitoring suhu, prosedur sanitasi, dan pengawasan distribusi muatan yang baik.

d) Blast Freezer

Pada Blast freezer merupakan sistem pembekuan cepat yang menggunakan aliran udara dingin berkecepatan tinggi untuk menurunkan suhu ikan hingga mencapai suhu inti tertentu. Sistem ini umum digunakan pada kapal industri modern, kapal tuna longline, kapal penangkapan samudera, dan kapal dengan durasi operasi panjang. Tujuan utama blast freezer adalah membekukan ikan secara cepat agar aktivitas mikroorganisme dan reaksi enzimatis dapat ditekan secara

signifikan (Januma, dkk. 2003; Brown dan Dave, 2021; Klanian, dkk. 2023).

Pembekuan cepat memiliki keuntungan penting dalam mempertahankan mutu ikan. Semakin cepat proses pembekuan, semakin kecil ukuran kristal es yang terbentuk di dalam jaringan daging. Kristal es yang lebih kecil cenderung menimbulkan kerusakan jaringan yang lebih rendah dibandingkan pembekuan lambat yang menghasilkan kristal es besar. Dengan demikian, blast freezer membantu mempertahankan tekstur daging, warna, kandungan nutrisi, dan kualitas sensoris produk setelah proses thawing.

FAO menjelaskan bahwa pembekuan di laut dapat menghasilkan ikan dengan mutu sangat baik ketika didaratkan karena proses pembekuan memungkinkan hasil tangkapan dipertahankan dalam waktu lebih lama. Namun, FAO juga menegaskan bahwa pembekuan tidak memperbaiki mutu awal ikan; pembekuan hanya mempertahankan mutu pada saat ikan mulai dibekukan. Oleh karena itu, penanganan sebelum pembekuan tetap menjadi faktor kritis yang menentukan mutu akhir produk.

Dalam operasional kapal, penggunaan blast freezer memerlukan energi listrik besar, sistem refrigerasi yang kuat, ruang pembekuan yang terinsulasi baik, serta prosedur penataan ikan yang memungkinkan sirkulasi udara dingin berlangsung merata. Ikan tidak boleh disusun terlalu rapat karena dapat menghambat aliran udara dingin dan menyebabkan pembekuan tidak seragam. Produk yang tidak membeku secara merata lebih rentan mengalami penurunan mutu, perubahan tekstur, dan peningkatan drip loss setelah dicairkan.

e) Cold Storage Beku

Setelah ikan dibekukan menggunakan blast freezer atau sistem pembekuan lainnya, ikan kemudian disimpan dalam cold storage beku untuk mempertahankan suhu rendah selama pelayaran. Cold storage beku berfungsi menjaga ikan tetap berada pada kondisi beku hingga proses pembongkaran di pelabuhan. Sistem ini sangat penting pada kapal industri ekspor, kapal tuna, kapal longline samudera, dan kapal yang melakukan long fishing trip (Launuru dan Rahmani, 2017; Siagian, 2017).

Cold storage beku tidak berfungsi untuk membekukan ikan dari kondisi segar, tetapi mempertahankan ikan yang telah beku agar tidak mengalami fluktuasi suhu. Fluktuasi suhu selama penyimpanan beku dapat menyebabkan rekristalisasi es, kerusakan struktur jaringan, peningkatan drip loss, oksidasi lemak, perubahan warna, dan penurunan mutu sensoris. Oleh karena itu, pengawasan suhu cold storage harus dilakukan secara berkala dan dicatat dalam logbook sebagai bagian dari sistem pengendalian mutu.

Sistem cold storage beku memerlukan insulasi ruang yang baik, pintu ruang beku yang rapat, sirkulasi udara dingin yang memadai, sensor suhu, alarm suhu, serta perawatan rutin mesin refrigerasi. Gangguan pada sistem pendinginan dapat menyebabkan kenaikan suhu produk, yang pada akhirnya dapat menurunkan mutu dan meningkatkan kerugian ekonomi. FAO menyebutkan bahwa teknologi pembekuan dan penyimpanan beku dirancang untuk menerapkan suhu rendah guna mengurangi deteriorasi mutu pada produk perikanan.

3.2.4 Kapasitas Ruang Muat, Distribusi Muatan, dan Sanitasi Ruang Muat

Kapasitas ruang muat kapal penangkapan ikan harus direncanakan sesuai dengan Ukuran kapal, Carrying capacity kapal, Lama operasi penangkapan, Target hasil tangkapan, dan Sistem penyimpanan yang digunakan.

Perencanaan kapasitas ruang muat yang tidak tepat dapat menimbulkan berbagai masalah operasional seperti Penumpukan ikan berlebihan, Kerusakan fisik hasil tangkapan, Distribusi berat kapal tidak seimbang, Penurunan stabilitas kapal, Pemborosan ruang dan energi pendinginan.

Distribusi hasil tangkapan di dalam palkah harus dilakukan secara merata untuk menjaga keseimbangan longitudinal dan transversal kapal. Penumpukan hasil tangkapan hanya pada satu sisi kapal dapat menyebabkan:

a) List atau kemiringan permanen;
b) Trim berlebihan;
c) Peningkatan rolling kapal;
d) Penurunan stabilitas transversal;
e) Risiko kecelakaan pelayaran meningkat.

Oleh karena itu, pengisian ruang muat harus dilakukan Secara bertahap, Simetris, Sesuai kapasitas ruang muat, dan memperhatikan distribusi berat kapal. Selain aspek distribusi muatan, sanitasi ruang muat merupakan faktor yang sangat penting dalam sistem penanganan hasil perikanan di atas kapal. Ruang muat yang tidak higienis dapat menjadi sumber:

a) Kontaminasi mikrobiologis;
b) Cemaran kimia;
c) Kontaminasi silang antar produk;

d) Penurunan mutu hasil tangkapan.

Kontaminasi dapat berasal dari darah ikan, lendir, air lelehan es, residu organik, material korosif, dan peralatan penyimpanan yang tidak bersih. Oleh sebab itu, ruang muat harus dibersihkan dan disanitasi secara berkala sebelum dan sesudah operasi penangkapan. Proses sanitasi meliputi:

a) Pencucian menggunakan air bersih;
b) Penghilangan residu organik;
c) Penggunaan bahan sanitasi food grade;
d) Pengeringan ruang muat;
e) Pemeriksaan kebersihan sebelum penggunaan.

Pada kapal modern, sistem sanitasi ruang muat umumnya telah mengikuti standar Good Handling Practices (GHP, Sanitation Standard Operating Procedures (SSOP), dan Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP).

Penerapan sanitasi yang baik bertujuan menjaga keamanan pangan hasil perikanan dan mempertahankan mutu produk hingga sampai ke konsumen. Dengan demikian, karakteristik ruang muat kapal penangkapan ikan tidak hanya berkaitan dengan fungsi penyimpanan hasil tangkapan, tetapi juga mencakup aspek stabilitas kapal, sistem pendinginan, sanitasi, keamanan pangan, efisiensi energi, dan keselamatan operasional. Oleh karena itu, desain dan pengelolaan ruang muat yang baik menjadi salah satu faktor utama dalam mendukung operasi penangkapan ikan yang aman, efisien, produktif, dan berorientasi pada mutu hasil perikanan.

3.3 Pengaturan Alat Tangkap Dan Perlengkapan Operasi

3.3.1 Konsep Dasar dan Prinsip Pengaturan Alat Tangkap dan Perlengkapan Operasi

Pengaturan alat tangkap dan perlengkapan operasi di atas kapal penangkapan ikan merupakan salah satu komponen penting dalam sistem manajemen operasi kapal perikanan yang berhubungan langsung dengan efisiensi kegiatan penangkapan, stabilitas kapal, keselamatan pelayaran, serta keselamatan kerja awak kapal selama operasi berlangsung. Dalam sistem operasi kapal penangkapan ikan modern, alat tangkap dan perlengkapan operasi tidak hanya dipandang sebagai sarana produksi penangkapan ikan, tetapi juga sebagai bagian dari sistem muatan kapal yang memiliki pengaruh terhadap distribusi berat, titik gravitasi kapal, ruang kerja awak kapal, dan performa operasional kapal secara keseluruhan.

Pada kapal penangkapan ikan, alat tangkap dan perlengkapan operasi merupakan muatan dinamis yang dapat mengalami perubahan posisi dan distribusi beban selama proses setting, towing, hauling, maupun penanganan hasil tangkapan (Syron, dkk. 2018). Oleh karena itu, pengaturan alat tangkap harus dilakukan secara sistematis dan terintegrasi dengan sistem pengaturan muatan kapal agar stabilitas kapal tetap terjaga dan operasi penangkapan dapat berlangsung secara aman dan efisien.

Ruang lingkup pengaturan alat tangkap mencakup:

a) Penempatan alat tangkap utama;
b) Penataan perlengkapan operasi;

c) Distribusi beban alat tangkap;
d) Pengamanan alat selama pelayaran;
e) Pengaturan ruang kerja awak kapal;
f) Pengaturan jalur mobilisasi awak kapal;
g) Pengendalian risiko kecelakaan kerja;
h) Evaluasi pengaruh alat tangkap terhadap stabilitas kapal.

Secara umum, prinsip utama dalam pengaturan alat tangkap dan perlengkapan operasi meliputi: Menjaga distribusi berat kapal tetap seimbang, mempermudah proses setting dan hauling, mengoptimalkan ruang kerja awak kapal, mengurangi risiko kecelakaan kerja, mencegah kerusakan alat tangkap, menjaga aksesibilitas peralatan keselamatan, dan mendukung efisiensi operasi penangkapan (Suryanto, dkk. 2017; Januarti, dkk. 2024).

Dalam aspek stabilitas kapal, distribusi alat tangkap harus mempertimbangkan posisi center of gravity kapal. Alat tangkap dan perlengkapan operasi dengan bobot besar sebaiknya ditempatkan sedekat mungkin dengan dasar kapal dan garis tengah kapal (center line) untuk menjaga titik berat kapal tetap rendah (Alkire, 2022). Penempatan alat berat pada posisi terlalu tinggi dapat menyebabkan kenaikan titik berat kapal yang berakibat pada meningkatnya rolling, menurunnya stabilitas transversal, serta berkurangnya kemampuan self-righting kapal ketika menerima gaya gelombang.

Selain itu, distribusi alat tangkap yang tidak merata antara sisi kanan dan kiri kapal dapat menyebabkan list atau kemiringan permanen yang mengganggu stabilitas dan keselamatan pelayaran. Oleh sebab itu, pengaturan alat tangkap harus mempertimbangkan keseimbangan longitudinal dan transversal kapal secara menyeluruh.

Dalam praktik operasional, pengaturan alat tangkap yang baik akan memberikan berbagai keuntungan, antara lain:

a) Meningkatkan efisiensi operasi penangkapan;
b) Mempercepat proses setting dan hauling;
c) Mengurangi konsumsi bahan bakar;
d) Menurunkan risiko kerusakan alat tangkap;
e) Mengurangi kelelahan awak kapal;
f) Meningkatkan keselamatan kerja;
g) Menjaga stabilitas kapal selama operasi berlangsung.

Sebaliknya, sistem pengaturan alat tangkap yang buruk dapat menyebabkan terganggunya operasi penangkapan, meningkatnya risiko kecelakaan kerja, penurunan stabilitas kapal, serta meningkatnya biaya operasional akibat kerusakan alat dan ketidakefisienan operasi.

3.3.2 Pengaturan Alat Tangkap Berdasarkan Jenis Kapal Penangkapan Ikan

Setiap jenis kapal penangkapan ikan memiliki karakteristik alat tangkap dan metode operasi yang berbeda sehingga memerlukan sistem pengaturan alat tangkap yang spesifik. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh jenis alat tangkap, metode operasi penangkapan, kapasitas kapal, luas geladak kerja, sistem hauling, dan kebutuhan perlengkapan mekanis (Alkire, 2022; Latour, dkk. 2023).

Pada kapal purse seine, alat tangkap utama berupa jaring cincin (purse seine net), tali kolor (purse line), pelampung, ring, pelampung tanda, dan power block umumnya ditempatkan pada geladak utama kapal. Penempatan jaring harus disusun secara sistematis agar proses setting dan

hauling dapat berlangsung dengan cepat dan efisien. Power block sebagai alat bantu hauling memiliki bobot besar sehingga penempatannya harus memperhatikan kekuatan struktur geladak dan distribusi beban terhadap stabilitas kapal.

Selain itu, jalur kerja awak kapal pada kapal purse seine harus tetap terbuka agar proses pengoperasian jaring tidak terganggu. Penempatan pelampung dan tali kolor yang tidak teratur dapat menyebabkan kusut sehingga menghambat operasi penangkapan.

Pada kapal longline, pengaturan perlengkapan operasi meliputi : Main line, branch line, hook, swivel, snap, line hauler, dan bait storage. Seluruh perlengkapan tersebut harus disusun secara sistematis untuk mendukung kelancaran proses setting dan hauling rawai. Penyimpanan branch line dan hook yang tidak teratur dapat menyebabkan kusut, kerusakan alat, serta meningkatkan risiko cedera awak kapal akibat kait pancing.

Kapal longline juga memerlukan ruang penyimpanan umpan yang dilengkapi sistem pendinginan agar kualitas umpan tetap terjaga selama operasi penangkapan berlangsung.

Pada kapal trawl, pengaturan alat tangkap memiliki tingkat kompleksitas lebih tinggi karena melibatkan alat berat seperti: Trawl net, otter board, towing wire, warping drum, trawl winch, dan hydraulic system.

Otter board dan towing wire memiliki bobot besar sehingga harus ditempatkan sedekat mungkin dengan garis tengah kapal dan bagian bawah geladak untuk menjaga keseimbangan transversal kapal. Sistem winch dan

perlengkapan hidrolik juga harus ditempatkan secara aman agar tidak mengganggu jalur kerja awak kapal.

Sementara itu, pada kapal gillnet, pengaturan alat tangkap lebih difokuskan pada penataan jaring insang, pelampung, pemberat, dan tali utama agar tidak mengalami kusut selama penyimpanan dan pengoperasian. Jaring gillnet yang tersusun tidak rapi dapat menyebabkan kerusakan alat dan memperlambat proses setting.

Perbedaan karakteristik alat tangkap tersebut menunjukkan bahwa tata letak alat dan perlengkapan operasi harus disesuaikan dengan tipe kapal dan metode penangkapan yang digunakan agar operasi penangkapan dapat berlangsung secara efektif dan aman.

3.3.3 Pengaruh Pengaturan Alat Tangkap terhadap Stabilitas Kapal dan Keselamatan Kerja

Pengaturan alat tangkap memiliki pengaruh langsung terhadap stabilitas kapal penangkapan ikan. Stabilitas kapal merupakan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah menerima gaya luar seperti gelombang, arus, dan angin. Distribusi alat tangkap yang tidak tepat dapat menyebabkan perubahan center of gravity kapal sehingga menurunkan stabilitas transversal maupun longitudinal (Alkire, 2022).

Alat tangkap dan perlengkapan operasi dengan bobot besar yang ditempatkan terlalu tinggi dapat menyebabkan: Peningkatan rolling kapal, penurunan metacentric height (GM), penurunan kemampuan self-righting, dan risiko capsizing meningkat.

Selain itu, distribusi alat tangkap yang tidak seimbang dapat menyebabkan: Trim berlebihan, list permanen,

ketidakseimbangan transversal, gangguan manuver kapal, dan penurunan efisiensi propulsi.

Selama operasi di laut, kapal penangkapan ikan akan mengalami berbagai gerakan akibat pengaruh gelombang dan arus laut, seperti: Rolling, pitching, heaving, swaying, yawing, dan surging. Gerakan-gerakan tersebut dapat menyebabkan alat tangkap bergeser apabila tidak diamankan dengan baik. Pergeseran alat tangkap akibat rolling dan pitching kapal dapat menyebabkan perubahan distribusi berat secara mendadak yang sangat berbahaya terhadap stabilitas kapal (Soeboer, dkk. 2018).

Oleh sebab itu, seluruh alat tangkap dan perlengkapan operasi harus diamankan menggunakan sistem pengunci dan pengikat yang memadai, seperti:

a) Lashings;
b) Rantai pengikat;
c) Stopper;
d) Clamp mekanis;
e) Bracket pengunci;
f) Dudukan khusus alat tangkap.

Sistem pengamanan tersebut harus mampu menahan gaya dinamis akibat gerakan kapal selama pelayaran dan operasi berlangsung. Selain mempengaruhi stabilitas kapal, pengaturan alat tangkap juga memiliki hubungan erat dengan keselamatan kerja awak kapal. Tata letak alat yang buruk dapat meningkatkan risiko: Tersandung alat tangkap, terjepit alat mekanis, tertarik wire rope, tertimpa alat berat, cedera akibat hook dan benda tajam, dan terpeleset di geladak kerja.

Oleh karena itu, pengaturan alat tangkap harus memperhatikan prinsip ergonomi kerja awak kapal. Jalur

mobilisasi awak kapal harus tetap terbuka dan tidak terhalang alat tangkap maupun perlengkapan operasi. Selain itu, alat keselamatan seperti: Life raft, life jacket, alat pemadam kebakaran, emergency exit, dan peralatan komunikasi darurat, harus tetap mudah diakses dalam kondisi darurat. Pengaturan alat tangkap yang baik akan menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, nyaman, dan efisien sehingga dapat mengurangi kelelahan kerja awak kapal dan meningkatkan produktivitas operasi penangkapan.

3.3.4 Teknologi Modern, Evaluasi, dan Pengawasan Pengaturan Alat Tangkap

Perkembangan teknologi perikanan modern telah mendorong penggunaan berbagai sistem mekanisasi dan otomatisasi dalam pengaturan alat tangkap dan perlengkapan operasi di atas kapal penangkapan ikan. Penggunaan teknologi tersebut bertujuan meningkatkan efisiensi operasi, mengurangi beban kerja awak kapal, serta meningkatkan keselamatan operasional selama kegiatan penangkapan berlangsung (Kalu, dkk. 2018; Latour, dkk. 2023).

Beberapa teknologi modern yang digunakan dalam pengaturan alat tangkap meliputi:

a) Hydraulic hauling system;
b) Automatic roller system;
c) Mechanical fish handling equipment;
d) Stability monitoring system;
e) Digital load monitoring system;
f) Ergonomic deck arrangement;
g) Automatic line hauler;
h) Integrated deck machinery system.

Penggunaan hydraulic hauling system dan automatic roller memungkinkan proses hauling berlangsung lebih cepat dan efisien dengan risiko kecelakaan kerja yang lebih rendah dibandingkan metode manual. Selain itu, penggunaan ergonomic deck arrangement membantu menciptakan tata letak alat yang lebih aman dan efisien bagi awak kapal.

Pada kapal modern, beberapa sistem pengaturan alat tangkap juga telah terintegrasi dengan teknologi monitoring distribusi muatan dan stabilitas kapal secara real-time. Teknologi tersebut memungkinkan nakhoda memantau perubahan distribusi alat tangkap dan pengaruhnya terhadap stabilitas kapal selama operasi berlangsung.

Selain penerapan teknologi, evaluasi dan pengawasan pengaturan alat tangkap juga merupakan bagian penting dalam sistem manajemen operasi kapal penangkapan ikan. Evaluasi dilakukan untuk memastikan seluruh alat tangkap dan perlengkapan operasi berada dalam kondisi aman, teratur, dan siap digunakan.

Evaluasi pengaturan alat tangkap meliputi: Pemeriksaan distribusi alat tangkap, pemeriksaan sistem pengamanan alat, evaluasi stabilitas kapal, pemeriksaan alat mekanis, pemeriksaan jalur kerja awak kapal, evaluasi risiko keselamatan kerja, pemeriksaan kondisi alat tangkap, dan pemeriksaan sistem hidrolik dan winch. Pengawasan dilakukan secara berkala oleh: Nakhoda, perwira kapal, awak kapal, dan pengawas keselamatan pelayaran.

Pemeriksaan umumnya dilakukan sebelum keberangkatan, selama operasi penangkapan berlangsung, dan setelah proses hauling untuk memastikan tidak terjadi perubahan distribusi alat yang membahayakan stabilitas kapal maupun keselamatan awak kapal.

Dengan sistem pengaturan alat tangkap dan perlengkapan operasi yang baik, operasi penangkapan ikan dapat berlangsung secara aman, efisien, produktif, dan berkelanjutan. Selain meningkatkan keselamatan awak kapal dan stabilitas kapal, pengaturan yang tepat juga mampu meningkatkan umur pakai alat tangkap, menurunkan biaya operasional, serta meningkatkan produktivitas usaha penangkapan ikan secara keseluruhan.

3.4 Pengaturan Muatan Hasil Tangkapan

3.4.1 Konsep Dasar Pengaturan Muatan Hasil Tangkapan

Pengaturan muatan hasil tangkapan merupakan salah satu tahapan penting dalam sistem penanganan pascapanen di atas kapal penangkapan ikan yang berperan langsung terhadap mutu hasil perikanan, stabilitas kapal, efisiensi operasional, serta nilai ekonomis produk yang dihasilkan. Dalam operasi penangkapan ikan modern, hasil tangkapan tidak hanya dipandang sebagai komoditas yang harus diangkut menuju pelabuhan, tetapi juga sebagai muatan dinamis yang mempengaruhi distribusi berat kapal selama pelayaran dan proses penangkapan berlangsung. Oleh karena itu, pengaturan hasil tangkapan harus dilakukan secara sistematis, higienis, dan terintegrasi dengan sistem manajemen muatan kapal secara keseluruhan.

Tujuan utama pengaturan muatan hasil tangkapan adalah mempertahankan mutu biologis, kimiawi, fisik, dan organoleptik ikan selama penyimpanan di atas kapal, mengurangi kerusakan fisik akibat penanganan yang kurang tepat, memperpanjang umur simpan produk, serta menjaga

keseimbangan distribusi berat kapal agar stabilitas kapal tetap terjamin selama operasi penangkapan berlangsung. Pengaturan hasil tangkapan yang baik juga bertujuan untuk mempermudah proses bongkar muat di pelabuhan, meningkatkan efisiensi penyimpanan, dan mendukung sistem rantai dingin (cold chain system) hasil perikanan (Alimina, dkk. 2022; Larasati, dkk. 2024).

Ikan dan hasil perikanan merupakan komoditas yang sangat mudah mengalami penurunan mutu atau highly perishable commodities (Maskur, Prihanto, dkk. 2025). Setelah ikan mengalami kematian, berbagai proses biologis dan kimiawi akan berlangsung secara cepat, antara lain : Aktivitas mikroorganisme pembusuk, oksidasi lemak, autolisis enzimatis, denaturasi protein, perubahan pH jaringan, dan pembentukan senyawa volatil penyebab bau busuk (Maskur, Hery, dkk. 2025; Rahmatang, Maskur, dkk. 2026).

Aktivitas mikroorganisme pembusuk menjadi salah satu penyebab utama kerusakan hasil tangkapan selama penyimpanan. Mikroorganisme akan berkembang lebih cepat pada suhu tinggi sehingga mempercepat pembentukan senyawa seperti trimethylamine (TMA), total volatile base nitrogen (TVB-N), dan amonia yang menyebabkan penurunan kualitas ikan. Selain itu, aktivitas enzim proteolitik alami pada jaringan ikan juga menyebabkan degradasi tekstur daging ikan sehingga produk menjadi lunak dan kurang layak konsumsi (Visciano, 2023; Rahmatang, Najih, dkk. 2026).

Pada ikan pelagis dan spesies dengan kandungan lemak tinggi, proses oksidasi lipid juga menjadi faktor penting dalam penurunan mutu hasil tangkapan (Maskur, dkk. 2026). Oksidasi lemak dapat menyebabkan perubahan warna,

munculnya aroma tengik, serta penurunan nilai gizi ikan selama penyimpanan. Oleh sebab itu, pengaturan muatan hasil tangkapan harus dilakukan secara cepat, higienis, dan terkendali suhu untuk memperlambat seluruh proses deteriorasi tersebut.

3.4.2 Sistem Penyimpanan Hasil Tangkapan

Sistem penyimpanan hasil tangkapan di atas kapal penangkapan ikan merupakan komponen penting dalam penanganan pascapanen karena berperan langsung dalam mempertahankan mutu, keamanan pangan, nilai ekonomi, serta daya saing produk perikanan. Setelah ikan tertangkap dan dinaikkan ke atas kapal, proses penurunan mutu mulai berlangsung akibat aktivitas enzimatis, pertumbuhan mikroorganisme, oksidasi lemak, serta kerusakan fisik akibat penanganan yang tidak tepat. Oleh karena itu, sistem penyimpanan harus dirancang untuk memperlambat proses deteriorasi melalui pengendalian suhu, perlindungan fisik, pengaturan higienitas, serta distribusi muatan yang tidak mengganggu stabilitas kapal.

Dalam praktik operasional kapal penangkapan ikan, sistem penyimpanan hasil tangkapan umumnya dapat dibedakan menjadi beberapa bentuk utama, yaitu bulk stowage, boxed fish system, refrigerated storage, dan frozen storage (Campos, dkk. 2006; Barros, dkk. 2008). Pemilihan sistem penyimpanan sangat dipengaruhi oleh ukuran kapal, jenis hasil tangkapan, lama trip penangkapan, kapasitas ruang muat, ketersediaan es atau sistem refrigerasi, tujuan pasar, dan standar mutu yang disyaratkan (Duarte, dkk. 2020; Erikson, dkk. 2021). Pedoman Codex untuk ikan dan produk perikanan menempatkan penanganan, penyimpanan,

pengangkutan, dan pengolahan sebagai tahapan penting untuk menghasilkan produk yang aman, layak, dan memenuhi standar perdagangan pangan.

a) Sistem Bulk Stowage

Sistem bulk stowage merupakan metode penyimpanan hasil tangkapan secara curah di dalam palkah kapal dengan menggunakan es curai sebagai media pendingin. Pada sistem ini, ikan dan es disusun secara berlapis sehingga panas tubuh ikan dapat diserap oleh es dan suhu produk diturunkan hingga mendekati titik leleh es, yaitu sekitar 0°C. Pendinginan dengan es merupakan metode yang banyak digunakan pada kapal penangkapan tradisional dan semi-modern karena relatif sederhana, tidak membutuhkan sistem refrigerasi mekanis yang kompleks, serta dapat diterapkan pada kapal dengan kapasitas terbatas.

Secara teknis, prinsip utama bulk stowage adalah memastikan seluruh bagian ikan mendapatkan kontak pendinginan yang memadai. Lapisan dasar palkah sebaiknya diberi es terlebih dahulu, kemudian ikan disusun di atasnya, lalu ditutup kembali dengan lapisan es. Pola penyusunan berlapis ini bertujuan agar pendinginan terjadi secara merata dan suhu ikan dapat turun secepat mungkin. FAO menegaskan bahwa penggunaan es saja tidak otomatis menjamin mutu ikan yang baik apabila tidak disertai prosedur penanganan yang benar sebelum ikan disimpan di dalam palkah.

Keunggulan sistem bulk stowage terletak pada efisiensi ruang, kemudahan penerapan, dan biaya operasional yang lebih rendah. Sistem ini sesuai untuk kapal dengan ruang muat terbatas, operasi penangkapan harian atau jangka pendek, serta komoditas ikan yang tidak memerlukan standar

visual sangat tinggi. Namun demikian, sistem ini memiliki kelemahan utama berupa tingginya risiko tekanan mekanis akibat penumpukan ikan dalam jumlah besar. Tekanan antar ikan dapat menyebabkan kerusakan fisik, seperti memar pada jaringan daging, pecahnya dinding perut, lepasnya sisik, perubahan bentuk tubuh, dan penurunan kualitas visual.

Kerusakan fisik tersebut sangat berpengaruh terhadap ikan bernilai ekonomi tinggi, ikan konsumsi premium, serta produk yang ditujukan untuk pasar ekspor. Ikan berukuran kecil atau berdaging lunak juga lebih rentan mengalami kerusakan apabila disimpan secara curah dalam jumlah besar. FAO menjelaskan bahwa ikan kecil berlemak cenderung tidak tahan terhadap penyimpanan curah dalam es karena mudah tertekan dan mengalami kerusakan fisik.

Selain aspek mutu, sistem bulk stowage juga berkaitan dengan stabilitas kapal. Penumpukan ikan secara tidak merata di dalam palkah dapat menggeser titik berat kapal dan menimbulkan kemiringan atau trim yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, penyimpanan secara curah harus tetap memperhatikan pemerataan muatan, tinggi tumpukan, distribusi es, sistem drainase, serta kondisi sekat palkah. Tinggi tumpukan ikan perlu dikendalikan agar tidak melebihi kapasitas tekanan yang dapat diterima jaringan ikan dan tidak menimbulkan pergeseran muatan saat kapal mengalami rolling atau pitching.

b) Sistem Boxed Fish

Pada Sistem boxed fish merupakan metode penyimpanan hasil tangkapan menggunakan wadah atau box yang disusun secara sistematis di dalam ruang muat kapal. Pada sistem ini, ikan tidak ditumpuk secara langsung dalam

jumlah besar, melainkan ditempatkan dalam kontainer kecil atau sedang yang memungkinkan distribusi tekanan lebih terkendali. Setiap box biasanya diisi dengan ikan dan es dalam proporsi tertentu sehingga pendinginan tetap berlangsung, tetapi kerusakan mekanis dapat dikurangi.

Keunggulan utama sistem boxed fish adalah kemampuannya mempertahankan kualitas fisik ikan lebih baik dibandingkan sistem curah. Karena ikan ditempatkan dalam wadah terpisah, tekanan vertikal terhadap tubuh ikan menjadi lebih rendah. Sistem ini juga memudahkan proses sorting, grading, identifikasi spesies, pemisahan ukuran, pengendalian mutu, serta pembongkaran di pelabuhan. Dari sudut pandang higiene, penggunaan box juga lebih menguntungkan karena ikan tidak langsung bersentuhan dengan lantai palkah, lebih mudah dipindahkan, dan lebih mudah dikontrol selama penyimpanan.

Dalam sistem boxed fish, es harus didistribusikan secara merata di sekitar ikan. Prinsip pendinginan yang baik menghendaki agar ikan dikelilingi oleh es sehingga proses penyerapan panas berlangsung efektif. Literatur teknis mengenai pendinginan hasil perikanan menekankan bahwa ikan, baik disimpan dalam box maupun di dalam palkah, perlu disusun secara hati-hati bersama es agar proses pendinginan berlangsung merata dan kerusakan fisik dapat ditekan.

Namun demikian, sistem boxed fish juga memiliki beberapa keterbatasan. Penggunaan box membutuhkan ruang penyimpanan lebih besar dibandingkan sistem curah karena terdapat ruang kosong di antara wadah. Kapasitas muat efektif dapat berkurang apabila box tidak disusun secara efisien. Selain itu, sistem ini memerlukan biaya tambahan untuk pengadaan box, pencucian, sanitasi, perawatan, serta

tenaga kerja yang lebih besar dalam proses penataan dan pembongkaran.

Penataan box di dalam ruang muat harus dilakukan dengan memperhatikan keseimbangan kapal. Box yang berisi ikan dan es memiliki berat yang cukup besar sehingga distribusinya harus seimbang antara sisi kiri dan kanan kapal, serta antara bagian haluan dan buritan. Penyusunan box yang terlalu tinggi juga harus dihindari karena dapat meningkatkan titik berat vertikal kapal dan mengurangi stabilitas. Dengan demikian, boxed fish system tidak hanya berfungsi sebagai metode penyimpanan mutu, tetapi juga harus dipahami sebagai bagian dari sistem manajemen muatan kapal.

c) Refrigerated Storage dan Frozen Storage

Pada Refrigerated storage merupakan sistem penyimpanan hasil tangkapan dengan mempertahankan suhu ruang muat pada kondisi dingin di atas titik beku. Sistem ini dapat menggunakan pendinginan mekanis, chilled seawater, refrigerated seawater, atau ruang berpendingin yang dirancang untuk menjaga suhu produk tetap rendah selama pelayaran. Tujuan utama refrigerated storage adalah memperlambat aktivitas mikroorganisme dan reaksi enzimatis tanpa membekukan produk.

Sistem refrigerated storage lebih sesuai untuk kapal yang melakukan trip penangkapan menengah, membawa hasil tangkapan dalam jumlah besar, atau menargetkan pasar yang mensyaratkan kesegaran tinggi. Dibandingkan penyimpanan hanya dengan es, sistem ini memberikan pengendalian suhu yang lebih stabil apabila mesin pendingin berfungsi dengan baik. Pedoman rantai dingin menekankan pentingnya pengendalian waktu dan suhu pada tahapan

penanganan pascapanen, penyimpanan, transportasi, dan distribusi produk perikanan dingin maupun beku.

Keunggulan refrigerated storage adalah kemampuannya mempertahankan suhu ruang muat secara lebih konsisten, mengurangi ketergantungan terhadap es, serta memperpanjang masa simpan ikan segar. Namun, sistem ini memerlukan pengawasan suhu secara berkala, ketersediaan energi listrik, perawatan sistem refrigerasi, serta pengendalian sanitasi ruang muat. Apabila terjadi gangguan pada sistem refrigerasi, suhu ruang muat dapat meningkat dan menyebabkan percepatan penurunan mutu.

Dalam penerapannya, refrigerated storage harus dilengkapi dengan termometer atau sistem monitoring suhu. Pencatatan suhu perlu dilakukan secara teratur sebagai bagian dari pengendalian mutu. Suhu ruang muat yang tidak stabil dapat menyebabkan fluktuasi suhu produk, peningkatan aktivitas mikroorganisme, dan percepatan pembentukan senyawa penyebab bau busuk. Oleh karena itu, sistem refrigerated storage membutuhkan manajemen operasional yang lebih disiplin dibandingkan sistem penyimpanan dengan es secara tradisional.

d) Frozen Storage

Frozen storage merupakan sistem penyimpanan hasil tangkapan dalam kondisi beku. Sistem ini umumnya diterapkan pada kapal penangkapan ikan modern, kapal longline samudera, kapal tuna, kapal industri, dan kapal dengan durasi operasi penangkapan yang panjang. Pembekuan dilakukan menggunakan sistem seperti blast freezer, plate freezer, atau ruang pembeku mekanis,

kemudian produk disimpan pada suhu beku selama perjalanan hingga pembongkaran.

Pembekuan bertujuan menghentikan atau sangat memperlambat aktivitas mikroorganisme dan reaksi enzimatis, sehingga mutu ikan dapat dipertahankan dalam jangka waktu lebih lama. FAO menjelaskan bahwa ikan yang dibekukan di laut dapat memiliki kualitas yang sangat baik ketika didaratkan karena proses pembekuan memberikan waktu lebih panjang untuk distribusi produk. Namun, pembekuan tidak dapat memperbaiki mutu ikan yang sudah menurun. FAO menegaskan bahwa pembekuan tidak meningkatkan mutu awal ikan, tetapi hanya mempertahankan mutu pada saat ikan dibekukan; karena itu, praktik penanganan sebelum pembekuan tetap menjadi faktor penentu kualitas akhir produk.

Sistem frozen storage sangat penting untuk komoditas bernilai tinggi, seperti tuna, cakalang, ikan demersal, cumi, dan produk yang ditujukan untuk pasar ekspor. Pada produk tertentu, terutama tuna untuk pasar sashimi, pembekuan cepat dan pengendalian suhu rendah menjadi faktor penting untuk mempertahankan warna, tekstur, keamanan pangan, dan nilai jual. Akan tetapi, sistem penyimpanan beku membutuhkan energi listrik besar, generator yang andal, sistem refrigerasi stabil, isolasi ruang muat yang baik, serta teknisi atau awak kapal yang memahami pengoperasian peralatan pendingin.

Kegagalan sistem pembekuan dapat menimbulkan kerugian ekonomi yang besar. Fluktuasi suhu selama penyimpanan beku dapat menyebabkan rekristalisasi es, kerusakan struktur jaringan, peningkatan drip loss saat thawing, perubahan tekstur, oksidasi lemak, dan penurunan

mutu sensoris. Oleh sebab itu, frozen storage harus dilengkapi dengan monitoring suhu, pencatatan suhu, inspeksi sistem refrigerasi, dan prosedur tindakan darurat apabila terjadi kerusakan mesin pendingin.

3.4.3 Distribusi Muatan Hasil Tangkapan dan Stabilitas Kapal

Pengaturan hasil tangkapan sangat berpengaruh terhadap stabilitas kapal penangkapan ikan (Bangun, dkk. 2023). Hasil tangkapan merupakan muatan dinamis yang jumlah dan distribusinya berubah secara terus-menerus selama operasi berlangsung. Oleh karena itu, distribusi hasil tangkapan di dalam palkah harus dilakukan secara merata untuk menjaga keseimbangan longitudinal dan transversal kapal (Marjoni, dkk. 2012; Sianturi dan Permana, 2013).

Penumpukan hasil tangkapan hanya pada bagian buritan, haluan, atau salah satu sisi kapal dapat menyebabkan:

a) Trim berlebihan;
b) List atau kemiringan permanen;
c) Penurunan stabilitas transversal;
d) Peningkatan rolling kapal;
e) Gangguan manuver kapal;
f) Risiko kecelakaan pelayaran.

Dalam kondisi cuaca buruk, distribusi muatan yang tidak seimbang dapat memperbesar risiko kehilangan stabilitas kapal akibat perubahan titik berat secara tiba-tiba. Oleh sebab itu, proses pengisian palkah harus dilakukan secara bertahap dan simetris dengan memperhatikan kapasitas ruang muat dan distribusi berat kapal secara keseluruhan. Selain distribusi berat, pengaturan hasil tangkapan juga harus

mempertimbangkan karakteristik biologis dan ekonomis produk yang disimpan. Beberapa faktor utama yang harus diperhatikan meliputi:

a) Jenis spesies ikan;
b) Ukuran ikan;
c) Nilai ekonomis produk;
d) Tingkat kesegaran;
e) Tujuan pemasaran;
f) Metode pengolahan lanjutan;
g) Persyaratan mutu pasar.

Pemisahan hasil tangkapan berdasarkan spesies sangat penting untuk menghindari kontaminasi silang, terutama antara ikan predator, ikan pelagis, dan spesies dengan karakteristik biologis berbeda. Selain itu, pemisahan spesies juga bertujuan mempermudah proses grading, pencatatan hasil tangkapan, dan penanganan logistik di pelabuhan.

Ikan dengan nilai ekonomis tinggi seperti tuna, kakap, dan kerapu umumnya memerlukan perlakuan penyimpanan yang lebih hati-hati dibandingkan ikan konsumsi umum. Produk premium biasanya disimpan menggunakan box individual atau sistem pendinginan khusus untuk mempertahankan kualitas warna, tekstur, dan kandungan lemaknya.

Ukuran ikan juga mempengaruhi metode penyimpanan karena ikan berukuran besar memiliki tekanan berat yang lebih tinggi apabila ditumpuk secara langsung. Oleh karena itu, penyusunan hasil tangkapan harus mempertimbangkan kapasitas tekanan antar produk agar kerusakan fisik dapat diminimalkan.

Dalam sistem penanganan modern, pengaturan hasil tangkapan juga harus mengikuti prinsip sanitasi dan keamanan pangan hasil perikanan. Ruang muat dan wadah penyimpanan harus selalu bersih, bebas kontaminasi, dan mudah disanitasi. Penggunaan es juga harus memenuhi standar higienis agar tidak menjadi sumber cemaran mikrobiologis terhadap hasil tangkapan.

Selain itu, proses pemuatan hasil tangkapan harus dilakukan secepat mungkin setelah ikan dinaikkan ke atas kapal untuk mencegah kenaikan suhu tubuh ikan akibat paparan lingkungan. Keterlambatan proses pendinginan dapat mempercepat aktivitas mikroorganisme dan menyebabkan penurunan mutu produk secara signifikan.

Dalam perkembangan teknologi perikanan modern, beberapa kapal penangkapan ikan telah menggunakan sistem monitoring suhu digital, sensor distribusi muatan, serta sistem manajemen rantai dingin otomatis untuk meningkatkan efisiensi pengaturan hasil tangkapan. Teknologi tersebut memungkinkan pengawasan mutu hasil tangkapan dilakukan secara real-time selama operasi penangkapan berlangsung.

Dengan demikian, pengaturan muatan hasil tangkapan merupakan bagian penting dalam sistem operasi kapal penangkapan ikan yang tidak hanya berkaitan dengan penyimpanan produk, tetapi juga mencakup aspek mutu hasil perikanan, stabilitas kapal, efisiensi operasional, keamanan pangan, dan keselamatan pelayaran. Oleh sebab itu, pengelolaan hasil tangkapan yang baik menjadi faktor utama dalam mendukung keberhasilan usaha penangkapan ikan yang produktif, aman, dan berorientasi pada mutu produk perikanan.

3.5 Perhitungan Kapasitas Muatan Dan Draft Kapal

3.5.1 Konsep Kapasitas Muatan Kapal

Perhitungan kapasitas muatan dan draft kapal merupakan salah satu aspek fundamental dalam manajemen operasi kapal penangkapan ikan yang berkaitan langsung dengan keselamatan pelayaran, stabilitas kapal, efisiensi operasional, daya angkut, serta keberhasilan kegiatan penangkapan ikan di laut. Dalam sistem operasi kapal perikanan, kemampuan kapal untuk membawa muatan secara aman dan efisien sangat dipengaruhi oleh keseimbangan antara kapasitas angkut kapal, distribusi muatan, kondisi hidrostatik kapal, dan karakteristik perairan operasi.

Pada kapal penangkapan ikan, kapasitas muatan tidak hanya mencakup hasil tangkapan, tetapi juga meliputi bahan bakar, es, air tawar, alat tangkap, perlengkapan operasi, logistik awak kapal, mesin bantu, dan perlengkapan penunjang lainnya. Berbeda dengan kapal niaga umum yang membawa muatan relatif tetap selama pelayaran, kapal penangkapan ikan memiliki karakteristik muatan dinamis karena jumlah hasil tangkapan akan terus bertambah selama operasi penangkapan berlangsung, sedangkan bahan bakar, air tawar, dan logistik akan terus berkurang akibat konsumsi selama pelayaran (Marjoni, dkk. 2012; Muhammad, dkk. 2018).

Perubahan distribusi berat tersebut menyebabkan displacement, draft, trim, dan stabilitas kapal berubah secara bertahap selama operasi berlangsung. Oleh sebab itu, perhitungan kapasitas muatan pada kapal penangkapan ikan

harus dilakukan secara dinamis dan berkelanjutan agar kapal tetap berada pada kondisi aman selama pelayaran dan operasi penangkapan berlangsung.

Kapasitas muatan kapal menunjukkan total berat maksimum yang dapat dibawa kapal tanpa melampaui batas aman operasional dan batas kelaiklautan kapal. Dalam teknik perkapalan, kapasitas muatan dipengaruhi oleh berbagai parameter teknis kapal, antara lain :

a) Displacement kapal;
b) Deadweight tonnage (DWT);
c) Gross tonnage (GT);
d) Bentuk lambung kapal;
e) Freeboard;
f) Dimensi utama kapal;
g) Kondisi perairan operasi;
h) Stabilitas kapal.

Displacement merupakan total berat kapal beserta seluruh isi dan muatannya yang dinyatakan berdasarkan volume air yang dipindahkan oleh badan kapal saat terapung. Prinsip displacement mengikuti hukum Archimedes yang menyatakan bahwa benda terapung akan memindahkan air sebesar berat benda tersebut. Semakin besar muatan kapal, maka displacement kapal akan meningkat karena badan kapal tenggelam lebih dalam ke dalam air.

Deadweight tonnage (DWT) menunjukkan kapasitas angkut aktual kapal yang meliputi seluruh muatan variabel seperti hasil tangkapan, bahan bakar, air tawar, awak kapal, logistik, dan perlengkapan operasi. DWT menjadi parameter penting dalam menentukan kemampuan operasional kapal penangkapan ikan selama melakukan trip penangkapan.

Sementara itu, gross tonnage (GT) lebih menggambarkan volume total ruang tertutup kapal dan umumnya digunakan untuk kepentingan registrasi, administrasi pelayaran, serta klasifikasi ukuran kapal. Dalam konteks operasi penangkapan ikan, GT juga sering berkaitan dengan regulasi perizinan dan wilayah operasi penangkapan.

Selain displacement dan DWT, bentuk lambung kapal turut mempengaruhi kapasitas muatan dan karakteristik draft kapal. Kapal dengan bentuk lambung penuh (full hull form) umumnya memiliki kapasitas angkut lebih besar dibandingkan kapal dengan lambung ramping (fine hull form). Namun demikian, kapal berlambung penuh cenderung memiliki hambatan hidrodinamika lebih besar sehingga konsumsi bahan bakarnya meningkat.

3.5.2 Draft Kapal dan Hubungannya dengan Muatan

Draft kapal merupakan jarak vertikal antara garis dasar kapal (keel) dengan permukaan air ketika kapal terapung. Draft menggambarkan seberapa dalam badan kapal terendam di bawah permukaan air akibat beban yang diterima kapal. Semakin besar berat muatan yang dibawa, maka draft kapal akan semakin dalam karena displacement kapal meningkat (Susanto, dkk. 2012; Sianturi dan Permana, 2013).

Draft kapal menjadi parameter penting dalam operasi penangkapan ikan karena berkaitan langsung dengan:

a) Stabilitas kapal;
b) Freeboard kapal;
c) Keselamatan pelayaran;
d) Efisiensi propulsi;
e) Hambatan kapal;

f) Kemampuan manuver;
g) Keselamatan operasi di perairan dangkal.

Pada kondisi muatan penuh, bagian badan kapal yang terendam akan semakin besar sehingga tahanan kapal terhadap air meningkat. Akibatnya, mesin kapal membutuhkan tenaga lebih besar untuk mempertahankan kecepatan pelayaran yang sama (Sianturi dan Permana, 2013). Kondisi tersebut menyebabkan konsumsi bahan bakar meningkat dan efisiensi operasi menurun. Selain itu, draft yang terlalu besar juga menyebabkan freeboard kapal menjadi lebih rendah. Freeboard adalah jarak vertikal antara garis geladak utama dengan permukaan air. Freeboard yang rendah meningkatkan risiko masuknya air laut ke atas geladak terutama pada kondisi gelombang tinggi dan cuaca buruk. Kondisi tersebut dapat membahayakan keselamatan awak kapal dan meningkatkan risiko kecelakaan pelayaran.

Secara umum, draft kapal yang terlalu besar dapat menyebabkan beberapa dampak negatif, antara lain: Freeboard kapal menurun, risiko gelombang masuk ke geladak meningkat, hambatan kapal bertambah, konsumsi bahan bakar meningkat, efisiensi propulsi menurun, stabilitas kapal terganggu, kemampuan manuver kapal berkurang, dan risiko kandas pada perairan dangkal meningkat (Kong, dkk. 2023).

Dalam operasi kapal penangkapan ikan, draft kapal harus dijaga agar tetap berada pada batas aman sesuai garis muat (load line) yang telah ditentukan. Kapal yang beroperasi melebihi batas draft yang diizinkan dikategorikan mengalami overload dan sangat berisiko terhadap keselamatan pelayaran.

Pengukuran draft kapal umumnya dilakukan menggunakan draft mark yang terdapat pada bagian haluan, tengah, dan buritan kapal. Draft mark berupa angka-angka skala yang menunjukkan kedalaman badan kapal yang terendam air. Pengamatan draft biasanya dilakukan secara visual ketika kapal berada dalam kondisi tenang di pelabuhan maupun saat operasi berlangsung.

Data draft yang diperoleh kemudian dikorelasikan dengan tabel hidrostatik kapal untuk mengetahui:

a) Displacement aktual kapal;
b) Berat muatan yang dibawa;
c) Posisi center of buoyancy;
d) Nilai trim kapal;
e) Kondisi stabilitas kapal.

Tabel hidrostatik kapal merupakan data teknis yang menunjukkan hubungan antara draft dengan parameter hidrostatik kapal lainnya seperti displacement, waterplane area, metacentric height (GM), dan center of flotation. Data tersebut sangat penting dalam evaluasi kondisi muatan kapal selama operasi berlangsung.

3.5.3 Trim Kapal dan Distribusi Muatan

Parameter lain yang sangat penting dalam evaluasi distribusi muatan adalah trim kapal. Trim merupakan selisih draft antara bagian haluan dan buritan kapal. Kapal dikatakan mengalami trim apabila posisi draft di haluan dan buritan tidak sama. Trim dapat terjadi akibat distribusi muatan yang tidak merata secara longitudinal. Apabila muatan lebih banyak terkonsentrasi di buritan, maka kapal akan mengalami trim by stern. Sebaliknya, apabila muatan lebih banyak berada

di haluan, maka kapal akan mengalami trim by bow (Himaya dan Sano, 2023; Vasilev, dkk. 2024).

Dalam batas tertentu, trim masih dapat ditoleransi untuk mendukung performa propulsi kapal. Namun trim yang terlalu besar dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, antara lain:

a) Hambatan kapal meningkat;
b) Efisiensi propeller menurun;
c) Konsumsi bahan bakar meningkat;
d) Kemampuan manuver terganggu;
e) Stabilitas longitudinal menurun;
f) Gelombang pecah lebih mudah masuk ke geladak.

Pada kapal penangkapan ikan, trim yang tidak terkendali dapat mengganggu proses setting dan hauling alat tangkap. Oleh sebab itu, distribusi hasil tangkapan, bahan bakar, es, dan perlengkapan operasi harus diatur secara seimbang agar trim kapal tetap berada dalam batas aman.

Dalam operasi kapal penangkapan ikan, kapasitas muatan harus dihitung secara dinamis karena berat hasil tangkapan terus berubah selama operasi berlangsung. Pada awal keberangkatan, sebagian besar kapasitas muatan digunakan untuk: Bahan bakar, es, air tawar, alat tangkap, logistik awak kapal, dan perbekalan operasi.

Namun seiring bertambahnya hasil tangkapan, distribusi berat kapal berubah secara bertahap. Oleh sebab itu, nakhoda harus mampu memperkirakan: Kapasitas sisa ruang muat, batas aman draft kapal, distribusi hasil tangkapan di dalam palkah, konsumsi bahan bakar tersisa, dan kondisi stabilitas kapal selama operasi.

Kesalahan dalam memperkirakan kapasitas muatan dapat menyebabkan overload yang berpotensi menimbulkan kecelakaan laut. Overloading pada kapal penangkapan ikan sering menjadi penyebab utama tenggelamnya kapal akibat freeboard terlalu rendah dan stabilitas kapal menurun drastis. Selain itu, penumpukan hasil tangkapan secara tidak merata juga dapat menyebabkan perubahan center of gravity yang memicu list atau kemiringan permanen kapal. Kondisi tersebut sangat berbahaya terutama pada saat kapal menghadapi cuaca buruk dan gelombang tinggi.

Kondisi perairan operasi juga mempengaruhi perhitungan kapasitas muatan dan draft kapal. Kapal yang beroperasi pada perairan laut terbuka dengan gelombang tinggi memerlukan freeboard lebih besar dibandingkan kapal yang beroperasi di perairan pantai atau teluk yang relatif tenang.

Selain itu, densitas air laut juga mempengaruhi draft kapal. Air laut memiliki densitas lebih tinggi dibandingkan air tawar sehingga kapal akan terapung lebih tinggi di laut dibandingkan di sungai atau pelabuhan air tawar. Oleh sebab itu, koreksi draft perlu dilakukan apabila kapal berpindah dari perairan laut ke perairan tawar.

3.5.4 Teknologi Modern dalam Monitoring Draft dan Muatan

Perkembangan teknologi perkapalan modern telah memungkinkan penggunaan sistem monitoring draft dan distribusi muatan secara digital pada kapal penangkapan ikan. Teknologi tersebut meliputi:

a) Sensor draft otomatis;

b) Load monitoring system;
c) Stability monitoring software;
d) Sensor distribusi muatan;
e) Sistem alarm overload.

Penggunaan teknologi monitoring memungkinkan nakhoda memantau perubahan distribusi berat kapal secara real-time sehingga tindakan koreksi dapat dilakukan lebih cepat apabila terjadi ketidakseimbangan muatan.

Dengan demikian, perhitungan kapasitas muatan dan draft kapal merupakan bagian penting dalam manajemen operasi kapal penangkapan ikan yang mencakup aspek stabilitas kapal, keselamatan pelayaran, efisiensi bahan bakar, distribusi hasil tangkapan, serta keberhasilan operasi penangkapan secara keseluruhan. Oleh sebab itu, pemahaman mengenai prinsip-prinsip hidrostatik kapal, kapasitas muatan, draft, dan trim menjadi kompetensi penting yang harus dimiliki oleh nakhoda dan operator kapal penangkapan ikan dalam mendukung operasi yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

3.6 Evaluasi dan Pengawasan Pengaturan Muatan

Evaluasi dan pengawasan pengaturan muatan merupakan bagian penting dalam sistem manajemen operasi kapal penangkapan ikan yang bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh distribusi muatan di atas kapal telah memenuhi prinsip keselamatan pelayaran, stabilitas kapal, efisiensi operasional, keamanan kerja awak kapal, serta standar mutu hasil perikanan. Dalam operasional kapal perikanan modern, pengawasan muatan tidak hanya

berkaitan dengan jumlah muatan yang dibawa kapal, tetapi juga mencakup pengendalian distribusi berat, kondisi ruang muat, keamanan alat tangkap, serta pengawasan mutu hasil tangkapan selama operasi penangkapan berlangsung.

Kegiatan evaluasi dan pengawasan muatan dilakukan secara berkelanjutan mulai dari tahap persiapan keberangkatan, proses pelayaran menuju fishing ground, kegiatan penangkapan di laut, penyimpanan hasil tangkapan di dalam palkah, hingga proses pembongkaran hasil tangkapan di pelabuhan. Hal tersebut disebabkan karena karakteristik muatan pada kapal penangkapan ikan bersifat dinamis dan terus berubah selama operasi berlangsung. Pada awal keberangkatan, sebagian besar muatan kapal terdiri atas bahan bakar, es, logistik, dan alat tangkap. Namun seiring bertambahnya hasil tangkapan, distribusi berat kapal berubah secara bertahap sehingga memerlukan evaluasi berkala untuk menjaga stabilitas dan keselamatan kapal.

Dalam sistem operasi kapal penangkapan ikan, evaluasi pengaturan muatan meliputi berbagai aspek teknis dan operasional, antara lain: Pemeriksaan stabilitas kapal, evaluasi draft dan trim kapal, pemeriksaan distribusi hasil tangkapan, pemeriksaan pengamanan alat tangkap, evaluasi kapasitas bahan bakar dan logistik, pemeriksaan kondisi ruang muat, pengawasan sistem pendinginan, pengawasan mutu hasil tangkapan, pemeriksaan sanitasi ruang muat, dan evaluasi kondisi perlengkapan keselamatan kapal.

3.6.1 Pemeriksaan Stabilitas Kapal

Pemeriksaan stabilitas kapal merupakan kegiatan awal yang sangat penting dalam perencanaan dan pengaturan muatan di atas kapal penangkapan ikan. Stabilitas kapal dapat

diartikan sebagai kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah mengalami gaya luar, seperti gelombang, angin, arus, maupun gaya akibat operasi penangkapan. Dalam konteks kapal penangkapan ikan, stabilitas menjadi lebih kritis karena kapal sering beroperasi pada kondisi laut terbuka, melakukan manuver berulang, menarik alat tangkap, serta menerima tambahan beban hasil tangkapan secara bertahap.

Evaluasi stabilitas dilakukan untuk memastikan bahwa distribusi berat kapal masih berada dalam batas aman dan tidak menimbulkan kondisi berbahaya seperti list, yaitu kemiringan permanen ke salah satu sisi kapal, trim berlebihan, yaitu perbedaan draft yang terlalu besar antara haluan dan buritan, serta penurunan kemampuan kapal untuk kembali tegak setelah mengalami oleng. Dalam prinsip stabilitas kapal, perhatian utama diberikan pada hubungan antara titik berat kapal atau center of gravity/G, pusat apung atau center of buoyancy/B, dan titik metasentrum atau metacenter/M. Nilai GM atau tinggi metasentrik menjadi indikator penting stabilitas awal kapal. Semakin tepat posisi titik berat dan semakin memadai nilai GM, semakin baik kemampuan kapal untuk menahan gaya oleng pada sudut kecil.

Pemeriksaan stabilitas dalam pengaturan muatan meliputi penilaian terhadap posisi pusat gravitasi kapal, distribusi longitudinal muatan, distribusi transversal muatan, tinggi metasentrik, kondisi freeboard, serta perubahan displacement selama operasi. Prinsip umum dalam stabilitas kapal menyatakan bahwa kondisi pemuatan harus dievaluasi pada berbagai tahap pelayaran, termasuk pengaruh permukaan bebas cairan atau free surface effect, karena

cairan dalam tangki atau air yang terkumpul di ruang muat dapat bergerak mengikuti gerakan kapal dan menurunkan stabilitas efektif. International Code on Intact Stability menegaskan bahwa kondisi stabilitas perlu diperhitungkan pada semua kondisi pemuatan, termasuk efek permukaan bebas serta perubahan berat selama pelayaran.

Pada kapal penangkapan ikan, perubahan stabilitas dapat terjadi karena beberapa faktor. Pertama, hasil tangkapan yang terkumpul pada satu sisi palkah dapat menggeser titik berat secara transversal sehingga menyebabkan kemiringan kapal. Kedua, penumpukan ikan atau alat tangkap pada geladak dapat menaikkan titik berat vertikal kapal dan menurunkan nilai GM. Ketiga, konsumsi bahan bakar yang tidak seimbang antara tangki kiri dan kanan dapat mengubah distribusi berat kapal. Keempat, air laut atau air lelehan es yang tidak terbuang dengan baik dapat menimbulkan efek permukaan bebas yang mengurangi stabilitas. Oleh karena itu, stabilitas kapal harus diperiksa bukan hanya sebelum keberangkatan, tetapi juga setelah proses hauling, setelah pemindahan hasil tangkapan ke palkah, dan sebelum kapal kembali ke pelabuhan.

Pada kapal kecil dan menengah, pemeriksaan stabilitas perlu mendapat perhatian lebih besar karena kapal berukuran kecil umumnya lebih sensitif terhadap perubahan muatan. Penambahan hasil tangkapan dalam jumlah relatif kecil sekalipun dapat menyebabkan perubahan draft, trim, dan titik berat yang signifikan. Pedoman keselamatan FAO/ILO/IMO untuk kapal ikan kecil juga menekankan pentingnya mempertimbangkan stabilitas, pembagian ruang muat ikan, serta risiko pergeseran muatan yang dapat menyebabkan kemiringan atau trim berbahaya.

3.6.2 Evaluasi Draft dan Trim Kapal

Evaluasi draft dan trim merupakan bagian penting dari pengawasan distribusi muatan kapal. Draft menunjukkan kedalaman badan kapal yang terendam air akibat berat kapal dan muatannya, sedangkan trim menunjukkan perbedaan draft antara haluan dan buritan. Kedua parameter ini memberikan informasi praktis mengenai apakah kapal mengalami kelebihan muatan, distribusi berat yang tidak seimbang, atau perubahan posisi pusat gravitasi secara longitudinal.

Evaluasi draft dilakukan dengan membaca tanda draft pada bagian haluan, tengah, dan buritan kapal. Jika draft kapal meningkat secara berlebihan, maka freeboard akan menurun. Penurunan freeboard menyebabkan jarak antara permukaan air laut dan geladak kapal menjadi lebih kecil, sehingga risiko masuknya air laut ke geladak meningkat, terutama pada kondisi gelombang tinggi. Kondisi ini berbahaya karena air yang masuk ke geladak dapat menambah beban, mengganggu pergerakan awak kapal, menimbulkan efek permukaan bebas, dan memperbesar risiko kehilangan stabilitas.

Sementara itu, evaluasi trim bertujuan untuk memastikan bahwa distribusi berat kapal tetap seimbang secara longitudinal. Trim yang terlalu besar ke buritan dapat menyebabkan buritan terlalu dalam, propeller bekerja tidak optimal, konsumsi bahan bakar meningkat, dan kemampuan manuver menurun. Sebaliknya, trim yang terlalu besar ke haluan dapat menyebabkan haluan terlalu dalam, kapal lebih mudah menerima hempasan gelombang, serta menurunkan efisiensi gerak kapal. Dengan demikian, trim tidak hanya

berkaitan dengan keselamatan, tetapi juga berpengaruh terhadap efisiensi propulsi dan performa operasional kapal.

Pada kapal penangkapan ikan, perubahan trim umumnya disebabkan oleh penempatan hasil tangkapan yang tidak merata dalam palkah, pemindahan es, penggunaan bahan bakar dari tangki tertentu, atau penempatan alat tangkap berat di satu bagian kapal. Oleh karena itu, evaluasi draft dan trim harus dilakukan secara berkala, terutama setelah proses hauling, ketika hasil tangkapan bertambah secara signifikan. FAO/ILO/IMO juga menempatkan kondisi operasional kapal, termasuk keberangkatan dengan bahan bakar, es, perbekalan, dan alat tangkap, sebagai bagian yang perlu diperhitungkan dalam penilaian stabilitas kapal ikan.

Trim yang berlebihan dapat menimbulkan beberapa konsekuensi teknis, antara lain meningkatnya hambatan kapal, bertambahnya konsumsi bahan bakar, berkurangnya efisiensi propeller, terganggunya kemampuan manuver, dan menurunnya stabilitas longitudinal. Oleh karena itu, pengaturan muatan sebaiknya dilakukan dengan prinsip keseimbangan longitudinal, yaitu menempatkan muatan secara proporsional antara bagian haluan, tengah, dan buritan kapal sesuai rancangan ruang muat dan kapasitas kapal.

3.6.3 Pemeriksaan Distribusi Hasil Tangkapan

Pemeriksaan distribusi hasil tangkapan merupakan kegiatan yang berfungsi ganda, yaitu menjaga keselamatan kapal dan mempertahankan mutu produk perikanan. Hasil tangkapan yang tidak disusun secara merata dapat menyebabkan perpindahan titik berat kapal, baik secara transversal maupun longitudinal. Apabila ikan hanya ditumpuk pada salah satu sisi palkah, kapal dapat mengalami

list. Apabila hasil tangkapan terkonsentrasi pada bagian haluan atau buritan, kapal dapat mengalami trim berlebihan. Kedua kondisi tersebut dapat membahayakan kapal, terutama pada saat kapal mengalami rolling dan pitching di laut.

Distribusi hasil tangkapan harus mengikuti prinsip pemerataan beban, pembatasan tinggi tumpukan, pemisahan jenis ikan, dan pengendalian kepadatan penyimpanan. Palkah sebaiknya tidak diisi secara acak, tetapi mengikuti pola penataan yang memungkinkan beban tersebar merata. Jika kapal menggunakan sekat portabel atau portable fish-hold divisions, sekat tersebut harus mampu menahan pergeseran hasil tangkapan. Pedoman keselamatan kapal ikan kecil menyatakan bahwa hasil tangkapan perlu diamankan agar tidak bergeser karena pergeseran tersebut dapat menyebabkan trim atau kemiringan kapal yang berbahaya.

Dari aspek mutu, penumpukan hasil tangkapan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan tekanan mekanis pada tubuh ikan. Tekanan tersebut dapat merusak jaringan otot, mempercepat keluarnya cairan tubuh, meningkatkan risiko memar, dan menurunkan kualitas sensoris produk. Selain itu, penataan hasil tangkapan yang tidak sistematis dapat menghambat distribusi es atau pendinginan, sehingga suhu ikan tidak turun secara merata. Kondisi ini dapat mempercepat aktivitas enzimatis dan pertumbuhan mikroorganisme pembusuk.

Pemeriksaan distribusi hasil tangkapan meliputi beberapa aspek, yaitu pemerataan ikan dalam ruang muat, tinggi tumpukan, rasio es dan ikan, kondisi air lelehan es, pemisahan spesies, tingkat kepadatan penyimpanan, serta sanitasi produk. Air lelehan es sebaiknya tidak dibiarkan menggenang karena dapat menimbulkan kontaminasi silang,

mempercepat penurunan mutu, dan berkontribusi terhadap efek permukaan bebas apabila volumenya cukup besar. Dalam perencanaan muatan, hasil tangkapan harus diperlakukan sebagai muatan hidup secara operasional karena berat dan posisinya berubah selama kegiatan penangkapan.

3.6.4 Pemeriksaan Pengamanan Alat Tangkap

Alat tangkap dan perlengkapan operasi merupakan bagian dari muatan kapal yang memiliki pengaruh besar terhadap stabilitas, keselamatan kerja, dan kelancaran operasi penangkapan. Alat tangkap seperti jaring, bubu, tali, pelampung, pemberat, winch, drum net, dan perlengkapan hauling memiliki bobot yang tidak kecil. Apabila alat tangkap ditempatkan terlalu tinggi, terlalu ke samping, atau tidak terikat dengan baik, maka alat tersebut dapat menggeser titik berat kapal dan meningkatkan risiko kecelakaan.

Pengamanan alat tangkap dilakukan melalui penggunaan lashings, rantai pengikat, stopper, bracket pengunci, clamp mekanis, dan sistem pengikat lain yang sesuai dengan karakteristik alat tangkap. Tujuan utama pengamanan adalah mencegah pergeseran alat akibat rolling, pitching, getaran mesin, atau hempasan gelombang. Pergeseran alat tangkap secara tiba-tiba dapat menyebabkan perubahan distribusi berat secara mendadak, menimbulkan list, atau bahkan menyebabkan awak kapal terjepit, terpeleset, atau tertimpa alat.

Dalam pedoman keselamatan kapal ikan, operasi penembakan dan penarikan alat tangkap dipandang sebagai kegiatan yang dapat menimbulkan gaya tambahan terhadap kapal. FAO/ILO/IMO menyebutkan bahwa kapal yang dilengkapi peralatan shooting dan hauling harus

memperhatikan batas kemiringan saat mengangkat beban maksimum yang diizinkan. Selain itu, komponen sistem alat tangkap seperti winch, wires, chains, warps, rollers, dan tackle harus memiliki kekuatan yang memadai terhadap beban operasi, serta dilengkapi perangkat pengaman untuk mencegah gerakan yang tidak terkendali.

Pemeriksaan pengamanan alat tangkap perlu dilakukan pada tiga tahap, yaitu sebelum keberangkatan, selama operasi penangkapan, dan setelah alat tangkap selesai digunakan. Sebelum keberangkatan, nakhoda atau perwira kapal harus memastikan bahwa semua alat tangkap telah ditempatkan pada posisi aman, tidak menghalangi jalur evakuasi, tidak menutup freeing port atau saluran pembuangan air, serta tidak mengganggu akses ke peralatan keselamatan. Selama operasi, awak kapal harus memastikan bahwa alat tangkap bergerak sesuai prosedur dan tidak menimbulkan gaya tarik yang melebihi kapasitas kapal. Setelah operasi, alat tangkap harus kembali diamankan agar tidak bergeser selama perjalanan pulang.

3.6.5 Evaluasi Kapasitas Bahan Bakar dan Logistik

Evaluasi kapasitas bahan bakar dan logistik merupakan bagian integral dalam perencanaan dan pengaturan muatan kapal penangkapan ikan. Bahan bakar, air tawar, es, bahan makanan, perbekalan awak kapal, serta kebutuhan operasional mesin bantu merupakan komponen muatan yang secara langsung memengaruhi keberlanjutan operasi di laut. Pada kapal penangkapan ikan, pengelolaan bahan bakar dan logistik tidak hanya berkaitan dengan aspek ekonomi operasional, tetapi juga berhubungan erat dengan

keselamatan pelayaran, stabilitas kapal, dan kemampuan kapal untuk kembali ke pelabuhan dalam kondisi aman.

Nakhoda wajib memastikan bahwa kapasitas bahan bakar yang tersedia mencukupi untuk seluruh tahapan operasi, mulai dari pelayaran menuju daerah penangkapan, kegiatan pencarian fishing ground, operasi penangkapan, penggunaan mesin bantu, pengoperasian sistem pendinginan, hingga pelayaran kembali ke pelabuhan. Kesalahan dalam memperkirakan kebutuhan bahan bakar dapat menyebabkan kapal mengalami kondisi darurat di laut, terutama apabila kapal kehabisan bahan bakar pada saat cuaca buruk, berada jauh dari pelabuhan, atau mengalami gangguan komunikasi. Dalam kerangka keselamatan kapal ikan, IMO menempatkan keselamatan kapal penangkap ikan sebagai isu penting karena aktivitas penangkapan memiliki risiko tinggi dan membutuhkan dukungan standar keselamatan, pelatihan awak, serta prosedur operasional yang memadai.

Secara teknis, evaluasi bahan bakar dapat dilakukan melalui pencatatan jumlah bahan bakar awal, estimasi konsumsi mesin utama per jam, konsumsi mesin bantu, jarak tempuh, durasi operasi, serta cadangan bahan bakar untuk keadaan darurat. Perhitungan sederhana dapat menggunakan pendekatan: Kebutuhan bahan bakar total = bahan bakar pelayaran pergi + bahan bakar operasi penangkapan + bahan bakar mesin bantu + bahan bakar pelayaran pulang + cadangan keselamatan.

Selain jumlah bahan bakar, distribusi bahan bakar dalam tangki juga harus diperhatikan. Bahan bakar merupakan muatan cair yang dapat memengaruhi stabilitas kapal, terutama apabila tangki berada dalam kondisi sebagian terisi. Tangki yang tidak penuh dapat menimbulkan free surface

effect, yaitu pergerakan cairan di dalam tangki yang menyebabkan titik berat cairan bergeser mengikuti olengan kapal. Efek ini dapat menurunkan tinggi metasentrik efektif dan mengurangi kemampuan kapal untuk kembali tegak setelah mengalami kemiringan. FAO menjelaskan bahwa cairan dalam tangki yang terisi sebagian dapat bergerak saat kapal miring dan memberikan pengaruh besar terhadap stabilitas kapal.

Logistik juga perlu dievaluasi karena memiliki fungsi ganda sebagai kebutuhan operasional dan sebagai bagian dari muatan kapal. Es, misalnya, tidak hanya berperan dalam mempertahankan mutu hasil tangkapan, tetapi juga berkontribusi terhadap berat kapal dan distribusi beban di ruang muat. Air tawar, bahan makanan, peralatan cadangan, oli, dan perlengkapan keselamatan juga harus ditempatkan secara sistematis agar tidak mengganggu keseimbangan kapal. Oleh sebab itu, evaluasi logistik harus mencakup kecukupan jumlah, posisi penyimpanan, keamanan pengikatan, kemudahan akses, serta pengaruhnya terhadap distribusi berat kapal.

Dengan demikian, pengawasan bahan bakar dan logistik harus dilakukan secara berkala melalui pemeriksaan fisik, pencatatan logbook, dan evaluasi sisa persediaan. Nakhoda perlu membandingkan sisa bahan bakar dan logistik dengan rencana operasi aktual, kondisi cuaca, jarak ke pelabuhan terdekat, serta kemungkinan perubahan fishing ground. Apabila terjadi ketidaksesuaian antara persediaan dan kebutuhan operasi, keputusan operasional harus segera diambil, seperti mengurangi waktu operasi, berpindah ke daerah penangkapan yang lebih dekat, atau kembali ke pelabuhan lebih awal.

3.6.6 Pemeriksaan Kondisi Ruang Muat

Pemeriksaan kondisi ruang muat atau palkah merupakan kegiatan penting dalam evaluasi muatan kapal penangkapan ikan karena ruang muat berfungsi sebagai tempat penyimpanan utama hasil tangkapan selama pelayaran. Kualitas ruang muat menentukan kemampuan kapal dalam mempertahankan suhu rendah, mencegah kontaminasi, mengurangi kerusakan fisik ikan, dan menjaga nilai ekonomis produk sampai proses pembongkaran di pelabuhan.

Ruang muat harus memiliki kondisi konstruksi yang baik, permukaan yang mudah dibersihkan, sistem drainase yang memadai, serta sistem insulasi yang mampu mengurangi perpindahan panas dari lingkungan luar. Insulasi termal berfungsi mempertahankan suhu rendah di dalam ruang muat agar es tidak cepat mencair dan suhu ikan tetap stabil. Apabila insulasi rusak, suhu ruang muat akan meningkat lebih cepat sehingga mempercepat aktivitas enzimatis, oksidasi, dan pertumbuhan mikroorganisme pembusuk. Prinsip rantai dingin menekankan pentingnya pengendalian waktu dan suhu sejak tahap penanganan pascapanen, pendinginan, penyimpanan, pengangkutan, hingga distribusi produk perikanan.

Pemeriksaan ruang muat meliputi kondisi dinding, lantai, sudut ruang, saluran drainase, tutup palkah, sistem pendinginan, kebersihan, serta kemungkinan adanya kontaminasi biologis maupun kimiawi. Dinding dan lantai palkah harus bebas dari retakan, karat, permukaan kasar, residu organik, dan genangan air. Retakan atau celah pada

dinding palkah dapat menjadi tempat akumulasi lendir, darah, sisa ikan, dan mikroorganisme. Kondisi tersebut dapat meningkatkan risiko kontaminasi silang terhadap hasil tangkapan yang baru disimpan.

Sistem drainase ruang muat juga harus berfungsi dengan baik. Air lelehan es harus dapat mengalir keluar secara lancar agar tidak menggenang di bagian dasar palkah. Genangan air dapat menurunkan mutu ikan karena membawa darah, lendir, dan kotoran yang berpotensi menjadi media pertumbuhan mikroorganisme. Selain itu, akumulasi air dalam ruang muat dapat berkontribusi terhadap efek permukaan bebas apabila volumenya cukup besar, sehingga dapat memengaruhi stabilitas kapal.

Sistem pendinginan, baik menggunakan es, chilled seawater, refrigerated seawater, maupun ruang berpendingin mekanis, harus diperiksa secara berkala. Pemeriksaan mencakup ketersediaan es, distribusi es, suhu ruang muat, kondisi evaporator atau komponen pendingin, serta kemampuan sistem mempertahankan suhu sesuai standar penanganan ikan. Pedoman rantai dingin kawasan ASEAN menyatakan bahwa produk ikan dingin sebaiknya dipertahankan di bawah 5°C, sedangkan es yang digunakan harus berasal dari air bersih. Untuk penyimpanan ikan segar menggunakan es, FAO menjelaskan bahwa pendinginan dengan es menurunkan suhu ikan hingga mendekati suhu leleh es, yaitu sekitar 0°C.

3.6.7 Pengawasan Mutu Hasil Tangkapan

Pengawasan mutu hasil tangkapan merupakan bagian penting dari sistem evaluasi muatan karena hasil tangkapan merupakan komoditas utama yang menentukan nilai ekonomi

operasi penangkapan. Mutu ikan harus dipertahankan sejak ikan dinaikkan ke atas kapal, dipilah, dicuci, didinginkan, disimpan dalam ruang muat, hingga dibongkar di pelabuhan. Penurunan mutu yang terjadi di atas kapal umumnya sulit diperbaiki pada tahap berikutnya, sehingga pengawasan awal menjadi faktor kunci dalam menjamin kualitas produk perikanan.

Mutu hasil tangkapan dipengaruhi oleh kecepatan penanganan, suhu penyimpanan, kualitas es, kebersihan ruang muat, kepadatan penumpukan, serta cara penyusunan ikan. Ikan yang terlambat didinginkan akan mengalami peningkatan aktivitas enzimatis dan pertumbuhan mikroorganisme. Oleh karena itu, prinsip utama penanganan ikan segar adalah menurunkan suhu tubuh ikan secepat mungkin dan mempertahankannya pada suhu rendah selama penyimpanan. Pedoman rantai dingin menegaskan bahwa pengendalian waktu dan suhu perlu dipantau serta dicatat secara teratur, termasuk pada tahap penanganan pascapanen dan penyimpanan.

Pengawasan mutu hasil tangkapan meliputi pemantauan suhu ruang muat, suhu inti ikan, kualitas es, tingkat kesegaran ikan, warna insang, kejernihan mata, tekstur daging, elastisitas tubuh, aroma, keberadaan lendir, serta kondisi sanitasi penyimpanan. Ikan segar umumnya memiliki mata jernih, insang berwarna cerah, daging elastis, bau segar khas ikan, dan permukaan tubuh yang tidak berlendir berlebihan. Sebaliknya, penurunan mutu ditandai dengan mata keruh, insang kecokelatan, tekstur lunak, bau asam atau busuk, dan perubahan warna permukaan tubuh.

Kualitas es juga harus menjadi perhatian utama. Es yang digunakan untuk mendinginkan ikan harus dibuat dari air bersih atau air yang layak digunakan untuk tujuan higiene pangan. Es yang tercemar dapat menjadi sumber kontaminasi mikrobiologis dan mempercepat penurunan mutu produk. Selain itu, bentuk es juga memengaruhi efektivitas pendinginan. Es serpih atau flake ice umumnya lebih mudah menyelimuti permukaan ikan secara merata, lebih cepat menurunkan suhu, dan relatif lebih kecil menyebabkan kerusakan mekanis dibandingkan pecahan es besar yang tajam. Pedoman rantai dingin juga menekankan bahwa ikan harus disimpan dalam lapisan dangkal, dikelilingi es halus atau slurry ice, serta tidak ditumpuk berlebihan untuk meminimalkan kerusakan dan kontaminasi.

Pengawasan mutu juga berkaitan dengan cara penyusunan ikan di dalam palkah. Penumpukan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan tekanan mekanis pada tubuh ikan sehingga daging menjadi memar, sisik terkelupas, dan cairan tubuh keluar. Kondisi ini dapat menurunkan mutu sensoris dan mempercepat pembusukan. Oleh sebab itu, ikan perlu disusun secara berlapis dengan perbandingan es yang cukup, tidak dipadatkan secara berlebihan, serta dipisahkan berdasarkan jenis, ukuran, dan tingkat mutu. Pemisahan spesies juga penting karena setiap jenis ikan memiliki karakteristik ketahanan mutu yang berbeda.

Dengan demikian, pengawasan mutu hasil tangkapan harus dipandang sebagai bagian dari manajemen muatan kapal. Muatan yang tertata baik tidak hanya menjaga stabilitas kapal, tetapi juga menjamin mutu produk. Penerapan prinsip higiene, sanitasi, rantai dingin, dan pengaturan tumpukan

ikan merupakan langkah strategis untuk meningkatkan nilai jual hasil tangkapan dan mengurangi kerugian pascapanen.

3.6.8 Pengawasan Keselamatan Operasional

Pengawasan keselamatan operasional dalam pengaturan muatan bertujuan mencegah risiko yang dapat mengancam kapal, awak kapal, alat tangkap, dan hasil tangkapan. Risiko tersebut mencakup kelebihan muatan, pergeseran muatan, ketidakseimbangan distribusi berat, penurunan freeboard, kebocoran ruang muat, kerusakan alat tangkap, kecelakaan kerja, serta kehilangan stabilitas kapal. Pada kapal penangkapan ikan, risiko keselamatan sering meningkat karena kapal beroperasi pada lingkungan dinamis, menghadapi gelombang, angin, arus, serta melakukan aktivitas penangkapan yang melibatkan beban tarik dan gerakan alat tangkap.

Overloading merupakan salah satu kondisi paling berbahaya dalam operasi kapal penangkapan ikan. Kapal yang mengalami kelebihan muatan akan memiliki draft lebih dalam dan freeboard lebih rendah. Akibatnya, kapal menjadi lebih mudah kemasukan air laut, terutama saat menghadapi gelombang tinggi atau saat melakukan manuver. Penurunan freeboard juga mengurangi cadangan daya apung kapal sehingga kemampuan kapal untuk bertahan pada kondisi cuaca buruk menjadi lebih rendah. FAO/ILO/IMO menempatkan keselamatan kapal dan perlindungan awak sebagai tujuan utama dalam rekomendasi keselamatan kapal ikan kecil, mencakup aspek desain, konstruksi, peralatan, pelatihan, dan perlindungan awak kapal.

Pergeseran muatan juga merupakan faktor risiko utama. Hasil tangkapan, es, air lelehan es, alat tangkap, dan perbekalan yang tidak diamankan dengan baik dapat berpindah posisi ketika kapal mengalami rolling dan pitching. Pergeseran ini dapat menyebabkan perubahan titik berat secara mendadak, menimbulkan list, dan menurunkan stabilitas kapal. Oleh karena itu, seluruh muatan harus ditempatkan pada posisi yang aman, tidak melebihi kapasitas ruang, tidak menghalangi jalur kerja, tidak menutup saluran pembuangan air, dan tidak mengganggu akses terhadap alat keselamatan.

Nakhoda memiliki tanggung jawab utama dalam memastikan kapal berada dalam kondisi laik operasi sebelum berangkat dan selama kegiatan penangkapan berlangsung. Tanggung jawab tersebut meliputi pemeriksaan distribusi muatan, pemantauan stabilitas kapal, pengawasan draft dan trim, pengecekan ketersediaan bahan bakar, pengamanan alat tangkap, serta pengambilan keputusan apabila terjadi kondisi tidak aman. Dalam konteks keselamatan kapal ikan, IMO juga menekankan pentingnya instrumen keselamatan, pedoman sukarela, serta standar pelatihan awak kapal untuk meningkatkan keselamatan operasi penangkapan ikan.

Selain tanggung jawab teknis, nakhoda bertanggung jawab terhadap keselamatan awak kapal, keamanan alat tangkap, mutu hasil tangkapan, kepatuhan terhadap regulasi pelayaran, serta kelaiklautan kapal. Setiap keputusan operasional harus mempertimbangkan kondisi muatan, cuaca, jarak dari pelabuhan, kapasitas kapal, kemampuan mesin, dan kesiapan awak kapal. Apabila ditemukan indikasi muatan tidak seimbang, freeboard terlalu rendah, ruang muat bocor, alat tangkap tidak aman, atau sistem pendinginan tidak

berfungsi, maka nakhoda harus segera mengambil tindakan korektif.

Pengawasan keselamatan operasional idealnya dilakukan melalui prosedur pemeriksaan berkala yang terdokumentasi. Pemeriksaan dapat dilakukan sebelum keberangkatan, setelah proses hauling, setelah pemindahan hasil tangkapan ke palkah, saat perubahan cuaca, dan sebelum kapal kembali ke pelabuhan. Dengan pendekatan tersebut, pengaturan muatan tidak hanya menjadi kegiatan teknis pemuatan barang, tetapi menjadi bagian dari sistem manajemen keselamatan kapal penangkapan ikan.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, dkk. 2022. Identification of Potential Hazard and Halal Control Points for Perishable Food During Food Logistics. *Journal of Contemporary Islamic Studies*, *8*(3). https://doi.org/10.24191/jcis.v8i3.7.

Adhikari, A. 2025. Emerging and Innovative Technologies for the Sanitization of Fresh Produce: Advances, Mechanisms, and Applications for Enhancing Food Safety and Quality. *Foods*, *14*(11), 1924. https://doi.org/10.3390/foods14111924.

Alham, I. dan Lendri, L. 2023. Lines Plan of Purse Seine Ship in South Sulawesi. *Journal of Agriculture*, *1*(03), 175–184. https://doi.org/10.47709/joa.v1i03.2482.

Alimina, dkk. 2022. Pelatihan Penanganan Hasil Tangkapan Bagi Nelayan di Pelabuhan Perikanan Samudera Kendari. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, *5*(4), 129–134. https://doi.org/10.29303/jpmpi.v5i4.2312.

Alkire, C. 2022. Decline in on-Demand Fishing Gear Costs With Learning. *Frontiers in Marine Science*, *9.* https://doi.org/10.3389/fmars.2022.943552.

Aubourg, dkk. 2006. On-Board Quality Preservation of Megrim *(Lepidorhombus whiffiagonis)* by a Novel Ozonised-Slurry Ice System. *European Food Research and Technology*, *223*(2), 232–237. https://doi.org/10.1007/s00217-005-0182-z.

Backalov, dkk. 2021. Intact Stability of Historic Passenger Ships in Light of the Second Generation Intact Stability Criteria. *The International Journal of Maritime Engineering*, *163*(A1), 119–130. https://doi.org/10.5750/ijme.v163ia1.10.

Bangun, dkk. 2023. Performa Stabilitas Kapal Purse Seine Sampoerna 02 Kabupaten Pamekasan, Jawa Timur. *Albacore Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, *6*(2), 155–163. https://doi.org/10.29244/core.6.2.155-163.

Barros, dkk. 2008. Enhanced Quality and Safety During on-Board Chilled Storage of Fish Species Captured in the Grand Sole North Atlantic Fishing Bank. *Food Chemistry*, *106*(2), 493–500. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.042.

Baudry, dkk. 2018. Experimental Study of Ship Response Due to Internal Viscous Cargo Motions. https://doi.org/10.1115/omae2018-77502.

Bolgov, O. 2023. Determination of the Optimal Cargo Operations Strategy of a Bulk Carrier Vessel, With Continuous Ensuring Its Seaworthiness. *Collection of Scientific Works of the State University of Infrastructure and Technologies Series Transport Systems and Technologies*, (42), 8–17. https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-42-1.

Brecht, dkk. 2019. Protecting Perishable Foods During Transport by Truck and Rail. *Edis*, *2019*(2). https://doi.org/10.32473/edis-hs1328-2019.

Brown, dkk. 2021. Current Freezing and Thawing Scenarios Employed by North Atlantic Fisheries: Their Potential Role in Newfoundland and Labrador's Northern Cod *(Gadus morhua)* Fishery. *Peerj*, *9*, p. e12526. https://doi.org/10.7717/peerj.12526.

Campos, dkk. 2006. Evaluation of an Ozone–slurry Ice Combined Refrigeration System for the Storage of Farmed Turbot *(Psetta maxima)*. *Food Chemistry*, *97*(2), 223–230. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.040.

Dahniar, dkk. 2021. Analisis Dimensi Utama Dan Stabilitas "KM. Purnama 10" Di Pelabuhan Perikanan Samudera Kendari. *Jurnal Sains Dan Inovasi Perikanan*, *5*(2), 107. https://doi.org/10.33772/jsipi.v5i2.12489.

Duarte, dkk. 2020. Quality Assessment of Chilled and Frozen Fish - Mini Review. *Foods*, *9*(12), 1739. https://doi.org/10.3390/foods9121739.

Erikson, dkk. 2021. Freeze-Chilling of Whitefish: Effects of Capture, on-Board Processing, Freezing, Frozen Storage, Thawing, and Subsequent Chilled Storage - A Review. *Foods*, *10*(11), 2661. https://doi.org/10.3390/foods10112661.

Giafi, dkk. 2023. Perancangan Sistem Pengukur Muatan Real Time Pada Kapal Penangkap Ikan Tuna. *Jurnal Teknik Its*, *12*(3). https://doi.org/10.12962/j23373539. v12i3. 125561.

Hafner, dkk. 2019. Refrigeration Units in Marine Vessels. https://doi.org/10.6027/tn2019-527.

Hakim, dkk. 2023. Using Trim Control to Improve Energy Efficiency on High-Speed Marine Vehicles (HSMV): A Review. *Evergreen*, *10*(3), 1603–1615. https://doi.org/10.5109/7151709.

Hasanudin, dkk. 2019. Modifikasi Kapal Purse Seine 30 Gt Dengan Menambahkan Cadik Untuk Meningkatkan Survival of Intact Stability. *Marine Fisheries Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, *10*(2), 205–213. https://doi.org/10.29244/jmf.v10i2.30853.

Himaya, dkk. 2023. Course-Keeping Performance of a Container Ship With Various Draft and Trim Conditions Under Wind Disturbance. *Journal of Marine Science and Engineering*, *11*(5), 1052. https://doi.org/10.3390/jmse11051052.

Istiqomah, dkk. 2023. Distribusi Muatan Kapal Trammel Net Di Pelabuhan Perikanan Samudera Cilacap, Jawa Tengah. *Samakia Jurnal Ilmu Perikanan*, *14*(1), 26–38. https://doi.org/10.35316/jsapi.v14i1.2040.

Januarti, dkk. 2024. Keanekaragaman Jenis Ikan Hasil Tangkapan Nelayan Trawl Di Pangkalan Pendaratan Ikan Pelabuhan Kenmdawangan Kabupaten Ketapang. *Jurnal Sains Pertanian Equator*, *13*(2), 626. https://doi.org/10.26418/jspe.v13i2.71165.

Januma, dkk. 2003. Development and Comparative Test of Squid Liver Artificial Bait for Tuna Longline. *Fisheries Science*, *69*(2), 288–292. https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2003.00619.x.

Kadhafi, dkk. 2021. Studi Karakteristik Stabilitas Dan Konstruksi Kapal Berbahan High Density Polyethylene (HDPE). *Jurnal Rekayasa Mesin*, *12*(2), 315–323. https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.02.9.

Kalu, dkk. 2018. Studi Tentang Kesehatan Dan Keselamatan Kerja Di Atas Kapal Pole and Line Yang Berpangkalan Di Aertembaga Bitung. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Perikanan Tangkap*, *2*(6). https://doi.org/10.35800/jitpt.2.6.2017.17000.

Kasapoğlu, dkk. 2020. An Adapted Slipping Process to Exclude Jellyfish in the Sea of Marmara Purse Seine Fishery. *Marine Science and Technology Bulletin*, *9*(2), 75–82. https://doi.org/10.33714/masteb.686931.

Klanian, dkk. 2023. Quality Indicators and Shelf Life of Red Octopus *(Octopus maya)* in Chilling Storage. https://doi.org/10.37885/230212115.

Kong, dkk. 2023. Quantitative Analysis of Leakage Consequences of LNG Ship-to-Ship Bunkering Based on CFD. *Energies*, *16*(12), 4631. https://doi.org/10.3390/en16124631.

Koutsoumanis, dkk. 2020. The Use of the So-called "Tubs" for Transporting and Storing Fresh Fishery Products. *Efsa Journal*, *18*(4). https://doi.org/10.2903/j.efsa. 2020. 6091.

Lako, dkk. 2015. Postharvest Handling Practices and the Development of Histamine in Giant Trevally *(Caranx ignobilis)* Fish: The Case of Fiji. *The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences*, *33*(2), 1. https://doi.org/10.1071/sp15001.

Larasati, dkk. 2024. Penanganan Ikan Hasil Tangkapan Pada Kmn. Dua Putri 02 Di Pelabuhan Perikanan Samudera (Pps) Kendari, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Perikanan Unram*, *14*(1), 111–120. https://doi.org/10.29303/jp.v14i1.757.

Latour, dkk. 2023. Design and Redesign of a Bottom Trawl Survey in Chesapeake Bay, USA. *Frontiers in Marine Science*, *10*. https://doi.org/10.3389/fmars. 2023. 1217792.

Launuru, dkk. 2017. Penanganan Hasil Tangkapan Ikan Tuna Pada Cold Storage Dengan Sistem Air Blast Di PT Awindo International Pelabuhan Perikanan Sumatera Nizam Zachman, Jakarta. *Jurnal Ilmiah Satya Minabahari*, *3*(1), 52–60. https://doi.org/ 10.53676/jism.v3i1.43.

Li, dkk. 2022. Characterization of Bacterial Communities in Coregonus Peled Fillets During Chilled Storage and Interactions Between Selected Bacterial Strains. *Journal of Applied Microbiology*, *132*(6), 4359–4370. https://doi.org/10.1111/jam.15569.

Lu, dkk. 2023. Development of China's Marine Transportation Equipment Industry. *Strategic Study of Cae*, *25*(3), 53. https://doi.org/10.15302/j-sscae-2023.03.006.

Marjoni, dkk. 2012. Stabilitas Statis Dan Dinamis Kapal Purse Seine Di Pelabuhan Perikanan Pantai Lampulo Kota Banda Aceh Nanggroe Aceh Darussalam. *Marine Fisheries Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, *1*(2), 1. https://doi.org/10.29244/ jmf.1.2.1-10.

Maskur, M., Prihanto, dkk. 2025. Review of the potential of bioactive compounds in seaweed to reduce histamine formation in fish and fish products. *Italian Journal of Food Safety*, *14*(1), 1–11. https://doi.org/10.4081/ ijfs.2025.12994.

Maskur, M., Hery, dkk. 2025. The Quality Of Skipjack Tuna *(Katsuwonus pelamis)* On One-Day Fishing In Gulf Of Bone , South Sulawesi, Indonesia. *JPHPI, 28*(12), pp. 1017–1029.

Maskur, M., Najih, M. R. dan Sumandiarsa, I. K. 2026. Quality of the Mackerel Scad *(Decapterus macarellus)* Fishing on Small-Scale Fishers in Gulf of Bone, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, *30*(2), 2037–2051.

Muchsin, D. M. dan Darmawan, R. S. 2023. Quantitative Evaluation of Draught Survey Through Correlation Test of Quarter Mean: A Case Study on a Coal Bulk Carrier. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, *8*(4). https://doi.org/10.12962/j25481479.v8i4.19162.

Muhammad, dkk. 2018. The Operational Feasibility Level of 30 GT Fishing Vessel in Sulawesi Waters (Case Study of KM INKA MINA 957). *Marine Fisheries Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, *9*(1), 1–9. https://doi.org/10.29244/jmf.9.1.1-9.

Nurdin, dkk. 2016. Tata Muatan Dan Variasi Musim Penangkapan Pengaruhnya Terhadap Stabilitas Purseseiner Bulukumba, Sulawesi Selatan. *Marine Fisheries Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, *4*(2), 183–193. https://doi.org/10.29244/jmf.4.2.183-193.

Rahmatang, R., Najih, dkk. 2026. Control of Fish Spoilage Bacteria Using Crude Extract of *Caulerpa lentillifera* : Antibacterial Activity Against Pseudomonas aeruginosa. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, *30*(1), 943–955.

Rahmatang, R., Maskur, dkk. 2026. Quality of Skipjack Tuna *(Katsuwonus pelamis)* Captured by Handline at Lonrae Fish Landing Base, Bone, South Sulawesi. *PENA Akuatika*, *25*(1), 80–91.

Rochman, dkk. 2017. Dampak Pemberlakuan Moratorium Perizinan Tangkap Terhadap Upaya Penangkapan Dan Produksi Rawai Tuna Skala Industri Yang Berbasis Di Pelabuhan Benoa-Bali. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, *22*(3), 181–188. https://doi.org/10.15578/jppi.22.3.2016.181-188.

Rumape, dkk. 2022. Study on the Quality of Fish Products Based on Different Preservation Techniques: A Review. *Food Science and Technology*, *42*. https://doi.org/10.1590/fst.78521.

Schmidt, dkk. 2005. Sanitary Design and Construction of Food Processing and Handling Facilities. *Edis*, *2005*(5). https://doi.org/10.32473/edis-fs120-2005.

Setiawan, dkk. 2024. Design of Solar Powered Cooling Engine for Fishing Vessel ≤ 5 GT. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, *9*(2). https://doi.org/10.12962/j25481479.v9i2.20314.

Siagian, S. 2017. Perhitungan Beban Pendingin Pada Cold Storage Untuk Penyimpanan Ikan Tuna Pada PT.X. *Bina Teknika*, *13*(1), 139. https://doi.org/10.54378/bt.v13i1.65.

Sianturi, dkk. 2013. Analisis Stabilitas Terhadap Operasional Desain Kapal Ikan 20 Gt Di Palabuhanratu. *Jurnal Kelautan Nasional*, *8*(3), 120. https://doi.org/10.15578/jkn.v8i3.6231.

Soeboer, dkk. 2018. Aspek Ergonomi Pada Aktivitas Penangkapan Ikan Dengan Kapal Payang Di Palabuhanratu-Sukabumi. *Albacore Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, *2*(3), 343–356. https://doi.org/10.29244/core.2.3.343-356.

Suryanto, dkk. 2017. Kebijakan Peningkatan Efisiensi Energi Usaha Penangkapan Tuna Cakalang Tongkol (Tct) Di Indonesia Timur. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*, *8*(2), 65. https://doi.org/10.15578/jkpi.8.2.2016.65-76.

Susanto, dkk. 2012. Stabilitas Statis Kapal Static Gear Di Palabuhanratu (Studi Kasus Km PSP 01). *Marine Fisheries Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, *2*(1), 65. https://doi.org/10. 29244/jmf.2.1.65-73.

Syron, dkk. 2018. Occupational Traumatic Injuries Among Offshore Seafood Processors in Alaska, 2010–2015. *Journal of Safety Research*, *66*, 169–178. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2018.07.008.

Szymonski, M. 2024. Draft Survey: The Question of Accuracy. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies*, *4*(6), 100–103. https://doi.org/10.62225/2583049x.2024.4.6.3400.

Tomasila, dkk. 2023. Pengenalan Alat Navigasi, Keselamatan Dan Kesehatan Pada Kapal Penangkap Ikan Enterprise Di Perairan Selat Makassar. *Amanisal Jurnal Teknologi Dan Manajemen Perikanan Tangkap*, *12*(2), 102–117. https://doi.org/10.30598/amanisalv12i2p102-117.

Vasilev, dkk. 2024. CFD-Powered Ship Trim Optimization: Integrating ANN for User-Friendly Software Tool Development. https://doi.org/10.20944/preprints202406.1253.v1.

Visciano, P. 2023. Good Hygiene Practice on Board Vessels for Fish Quality and Safety. https://doi.org/ 10.20944/preprints202308.2159.v1.

Watson, dkk. 2016. Postharvest Storage, Packaging and Handling of Specialty Crops: A Guide for Florida Small Farm Producers. *Edis*, *2016*(1), 18. https://doi.org/10.32473/edis-hs1270-2015.

Xiao, J. 2014. Research on Safe Shipment of the Cargoes Which May Liquefy', *Applied Mechanics and Materials*, *565,* 260–264. https://doi.org/10.4028/www. scientific. net/ amm.565.260.

BAB 4
PENGAMANAN MUATAN (*CARGO SECURING*) PADA KAPAL PENANGKAP IKAN

Oleh Mohammad Roin Najih

4.1 Peran Strategis Pengamanan Muatan pada Kapal Penangkap Ikan

Pengamanan muatan (*cargo securing*) merupakan salah satu komponen penting dalam sistem operasi kapal penangkap ikan yang berhubungan langsung dengan aspek keselamatan pelayaran, stabilitas kapal, efisiensi operasional, serta kualitas hasil tangkapan yang diangkut. Dalam konteks transportasi laut, muatan yang tidak ditata dan diamankan dengan baik dapat menimbulkan berbagai risiko, mulai dari gangguan terhadap keseimbangan kapal hingga kecelakaan pelayaran yang berpotensi menyebabkan kerugian jiwa dan materi. *Cargo Securing* (termasuk penataan, distribusi, dan pengikatan hasil tangkapan, perbekalan, dan alat tangkap) sangat penting untuk keselamatan karena cara pengaturan dan pengikatan berat dapat mengubah margin stabilitas kapal dan dengan demikian kerentanannya terhadap terbalik atau kehilangan kendali, terutama di bawah tekanan operasional dan kondisi yang tidak menguntungkan (Kasyk *et al*., 2023;

Kusumawati *et al*., 2024; Nawi *et al*., 2021). Khusus untuk kapal penangkap ikan, penelitian desain dan operasi menekankan bahwa kapal-kapal ini secara bersamaan berfungsi sebagai transportasi, sebagai platform untuk operasi penangkapan ikan, dan sebagai pengangkut peralatan dan hasil tangkapan, sehingga operasi yang aman bergantung pada pemeliharaan kelaikan laut dan stabilitas sambil mengakomodasi kondisi pemuatan yang bervariasi di sepanjang siklus perjalanan (berangkat, menangkap ikan, kembali). Selain itu, persyaratan operasional mencakup penyediaan fasilitas yang memadai yang didedikasikan untuk menyimpan hasil tangkapan untuk menjaga kualitasnya hingga pendaratan, yang mengaitkan keputusan pengaturan kargo (di mana dan bagaimana hasil tangkapan ditempatkan) dengan kondisi pemuatan yang relevan dengan keselamatan dan hasil penanganan hasil tangkapan (Kasyk *et al*., 2023). Oleh karena itu, pengamanan muatan tidak hanya dipandang sebagai kegiatan teknis dalam penataan barang di atas kapal, tetapi juga sebagai bagian integral dari manajemen keselamatan kapal yang harus direncanakan dan dilaksanakan secara sistematis sesuai dengan prinsip-prinsip stabilitas dan keselamatan maritim.

Kapal penangkap ikan beroperasi pada lingkungan laut yang sangat dinamis dan sering kali tidak dapat diprediksi secara pasti. Selama pelayaran dan operasi penangkapan, kapal akan mengalami berbagai gerakan akibat pengaruh gelombang, arus, angin, serta kondisi cuaca yang berubah-ubah. Gerakan kapal seperti oleng (*rolling*), angguk (*pitching*), mengayun (*yawing*), naik-turun (*heaving*), serta gerakan translasi lainnya menghasilkan gaya-gaya dinamis yang bekerja pada seluruh muatan yang berada di atas kapal.

Gerakan kapal umumnya diuraikan menjadi enam derajat kebebasan (6DOF): gerakan translasi (maju, menyamping, naik) dan gerakan rotasi (guling, angguk, berputar) (Grin, 2024; Kaup *et al*., 2024; Manullang *et al*., 2024). Apabila muatan tidak diamankan secara memadai, gaya-gaya tersebut dapat menyebabkan terjadinya pergeseran muatan (*cargo shifting*) yang berpotensi mengubah distribusi berat kapal. Perubahan distribusi berat tersebut akan memengaruhi posisi pusat gravitasi kapal dan pada akhirnya dapat menurunkan tingkat stabilitas kapal selama pelayaran.

Dibandingkan dengan kapal niaga pada umumnya, kapal penangkap ikan memiliki karakteristik operasi yang lebih kompleks karena jumlah dan distribusi muatan selalu mengalami perubahan sepanjang kegiatan penangkapan. Pada saat kapal meninggalkan pelabuhan menuju daerah penangkapan, sebagian besar berat kapal berasal dari bahan bakar, es, perbekalan, alat tangkap, serta perlengkapan operasional lainnya. Namun, setelah proses penangkapan berlangsung, hasil tangkapan yang diperoleh akan menambah berat kapal secara bertahap dan mengubah pola distribusi muatan yang telah direncanakan sebelumnya. Selain itu, penggunaan bahan bakar dan konsumsi perbekalan selama operasi juga menyebabkan perubahan berat pada beberapa kompartemen kapal. Dinamika perubahan muatan tersebut menjadikan pengelolaan dan pengamanan muatan pada kapal perikanan lebih menantang dibandingkan kapal yang membawa muatan relatif tetap selama pelayaran.

Dari perspektif stabilitas kapal, pengamanan muatan memiliki peran yang sangat strategis dalam menjaga posisi pusat gravitasi agar tetap berada pada kondisi yang aman. Muatan yang ditempatkan secara tidak seimbang atau

mengalami pergeseran dapat menyebabkan kapal mengalami kemiringan (*list*) maupun perubahan trim yang berlebihan. Dalam kondisi cuaca buruk, kombinasi antara distribusi muatan yang tidak tepat dan pengaruh gelombang dapat meningkatkan risiko hilangnya stabilitas hingga menyebabkan kapal terbalik (*capsizing*). Berbagai investigasi kecelakaan kapal perikanan di berbagai negara menunjukkan bahwa kegagalan dalam pengaturan dan pengamanan muatan merupakan salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap terjadinya kecelakaan pelayaran. Oleh karena itu, penerapan prinsip-prinsip pengamanan muatan harus menjadi perhatian utama bagi nakhoda dan seluruh awak kapal yang bertanggung jawab terhadap operasi kapal.

Selain berfungsi untuk menjamin keselamatan pelayaran, pengamanan muatan juga memiliki implikasi penting terhadap kualitas hasil tangkapan yang menjadi komoditas utama dalam usaha perikanan tangkap. Ikan dan produk perikanan merupakan komoditas yang mudah mengalami penurunan mutu apabila tidak ditangani dan disimpan dengan benar. Penataan hasil tangkapan yang tidak sesuai dapat menyebabkan terjadinya tekanan mekanis, benturan antarikan, kerusakan jaringan tubuh, serta distribusi pendinginan yang tidak merata. Kondisi tersebut dapat mempercepat proses kemunduran mutu, meningkatkan aktivitas mikroorganisme, dan mengurangi nilai jual produk saat didaratkan. Oleh karena itu, sistem pengamanan muatan harus dirancang tidak hanya untuk mencegah pergeseran muatan, tetapi juga untuk mempertahankan kondisi fisik dan kesegaran hasil tangkapan selama penyimpanan dan pengangkutan.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat dipahami bahwa pengamanan muatan pada kapal penangkap ikan merupakan aspek multidisiplin yang mencakup prinsip-prinsip stabilitas kapal, keselamatan pelayaran, teknik penataan muatan, serta penanganan hasil perikanan. Keberhasilan penerapan sistem pengamanan muatan yang efektif akan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap keselamatan awak kapal, keberlangsungan operasi penangkapan, efisiensi penggunaan kapal, serta kualitas hasil tangkapan yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif mengenai konsep, metode, dan standar pengamanan muatan menjadi salah satu kompetensi yang wajib dimiliki oleh setiap personel yang terlibat dalam pengoperasian kapal penangkap ikan.

4.2 Definisi Pengamanan Muatan

Pengamanan muatan (*cargo securing*) merupakan salah satu aspek penting dalam keselamatan pelayaran yang bertujuan untuk menjaga agar seluruh muatan tetap berada pada posisi yang telah direncanakan selama kapal beroperasi. Menurut pedoman keselamatan maritim yang dikembangkan oleh International Maritime Organization (IMO), pengamanan muatan adalah seluruh tindakan teknis dan operasional yang dilakukan untuk mencegah terjadinya perpindahan, pergeseran, tergulingnya, atau jatuhnya muatan akibat pengaruh gaya-gaya dinamis yang bekerja pada kapal selama pelayaran. Gaya-gaya tersebut muncul sebagai konsekuensi dari gerakan kapal yang dipengaruhi oleh kondisi gelombang, angin, arus, serta manuver kapal.

Selama berlayar, kapal akan mengalami enam derajat kebebasan gerak (*six degrees of freedom*) yang terdiri atas gerakan translasi dan rotasi. Gerakan translasi meliputi *surge* (maju-mundur), *sway* (menyamping), dan *heave* (naik-turun), sedangkan gerakan rotasi meliputi *roll* (oleng), *pitch* (angguk), dan *yaw* (mengayun). Gerakan-gerakan tersebut dapat menimbulkan percepatan yang menyebabkan muatan menerima gaya inersia. Kapal di laut mengalami gaya dinamis kompleks yang menghasilkan enam derajat kebebasan gerak (6-DoF). Gerakan-gerakan ini secara konvensional dikategorikan menjadi gerakan translasi — maju, menyamping, dan naik turun — dan gerakan rotasi — berguling, menukik, dan berputar (Diatmaja *et al*., 2023; Nubli *et al*., 2022; Pratama *et al.*, 2023; Rizal *et al*., 2023). Masing-masing gerakan ini menghasilkan gaya dan percepatan yang bekerja pada kargo yang disimpan di atas kapal, berpotensi menyebabkan perpindahan jika pengaturan pengamanan tidak memadai (Adepoju & Bello, 2022; Pérez-Canosa *et al*., 2023). Apabila muatan tidak diamankan secara memadai, gaya tersebut dapat mengakibatkan perpindahan posisi muatan sehingga mengganggu keseimbangan kapal dan membahayakan keselamatan pelayaran.

Apabila muatan tidak ditempatkan atau diamankan dengan baik, pergerakan muatan akibat pengaruh gelombang, angin, getaran mesin, maupun gerakan kapal seperti *rolling*, *pitching*, dan *heaving* dapat menyebabkan perubahan distribusi berat secara dinamis. Pergeseran muatan tersebut berpotensi menggeser pusat gravitasi kapal ke arah tertentu sehingga mengurangi kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah mengalami kemiringan. Dalam kondisi yang lebih serius, perpindahan muatan dapat menyebabkan

berkurangnya lengan penegak (*righting arm*) dan menurunkan stabilitas kapal hingga meningkatkan risiko terjadinya *capsizing* atau terbaliknya kapal (Barrass & Derrett, 2012).

International Maritime Organization (IMO) menegaskan bahwa pengamanan muatan yang tidak memadai merupakan salah satu faktor penting yang berkontribusi terhadap kecelakaan pelayaran yang berkaitan dengan pergeseran muatan dan kehilangan stabilitas kapal. Oleh karena itu, IMO menerbitkan *Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing (CSS Code)* sebagai standar internasional yang mengatur prinsip-prinsip penataan dan pengikatan muatan untuk mencegah pergeseran selama pelayaran. Penerapan prosedur pengamanan muatan yang sesuai standar tidak hanya bertujuan melindungi muatan dari kerusakan, tetapi juga menjadi bagian penting dalam pengendalian risiko keselamatan kapal, perlindungan awak kapal, dan pencegahan kecelakaan di laut (International Maritime Organization, 2021).

Secara konseptual, pengamanan muatan merupakan bagian integral dari sistem manajemen keselamatan kapal (*ship safety management system*). Pengamanan yang baik tidak hanya bertujuan mencegah kerusakan muatan, tetapi juga mempertahankan stabilitas kapal, melindungi awak kapal, menjaga kelancaran operasi penangkapan ikan, serta meminimalkan risiko kecelakaan laut. Oleh karena itu, pengamanan muatan harus direncanakan sejak tahap pemuatan, penataan (*stowage*), hingga selama kapal melakukan operasi penangkapan dan pelayaran.

4.3 Pengamanan Muatan pada Kapal Perikanan

Berbeda dengan kapal niaga yang umumnya mengangkut muatan dalam bentuk barang dagangan yang relatif homogen, kapal perikanan memiliki karakteristik muatan yang lebih beragam. Muatan pada kapal perikanan terdiri atas berbagai komponen yang mendukung kegiatan penangkapan ikan dan sebagian besar ditempatkan pada area dek maupun ruang penyimpanan yang terbatas. Kondisi ini menyebabkan risiko pergeseran muatan menjadi lebih tinggi, terutama ketika kapal beroperasi di perairan dengan gelombang besar.

Dalam perspektif stabilitas kapal, setiap muatan yang ditempatkan di atas kapal memiliki massa dan posisi tertentu yang akan memengaruhi distribusi berat secara keseluruhan. Distribusi berat tersebut menentukan letak pusat gravitasi kapal (center of gravity), yang merupakan salah satu parameter utama dalam analisis stabilitas. Apabila terjadi perpindahan muatan dari posisi semula, maka pusat gravitasi kapal juga akan bergeser sehingga dapat menyebabkan perubahan karakteristik stabilitas. Pada kondisi tertentu, pergeseran muatan dapat mengurangi nilai tinggi metasentrum (metacentric height atau GM), meningkatkan sudut kemiringan kapal, bahkan menyebabkan hilangnya kemampuan kapal untuk kembali tegak setelah mengalami oleng.

Risiko pergeseran muatan pada kapal perikanan cenderung lebih tinggi dibandingkan kapal niaga karena sebagian besar kegiatan operasional dilakukan di laut terbuka dengan kondisi lingkungan yang dinamis. Gelombang, angin, arus, dan manuver kapal selama proses pencarian,

pengejaran, serta penarikan alat tangkap menghasilkan percepatan yang bekerja pada seluruh komponen muatan. Selain itu, proses penangkapan ikan sering kali menyebabkan perubahan distribusi berat secara terus-menerus seiring bertambahnya hasil tangkapan yang diangkut ke atas kapal. Kondisi ini menjadikan pengamanan muatan sebagai kegiatan yang harus dilakukan secara berkelanjutan selama operasi berlangsung.

Pada kapal perikanan, pengamanan muatan tidak hanya mencakup hasil tangkapan ikan, tetapi juga meliputi berbagai perlengkapan dan kebutuhan operasional kapal, antara lain:

4.3.1 Pengamanan Alat Tangkap

Alat tangkap merupakan salah satu komponen utama yang harus diamankan dengan baik di atas kapal perikanan karena umumnya memiliki ukuran besar, berat yang signifikan, serta sering ditempatkan pada area dek yang secara langsung memengaruhi distribusi berat kapal. Berbagai jenis alat tangkap yang digunakan dalam industri perikanan, seperti jaring insang (gillnet), pukat cincin (purse seine), rawai (longline), bubu (fish trap), dan alat tangkap lainnya, memiliki karakteristik fisik yang berbeda-beda baik dari segi berat, volume, maupun metode pengoperasiannya. Perkembangan industri perikanan global menunjukkan bahwa penggunaan alat tangkap sangat dipengaruhi oleh spesies target, kondisi lingkungan perairan, serta skala usaha penangkapan yang dilakukan. Oleh karena itu, setiap jenis alat tangkap memiliki kebutuhan penanganan dan pengamanan yang berbeda selama berada di atas kapal (Heidrich *et al.*, 2022; Jaleel & Smith, 2022; Widodo *et al*., 2023).

Pada kapal perikanan modern maupun tradisional, alat tangkap sering kali menjadi salah satu komponen dengan kontribusi berat terbesar setelah hasil tangkapan dan bahan bakar. Kapal pukat cincin skala industri yang beroperasi untuk menangkap tuna, misalnya, menggunakan jaring dengan ukuran dan berat yang sangat besar sehingga memerlukan ruang penyimpanan khusus serta sistem penanganan mekanis yang memadai. Sebaliknya, kapal perikanan skala kecil umumnya menggunakan jaring insang, rawai, atau pancing ulur yang memiliki berat lebih ringan, tetapi tetap berpotensi memengaruhi keseimbangan kapal apabila penempatannya tidak direncanakan dengan baik. Variasi karakteristik alat tangkap tersebut mengharuskan adanya pengelolaan penyimpanan dan pengamanan yang mempertimbangkan aspek stabilitas kapal sejak tahap perencanaan operasi hingga pelaksanaan penangkapan ikan (Dereli *et al*., 2022; Salmarika *et al*., 2022; Sepúlveda *et al*., 2023).

Dari sudut pandang stabilitas kapal, alat tangkap merupakan bagian dari muatan yang dapat menyebabkan perubahan distribusi berat secara signifikan. Selama operasi penangkapan, posisi alat tangkap dapat berubah akibat proses penurunan (setting), penarikan (hauling), maupun penyimpanan kembali di atas kapal. Setiap perubahan posisi tersebut akan memengaruhi letak pusat gravitasi kapal dan dapat mengubah karakteristik stabilitasnya. Oleh karena itu, penanganan alat tangkap harus dilakukan secara hati-hati karena setiap fase operasional berpotensi menghasilkan perubahan distribusi beban yang memengaruhi keseimbangan kapal (Ceballos-Santos *et al*., 2023; Prayitno, 2022).

Penempatan alat tangkap yang tidak tepat dapat meningkatkan tinggi pusat gravitasi kapal (center of gravity) dan mengurangi stabilitas transversal. Risiko ini akan semakin besar apabila alat tangkap ditempatkan pada posisi yang tinggi di atas dek atau tidak terdistribusi secara merata terhadap garis tengah kapal. Selain itu, alat tangkap yang tidak diamankan dengan baik berpotensi mengalami pergeseran akibat gerakan kapal seperti oleng (rolling), angguk (pitching), maupun gerakan kombinasi yang terjadi selama pelayaran. Pergeseran tersebut dapat menyebabkan perubahan distribusi beban secara mendadak yang menghasilkan momen oleng tambahan dan meningkatkan risiko kemiringan kapal. Dalam kondisi cuaca buruk, perpindahan alat tangkap yang tidak terkendali bahkan dapat menyebabkan hilangnya stabilitas dan meningkatkan kemungkinan terjadinya kecelakaan kapal.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa beban alat tangkap memiliki hubungan yang sangat erat dengan tingkat stabilitas kapal perikanan. Beban alat tangkap telah diidentifikasi sebagai salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap kasus terbaliknya kapal penangkap ikan, sementara faktor lingkungan seperti angin dan gelombang sering kali berperan sebagai pemicu yang memperburuk kondisi yang telah tidak stabil. Pada kapal pukat cincin yang beroperasi di Jepang dan Vietnam, misalnya, kondisi stabilitas terendah terjadi selama proses pengoperasian alat tangkap, terutama ketika jaring berada di dalam air dan menghasilkan beban tarik yang besar terhadap kapal. Pada fase ini, kapal mengalami pengurangan stabilitas yang signifikan sehingga risiko terbalik menjadi lebih tinggi

dibandingkan pada saat pelayaran normal (Nguyen T.H. & Hirakawa, 2023).

Selain dipengaruhi oleh berat alat tangkap itu sendiri, besarnya beban yang bekerja pada kapal selama operasi penangkapan juga dipengaruhi oleh berbagai faktor dinamis, seperti pergerakan ikan yang tertangkap, kecepatan arus laut, kondisi gelombang, serta percepatan gerakan oleng kapal. Interaksi berbagai faktor tersebut menyebabkan nilai beban alat tangkap (fishing gear load) berfluktuasi secara dinamis dan sering kali sulit diprediksi secara akurat. Akibatnya, kondisi stabilitas kapal selama operasi penangkapan bersifat lebih kompleks dibandingkan kondisi saat kapal berlayar tanpa melakukan aktivitas penangkapan (Nguyen T.H. & Hirakawa, 2023).

Berdasarkan pertimbangan tersebut, pengamanan alat tangkap harus menjadi bagian integral dari sistem keselamatan kapal perikanan. Alat tangkap harus disusun secara teratur, ditempatkan sedekat mungkin dengan garis tengah kapal, dan diikat menggunakan sistem pengikat yang memiliki kekuatan sesuai dengan berat, dimensi, serta karakteristik operasional alat tangkap yang digunakan. Selain itu, pemeriksaan rutin terhadap sistem pengikatan, titik tambat, dan peralatan penunjang lainnya perlu dilakukan untuk memastikan bahwa alat tangkap tetap berada pada posisi yang aman selama pelayaran maupun operasi penangkapan. Dengan penerapan sistem pengamanan yang baik, risiko pergeseran muatan dapat diminimalkan sehingga stabilitas kapal tetap terjaga dan keselamatan operasi penangkapan ikan dapat ditingkatkan.

4.3.2 Pengamanan Peralatan Dek

Peralatan dek merupakan salah satu komponen penting dalam operasional kapal perikanan karena berfungsi mendukung berbagai kegiatan penangkapan, penanganan alat tangkap, serta pemindahan hasil tangkapan. Peralatan yang termasuk dalam kategori ini antara lain winch, crane, roller, power block, katrol, drum penggulung jaring, dan berbagai perlengkapan mekanis lainnya yang digunakan selama operasi penangkapan ikan. Sebagian besar peralatan tersebut memiliki massa yang relatif besar dan umumnya ditempatkan pada area dek atau pada posisi yang lebih tinggi dibandingkan dasar kapal. Oleh karena itu, keberadaan peralatan dek memberikan pengaruh langsung terhadap distribusi berat dan posisi pusat gravitasi (center of gravity) kapal (Abdillah *et al*., 2026; Firdhaus *et al*., 2023; Prayitno, 2022).

Dari perspektif stabilitas kapal, posisi pusat gravitasi merupakan salah satu parameter utama yang menentukan kemampuan kapal untuk mempertahankan keseimbangan dan menghasilkan momen penegak ketika mengalami kemiringan. Stabilitas kapal sangat dipengaruhi oleh distribusi massa seluruh komponen yang berada di atas kapal, termasuk peralatan dek. Penempatan peralatan dengan berat yang besar pada posisi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kenaikan pusat gravitasi vertikal kapal (vertical center of gravity), sehingga nilai tinggi metasentrum (metacentric height atau GM) menjadi berkurang. Kondisi tersebut dapat menurunkan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah mengalami gerakan oleng dan pada akhirnya meningkatkan risiko gangguan stabilitas selama pelayaran

maupun operasi penangkapan ikan (Abdillah *et al*., 2026; Firdhaus *et al.*, 2023; Prayitno, 2022).

Selain memengaruhi posisi pusat gravitasi, peralatan dek juga dapat menjadi sumber beban dinamis selama operasi penangkapan. Pada saat alat tangkap diturunkan atau ditarik kembali ke atas kapal, berbagai peralatan mekanis bekerja dengan menerima beban yang berubah-ubah sesuai kondisi operasi. Beban tersebut dapat menghasilkan gaya tambahan yang bekerja pada struktur kapal dan memengaruhi distribusi beban secara keseluruhan. Oleh karena itu, desain, penempatan, dan pengamanan peralatan dek harus mempertimbangkan tidak hanya berat statis peralatan, tetapi juga beban dinamis yang muncul selama pengoperasian.

Untuk menjamin keselamatan operasional, peralatan dek harus dipasang secara permanen pada struktur kapal melalui fondasi yang dirancang khusus untuk menahan beban kerja yang diterima selama operasi. Fondasi tersebut berfungsi meneruskan beban dari peralatan ke struktur utama kapal sehingga gaya yang timbul dapat didistribusikan secara aman tanpa menyebabkan kerusakan lokal pada konstruksi kapal (Javadi *et al*., 2024). Sistem pemasangan harus dirancang agar mampu menahan kombinasi beban vertikal, horizontal, maupun beban akibat getaran yang terjadi selama kapal beroperasi di laut.

Pengamanan peralatan dek umumnya dilakukan menggunakan sistem baut, mur, pelat pengikat, serta sambungan las yang memiliki kekuatan sesuai dengan kapasitas beban peralatan yang dipasang. Dalam berbagai sistem struktur kapal, sambungan baut dan mur merupakan metode yang umum digunakan untuk menghubungkan komponen struktural maupun memasang peralatan pada

fondasi pendukungnya. Sebagaimana dijelaskan oleh Marques (2022), penggunaan baut dan mur merupakan bagian penting dari sistem sambungan pada struktur kapal, termasuk pada komponen-komponen yang menerima beban operasional secara berulang. Oleh karena itu, kualitas material, ukuran sambungan, serta metode pemasangan harus memenuhi persyaratan teknis yang berlaku agar mampu menjamin keamanan selama masa operasi kapal.

Keandalan sistem pengamanan peralatan dek sangat bergantung pada kondisi fondasi, baut pengikat, sambungan las, serta struktur penopang yang digunakan. Pemeriksaan dan pemeliharaan secara berkala perlu dilakukan untuk mendeteksi adanya korosi, retakan, deformasi, atau kelonggaran pada sambungan yang dapat mengurangi kekuatan sistem pengikatan. Kegagalan pada salah satu komponen tersebut berpotensi menyebabkan peralatan terlepas atau bergeser dari posisi semula. Pergeseran peralatan yang memiliki massa besar tidak hanya dapat mengubah distribusi berat kapal secara tiba-tiba, tetapi juga menimbulkan momen oleng tambahan yang dapat mengurangi stabilitas kapal dan meningkatkan risiko kecelakaan.

Selain berdampak pada stabilitas kapal, kegagalan pengamanan peralatan dek juga dapat membahayakan keselamatan awak kapal yang bekerja di area operasi penangkapan. Peralatan yang terlepas akibat gelombang, getaran, atau beban kerja yang tinggi dapat menyebabkan cedera serius, kerusakan alat tangkap, hingga gangguan terhadap kelancaran operasi penangkapan ikan. Oleh karena itu, pengamanan peralatan dek harus dipandang sebagai bagian integral dari sistem keselamatan kapal perikanan yang

bertujuan menjaga stabilitas kapal, melindungi awak kapal, serta menjamin keberlangsungan operasi penangkapan secara aman dan efisien.

Dengan demikian, pengelolaan peralatan dek tidak hanya berfokus pada aspek fungsionalitas operasional, tetapi juga harus memperhatikan pengaruhnya terhadap distribusi berat kapal dan karakteristik stabilitas secara keseluruhan. Penempatan yang tepat, fondasi yang kuat, sistem pengikatan yang andal, serta program inspeksi dan pemeliharaan yang berkelanjutan merupakan faktor-faktor penting untuk memastikan bahwa peralatan dek dapat beroperasi secara aman tanpa menimbulkan risiko terhadap stabilitas dan keselamatan kapal perikanan.

4.3.3 Es dan Bahan Pengawet

Es merupakan media pendingin yang paling banyak digunakan dalam kegiatan penanganan hasil tangkapan di atas kapal perikanan karena efektif menjaga kesegaran ikan sejak ditangkap hingga didaratkan. Menurut FAO (2005), penggunaan es yang cukup mampu menurunkan suhu hasil tangkapan secara cepat sehingga dapat memperlambat aktivitas bakteri, reaksi enzimatis, dan proses deteriorasi yang menyebabkan penurunan mutu ikan. Pada sebagian besar kapal perikanan tradisional dan semi-modern, es disimpan dalam bentuk curah (bulk ice) atau dicampurkan langsung dengan hasil tangkapan di dalam palka penyimpanan. Sistem penyimpanan ini dipilih karena relatif sederhana, ekonomis, dan mampu memberikan kontak pendinginan yang merata pada seluruh bagian ikan. Namun demikian, keberadaan es dalam jumlah besar juga harus diperhatikan dari aspek keselamatan dan stabilitas kapal

karena merupakan bagian dari muatan yang memiliki massa dan dapat mengalami perpindahan selama kapal beroperasi (FAO, 2005; Gudmundsson, 2009).

Dari perspektif stabilitas kapal, massa es yang tersimpan di dalam palka merupakan bagian dari distribusi berat kapal yang secara langsung memengaruhi posisi pusat gravitasi (center of gravity). Menurut Hind (1982), setiap perubahan posisi muatan, termasuk es dan hasil tangkapan, akan menyebabkan perubahan distribusi berat yang dapat memengaruhi keseimbangan kapal. Ketika kapal mengalami gerakan oleng (rolling), angguk (pitching), maupun gerakan lain akibat pengaruh gelombang laut, massa es yang tidak tertahan dengan baik dapat bergeser dari posisi semula. Pergeseran tersebut menghasilkan momen oleng tambahan yang dapat menyebabkan kemiringan kapal dan mengurangi kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak.

Risiko terhadap stabilitas akan semakin meningkat apabila es mulai mencair dan menghasilkan akumulasi air bebas di dalam ruang penyimpanan. Rawson dan Tupper (2001) menjelaskan bahwa keberadaan cairan yang dapat bergerak bebas di dalam suatu ruang akan menimbulkan fenomena free surface effect, yaitu kondisi ketika permukaan cairan berpindah mengikuti gerakan kapal sehingga menyebabkan terjadinya kenaikan semu pusat gravitasi (virtual rise of the center of gravity). Akibatnya, nilai tinggi metasentrum (metacentric height atau GM) berkurang dan kemampuan kapal untuk menghasilkan momen penegak (righting moment) menjadi lebih kecil. Barrass dan Derrett (2012) menegaskan bahwa free surface effect merupakan salah satu penyebab utama berkurangnya stabilitas kapal, terutama pada kondisi muatan sebagian (partially loaded

condition), karena perpindahan massa cairan dapat menghasilkan momen yang memperbesar sudut oleng kapal.

Pada kapal perikanan, fenomena tersebut memiliki tingkat risiko yang lebih tinggi karena jumlah hasil tangkapan dan es di dalam palka terus berubah selama operasi penangkapan berlangsung. Gudmundsson (2009) menjelaskan bahwa banyak kasus kecelakaan kapal perikanan berkaitan dengan perubahan distribusi muatan yang tidak terkendali, termasuk akibat perpindahan hasil tangkapan, es, maupun cairan di dalam ruang penyimpanan. Oleh karena itu, pengelolaan ruang penyimpanan ikan harus mempertimbangkan aspek kualitas hasil tangkapan sekaligus aspek stabilitas kapal.

Untuk meminimalkan risiko tersebut, ruang penyimpanan es dan hasil tangkapan harus dirancang berdasarkan prinsip-prinsip stabilitas kapal yang baik. Penggunaan sekat melintang (transverse bulkhead), sekat memanjang, penboard, maupun kompartemen penyimpanan terpisah dapat membatasi perpindahan massa es dan air lelehan sehingga efek permukaan bebas dapat dikurangi secara signifikan. Selain itu, penataan es dan hasil tangkapan secara merata di dalam palka akan membantu menjaga distribusi berat kapal tetap seimbang. Menurut FAO (2005) dan Gudmundsson (2009), sistem penyimpanan yang terorganisasi tidak hanya meningkatkan keselamatan kapal, tetapi juga memperbaiki efisiensi penyimpanan, memudahkan proses bongkar muat hasil tangkapan, serta mempertahankan kualitas ikan selama pelayaran.

Dengan demikian, pengamanan es pada kapal perikanan tidak hanya berfungsi sebagai upaya mempertahankan mutu hasil tangkapan, tetapi juga merupakan bagian integral dari

manajemen stabilitas kapal. Pengendalian perpindahan massa es dan air lelehan melalui desain ruang penyimpanan yang tepat menjadi salah satu langkah penting untuk menjaga keselamatan pelayaran, mencegah penurunan stabilitas akibat free surface effect, dan mendukung keberhasilan operasi penangkapan ikan secara berkelanjutan.

4.3.4 Pengamanan Bahan Bakar dan Pelumas

Tangki bahan bakar dan pelumas merupakan komponen vital dalam operasional kapal perikanan karena berfungsi sebagai penyedia energi bagi mesin induk, mesin bantu, generator, sistem hidrolik, serta berbagai peralatan penunjang kegiatan penangkapan ikan. Selain berperan dalam menjamin keberlangsungan operasi kapal, keberadaan bahan bakar dan pelumas juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik stabilitas kapal. Dari sudut pandang arsitektur dan stabilitas kapal, cairan yang tersimpan di dalam tangki merupakan beban dinamis yang dapat berubah posisi mengikuti gerakan kapal akibat pengaruh gelombang, angin, arus, maupun manuver selama pelayaran. Kondisi ini menjadikan pengelolaan tangki bahan bakar sebagai salah satu aspek penting dalam menjaga keselamatan kapal.

Apabila tangki berada dalam kondisi tidak terisi penuh maupun tidak kosong (slack tank condition), permukaan cairan di dalam tangki akan bergerak bebas mengikuti kemiringan kapal. Fenomena ini dikenal sebagai free surface effect, yaitu kondisi ketika perpindahan massa cairan menyebabkan terjadinya kenaikan semu pusat gravitasi kapal (virtual rise of center of gravity). Akibatnya, nilai tinggi metasentrum (metacentric height atau GM) akan berkurang sehingga kemampuan kapal untuk menghasilkan momen

penegak (righting moment) menjadi lebih kecil. Semakin besar luas permukaan bebas cairan dalam tangki, semakin besar pula pengaruhnya terhadap penurunan stabilitas kapal. Oleh karena itu, free surface effect merupakan salah satu faktor yang harus diperhitungkan secara cermat dalam analisis stabilitas kapal, terutama pada kapal perikanan yang mengalami perubahan konsumsi bahan bakar secara terus-menerus selama operasi penangkapan (Rawson & Tupper, 2001; Barrass & Derrett , 2012).

Pada kapal perikanan, risiko akibat free surface effect dapat menjadi lebih kompleks karena perubahan volume bahan bakar berlangsung secara bertahap seiring lamanya operasi di laut. Berkurangnya volume bahan bakar menyebabkan bertambahnya ruang kosong di dalam tangki sehingga peluang terjadinya perpindahan cairan menjadi lebih besar. Jika kondisi ini tidak diantisipasi dengan baik, maka stabilitas kapal dapat menurun secara signifikan, terutama ketika kapal menghadapi cuaca buruk atau mengalami gerakan oleng yang besar. Dalam beberapa kasus, kombinasi antara free surface effect, distribusi muatan yang tidak merata, dan pengaruh gelombang dapat meningkatkan risiko kemiringan berlebihan hingga kehilangan stabilitas.

Untuk meminimalkan dampak tersebut, tangki bahan bakar umumnya dirancang dengan dilengkapi sekat peredam (swash bulkhead) baik secara memanjang maupun melintang. Sekat ini berfungsi membatasi pergerakan cairan sehingga energi gerakan fluida dapat diredam dan luas permukaan bebas yang efektif menjadi lebih kecil. Selain meningkatkan stabilitas kapal, penggunaan swash bulkhead juga membantu mengurangi beban dinamis yang bekerja pada struktur tangki, memperpanjang umur konstruksi, serta meningkatkan

keselamatan operasional kapal. Oleh karena itu, desain tangki bahan bakar yang tepat dan pengelolaan volume bahan bakar yang baik merupakan bagian penting dari sistem keselamatan kapal perikanan modern dan menjadi salah satu faktor yang berkontribusi terhadap terjaganya stabilitas kapal selama pelayaran dan operasi penangkapan ikan (Rawson & Tupper, 2001; Barrass & Derrett , 2012; SNAME, 2021).

4.3.5 Pengamanan Perbekalan dan Logistik Kapal

Perbekalan dan logistik merupakan bagian dari muatan kapal yang memiliki peranan penting dalam mendukung keberlangsungan operasi penangkapan ikan, terutama pada kapal perikanan yang melakukan pelayaran dalam jangka waktu menengah hingga panjang. Perbekalan tersebut meliputi bahan makanan, air tawar, perlengkapan keselamatan, obat-obatan, suku cadang, peralatan kerja, perlengkapan navigasi, serta berbagai kebutuhan operasional lainnya yang diperlukan oleh awak kapal selama berada di laut. Meskipun secara individual berat masing-masing komponen relatif lebih kecil dibandingkan alat tangkap, bahan bakar, maupun hasil tangkapan, akumulasi seluruh perbekalan dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap berat total kapal dan kondisi pembebanannya. Oleh karena itu, perbekalan harus diperlakukan sebagai bagian integral dari sistem muatan kapal yang dapat memengaruhi distribusi berat dan karakteristik stabilitas kapal (Rawson & Tupper, 2001; Barrass & Derrett , 2012).

Dari perspektif stabilitas kapal, setiap perubahan distribusi berat akan memengaruhi posisi pusat gravitasi (center of gravity) dan keseimbangan kapal secara keseluruhan. Penempatan perbekalan yang tidak teratur,

terkonsentrasi pada satu sisi kapal, atau disimpan pada posisi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan perubahan trim maupun kemiringan (list) yang berpotensi mengurangi stabilitas transversal kapal. Gudmundsson (2009) menjelaskan bahwa pengelolaan seluruh beban di atas kapal, termasuk perbekalan dan perlengkapan operasional, merupakan faktor penting dalam menjaga stabilitas kapal perikanan, terutama pada kapal berukuran kecil yang lebih sensitif terhadap perubahan distribusi berat.

Selain itu, jumlah perbekalan akan terus berubah selama pelayaran akibat konsumsi awak kapal. Pengurangan persediaan air tawar, bahan makanan, dan kebutuhan logistik lainnya menyebabkan perubahan kondisi pembebanan (loading condition) kapal secara bertahap. Menurut Rawson dan Tupper (2001), perubahan berat yang terjadi selama operasi harus diperhitungkan dalam evaluasi stabilitas karena dapat memengaruhi posisi pusat gravitasi dan karakteristik keseimbangan kapal. Pada kapal perikanan yang melakukan operasi penangkapan dalam waktu lama, perubahan kondisi pembebanan tersebut dapat menjadi cukup signifikan sehingga memerlukan pengelolaan muatan yang cermat.

Kajian yang dilakukan oleh Caamaño *et al*. (2022) menunjukkan bahwa kondisi pembebanan aktual selama operasi sering kali berbeda dengan kondisi yang diasumsikan pada tahap perancangan kapal. Perubahan distribusi berat akibat konsumsi perbekalan, penggunaan bahan bakar, dan bertambahnya hasil tangkapan dapat memengaruhi parameter stabilitas secara nyata. Temuan ini menegaskan pentingnya pemantauan distribusi muatan selama pelayaran

untuk memastikan bahwa kapal tetap berada dalam batas stabilitas yang aman.

Perbekalan yang tidak diamankan dengan baik juga berpotensi bergeser akibat gerakan kapal seperti oleng (rolling), angguk (pitching), maupun getaran selama operasi. Pergeseran muatan internal tersebut dapat menghasilkan momen oleng tambahan yang mengganggu keseimbangan kapal. Penelitian Domeh *et al*. (2023) mengenai analisis risiko kehilangan stabilitas pada kapal perikanan menunjukkan bahwa distribusi muatan yang tidak terkendali, termasuk perpindahan muatan internal selama operasi, merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan risiko kecelakaan akibat hilangnya stabilitas kapal.

Untuk menjamin keselamatan pelayaran, perbekalan dan logistik kapal harus ditempatkan pada ruang penyimpanan yang telah direncanakan sejak tahap desain kapal. Barang-barang dengan berat relatif besar sebaiknya ditempatkan sedekat mungkin dengan dasar kapal dan dekat garis tengah (centerline) untuk meminimalkan pengaruhnya terhadap posisi pusat gravitasi. Selain itu, seluruh perbekalan perlu diamankan menggunakan rak penyimpanan, sekat, kotak logistik, maupun sistem pengikat yang memadai agar tidak mengalami perpindahan selama kapal beroperasi. Menurut SNAME (2021), pengaturan distribusi muatan yang baik merupakan salah satu prinsip utama dalam menjaga stabilitas kapal dan keselamatan operasional.

Dengan demikian, pengamanan perbekalan dan logistik tidak hanya bertujuan menjaga ketersediaan kebutuhan awak kapal selama pelayaran, tetapi juga merupakan bagian penting dari manajemen stabilitas kapal. Pengelolaan yang baik terhadap perbekalan, baik dari aspek penempatan

maupun pengamanannya, akan membantu mempertahankan keseimbangan kapal, mengurangi risiko gangguan stabilitas, serta mendukung keselamatan dan keberhasilan operasi penangkapan ikan secara keseluruhan.

4.3.6 Kontainer atau Wadah Penyimpanan Hasil Tangkapan

Kontainer, palka, peti ikan, keranjang, fish box, maupun berbagai wadah penyimpanan hasil tangkapan merupakan bagian dari sistem muatan yang harus diamankan dengan baik selama pelayaran dan operasi penangkapan ikan. Fungsi utama wadah penyimpanan tersebut adalah menjaga kualitas hasil tangkapan, memudahkan proses penanganan ikan, serta mendukung efisiensi kegiatan bongkar muat. Namun demikian, dari perspektif stabilitas kapal, seluruh wadah penyimpanan tersebut merupakan komponen muatan yang memiliki massa dan dapat memengaruhi distribusi berat kapal. Oleh karena itu, penempatan dan pengamanannya harus direncanakan secara cermat agar tidak menimbulkan gangguan terhadap keseimbangan kapal (Rawson & Tupper, 2001; Barrass & Derrett , 2012).

Selama pelayaran, kapal akan mengalami berbagai gerakan akibat pengaruh gelombang dan kondisi laut, seperti oleng (rolling), angguk (pitching), dan gerakan menyamping (swaying). Gerakan tersebut menghasilkan gaya inersia yang bekerja pada seluruh muatan, termasuk wadah penyimpanan hasil tangkapan. Apabila kontainer, peti ikan, atau keranjang tidak diamankan dengan baik, maka wadah tersebut dapat bergeser dari posisi semula. Pergeseran muatan ini akan menyebabkan perubahan distribusi berat secara tiba-tiba yang berpotensi menghasilkan kemiringan kapal (list) dan

mengurangi kemampuan kapal untuk mempertahankan stabilitasnya. Menurut Gudmundsson (2009), pergeseran muatan merupakan salah satu penyebab utama berkurangnya stabilitas kapal perikanan, terutama pada kapal berukuran kecil dan menengah yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan distribusi beban.

Selain memengaruhi stabilitas transversal, perpindahan wadah penyimpanan juga dapat mengubah distribusi beban memanjang (longitudinal loading distribution) sehingga memengaruhi kondisi trim kapal. Ketidakseimbangan distribusi muatan dapat menyebabkan peningkatan hambatan kapal, menurunkan efisiensi operasional, serta meningkatkan risiko kecelakaan pada kondisi cuaca buruk. Oleh karena itu, prinsip dasar pengamanan muatan mensyaratkan bahwa seluruh wadah penyimpanan harus ditempatkan sedekat mungkin dengan garis tengah kapal (centerline) dan disusun secara merata untuk menjaga keseimbangan pembebanan (SNAME, 2021).

Perkembangan teknologi penanganan hasil tangkapan pada kapal perikanan modern telah mendorong penggunaan sistem penyimpanan yang lebih aman dan efisien. Pada kapal-kapal modern, kontainer penyimpanan umumnya dilengkapi dengan sistem penguncian mekanis (mechanical locking system), rel pengarah, maupun titik pengikatan (lashing points) yang dirancang untuk menahan gaya akselerasi akibat gerakan kapal. Sistem ini memungkinkan wadah penyimpanan tetap berada pada posisi yang telah ditentukan meskipun kapal beroperasi dalam kondisi laut yang tidak tenang. Menurut Petacco dan Gualeni (2023), kemampuan kapal mempertahankan stabilitas operasional sangat dipengaruhi oleh efektivitas sistem pengamanan muatan

terhadap beban dinamis yang timbul akibat gelombang dan gerakan kapal.

Temuan yang serupa juga dilaporkan oleh Domeh *et al.* (2023), yang menunjukkan bahwa banyak kasus kehilangan stabilitas pada kapal perikanan berkaitan dengan perubahan distribusi muatan selama operasi. Oleh karena itu, selain menggunakan sistem penguncian yang memadai, pemeriksaan berkala terhadap kondisi kontainer, sistem pengikat, dan struktur penyangga juga perlu dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh wadah penyimpanan tetap aman selama pelayaran.

Dengan demikian, pengamanan kontainer dan wadah penyimpanan hasil tangkapan tidak hanya bertujuan menjaga kualitas ikan dan efisiensi penanganan muatan, tetapi juga merupakan bagian penting dari sistem keselamatan kapal. Penempatan yang tepat, distribusi beban yang seimbang, serta penggunaan sistem penguncian yang andal akan membantu mempertahankan stabilitas kapal, mengurangi risiko kemiringan akibat pergeseran muatan, dan mendukung keselamatan operasi penangkapan ikan secara keseluruhan

4.3.7 Mesin Bantu dan Peralatan Operasi Penangkapan

Mesin bantu merupakan salah satu komponen penting dalam sistem operasional kapal perikanan karena berfungsi mendukung berbagai aktivitas penangkapan, pengolahan, penyimpanan, dan distribusi energi di atas kapal. Peralatan yang termasuk dalam kategori ini antara lain generator listrik, kompresor, pompa hidrolik, pompa pendingin, unit refrigerasi, serta berbagai peralatan mekanis yang digunakan untuk mengoperasikan alat tangkap. Selain memiliki massa yang relatif besar, mesin bantu juga menghasilkan beban

dinamis berupa getaran dan gaya siklik selama beroperasi. Oleh karena itu, pemasangan mesin bantu harus dirancang secara khusus agar mampu menjamin keselamatan, keandalan operasi, dan stabilitas kapal (Rawson & Tupper, 2001; SNAME, 2021).

Dari perspektif stabilitas dan keselamatan kapal, mesin bantu harus dipasang secara permanen pada fondasi (foundation) yang memiliki kekuatan struktural memadai untuk menahan beban statis maupun dinamis selama operasi. Fondasi berfungsi meneruskan beban mesin ke struktur utama kapal sehingga tegangan yang timbul dapat terdistribusi secara merata. Apabila sistem pemasangan tidak dirancang dengan baik, getaran yang dihasilkan mesin dapat menyebabkan kelonggaran baut pengikat, kerusakan sambungan, hingga pergeseran posisi mesin. Pergeseran tersebut tidak hanya berpotensi mengganggu kinerja peralatan, tetapi juga dapat mengubah distribusi berat kapal dan memengaruhi stabilitas operasionalnya (Barrass & Derrett , 2012).

Selain menggunakan sistem pengikatan yang kuat, pemasangan mesin bantu juga harus dilengkapi dengan perangkat peredam getaran (vibration isolator) untuk mengurangi transmisi getaran ke struktur kapal. Menurut Zhang et al. (2022), pengendalian getaran pada sistem permesinan kapal berperan penting dalam meningkatkan umur pakai peralatan, mengurangi risiko kerusakan struktural, serta meningkatkan keselamatan operasi. Penelitian yang dilakukan oleh Liu *et al*. (2024) juga menunjukkan bahwa sistem fondasi dan isolasi getaran yang dirancang dengan baik mampu menurunkan amplitudo getaran pada peralatan kapal secara signifikan, sehingga

mengurangi risiko kegagalan mekanis selama operasi jangka panjang.

Dalam operasional kapal perikanan, kondisi lingkungan yang dinamis akibat gelombang dan gerakan kapal menyebabkan mesin bantu menerima kombinasi beban yang lebih kompleks dibandingkan instalasi di darat. Oleh karena itu, inspeksi berkala terhadap baut pengikat, fondasi, sambungan pipa, dan perangkat peredam getaran perlu dilakukan untuk memastikan seluruh sistem tetap berada dalam kondisi aman. Dengan demikian, pengamanan mesin bantu tidak hanya bertujuan menjaga keandalan peralatan, tetapi juga merupakan bagian penting dari sistem keselamatan kapal yang berkontribusi terhadap stabilitas, kenyamanan operasi, dan keberhasilan kegiatan penangkapan ikan.

4.4 Prinsip Dasar Pengamanan Muatan

Prinsip-prinsip dasar pengamanan muatan (cargo securing principles) merupakan fondasi penting dalam manajemen keselamatan kapal yang bertujuan menjamin bahwa seluruh muatan tetap berada pada posisi yang aman selama pelayaran dan operasi penangkapan ikan. Pengamanan muatan tidak hanya berorientasi pada perlindungan barang atau hasil tangkapan dari kerusakan, tetapi juga berperan langsung dalam menjaga stabilitas kapal, keselamatan awak kapal, serta keberlangsungan operasi penangkapan. Menurut Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing (CSS Code) yang diterbitkan oleh International Maritime Organization, setiap muatan yang diangkut harus ditata, didistribusikan, dan diamankan

sedemikian rupa sehingga mampu menahan gaya-gaya yang timbul akibat gerakan kapal selama pelayaran, termasuk gaya akibat rolling, pitching, heaving, yawing, serta percepatan yang disebabkan oleh gelombang dan manuver kapal (International Maritime Organization, 2021).

Pada kapal perikanan, penerapan prinsip pengamanan muatan memiliki tingkat kompleksitas yang lebih tinggi dibandingkan kapal niaga karena jenis dan jumlah muatan dapat berubah secara dinamis selama operasi. Muatan kapal perikanan tidak hanya terdiri atas hasil tangkapan, tetapi juga meliputi alat tangkap, bahan bakar, es, perbekalan, mesin bantu, dan berbagai peralatan operasional lainnya. Perubahan jumlah hasil tangkapan, konsumsi bahan bakar, maupun penggunaan perbekalan selama pelayaran menyebabkan distribusi berat kapal berubah secara bertahap. Oleh karena itu, prinsip pengamanan muatan harus mempertimbangkan perubahan kondisi pembebanan (loading condition) sepanjang operasi agar stabilitas kapal tetap berada dalam batas aman (Gudmundsson, 2009; SNAME, 2021).

Dari sudut pandang stabilitas kapal, prinsip utama pengamanan muatan adalah menjaga distribusi berat tetap seimbang terhadap sumbu memanjang dan melintang kapal. Muatan harus ditempatkan sedekat mungkin dengan dasar kapal dan garis tengah (centerline) untuk menghindari kenaikan pusat gravitasi (center of gravity) yang dapat mengurangi nilai tinggi metasentrum (metacentric height atau GM). Rawson dan Tupper (2001) menjelaskan bahwa distribusi muatan yang tidak tepat dapat menyebabkan perubahan trim, kemiringan (list), serta penurunan kemampuan kapal untuk menghasilkan momen penegak (righting moment). Kondisi tersebut dapat meningkatkan

risiko kehilangan stabilitas, terutama ketika kapal beroperasi pada cuaca buruk atau menerima beban dinamis akibat gelombang.

Pentingnya penerapan prinsip pengamanan muatan juga didukung oleh penelitian terbaru yang menunjukkan bahwa sebagian besar kecelakaan kapal perikanan berkaitan dengan masalah stabilitas yang dipicu oleh distribusi muatan yang tidak terkendali. Domeh *et al*. (2023) menemukan bahwa perubahan distribusi muatan dan pergeseran beban selama operasi merupakan faktor risiko utama yang berkontribusi terhadap kehilangan stabilitas pada kapal perikanan berukuran kecil dan menengah. Sementara itu, Caamaño *et al*. (2022) menegaskan bahwa kondisi pembebanan aktual di lapangan sering kali berbeda dengan kondisi yang diasumsikan pada tahap desain kapal, sehingga pengelolaan dan pengamanan muatan secara berkelanjutan menjadi faktor penting dalam menjaga keselamatan operasional.

Dengan demikian, prinsip-prinsip dasar pengamanan muatan harus menjadi bagian integral dari sistem manajemen keselamatan kapal perikanan. Penerapan prinsip tersebut tidak hanya bertujuan mencegah pergeseran muatan dan kerusakan barang, tetapi juga menjaga stabilitas kapal, melindungi awak kapal, serta mengurangi risiko kecelakaan selama pelayaran dan operasi penangkapan ikan.

4.4.1 Distribusi Berat yang Merata

Distribusi berat yang merata (even weight distribution) merupakan prinsip paling mendasar dalam pengamanan muatan karena berhubungan langsung dengan keseimbangan, stabilitas, dan keselamatan kapal. Setiap muatan yang dimuat ke atas kapal harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga

berat total muatan tersebar secara proporsional pada seluruh bagian kapal sesuai dengan kapasitas dan karakteristik konstruksinya. Tujuan utama dari distribusi berat yang merata adalah mencegah terjadinya konsentrasi beban pada area tertentu yang dapat mengganggu keseimbangan kapal, menurunkan stabilitas, serta meningkatkan tegangan lokal pada struktur kapal (Rawson & Tupper, 2001; SNAME, 2021). Dalam ilmu stabilitas kapal, distribusi berat yang baik akan membantu mempertahankan posisi pusat gravitasi (center of gravity) pada lokasi yang aman sehingga kapal tetap memiliki kemampuan menghasilkan momen penegak (righting moment) yang memadai ketika mengalami kemiringan.

Distribusi berat harus diperhatikan baik dalam arah melintang (transverse distribution) maupun arah memanjang (longitudinal distribution). Distribusi melintang berkaitan dengan keseimbangan beban antara sisi kiri (port side) dan sisi kanan (starboard side) kapal. Apabila muatan terkonsentrasi pada salah satu sisi, pusat gravitasi kapal akan bergeser ke arah tersebut sehingga menyebabkan kemiringan permanen yang dikenal sebagai list. Kondisi list dapat mengurangi kenyamanan kerja awak kapal, mengganggu operasional penangkapan, serta mengurangi cadangan stabilitas (stability reserve) yang dimiliki kapal. Menurut Barrass dan Derrett (2012), kemiringan permanen yang tidak dikoreksi dapat menyebabkan penurunan kemampuan kapal untuk menahan pengaruh gelombang dan angin, sehingga meningkatkan risiko kecelakaan terutama pada kondisi cuaca buruk. Selain itu, penelitian Domeh et al. (2023) menunjukkan bahwa distribusi beban yang tidak seimbang merupakan salah satu faktor dominan yang berkontribusi terhadap kasus

kehilangan stabilitas pada kapal perikanan berukuran kecil dan menengah.

Selain distribusi melintang, distribusi memanjang juga memiliki peranan penting dalam menjaga performa pelayaran dan integritas struktur kapal. Penempatan muatan yang berlebihan pada bagian haluan akan menyebabkan kondisi trim by bow, sedangkan akumulasi muatan pada bagian buritan akan menyebabkan trim by stern. Kedua kondisi tersebut dapat mengubah karakteristik hidrodinamika kapal, meningkatkan hambatan gerak (resistance), mengurangi efisiensi propulsi, serta meningkatkan konsumsi bahan bakar. Rawson dan Tupper (2001) menjelaskan bahwa kondisi trim yang berlebihan dapat memengaruhi performa olah gerak kapal dan menurunkan efisiensi operasional secara keseluruhan. Selain itu, distribusi beban memanjang yang tidak seimbang dapat menyebabkan peningkatan gaya geser (shear force) dan momen lentur (bending moment) pada lambung kapal yang dalam jangka panjang berpotensi mempercepat kerusakan struktur (SNAME, 2021).

Pada kapal penangkap ikan, penerapan distribusi berat yang merata memiliki tingkat kompleksitas yang lebih tinggi dibandingkan kapal niaga karena jumlah dan posisi muatan terus berubah selama operasi penangkapan berlangsung. Hasil tangkapan diperoleh secara bertahap dan biasanya ditempatkan dalam palka penyimpanan sesuai kapasitas yang tersedia. Apabila hasil tangkapan terkonsentrasi pada satu ruang penyimpanan atau satu sisi kapal, maka distribusi berat dapat berubah secara signifikan dan memengaruhi stabilitas kapal. Gudmundsson (2009) menegaskan bahwa perubahan distribusi muatan selama operasi penangkapan merupakan salah satu faktor yang harus diawasi secara terus-menerus

untuk menjaga keselamatan kapal perikanan. Temuan tersebut diperkuat oleh penelitian Caamaño et al. (2022) yang menunjukkan bahwa kondisi pembebanan aktual kapal selama operasi sering kali berbeda dari kondisi yang diasumsikan pada tahap perancangan, sehingga pemantauan distribusi muatan secara berkala menjadi aspek penting dalam manajemen stabilitas kapal.

Oleh karena itu, awak kapal harus secara berkala melakukan pemeriksaan dan penataan ulang muatan untuk memastikan distribusi berat tetap seimbang sepanjang operasi. Hasil tangkapan yang baru dimuat ke dalam palka harus ditempatkan secara merata pada seluruh ruang penyimpanan yang tersedia, sedangkan perubahan berat akibat konsumsi bahan bakar, es, dan perbekalan juga perlu diperhitungkan dalam pengelolaan pembebanan kapal. Dengan demikian, distribusi berat yang merata tidak hanya berfungsi menjaga stabilitas kapal, tetapi juga berkontribusi terhadap efisiensi operasional, keandalan struktur, keselamatan awak kapal, dan keberhasilan operasi penangkapan ikan secara keseluruhan.

4.4.2 Penempatan Muatan Berat di Bagian Bawah

Prinsip dasar berikutnya dalam pengamanan muatan adalah menempatkan muatan yang memiliki massa besar sedekat mungkin dengan dasar kapal atau lunas (*keel*). Prinsip ini didasarkan pada teori stabilitas kapal yang menyatakan bahwa posisi pusat gravitasi (*center of gravity*) merupakan salah satu faktor utama yang menentukan kemampuan kapal untuk mempertahankan keseimbangan dan menghasilkan momen penegak (*righting moment*) ketika mengalami kemiringan. Semakin rendah posisi pusat gravitasi kapal,

semakin besar kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah menerima gangguan akibat gelombang, angin, maupun perpindahan muatan (Barrass & Derrett, 2012; Rawson & Tupper, 2001).

Dalam ilmu stabilitas kapal, posisi pusat gravitasi dinyatakan melalui nilai KG (*Keel to Center of Gravity*), yaitu jarak vertikal antara lunas kapal dan pusat gravitasi. Peningkatan nilai KG akan menyebabkan berkurangnya nilai tinggi metasentrum (*metacentric height* atau GM), yang merupakan indikator utama stabilitas awal kapal. Sebaliknya, penurunan nilai KG akan meningkatkan GM sehingga kemampuan kapal untuk menghasilkan momen pemulih menjadi lebih baik. Oleh karena itu, penempatan muatan berat pada bagian bawah kapal merupakan salah satu metode paling efektif untuk mempertahankan stabilitas dan mengurangi risiko kehilangan keseimbangan selama pelayaran (SNAME, 2021).

Penerapan prinsip ini sangat penting pada kapal penangkap ikan yang membawa berbagai komponen berat seperti bahan bakar, mesin bantu, sistem refrigerasi, gulungan tali, jaring, kontainer hasil tangkapan, serta muatan ikan yang terus bertambah selama operasi penangkapan. Penempatan peralatan berat pada geladak atas atau di atas rumah geladak tanpa perencanaan yang baik dapat meningkatkan posisi pusat gravitasi secara signifikan dan menyebabkan kapal menjadi lebih rentan terhadap gerakan oleng (*rolling*). Gudmundsson (2009) menjelaskan bahwa peningkatan pusat gravitasi akibat penempatan muatan yang tidak tepat merupakan salah satu faktor yang sering berkontribusi terhadap penurunan stabilitas kapal perikanan.

Penelitian terbaru oleh Domeh et al. (2023) menunjukkan bahwa perubahan distribusi berat dan peningkatan pusat gravitasi merupakan faktor risiko utama dalam berbagai kasus kehilangan stabilitas pada kapal perikanan skala kecil dan menengah. Hasil penelitian tersebut menegaskan pentingnya pengendalian posisi muatan selama operasi untuk menjaga parameter stabilitas tetap berada dalam batas aman. Selain itu, Caamaño et al. (2022) menemukan bahwa kondisi pembebanan aktual selama operasi penangkapan sering kali berbeda dari kondisi desain, sehingga penataan muatan secara berkala menjadi bagian penting dari manajemen keselamatan kapal.

Selain meningkatkan stabilitas, penempatan muatan berat pada bagian bawah kapal juga membantu mengurangi amplitudo gerakan kapal akibat gelombang dan meningkatkan kenyamanan kerja awak kapal. Dengan demikian, prinsip penempatan muatan berat sedekat mungkin dengan lunas kapal tidak hanya berfungsi mempertahankan stabilitas, tetapi juga mendukung keselamatan pelayaran, efisiensi operasional, dan keandalan kapal selama melakukan kegiatan penangkapan ikan.

4.4.3 Meminimalkan Ruang Kosong (*Void space*)

Prinsip penting dalam pengamanan muatan adalah meminimalkan keberadaan ruang kosong (*void space*) di dalam palka maupun ruang penyimpanan lainnya. Ruang kosong yang berlebihan memungkinkan muatan bergerak secara bebas akibat pengaruh gerakan kapal seperti *rolling* (oleng), *pitching* (angguk), *heaving* (naik-turun), serta percepatan yang ditimbulkan oleh gelombang, angin, dan manuver kapal. Pergerakan muatan tersebut dapat

menyebabkan perubahan distribusi berat secara dinamis yang berpotensi menggeser pusat gravitasi (*center of gravity*) kapal, mengurangi nilai tinggi metasentrum (*metacentric height* atau GM), dan pada akhirnya menurunkan stabilitas kapal (Barrass & Derrett, 2012; Rawson & Tupper, 2001). Penelitian terkini juga menunjukkan bahwa perubahan distribusi massa di dalam kapal merupakan salah satu faktor yang berkontribusi terhadap meningkatnya kerentanan kapal terhadap kehilangan stabilitas (*loss of stability*), terutama pada kapal perikanan yang beroperasi dalam kondisi laut yang dinamis (Domeh et al., 2023; Zhang & Li, 2024).

Pada kapal penangkap ikan, risiko pergeseran muatan akibat ruang kosong relatif lebih besar dibandingkan kapal niaga karena hasil tangkapan umumnya memiliki bentuk, ukuran, dan karakteristik yang tidak seragam. Selama operasi penangkapan, ikan dimuat secara bertahap ke dalam palka sehingga sering terbentuk rongga atau celah di antara tumpukan muatan. Apabila ruang kosong tersebut cukup besar, massa hasil tangkapan dapat bergeser ke salah satu sisi ketika kapal mengalami oleng. Pergeseran ini menyebabkan perubahan distribusi berat yang dapat menimbulkan kemiringan (*list*), mengurangi kemampuan kapal menghasilkan momen penegak (*righting moment*), dan meningkatkan risiko kehilangan stabilitas. Gudmundsson (2009) menegaskan bahwa pergeseran muatan merupakan salah satu penyebab utama berkurangnya stabilitas kapal perikanan. Temuan tersebut didukung oleh penelitian Umeda *et al*. (2023) yang menunjukkan bahwa perpindahan massa di dalam kapal dapat menghasilkan momen kemiringan tambahan yang secara langsung memengaruhi stabilitas

transversal kapal ketika beroperasi pada kondisi gelombang tertentu.

Untuk mengurangi risiko tersebut, hasil tangkapan harus ditata secara rapat dan merata sehingga ruang gerak muatan dapat diminimalkan. Dalam praktik penanganan hasil tangkapan, penggunaan es secara berlapis tidak hanya berfungsi menjaga suhu penyimpanan dan mempertahankan mutu ikan, tetapi juga membantu mengisi rongga di antara muatan sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya pergeseran. Selain itu, pemasangan sekat pembatas (*shifting boards*) atau partisi pada palka dapat membagi ruang penyimpanan menjadi beberapa kompartemen yang lebih kecil sehingga pergerakan muatan dapat dibatasi secara efektif. Menurut SNAME (2021), pembagian ruang penyimpanan merupakan salah satu metode yang efektif untuk menjaga distribusi berat tetap seimbang dan mengurangi risiko perpindahan muatan selama pelayaran.

Pentingnya pengendalian ruang kosong juga semakin ditekankan dalam perkembangan kajian stabilitas kapal modern. Kriteria Stabilitas Utuh Generasi Kedua (*Second Generation Intact Stability Criteria*) yang dikembangkan oleh IMO menempatkan pengaruh perpindahan massa internal dan respons kapal terhadap gelombang sebagai faktor penting dalam evaluasi keselamatan kapal. Kim *et al*. (2024) menunjukkan bahwa perubahan distribusi muatan dan massa internal dapat meningkatkan kerentanan kapal perikanan terhadap fenomena kehilangan stabilitas pada kondisi operasional tertentu. Selain itu, Caamaño et al. (2022) menemukan bahwa kondisi pembebanan aktual selama operasi sering kali berbeda dari kondisi yang diasumsikan pada tahap desain kapal, sehingga pengelolaan ruang

penyimpanan dan distribusi muatan harus dilakukan secara berkelanjutan. Penelitian Farhum *et al*. (2026) juga memperlihatkan bahwa perpindahan massa cair maupun muatan yang tidak terkendali dapat memengaruhi parameter stabilitas secara signifikan, terutama pada kapal perikanan berukuran kecil dan menengah.

Dengan demikian, upaya meminimalkan ruang kosong di dalam palka bukan hanya bertujuan mencegah pergeseran muatan dan menjaga mutu hasil tangkapan, tetapi juga merupakan bagian integral dari sistem keselamatan kapal. Penataan muatan yang rapat, penggunaan es yang tepat, pemasangan sekat pembatas, serta pengawasan distribusi berat secara berkala akan membantu mempertahankan stabilitas kapal, melindungi awak kapal, dan mendukung keberhasilan operasi penangkapan ikan secara keseluruhan.

4.4.4 Penggunaan Sistem Pengikatan yang Memadai

Sistem pengikatan (*securing system*) merupakan salah satu elemen terpenting dalam pengamanan muatan karena berfungsi mempertahankan posisi muatan agar tetap stabil selama kapal beroperasi di laut. Dalam pelayaran, muatan tidak hanya menerima beban statis akibat gravitasi, tetapi juga mengalami berbagai gaya dinamis yang timbul akibat gerakan kapal seperti rolling (oleng), pitching (angguk), heaving (naik-turun), yawing, surging, dan swaying. Gerakan-gerakan tersebut menghasilkan gaya inersia, gaya geser (shear force), gaya angkat (lifting force), serta gaya sentrifugal yang dapat menyebabkan muatan bergeser, terguling, atau bahkan terlepas dari tempat penyimpanannya apabila tidak diamankan dengan baik. Pergeseran muatan dapat mengubah distribusi berat kapal, menggeser pusat gravitasi (center of

gravity), dan mengurangi kemampuan kapal menghasilkan momen penegak (righting moment), sehingga berpotensi menurunkan stabilitas dan meningkatkan risiko kecelakaan pelayaran (Barrass & Derrett, 2012; IMO, 2021).

Menurut Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing (CSS Code), sistem pengamanan muatan harus dirancang untuk mampu menahan seluruh gaya yang diperkirakan bekerja pada muatan selama kondisi operasi normal maupun kondisi cuaca buruk. Kemampuan sistem pengikatan dalam menahan gaya-gaya tersebut harus mempertimbangkan karakteristik muatan, posisi penempatan, distribusi beban, serta respons gerakan kapal terhadap gelombang. Dalam konteks stabilitas kapal, kegagalan sistem pengikatan dapat menyebabkan terjadinya cargo shifting yang mengakibatkan perpindahan pusat gravitasi dan penurunan stabilitas kapal (Rawson & Tupper, 2001).

Pemilihan sistem pengikatan harus disesuaikan dengan jenis dan karakteristik muatan yang diamankan. Muatan yang memiliki massa besar dan bentuk kaku, seperti mesin bantu, generator, power block, drum bahan bakar, kontainer hasil tangkapan, maupun peralatan penangkapan ikan, umumnya memerlukan sistem pengikatan berupa rantai, kawat baja (wire rope), baut pengunci, atau perangkat pengunci mekanis (mechanical locking devices) yang memiliki kekuatan tarik tinggi. Sebaliknya, muatan yang relatif ringan dapat diamankan menggunakan tali sintetis atau sabuk pengikat (lashing straps) dengan kapasitas beban yang sesuai. Setiap perangkat pengikat harus memiliki nilai safe working load (SWL) yang mampu menahan beban maksimum yang

mungkin terjadi selama pelayaran sehingga faktor keselamatan tetap terjaga (Barrass & Derrett, 2012).

Selain jenis pengikat, penentuan titik pengikatan (lashing points) juga merupakan aspek yang sangat penting. Titik pengikatan harus terhubung dengan struktur utama kapal yang memiliki kekuatan memadai untuk menahan beban yang diteruskan oleh sistem pengikat. Penempatan titik pengikatan pada struktur yang lemah dapat menyebabkan konsentrasi tegangan (stress concentration), deformasi lokal, bahkan kegagalan struktur ketika kapal menghadapi kondisi gelombang ekstrem. Oleh karena itu, desain sistem pengikatan harus memperhatikan jalur transfer beban (load path) dari muatan menuju struktur kapal sehingga seluruh gaya yang bekerja dapat disalurkan secara aman tanpa menimbulkan kerusakan konstruksi (SNAME, 2021).

Pada kapal penangkap ikan, sistem pengikatan memiliki peranan yang lebih kompleks dibandingkan kapal niaga karena sebagian besar muatan berada di atas dek dan mengalami perubahan posisi selama operasi penangkapan berlangsung. Alat tangkap seperti jaring, rawai, bubu, pelampung, gulungan tali, peti ikan, dan kontainer hasil tangkapan harus diamankan secara memadai untuk mencegah pergeseran ketika kapal menerima pengaruh gelombang. Gudmundsson (2009) menjelaskan bahwa banyak kasus kehilangan stabilitas pada kapal perikanan diawali oleh perubahan distribusi berat akibat pergeseran peralatan atau muatan yang tidak diamankan dengan baik. Risiko tersebut semakin besar ketika kapal beroperasi pada cuaca buruk atau saat melakukan manuver penangkapan yang menghasilkan percepatan tambahan.

Berbagai penelitian terkini semakin menegaskan hubungan erat antara sistem pengikatan, distribusi muatan, dan keselamatan kapal perikanan. Caamaño *et al*. (2022) menunjukkan bahwa kondisi pembebanan aktual selama operasi sering kali berbeda dari kondisi yang diasumsikan pada tahap desain, sehingga distribusi muatan harus dipantau secara berkelanjutan. Domeh *et al*. (2023) mengidentifikasi pergeseran muatan sebagai salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap kehilangan stabilitas pada kapal perikanan berukuran kecil dan menengah. Penelitian Umeda *et al*. (2023) juga menunjukkan bahwa perpindahan massa di atas dek maupun di dalam ruang penyimpanan dapat menghasilkan momen kemiringan tambahan yang memperburuk respons kapal terhadap gelombang.

Perkembangan penelitian terbaru yang mengacu pada Second Generation Intact Stability Criteria IMO semakin memperkuat pentingnya pengendalian pergerakan muatan. Kim *et al*. (2024) menemukan bahwa kapal perikanan kecil memiliki kerentanan yang lebih tinggi terhadap fenomena surf-riding dan broaching apabila distribusi massa di atas kapal berubah akibat pergeseran muatan. Hasil penelitian Zhang dan Li (2024) menunjukkan bahwa perubahan distribusi berat dapat meningkatkan kerentanan kapal terhadap fenomena pure loss of stability, terutama ketika kapal beroperasi pada gelombang tinggi. Temuan tersebut diperkuat oleh Zhang *et al*. (2025) yang menyatakan bahwa perubahan distribusi massa dan karakteristik gelombang secara simultan dapat meningkatkan risiko kehilangan stabilitas pada kapal perikanan. Selain itu, penelitian Farhum *et al*. (2026) menunjukkan bahwa perpindahan massa cair dalam tangki dapat menghasilkan momen oleng tambahan

yang secara signifikan memengaruhi stabilitas kapal. Secara konseptual, fenomena tersebut memiliki mekanisme yang serupa dengan pergeseran muatan padat yang tidak diamankan dengan baik.

Oleh karena itu, sistem pengikatan harus dilengkapi dengan program inspeksi dan pemeliharaan yang dilakukan secara berkala. Pemeriksaan meliputi kondisi rantai, kawat baja, tali pengikat, baut pengunci, titik pengikatan, dan struktur pendukung untuk memastikan tidak terjadi korosi, keausan, deformasi, atau kerusakan lainnya yang dapat menurunkan kemampuan sistem dalam menahan beban. Dengan penerapan sistem pengikatan yang dirancang sesuai standar internasional, didukung oleh pemeliharaan yang baik dan pengawasan distribusi muatan secara berkelanjutan, risiko pergeseran muatan dapat diminimalkan sehingga stabilitas kapal tetap terjaga dan keselamatan operasi penangkapan ikan dapat ditingkatkan.

4.5 Pengamanan Jenis-Jenis Muatan pada Kapal Penangkap Ikan

Pemahaman mengenai jenis-jenis muatan yang terdapat pada kapal penangkap ikan merupakan aspek penting dalam perencanaan pemuatan, pengaturan distribusi beban, serta pengelolaan stabilitas kapal. Dalam ilmu cargo handling and stowage, setiap jenis muatan memiliki karakteristik fisik, perilaku, dan pengaruh yang berbeda terhadap keseimbangan kapal. Oleh karena itu, identifikasi dan klasifikasi muatan menjadi langkah awal yang harus dilakukan sebelum menyusun rencana pemuatan (loading plan) maupun sistem

pengamanan muatan (cargo securing plan). Menurut Rawson dan Tupper (2001), distribusi muatan yang tepat merupakan salah satu faktor utama yang menentukan kondisi trim, stabilitas, dan integritas struktur kapal selama pelayaran. Pada kapal penangkap ikan, kompleksitas pengelolaan muatan relatif lebih tinggi dibandingkan kapal niaga karena sebagian muatan mengalami perubahan jumlah, berat, dan posisi selama operasi penangkapan berlangsung (Gudmundsson, 2009).

Secara umum, muatan pada kapal penangkap ikan dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama, yaitu muatan tetap (fixed load) dan muatan berubah (variable load). Klasifikasi ini didasarkan pada karakteristik perubahan berat dan distribusinya selama pelayaran. Muatan tetap merupakan komponen yang berat dan posisinya relatif konstan selama operasi kapal, sedangkan muatan berubah merupakan komponen yang berat maupun distribusinya dapat berubah akibat aktivitas operasional. Perbedaan karakteristik tersebut menyebabkan masing-masing jenis muatan memiliki pengaruh yang berbeda terhadap stabilitas kapal sehingga memerlukan pendekatan pengelolaan yang berbeda pula (Barrass & Derrett, 2012).

Muatan tetap (fixed load) mencakup seluruh komponen yang secara permanen atau semi permanen terpasang pada kapal dan tidak mengalami perubahan signifikan selama pelayaran. Kelompok ini meliputi mesin induk, generator, mesin bantu, tangki tetap, fondasi peralatan, winch, crane, power block, roller, serta berbagai perlengkapan penangkapan yang dipasang secara permanen pada struktur kapal. Meskipun beratnya relatif konstan, posisi muatan tetap sangat memengaruhi letak pusat gravitasi kapal (center of

gravity) dan nilai tinggi metasentrum (metacentric height atau GM). Penempatan komponen berat pada posisi yang terlalu tinggi dapat meningkatkan nilai KG (Keel to Center of Gravity) dan menurunkan stabilitas kapal (SNAME, 2021). Oleh karena itu, aspek distribusi muatan tetap harus menjadi pertimbangan utama pada tahap desain maupun modifikasi kapal.

Sementara itu, muatan berubah (variable load) merupakan kelompok muatan yang berat maupun distribusinya dapat berubah selama operasi berlangsung. Muatan ini meliputi bahan bakar, pelumas, air tawar, es, perbekalan, hasil tangkapan, umpan hidup, serta berbagai perlengkapan operasional yang digunakan secara bertahap selama pelayaran. Di antara seluruh jenis muatan berubah, hasil tangkapan merupakan komponen yang paling dinamis karena jumlahnya terus bertambah selama operasi penangkapan berlangsung. Perubahan jumlah dan distribusi hasil tangkapan dapat menyebabkan perubahan posisi pusat gravitasi kapal yang berpengaruh langsung terhadap karakteristik stabilitasnya (Gudmundsson, 2009).

Dari perspektif stabilitas kapal, muatan berubah memiliki tingkat risiko yang lebih tinggi dibandingkan muatan tetap karena berpotensi menimbulkan perubahan distribusi berat secara terus-menerus. Domeh *et al*. (2023) menunjukkan bahwa perubahan distribusi muatan merupakan salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap kehilangan stabilitas pada kapal perikanan skala kecil dan menengah. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Caamaño *et al*. (2022) yang menemukan bahwa kondisi pembebanan aktual selama operasi sering kali berbeda dari kondisi yang diasumsikan pada tahap desain kapal. Akibatnya, parameter

stabilitas yang dihitung pada tahap perancangan dapat berubah secara signifikan selama operasi berlangsung apabila distribusi muatan tidak dikelola dengan baik.

Selain perubahan jumlah muatan, pergeseran muatan (cargo shifting) juga menjadi faktor penting yang memengaruhi stabilitas kapal perikanan. Penelitian Umeda *et al*. (2023) menunjukkan bahwa perpindahan massa di atas dek maupun di dalam ruang penyimpanan dapat menghasilkan momen kemiringan tambahan yang memperburuk respons kapal terhadap gelombang. Fenomena serupa juga dilaporkan oleh Farhum *et al*. (2026), yang menunjukkan bahwa perpindahan massa cair pada tangki umpan hidup dapat menimbulkan efek permukaan bebas (free surface effect) yang menurunkan stabilitas kapal secara signifikan.

Perkembangan penelitian terbaru mengenai perilaku kapal dalam gelombang semakin menegaskan pentingnya pengelolaan jenis dan distribusi muatan. Kim *et al*. (2024) menunjukkan bahwa perubahan distribusi massa dapat meningkatkan kerentanan kapal perikanan terhadap fenomena surf-riding dan broaching. Sementara itu, Zhang dan Li (2024) menemukan bahwa distribusi berat yang tidak terkendali dapat meningkatkan risiko pure loss of stability ketika kapal beroperasi pada kondisi gelombang tinggi. Penelitian lanjutan oleh Zhang *et al*. (2025) juga menunjukkan bahwa interaksi antara karakteristik lambung kapal, distribusi muatan, dan kondisi gelombang merupakan faktor yang sangat menentukan tingkat keselamatan operasional kapal perikanan.

Berdasarkan karakteristik tersebut, pengelolaan muatan pada kapal penangkap ikan tidak hanya bertujuan untuk mengoptimalkan kapasitas angkut, tetapi juga untuk menjaga stabilitas dan keselamatan kapal sepanjang operasi penangkapan. Oleh karena itu, setiap jenis muatan harus diidentifikasi, diklasifikasikan, dan dikelola sesuai dengan karakteristiknya masing-masing agar perubahan distribusi berat yang terjadi selama pelayaran dapat dikendalikan. Dengan demikian, pemahaman yang baik mengenai jenis-jenis muatan merupakan dasar penting dalam penyusunan rencana pemuatan, sistem pengamanan muatan, dan manajemen stabilitas kapal perikanan secara keseluruhan..

4.5.1 Muatan Tetap (*Fixed Load*)

Muatan tetap (fixed load) merupakan seluruh komponen yang secara permanen menjadi bagian dari kapal dan tidak mengalami perubahan posisi maupun jumlah selama pelayaran dan operasi penangkapan ikan. Dalam kajian arsitektur kapal dan stabilitas, muatan tetap merupakan bagian utama dari berat kosong kapal (light ship weight), yaitu berat kapal lengkap beserta seluruh perlengkapan permanennya tanpa bahan bakar, air tawar, perbekalan, awak kapal, hasil tangkapan, maupun muatan operasional lainnya. Data berat kosong kapal menjadi dasar dalam penyusunan dokumen stabilitas dan perhitungan karakteristik hidrostatik kapal karena menentukan kondisi awal distribusi berat serta posisi pusat gravitasi kapal (Rawson & Tupper, 2001; Barrass & Derrett, 2012).

Komponen yang termasuk dalam kategori muatan tetap meliputi mesin induk (main engine), mesin bantu (auxiliary engine), generator listrik, sistem propulsi, poros baling-

baling, sistem perpipaan, tangki permanen, perlengkapan navigasi, sistem komunikasi, perlengkapan keselamatan, fondasi mesin, bangunan atas (superstructure), serta berbagai peralatan penangkapan yang dipasang secara permanen pada struktur kapal. Pada kapal penangkap ikan modern, kelompok ini juga mencakup radar, sonar, fish finder, sistem navigasi satelit (Global Navigation Satellite System/GNSS), mesin pendingin, power block, net hauler, line hauler, dan berbagai sistem otomasi penangkapan yang mendukung efisiensi operasi penangkapan ikan (Gudmundsson, 2009). Karena posisinya relatif tetap, pengaruh komponen-komponen tersebut terhadap distribusi berat kapal dapat dihitung dan diprediksi dengan tingkat ketelitian yang tinggi.

Dalam analisis stabilitas, muatan tetap memiliki peranan yang sangat penting karena menentukan posisi awal pusat gravitasi kapal (initial center of gravity). Posisi pusat gravitasi umumnya dinyatakan dengan nilai KG (Keel to Center of Gravity), yaitu jarak vertikal antara lunas kapal dan pusat gravitasi total kapal. Nilai KG akan memengaruhi tinggi metasentrum (metacentric height atau GM), yang merupakan parameter utama untuk menilai stabilitas awal kapal. Semakin tinggi posisi pusat gravitasi, semakin kecil nilai GM yang dimiliki kapal sehingga kemampuan kapal untuk menghasilkan momen penegak (righting moment) akan berkurang. Sebaliknya, pusat gravitasi yang lebih rendah akan meningkatkan nilai GM dan memperbaiki karakteristik stabilitas kapal (Rawson & Tupper, 2001; SNAME, 2021).

Meskipun muatan tetap tidak berpindah selama operasi normal, perubahan konfigurasi atau penambahan peralatan permanen dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap stabilitas kapal. Penggantian mesin induk dengan

kapasitas yang lebih besar, pemasangan generator tambahan, instalasi sistem pendingin mekanis, maupun penambahan peralatan elektronik pada anjungan dapat menyebabkan perubahan berat dan posisi pusat gravitasi. Oleh karena itu, setiap modifikasi permanen yang memengaruhi distribusi berat kapal harus dievaluasi melalui analisis stabilitas ulang dan, apabila diperlukan, dilakukan inclining test untuk memperoleh data berat dan titik berat kapal yang akurat (SNAME, 2021).

Pada kapal penangkap ikan modern, perkembangan teknologi penangkapan dan navigasi telah meningkatkan jumlah peralatan permanen yang dipasang di atas kapal. Gudmundsson (2009) menjelaskan bahwa penambahan peralatan pada bagian atas kapal (topside equipment) merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan posisi pusat gravitasi dan mengurangi margin stabilitas kapal perikanan, terutama pada kapal berukuran kecil dan menengah. Kondisi ini menjadi perhatian penting karena banyak kapal perikanan mengalami modifikasi operasional secara bertahap tanpa diikuti pembaruan dokumen stabilitas yang memadai.

Berbagai penelitian terbaru menunjukkan bahwa distribusi massa permanen memiliki pengaruh langsung terhadap perilaku kapal dalam gelombang dan tingkat keselamatan operasionalnya. Kim dan Yeo (2020) menunjukkan bahwa perubahan kondisi pembebanan dapat memengaruhi parameter stabilitas dan karakteristik gerakan kapal perikanan secara signifikan. Penelitian Caamaño *et al*. (2022) juga menemukan bahwa kondisi distribusi berat aktual pada kapal perikanan sering kali berbeda dari asumsi desain akibat perubahan konfigurasi peralatan dan pola

operasi kapal. Perbedaan tersebut dapat menyebabkan penyimpangan parameter stabilitas yang berpengaruh terhadap keselamatan pelayaran.

Kajian yang dilakukan oleh Domeh *et al*. (2023) menunjukkan bahwa kehilangan stabilitas pada kapal perikanan umumnya tidak disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan oleh kombinasi antara distribusi berat, kondisi lingkungan, dan karakteristik operasional kapal. Penelitian Umeda *et al*. (2023) lebih lanjut menunjukkan bahwa perubahan distribusi massa pada kapal dapat memperburuk respons gerakan kapal ketika beroperasi pada gelombang buritan (stern quartering seas), terutama apabila disertai fenomena masuknya air ke atas geladak (water on deck). Kondisi tersebut dapat mengurangi kemampuan kapal untuk mempertahankan keseimbangan dan meningkatkan risiko kecelakaan.

Perkembangan kajian stabilitas modern melalui Second Generation Intact Stability Criteria (SGISC) yang dikembangkan oleh IMO juga semakin menegaskan pentingnya pengelolaan distribusi massa kapal. Kim *et al*. (2024) menunjukkan bahwa distribusi berat yang kurang optimal dapat meningkatkan kerentanan kapal perikanan terhadap fenomena surf-riding dan broaching, yaitu kondisi ketika kapal kehilangan kendali akibat interaksi dengan gelombang. Selain itu, Zhang dan Li (2024) menemukan bahwa posisi pusat gravitasi yang lebih tinggi dapat meningkatkan risiko pure loss of stability, yaitu hilangnya stabilitas akibat perubahan bentuk bidang apung ketika kapal berada pada puncak atau lembah gelombang. Hasil tersebut diperkuat oleh penelitian Zhang *et al*. (2025) yang menunjukkan bahwa kombinasi antara distribusi berat,

bentuk lambung, dan karakteristik gelombang merupakan faktor dominan yang menentukan tingkat keselamatan kapal perikanan dalam berbagai kondisi operasi.

Dengan demikian, muatan tetap tidak hanya berfungsi sebagai komponen pembentuk berat kosong kapal, tetapi juga menjadi dasar utama dalam seluruh analisis stabilitas kapal perikanan. Ketepatan data berat tetap dan pengendalian setiap perubahan konfigurasi peralatan permanen sangat menentukan akurasi perhitungan stabilitas serta keselamatan operasi kapal. Oleh karena itu, setiap penambahan, pengurangan, atau modifikasi komponen tetap harus didokumentasikan dan dievaluasi secara teknis agar karakteristik stabilitas kapal tetap memenuhi persyaratan keselamatan yang ditetapkan oleh regulasi nasional maupun internasional.

4.5.2 Muatan Berubah (*Variable Load*)

Muatan berubah (*variable load*) merupakan seluruh komponen muatan yang jumlah, berat, maupun distribusinya mengalami perubahan selama pelayaran dan operasi penangkapan ikan. Berbeda dengan muatan tetap (*fixed load*) yang relatif konstan, muatan berubah bersifat dinamis sehingga dapat menyebabkan perubahan kondisi pembebanan kapal secara terus-menerus. Dalam kajian stabilitas kapal, muatan berubah merupakan faktor yang sangat penting karena secara langsung memengaruhi posisi pusat gravitasi (center of gravity), nilai tinggi metasentrum (metacentric height atau GM), trim kapal, serta kemampuan kapal menghasilkan momen penegak (righting moment) ketika mengalami kemiringan akibat gelombang atau gangguan eksternal lainnya (Rawson & Tupper, 2001; Barrass

& Derrett, 2012). Pada kapal penangkap ikan, perubahan muatan berlangsung secara simultan selama operasi, sehingga evaluasi stabilitas tidak dapat hanya didasarkan pada kondisi awal keberangkatan, tetapi harus mempertimbangkan seluruh tahapan operasi penangkapan (Gudmundsson, 2009).

Salah satu komponen utama muatan berubah adalah bahan bakar (fuel oil). Selama kapal beroperasi, bahan bakar akan terus berkurang akibat konsumsi mesin induk, generator listrik, sistem hidrolik, maupun mesin bantu lainnya. Berkurangnya volume bahan bakar menyebabkan perubahan berat kapal dan distribusi beban pada tangki penyimpanan. Selain itu, ketika tangki berada pada kondisi tidak penuh (slack tank), permukaan cairan di dalam tangki dapat bergerak bebas mengikuti gerakan kapal dan menimbulkan fenomena free surface effect. Fenomena ini menyebabkan kenaikan semu pusat gravitasi (virtual rise of center of gravity) sehingga nilai GM berkurang dan stabilitas kapal menurun (Barrass & Derrett, 2012; SNAME, 2021). Oleh karena itu, pengelolaan bahan bakar harus dilakukan dengan mempertimbangkan keseimbangan kapal, pola konsumsi bahan bakar, dan kondisi pengisian tangki selama pelayaran.

Komponen muatan berubah berikutnya adalah air tawar dan perbekalan awak kapal. Air tawar digunakan untuk kebutuhan konsumsi, sanitasi, dan operasional kapal, sedangkan perbekalan meliputi bahan makanan, perlengkapan dapur, serta kebutuhan logistik lainnya. Meskipun kontribusinya terhadap total berat kapal umumnya lebih kecil dibandingkan bahan bakar atau hasil tangkapan, konsumsi air tawar dan perbekalan secara bertahap tetap menyebabkan perubahan distribusi berat kapal. Pada kapal perikanan yang beroperasi dalam waktu lama atau melakukan

pelayaran jarak jauh, perubahan berat akibat penggunaan perbekalan dapat memengaruhi kondisi trim dan keseimbangan kapal sehingga perlu diperhitungkan dalam evaluasi stabilitas operasional (Gudmundsson, 2009).

Es yang digunakan untuk penyimpanan hasil tangkapan juga termasuk dalam kategori muatan berubah yang memiliki pengaruh signifikan terhadap distribusi berat kapal. Pada awal operasi penangkapan, jumlah es yang dibawa umumnya cukup besar untuk menjaga mutu hasil tangkapan selama pelayaran. Seiring berjalannya waktu, es akan digunakan untuk proses pendinginan ikan atau mencair akibat perpindahan panas dari lingkungan sekitar. Berkurangnya jumlah es menyebabkan perubahan distribusi berat di dalam palka penyimpanan. Apabila es telah mencair dan bercampur dengan air, kondisi tersebut juga dapat menimbulkan free surface effect yang berpotensi menurunkan stabilitas kapal apabila tidak dikendalikan dengan baik (Rawson & Tupper, 2001; Barrass & Derrett, 2012).

Komponen muatan berubah yang paling dominan pada kapal penangkap ikan adalah hasil tangkapan (catch load). Berbeda dengan kapal niaga yang umumnya berangkat dengan muatan penuh dan mengalami pengurangan muatan selama perjalanan, kapal perikanan justru mengalami peningkatan berat secara bertahap selama operasi penangkapan berlangsung. Setiap hasil tangkapan yang dimasukkan ke dalam palka akan mengubah distribusi berat dan posisi pusat gravitasi kapal. Apabila hasil tangkapan tidak ditata secara merata, dapat terjadi ketidakseimbangan distribusi beban yang menyebabkan kemiringan (list) maupun perubahan trim kapal. Oleh karena itu, penempatan hasil tangkapan harus dilakukan secara sistematis dan

mempertimbangkan prinsip distribusi berat yang merata (Gudmundsson, 2009).

Berbagai penelitian terbaru menunjukkan bahwa perubahan muatan selama operasi merupakan salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap keselamatan kapal perikanan. Kim dan Yeo (2020) menunjukkan bahwa perubahan kondisi pembebanan dapat menyebabkan perubahan parameter stabilitas secara signifikan, termasuk perubahan nilai GM dan karakteristik gerakan kapal. Hasil penelitian tersebut menegaskan bahwa evaluasi stabilitas harus dilakukan berdasarkan kondisi pembebanan aktual, bukan hanya berdasarkan kondisi desain kapal.

Temuan tersebut diperkuat oleh penelitian Caamaño *et al*. (2022) yang menunjukkan bahwa kondisi distribusi muatan aktual pada kapal perikanan sering kali berbeda dari asumsi yang digunakan pada tahap perancangan kapal. Perubahan distribusi muatan selama operasi menyebabkan terjadinya variasi karakteristik stabilitas yang perlu dipantau secara berkala. Domeh *et al*. (2023) juga mengidentifikasi bahwa perubahan distribusi berat dan pergeseran muatan merupakan faktor dominan yang berkontribusi terhadap kehilangan stabilitas pada kapal perikanan skala kecil dan menengah.

Selain pengaruh distribusi muatan, interaksi antara muatan berubah dan kondisi gelombang juga memiliki dampak yang signifikan terhadap keselamatan kapal. Penelitian Umeda *et al*. (2023) menunjukkan bahwa perpindahan massa di dalam kapal dapat menghasilkan momen kemiringan tambahan yang memperburuk respons kapal terhadap gelombang, khususnya pada kondisi stern quartering seas. Fenomena ini menjadi lebih berbahaya ketika

dikombinasikan dengan masuknya air ke atas geladak (water on deck) yang dapat meningkatkan berat bebas dan mengurangi cadangan stabilitas kapal.

Kajian yang dilakukan oleh Kim *et al*. (2024) berdasarkan Second Generation Intact Stability Criteria (SGISC) menunjukkan bahwa perubahan distribusi massa dapat meningkatkan kerentanan kapal perikanan terhadap fenomena surf-riding dan broaching, yaitu kondisi ketika kapal kehilangan kendali akibat interaksi dengan gelombang mengikuti arah geraknya. Sementara itu, Zhang dan Li (2024) menemukan bahwa perubahan distribusi berat dapat meningkatkan risiko pure loss of stability, yaitu hilangnya stabilitas akibat perubahan geometri bidang apung ketika kapal berada pada puncak maupun lembah gelombang. Hasil penelitian Zhang *et al*. (2025) lebih lanjut menunjukkan bahwa kombinasi antara distribusi berat, bentuk lambung, dan kondisi gelombang merupakan faktor yang sangat menentukan tingkat keselamatan kapal perikanan.

Penelitian terbaru oleh Farhum *et al*. (2026) juga memperlihatkan bahwa perubahan massa cair di dalam tangki umpan hidup dapat memengaruhi parameter stabilitas secara signifikan. Meskipun penelitian tersebut berfokus pada tangki umpan hidup, prinsip yang sama berlaku pada tangki bahan bakar, tangki air tawar, maupun ruang penyimpanan yang mengandung cairan bebas. Temuan ini semakin menegaskan pentingnya pengelolaan muatan berubah sebagai bagian integral dari manajemen stabilitas kapal perikanan.

Dengan demikian, muatan berubah merupakan komponen yang paling dinamis dalam sistem pembebanan kapal penangkap ikan dan memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap stabilitas kapal selama operasi berlangsung.

Pengelolaan bahan bakar, air tawar, es, perbekalan, dan hasil tangkapan harus dilakukan secara terencana dan berkelanjutan agar distribusi berat tetap seimbang. Pemantauan perubahan muatan secara berkala, penataan hasil tangkapan yang merata, serta pengendalian efek permukaan bebas pada tangki merupakan langkah penting untuk mempertahankan stabilitas, keselamatan awak kapal, dan keberhasilan operasi penangkapan ikan.

4.5.3 Muatan operasional (*operational load*)

Pada kapal penangkap ikan, alat tangkap merupakan salah satu jenis muatan operasional (*operational load*) yang memiliki karakteristik khusus karena berat, posisi, dan distribusinya dapat berubah selama operasi penangkapan berlangsung. Berbeda dengan muatan tetap yang posisinya relatif konstan, alat tangkap sering mengalami perpindahan dari ruang penyimpanan menuju area kerja di geladak (*working deck*) dan kembali ke lokasi penyimpanan setelah operasi selesai. Perubahan posisi tersebut menyebabkan terjadinya perubahan distribusi berat kapal yang dapat memengaruhi karakteristik stabilitas, trim, serta respons gerakan kapal terhadap gelombang (Rawson & Tupper, 2001; Barrass & Derrett, 2012).

Berbagai jenis alat tangkap yang digunakan pada kapal perikanan modern, seperti jaring lingkar (*purse seine*), rawai (*longline*), bubu (*fish trap*), pukat tarik (*trawl*), jaring insang (*gillnet*), dan berbagai alat bantu penangkapan lainnya, umumnya memiliki ukuran dan massa yang cukup besar. Selain itu, peralatan pendukung seperti power block, net hauler, line hauler, drum tali, roller, dan sistem hidrolik penarik jaring juga memberikan kontribusi yang signifikan

terhadap distribusi berat kapal. Menurut Gudmundsson (2009), perubahan posisi alat tangkap selama operasi merupakan salah satu faktor yang harus diperhitungkan dalam evaluasi stabilitas kapal perikanan karena dapat menggeser pusat gravitasi kapal secara sementara maupun permanen.

Dalam praktik operasi penangkapan, alat tangkap sering kali terkonsentrasi pada salah satu sisi kapal sesuai dengan metode penangkapan yang digunakan. Pada kapal purse seine, misalnya, proses penurunan dan penarikan jaring umumnya dilakukan pada sisi tertentu kapal sehingga terjadi konsentrasi beban yang dapat menghasilkan momen oleng tambahan (heeling moment). Kondisi serupa juga terjadi pada kapal longline dan trawl, di mana peralatan penangkapan, hasil tangkapan, serta gaya tarik alat tangkap dapat menyebabkan perubahan distribusi beban secara dinamis selama operasi berlangsung. Nguyen dan Hirakawa (2023) menunjukkan bahwa beban alat tangkap (fishing gear load) merupakan salah satu faktor dominan yang memengaruhi stabilitas kapal selama operasi penangkapan dan dapat menghasilkan perubahan momen oleng yang signifikan.

Pengaruh alat tangkap terhadap stabilitas kapal tidak hanya disebabkan oleh berat statisnya, tetapi juga oleh gaya dinamis yang timbul akibat interaksi antara alat tangkap, gerakan kapal, arus laut, dan gelombang. Ketika kapal mengalami gerakan rolling, pitching, dan heaving, alat tangkap yang tidak diamankan dengan baik dapat bergeser atau berpindah posisi sehingga menyebabkan perubahan pusat gravitasi secara tiba-tiba. Pergeseran tersebut berpotensi mengurangi nilai tinggi metasentrum (metacentric height atau GM), menurunkan kemampuan kapal

menghasilkan momen penegak (righting moment), dan dalam kondisi ekstrem dapat meningkatkan risiko kehilangan stabilitas (SNAME, 2021).

Berbagai penelitian terbaru menunjukkan bahwa perubahan distribusi muatan operasional merupakan salah satu penyebab utama kecelakaan pada kapal perikanan. Kim dan Yeo (2020) menemukan bahwa perubahan kondisi pembebanan selama operasi dapat menyebabkan perubahan signifikan pada parameter stabilitas kapal. Caamaño *et al*. (2022) juga menunjukkan bahwa kondisi distribusi berat aktual di lapangan sering kali berbeda dengan asumsi desain sehingga evaluasi stabilitas perlu dilakukan berdasarkan kondisi operasional nyata. Penelitian Domeh *et al*. (2023) mengidentifikasi bahwa kombinasi antara distribusi beban yang tidak seimbang, kondisi gelombang, dan aktivitas penangkapan merupakan faktor utama yang berkontribusi terhadap kehilangan stabilitas kapal perikanan.

Aspek perilaku kapal dalam gelombang juga menjadi faktor penting dalam pengelolaan alat tangkap sebagai muatan operasional. Umeda *et al*. (2023) menunjukkan bahwa perubahan distribusi massa di atas kapal dapat memperburuk respons gerakan kapal pada kondisi stern quartering seas dan meningkatkan risiko terjadinya kemiringan berlebihan. Kim *et al.* (2024) melalui penerapan Second Generation Intact Stability Criteria (SGISC) menunjukkan bahwa distribusi beban yang tidak terkendali dapat meningkatkan kerentanan kapal terhadap fenomena surf-riding dan broaching. Sementara itu, Zhang dan Li (2024) serta Zhang *et al*. (2025) menunjukkan bahwa perubahan distribusi berat dan posisi pusat gravitasi merupakan faktor yang berpengaruh terhadap

kerentanan kapal terhadap pure loss of stability pada kondisi gelombang tinggi.

Selain berdampak pada stabilitas kapal, alat tangkap yang tidak diamankan dengan baik juga dapat menimbulkan risiko keselamatan bagi awak kapal. Pergeseran jaring, tali, drum, maupun peralatan penangkapan lainnya dapat menyebabkan cedera serius, kerusakan peralatan, bahkan mengganggu proses evakuasi darurat. Oleh karena itu, seluruh alat tangkap harus ditempatkan pada lokasi penyimpanan yang dirancang secara khusus dan diamankan menggunakan sistem pengikat (securing system) yang memiliki kapasitas sesuai dengan berat dan karakteristik peralatan. Penggunaan titik pengikatan (lashing points), rantai pengaman, pengunci mekanis, serta inspeksi berkala terhadap sistem pengamanan merupakan bagian penting dari manajemen keselamatan operasi kapal perikanan (IMO, 2021).

Dengan demikian, alat tangkap tidak hanya berfungsi sebagai sarana utama dalam kegiatan penangkapan ikan, tetapi juga merupakan komponen muatan operasional yang memiliki pengaruh signifikan terhadap stabilitas dan keselamatan kapal. Pengelolaan distribusi alat tangkap, pengamanan selama pelayaran, serta pengawasan terhadap perubahan posisi peralatan selama operasi menjadi langkah penting untuk menjaga keseimbangan kapal dan mengurangi risiko kecelakaan di laut.

4.5.4 Muatan dinamis (*dynamic variable load*)

Hasil tangkapan (*catch load*) merupakan muatan utama pada kapal penangkap ikan dan sekaligus menjadi komponen muatan yang paling berpengaruh terhadap perubahan berat serta distribusi beban kapal selama operasi penangkapan

berlangsung. Berbeda dengan bahan bakar, air tawar, dan perbekalan yang cenderung berkurang selama pelayaran, jumlah hasil tangkapan terus bertambah seiring dengan keberhasilan operasi penangkapan hingga kapasitas palka tercapai atau kegiatan penangkapan dihentikan. Oleh karena itu, hasil tangkapan dikategorikan sebagai muatan dinamis (*dynamic variable load*) yang memiliki pengaruh langsung terhadap perubahan stabilitas kapal pada setiap tahap operasi penangkapan (Gudmundsson, 2009; Barrass & Derrett, 2012).

Dalam kajian stabilitas kapal, setiap penambahan hasil tangkapan akan menyebabkan perubahan berat benaman (displacement), posisi pusat gravitasi (center of gravity), trim, serta karakteristik oleng kapal. Apabila hasil tangkapan ditempatkan secara merata dan sedekat mungkin dengan dasar kapal, pengaruhnya terhadap stabilitas dapat dikendalikan. Sebaliknya, penumpukan hasil tangkapan pada satu sisi atau pada posisi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pergeseran pusat gravitasi yang meningkatkan kemiringan kapal (list) dan mengurangi kemampuan kapal menghasilkan momen penegak (righting moment) (Rawson & Tupper, 2001; SNAME, 2021).

Karakteristik hasil tangkapan sangat bergantung pada jenis organisme yang ditangkap, metode penanganan, dan sistem penyimpanannya. Ikan pelagis kecil seperti lemuru, teri, dan kembung umumnya disimpan dalam jumlah besar dengan kepadatan tinggi sehingga menghasilkan konsentrasi beban yang signifikan di dalam palka. Sementara itu, ikan demersal, tuna, atau organisme berukuran besar memerlukan tata letak penyimpanan yang berbeda karena ukuran dan distribusi beratnya tidak seragam. Pada banyak kapal perikanan modern, hasil tangkapan disimpan bersama es

curah (bulk ice) atau menggunakan sistem pendinginan berbasis air laut dingin (chilled seawater dan refrigerated seawater system). Kondisi ini dapat membentuk massa semi-cair yang berpotensi bergerak mengikuti gerakan kapal apabila tidak ditata dan diamankan dengan baik (FAO, 2005).

Dari perspektif stabilitas kapal, hasil tangkapan yang bercampur dengan air atau es cair memiliki karakteristik yang serupa dengan muatan curah basah (wet bulk cargo). Ketika kapal mengalami gerakan rolling, pitching, atau heaving akibat pengaruh gelombang, massa ikan dan cairan di dalam palka dapat bergeser sehingga menyebabkan perubahan distribusi berat secara tiba-tiba. Pergeseran tersebut dapat menghasilkan momen oleng tambahan dan memperburuk kondisi stabilitas kapal, terutama apabila ruang penyimpanan tidak dilengkapi dengan sekat pembatas (shifting boards) atau kompartemen yang memadai (Barrass & Derrett, 2012; SNAME, 2021).

Pengaruh hasil tangkapan terhadap stabilitas kapal perikanan telah menjadi perhatian dalam berbagai penelitian modern. Kim dan Yeo (2020) menunjukkan bahwa perubahan kondisi pembebanan selama operasi penangkapan secara langsung memengaruhi nilai GM dan karakteristik gerakan kapal. Penelitian tersebut menegaskan bahwa stabilitas kapal perikanan harus dievaluasi berdasarkan kondisi muatan aktual yang berubah selama operasi, bukan hanya berdasarkan kondisi keberangkatan.

Penelitian Caamaño *et al*. (2022) menunjukkan bahwa distribusi berat aktual pada kapal perikanan sering kali berbeda dari asumsi desain akibat perubahan pola pemuatan hasil tangkapan selama operasi. Temuan ini diperkuat oleh Domeh *et al.* (2023), yang menyimpulkan bahwa perubahan

distribusi muatan merupakan salah satu faktor dominan yang berkontribusi terhadap kehilangan stabilitas pada kapal perikanan skala kecil dan menengah. Menurut penelitian tersebut, banyak kecelakaan kapal perikanan terjadi ketika hasil tangkapan terakumulasi secara tidak merata dan menyebabkan pergeseran pusat gravitasi ke arah tertentu.

Interaksi antara hasil tangkapan dan kondisi gelombang juga berpengaruh besar terhadap keselamatan kapal. Umeda *et al*. (2023) menunjukkan bahwa perubahan distribusi massa di dalam kapal dapat memperburuk respons gerakan kapal pada kondisi gelombang buritan (stern quartering seas), terutama ketika terjadi kombinasi antara pergeseran muatan dan masuknya air ke geladak (water on deck). Kondisi ini dapat mempercepat penurunan cadangan stabilitas dan meningkatkan risiko terbaliknya kapal.

Kajian terbaru berdasarkan Second Generation Intact Stability Criteria (SGISC) juga menunjukkan bahwa distribusi muatan yang tidak terkendali dapat meningkatkan kerentanan kapal terhadap fenomena surf-riding, broaching, dan pure loss of stability. Kim *et al*. (2024) menunjukkan bahwa perubahan distribusi berat selama operasi dapat meningkatkan risiko kehilangan kendali kapal pada gelombang mengikuti (following seas). Sementara itu, Zhang dan Li (2024) serta Zhang *et al*. (2025) menunjukkan bahwa kombinasi antara distribusi berat, bentuk lambung, dan kondisi gelombang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kerentanan stabilitas kapal perikanan modern.

Oleh karena itu, awak kapal harus melakukan pemantauan dan penataan hasil tangkapan secara berkala selama operasi berlangsung. Hasil tangkapan yang baru dimuat ke dalam palka harus ditempatkan secara merata pada

seluruh ruang penyimpanan untuk menghindari konsentrasi beban pada satu sisi kapal. Penggunaan sekat pembatas, sistem penyimpanan berkompartemen, dan metode penataan yang sesuai merupakan langkah penting untuk mengurangi risiko pergeseran muatan serta mempertahankan distribusi berat yang seimbang.

Dengan demikian, hasil tangkapan merupakan muatan yang paling dinamis sekaligus paling kritis dalam pengelolaan stabilitas kapal penangkap ikan. Keberhasilan pengaturan, penataan, dan pengamanan hasil tangkapan tidak hanya berpengaruh terhadap keselamatan pelayaran, tetapi juga menentukan efisiensi operasi penangkapan, kualitas produk perikanan yang dihasilkan, serta keberlanjutan kegiatan perikanan secara keseluruhan.

4.6 Metode Pengamanan Hasil Tangkapan

Hasil tangkapan (*catch load*) merupakan muatan utama pada kapal penangkap ikan sekaligus komponen yang paling dominan memengaruhi perubahan berat, distribusi beban, dan karakteristik stabilitas kapal selama operasi penangkapan berlangsung. Berbeda dengan kapal niaga yang umumnya mengalami pengurangan muatan selama pelayaran, kapal perikanan mengalami peningkatan muatan secara bertahap seiring bertambahnya hasil tangkapan yang masuk ke dalam palka. Kondisi ini menyebabkan nilai benaman (*displacement*), posisi pusat gravitasi (*center of gravity*), trim, dan karakteristik stabilitas kapal berubah secara dinamis sepanjang operasi penangkapan. Oleh karena itu, pengamanan hasil tangkapan tidak hanya bertujuan mempertahankan mutu dan nilai ekonomis produk perikanan,

tetapi juga menjadi bagian penting dalam manajemen stabilitas dan keselamatan kapal (Gudmundsson, 2009; Barrass & Derrett, 2012).

Dari perspektif stabilitas kapal, hasil tangkapan yang tidak ditata dan diamankan dengan baik berpotensi mengalami pergeseran selama kapal mengalami gerakan rolling, pitching, heaving, maupun kombinasi gerakan akibat gelombang. Pergeseran massa ikan di dalam palka dapat mengubah distribusi berat secara tiba-tiba dan menghasilkan momen oleng tambahan (heeling moment) yang mengurangi kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak. Risiko tersebut akan semakin besar apabila hasil tangkapan disimpan bersama es curah (bulk ice), air laut dingin (chilled seawater), atau sistem refrigerated seawater (RSW), karena massa ikan dan cairan dapat berperilaku seperti muatan curah basah (wet bulk cargo) yang rentan berpindah mengikuti gerakan kapal (FAO, 2005; SNAME, 2021).

Dalam praktik operasional kapal perikanan, pengamanan hasil tangkapan harus mempertimbangkan beberapa aspek utama, yaitu distribusi berat, kapasitas ruang penyimpanan, metode pendinginan, karakteristik biologis hasil tangkapan, dan kondisi lingkungan operasi. Distribusi hasil tangkapan harus dilakukan secara merata pada seluruh ruang penyimpanan untuk menghindari konsentrasi beban pada satu sisi kapal yang dapat menyebabkan list maupun perubahan trim. Rawson dan Tupper (2001) menegaskan bahwa distribusi berat yang tidak merata merupakan salah satu penyebab utama penurunan stabilitas transversal kapal karena menyebabkan pergeseran pusat gravitasi ke arah tertentu.

Selain distribusi berat, sistem penyimpanan juga harus mampu membatasi pergerakan hasil tangkapan selama pelayaran. Penggunaan sekat pembatas (shifting boards), kompartemen penyimpanan, dan pembagian ruang palka menjadi beberapa bagian yang lebih kecil merupakan metode yang umum diterapkan untuk mengurangi risiko pergeseran muatan. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pengamanan muatan yang direkomendasikan oleh IMO melalui Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing (CSS Code), yaitu membatasi ruang gerak muatan sehingga tidak terjadi perpindahan massa yang dapat memengaruhi stabilitas kapal (IMO, 2021).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa perubahan distribusi muatan selama operasi merupakan salah satu faktor yang berkontribusi terhadap kecelakaan kapal perikanan. Kim dan Yeo (2020) menunjukkan bahwa perubahan kondisi pembebanan akibat penambahan hasil tangkapan dapat menyebabkan perubahan signifikan pada nilai GM dan karakteristik gerakan kapal. Caamaño et al. (2022) juga menemukan bahwa kondisi distribusi muatan aktual di lapangan sering kali berbeda dari asumsi desain, sehingga evaluasi stabilitas perlu mempertimbangkan kondisi operasional yang sesungguhnya. Sementara itu, Domeh et al. (2023) mengidentifikasi bahwa pergeseran muatan dan distribusi berat yang tidak terkendali merupakan salah satu faktor dominan penyebab kehilangan stabilitas pada kapal perikanan skala kecil dan menengah.

Interaksi antara hasil tangkapan dan kondisi gelombang juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keselamatan kapal. Umeda et al. (2023) menunjukkan bahwa perubahan distribusi massa di dalam kapal dapat memperburuk respons

gerakan kapal pada kondisi gelombang buritan (*stern quartering seas*), terutama ketika terjadi kombinasi antara pergeseran muatan dan efek air bebas (*free surface effect*). Selain itu, kajian Zhang dan Li (2024) menunjukkan bahwa distribusi muatan yang tidak terkendali dapat meningkatkan kerentanan kapal terhadap fenomena pure loss of stability ketika kapal beroperasi pada gelombang tinggi.

Dengan demikian, pengamanan hasil tangkapan harus dipandang sebagai bagian integral dari sistem pengelolaan muatan dan stabilitas kapal perikanan. Penataan hasil tangkapan yang merata, penggunaan sistem pembatas muatan, pengendalian ruang kosong di dalam palka, serta pemantauan distribusi berat secara berkala merupakan langkah penting untuk menjaga stabilitas kapal selama operasi penangkapan. Penerapan prinsip-prinsip tersebut tidak hanya meningkatkan keselamatan pelayaran, tetapi juga membantu mempertahankan mutu hasil tangkapan dan meningkatkan efisiensi operasional kapal perikanan secara keseluruhan.

4.6.1 Penataan Hasil Tangkapan di Dalam Palka

Salah satu metode paling mendasar dalam pengamanan hasil tangkapan pada kapal penangkap ikan adalah melakukan penataan ikan secara merata, teratur, dan terorganisasi di dalam palka penyimpanan. Penataan yang baik bertujuan untuk menciptakan distribusi berat yang seimbang sehingga tidak terjadi konsentrasi beban pada bagian tertentu kapal yang dapat memengaruhi stabilitas. Dalam prinsip stabilitas kapal, distribusi muatan yang merata merupakan faktor penting untuk menjaga posisi pusat gravitasi (center of gravity) tetap berada pada lokasi yang aman sehingga kapal

mampu mempertahankan kemampuan pemulihannya (righting ability) ketika mengalami kemiringan akibat gelombang maupun gangguan eksternal lainnya (Rawson & Tupper, 2001; Barrass & Derrett, 2012).

Selama operasi penangkapan, hasil tangkapan yang dimasukkan ke dalam palka harus ditempatkan secara bertahap dan didistribusikan secara merata pada seluruh ruang penyimpanan yang tersedia. Penumpukan ikan hanya pada satu sisi palka dapat menyebabkan ketidakseimbangan distribusi berat yang menggeser pusat gravitasi kapal ke arah tertentu dan menimbulkan kemiringan permanen (list). Kondisi ini dapat mengurangi cadangan stabilitas kapal serta meningkatkan risiko kecelakaan, terutama ketika kapal beroperasi pada kondisi gelombang tinggi atau cuaca buruk (Gudmundsson, 2009; SNAME, 2021).

Selain mempertimbangkan distribusi berat, penataan hasil tangkapan juga harus memperhatikan kapasitas maksimum ruang penyimpanan. Pengisian palka yang melebihi kapasitas desain dapat meningkatkan tekanan pada struktur palka, mempercepat kerusakan konstruksi, dan mengurangi efektivitas sistem pendinginan. Sebaliknya, ruang kosong yang terlalu besar di dalam palka memungkinkan terjadinya pergerakan massa ikan selama kapal mengalami gerakan rolling, pitching, dan heaving. Pergeseran massa tersebut dapat menghasilkan momen oleng tambahan yang berpotensi menurunkan stabilitas kapal (FAO, 2005; Barrass & Derrett, 2012).

Pada kapal yang menggunakan sistem penyimpanan dengan es curah (bulk ice), penataan hasil tangkapan harus dilakukan secara berlapis antara ikan dan es. Selain berfungsi menjaga suhu penyimpanan, lapisan es juga membantu

mengisi ruang kosong di antara ikan sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya pergeseran muatan selama pelayaran. Pada kapal yang menggunakan sistem chilled seawater (CSW) atau refrigerated seawater (RSW), pengaturan volume ikan dan cairan pendingin harus dilakukan secara cermat untuk menghindari terbentuknya ruang bebas yang dapat menimbulkan efek permukaan bebas (*free surface effect*) (FAO, 2005).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa perubahan distribusi muatan selama operasi penangkapan merupakan faktor yang sangat memengaruhi karakteristik stabilitas kapal. Kim dan Yeo (2020) menunjukkan bahwa perubahan kondisi pembebanan akibat penambahan hasil tangkapan menyebabkan perubahan signifikan pada nilai GM dan respons gerakan kapal. Penelitian Caamaño *et al*. (2022) juga menunjukkan bahwa distribusi muatan aktual di lapangan sering kali berbeda dari kondisi yang diasumsikan pada tahap desain, sehingga pengelolaan distribusi hasil tangkapan menjadi faktor penting dalam menjaga keselamatan kapal. Domeh *et al*. (2023) lebih lanjut mengidentifikasi bahwa distribusi muatan yang tidak merata merupakan salah satu penyebab dominan hilangnya stabilitas pada kapal perikanan skala kecil dan menengah.

Pada kapal penangkap ikan berukuran kecil hingga menengah, penataan hasil tangkapan umumnya masih dilakukan secara manual oleh awak kapal. Kegiatan ini memerlukan ketelitian tinggi karena setiap perubahan distribusi beban dapat memengaruhi keseimbangan kapal. Sementara itu, pada kapal perikanan modern berkapasitas besar, proses penataan sering dibantu oleh sistem konveyor, fish pump, maupun peralatan mekanis lainnya yang

memungkinkan distribusi muatan dilakukan secara lebih merata, cepat, dan efisien. Penggunaan teknologi tersebut tidak hanya meningkatkan produktivitas operasi penangkapan tetapi juga membantu mempertahankan distribusi berat yang lebih terkendali selama proses pemuatan hasil tangkapan.

Dengan demikian, penataan hasil tangkapan yang baik merupakan bagian integral dari sistem pengamanan muatan pada kapal perikanan. Distribusi berat yang merata, pemanfaatan kapasitas palka secara optimal, pengurangan ruang kosong, serta penerapan sistem penyimpanan yang sesuai akan membantu menjaga stabilitas kapal, melindungi kualitas hasil tangkapan, dan meningkatkan keselamatan operasi penangkapan ikan secara keseluruhan.

4.6.2 Penggunaan Lapisan Es sebagai Media Pengaman dan Pendingin

Salah satu metode yang paling umum diterapkan dalam pengamanan hasil tangkapan pada kapal penangkap ikan adalah penyusunan ikan secara berlapis dengan es (layering system). Metode ini telah lama digunakan pada berbagai jenis kapal perikanan karena mampu menjalankan dua fungsi sekaligus, yaitu menjaga mutu hasil tangkapan melalui proses pendinginan dan meningkatkan kestabilan susunan muatan di dalam palka penyimpanan. Dalam sistem ini, lapisan ikan dan lapisan es disusun secara bergantian sehingga seluruh bagian hasil tangkapan memperoleh distribusi suhu yang relatif seragam selama proses penyimpanan dan pelayaran (FAO, 2005; Huss, 1995).

Dari perspektif pengamanan muatan, lapisan es berfungsi mengisi ruang kosong di antara tubuh ikan sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya pergerakan massa hasil tangkapan selama kapal mengalami gerakan rolling, pitching, maupun heaving. Berkurangnya ruang kosong menyebabkan muatan menjadi lebih kompak dan stabil, sehingga risiko pergeseran beban yang dapat memengaruhi distribusi berat kapal menjadi lebih kecil. Prinsip ini sejalan dengan konsep pengamanan muatan dalam stabilitas kapal yang menekankan pentingnya meminimalkan ruang gerak muatan untuk mencegah terjadinya perubahan pusat gravitasi akibat pergeseran massa selama pelayaran (Barrass & Derrett, 2012; Rawson & Tupper, 2001).

Selain meningkatkan stabilitas susunan muatan, lapisan es juga berfungsi sebagai bantalan alami (cushioning medium) yang dapat mengurangi tekanan dan benturan antarikan selama penyimpanan. Fungsi ini sangat penting terutama pada ikan pelagis kecil maupun ikan bernilai ekonomis tinggi yang rentan mengalami kerusakan fisik akibat tekanan berlebih. Kerusakan mekanis selama penyimpanan dapat mempercepat penurunan mutu dan mengurangi nilai jual hasil tangkapan ketika didaratkan di pelabuhan (Huss, 1995).

Dari aspek mutu hasil perikanan, penggunaan es merupakan metode pendinginan yang paling efektif dan ekonomis untuk diterapkan pada kapal perikanan skala kecil hingga menengah. Es mampu mempertahankan suhu ikan mendekati titik lebur es, yaitu sekitar 0°C, sehingga aktivitas enzim, reaksi biokimia, dan pertumbuhan mikroorganisme pembusuk dapat diperlambat secara signifikan. Menurut FAO (2005), pendinginan yang cepat dan merata segera setelah ikan ditangkap merupakan faktor utama yang menentukan

keberhasilan mempertahankan kesegaran dan kualitas hasil tangkapan selama pelayaran. Oleh karena itu, sistem pelapisan es tidak hanya berfungsi sebagai metode pengamanan muatan, tetapi juga merupakan bagian integral dari sistem rantai dingin (cold chain system) yang diterapkan dalam industri perikanan modern.

Efektivitas sistem pelapisan es sangat dipengaruhi oleh rasio antara jumlah es dan jumlah ikan yang disimpan. Rasio es yang terlalu rendah dapat menyebabkan distribusi suhu menjadi tidak merata sehingga sebagian ikan mengalami kenaikan suhu yang mempercepat proses pembusukan. Sebaliknya, penggunaan es yang berlebihan dapat mengurangi kapasitas muatan yang tersedia dan meningkatkan berat total muatan yang harus dibawa kapal. Oleh karena itu, kebutuhan es harus dihitung secara cermat berdasarkan lama pelayaran, jenis ikan yang ditangkap, suhu lingkungan operasi, kapasitas palka, serta volume hasil tangkapan yang diperkirakan akan diperoleh selama operasi penangkapan (FAO, 2005; Ghaly *et al*., 2010).

Dalam kaitannya dengan keselamatan kapal, penataan ikan dan es secara berlapis juga membantu menjaga distribusi berat yang lebih merata di dalam palka. Distribusi muatan yang terkendali akan mengurangi kemungkinan terjadinya konsentrasi beban pada satu sisi kapal yang dapat menyebabkan kemiringan (list) maupun perubahan trim. Dengan demikian, penerapan sistem layering tidak hanya berkontribusi terhadap pemeliharaan mutu hasil tangkapan, tetapi juga menjadi bagian penting dalam pengelolaan stabilitas dan keselamatan operasi kapal penangkap ikan.

4.6.3 Penggunaan Sekat Pembatas (*Shifting Boards*)

Salah satu metode pengamanan hasil tangkapan yang memiliki peranan penting dalam menjaga stabilitas kapal perikanan adalah penggunaan sekat pembatas (shifting boards) atau partisi internal pada ruang penyimpanan. Sekat pembatas merupakan struktur yang dipasang di dalam palka untuk membatasi pergerakan muatan dan mencegah terjadinya perpindahan massa hasil tangkapan secara berlebihan selama pelayaran. Dalam prinsip stabilitas kapal, pembatasan pergerakan muatan merupakan aspek yang sangat penting karena perpindahan massa ke salah satu sisi kapal dapat menyebabkan perubahan posisi pusat gravitasi (center of gravity) dan menurunkan kemampuan kapal untuk mempertahankan keseimbangannya (Rawson & Tupper, 2001; Barrass & Derrett, 2012).

Secara teknis, sekat pembatas berfungsi membagi ruang palka menjadi beberapa kompartemen yang lebih kecil sehingga volume muatan yang dapat bergerak secara bebas menjadi terbatas. Dengan adanya pembagian ruang tersebut, pergeseran muatan yang terjadi pada satu kompartemen tidak akan secara langsung memengaruhi seluruh isi palka. Prinsip ini serupa dengan penggunaan swash bulkhead pada tangki cairan yang bertujuan mengurangi efek permukaan bebas (free surface effect) dan membatasi perpindahan massa selama kapal mengalami gerakan rolling, pitching, maupun heaving (SNAME, 2021). Pada kapal perikanan, pembatasan pergerakan massa hasil tangkapan menjadi semakin penting karena jumlah ikan yang tersimpan di dalam palka dapat mencapai beberapa ton dan terus bertambah selama operasi penangkapan berlangsung (Gudmundsson, 2009).

Dari perspektif keselamatan pelayaran, penggunaan sekat pembatas merupakan salah satu upaya untuk mengurangi risiko kehilangan stabilitas akibat cargo shift. Pergeseran muatan secara tiba-tiba telah lama diidentifikasi sebagai salah satu faktor yang berkontribusi terhadap kecelakaan kapal perikanan, terutama pada kapal berukuran kecil dan menengah yang memiliki cadangan stabilitas terbatas (FAO, 2005). Penelitian terbaru mengenai stabilitas kapal menunjukkan bahwa perubahan distribusi massa di dalam ruang muat dapat menyebabkan perubahan signifikan pada nilai metacentric height (GM), sudut oleng statis, dan karakteristik gerak kapal dalam gelombang (Kim & Yeo, 2020; Umeda *et al*., 2023). Oleh karena itu, pengendalian pergerakan muatan melalui penggunaan sekat pembatas menjadi bagian penting dalam sistem pengamanan hasil tangkapan.

Selain meningkatkan keselamatan kapal, sekat pembatas juga memberikan manfaat terhadap kualitas hasil tangkapan. Massa ikan yang disimpan dalam kompartemen yang lebih kecil cenderung lebih stabil dan tidak mudah mengalami tekanan berlebih akibat pergeseran selama pelayaran. Kondisi tersebut dapat mengurangi kerusakan mekanis pada tubuh ikan, menjaga penampilan produk, serta mempertahankan nilai ekonomis hasil tangkapan hingga proses pendaratan dan pemasaran (Huss, 1995). Pada sistem penyimpanan dengan es, sekat pembatas juga membantu menjaga distribusi es dan ikan tetap merata sehingga efektivitas pendinginan dapat dipertahankan selama pelayaran.

Pada kapal perikanan modern, sekat pembatas umumnya telah menjadi bagian integral dari desain palka dan dirancang secara permanen sebagai elemen konstruksi kapal.

Namun demikian, pada kapal perikanan skala kecil dan tradisional, penggunaan sekat portabel masih banyak dijumpai karena memberikan fleksibilitas dalam menyesuaikan volume ruang penyimpanan dengan jumlah hasil tangkapan yang diperoleh. Terlepas dari bentuk dan material yang digunakan, prinsip utama penerapan sekat pembatas adalah membatasi ruang gerak muatan sehingga distribusi berat tetap terkendali, stabilitas kapal terjaga, dan keselamatan operasi penangkapan dapat ditingkatkan.

4.6.4 Penggunaan Fish Box dan Kontainer Berinsulasi

Perkembangan teknologi penanganan hasil perikanan telah mendorong penggunaan fish box dan kontainer berinsulasi sebagai salah satu metode pengamanan hasil tangkapan yang lebih efektif, baik dari aspek mutu produk maupun keselamatan operasi kapal. Sistem ini banyak diterapkan pada kapal perikanan modern karena mampu meningkatkan efisiensi penanganan ikan sekaligus membantu menjaga distribusi muatan tetap terkendali selama pelayaran. Berbeda dengan sistem penyimpanan curah (bulk storage) yang menempatkan hasil tangkapan secara langsung di dalam palka, penggunaan fish box memungkinkan ikan disimpan dalam unit-unit penyimpanan terpisah dengan kapasitas yang telah ditentukan sehingga penataan muatan dapat dilakukan secara lebih teratur dan terkontrol (Huss, 1995; Ward, 2022).

Fish box merupakan wadah penyimpanan yang dirancang khusus untuk menampung ikan segar bersama media pendingin, umumnya berupa es curah atau es serpih (flake ice). Penggunaan wadah ini memungkinkan hasil tangkapan dikelompokkan berdasarkan jenis, ukuran, kualitas, atau waktu penangkapan sehingga mempermudah

proses penanganan dan distribusi setelah kapal tiba di pelabuhan. Dari sudut pandang pengamanan muatan, setiap fish box berfungsi sebagai satuan penyimpanan independen yang mampu membatasi pergerakan massa ikan selama kapal mengalami gerakan rolling, pitching, dan heaving. Pembatasan pergerakan tersebut berkontribusi dalam mengurangi risiko perubahan distribusi berat yang dapat memengaruhi stabilitas kapal, terutama pada kapal yang beroperasi di perairan dengan kondisi gelombang yang dinamis (Gudmundsson, 2009; Barrass & Derrett, 2012).

Selain meningkatkan stabilitas muatan, penggunaan fish box juga mampu mengurangi tekanan mekanis yang dialami ikan selama penyimpanan. Pada sistem penyimpanan curah, ikan yang berada di bagian bawah tumpukan sering menerima beban yang cukup besar dari lapisan ikan di atasnya sehingga berpotensi mengalami kerusakan fisik. Kerusakan tersebut dapat mempercepat penurunan mutu, meningkatkan kehilangan cairan tubuh (drip loss), dan menurunkan nilai ekonomis hasil tangkapan. Dengan menggunakan fish box, tekanan dapat didistribusikan secara lebih merata sehingga kualitas fisik ikan dapat dipertahankan dengan lebih baik selama pelayaran (Huss, 1995; Olafsdottir et al., 1997).

Kontainer berinsulasi (insulated fish containers) merupakan pengembangan lebih lanjut dari sistem fish box yang dilengkapi material isolasi termal pada dinding wadah. Material isolasi tersebut berfungsi menghambat perpindahan panas dari lingkungan luar ke ruang penyimpanan sehingga suhu rendah dapat dipertahankan dalam waktu yang lebih lama. Kemampuan mempertahankan suhu yang stabil sangat penting untuk memperlambat aktivitas mikroorganisme, reaksi enzimatis, dan proses degradasi mutu hasil tangkapan.

Menurut Huss (1995), pengendalian suhu yang konsisten merupakan salah satu faktor utama dalam mempertahankan kualitas ikan segar dan memperpanjang umur simpan produk selama proses distribusi.

Dari perspektif stabilitas kapal, penggunaan fish box dan kontainer berinsulasi juga memberikan keuntungan karena distribusi muatan dapat direncanakan dengan lebih presisi. Setiap wadah memiliki berat dan dimensi yang diketahui sehingga proses penyusunan dapat dilakukan secara seimbang antara sisi kiri dan kanan kapal maupun antara bagian haluan dan buritan. Kondisi ini membantu menjaga keseimbangan kapal selama operasi penangkapan dan mengurangi risiko terjadinya list maupun trim yang berlebihan akibat distribusi beban yang tidak merata (Rawson & Tupper, 2001; SNAME, 2021). Oleh karena itu, penggunaan fish box dan kontainer berinsulasi tidak hanya meningkatkan mutu hasil tangkapan, tetapi juga menjadi bagian penting dalam sistem pengamanan muatan dan manajemen stabilitas kapal perikanan modern.

4.6.5 Penggunaan Fish Box dan Kontainer Berinsulasi

Perkembangan teknologi penanganan hasil perikanan telah mendorong penggunaan fish box dan kontainer berinsulasi sebagai salah satu metode pengamanan hasil tangkapan yang lebih efektif, baik dari aspek mutu produk maupun keselamatan operasi kapal. Sistem ini banyak diterapkan pada kapal perikanan modern karena mampu meningkatkan efisiensi penanganan ikan sekaligus membantu menjaga distribusi muatan tetap terkendali selama pelayaran. Berbeda dengan sistem penyimpanan curah (bulk storage) yang menempatkan hasil tangkapan secara langsung di dalam

palka, penggunaan fish box memungkinkan ikan disimpan dalam unit-unit penyimpanan terpisah dengan kapasitas yang telah ditentukan sehingga penataan muatan dapat dilakukan secara lebih teratur dan terkontrol (Huss, 1995; Ward, 2022).

Fish box merupakan wadah penyimpanan yang dirancang khusus untuk menampung ikan segar bersama media pendingin, umumnya berupa es curah atau es serpih (flake ice). Penggunaan wadah ini memungkinkan hasil tangkapan dikelompokkan berdasarkan jenis, ukuran, kualitas, atau waktu penangkapan sehingga mempermudah proses penanganan dan distribusi setelah kapal tiba di pelabuhan. Dari sudut pandang pengamanan muatan, setiap fish box berfungsi sebagai satuan penyimpanan independen yang mampu membatasi pergerakan massa ikan selama kapal mengalami gerakan rolling, pitching, dan heaving. Pembatasan pergerakan tersebut berkontribusi dalam mengurangi risiko perubahan distribusi berat yang dapat memengaruhi stabilitas kapal, terutama pada kapal yang beroperasi di perairan dengan kondisi gelombang yang dinamis (Gudmundsson, 2009; Barrass & Derrett, 2012).

Selain meningkatkan stabilitas muatan, penggunaan fish box juga mampu mengurangi tekanan mekanis yang dialami ikan selama penyimpanan. Pada sistem penyimpanan curah, ikan yang berada di bagian bawah tumpukan sering menerima beban yang cukup besar dari lapisan ikan di atasnya sehingga berpotensi mengalami kerusakan fisik. Kerusakan tersebut dapat mempercepat penurunan mutu, meningkatkan kehilangan cairan tubuh (drip loss), dan menurunkan nilai ekonomis hasil tangkapan. Dengan menggunakan fish box, tekanan dapat didistribusikan secara lebih merata sehingga

kualitas fisik ikan dapat dipertahankan dengan lebih baik selama pelayaran (Huss, 1995; Olafsdottir *et al*., 1997).

Kontainer berinsulasi (insulated fish containers) merupakan pengembangan lebih lanjut dari sistem fish box yang dilengkapi material isolasi termal pada dinding wadah. Material isolasi tersebut berfungsi menghambat perpindahan panas dari lingkungan luar ke ruang penyimpanan sehingga suhu rendah dapat dipertahankan dalam waktu yang lebih lama. Kemampuan mempertahankan suhu yang stabil sangat penting untuk memperlambat aktivitas mikroorganisme, reaksi enzimatis, dan proses degradasi mutu hasil tangkapan. Menurut Huss (1995), pengendalian suhu yang konsisten merupakan salah satu faktor utama dalam mempertahankan kualitas ikan segar dan memperpanjang umur simpan produk selama proses distribusi.

Dari perspektif stabilitas kapal, penggunaan fish box dan kontainer berinsulasi juga memberikan keuntungan karena distribusi muatan dapat direncanakan dengan lebih presisi. Setiap wadah memiliki berat dan dimensi yang diketahui sehingga proses penyusunan dapat dilakukan secara seimbang antara sisi kiri dan kanan kapal maupun antara bagian haluan dan buritan. Kondisi ini membantu menjaga keseimbangan kapal selama operasi penangkapan dan mengurangi risiko terjadinya list maupun trim yang berlebihan akibat distribusi beban yang tidak merata (Rawson & Tupper, 2001; SNAME, 2021). Oleh karena itu, penggunaan fish box dan kontainer berinsulasi tidak hanya meningkatkan mutu hasil tangkapan, tetapi juga menjadi bagian penting dalam sistem pengamanan muatan dan manajemen stabilitas kapal perikanan modern.

4.7 Pengamanan Alat Tangkap

Pengamanan alat tangkap (fishing gear securing) merupakan salah satu aspek penting dalam manajemen muatan kapal penangkap ikan yang bertujuan untuk menjamin keselamatan pelayaran, menjaga stabilitas kapal, melindungi awak kapal, serta mempertahankan kondisi operasional peralatan penangkapan selama pelayaran dan kegiatan penangkapan berlangsung. Berbeda dengan hasil tangkapan yang umumnya disimpan di dalam palka, sebagian besar alat tangkap ditempatkan pada area geladak kerja (working deck) atau struktur bagian atas kapal sehingga lebih rentan terhadap pengaruh gerakan kapal, gelombang, angin, getaran mesin, maupun beban dinamis yang timbul selama operasi di laut. Oleh karena itu, pengamanan alat tangkap harus direncanakan secara sistematis dengan mempertimbangkan karakteristik fisik alat tangkap, termasuk berat, dimensi, bentuk, pusat massa, serta frekuensi penggunaannya selama operasi penangkapan (FAO, 2005; Gudmundsson, 2009).

Dalam perspektif stabilitas kapal, alat tangkap dikategorikan sebagai muatan operasional (operational load) yang dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap distribusi berat kapal. Berbagai jenis alat tangkap modern seperti purse seine, trawl, longline, gillnet, pot and trap, serta peralatan bantu penangkapan seperti power block, net drum, trawl winch, dan line hauler memiliki massa yang relatif besar dan umumnya ditempatkan pada bagian atas kapal. Penempatan beban pada posisi yang lebih tinggi akan meningkatkan nilai KG (Keel to Center of Gravity) dan berpotensi menurunkan nilai GM (Metacentric Height), yang

merupakan parameter utama dalam penilaian stabilitas awal kapal. Apabila alat tangkap tidak diamankan dengan baik, pergerakan akibat gerakan rolling, pitching, dan yawing dapat menyebabkan perubahan distribusi berat secara tiba-tiba yang berpotensi menimbulkan kemiringan (list) maupun mengurangi kemampuan kapal menghasilkan momen penegak (righting moment) (Rawson & Tupper, 2001; Barrass & Derrett, 2012; SNAME, 2021).

Kajian mengenai keselamatan kapal perikanan menunjukkan bahwa perubahan distribusi beban di atas geladak merupakan salah satu faktor yang berkontribusi terhadap menurunnya stabilitas kapal selama operasi penangkapan. Risiko tersebut menjadi lebih besar ketika alat tangkap sedang dioperasikan atau dipindahkan dari posisi penyimpanan menuju area kerja karena terjadi perpindahan massa yang dapat mengubah keseimbangan kapal secara dinamis. Pada kapal purse seiner dan trawler, misalnya, proses penurunan dan penarikan alat tangkap dapat menghasilkan beban tambahan yang bekerja pada satu sisi kapal sehingga perlu diperhitungkan dalam analisis stabilitas operasional (Nguyen & Hirakawa, 2023; Kim & Yeo, 2020).

Secara umum, pengamanan alat tangkap dilakukan melalui beberapa pendekatan, yaitu penempatan alat tangkap pada lokasi yang sesuai, penggunaan sistem pengikatan (lashing system), pemanfaatan dudukan atau rak penyimpanan khusus (gear rack), serta pelaksanaan inspeksi dan pemeliharaan secara berkala terhadap seluruh perangkat pengaman. Sistem pengikatan harus dirancang agar mampu menahan gaya inersia dan gaya akselerasi yang timbul selama pelayaran, sedangkan titik pengikatan harus terhubung dengan struktur kapal yang memiliki kekuatan memadai

untuk menerima beban yang diteruskan oleh alat tangkap. Selain itu, lokasi penyimpanan harus mempertimbangkan aksesibilitas selama operasi penangkapan tanpa mengganggu jalur evakuasi, pergerakan awak kapal, maupun fungsi peralatan lainnya di atas kapal (IMO, 2021).

Pada kapal perikanan modern, desain pengamanan alat tangkap semakin berkembang melalui penggunaan sistem penyimpanan terintegrasi yang memadukan dudukan permanen, pengunci mekanis, serta sistem pemantauan kondisi peralatan. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan keselamatan pelayaran, tetapi juga memperpanjang umur pakai alat tangkap, mengurangi risiko kerusakan akibat benturan selama pelayaran, serta meningkatkan efisiensi operasional kapal secara keseluruhan. Dengan demikian, pengamanan alat tangkap harus dipandang sebagai bagian integral dari manajemen stabilitas kapal dan sistem keselamatan operasi penangkapan ikan yang berkelanjutan.

4.7.1 Prinsip Dasar Pengamanan Alat Tangkap

Pengamanan alat tangkap merupakan aspek penting dalam pengoperasian kapal penangkap ikan karena berkaitan erat dengan keselamatan pelayaran, stabilitas kapal, serta keselamatan awak kapal selama proses penangkapan maupun pelayaran. Secara prinsip, setiap peralatan yang ditempatkan di atas kapal harus mampu dipertahankan pada posisi yang telah direncanakan dan tidak mengalami perpindahan akibat pengaruh gaya-gaya dinamis yang bekerja selama kapal beroperasi di laut. Menurut International Maritime Organization (IMO, 2021), seluruh muatan dan peralatan di atas kapal harus diamankan sedemikian rupa sehingga tidak

bergeser, terguling, atau terlepas akibat gerakan kapal maupun kondisi cuaca yang berubah-ubah.

Selama pelayaran, kapal akan mengalami enam derajat kebebasan gerak (six degrees of freedom), yaitu gerakan memanjang (surge), menyamping (sway), naik-turun (heave), oleng (roll), angguk (pitch), dan putar haluan (yaw). Gerakan-gerakan tersebut menghasilkan percepatan yang menimbulkan gaya inersia pada seluruh benda yang berada di atas kapal, termasuk alat tangkap yang disimpan di dek maupun di ruang penyimpanan. Apabila sistem pengamanan tidak dirancang dengan baik, gaya-gaya tersebut dapat menyebabkan alat tangkap bergeser (sliding), terguling (overturning), atau berpindah dari posisi semula sehingga meningkatkan risiko kerusakan peralatan, cedera awak kapal, dan gangguan terhadap stabilitas kapal (Bhattacharyya, 1978; Rawson & Tupper, 2001).

Besarnya gaya yang bekerja pada alat tangkap dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain massa peralatan, posisi penempatan terhadap pusat gravitasi kapal, serta intensitas gerakan kapal yang dipicu oleh kondisi gelombang dan cuaca. Semakin besar massa alat tangkap dan semakin tinggi percepatan yang dialami kapal, maka semakin besar pula gaya inersia yang harus ditahan oleh sistem pengaman. Oleh karena itu, perencanaan sistem pengamanan harus mempertimbangkan karakteristik fisik alat tangkap dan kondisi operasional kapal agar mampu menahan beban dinamis yang terjadi selama pelayaran (Barrass & Derrett, 2012).

Untuk menjamin keamanan operasional, alat tangkap harus diamankan menggunakan sistem pengikat (securing system) yang memiliki kapasitas beban sesuai dengan berat

dan karakteristik peralatan yang diamankan. Sistem pengamanan dapat berupa tali sintetis berkekuatan tinggi, rantai, kawat baja (wire rope), turnbuckle, lashing belt, maupun pengunci mekanis lainnya yang dirancang untuk menahan gaya tarik, geser, dan getaran selama kapal beroperasi. Selain itu, titik pengikatan (lashing points) harus terhubung dengan bagian struktur kapal yang memiliki kekuatan memadai sehingga mampu meneruskan dan menahan beban yang timbul tanpa mengalami deformasi atau kegagalan struktur (IMO, 2021).

Selain aspek pengikatan, distribusi alat tangkap di atas kapal juga harus mendapat perhatian khusus. Penempatan alat tangkap yang terkonsentrasi pada satu sisi kapal dapat menyebabkan distribusi berat yang tidak merata dan menggeser posisi pusat gravitasi kapal. Kondisi tersebut dapat menghasilkan momen oleng (heeling moment) yang berpotensi menurunkan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah menerima gangguan dari gelombang atau angin. Oleh karena itu, penataan alat tangkap harus dilakukan secara seimbang dengan mempertimbangkan kapasitas muatan kapal, karakteristik stabilitas, kebutuhan ruang kerja awak kapal, serta efisiensi pelaksanaan operasi penangkapan ikan. Distribusi beban yang baik tidak hanya meningkatkan keselamatan pelayaran tetapi juga mendukung efektivitas dan produktivitas kegiatan penangkapan (Barrass & Derrett, 2012; Rawson & Tupper, 2001).

Sebagai bagian dari prosedur keselamatan kapal, sistem pengamanan alat tangkap perlu diperiksa secara berkala sebelum keberangkatan, selama pelayaran, dan setelah operasi penangkapan selesai dilakukan. Pemeriksaan tersebut mencakup kondisi tali pengikat, rantai, kawat baja,

perangkat pengunci, serta titik pengikatan pada struktur kapal. Kegiatan inspeksi yang dilakukan secara rutin dapat mengurangi risiko kegagalan sistem pengamanan dan memastikan bahwa seluruh alat tangkap tetap berada pada posisi yang aman selama kapal beroperasi di berbagai kondisi lingkungan laut (IMO, 2021).

4.7.2 Pengamanan Alat Tangkap pada Kapal Purse Seine

Kapal purse seine merupakan salah satu jenis kapal penangkap ikan yang dirancang untuk mengoperasikan alat tangkap berupa jaring lingkar (surrounding net) dalam menangkap ikan pelagis yang hidup bergerombol, seperti tuna, tongkol, cakalang, sarden, dan lemuru. Operasi penangkapan dengan sistem purse seine melibatkan berbagai komponen yang memiliki dimensi dan massa relatif besar, antara lain jaring utama (main net), tali kolor (purse line), pelampung (floats), pemberat (sinkers), power block, net hauler, boom, serta berbagai perlengkapan bantu lainnya. Keberadaan komponen-komponen tersebut, khususnya yang ditempatkan di atas geladak, memberikan kontribusi terhadap distribusi berat kapal sehingga penataannya harus direncanakan secara cermat untuk menjaga stabilitas kapal dan keselamatan operasi penangkapan (Rawson & Tupper, 2001; Derrett & Barrass, 2012).

Pengamanan alat tangkap merupakan bagian dari sistem pengamanan muatan (cargo securing) yang bertujuan mencegah terjadinya pergeseran (cargo shifting) akibat pengaruh gerakan kapal, seperti rolling, pitching, heaving, yawing, surging, dan swaying. Pergeseran alat tangkap tidak hanya berpotensi mengubah distribusi berat kapal sehingga memengaruhi stabilitas, tetapi juga dapat menghambat

aktivitas awak kapal, merusak peralatan penangkapan, serta meningkatkan risiko kecelakaan kerja di atas kapal. Oleh karena itu, Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing (CSS Code) menegaskan bahwa seluruh peralatan dan muatan yang berada di atas kapal harus ditata, ditumpu, dan diamankan menggunakan metode pengikatan yang memadai agar mampu menahan gaya dinamis yang timbul selama pelayaran maupun saat menghadapi kondisi cuaca buruk (International Maritime Organization [IMO], 2021).

Jaring purse seine umumnya disimpan dalam keadaan tergulung atau tersusun pada area geladak yang telah dirancang khusus sesuai tata letak operasi penangkapan. Selama pelayaran menuju daerah penangkapan, jaring harus diikat menggunakan sistem pengaman yang kuat dan ditempatkan sedemikian rupa sehingga tidak bergeser akibat gerakan kapal maupun beban angin. Penataan jaring harus mempertimbangkan kemudahan proses setting dan hauling agar operasi penangkapan dapat berlangsung secara efisien serta meminimalkan risiko kusut dan kerusakan alat tangkap (FAO, 2003). Selain itu, penyimpanan dan pengikatan jaring harus dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak menghalangi jalur pergerakan awak kapal maupun akses menuju peralatan keselamatan. Seluruh perlengkapan di atas geladak harus diamankan dengan baik untuk mencegah pergeseran selama pelayaran sebagaimana direkomendasikan dalam Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing (IMO, 2021). Pengikatan yang tidak memadai dapat menyebabkan jaring terurai, tersangkut pada struktur kapal atau baling-baling, serta mengalami gesekan berlebihan yang mempercepat kerusakan serat jaring dan menurunkan efisiensi penangkapan (FAO, 2003).

Komponen lain yang memerlukan perhatian khusus adalah power block, yaitu alat bantu mekanis berbentuk katrol berputar yang digunakan untuk menarik jaring selama proses hauling. Power block memiliki massa yang relatif besar dan umumnya dipasang pada boom atau tiang kerja (mast) di atas geladak. Posisi pemasangan yang berada pada elevasi tinggi menyebabkan komponen ini turut memengaruhi posisi pusat gravitasi kapal (center of gravity), sehingga sistem pemasangan, dudukan (mounting), baut pengikat, sambungan hidrolik, serta perangkat penguncinya harus diperiksa secara berkala untuk memastikan seluruh komponen berada dalam kondisi aman dan mampu menahan beban operasi. Kegagalan sistem pengikat pada power block dapat menimbulkan bahaya serius bagi awak kapal, menyebabkan kerusakan peralatan, bahkan memengaruhi keseimbangan kapal apabila terjadi pelepasan komponen saat beroperasi (Derrett & Barrass, 2012).

Selain itu, tali kolor (purse line), pelampung, pemberat, cincin kolor (purse rings), dan tali ris harus disusun secara sistematis sesuai urutan penggunaannya serta diamankan menggunakan titik pengikat (pad eyes), rak penyimpanan, atau lashing yang memiliki kekuatan memadai. Penataan tersebut bertujuan mencegah terjadinya kusut (entanglement), pergeseran selama pelayaran, maupun kerusakan mekanis akibat benturan antarkomponen. Pengamanan yang baik tidak hanya mempercepat proses pengoperasian alat tangkap, tetapi juga mengurangi risiko kecelakaan kerja akibat tersandung tali, tertimpa pemberat, atau terjepit peralatan mekanis selama kegiatan penangkapan berlangsung. Oleh karena itu, pemeriksaan kondisi alat pengikat, titik penambat, dan posisi penyimpanan alat

tangkap sebaiknya menjadi bagian dari inspeksi rutin sebelum kapal berlayar maupun setelah kegiatan penangkapan selesai (IMO, 2021; FAO, 2003).

Secara keseluruhan, pengamanan alat tangkap pada kapal purse seine tidak hanya bertujuan menjaga keutuhan peralatan penangkapan, tetapi juga merupakan bagian penting dari manajemen keselamatan kapal (ship safety management). Pengamanan yang dilakukan secara benar mampu mempertahankan stabilitas kapal, melindungi keselamatan awak, meningkatkan efisiensi operasi penangkapan, serta memperpanjang umur pakai alat tangkap melalui pengurangan kerusakan akibat pergeseran maupun beban dinamis selama pelayaran.

4.7.3 Pengamanan Alat Tangkap pada Kapal Longline

Kapal longline merupakan salah satu jenis kapal penangkap ikan yang menggunakan alat tangkap berupa tali utama (main line) yang dipasang secara horizontal di perairan dan dilengkapi dengan sejumlah tali cabang (branch lines atau snoods) yang pada ujungnya dipasang mata pancing (hooks). Sistem penangkapan ini banyak digunakan untuk menangkap ikan pelagis besar dan ikan demersal bernilai ekonomi tinggi, seperti tuna (Thunnus spp.), ikan pedang (Xiphias gladius), marlin, dan beberapa spesies hiu. Dibandingkan dengan alat tangkap lainnya, longline memiliki karakteristik berupa penggunaan tali utama dengan panjang yang dapat mencapai puluhan hingga ratusan kilometer, ribuan mata pancing, pelampung, pemberat, serta berbagai peralatan mekanis yang bekerja secara terpadu selama proses setting dan hauling. Kompleksitas tersebut menyebabkan pengamanan alat tangkap menjadi bagian penting dalam menjamin

keselamatan pelayaran, efisiensi operasi penangkapan, dan perlindungan terhadap awak kapal.

Dalam perspektif keselamatan kapal, seluruh alat tangkap yang berada di atas geladak selama pelayaran diperlakukan sebagai bagian dari muatan operasional (operational cargo). Oleh karena itu, penataan dan pengamanannya harus mengikuti prinsip-prinsip cargo securing, yaitu memastikan seluruh peralatan tetap berada pada posisi yang telah direncanakan meskipun kapal mengalami gerakan akibat gelombang, angin, maupun manuver. Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing (CSS Code) yang diterbitkan oleh International Maritime Organization (IMO) menegaskan bahwa setiap muatan dan peralatan harus diamankan dengan sistem pengikat yang mampu menahan gaya dinamis yang timbul selama pelayaran sehingga tidak bergeser, terbalik, atau berpindah posisi yang dapat membahayakan stabilitas kapal maupun keselamatan awak kapal (IMO, 2021).

Komponen utama yang memerlukan perhatian khusus adalah tali utama (main line), karena merupakan elemen utama yang menopang seluruh rangkaian alat tangkap. Pada kapal longline modern, tali utama umumnya disimpan menggunakan drum hidrolik, line spool, atau sistem penyimpanan otomatis yang dirancang untuk menjaga keteraturan susunan tali sekaligus memudahkan proses pengeluaran (setting) dan penarikan kembali (hauling). Selama pelayaran, drum penyimpanan harus dilengkapi sistem pengunci (locking mechanism) agar tidak berputar akibat getaran mesin atau gerakan kapal. Penyimpanan tali yang tidak rapi dapat menyebabkan kusut (entanglement), lilitan antartali, maupun pelepasan tali secara tidak

terkendali. Kondisi tersebut tidak hanya menghambat operasi penangkapan, tetapi juga meningkatkan risiko kecelakaan kerja akibat lilitan tali yang dapat menarik atau menjepit awak kapal ketika peralatan mulai dioperasikan (Gabriel et al., 2005; ILO, 2007).

Selain tali utama, tali cabang (branch lines), mata pancing (hooks), pelampung (floats), pemberat (weights), dan tali pelampung (float lines) harus disusun sesuai urutan penggunaannya serta ditempatkan pada wadah penyimpanan yang dirancang khusus. Penataan yang sistematis akan mempercepat proses setting dan hauling, mengurangi kemungkinan terjadinya kusut, serta melindungi komponen alat tangkap dari kerusakan mekanis akibat benturan selama pelayaran. Mata pancing memerlukan perhatian khusus karena merupakan salah satu sumber bahaya utama pada operasi longline. Oleh sebab itu, mata pancing harus disimpan dalam rak atau kotak penyimpanan yang mampu mencegah kontak langsung dengan awak kapal serta menjaga ketajamannya hingga saat digunakan (Gabriel et al., 2005).

Peralatan bantu mekanis, seperti line hauler, line shooter, mesin penggulung tali, dan sistem hidrolik, juga harus diamankan dengan baik. Peralatan tersebut memiliki massa yang relatif besar dan menghasilkan gaya mekanis yang tinggi selama operasi penangkapan. Oleh karena itu, seluruh dudukan (mounting), baut pengikat, sistem hidrolik, dan sambungan struktural harus diperiksa secara berkala untuk memastikan tidak terjadi kelonggaran maupun kerusakan yang dapat mengganggu operasi. Dari sudut pandang arsitektur kapal, penempatan peralatan dengan massa besar di atas geladak harus mempertimbangkan distribusi berat kapal agar tidak menyebabkan perubahan posisi pusat

gravitasi (center of gravity) yang dapat memengaruhi stabilitas kapal, terutama ketika kapal beroperasi pada kondisi gelombang tinggi (Rawson & Tupper, 2001; Barrass & Derrett, 2012).

Pengamanan alat tangkap pada kapal longline juga merupakan bagian dari penerapan sistem keselamatan dan kesehatan kerja (occupational safety and health) di atas kapal. Work in Fishing Convention, 2007 (No. 188) yang diterbitkan oleh International Labour Organization (ILO) menegaskan bahwa pemilik kapal wajib menyediakan lingkungan kerja yang aman melalui penataan peralatan, pemeliharaan mesin, serta pengendalian bahaya yang dapat mengancam keselamatan awak kapal. Dalam praktiknya, pemeriksaan terhadap kondisi tali, mata pancing, sistem hidrolik, titik pengikat, dan mekanisme penguncian perlu dilakukan sebelum keberangkatan, selama operasi penangkapan, maupun setelah kegiatan hauling selesai. Pemeriksaan rutin tersebut tidak hanya mengurangi risiko kecelakaan kerja, tetapi juga meningkatkan keandalan alat tangkap serta memperpanjang umur pakainya (ILO, 2007).

Secara keseluruhan, pengamanan alat tangkap pada kapal longline merupakan bagian integral dari manajemen keselamatan kapal (ship safety management) dan manajemen operasi penangkapan ikan. Penataan, penyimpanan, serta pengikatan alat tangkap yang dilakukan secara benar mampu mencegah pergeseran peralatan selama pelayaran, mempertahankan stabilitas kapal, meningkatkan efisiensi operasi penangkapan, serta melindungi keselamatan awak kapal. Dengan demikian, pengamanan alat tangkap tidak hanya berfungsi menjaga keutuhan peralatan, tetapi juga menjadi salah satu faktor penting dalam mendukung

keberhasilan operasi penangkapan ikan yang aman, efektif, dan berkelanjutan.

4.7.4 Pengamanan Alat Tangkap pada Kapal Bubu dan Trap

Kapal bubu (trap fishing vessel) merupakan kapal penangkap ikan yang menggunakan alat tangkap berupa bubu (trap atau pot) untuk menangkap berbagai jenis ikan, krustasea, dan moluska. Bubu umumnya dibuat dari rangka logam, kayu, plastik, atau bahan sintetis yang dilengkapi dengan jaring atau anyaman sebagai perangkap. Berdasarkan karakteristik konstruksinya, alat tangkap ini memiliki dimensi yang relatif besar, bentuk yang kaku (rigid), serta bobot yang cukup berat, sehingga memerlukan sistem penyimpanan dan pengamanan yang baik selama pelayaran maupun pada saat operasi penangkapan. Selain itu, kapal bubu biasanya membawa alat tangkap dalam jumlah yang banyak sehingga penataan di atas geladak harus direncanakan dengan mempertimbangkan kapasitas ruang, kemudahan pengoperasian, serta keselamatan awak kapal (Gabriel *et al*., 2005).

Selama pelayaran, seluruh bubu yang berada di atas geladak diperlakukan sebagai bagian dari muatan operasional (operational cargo). Oleh karena itu, penyusunan dan pengamanannya harus memenuhi prinsip-prinsip cargo securing sebagaimana dijelaskan dalam Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing (CSS Code). Pedoman tersebut menekankan bahwa seluruh muatan dan peralatan yang berada di atas kapal harus ditata dan diamankan sedemikian rupa sehingga mampu menahan gaya dinamis yang timbul akibat gerakan kapal, termasuk rolling, pitching,

heaving, surging, swaying, dan yawing. Pengamanan yang memadai bertujuan mencegah terjadinya pergeseran muatan yang dapat membahayakan stabilitas kapal, mengganggu aktivitas awak kapal, maupun menyebabkan kerusakan pada alat tangkap (International Maritime Organization [IMO], 2021).

Penyusunan bubu di atas geladak umumnya dilakukan secara bertumpuk dengan memperhatikan distribusi berat dan kestabilan susunan. Bubu yang ditempatkan pada lapisan paling bawah harus memiliki kemampuan menopang beban dari lapisan di atasnya tanpa mengalami deformasi atau kerusakan struktur. Tinggi tumpukan juga perlu disesuaikan dengan ukuran kapal, luas geladak, serta batas pandang dari anjungan agar tidak mengganggu navigasi maupun meningkatkan posisi pusat gravitasi kapal secara berlebihan. Dari sudut pandang arsitektur kapal, penempatan muatan yang memiliki massa relatif besar pada bagian atas geladak akan meningkatkan posisi pusat gravitasi (center of gravity) sehingga berpotensi mengurangi stabilitas kapal apabila distribusi berat tidak direncanakan dengan baik (Rawson & Tupper, 2001; Barrass & Derrett, 2012).

Setiap lapisan bubu harus diamankan menggunakan sistem pengikatan (lashing) yang sesuai dengan ukuran, berat, dan bentuk alat tangkap. Salah satu metode yang umum diterapkan adalah pengikatan silang (cross lashing), yaitu pemasangan tali atau rantai pengikat secara menyilang untuk meningkatkan kemampuan menahan gaya lateral maupun longitudinal akibat gerakan kapal. Selain itu, penggunaan titik pengikat (pad eyes), turnbuckle, atau perangkat pengencang lainnya harus dipastikan memiliki kekuatan yang memadai agar sistem pengamanan tetap efektif selama pelayaran.

Sesuai dengan prinsip dalam CSS Code, sistem pengikatan harus dirancang untuk mencegah pergeseran, tergulingnya tumpukan, maupun terlepasnya alat tangkap akibat percepatan yang ditimbulkan oleh kondisi laut (IMO, 2021).

Pada kapal yang membawa bubu dalam jumlah besar, penggunaan rak penyimpanan (storage rack), rangka penahan (retaining frame), atau sekat pembatas (retaining barrier) sangat dianjurkan untuk meningkatkan keamanan penyimpanan. Struktur tambahan tersebut berfungsi menjaga posisi bubu tetap stabil selama pelayaran sekaligus mempermudah proses penurunan (setting) dan pengangkatan (hauling) alat tangkap. Selain meningkatkan efisiensi operasional, penggunaan struktur penahan juga dapat mengurangi beban kerja awak kapal karena meminimalkan kebutuhan untuk melakukan penyesuaian posisi alat tangkap selama pelayaran (Gabriel *et al.*, 2005).

Pengamanan alat tangkap pada kapal bubu juga merupakan bagian dari penerapan sistem keselamatan dan kesehatan kerja (occupational safety and health) di atas kapal. Work in Fishing Convention, 2007 (No. 188) menekankan pentingnya penyediaan lingkungan kerja yang aman melalui penataan peralatan kerja, pengendalian risiko mekanis, dan pemeliharaan fasilitas kapal. Oleh karena itu, sebelum kapal berlayar, seluruh sistem pengikatan, titik penambat, kondisi rak penyimpanan, serta kestabilan susunan bubu harus diperiksa untuk memastikan bahwa seluruh alat tangkap berada dalam kondisi aman. Pemeriksaan berkala selama pelayaran juga diperlukan, terutama ketika kapal menghadapi cuaca buruk atau gelombang tinggi yang dapat meningkatkan gaya dinamis pada muatan (International Labour Organization [ILO], 2007).

Secara keseluruhan, pengamanan alat tangkap pada kapal bubu merupakan bagian integral dari manajemen keselamatan kapal (ship safety management). Penataan yang sistematis, distribusi berat yang seimbang, penggunaan sistem pengikatan yang sesuai, serta pemeriksaan berkala terhadap kondisi alat pengaman akan mengurangi risiko pergeseran muatan, mempertahankan stabilitas kapal, melindungi keselamatan awak kapal, dan mendukung kelancaran operasi penangkapan ikan.

4.7.5 Pengamanan Alat Tangkap untuk Keselamatan dan Efisiensi Operasi

Selain berperan dalam mempertahankan stabilitas kapal, pengamanan alat tangkap merupakan salah satu komponen penting dalam sistem keselamatan kerja di atas kapal penangkap ikan. Seluruh peralatan penangkapan yang ditempatkan di atas geladak selama pelayaran pada dasarnya merupakan bagian dari muatan operasional (operational cargo), sehingga harus ditata dan diamankan agar tidak mengalami pergeseran akibat pengaruh gerakan kapal. Pergeseran alat tangkap yang tidak terkendali dapat mengakibatkan perubahan distribusi berat, mengganggu keseimbangan kapal, serta menimbulkan risiko cedera bagi awak kapal yang bekerja di area geladak. Oleh karena itu, International Maritime Organization (IMO) melalui Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing (CSS Code) menegaskan bahwa seluruh muatan dan peralatan di atas kapal harus diamankan menggunakan metode yang sesuai dengan karakteristik beban dan kondisi operasional kapal sehingga tetap berada pada posisi yang direncanakan selama pelayaran (International Maritime Organization [IMO], 2021).

Dari perspektif keselamatan kerja, operasi penangkapan ikan merupakan salah satu kegiatan maritim yang memiliki tingkat risiko kecelakaan tinggi karena melibatkan penggunaan alat tangkap berukuran besar, peralatan mekanis, tali bertegangan tinggi, serta pekerjaan yang dilakukan pada kondisi laut yang dinamis. Work in Fishing Convention, 2007 (No. 188) menegaskan bahwa pemilik kapal dan operator wajib menyediakan lingkungan kerja yang aman melalui penataan peralatan, pemeliharaan fasilitas kerja, pengendalian bahaya mekanis, serta penerapan prosedur keselamatan yang memadai. Dalam konteks tersebut, pengamanan alat tangkap menjadi salah satu upaya pengendalian risiko yang bertujuan mencegah kecelakaan akibat pergeseran peralatan, putusnya sistem pengikat, maupun jatuhnya alat tangkap selama pelayaran dan operasi penangkapan (International Labour Organization [ILO], 2007).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sektor perikanan komersial masih termasuk salah satu pekerjaan dengan tingkat kecelakaan dan fatalitas tertinggi di dunia. Analisis terhadap kejadian kecelakaan di kapal penangkap ikan menunjukkan bahwa aktivitas penanganan alat tangkap (fishing gear handling), pengoperasian mesin bantu, serta interaksi awak kapal dengan tali, jaring, dan peralatan penangkapan merupakan faktor yang secara konsisten berkontribusi terhadap terjadinya cedera kerja. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pengamanan alat tangkap tidak hanya berfungsi menjaga kondisi peralatan, tetapi juga merupakan bagian penting dari strategi mitigasi risiko untuk melindungi keselamatan awak kapal selama kegiatan

penangkapan ikan (Shrestha *et al*., 2022; Doza *et al*., 2023; Kim *et al*., 2023; Lee *et al*., 2024).

Selain aspek keselamatan, pengamanan alat tangkap juga berpengaruh terhadap keandalan operasional kapal. Alat tangkap yang tersusun dengan baik dan diamankan secara benar akan lebih terlindungi dari benturan, gesekan, maupun kerusakan akibat gerakan kapal selama pelayaran. Sebaliknya, alat tangkap yang tidak diamankan berpotensi mengalami deformasi, kerusakan mekanis, atau penurunan fungsi yang dapat menghambat proses setting dan hauling, memperpanjang waktu operasi, serta meningkatkan biaya pemeliharaan dan perbaikan. Dari sudut pandang teknik perkapalan, penataan alat tangkap juga harus memperhatikan distribusi berat kapal agar tidak menyebabkan perubahan posisi pusat gravitasi (center of gravity) yang dapat menurunkan stabilitas kapal, terutama ketika kapal beroperasi pada kondisi gelombang tinggi (Rawson & Tupper, 2001; Barrass & Derrett, 2012).

Oleh karena itu, pemeriksaan terhadap kondisi alat tangkap, sistem pengikatan (lashing), titik penambat (pad eyes), rak penyimpanan, serta dudukan peralatan mekanis perlu dilakukan secara berkala sebelum keberangkatan, selama pelayaran, dan setelah operasi penangkapan selesai. Kegiatan inspeksi tersebut merupakan bagian dari sistem manajemen keselamatan kapal (ship safety management) yang bertujuan memastikan seluruh peralatan berada dalam kondisi laik operasi serta mampu menahan beban statis maupun dinamis selama kapal beroperasi (IMO, 2021).

Dengan demikian, pengamanan alat tangkap tidak hanya merupakan tindakan teknis dalam menata peralatan penangkapan, tetapi juga merupakan bagian integral dari

sistem manajemen keselamatan dan operasional kapal perikanan. Penerapan prinsip-prinsip pengamanan yang tepat akan meningkatkan keselamatan pelayaran, melindungi awak kapal dari potensi kecelakaan kerja, menjaga keandalan alat tangkap, mempertahankan stabilitas kapal, serta mendukung efisiensi dan keberlanjutan kegiatan penangkapan ikan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, F. M., Hasanudin, & Husein, M. R. (2026). Study of the Stability of Thin-Plate Steel Fishing Vessels. Iop Conference Series Earth and Environmental Science, 1628(1), 012039. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1628/1/012039.

Adepoju, O. O., & Bello, K. (2022). Excess load on ships and its effects on stability performance in Nigerian waterways. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 7(1), 62–72. https://doi.org/10.14254/jsdtl.2022.7-1.5

Barrass, C. B., & Derrett, D. R. (2012). Ship Stability for Masters and Mates (7th ed.). Butterworth-Heinemann.

Caamaño, L. S., González, M. M., García, S. A., & Casás, V. D. (2022). Evaluation of onboard stability assessment techniques under real operational conditions. Ocean Engineering, 258, 111841.

Canosa, J. M. P., Orosa, J. A., Osés, F. X. M. de, & Lama-Carballo, Fco. J. (2023). Optimization of Ship's Navigational Parameters to Improve the Stowage and Securing Criteria of Non-Standardized Cargo in Ships. Journal of Marine Science and Engineering, 11(9), 1782. https://doi.org/10.3390/jmse11091782

Ceballos-Santos, S., Laso, J., Ulloa, L., Ruiz-Salmón, I., Margallo, M., & Aldaco, R. (2023). Environmental performance of Cantabrian (Northern Spain) pelagic fisheries: Assessment of purse seine and minor art fleets under a life cycle approach. The Science of the Total Environment, 855, 158884. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158884

Dereli, H., Ünal, V., Miliou, A., Tsimpidis, T., Trompouki, I., Tosunoğlu, Z., Alexopoulos, K., & Ulman, A. (2022). Comparison of technical measures in the Aegean Sea to support harmonization of fisheries management policies. Acta Ichthyologica Et Piscatoria, 52(2), 111–123. https://doi.org/10.3897/aiep.52.80083.

Diatmaja, H., Prabowo, A. R., Adiputra, R., Muhayat, N., Baek, S. J., Huda, N., Tuswan, T., Zubaydi, A., & Nubli, H. (2023). Comparative Evaluation of Design Variations in Prototype Fast Boats: A Hydrodynamic Characteristic-Based Approach. Mathematical Modelling and Engineering Problems, 10(5), 1487–1507. https://doi.org/10.18280/mmep.100501

Domeh, V., Khan, F., & Amyotte, P. (2023). Loss of stability risk analysis in small fishing vessels. Ocean Engineering, 285, 115780.

Doza, S., Bovbjerg, V. E., Case, S., Vaughan, A., & Kincl, L. (2023). Utilizing Haddon matrix to assess nonfatal commercial fishing injury factors in Oregon and Washington. Injury Epidemiology, 10(1). https://doi.org/10.1186/s40621-023-00428-7

Farhum, S. A., Kadafi, M., & Siska. (2026). The effect of water filling level in a live-bait tank on the stability of a 20 GT pole and line fishing vessel. Engineering, Technology & Applied Science Research, 16(2), 34000–34011.

Firdhaus, A., Pujo, M. I., Luqman, H. M., & Sekar, W. N. A. (2023). IMO-Compliant Analysis Of The Large Angle Stability Of Chemical Tankers During The Loading And Unloading Liquid Caustic Soda. Jurnal Rekayasa Mesin, 14(3), 891–900. https://doi.org/10.21776/ jrm.v14i3.1409

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2005). Code of safety for fishermen and fishing vessels. Part B: Safety and health requirements for the construction and equipment of fishing vessels. FAO.

Gabriel, O., Lange, K., Dahm, E., & Wendt, T. (Eds.). (2005). Fish catching methods of the world (4th ed.). Blackwell Publishing.

Ghaly, A. E., Dave, D., Budge, S., & Brooks, M. S. (2010). Fish spoilage mechanisms and preservation techniques: Review. American Journal of Applied Sciences, 7(7), 859–877.

Grin, R. (2024). On empirical methods to predict the rolling period of ships. IMDC. https://doi.org/10.59490/imdc.2024.881

Gudmundsson, A. (2009). Safety practices related to small fishing vessel stability. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Heidrich, K. N., Juan-Jordá, M. J., Murua, H., Thompson, C. D. H., Meeuwig, J. J., & Zeller, D. (2022). Assessing progress in data reporting by tuna Regional Fisheries Management Organizations. Fish and Fisheries, 23(6), 1264–1281. https://doi.org/10.1111/faf.12687

Hind, J. A. (1982). Stability and trim of fishing vessels and other small ships. John Wiley & Sons.

Huss, H. H. (1995). Quality and quality changes in fresh fish (FAO Fisheries Technical Paper No. 348). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

International Labour Organization. (2007). Work in Fishing Convention, 2007 (No. 188). International Labour Organization.

International Maritime Organization. (2021). Code of safe practice for cargo stowage and securing (CSS Code). IMO Publishing.

Jaleel, A., & Smith, H. D. (2022). The Maldives Tuna Fishery: An Example of Best Practice. Ocean Yearbook Online, 36(1), 314–345. https://doi.org/10.1163/22116001-03601012

Javadi, Y., Mills, B., MacLeod, C., Lines, D., Abad, F., Lotfian, S., Mehmanparast, A., Pierce, G., Brennan, F., Gachagan, A., & Mineo, C. (2024). Phased Array Ultrasonic Method for Robotic Preload queshttps://doi.org/10.3390/s24051421

Kasyk, L., Wolnowska, A., Pleskacz, K., & Kapuściński, T. (2023). The Analysis of Social and Situational Systems as Components of Human Errors Resulting in Navigational Accidents. Applied Sciences, 13(11), 6780. https://doi.org/10.3390/app13116780

Kaup, M., Łozowicka, D., Baszak, K., & Ślączka, W. (2023). An Assessment of Stability and Strength of a Container Ship for Safety Compliance in Cargo Loading Plans. Applied Sciences, 14(1), 345. https://doi.org/10.3390/app14010345

Kim, D., & Yeo, D. (2020). Estimation of draft and metacentric height of a fishing vessel according to loading condition. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 12, 519–529.

Kim, S.-H., RYU, K.-J., Lee, S.-H., Lee, K., Kim, S., & LEE, Y.-W. (2023). Enhancing Sustainability through Analysis and Prevention: A Study of Fatal Accidents on Trap Boats within the Commercial Fishing Industry. Sustainability, 15(21), 15382. https://doi.org/10.3390/su152115382

Kim, J., Lee, S., & Park, H. (2024). Design analysis using evaluation of surf-riding and broaching by the IMO second generation intact stability criteria for a small fishing boat. Journal of Marine Science and Engineering, 12(11), 2066.

Kusumawati, E., & Lestari, E. D. (2024). Profesionalisme Marine Inspector dalam Mewujudkan Keselamatan Pelayaran Menuju Zero Accident di Pelabuhan Kelas Utama Tanjung Perak. Zona Laut Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan, 309–321. https://doi.org/10.62012/zl.v5i3.42077

Lee, S.-H., Kim, S.-H., RYU, K.-J., & LEE, Y.-W. (2024). Bayesian Network Analysis of Industrial Accident Risk for Fishers on Fishing Vessels Less Than 12 m in Length. Sustainability, 16(10), 3977. https://doi.org/10.3390/su16103977

Liu, Y., Wang, H., Zhang, X., & Li, J. (2024). Vibration response analysis and optimization of marine auxiliary machinery mounting systems under dynamic loading conditions. Ocean Engineering, 302, 117768.

Manullang, S., Irvana, R., Dewanto, Y. A., Wetik, A. B. A., & Patanda, M. (2024). Performance Analysis the Impact of Solar Panel Placement on the Deck House Fishing Vessel (20 GT) on Fishing Operation. International Journal of Marine Engineering Innovation and Research, 9(2). https://doi.org/10.12962/j25481479.v9i2.20394

Marques, A. L. F. (2022). Technologies and Materials Issues Related to Naval and Ocean Engineering. 15–50. https://doi.org/10.4322/978-65-86503-83-8.c02

Nawi, S., Baharuddin, H., Abbas, I., Indonesia, U. M., Indonesia, U. M., & Indonesia, U. M. (2021). The Function of the Harbormaster for the Security and Safety of Shipping. 105(2019), 48–54. https://doi.org/10.7176/JLPG/105-07

Nguyen, T. H. T., & Hirakawa, Y. (2023). Operability and stability assessment of Japanese and Vietnamese purse seiners under the combined action of fishing gear and waves. Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 38, 17–27. https://doi.org/10.2534/jjasnaoe.38.17

Nubli, H., Utomo, F. S., Diatmaja, H., Prabowo, A. R., Ubaidillah, U., Susilo, D. D., Wibowo, W., Muttaqie, T., & Laksono, F. B. (2022). Design of the Bengawan Unmanned Vehicle (UV) Roboboat: Mandakini Neo. Mekanika Majalah Ilmiah Mekanika, 21(2), 64. https://doi.org/10.20961/mekanika.v21i2.61624

Olafsdottir, G., Martinsdóttir, E., Oehlenschläger, J., Dalgaard, P., Jensen, B., Undeland, I., Mackie, I. M., Henehan, G., Nielsen, J., & Nilsen, H. (1997). Methods to evaluate fish freshness in research and industry. Trends in Food Science & Technology, 8(8), 258–265.

Petacco, N., & Gualeni, P. (2023). The influence of ship stability in waves on naval vessel operational profiles. Journal of Ocean Engineering and Marine Energy, 9(4), 681–695.

Pratama, A., Prabowo, A. R., Tuswan, T., Adiputra, R., Muhayat, N., Cao, B., Hadi, S., & Yaningsih, I. (2023). Fast patrol boat hull design concepts on hydrodynamic performances and survivability evaluation. Istrazivanja I Projektovanja Za Privredu, 21(2), 501–531. https://doi.org/10.5937/jaes0-40698

Prayitno, M. E. (2022). Analysis Of Technical Specifications Of 180 GT Purse Seine Vessel In Fishing Line III Fisheries Management Area (FMA) 572. International Journal of Marine Engineering Innovation and Research, 7(4). https://doi.org/10.12962/j25481479.v7i4.14859

Rawson, K. J., & Tupper, E. C. (2001). Basic ship theory (5th ed.). Butterworth-Heinemann.

Rizal, N., Sari, D. P., Cahyono, B., Prastyo, D. D., Ali, B., & Arianti, E. (2023). Experimental Seakeeping and Uncertainty Analysis of Benchmark Ship Model in Regular Head and Beam Waves. Naše More, 70(1), 48–57. https://doi.org/10.17818/nm/2023/1.5

Salmarika, S., Shadiqin, I., Irham, M., Agustina, I., Rahayu, R., Aprilla, R. M., & Rahmah, A. (2022). Performance analysis of catch fisheries in Sabang Waters. Depik Jurnal Ilmu Ilmu Perairan Pesisir Dan Perikanan, 11(3), 265–270. https://doi.org/10.13170/depik.11.3.22182

Sepúlveda, M., Szteren, D., Alfaro-Shigueto, J., Crespo, E. A., Durán, L. R., Guerrero, A. I., Mangel, J. C., Oliva, D., & Oliveira, L. R. de. (2023). Sea lion and fur seal interactions with fisheries and aquaculture in South American waters: threats and management perspectives. Mammal Review, 53(2), 116–131. https://doi.org/10.1111/mam.12311

Shrestha, S., Shrestha, B., Bygvraa, D. A., & Jensen, O. C. (2022). Risk Assessment in Artisanal Fisheries in Developing Countries: A Systematic Review. American Journal of Preventive Medicine, 62(4), e255–e264. https://doi.org/10.1016/j.amepre.2021.08.031

The Society of Naval Architects and Marine Engineers. (2021). Principles of naval architecture series: Intact stability. SNAME.

T.H., T. N., & Hirakawa, Y. (2023). Operability and stability assessment of Japanese and Vietnamese purse seiners under the combined action of fishing gear and waves. Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 38(0), 17–27. https://doi.org/10.2534/jjasnaoe.38.17

Umeda, N., Matsuda, A., & Yoshida, K. (2023). Experimental study of the water on deck effects on the transverse stability of a fishing vessel running in stern quartering seas. Ocean Engineering, 289, 116289.

Widodo, A., Wilcox, C., Sadiyah, L., Satria, F., Wudianto, Ford, J. L., & Hardesty, B. D. (2023). Developing indicators to detect the use of fish-aggregating devices. Marine & Freshwater Research, 74(6), 535–543. https://doi.org/10.1071/mf22055

Zhang, W., Chen, G., Liu, Z., & Sun, Y. (2022). Dynamic characteristics and vibration isolation performance of resilient mounting systems for ship machinery equipment. Journal of Marine Science and Engineering, 10(11), 1685.

Zhang, H., & Li, K. (2024). Assessment of fishing vessel vulnerability to pure loss of stability using a self-developed program. Journal of Marine Science and Engineering, 12(4), 527.

Zhang, H., Li, K., Mei, G., Ding, J., & Wu, Q. (2025). Impact analysis of hull line design on fishing vessels' vulnerability to pure loss of stability. Journal of Marine Science and Engineering, 13(10), 1954.

BAB 5
DRAF, TRIM, DAN DISPLASMEN KAPAL

Oleh Yani Nurita Purnawanti

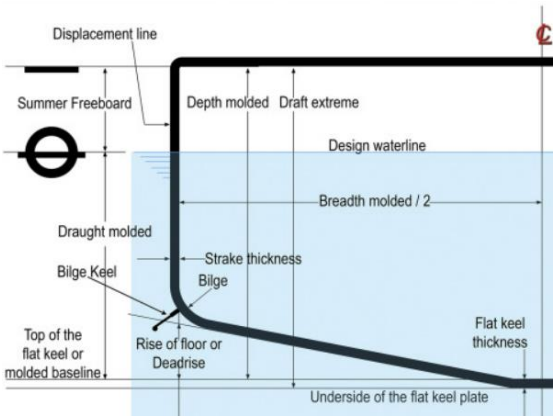
Dalam manajemen penanganan dan pengaturan muatan kapal, pemahaman terhadap draf, displasmen, dan trim menjadi dasar penting untuk memastikan kapal berada dalam kondisi pemuatan yang aman, efisien, dan sesuai batas operasi. Draf menunjukkan kedalaman bagian kapal yang terbenam di bawah permukaan air, displasmen merepresentasikan berat total kapal pada suatu kondisi pemuatan, sedangkan trim menggambarkan keseimbangan membujur kapal akibat distribusi muatan, ballast, bahan bakar, air tawar, dan beban operasional lainnya. Ketiga parameter ini digunakan dalam pengambilan keputusan terkait jumlah muatan yang dapat dimuat, penempatan muatan di ruang kapal, pengaturan ballast, batas garis muat, stabilitas, *under keel clearance*, serta akurasi *draft survey*. Dengan demikian, pengaturan muatan tidak hanya berkaitan dengan kapasitas angkut, tetapi juga harus mempertimbangkan pengaruh distribusi berat terhadap draf, displasmen, trim, keselamatan pelayaran, dan efisiensi operasional kapal. Bab ini membahas konsep, hubungan, dan aplikasi draf, displasmen, dan trim sebagai landasan teknis dalam pengelolaan muatan kapal.

5.1 Draf atau sarat kapal

Draf atau sarat air pada kapal yaitu jarak vertikal dari garis air sampai titik referensi bawah kapal, biasanya keel atau baseline. Draf kapal, atau sarat kapal, adalah jarak vertikal antara garis air dan bagian terbawah kapal, umumnya lunas atau keel. Besarnya draf menunjukkan seberapa dalam badan kapal terbenam di dalam air. Dalam operasi kapal, draf biasanya dibaca pada tanda sarat atau *draft mark* yang terletak di bagian depan, tengah, dan belakang kapal. Draf depan disebut *forward draft* (Tf), sedangkan draf belakang disebut *aft draft* (Ta). Pembacaan kedua nilai ini penting karena tidak semua kapal terapung dalam kondisi rata atau *even keel*. Kapal dapat mengalami perbedaan sarat antara haluan dan buritan akibat distribusi muatan, ballast, bahan bakar, air tawar, perlengkapan, maupun perubahan kondisi operasi.

Draf juga dibedakan berdasarkan acuan geometris, yaitu *moulded draft* dan *extreme draft*. Perbedaan antara *draf extreme* dan *draf moulded* terletak pada titik acuan pengukuran di bagian bawah kapal. *Draf extreme* adalah jarak vertikal yang diukur dari permukaan garis air (*waterline*) hingga ke titik paling rendah dari struktur kapal, termasuk ketebalan plat kulit luar, lunas (*keel*), sehingga parameter ini menjadi acuan utama demi keselamatan kapal saat melewati perairan dangkal. Sedangkan *Draf moulded* adalah jarak vertikal dari permukaan garis air hanya sampai ke bagian dalam plat kulit dasar (garis dasar cetakan atau *base line*), tidak menghitung ketebalan plat lunas itu sendiri, sehingga sering dipakai dalam desain lambung, perhitungan

hidrostatik, dan penyusunan kurva hidrostatik. Ilustrasi draf extreme dan draf moulded dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 5. 1 Ilustrasi Draf pada Kapal.
Sumber: Karanassos, 2016

Nilai draf kapal berubah sesuai kondisi desain dan operasi. Pada tahap perancangan, kapal dianalisis pada draf desain, yaitu draf yang menjadi dasar penentuan parameter utama kapal seperti bentuk lambung, displacement, stabilitas, tahanan, dan kebutuhan daya propulsi. Dalam operasi, kapal dapat berada pada draf ballast, yaitu kondisi ketika kapal tidak membawa muatan utama tetapi membawa air ballast untuk menjaga stabilitas, trim, dan keterbenaman propeller. Ketika kapal membawa muatan penuh, kapal berada pada draf penuh, yang berkaitan langsung dengan load displacement dan kapasitas angkut kapal. Di sisi lain, kapal juga memiliki draf maksimum, yaitu batas terbesar yang diizinkan berdasarkan pertimbangan load line, freeboard, stabilitas, kekuatan struktur, dan keselamatan navigasi.

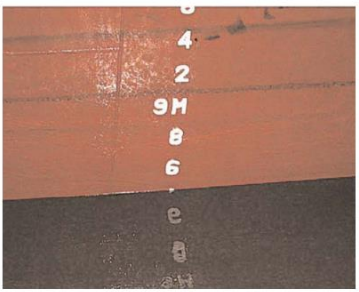


Figure 16.1: Typical draught marks.

Gambar 5. 2 Contoh Draf Mark pada Lambung Kapal

Draft mark adalah tanda sarat berupa angka atau skala pada lambung kapal yang digunakan untuk membaca draf aktual kapal. Fungsi draft mark adalah membantu menentukan kondisi keterbenaman kapal, mengevaluasi trim dan list, memperkirakan displasmen, serta mendukung perhitungan berat muatan dalam *draft survey*. Dalam Panduan (UK P&I Club, 2023), pembacaan draft mark dilakukan pada bagian depan, tengah, dan belakang kapal pada sisi *port* dan *starboard* sehingga diperoleh enam titik pembacaan. Pembacaan ini penting karena kapal dapat mengalami trim, list, hogging, atau sagging. Agar hasilnya akurat, pembacaan dilakukan pada kondisi kapal tegak, trim kecil, dan perairan relatif tenang. Nilai draf yang terbaca selanjutnya perlu dikoreksi terhadap trim, list, densitas air, hogging, sagging, dan posisi draft mark sebelum digunakan untuk menentukan displasmen dari tabel hidrostatik.

Dalam satu dekade terakhir, pembacaan draf kapal mulai berkembang dari metode visual-manual menuju sistem otomatis berbasis *image processing, computer vision, deep learning*, OCR, *multispectral imaging*, kamera dermaga, LiDAR,

dan sensor cerdas. Perkembangan ini muncul karena pembacaan manual pada *draft mark* memiliki sejumlah keterbatasan, seperti subjektivitas pengamat, kesalahan paralaks, pengaruh gelombang, refleksi permukaan air, pencahayaan rendah, kondisi *draft mark* yang kotor atau aus, serta risiko keselamatan surveyor ketika harus membaca draf di sekitar lambung kapal. Kajian (Wei, 2023) menunjukkan bahwa riset observasi draf kapal berkembang ke dua arah utama, yaitu observasi visual berbantuan alat dan observasi berbasis kecerdasan buatan, dengan tujuan meningkatkan akurasi, mengurangi biaya tenaga kerja, dan memungkinkan penerapan pada lingkungan yang kompleks.

Dalam praktik *draft survey*, pembacaan draf umumnya dilakukan pada enam titik, yaitu bagian depan, tengah, dan belakang kapal pada sisi *port* dan *starboard*. Proses pembacaan seluruh *draft mark* dapat memerlukan waktu sekitar 30–60 menit, tergantung kondisi laut dan akses terhadap tanda sarat. Data draf tersebut kemudian dirata-ratakan antara sisi kiri dan kanan, dikoreksi terhadap kondisi lambung seperti *hogging* dan *sagging*, lalu digunakan bersama tabel hidrostatik untuk menentukan displasmen kapal (Britannia, 2023). Pada kapal curah, akurasi pembacaan draf memiliki konsekuensi ekonomi yang besar. (Wei, 2023) mencatat bahwa kesalahan pembacaan sebesar 1 cm pada kapal tipe *cape size* dapat setara dengan sekitar 120 ton muatan; jika harga batubara diasumsikan USD 200 per ton, maka selisih tersebut bernilai sekitar USD 24.000.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sistem otomatis berpotensi meningkatkan akurasi dan efisiensi pembacaan draf. (Tsujii, Yoshida and Iiguni, 2016) menggunakan pengolahan citra berbasis operasi morfologi

dan *Canny edge detection* untuk mendeteksi *draft mark* dan *waterline*. Perkembangan berikutnya mengarah pada penggunaan deep learning untuk mendeteksi tanda draf, mengenali skala angka, melakukan segmentasi batas kapal-air, dan memperkirakan nilai draf secara otomatis. (Zhang, *et al,* 2024), misalnya, menggunakan 524 citra multispektral berbasis RGB dan *near-infrared* untuk mengurangi gangguan refleksi air, serta melaporkan mAP 99,2% untuk deteksi *draft mark* dan ketidakakuratan pembacaan kurang dari ±0,01 m. Pendekatan *multi-task learning* seperti MTL-VDR juga mengintegrasikan deteksi *draft mark*, pengenalan skala, segmentasi kapal-air, dan estimasi draf dengan kecepatan lebih dari 40 FPS, sehingga mendukung pemantauan secara *real-time* (Qu *et al.*, 2023).

Dalam konteks ini, istilah citra tidak merujuk pada citra satelit, melainkan foto atau video *draft mark* yang diambil dari luar lambung kapal. Pengambilan citra dapat dilakukan menggunakan kamera dermaga, kamera tetap di terminal, kamera genggam, perahu kecil, atau UAV/drone. Pada pendekatan multispektral, citra yang digunakan dapat berupa kombinasi RGB dan *near-infrared* agar sistem lebih mampu membedakan lambung kapal, *draft mark*, dan *waterline* ketika terjadi refleksi permukaan air. OMC International juga mengembangkan pendekatan berbasis kamera dermaga dan LiDAR melalui sistem ODIN untuk memantau draf kapal saat berada di *berth*, sekaligus memperoleh informasi tambahan seperti *list*, trim, *hog/sag*, dan jarak kapal terhadap dermaga (Frick and Murcott, 2023).

Namun, otomasi pembacaan draf belum sepenuhnya menggantikan proses *draft survey* secara menyeluruh. Sistem berbasis citra masih menghadapi tantangan seperti

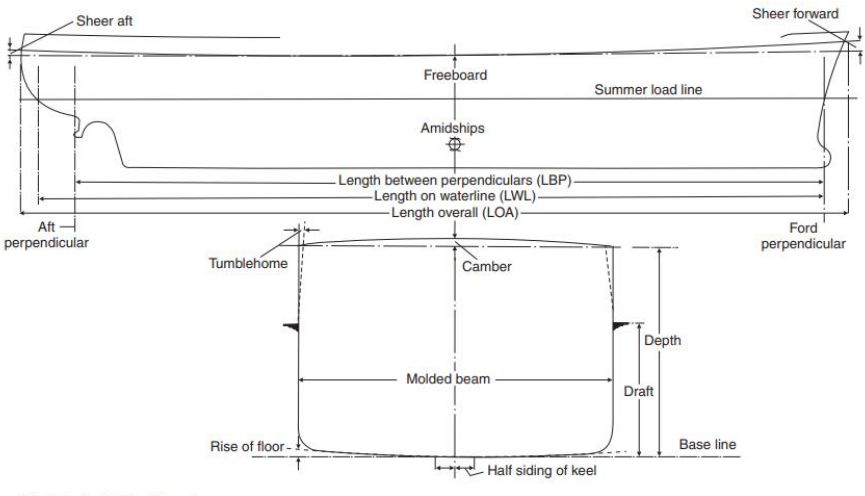
gelombang, cipratan air, refleksi permukaan, pencahayaan rendah, sudut kamera, variasi bentuk *draft mark*, karat, *fouling*, serta kotoran pada lambung kapal. Selain itu, nilai draf yang diperoleh dari sistem otomatis tetap merupakan data awal yang harus dikoreksi terhadap trim, *list*, densitas air, *hogging*, *sagging*, posisi *draft mark*, dan tabel hidrostatik sebelum digunakan untuk menghitung displasmen dan berat muatan. OMC juga menekankan bahwa kualitas citra, keterhalangan *draft mark*, *fouling*, pencahayaan malam hari, serta penyelarasan kamera menjadi keterbatasan penting dalam penerapan sistem otomatis.

Perlu pula dibedakan antara pembacaan draf pada kapal yang diam dan pemantauan draf saat kapal beroperasi. Pembacaan berbasis kamera paling sesuai untuk kapal yang sedang sandar, berada di *anchorage*, atau sedang melakukan kegiatan muat-bongkar. Ketika kapal sedang berlayar di laut, pembacaan visual terhadap *draft mark* menjadi lebih sulit karena kapal mengalami *rolling*, *pitching*, *heaving*, cipratan air, perubahan pencahayaan, dan fluktuasi muka air. Pada kondisi tersebut, pemantauan draf lebih sesuai dilakukan melalui sensor onboard, seperti sensor tekanan, sensor ultrasonik, radar level sensor, atau estimasi berbasis *loading computer* yang dikombinasikan dengan data muatan, ballast, bahan bakar, dan tabel hidrostatik. Dengan demikian, draf yang diperoleh saat kapal bergerak perlu dipahami sebagai draf dinamis, yang dapat berbeda dari draf statis saat kapal diam.

5.2 Displasmen kapal

Displasmen kapal adalah berat air yang dipindahkan oleh volume lambung kapal yang tercelup. Ketika kapal terapung dalam kondisi seimbang, berat total kapal akan sama dengan berat air yang dipindahkan oleh volume badan kapal yang berada di bawah permukaan air. Prinsip ini berasal dari hukum Archimedes, yaitu bahwa benda yang terapung akan mendapatkan gaya apung sebesar berat fluida yang dipindahkannya. Dalam konteks kapal, gaya apung tersebut bekerja ke atas melalui pusat apung, sedangkan berat kapal bekerja ke bawah melalui pusat gravitasi. Kapal berada dalam kondisi terapung apabila kedua gaya tersebut berada dalam keseimbangan. Pembahasan ini sejalan dengan konsep dasar hidrostatik kapal dalam *Principles of Naval Architecture* (Lewis, 1988), yang menempatkan displasmen, gaya apung, pusat apung, dan pusat gravitasi sebagai dasar analisis keseimbangan dan stabilitas kapal.

Untuk menghitung displasmen, diperlukan pemahaman tentang dimensi utama kapal. Pada Gambar 3 disajikan gambar ilustrasi penampang kapal tampak samping dan tampak depan. Hal ini untuk memudahkan pemahaman tentang dimensi utama kapal yaitu LOA, LWL, LBP, B, H, dan T.



Gambar 5. 3 Ilustrasi Dimensi Utama Kapal

Sumber: (Eyres, D.J; Bruce, 2012)

Keterangan:

- LOA (*Length Over All*) adalah panjang kapal keseluruhan yang merupakan jarak antara ujung buritan sampai ujung haluan.
- LWL (*Length of Water Line*) adalah panjang kapal di permukaan air yang diukur dari titik potong pada linggi buritan sampai titik potong linggi haluan.
- LBP (*Length Between Perpendiculars*) adalah panjang antara dua garis tegak buritan dan garis tegak haluan yang diukur pada garis muat dikur dari titik AP (After Perpendicular) sampai FP (Fore Perpendicular)
- AP (*After Perpendicular*) adalah garis tegak buritan yang letaknya pada sumbu poros kemudi
- FP (*Fore Perpendicuar*) adalah garis tegak haluan yang merupakan perpotongan antara tinggi haluan dengan garis air muat.

- *Breadth* adalah lebar kapal yang merupakan jarak mendatar dari gading tengah yang diukur pada bagian luar gading (tidak termasuk tebal pelat lambung).
- *Breadth Extreme*: Lebar terbesar atau lebar ekstrim adalah jarak melintang dari titik terjauh di sebelah kiri sampai ke titik terjauh di sebelah kanan badan kapal, diukur pada lebar terbesar dan sejajar lunas.
- *Breadth Moulded*: Lebar dalam adalah lebar kapal dihitung dari sebelah dalam kulit kapal lambung yang satu sampai ke sebelah dalam lambung lainnya, diukur pada lebar kapal terbesar dan sejajar lunas.
- Tinggi Kapal (*Height* atau *Depth)*: adalah jarak tegak yang diukur dari titik terendah kapal ke titik geladak lambung bebas (*free board)*

5.2.1 Volume Displasmen

Volume displacement kapal (volume displasmen) adalah volume air yang dipindahkan oleh sebuah kapal saat kapal tersebut benar-benar terendam dalam air (Lewis, 1988). Dengan kata lain, volume displasmen merupakan volume dari area kapal yang tercelup. Volume displasmen dapat dihitung melalui persamaan:

$$V_{disp=Lwl\ x\ B\ x\ T\ x\ Cb}$$

dimana:
Vdisp : Volume displasmen
Lwl : Panjang garis air (length of water line)
B : Lebar kapal
T : sarat air
Cb: koefisien blok / koefisien bentuk kapal

Volume displasmen digunakan untuk mengukur berapa banyak ruang yang ditempati oleh kapal dalam air. Volume displasmen sering diukur dalam satuan kubik meter (m^3) atau kaki kubik (ft^3), tergantung pada sistem pengukuran yang digunakan.

Displasmen adalah berat air yang dipindahkan akibat area kapal yang terendam air. Displasmen dapat dihitung melalui persamaan (Lewis, 1988):

$$\Delta = Vdisp\ x\ \rho$$

Dimana:

Δ : Displasmen

Vdisp : Volume displasmen

ρ : massa jenis fluida

Displasmen kapal biasanya dinyatakan dalam satuan ton atau kg. Berat displasmen juga digunakan dalam perencanaan berat muatan kapal (Lewis, 1988).

Dalam literatur stabilitas dan hidrostatik kapal, displasmen sering juga dipahami sebagai berat total kapal pada suatu kondisi pemuatan tertentu. Artinya, displasmen tidak hanya mencakup berat lambung dan mesin, tetapi juga seluruh berat yang sedang berada di atas kapal, seperti muatan, bahan bakar, air tawar, ballast, awak kapal, perbekalan, dan perlengkapan lainnya. NSTM *Weights and Stability* (NSTM, 2005) menjelaskan bahwa displasmen kapal pada suatu waktu adalah berat total kapal beserta seluruh beban yang berada di atasnya, dan nilainya ekuivalen dengan berat air yang dipindahkan oleh volume lambung bawah air.

Dalam pembahasan displasmen kapal, perlu dibedakan antara lightweight (LWT), deadweight (DWT), dan displacement (Δ). *Lightweight* merupakan berat kapal dalam kondisi kosong tetapi lengkap secara konstruksi dan

perlengkapan tetap, seperti lambung, bangunan atas, mesin, sistem propulsi, sistem perpipaan, sistem kelistrikan, serta peralatan permanen kapal. *Deadweight* merupakan total berat variabel yang dapat dibawa kapal pada kondisi operasi tertentu, meliputi muatan, bahan bakar, air tawar, ballast, awak kapal, penumpang, perbekalan, dan perlengkapan operasi. Sementara itu, *displacement* menunjukkan berat total kapal pada suatu kondisi terapung.

Dengan demikian, displasmen kapal dapat dipahami sebagai penjumlahan antara berat dasar kapal dan seluruh beban tambahan yang berada di atasnya. Hubungan tersebut dapat dinyatakan sebagai:

$$\Delta = DWT + LWT$$

DWT : *Deadweigth* yaitu total muatan kapal atau berat muatan yang dapat berubah (bahan bakar, muatan, dsb.)

LWT : *Lightweight* yaitu berat kapal kosong atau total berat konstruksi kapal

Pemahaman terhadap hubungan antara LWT, DWT, dan Δ menjadi penting karena displasmen tidak hanya menunjukkan berat kapal, tetapi juga berhubungan langsung dengan draf, stabilitas, trim, kapasitas muatan, dan keselamatan operasi kapal. Ketika DWT bertambah, berat total kapal meningkat sehingga volume air yang harus dipindahkan juga bertambah. Akibatnya, draf kapal meningkat. Sebaliknya, ketika muatan dibongkar atau bahan bakar dikonsumsi, DWT berkurang sehingga displasmen dan draf kapal menurun.

5.2.2 TPC

Dalam analisis displasmen, hubungan antara perubahan berat dan perubahan draf dapat dinyatakan

melalui TPC atau *Tonnes per Centimetre Immersion*. TPC menunjukkan jumlah ton yang diperlukan untuk mengubah draf rata-rata kapal sebesar satu sentimeter. Nilai ini bergantung pada luas bidang air kapal dan massa jenis air. Semakin besar luas bidang air, semakin besar pula berat yang dibutuhkan untuk menambah draf kapal sebesar satu sentimeter. Oleh karena itu, kapal besar seperti tanker dan bulk carrier memiliki nilai TPC yang jauh lebih besar dibandingkan kapal kecil. Dalam praktik operasi, TPC digunakan untuk memperkirakan perubahan draf akibat pemuatan, pembongkaran, konsumsi bahan bakar, pengisian ballast, atau pembuangan ballast. TPC dapat dihitung dengan rumus:

$$TPC = \frac{w}{\Delta T}$$

Dimana:

w : perubahan displasmen akibat penambahan atau pengurangan muatan (ton)

ΔT : perubahan draf yang terjadi akibat penambahan atau pengurangan muatan (cm)

Contoh:

Jika nilai TPC = 30 ton/cm dan kapal menerima muatan tambahan sebesar 300 ton, maka kenaikan draf rata-rata adalah:

$$\Delta T = \frac{w}{TPC}$$

maka:

$$\Delta T = \frac{300\ ton/cm}{30\ ton}$$

= 10 cm

Artinya, draf kapal akan bertambah sekitar 10 cm, dengan asumsi perubahan berat terjadi merata dan tidak menimbulkan trim yang signifikan.

Massa jenis air memengaruhi hubungan antara berat kapal, volume air yang dipindahkan, dan draf kapal. Pada air dengan massa jenis lebih tinggi, seperti air laut, kapal memerlukan volume terendam yang lebih kecil untuk menghasilkan gaya apung yang sama. Sebaliknya, pada air dengan massa jenis lebih rendah, seperti air tawar atau air payau, kapal harus tenggelam lebih dalam agar mampu memindahkan berat air yang sama. Oleh karena itu, draf kapal di air tawar umumnya lebih besar dibandingkan draf kapal di air laut untuk kondisi displacement yang sama.

5.2.3 Fresh Water Allowance (FWA)

Fresh Water Allowance atau FWA adalah perubahan draf ketika kapal berpindah dari air laut standar ke air tawar, atau sebaliknya, pada kondisi displacement yang sama. Sederhananya, FWA menunjukkan seberapa banyak kapal akan bertambah tenggelam ketika berpindah dari air laut ke air tawar. FWA dapat dihitung menggunakan rumus:

$$FWA = \frac{\Delta}{4\ x\ TPC}$$

Dimana:
FWA : fresh water allowance (cm)
Δ : displasmen kapal (ton)
TPC: ton per centimeter immersion (ton/cm)

Nilai FWA digunakan untuk memperkirakan tambahan draf tersebut, khususnya pada kapal yang beroperasi di pelabuhan sungai, muara, dan daerah perairan payau. Dalam praktik, FWA penting untuk memastikan kapal

tidak melampaui batas garis muat ketika berpindah dari laut ke perairan dengan densitas lebih rendah.

5.2.4 Dock Water Allowance (DWA)

Dock Water Allowance merupakan koreksi draf yang digunakan ketika kapal berada di perairan dengan densitas tidak sama dengan air laut standar maupun air tawar murni. Kondisi ini sering dijumpai di pelabuhan, sungai, muara, atau perairan payau. DWA digunakan untuk memperkirakan perubahan draf akibat perbedaan densitas air aktual terhadap air laut standar. Semakin rendah densitas air dock, semakin besar tambahan draf yang dialami kapal. DWA dapat dihitung menggunakan rumus:

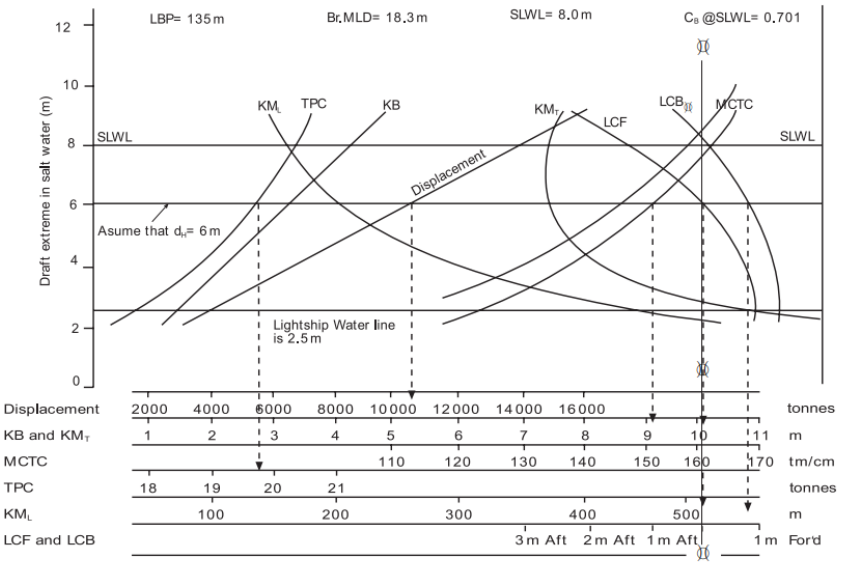
$$DWA = FWA\ x\ \frac{\rho_{air\ laut} - \rho_{air\ dock}}{\rho_{air\ laut} - \rho_{air\ tawar}}$$

dimana:
DWA: dock water allowance (m)
FWA: fresh water allowance (m)
$\rho_{air\ laut}$: massa jenis air laut (kg/m^3)
$\rho_{air\ dock}$: massa jenis air dock, pelabuhan, sungai, muara, atau payau (kg/m^3)
$\rho_{air\ tawar}$: massa jenis air tawar (kg/m^3)

5.2.5 Pembacaan Displasmen melalui Kurva Hidrostatik

Kurva hidrostatik digunakan untuk menentukan parameter hidrostatik kapal berdasarkan draf tertentu. Pada kurva tersebut, sumbu vertikal menunjukkan draf kapal, sedangkan skala horizontal di bagian bawah digunakan untuk membaca nilai displacement, TPC, KB, KM, LCB, LCF, dan MCTC. Untuk menentukan displasmen, draf kapal terlebih dahulu ditentukan dari pembacaan draft mark atau dari

kondisi desain. Selanjutnya, dari nilai draf tersebut ditarik garis horizontal hingga memotong kurva displacement. Dari titik potong tersebut ditarik garis vertikal ke bawah menuju skala displacement sehingga diperoleh nilai berat total kapal pada draf tersebut.



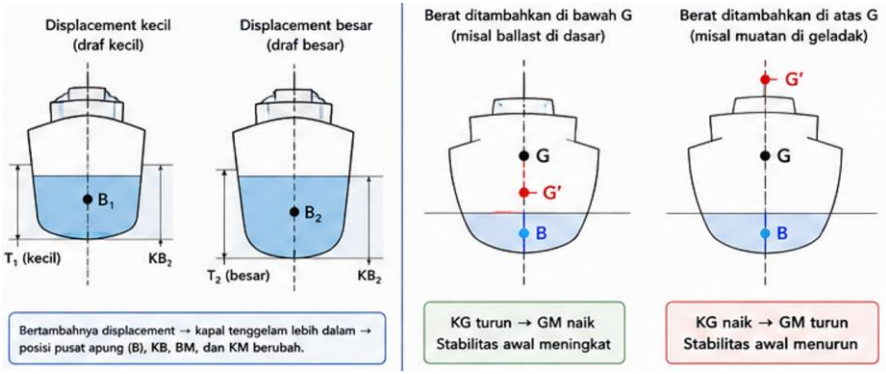
Gambar 5. 4 Contoh Kurva Hidrostatik
Sumber: (Derret, D.R; Barrass, 2001)

Sebagai contoh pada Gambar 4, apabila draf rata-rata kapal adalah 6 m, garis horizontal pada draf 6 m diproyeksikan hingga memotong kurva displacement. Dari titik potong tersebut, nilai displacement yang terbaca berada pada kisaran sekitar 10.500–11.000 ton. Nilai ini menunjukkan berat total kapal pada kondisi tersebut, yang terdiri atas lightweight dan deadweight. Dengan demikian, apabila lightweight kapal diketahui, maka deadweight aktual

dapat dihitung dari selisih antara displacement dan lightweight.

5.2.6 Pengaruh Perubahan Displasmen terhadap Stabilitas Kapal

Displasmen memiliki pengaruh langsung terhadap stabilitas kapal karena perubahan displasmen akan mengubah draf dan volume lambung yang terendam. Perubahan volume terendam menyebabkan perubahan posisi titik pusat apung atau buoyancy (B), nilai KB, BM, dan KM. Pada saat yang sama, penambahan atau pengurangan berat kapal dapat mengubah posisi titik pusat gravitasi (G), tergantung pada letak berat tersebut. Stabilitas awal kapal umumnya dinyatakan melalui GM=KM−KG, sehingga perubahan KM dan KG akan memengaruhi kemampuan kapal untuk kembali tegak setelah mengalami oleng kecil. Namun, displacement yang lebih besar tidak selalu berarti stabilitas yang lebih baik, karena stabilitas juga ditentukan oleh distribusi berat. Penambahan ballast di bagian bawah kapal dapat menurunkan KG dan meningkatkan stabilitas awal, sedangkan penambahan muatan di tempat tinggi dapat menaikkan KG dan menurunkan stabilitas. Selain itu, peningkatan displasmen juga mengurangi freeboard dan cadangan daya apung, sehingga perlu dievaluasi terhadap batas garis muat dan stabilitas pada sudut oleng besar. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 5.5



Gambar 5. 5 Ilustrasi Perubahan Displasmen memengaruhi Stabilitas

5.3 Trim kapal

Trim adalah kondisi perbedaan draf antara bagian depan dan belakang kapal.

$$Trim = T_{a-T_f}$$

Dimana:

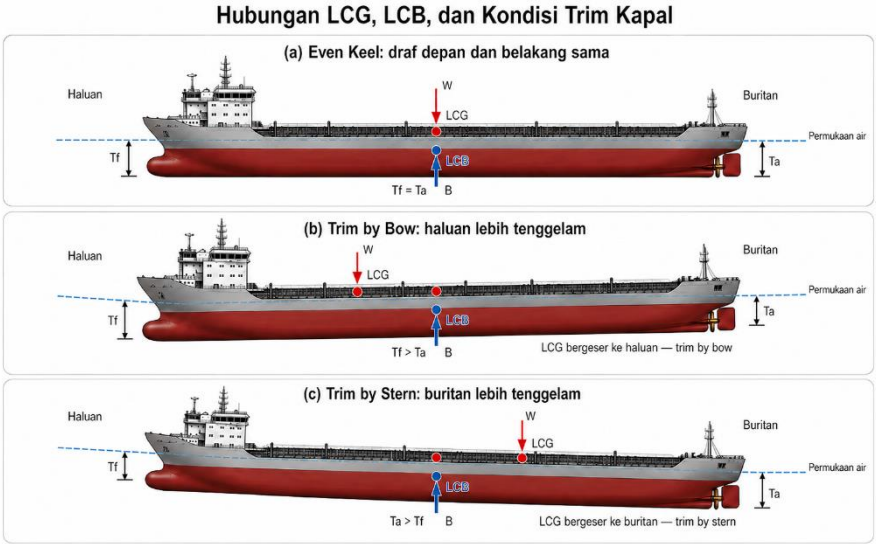
T_a : draf belakang (m)

T_f: draf depan (m)

Jika Ta>Tf, kapal mengalami trim by stern. Jika Tf>Ta, kapal mengalami trim by bow. Jika Ta=Tf, kapal berada pada kondisi even keel.

Trim kapal terjadi karena adanya ketidakseimbangan distribusi berat sepanjang arah membujur kapal. Secara sederhana, kapal mengalami trim ketika draf depan dan draf belakang tidak sama. Namun secara hidrostatik, trim bukan hanya akibat perbedaan draf, melainkan akibat adanya momen membujur yang timbul karena posisi berat kapal tidak seimbang terhadap gaya apungnya.

Pada kondisi terapung seimbang, berat kapal bekerja ke bawah melalui pusat gravitasi membujur atau *longitudinal centre of gravity* (LCG), sedangkan gaya apung bekerja ke atas melalui pusat apung membujur atau *longitudinal centre of buoyancy* (LCB). Jika distribusi berat berubah, posisi LCG dapat bergeser ke arah haluan atau buritan. Pergeseran ini menimbulkan momen trim sehingga kapal berotasi secara membujur sampai tercapai kondisi keseimbangan baru. Akibatnya, salah satu ujung kapal menjadi lebih terbenam dibandingkan ujung lainnya.



Gambar 5. 6 Ilustrasi hubungan antara *longitudinal centre of gravity* (LCG), *longitudinal centre of buoyancy* (LCB), dan kondisi trim kapal.

Dalam pendekatan operasional, trim tidak hanya dipahami sebagai selisih antara draf depan dan draf belakang, tetapi juga sebagai kondisi keseimbangan membujur kapal yang harus dikendalikan untuk mendukung performa kapal,

memenuhi kebutuhan operasi di pelabuhan, serta menjaga keselamatan saat kapal berlayar. Perubahan trim atau *change of trim* terjadi ketika kondisi trim kapal berubah sebelum dan sesudah suatu operasi, misalnya akibat pemuatan, pembongkaran, pengisian ballast, pembuangan ballast, atau pemindahan muatan. (Wals, 1972) dalam buku *Trim and Stability for Container and Barge* mendefinisikan *change of trim* sebagai selisih aljabar antara trim awal dan trim akhir setelah suatu operasi dilakukan. Dalam analisis trim, kapal dianggap berotasi terhadap suatu sumbu membujur yang disebut *trimming axis*. Sumbu ini umumnya dinyatakan sebagai LCF atau *Longitudinal Centre of Flotation*, yaitu pusat bidang air kapal tempat kapal dianggap berotasi ketika mengalami perubahan trim kecil. Dengan demikian, kapal tidak selalu berotasi terhadap titik tengah panjang kapal, melainkan terhadap LCF. Ketika berat dimuat, dibongkar, atau dipindahkan pada jarak tertentu dari LCF, akan timbul momen membujur yang disebut *trimming moment*. Momen inilah yang menyebabkan kapal mengalami perubahan trim. Secara sederhana, *trimming moment* dapat dinyatakan sebagai:

$$M = w \; x \; d$$

dimana:
w : berat yang dimuat, dibongkar, atau dipindahkan (ton)
d : jarak longitudinal berat muatan terhadap LCF

Berat yang berada jauh dari LCF akan menghasilkan momen trim yang lebih besar dibandingkan berat yang berada dekat LCF, meskipun beratnya sama. Walsh juga menjelaskan bahwa

lengan momen trim adalah jarak berat terhadap trimming axis, baik ke depan maupun ke belakang.

5.3.1 MCTC dan Perhitungan Perubahan Trim

Parameter MCTC atau Moment to Change Trim One Centimetre adalah parameter Untuk menghitung besarnya perubahan trim akibat suatu momen membujur . Parameter ini menunjukkan besarnya momen yang diperlukan untuk mengubah trim kapal sebesar satu satuan, yaitu 1 cm pada draf tertentu. Secara praktis, perubahan trim dapat dihitung melalui persamaan:

$$change\ of\ trim = \frac{w\ x\ d}{MCTC}$$

w : berat yang dimuat, dibongkar, atau dipindahkan (ton)
d : jarak longitudinal berat muatan terhadap LCF

Nilai MCTC diperoleh dari tabel hidrostatik, trim table, atau stability booklet kapal. Nilai ini berubah terhadap draf karena bentuk badan kapal yang terendam dan karakteristik bidang air berubah seiring perubahan draf.

5.3.2 Hubungan LCG, LCB, dan Trim

Trim juga dapat dijelaskan melalui hubungan antara LCG dan LCB. LCG atau Longitudinal Centre of Gravity adalah titik resultan seluruh berat kapal secara membujur, sedangkan LCB atau Longitudinal Centre of Buoyancy adalah titik resultan gaya apung membujur. Jika LCG dan LCB tidak berada pada posisi yang menghasilkan keseimbangan momen, kapal akan berotasi secara membujur sampai tercapai kondisi trim baru. Jarak antara LCG dan LCB disebut trim lever.

Momen yang menyebabkan kapal trim dapat dinyatakan sebagai:

$$Trimming\ Moment = \Delta\ x\ Trim\ Lever$$

Dengan:
Δ : displamen (ton)
Trim lever: jarak antara LCG dan LCB (m)

Dalam analisis praktis, penambahan berat menghasilkan dua efek. Pertama, berat tersebut menyebabkan kapal tenggelam secara rata-rata atau sinkage, yang dapat dihitung menggunakan TPC. Kedua, apabila berat tersebut tidak berada tepat pada LCF, berat tersebut menghasilkan trimming moment yang mengubah draf depan dan draf belakang. Oleh karena itu, perhitungan trim perlu membedakan antara perubahan draf akibat bertambahnya displacement dan perubahan draf akibat momen membujur.

Dalam operasi kapal, perhitungan trim tidak selalu dilakukan sepenuhnya secara manual. Trim and Stability Book biasanya menyediakan trim table yang memudahkan perwira kapal menentukan perubahan draf depan dan belakang akibat pemuatan, pembongkaran, atau ballasting. Walsh menjelaskan bahwa Trim and Stability Book umumnya memuat instruksi operasi, tabel hidrostatik terhadap draf, trimming table, data kapasitas tangki, tabel koreksi free surface, data ruang muat, serta lembar perhitungan kondisi pemuatan yang mencakup mean draft, LCG, KM, trim, LCF, dan draf pada draft marks.

Trim table digunakan untuk memperkirakan perubahan draf akibat penambahan atau pengurangan berat pada lokasi tertentu. Walsh menyebutkan bahwa tabel trim sangat berguna untuk menyelesaikan persoalan trim karena dirancang untuk menunjukkan perubahan draf kapal. Dalam praktik, pengguna memilih kondisi draf atau displacement yang sesuai, menentukan berat dan lokasi beban, lalu membaca perubahan draf depan dan belakang dari tabel.

Dengan adanya trim table, proses evaluasi kondisi pemuatan menjadi lebih cepat dan mengurangi risiko kesalahan hitung. Namun, hasil dari trim table tetap harus digunakan sesuai batas dan asumsi yang terdapat dalam Trim and Stability Book kapal, karena tabel tersebut disusun untuk kapal tertentu dan kondisi tertentu.

5.3.3 Penyebab, Mekanisme, dan Dampak dari Trim

Trim kapal sangat dipengaruhi oleh operasi loading, unloading, dan ballasting. Ketika muatan ditempatkan di depan LCF, kapal cenderung mengalami trim by bow. Sebaliknya, jika muatan ditempatkan di belakang LCF, kapal cenderung mengalami trim by stern. Hal yang sama berlaku pada operasi ballast. Pengisian tangki ballast depan akan menambah berat di bagian haluan, sedangkan pengisian tangki ballast belakang akan menambah berat di bagian buritan. Tabel 1 merupakan ringkasan penyebab, mekanisme, dan dampak yang sering terjadi akibat trim pada kapal.

Tabel 5. 1 Penyebab, Mekanisme, dan Dampak Trim

Penyebab	Mekanisme	Dampak yang mungkin terjadi
Muatan lebih banyak di haluan	LCG bergeser ke depan	Trim by bow
Muatan lebih banyak di buritan	LCG bergeser ke belakang	Trim by stern
Ballast depan diisi	Berat bertambah di depan	Haluan lebih dalam
Ballast belakang diisi	Berat bertambah di belakang	Buritan lebih dalam
Bahan bakar dikonsumsi	Berat berkurang pada lokasi tangki	Trim berubah selama pelayaran
Muatan dipindahkan	LCG berpindah tanpa banyak mengubah displacement	Trim berubah sesuai arah perpindahan
Air tawar/stores berubah	Beban operasional berubah	Trim berubah, terutama pada kapal kecil
Desain mesin dan tangki	Distribusi berat permanen tidak merata	Kecenderungan trim tertentu
Loading/unloading tidak seimbang	Perubahan berat tidak serentak sepanjang kapal	Trim berubah dan struktur dapat terpengaruh

Walsh menjelaskan bahwa ballasting adalah operasi memuat cairan atau benda padat untuk mengubah kondisi kapal, seperti draf, trim, atau stabilitas. Sebaliknya, deballasting dilakukan untuk mengurangi atau mengubah kondisi tersebut. Dengan demikian, ballast bukan hanya digunakan untuk menambah berat kapal, tetapi juga sebagai alat pengendali trim dan stabilitas.

Dalam kegiatan bongkar-muat, urutan pemuatan juga berpengaruh terhadap trim. Jika palka depan dimuat lebih dahulu, haluan dapat menjadi lebih dalam. Jika palka belakang dimuat lebih dahulu, buritan dapat menjadi lebih dalam. Pada kapal besar, perubahan trim selama operasi bongkar-muat juga perlu diperiksa terhadap batas shear force dan bending moment, karena distribusi berat sepanjang kapal memengaruhi kekuatan memanjang. Walsh juga menegaskan bahwa Trim and Stability Book digunakan untuk mengevaluasi pengaruh loading, discharging, dan ballasting terhadap trim, draft, stabilitas, dan kekuatan memanjang.

Trim memiliki implikasi langsung terhadap keselamatan dan performa kapal. Trim by stern dalam batas tertentu sering dibutuhkan agar propeller cukup terbenam dan sistem propulsi bekerja efektif. Namun, trim by stern yang berlebihan dapat meningkatkan hambatan, menurunkan efisiensi propulsi, dan memengaruhi visibilitas atau manuver. Sebaliknya, trim by bow dapat menyebabkan haluan terlalu dalam, meningkatkan tahanan, memengaruhi olah gerak, dan dalam kondisi tertentu meningkatkan risiko haluan menerima beban gelombang yang lebih besar.

Trim juga memengaruhi akurasi pembacaan displacement. Pada kapal yang mengalami trim, pembacaan displacement dari kurva atau tabel hidrostatik berdasarkan

asumsi even keel dapat menimbulkan kesalahan, terutama karena bentuk lambung bagian depan dan belakang tidak sama. Walsh menjelaskan bahwa beberapa kapal menyediakan kurva perubahan displacement akibat trim untuk mencegah kesalahan pembacaan displacement dari kurva atau tabel hidrostatik yang diasumsikan pada kondisi even keel.

5.4 Studi Kasus

Aplikasi di lapangan untuk perhitungan draf, displasmen, dan trim lebih jelas disajikan dalam bentuk studi kasus karena parameter-parameter tersebut tidak berdiri sendiri dalam operasi kapal. Pembacaan draf, penentuan displasmen, koreksi densitas air, penggunaan TPC, serta analisis trim selalu saling berkaitan dalam pengambilan keputusan pemuatan. Dalam praktik penanganan dan pengaturan muatan, perbedaan kecil pada draf dapat memengaruhi keputusan apakah kapal masih berada dalam batas garis muat, apakah muatan perlu dikurangi, atau apakah distribusi berat harus diatur ulang melalui ballast dan penempatan muatan. Oleh karena itu, bagian ini menyajikan dua contoh aplikasi, yaitu penentuan batas draf aman berdasarkan FWA dan DWA, serta analisis perubahan draf dan trim akibat penambahan muatan pada posisi tertentu. Kedua studi kasus ini menunjukkan bahwa pengaturan muatan tidak hanya berkaitan dengan jumlah berat yang dimuat, tetapi juga dengan pengaruh berat tersebut terhadap displasmen, draf rata-rata, trim, keselamatan operasi, dan kesiapan kapal untuk berlayar.

1. Contoh aplikasi hubungan draf, displasmen, TPC, FWA, dan DWA

Sebuah kapal memiliki data sebagai berikut:

Parameter	Nilai
Summer draft di air laut standar	8,00 m
Displacement pada summer draft	20.000 ton
TPC	25 ton/cm
Densitas air laut standar	1,025 ton/m^3
Densitas air pelabuhan/payau	1,010 ton/m^3

Jika TPC dalam ton/cm, maka:

$$FWA = \frac{\Delta}{40\ x\ TPC}$$

$$FWA = \frac{20.000}{40\ x\ 25}$$

$$FWA = 20\ cm$$

Jadi, jika kapal berpindah dari air laut standar ke air tawar, drafnya akan bertambah sekitar 20 cm.

Selanjutnya, hitung DWA untuk air pelabuhan dengan densitas 1,010 ton/m^3.

$$DWA = FWA\ \frac{1{,}025 - 1{,}010}{0{,}025}$$

$$DWA = 20\ \frac{0{,}015}{0{,}025}$$

$$DWA = 12\ cm$$

Jadi, DWA kapal adalah 12 cm.

Summer draft kapal di air laut standar adalah 8,00 m, maka draf maksimum yang masih diperbolehkan saat kapal berada di air pelabuhan/payau adalah 8,00+0,12=8,12 m. Artinya, kapal boleh terlihat memiliki draf sampai 8,12 m saat berada di air pelabuhan dengan densitas 1,010 ton/m^3. Ketika kapal

keluar ke air laut standar dengan densitas 1,025 ton/m^3, kapal akan terangkat kembali sehingga drafnya menjadi sekitar 8,00 m.

Dalam pengambilan keputusan pemuatan, nilai DWA dapat digunakan untuk menentukan apakah draf kapal masih berada dalam batas yang diizinkan saat berada di perairan pelabuhan. Misalnya, jika draf maksimum kapal di air dock adalah 8,12 m dan hasil pembacaan draf aktual di pelabuhan menunjukkan Tdock=8,10 m, maka kapal masih berada dalam batas aman terhadap summer draft. Namun, apabila draf aktual terbaca Tdock=8,15 m, maka kapal telah melebihi batas yang diizinkan sebesar 0,03 m atau 3 cm. Dengan nilai TPC=25ton/cm, kelebihan berat kapal dapat diperkirakan sebesar 3×25=75 ton. Artinya, sekitar 75 ton muatan atau beban lain perlu dikurangi agar draf kapal kembali berada dalam batas yang aman sebelum kapal berangkat.

2. Contoh Perhitungan Perubahan Draf dan Trim akibat Penambahan Muatan

Studi kasus berikut diadaptasi dari contoh perhitungan trim dalam buku *Trim and Stability Guide for Container and Barge Carrying Ships* (Wals, 1972) Studi kasus ini diadaptasi dari contoh perhitungan pada kapal S/S American Lark. Wals memberikan contoh pada kapal S/S American Lark, kelas C7-S-68d, dalam kondisi *Departure, No Cargo, Full Consumables*. Dalam kasus tersebut, kapal menerima tambahan muatan sebesar 450 ton pada posisi 80 ft di belakang midship point.

Draf awal kapal adalah 24 ft 1/8 in di belakang dan 17 ft 2 7/8 in di depan.

Parameter	Nilai
Kapal	S/S American Lark
Berat muatan	450 ton
Lokasi muatan	80 ft aft of M.P.
Draf depan awal	17 ft 2 7/8 in
Draf belakang awal	24 ft 1/8 in
LCF	339,1 ft aft of F.P.
Posisi muatan	415,0 ft aft of F.P.
Lengan momen terhadap LCF	76,1 ft
MT1"	2.690 ft·ton
TPI	88,9 ton/in
Jarak antar draft mark	638,0 ft

Penambahan muatan di belakang LCF menghasilkan momen trim ke arah buritan. Momen trim dihitung sebagai:

$$M = w\ x\ d$$
$$M = 450\ x\ 76{,}1$$
$$M = 34{,}245\ ft.ton$$

Selanjutnya, perubahan trim dihitung menggunakan MT1", yaitu momen yang diperlukan untuk mengubah trim sebesar 1 inci:

$$Change\ of\ Trim = \frac{M}{MT1''}$$
$$Change\ of\ Trim = \frac{34{,}245}{2{,}69}$$
$$Change\ of\ Trim = 12{,}73\ in$$

Karena muatan ditempatkan di belakang LCF, perubahan trim tersebut terjadi by stern. Dengan kata lain, buritan kapal akan bertambah dalam, sedangkan haluan cenderung naik relatif terhadap efek rotasi trim.

Selain menyebabkan trim, penambahan muatan 450 ton juga menyebabkan kapal tenggelam secara rata-rata. Efek ini dihitung dengan TPI:

$$Sinkage = \frac{w}{TPI}$$

$$Sinkage = \frac{450}{88{,}9}$$

$$Sinkage = 5{,}03\ in$$

Artinya, tanpa mempertimbangkan trim, kapal akan tenggelam rata-rata sebesar 5,03 in akibat tambahan berat 450 ton.

Secara konseptual, kasus ini menunjukkan perbedaan antara penambahan displasmen dan perubahan distribusi berat. Penambahan berat selalu meningkatkan displasmen dan cenderung menambah draf rata-rata. Namun, apabila berat tersebut ditempatkan jauh dari LCF, maka akan timbul momen trim yang menyebabkan perubahan draf depan dan belakang tidak sama. Dengan demikian, berat muatan menentukan besarnya sinkage, sedangkan posisi muatan terhadap LCF menentukan arah dan besar trim.

DAFTAR PUSTAKA

Britannia, P. (2023) 'Britannia Loss Prevention This Practical Guidance Provides An Overview Of The Key Concepts And Considerations Involved In', (December).

Derret, D.R; Barrass, C.B. (2001) *Ship Stability For Masters And Mates*. 5th Edn. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Eyres, D.J; Bruce, G.. (2012) *Ship Construction*. 7th Edn. Elsevier. Available At: Https://Doi.Org/10.1016/B978-0-08-097239-8.00001-5.

Frick, S. And Murcott, R. (2023) 'Automating Draft Surveys Using Artificial Intelligence 1', (August), Pp. 15–18.

Karanassos, H.A. (2016) 'Chapter 2 - Ship Stability, Freeboard, And Common Terms', In *Commercial Ship Surveying*. Boston: Butterworth-Heinemann, Pp. 21–28. Available At: Https://Doi.Org/Https://Doi.Org/10.1016/B978-0-08-100303-9.00002-X.

Lewis, E. V. (1988) 'Pna - Volume I - Stability And Strengh', *Principles Of Naval Architecture* [Preprint].

Nstm (2005) 'Weights And Stability', In *Naval Ships' Technical Manual*. Direction Of Commander, Naval Sea Systems Command.

Qu, J. *Et Al.* (2023) 'Multi-Task Learning-Enabled Automatic Vessel Draft Reading For Intelligent Maritime Surveillance', *Ieee*, Pp. 1–12.

Tsujii, T., Yoshida, H. And Iiguni, Y. (2016) 'Automatic Draft Reading Based On Image Processing', *Optical Engineering*, 55(10), P. 104104. Available At: Https://Doi.Org/10.1117/1.Oe.55.10.104104.

Uk P&I Club (2023) 'Carefully To Carry Chapter 16 – Draught Surveys', Pp. 161–182.

Wals, W.M. (1972) *Trim And Stability Guide For Container And Barge*. Washington Dc: U.S. Government Printing Office.

Wei, Y. (2023) 'Research Review Of Ship Draft Observation Methods 2 . Introduction : Current Research', 8(2), Pp. 33–42. Available At: Https://Doi.Org/10.11648/J.Ajtte.20230802.11.

Zhang, Bo; Li, Jiangyun; Tang, H. And X.L. (2024) 'Smart Ship Draft Reading By Dual-Flow Deep Learning Architecture And Multispectral Information', Pp. 1–14.

BAB 6
TEGANGAN BADAN KAPAL (HULL STRESS)

Oleh Dahlia Dewi Apriani

6.1 Dasar-Dasar Tegangan pada Struktur Kapal

Kapal merupakan salah satu moda transportasi laut yang memiliki peranan sangat penting dalam menunjang perdagangan internasional, distribusi logistik, mobilitas penumpang, serta pertumbuhan perekonomian dunia. Sebagian besar aktivitas perdagangan global dilakukan melalui jalur laut karena dinilai lebih efisien dalam mengangkut barang dalam jumlah besar dibandingkan moda transportasi lainnya. Agar mampu menjalankan fungsi tersebut secara optimal, kapal harus memiliki konstruksi yang kuat, andal, dan mampu mempertahankan integritas strukturnya selama beroperasi di berbagai kondisi perairan.

Sebagai suatu struktur rekayasa (engineering structure), kapal bekerja pada lingkungan operasi yang sangat dinamis. Selama pelayaran, badan kapal menerima berbagai jenis pembebanan yang berasal dari berat kapal itu sendiri, distribusi muatan, gaya apung, tekanan hidrostatik, tekanan hidrodinamik, pengaruh gelombang, angin, arus laut, hingga getaran yang ditimbulkan oleh mesin induk dan permesinan

bantu. Seluruh gaya tersebut bekerja secara bersamaan maupun bergantian sehingga menghasilkan respons struktural berupa tegangan (stress) dan regangan (strain) pada setiap bagian konstruksi kapal. Oleh karena itu, pemahaman mengenai perilaku tegangan pada badan kapal menjadi aspek yang sangat penting dalam proses perancangan, pembangunan, pengoperasian, maupun pemeliharaan kapal.

Dalam ilmu mekanika bahan, tegangan didefinisikan sebagai gaya internal yang bekerja pada setiap satuan luas penampang suatu material akibat adanya gaya luar. Pada struktur kapal, tegangan muncul sebagai respons terhadap beban yang diterima oleh lambung beserta elemen-elemen penyusunnya. Tegangan tersebut dapat berupa tegangan tarik (*tensile stress*), tegangan tekan (*compressive stress*), tegangan geser (*shear stress*), maupun kombinasi dari beberapa jenis tegangan yang bekerja secara simultan. Besarnya tegangan yang terjadi dipengaruhi oleh karakteristik material, bentuk konstruksi, distribusi pembebanan, serta kondisi lingkungan tempat kapal beroperasi.

Istilah *ship stress* atau *hull stress* mengacu pada seluruh gaya internal yang berkembang di dalam struktur badan kapal sebagai akibat interaksi antara beban eksternal dan beban internal. Beban internal meliputi berat konstruksi kapal, mesin, perlengkapan, bahan bakar, ballast, serta muatan yang diangkut, sedangkan beban eksternal berasal dari gaya apung, tekanan air laut, gelombang, angin, maupun gaya-gaya dinamis lainnya selama pelayaran. Interaksi kedua jenis beban tersebut menyebabkan struktur kapal mengalami deformasi elastis yang apabila melebihi batas kemampuan

material dapat berubah menjadi deformasi permanen bahkan mengakibatkan kegagalan struktur.

Secara teoritis, struktur kapal sering dimodelkan sebagai balok memanjang (*longitudinal beam*) yang menerima pembebanan sepanjang tubuh kapal. Pendekatan ini digunakan untuk menjelaskan fenomena *hogging* dan *sagging* yang merupakan bentuk pembebanan longitudinal paling dominan pada kapal. Selain tegangan longitudinal, struktur kapal juga mengalami tegangan transversal, tegangan puntir (*torsional stress*), serta tegangan lokal yang timbul pada daerah-daerah tertentu seperti bukaan palka, sambungan las, dan perubahan penampang konstruksi. Oleh sebab itu, analisis tegangan tidak hanya dilakukan terhadap keseluruhan badan kapal (*global strength*), tetapi juga terhadap komponen-komponen struktural tertentu (*local strength*) yang berpotensi mengalami konsentrasi tegangan.

Apabila tegangan yang terjadi melebihi kekuatan luluh (*yield strength*) material atau berlangsung secara berulang dalam waktu yang lama, maka struktur kapal dapat mengalami berbagai bentuk kerusakan seperti deformasi permanen, retak akibat kelelahan material (*fatigue cracking*), tekuk (*buckling*), hingga patahnya elemen konstruksi. Kerusakan tersebut tidak hanya menurunkan kekuatan struktur kapal, tetapi juga dapat mengganggu stabilitas, mengurangi umur pakai kapal, membahayakan keselamatan awak kapal dan muatan, serta meningkatkan risiko pencemaran lingkungan akibat kebocoran muatan atau bahan bakar.

Sejarah perkembangan teknologi perkapalan menunjukkan bahwa banyak kecelakaan kapal disebabkan oleh kegagalan struktur akibat distribusi tegangan yang tidak

mampu ditahan oleh konstruksi. Salah satu contoh yang paling dikenal adalah kegagalan kapal-kapal Liberty pada masa Perang Dunia II. Investigasi terhadap kasus tersebut menunjukkan bahwa kombinasi tegangan sisa akibat proses pengelasan, konsentrasi tegangan pada detail konstruksi, suhu operasi yang rendah, serta sifat material yang kurang tangguh menyebabkan terjadinya perambatan retak secara cepat (*brittle fracture*). Peristiwa tersebut menjadi titik awal berkembangnya penelitian mengenai kekuatan struktur kapal, analisis tegangan, mekanika retak (*fracture mechanics*), serta standar konstruksi kapal modern.

Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, metode analisis tegangan kapal mengalami perkembangan yang sangat pesat. Jika pada awalnya perhitungan dilakukan menggunakan pendekatan teoritis dan metode balok sederhana, saat ini analisis dapat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak berbasis Finite Element Method (FEM) yang mampu mensimulasikan kondisi pembebanan secara tiga dimensi dengan tingkat akurasi yang tinggi. Metode ini memungkinkan para perancang kapal mengevaluasi distribusi tegangan, deformasi struktur, konsentrasi tegangan, hingga prediksi umur kelelahan material sebelum kapal dibangun maupun selama masa operasinya.

Meskipun teknologi komputasi telah berkembang pesat, pemahaman terhadap konsep dasar tegangan kapal tetap menjadi landasan utama dalam bidang teknik perkapalan. Pengetahuan mengenai sumber pembebanan, perilaku struktur kapal, mekanisme terjadinya tegangan, serta faktor-faktor yang memengaruhi kekuatan konstruksi sangat diperlukan agar proses perancangan, pembangunan,

inspeksi, dan pemeliharaan kapal dapat dilaksanakan secara efektif. Dengan demikian, kapal mampu memenuhi persyaratan keselamatan yang ditetapkan oleh badan klasifikasi dan organisasi maritim internasional, sekaligus memiliki umur layanan yang panjang serta tingkat keandalan yang tinggi selama beroperasi.

6.1.1 Pentingnya analisis tegangan pada kapal

Analisis tegangan (*stress analysis*) merupakan salah satu tahapan penting dalam bidang teknik perkapalan yang bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan struktur kapal dalam menerima dan menahan berbagai jenis pembebanan selama masa operasionalnya. Pembebanan tersebut dapat berasal dari berat konstruksi kapal, distribusi muatan, gaya apung, tekanan hidrostatik, pengaruh gelombang, angin, arus laut, maupun gaya dinamis lainnya yang bekerja secara terus-menerus selama kapal berlayar. Melalui analisis tegangan, kondisi distribusi gaya internal pada setiap bagian struktur dapat diketahui sehingga dapat dipastikan bahwa tegangan yang terjadi masih berada di bawah batas tegangan yang diizinkan (*allowable stress*) sesuai dengan kekuatan material dan standar badan klasifikasi.

Selain berfungsi untuk menjamin keamanan struktur, analisis tegangan juga menjadi dasar dalam proses perancangan, pembangunan, inspeksi, serta pemeliharaan kapal sepanjang umur operasinya. Dengan mengetahui distribusi tegangan secara akurat, potensi kerusakan struktural dapat dideteksi lebih dini sehingga risiko kegagalan konstruksi dapat diminimalkan. Oleh karena itu, analisis tegangan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam mewujudkan kapal yang aman, andal, efisien, dan memiliki

umur layanan yang panjang. Beberapa manfaat utama analisis tegangan pada kapal antara lain sebagai berikut..

a. Mendukung Perancangan dan Konstruksi Kapal

Analisis tegangan berperan penting dalam proses perancangan struktur kapal karena digunakan untuk menentukan dimensi, bentuk, serta ketebalan elemen-elemen konstruksi, seperti pelat lambung, gading, geladak, sekat, dan penegar (*stiffener*). Melalui analisis ini, perancang dapat mengetahui besarnya tegangan yang bekerja pada setiap bagian kapal sehingga ukuran konstruksi dapat ditentukan secara optimal. Dengan demikian, penggunaan material menjadi lebih efisien tanpa mengurangi tingkat kekuatan dan faktor keselamatan. Desain yang tepat tidak hanya meningkatkan keandalan struktur, tetapi juga mampu mengurangi berat konstruksi dan biaya pembangunan kapal.

b. Memenuhi Persyaratan Klasifikasi dan Regulasi

Setiapkapal yang akan dibangun maupun dioperasikan wajib memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan oleh badan klasifikasi serta organisasi maritim internasional. Salah satu persyaratan utama tersebut adalah terpenuhinya kekuatan struktur berdasarkan hasil analisis tegangan. Data hasil analisis digunakan sebagai dasar dalam proses verifikasi desain untuk memperoleh sertifikat klasifikasi dan sertifikat kelaiklautan dari lembaga klasifikasi, seperti Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), American Bureau of Shipping (ABS), maupun Lloyd's Register (LR). Dengan memenuhi persyaratan tersebut, kapal dinyatakan

memiliki tingkat keselamatan struktur yang sesuai dengan standar internasional.

c. Memerkirakan Umur Pakai Struktur Kapal

Selama masa operasinya, struktur kapal mengalami pembebanan yang berulang akibat gelombang laut, perubahan kondisi muatan, serta pengaruh lingkungan lainnya. Beban berulang tersebut dapat menimbulkan kelelahan material (*fatigue*) yang berpotensi menyebabkan munculnya retak-retak kecil pada daerah yang mengalami konsentrasi tegangan tinggi. Melalui analisis tegangan, lokasi-lokasi kritis tersebut dapat diidentifikasi sehingga program inspeksi, pemeliharaan, dan perbaikan dapat dilakukan secara lebih terencana. Dengan demikian, umur pakai struktur kapal dapat dipertahankan, sekaligus mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan konstruksi secara tiba-tiba.

d. Mendukung Operasi Bongkar Muat yang Aman

Analisis tegangan juga memiliki peranan penting dalam kegiatan operasional kapal, khususnya pada saat proses bongkar muat dan pengaturan ballast. Distribusi muatan yang tidak seimbang dapat menimbulkan momen lentur yang berlebihan sehingga kapal mengalami kondisi *hogging* maupun *sagging* yang melampaui batas desain. Oleh karena itu, data hasil analisis digunakan sebagai pedoman dalam penyusunan *loading manual* dan *loading computer*, sehingga distribusi muatan, ballast, maupun bahan bakar dapat diatur secara tepat. Pengaturan tersebut bertujuan untuk menjaga agar tegangan yang terjadi tetap berada

dalam batas aman serta mencegah deformasi maupun kerusakan struktur selama pelayaran.

e. Menilai Dampak Modifikasi Kapal

Perubahan fungsi kapal, penambahan peralatan, penggantian mesin, pemasangan struktur baru, maupun modifikasi konstruksi lainnya akan mengubah distribusi beban yang bekerja pada badan kapal. Setiap perubahan tersebut harus disertai dengan analisis tegangan ulang untuk memastikan bahwa struktur kapal masih memiliki kekuatan yang memadai dalam menahan kondisi pembebanan yang baru. Hasil analisis menjadi dasar bagi perancang dan badan klasifikasi dalam mengevaluasi kelayakan modifikasi sehingga perubahan yang dilakukan tidak mengurangi tingkat keselamatan maupun keandalan struktur kapal selama dioperasikan.

6.1.2 Hubungan ship stress dengan keselamatan pelayaran

Ship stress atau tegangan pada struktur kapal memiliki hubungan yang sangat erat dengan keselamatan pelayaran. Selama beroperasi, kapal menerima berbagai beban, seperti berat kapal, muatan, gaya apung, tekanan hidrostatik, gelombang, angin, dan arus laut. Beban tersebut menimbulkan tegangan pada struktur kapal yang harus tetap berada di bawah batas tegangan yang diizinkan (*allowable stress*) agar konstruksi tetap aman.

Apabila tegangan yang terjadi melebihi kekuatan material atau batas desain, struktur kapal dapat mengalami deformasi, retak, hingga kegagalan konstruksi. Kondisi ini tidak hanya membahayakan keselamatan awak kapal dan muatan, tetapi juga meningkatkan risiko pencemaran lingkungan akibat kebocoran

muatan atau bahan bakar. Oleh karena itu, analisis tegangan menjadi bagian penting dalam proses perancangan, pengoperasian, dan pemeliharaan kapal untuk memastikan kekuatan struktur tetap memenuhi standar keselamatan. Beberapa dampak utama tegangan berlebih terhadap keselamatan pelayaran adalah sebagai berikut.

a. Kegagalan Struktur Kapal

Tegangan yang melebihi batas desain dapat menyebabkan deformasi permanen, retak, tekuk (*buckling*), hingga patahnya elemen struktur kapal. Risiko ini semakin besar ketika kapal menghadapi gelombang tinggi, cuaca buruk, atau distribusi muatan yang tidak seimbang sehingga menimbulkan kondisi *hogging* maupun *sagging* yang berlebihan.

b. Kelelahan Material dan Retak Struktur

Pembebanan dinamis yang terjadi secara berulang selama pelayaran dapat menyebabkan kelelahan material (*fatigue*). Kondisi ini ditandai dengan munculnya retakan pada daerah yang mengalami konsentrasi tegangan tinggi, seperti sambungan las dan sudut bukaan palka. Jika tidak segera dideteksi dan diperbaiki, retakan dapat berkembang menjadi kerusakan struktur yang lebih serius.

c. Gangguan Stabilitas Kapal

Distribusi muatan yang tidak tepat dapat meningkatkan tegangan pada struktur sekaligus mengubah keseimbangan kapal. Akibatnya, kapal dapat mengalami kemiringan (*listing*), trim berlebihan, bahkan kehilangan stabilitas yang meningkatkan risiko terbalik (*capsizing*). Oleh karena itu, pengaturan muatan

dan ballast harus mengikuti *loading manual* agar kondisi pembebanan tetap aman.

d. Kerusakan Sistem Pengikatan Muatan

Gerakan kapal akibat gelombang dapat menambah beban pada sistem pengikat muatan (*cargo securing system*). Apabila sistem pengikatan gagal menahan beban tersebut, muatan dapat bergeser (*cargo shifting*), sehingga distribusi berat berubah dan memperbesar tegangan pada struktur kapal serta mengurangi stabilitasnya.

e. Risiko Pencemaran Lingkungan

Kerusakan struktur akibat tegangan berlebih dapat menyebabkan kebocoran tangki muatan atau bahan bakar, terutama pada kapal tanker. Selain membahayakan keselamatan pelayaran, kondisi ini juga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan laut dan kerugian ekonomi yang besar. Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengendalian *ship stress* merupakan faktor penting dalam menjamin keselamatan pelayaran. Melalui desain struktur yang baik, distribusi muatan yang benar, inspeksi berkala, dan pemeliharaan yang tepat, risiko kegagalan struktur dapat diminimalkan sehingga keselamatan kapal, awak, muatan, dan lingkungan tetap terjaga.

6.2 Definisi *Hull Stress*

Tegangan (*stress*) dalam mekanika teknik didefinisikan sebagai gaya internal yang bekerja pada setiap satuan luas penampang suatu material akibat adanya pembebanan dari luar. Besarnya tegangan menunjukkan kemampuan suatu

material dalam menahan gaya yang diterimanya. Secara matematis, tegangan dinyatakan dengan persamaan:

$$\sigma = F / A$$

Di mana σ adalah tegangan (N/m^2 atau Pascal), F adalah gaya yang bekerja (Newton), dan A adalah luas penampang (m^2).

Berdasarkan persamaan tersebut, dapat dipahami bahwa semakin besar gaya yang bekerja atau semakin kecil luas penampang material, maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar. Oleh karena itu, penentuan dimensi elemen struktur kapal harus mempertimbangkan besarnya tegangan yang diizinkan agar tidak terjadi kegagalan struktur.

Dalam bidang teknik perkapalan, **hull stress** merupakan tegangan yang terjadi pada struktur badan kapal sebagai akibat interaksi antara berbagai beban yang bekerja selama kapal beroperasi. Beban tersebut berasal dari berat konstruksi kapal, muatan, gaya apung, tekanan air laut, serta pengaruh lingkungan seperti gelombang, angin, dan arus laut. Seluruh beban tersebut menghasilkan gaya internal yang didistribusikan ke seluruh elemen struktur, seperti pelat lambung, geladak, lunas, gading, wrang, dan sekat.

Menurut (Lewis, 1988) dalam *Principles of Naval Architecture*, tegangan pada kapal secara umum dikelompokkan menjadi tiga kategori utama, yaitu **tegangan longitudinal**, **tegangan transversal**, dan **tegangan lokal**. Tegangan longitudinal berkaitan dengan momen lentur sepanjang badan kapal yang menyebabkan kondisi *hogging* dan *sagging*. Tegangan transversal terjadi akibat tekanan melintang pada struktur kapal, sedangkan tegangan lokal timbul pada bagian tertentu yang menerima beban terpusat atau mengalami konsentrasi tegangan, seperti sambungan las,

bukaan palka, dan dudukan mesin. Masing-masing jenis tegangan memiliki karakteristik pembebanan yang berbeda sehingga memerlukan metode analisis yang sesuai.

Sementara itu, (Thayamballi, A.K., & Chen, Y.K, 1987) mendefinisikan *hull stress* sebagai respons struktur kapal terhadap kombinasi beban statis dan dinamis yang bekerja selama kapal beroperasi. Beban tersebut meliputi berat kapal, distribusi muatan, gaya apung, tekanan hidrostatik, serta beban dinamis akibat gelombang laut. Definisi ini menunjukkan bahwa analisis tegangan kapal tidak hanya mempertimbangkan kondisi kapal saat diam, tetapi juga kondisi nyata ketika kapal berlayar dan menerima pembebanan yang berubah secara terus-menerus.

Secara umum, gaya yang menyebabkan timbulnya *ship stress* dibedakan menjadi dua kelompok utama, yaitu gaya statis dan gaya dinamis.

a. Gaya Statis

Gaya statis adalah gaya yang relatif konstan dan berasal dari kondisi dasar kapal. Gaya ini bekerja secara terus-menerus selama kapal berada di air dan menjadi dasar dalam analisis kekuatan struktur.

1. Berat kapal kosong (*Lightweight*)
   Berat kapal kosong merupakan berat seluruh konstruksi kapal beserta perlengkapannya, seperti lambung, geladak, bangunan atas, mesin induk, mesin bantu, sistem perpipaan, serta peralatan lainnya. Berat ini selalu bekerja ke arah bawah melalui titik berat kapal.
2. Distribusi muatan

Muatan, bahan bakar, air tawar, ballast, serta perlengkapan operasional memberikan tambahan beban pada struktur kapal. Distribusi beban yang tidak merata dapat meningkatkan momen lentur, gaya geser, serta tegangan pada bagian tertentu sehingga pengaturannya harus mengikuti *loading manual*.

3. Tekanan hidrostatik
   Tekanan hidrostatik merupakan tekanan yang diberikan oleh air laut terhadap lambung kapal akibat kedalaman. Tekanan ini menghasilkan gaya apung (*buoyancy*) yang bekerja ke arah atas dan berfungsi menyeimbangkan berat kapal sesuai prinsip Archimedes. Perbedaan distribusi antara gaya berat dan gaya apung menjadi penyebab utama timbulnya tegangan longitudinal pada badan kapal.

b. Gaya Dinamis

Gaya dinamis adalah gaya yang berubah-ubah sesuai kondisi operasi kapal, cuaca, dan keadaan laut. Besarnya gaya ini dipengaruhi oleh tinggi gelombang, kecepatan kapal, arah datang gelombang, serta kondisi pemuatan.

1. Pengaruh gelombang dan angin
   Gelombang merupakan sumber beban dinamis terbesar pada kapal. Tekanan gelombang yang bekerja secara berulang dapat menyebabkan perubahan momen lentur sehingga kapal mengalami kondisi *hogging* atau *sagging*. Sementara itu, angin memberikan tekanan pada

bangunan atas kapal dan memengaruhi gerakan kapal sehingga menambah beban pada struktur.

2. Gerakan kapal
   Selama pelayaran, kapal mengalami enam derajat gerakan (*six degrees of freedom*), yaitu *rolling*, *pitching*, *heaving*, *surging*, *swaying*, dan *yawing*. Gerakan-gerakan tersebut mengubah distribusi beban pada struktur kapal sehingga menghasilkan tegangan yang bersifat dinamis dan berulang. Apabila berlangsung dalam waktu lama, kondisi ini dapat menyebabkan kelelahan material (*fatigue*) dan mempercepat penurunan kekuatan struktur.

6.3 Sejarah Perkembangan Analisis Tegangan Kapal

Pemahaman mengenai tegangan (*ship stress*) pada struktur kapal telah mengalami perkembangan yang cukup pesat seiring dengan kemajuan ilmu teknik perkapalan. Pada abad ke-18, para pembuat kapal mulai menyadari bahwa kapal-kapal kayu berukuran panjang sering mengalami lenturan (*deflection*) yang cukup besar ketika beroperasi di laut bergelombang. Meskipun fenomena tersebut telah diamati secara langsung, pada masa itu belum tersedia teori ilmiah yang mampu menjelaskan penyebab maupun perilaku tegangan yang terjadi pada struktur kapal. Salah satu tokoh yang mencatat fenomena tersebut adalah **Samuel Pepys**, Sekretaris Admiralty Inggris, yang mendokumentasikan berbagai laporan mengenai kapal-kapal yang mengalami lenturan berlebihan saat berlayar di laut lepas. Catatan

tersebut menjadi salah satu awal berkembangnya perhatian terhadap kekuatan struktur kapal.

Perkembangan penting terjadi pada pertengahan abad ke-19 ketika insinyur asal Inggris, **John Scott Russell**, memperkenalkan konsep **momen lentur (*bending moment*)** pada kapal sekitar tahun 1840-an. Melalui penelitiannya, Russell menjelaskan bahwa badan kapal dapat dianalogikan sebagai sebuah balok memanjang (*longitudinal beam*) yang menerima pembebanan sepanjang strukturnya. Analogi ini menunjukkan bahwa distribusi berat kapal dan gaya apung dapat menghasilkan kondisi **hogging** maupun **sagging**, yang menjadi dasar dalam analisis kekuatan longitudinal kapal. Konsep tersebut kemudian berkembang menjadi landasan utama dalam teori tegangan kapal modern dan masih digunakan hingga saat ini.

Kemajuan berikutnya terjadi pada dekade 1940-an ketika terjadi kegagalan struktural pada sejumlah **kapal Liberty** selama Perang Dunia II. Banyak kapal mengalami retak bahkan patah secara tiba-tiba meskipun masih dalam masa operasi. Hasil investigasi menunjukkan bahwa kegagalan tersebut disebabkan oleh kombinasi beberapa faktor, yaitu tegangan sisa akibat proses pengelasan (*residual stress*), konsentrasi tegangan pada detail konstruksi yang kurang baik (*stress concentration*), serta rendahnya ketangguhan material terhadap retak pada suhu rendah (*brittle fracture*). Peristiwa ini menjadi titik balik dalam pengembangan ilmu kekuatan struktur kapal dan mendorong lahirnya standar desain, teknik pengelasan, serta pemilihan material yang lebih aman dan andal.

Memasuki era modern, perkembangan analisis tegangan kapal semakin pesat dengan diperkenalkannya

Finite Element Method (FEM) pada tahun 1960-an. Metode numerik ini dikembangkan oleh para peneliti seperti **Turner, Clough, Martin, dan Topp**, kemudian diadaptasi secara luas dalam bidang teknik perkapalan untuk menganalisis perilaku struktur kapal secara lebih rinci. Berbeda dengan metode perhitungan konvensional, FEM mampu memprediksi distribusi tegangan, deformasi, serta konsentrasi tegangan pada berbagai bagian struktur dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi.

Seiring berkembangnya teknologi komputasi, berbagai perangkat lunak analisis struktur, seperti **NASTRAN** dan **SESAM**, mulai digunakan untuk melakukan simulasi tiga dimensi terhadap konstruksi kapal. Teknologi tersebut memungkinkan para perancang mengevaluasi respons struktur terhadap berbagai kondisi pembebanan, baik statis maupun dinamis, sebelum kapal dibangun maupun selama masa operasinya. Dengan demikian, proses perancangan kapal menjadi lebih efisien, aman, dan mampu memenuhi standar keselamatan yang ditetapkan oleh badan klasifikasi internasional.

6.4 Teori Dasar Hull Stress

6.4.1 Konsep Tegangan dan Regangan

Dalam analisis struktur kapal, terdapat dua besaran fundamental yang menjadi dasar seluruh analisis: tegangan (stress) dan regangan (strain). Tegangan merepresentasikan intensitas gaya internal dalam material, sementara regangan merepresentasikan deformasi relatif yang dialami material tersebut.

6.4.2 Jenis-Jenis Tegangan

Terdapat tiga jenis tegangan dasar yang relevan dalam analisis kapal:

a. Tegangan Normal *(Normal Stress)*: Tegangan yang tegak lurus terhadap permukaan penampang. Dapat berupa tegangan tarik *(tensile)* yang bernilai positif atau tegangan tekan *(compressive)* yang bernilai negatif. Tegangan normal dilambangkan dengan σ *(sigma).*
b. Tegangan Geser *(Shear Stress*): Tegangan yang sejajar dengan permukaan penampang. Tegangan geser timbul akibat gaya geser yang bekerja pada penampang dan dilambangkan dengan τ *(tau).*
c. Tegangan *Von Mises (Equivalent Stress*): Tegangan ekuivalen yang menggabungkan pengaruh tegangan normal dan tegangan geser berdasarkan teori kegagalan material daktail.

Berdasarkan arah kerja dan pengaruhnya terhadap struktur, tegangan pada lambung kapal dapat dibedakan menjadi beberapa jenis sebagai berikut:

a. Hogging
   Hogging merupakan kondisi ketika bagian tengah kapal melengkung ke atas, sedangkan haluan dan buritan cenderung turun ke bawah. Kondisi ini biasanya terjadi ketika kapal berada di atas puncak gelombang.
b. Sagging
   Sagging adalah keadaan ketika bagian tengah kapal melengkung ke bawah sementara haluan dan buritan

terangkat. Kondisi ini umumnya terjadi saat kapal berada di antara dua puncak gelombang.

c. Torsional Stress (Tegangan Puntir)
Tegangan puntir terjadi akibat gaya yang menyebabkan badan kapal mengalami putaran atau puntiran. Kondisi ini biasanya dipicu oleh gelombang yang datang dari arah miring sehingga menghasilkan kombinasi gerakan rolling dan pitching.

d. Racking Stress
Racking merupakan deformasi atau perubahan bentuk struktur kapal secara melintang yang umumnya disebabkan oleh tekanan gelombang dari samping kapal.

e. Tekanan Air Lokal
Tekanan air lokal terjadi karena meningkatnya tekanan hidrostatik seiring bertambahnya kedalaman. Tekanan ini memberikan gaya yang mendorong sisi dan dasar lambung kapal ke arah dalam.

6.4.3 Hukum Hooke dan Modulus Elastisitas

Hubungan antara tegangan dan regangan untuk material elastis linier dinyatakan oleh Hukum Hooke:

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

Di mana E adalah modulus elastisitas *(Young's Modulus*) material, dan ε adalah regangan (*strain*) yang tidak bersatuan. Untuk baja kapal (*ship steel*) grade A, modulus elastisitas bernilai sekitar 206 GPa (206.000 MPa), dan kekuatan tarik minimumnya adalah 400-490 MPa sesuai standar ABS, DNV, dan BKI.

Tabel 6. 1 Sifat Mekanik Baja Kapal Sesuai Standar Klasifikasi

Grade Baja	Kekuatan Luluh Min. (MPa)	Kekuatan Tarik (MPa)	Elongasi Min. (%)
Grade A/B/D/E	235	400 – 490	22
Grade AH32/DH32/EH32	315	440 – 570	22
Grade AH36/DH36/EH36	355	490 – 630	21
Grade AH40/DH40/EH40	390	510 – 660	20

Sumber : Standar ABS, DNV, dan BKI

6.5 Jenis-Jenis Beban pada Kapal

Kapal sebagai struktur laut mengalami berbagai jenis pembebanan yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

6.5.1 Beban Statis

Beban statis merupakan beban yang bekerja secara konstan atau berubah sangat lambat, sehingga pengaruh inersia dapat diabaikan. Beban statis pada kapal meliputi:

a. Berat kapal kosong (lightship weight): Berat seluruh komponen kapal termasuk struktur, mesin, perlengkapan, dan instalasi tetap lainnya.
b. Berat muatan (deadweight): Berat total muatan, bahan bakar, air tawar, provisions, dan awak kapal yang dapat diangkut kapal.

c. Gaya apung (buoyancy force): Gaya ke atas yang diberikan oleh air laut pada badan kapal sesuai Prinsip Archimedes.
d. Tekanan hidrostatik: Tekanan air yang bekerja pada lambung kapal, meningkat secara linier dengan kedalaman.

6.5.2 Beban Dinamis

Beban dinamis berubah terhadap waktu dan melibatkan efek inersia. Dalam konteks kapal, beban dinamis yang dominan adalah:

a. Beban gelombang (wave loads): Gaya dan momen yang ditimbulkan oleh gelombang laut reguler maupun irregular. Ini merupakan beban dinamis paling signifikan pada kapal samudera.
b. Beban slamming: Beban impak yang terjadi ketika haluan kapal menghantam permukaan air dengan keras, biasanya saat kapal berlayar dalam gelombang tinggi.
c. Beban springing: Beban vibratif yang timbul akibat eksitasi frekuensi tinggi gelombang yang bertepatan dengan frekuensi natural struktur kapal.
d. Beban whipping: Beban impak transien yang terjadi akibat slamming atau underwater explosion, menyebabkan getaran seluruh badan kapal.

6.5.3 Beban Termal

Perubahan temperatur pada struktur kapal, terutama pada kapal tanker yang mengangkut muatan bersuhu tinggi atau rendah, dapat menimbulkan tegangan termal. Tegangan termal dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma_T = E \times \alpha \times \Delta T$$

Di mana α adalah koefisien ekspansi termal (untuk baja: 12×10^{-6} /°C), dan ΔT adalah perubahan temperatur (°C).

6.6 Tegangan Longitudinal

Tegangan longitudinal merupakan komponen tegangan yang bekerja searah panjang kapal. Tegangan ini merupakan komponen paling dominan dan kritis dalam analisis kekuatan kapal, terutama untuk kapal-kapal yang panjang dan ramping.

6.6.1 Konsep Hogging dan Sagging

Tegangan longitudinal pada kapal terutama disebabkan oleh momen lentur (longitudinal bending moment) yang timbul akibat distribusi berat kapal, muatan, mesin, bahan bakar, serta gaya apung yang tidak merata di sepanjang lambung kapal. Ketidakseimbangan antara gaya berat yang bekerja ke bawah dan gaya apung yang bekerja ke atas menyebabkan badan kapal mengalami pembebanan seperti sebuah balok panjang yang ditumpu oleh air laut. Besarnya tegangan longitudinal akan berubah sesuai dengan kondisi pemuatan kapal, distribusi muatan, serta pengaruh gelombang laut yang diterima selama pelayaran.

Dalam perancangan konstruksi kapal, terdapat dua kondisi pembebanan ekstrem yang menjadi dasar analisis kekuatan longitudinal, yaitu hogging dan sagging. Kedua kondisi ini harus diperhitungkan karena menghasilkan distribusi tegangan yang berbeda pada struktur kapal.

Hogging merupakan kondisi ketika bagian tengah kapal memperoleh gaya apung yang lebih besar dibandingkan

bagian haluan (bow) dan buritan (stern). Kondisi ini umumnya terjadi ketika puncak gelombang berada tepat di bawah bagian tengah kapal atau ketika distribusi beban lebih terkonsentrasi di kedua ujung kapal. Akibatnya, lambung kapal akan melengkung ke atas pada bagian tengah sehingga menyerupai busur yang menghadap ke atas. Pada kondisi ini, serat atau pelat di geladak atas (upper deck) mengalami tegangan tarik (tensile stress), sedangkan bagian lunas (keel) mengalami tegangan tekan (compressive stress). Oleh karena itu, konstruksi geladak harus memiliki kekuatan tarik yang memadai untuk menahan gaya yang terjadi.

Sagging adalah kondisi ketika beban terbesar terpusat di bagian tengah kapal, sedangkan gaya apung relatif lebih besar di bagian haluan dan buritan. Kondisi ini sering terjadi ketika lembah gelombang berada di bawah bagian tengah kapal atau ketika muatan terkonsentrasi di daerah midship. Akibatnya, badan kapal melengkung ke bawah pada bagian tengah. Dalam kondisi ini, geladak atas mengalami tegangan tekan, sedangkan lunas mengalami tegangan tarik. Oleh karena itu, struktur dasar kapal harus dirancang agar mampu menahan gaya tarik yang timbul tanpa mengalami deformasi permanen atau kegagalan struktur.

Konsep hogging dan sagging merupakan dasar dalam analisis kekuatan longitudinal (longitudinal strength) kapal. Kedua kondisi tersebut menghasilkan momen lentur longitudinal yang menyebabkan timbulnya tegangan tarik dan tekan secara bersamaan pada bagian-bagian struktur kapal. Besarnya tegangan ini dipengaruhi oleh panjang kapal, distribusi berat, distribusi gaya apung, kondisi pemuatan, serta tinggi gelombang yang dihadapi selama operasi. Oleh karena itu, perancang kapal harus memastikan bahwa

penampang melintang kapal memiliki modulus penampang (section modulus) yang cukup sehingga tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan izin material. Dengan demikian, kapal mampu mempertahankan integritas strukturalnya selama beroperasi dalam berbagai kondisi pembebanan dan cuaca laut

6.6.2 Perhitungan Momen Bending

Momen bending longitudinal pada kapal dihitung berdasarkan distribusi berat (w) dan distribusi gaya apung (b) sepanjang kapal. Gaya netto per satuan panjang adalah:

$$\mathbf{q(x) = b(x) - w(x)\ \ [kN/m]}$$

Gaya geser V(x) diperoleh dengan mengintegrasikan gaya netto:

$$\mathbf{V(x) = \int_0^x q(\xi)\, d\xi\ \ [kN]}$$

Momen bending M(x) diperoleh dengan mengintegrasikan gaya geser:

$$\mathbf{M(x) = \int_0^x V(\xi)\, d\xi\ \ [kN{\cdot}m]}$$

Tegangan normal longitudinal pada serat terluar penampang *midship* kemudian dihitung menggunakan rumus bending beam:

$$\mathbf{\sigma = M \times y / I\ \ [MPa]}$$

Di mana y adalah jarak serat dari sumbu netral (m), dan I adalah momen inersia penampang melintang terhadap sumbu netral (m^4). Rasio I/y disebut sebagai modulus penampang *(section modulus)* Z, sehingga persamaan dapat disederhanakan menjadi $\sigma = M/Z$.

6.7 Tegangan Transversal

Selain tegangan longitudinal, kapal juga mengalami tegangan pada arah transversal (tegak lurus panjang kapal). Tegangan transversal terutama timbul akibat:

a. Tekanan hidrostatik air pada lambung, yang bekerja ke dalam dari sisi luar
b. Tekanan muatan dari dalam palka atau tangki, yang bekerja ke luar
c. Gaya inersia akibat rolling dan heaving kapal
d. Beban dermaga dan fender saat sandar

Struktur-struktur yang berfungsi menahan tegangan transversal antara lain: gading *(frame)*, wrang *(floor),* gading besar *(web frame),* serta sekat melintang *(transverse bulkhead).* Penampang melintang kapal harus dirancang agar mampu mempertahankan bentuknya *(shape stability)* di bawah pengaruh semua beban transversal tersebut.

Tegangan transversal maksimum biasanya terjadi pada sambungan antara alas kapal dengan sisi kapal *(bilge)*, serta pada daerah *tween deck*. Pada kapal tanker, tegangan transversal akibat tekanan cairan muatan sering kali menjadi faktor kritis yang menentukan dimensi gading melintang.

6.8 Tegangan Lokal

Tegangan lokal adalah tegangan yang timbul pada area-area tertentu yang lebih terbatas, berbeda dengan tegangan global yang bekerja pada seluruh badan kapal. Konsentrasi tegangan lokal sering terjadi pada:

a. Bukaan pada geladak dan sisi kapal (hatch corners, portholes): Konsentrasi tegangan pada sudut-sudut bukaan dapat mencapai 2-3 kali tegangan nominal area tersebut, tergantung geometri bukaan.
b. Sambungan struktural: Perubahan kekakuan yang mendadak pada sambungan antara elemen struktural berbeda ketebalan atau berbeda material.
c. Daerah las (welded joints): Tegangan sisa dan cacat las dapat menjadi titik inisiasi retak fatik.
d. Lunas bilga (bilge keel): Area transisi antara alas dan sisi kapal yang mengalami momen bending transversal tinggi.

Faktor konsentrasi tegangan (Kt atau SCF – Stress Concentration Factor) digunakan untuk mengkuantifikasi peningkatan tegangan lokal dibandingkan tegangan nominal:

$$\sigma_{maks} = Kt \times \sigma_{nominal}$$

6.9 Analisis Tegangan Kapal

6.9.1 Metode Analisis Tegangan

Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam analisis tegangan kapal, mulai dari metode analitis sederhana hingga analisis numerik yang kompleks:

6.9.1.1 Metode Balok Ekuivalen (Equivalent Beam Method)

Metode balok (Beam Theory) merupakan pendekatan paling sederhana dan paling banyak digunakan dalam analisis awal kekuatan struktur kapal. Pada metode ini,

badan kapal dimodelkan sebagai sebuah balok berongga yang memanjang dari haluan (*bow*) hingga buritan (*stern*), dengan penampang melintang yang dianggap memiliki sifat mekanis tertentu. Pendekatan ini memungkinkan kapal dianalisis menggunakan prinsip-prinsip mekanika balok, sehingga distribusi gaya geser (*shear force*), momen lentur (*bending moment*), serta tegangan longitudinal yang terjadi di sepanjang lambung kapal dapat dihitung dengan relatif mudah. Oleh karena itu, metode ini sering digunakan sebagai dasar dalam perancangan awal struktur kapal sebelum dilakukan analisis yang lebih rinci menggunakan metode numerik (Mansour & Liu, 2008).

Metode balok sangat sesuai untuk mengevaluasi **kekuatan longitudinal global (global longitudinal strength)**, yaitu kemampuan keseluruhan badan kapal dalam menahan pembebanan akibat kombinasi gaya berat, gaya apung, dan pengaruh gelombang laut. Pada kapal-kapal konvensional yang memiliki bentuk lambung relatif simetris dan geometri sederhana, metode ini mampu memberikan hasil analisis yang cukup akurat untuk memperkirakan distribusi tegangan longitudinal, terutama pada kondisi **hogging** dan **sagging**. Dengan demikian, pendekatan ini menjadi salah satu metode fundamental dalam analisis struktur kapal karena mampu menggambarkan perilaku umum badan kapal terhadap pembebanan global.

Konsep dasar metode ini didasarkan pada **teori balok Bernoulli–Euler (Bernoulli–Euler Beam Theory)**. Teori tersebut mengasumsikan bahwa setiap penampang melintang kapal yang semula datar akan tetap datar (planar) dan tegak lurus terhadap sumbu netral setelah mengalami deformasi akibat pembebanan. Dengan kata lain, metode ini

mengabaikan kemungkinan terjadinya distorsi atau perubahan bentuk pada penampang melintang, serta menganggap deformasi yang terjadi hanya berupa pembengkokan (*bending*). Asumsi ini sangat mempermudah proses perhitungan karena distribusi regangan dan tegangan sepanjang tinggi penampang dapat dianggap berubah secara linier.

6.9.1.2 Metode Elemen Hingga (Finite Element Method)

FEM adalah merupakan salah satu metode numerik yang paling banyak digunakan dalam analisis struktur kapal modern. Prinsip dasar metode ini adalah membagi struktur kapal yang kompleks menjadi sejumlah elemen berukuran kecil (*finite elements*) yang saling terhubung melalui titik-titik simpul (*nodes*). Setiap elemen memiliki sifat material dan karakteristik mekanis tertentu, kemudian dirumuskan persamaan keseimbangan berdasarkan hubungan antara gaya dan perpindahan dalam bentuk matriks kekakuan (*stiffness matrix*). Seluruh matriks elemen selanjutnya dirakit menjadi satu sistem persamaan global yang mewakili perilaku keseluruhan struktur, kemudian diselesaikan secara simultan menggunakan metode komputasi sehingga diperoleh distribusi tegangan, regangan, deformasi, maupun gaya internal pada setiap bagian struktur kapal.

Dibandingkan dengan metode analitis, seperti teori balok Bernoulli–Euler, FEM memiliki kemampuan yang jauh lebih baik dalam memodelkan struktur dengan bentuk geometri yang rumit serta kondisi pembebanan yang bervariasi. Metode ini mampu mempertimbangkan perubahan ketebalan pelat, keberadaan bukaan, variasi dimensi penegar (*stiffener*), serta berbagai jenis kondisi batas

(*boundary conditions*) yang sulit dianalisis menggunakan pendekatan konvensional. Selain itu, FEM dapat mengakomodasi beban yang terdistribusi tidak merata, beban terpusat, tekanan hidrostatik, tekanan gelombang, maupun kombinasi berbagai jenis pembebanan yang terjadi selama kapal beroperasi.

Keunggulan lain dari FEM adalah kemampuannya dalam melakukan **analisis tegangan lokal (local stress analysis)** pada daerah-daerah yang berpotensi mengalami konsentrasi tegangan, seperti sambungan las, lubang bukaan, kaki penegar, dan daerah peralihan struktur. Selain analisis statis, FEM juga dapat digunakan untuk **analisis dinamis**, seperti analisis getaran alami (*modal analysis*), analisis respons terhadap gelombang, serta analisis akibat beban kejut (*impact loading*). Bahkan, metode ini mampu melakukan **analisis nonlinier**, yaitu analisis yang mempertimbangkan perubahan sifat material maupun perubahan geometri akibat deformasi besar, termasuk evaluasi perilaku struktur setelah mengalami **buckling** (*post-buckling analysis*).

Dalam praktik perancangan kapal modern, penerapan FEM umumnya dilakukan secara bertahap sesuai dengan tingkat detail analisis yang diperlukan. Tahap pertama adalah **analisis global (global analysis)**, yaitu pemodelan seluruh badan kapal menggunakan elemen dengan ukuran relatif besar untuk mengevaluasi distribusi gaya, momen lentur, deformasi, dan tegangan secara keseluruhan. Tahap kedua adalah **analisis sub-model (sub-model analysis)**, yaitu analisis pada bagian struktur tertentu yang dianggap kritis dengan menggunakan mesh yang lebih halus sehingga distribusi tegangan dapat diprediksi dengan lebih akurat. Tahap terakhir adalah **analisis hot-spot stress**, yang

difokuskan pada lokasi-lokasi dengan konsentrasi tegangan tinggi, terutama di sekitar sambungan las dan detail struktur yang rentan mengalami kerusakan akibat kelelahan material (*fatigue*). Analisis ini sangat penting untuk memperkirakan umur lelah struktur (*fatigue life*) dan memastikan bahwa desain kapal memenuhi persyaratan keselamatan serta standar yang ditetapkan oleh badan klasifikasi.

6.9.1.3 Metode Spektral (Spectral Analysis)

Metode spektral (Spectral Method) merupakan pendekatan analisis yang digunakan untuk mengevaluasi respons struktur kapal terhadap pembebanan gelombang laut dalam jangka panjang (*long-term wave loading*). Berbeda dengan metode statis yang hanya mempertimbangkan satu kondisi pembebanan tertentu, metode spektral memperhitungkan sifat acak (*random*) dari gelombang laut sehingga mampu memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai beban yang akan dialami kapal selama masa operasinya. Pendekatan ini banyak diterapkan dalam perancangan kapal modern karena memungkinkan prediksi terhadap kondisi operasional di berbagai keadaan laut (*sea states*).

Pada metode ini, karakteristik gelombang laut direpresentasikan dalam bentuk spektrum gelombang (wave spectrum), yaitu distribusi energi gelombang terhadap frekuensi. Spektrum tersebut menggambarkan bagaimana energi gelombang tersebar pada berbagai frekuensi dan periode gelombang yang terjadi di laut. Beberapa model spektrum yang paling umum digunakan adalah Spektrum Pierson–Moskowitz, (Jensen, 2001) yang mewakili kondisi laut berkembang penuh (*fully developed sea*), serta Spektrum

JONSWAP (Joint North Sea Wave Project), yang digunakan untuk menggambarkan kondisi laut yang masih berkembang (*fetch-limited sea*) dengan konsentrasi energi gelombang yang lebih tinggi pada frekuensi tertentu.

Setelah kondisi gelombang didefinisikan melalui spektrum gelombang, respons struktur kapal dihitung menggunakan Response Amplitude Operator (RAO). RAO merupakan fungsi transfer yang menunjukkan hubungan antara amplitudo gelombang sebagai masukan (*input*) dengan respons kapal sebagai keluaran (*output*), seperti gerakan kapal, momen lentur, gaya geser, maupun tegangan struktur. Perhitungan dilakukan dalam domain frekuensi (frequency domain) sehingga respons kapal terhadap setiap komponen frekuensi gelombang dapat dianalisis secara terpisah sebelum digabungkan menjadi respons total.

Keunggulan metode spektral adalah kemampuannya dalam memprediksi beban jangka panjang dan probabilitas terjadinya kondisi pembebanan ekstrem yang dapat memengaruhi kekuatan struktur kapal. Metode ini juga menjadi dasar dalam analisis fatigue (kelelahan material), karena mampu memperkirakan jumlah siklus pembebanan yang akan diterima struktur selama umur operasional kapal. Oleh karena itu, hasil analisis spektral banyak digunakan dalam proses desain struktur, evaluasi umur lelah, penentuan dimensi elemen struktur, serta verifikasi terhadap persyaratan badan klasifikasi untuk memastikan bahwa kapal memiliki tingkat keselamatan dan keandalan yang memadai ketika beroperasi pada berbagai kondisi gelombang laut

6.9.2 Perhitungan Momen Bending

Perhitungan momen bending pada kapal secara praktis dilakukan dengan metode berikut:

6.9.2.1 Momen Bending Still Water (SWBM)

Still Water Bending Moment (SWBM) adalah momen bending yang terjadi ketika kapal berada di air tenang. SWBM bergantung pada kondisi pemuatan kapal dan dihitung sebagai berikut:

Pertama, ditentukan distribusi berat kapal w(x) dan distribusi gaya apung b(x) sepanjang kapal. Distribusi gaya apung dihitung berdasarkan luas penampang badan kapal (sectional area) yang terendam air pada tiap station.

Kedua, gaya netto q(x) = b(x) - w(x) diintegrasikan untuk mendapatkan kurva gaya geser (shear force diagram). Kemudian, gaya geser diintegrasikan untuk mendapatkan kurva momen bending (bending moment diagram).

Nilai SWBM maksimum biasanya terjadi di sekitar midship dan menjadi salah satu acuan utama dalam penentuan dimensi modulus penampang (section modulus) pada daerah 0.4L amidships.

6.9.2.2 Momen Bending Gelombang (WBM)

Wave Bending Moment (WBM) adalah momen bending tambahan akibat pengaruh gelombang. Menurut berbagai badan klasifikasi, WBM dapat dihitung menggunakan rumus empiris. Sebagai contoh, menurut Bureau Veritas, nilai desain WBM untuk kondisi hogging dan sagging diberikan sebagai fungsi dari panjang kapal (L), lebar kapal (B), sarat (T), dan koefisien blok (Cb).

Momen bending total (Total Bending Moment) yang digunakan untuk desain adalah kombinasi SWBM dan WBM:

M_total = SWBM + WBM

Dalam standar IACS *(International Association of Classification Societies)*, nilai WBM dihitung menggunakan formula berbasis probabilistik yang mempertimbangkan periode operasi kapal dan tingkat keandalan yang diinginkan.

Tabel 6. 2 Parameter Utama dalam Perhitungan Tegangan Kapal

Parameter	Simbol	Satuan	Keterangan
Panjang kapal	L	M	Antara garis tegak depan & belakang
Lebar kapal	B	M	Lebar maksimum pada DWL
Sarat desain	T	M	Sarat pada kondisi muatan penuh
Koefisien blok	Cb	-	Ratio displasemen terhadap L×B×T
Displasemen	Δ	Ton	Massa total kapal + muatan
Section modulus	Z	cm^3	I / y, kekuatan penampang midship

Sumber : *Rules for Hull, BKI (2022)*

6.9.3 Distribusi Tegangan pada Penampang Midship

Penampang melintang pada daerah *midship* (0.4L – 0.6L) merupakan area terkritis dalam analisis tegangan longitudinal. Distribusi tegangan normal *(bending stress)* pada penampang ini bersifat linier terhadap jarak dari sumbu netral, sesuai teori balok *Euler-Bernoulli*.

Sumbu netral (neutral axis) adalah garis pada penampang di mana tegangan bending bernilai nol. Posisi sumbu netral bergantung pada distribusi luas penampang (momen statis terhadap titik acuan dibagi dengan total luas penampang efektif).

Tegangan bending maksimum terjadi pada serat yang paling jauh dari sumbu netral. Untuk kapal konvensional, serat terluar adalah geladak utama (di atas sumbu netral) dan keel (di bawah sumbu netral). Dalam kondisi hogging, keel mengalami tegangan tekan maksimum sedangkan geladak mengalami tegangan tarik maksimum. Kondisi ini dibalik pada sagging.

Selain tegangan normal, pada penampang midship juga terdapat tegangan geser. Distribusi tegangan geser pada penampang segi-empat berongga (box section) berbentuk parabola, dengan nilai maksimum pada sumbu netral. Pada sisi kapal (ship's side), tegangan geser adalah komponen tegangan yang dominan.

6.9.4 Pengaruh Kondisi Pemuatan

Kondisi pemuatan (loading condition) secara langsung mempengaruhi distribusi berat sepanjang kapal, sehingga berpengaruh signifikan terhadap profil momen bending dan tegangan yang terjadi. Beberapa kondisi pemuatan yang umum dianalisis adalah:

a. Full Load Departure: Kapal terisi penuh dengan muatan dan bahan bakar, kondisi ini biasanya menghasilkan momen sagging terbesar.

b. Full Load Arrival: Kapal terisi penuh muatan namun bahan bakar telah berkurang, mengubah distribusi berat dan pola tegangan.
c. Ballast Departure/Arrival: Kondisi kapal kosong dengan tangki ballast terisi, biasanya menghasilkan momen hogging yang signifikan.
d. Partial Load: Berbagai konfigurasi pemuatan parsial yang mungkin terjadi selama operasi.

Manual pemuatan (loading manual) yang disyaratkan oleh badan klasifikasi memuat aturan-aturan pembatasan kondisi pemuatan untuk memastikan bahwa SWBM yang terjadi tidak melampaui batas yang diizinkan. Nakhoda dan mualim kapal wajib mematuhi manual ini dalam setiap kondisi operasi.

6.10 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Hull Stress

6.10.1 Faktor Lingkungan

Kondisi lingkungan laut memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap tegangan yang dialami kapal:

6.10.1.1 Tinggi dan Panjang Gelombang

Gelombang merupakan sumber beban dinamis terbesar bagi kapal samudera. Tinggi gelombang signifikan (Hs) dan periode puncak (Tp) gelombang mempengaruhi amplitudo momen bending gelombang. Untuk kapal yang berlayar di kondisi laut berat (Sea State 7-8), momen bending

gelombang dapat mencapai nilai yang sebanding atau bahkan melampaui SWBM.

Panjang gelombang relatif terhadap panjang kapal juga berperan penting. Kondisi paling kritis biasanya terjadi ketika panjang gelombang mendekati panjang kapal, karena pada kondisi ini gelombang secara bersamaan mendukung ujung-ujung kapal (hogging) atau bagian tengah kapal (sagging) dengan amplitudo maksimum.

6.10.1.2 Arah dan Kecepatan Angin

Angin kencang memberikan beban langsung pada bangunan atas (superstructure) kapal dan menimbulkan rolling dan pitching yang memperbesar beban dinamis pada struktur kapal. Selain itu, angin juga membangkitkan gelombang yang menambah beban pada lambung kapal.

6.10.1.3 Temperatur dan Kondisi Es

Di perairan polar, kapal dapat menghadapi beban es yang signifikan. Tekanan es pada lambung kapal menimbulkan tegangan lokal yang tinggi pada plat lambung dan sistem rangka. Kapal yang dirancang untuk berlayar di perairan es (ice-class vessels) memiliki penguatan khusus pada area bow, midbody, dan stern untuk mengatasi beban es ini.

6.10.2 Faktor Operasional

Cara operasi kapal juga mempengaruhi tingkat tegangan yang dialami:

a. Kecepatan kapal: Kecepatan tinggi dalam kondisi laut bergelombang meningkatkan beban slamming dan dapat menyebabkan whipping yang berbahaya. Pengurangan kecepatan (speed reduction) adalah tindakan operasional yang umum dilakukan untuk mengurangi beban dinamis.
b. Heading kapal: Sudut antara haluan kapal dengan arah datang gelombang (wave heading) mempengaruhi distribusi dan amplitudo beban gelombang. Kondisi head seas (gelombang dari depan) umumnya menghasilkan momen bending longitudinal terbesar.
c. Kondisi pemuatan: Sebagaimana dibahas sebelumnya, distribusi muatan secara langsung menentukan profil SWBM.
d. Operasi bongkar muat: Proses loading/unloading yang tidak terkontrol dapat menghasilkan kondisi pemuatan sementara yang berbahaya, terutama pada kapal curah (bulk carriers).

6.10.3 Faktor Desain dan Konstruksi

Aspek desain dan konstruksi kapal yang mempengaruhi perilaku tegangan meliputi:

a. Geometri lambung: Rasio L/B (panjang terhadap lebar) dan L/D (panjang terhadap tinggi) yang tinggi cenderung meningkatkan besaran momen bending dan tegangan longitudinal.
b. Konfigurasi struktural: Pilihan antara sistem konstruksi melintang (transverse framing), memanjang (longitudinal framing), atau kombinasi keduanya berpengaruh pada distribusi dan efisiensi penahan tegangan.

c. Ketebalan plat dan profil: Dimensi elemen struktural langsung mempengaruhi section modulus dan kemampuan struktur menahan tegangan.
d. Kualitas pengelasan: Cacat las merupakan titik awal yang umum bagi retak fatik. Kontrol kualitas pengelasan yang ketat sangat penting untuk memastikan integritas struktural jangka panjang.
e. Korosi: Penipisan plat akibat korosi mengurangi section modulus dan meningkatkan tegangan nominal. Sistem perlindungan katodik dan coating yang baik penting untuk menjaga integritas struktural selama masa operasi kapal.

6.11. Standar Dan Regulasi

6.11.1 Regulasi Badan Klasifikasi

Berbagai badan klasifikasi internasional menetapkan standar dan aturan teknis yang mengatur desain dan analisis tegangan kapal. Beberapa badan klasifikasi terkemuka beserta aturan utamanya adalah:

Tabel 6. 3 Badan Klasifikasi Internasional dan Aturan Tegangan Utama

Badan Klasifikasi	Negara Asal	Aturan Tegangan Utama
Lloyd's Register (LR)	Inggris	Rules for the Classification of Ships
Bureau Veritas (BV)	Prancis	Rules for Steel Ships

Badan Klasifikasi	Negara Asal	Aturan Tegangan Utama
DNV GL	Norwegia/Jerman	Rules for Classification: Ships
American Bureau of Shipping (ABS)	USA	Rules for Building and Classing Steel Vessels
Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK)	Jepang	Rules and Guidance for the Survey and Construction of Steel Ships
Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)	Indonesia	Rules for Hull

Sumber : Diadaptasi dari IACS (2021), BKI (2022), Lloyd's Register Rules, Bureau Veritas Rules, DNV Rules, ABS Rules, dan ClassNK Rules

Aturan-aturan klasifikasi ini menetapkan persyaratan minimum untuk section modulus, ketebalan plat, dimensi profil, serta batasan tegangan yang diizinkan pada berbagai kondisi pemuatan. Proses verifikasi dilakukan melalui review desain dan survei konstruksi yang dilakukan oleh surveyor badan klasifikasi.

IACS (*International Association of Classification Societies*) sebagai asosiasi dari badan-badan klasifikasi utama dunia, menerbitkan Unified Requirements (UR) yang menyeragamkan aturan-aturan kunci. UR S11 tentang momen bending longitudinal dan modulus penampang menjadi salah satu standar yang paling banyak dirujuk.

6.11.2 Standar IMO

Selain badan klasifikasi, International Maritime Organization (IMO) menetapkan berbagai konvensi dan regulasi internasional yang menjadi acuan dalam perancangan, pembangunan, dan pengoperasian kapal, termasuk aspek kekuatan struktur. Regulasi-regulasi tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa setiap kapal memiliki tingkat keselamatan, keandalan, dan perlindungan lingkungan yang memadai selama masa operasinya. Beberapa ketentuan IMO yang berkaitan langsung maupun tidak langsung dengan kekuatan struktural kapal adalah sebagai berikut.

a. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) Chapter II-1

Bab II-1 dari Konvensi SOLAS memuat persyaratan mengenai konstruksi kapal, stabilitas, subdivisi kedap air, serta instalasi permesinan dan kelistrikan. Dalam aspek struktur, regulasi ini mengharuskan kapal dirancang dan dibangun dengan kekuatan yang memadai untuk menahan berbagai beban yang timbul selama beroperasi di laut. Persyaratan tersebut mencakup kemampuan struktur dalam menghadapi beban statis maupun dinamis sehingga keselamatan kapal dan awak tetap terjamin pada berbagai kondisi pelayaran(IMO, 1997).

b. MARPOL Annex I

MARPOL Annex I mengatur langkah-langkah pencegahan pencemaran laut oleh minyak, termasuk persyaratan desain konstruksi kapal tanker. Salah satu ketentuan penting adalah penerapan double hull (lambung ganda) pada kapal tanker modern. Penggunaan lambung ganda tidak hanya meningkatkan perlindungan terhadap tumpahan minyak apabila terjadi tabrakan atau kandas,

tetapi juga mengubah konfigurasi struktur kapal. Perubahan tersebut memengaruhi distribusi gaya, momen lentur, serta tegangan yang bekerja pada lambung kapal sehingga harus diperhitungkan dalam proses analisis dan desain struktur.

c. International Bulk Carrier Code (IBC Code)

Untuk kapal pengangkut muatan curah, IMO menetapkan ketentuan khusus yang mengatur kondisi pemuatan dan keselamatan struktur selama proses bongkar muat maupun pelayaran. Regulasi ini memberikan pedoman mengenai distribusi muatan, batas pembebanan, serta evaluasi kekuatan struktur agar kapal mampu menahan beban besar yang dihasilkan oleh muatan curah. Dengan adanya persyaratan tersebut, risiko kerusakan struktur akibat distribusi muatan yang tidak merata atau pembebanan berlebihan dapat diminimalkan.

d. Goal-Based Ship Construction Standards (GBS)

Goal-Based Ship Construction Standards (GBS) merupakan pendekatan regulasi yang menetapkan persyaratan konstruksi kapal berdasarkan tujuan kinerja (performance-based standards), bukan hanya spesifikasi teknis yang bersifat preskriptif. Dalam konsep ini, IMO menetapkan tingkat keselamatan dan keandalan yang harus dicapai oleh struktur kapal selama umur layan yang telah direncanakan. Selanjutnya, badan klasifikasi mengembangkan aturan teknis yang dapat membuktikan bahwa desain kapal memenuhi tujuan tersebut. Pendekatan berbasis tujuan ini memberikan fleksibilitas dalam pengembangan teknologi dan inovasi desain, namun tetap memastikan bahwa tingkat keselamatan struktur

kapal memenuhi standar internasional yang telah ditetapkan.

Secara keseluruhan, regulasi IMO menjadi landasan utama dalam memastikan bahwa desain dan konstruksi kapal memenuhi persyaratan keselamatan internasional. Penerapan berbagai konvensi dan standar tersebut, bersama dengan aturan dari badan klasifikasi, menjamin bahwa struktur kapal memiliki kekuatan yang memadai untuk menahan berbagai kondisi pembebanan selama masa operasionalnya sekaligus mendukung perlindungan jiwa, harta benda, dan lingkungan laut.

6.12 Studi Kasus

6.12.1 Kasus Kegagalan Struktural Kapal MV. Derbyshire

MV. Derbyshire adalah kapal curah (bulk carrier) berbobot mati 169.044 DWT yang hilang di perairan Samudera Pasifik dekat Jepang pada September 1980 saat menghadapi Topan Orchid. Dengan panjang 294 meter dan merupakan kapal curah terbesar yang pernah hilang, kasus ini menjadi salah satu yang paling banyak diteliti dalam sejarah perkapalan.

Investigasi awal tidak dapat menemukan penyebab pasti karena bangkai kapal berada di kedalaman 4.000 meter. Namun setelah penemuan dan pemeriksaan bangkai kapal menggunakan robot bawah air pada tahun 1994-1997, ditemukan bukti-bukti kerusakan yang menunjukkan bahwa kegagalan bermula dari ventilator hatches di haluan kapal yang gagal menahan tekanan gelombang. Air yang masuk ke

dalam palka muat nomor 1 menyebabkan peningkatan beban yang dramatis dan kolaps progresif sekat antara palka.

Kasus Derbyshire mengungkapkan kelemahan serius dalam desain lubang ventilasi dan tutup palka pada kapal curah generasi tersebut. Investigasi menunjukkan bahwa beban gelombang pada komponen-komponen kecil ini telah diunderestimate secara signifikan. Akibatnya, IMO dan badan klasifikasi memperketat standar desain untuk komponen-komponen aksesori pada geladak kapal curah (Ship Structure Committee, 2000).

6.12.2 Analisis Contoh Numerik Tegangan Kapal

Sebagai ilustrasi perhitungan tegangan kapal, berikut disajikan contoh sederhana untuk sebuah kapal kargo:
Data kapal: Panjang (L) = 150 m; Lebar (B) = 22 m; Tinggi (D) = 13 m; Sarat (T) = 8 m; Koefisien blok (Cb) = 0.72; Displasemen (Δ) = 18.000 ton.
Misalkan momen bending total (hogging) pada midship adalah M = 750.000 kN·m, dan section modulus terhadap sumbu netral untuk keel adalah Z_keel = 25.000 cm^3 = 0.025 m^3.
Tegangan bending pada keel:

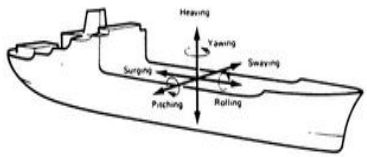
$$\sigma = M / Z = 750.000\ kN{\cdot}m / 0.025\ m^3 = 30.000.000\ kN/m^2 = 30.000\ Mpa$$

CATATAN: Nilai ini tidak realistis karena menggunakan Z yang sangat kecil hanya untuk ilustrasi. Dalam praktik, section modulus kapal seukuran ini biasanya berkisar antara 10 – 30 m^3 sehingga tegangan akan berada dalam rentang 25 – 75 MPa, jauh di bawah kekuatan luluh baja kapal sebesar 235 MPa.

Badan klasifikasi mensyaratkan bahwa tegangan bending permissible di midship tidak boleh melebihi sekitar 175 MPa untuk kondisi still water + wave combined, atau sekitar 190 MPa untuk kondisi beban ekstrem sesaat.

6.13 Tekanan dan Gaya Yang Bekerja Pada Kapal

6.13.1 Arah Gerak Kapal



Gambar 6. 1 The Six Degrees Of Freedom

Berikut adalah 6 gerakan kapal yang umum dikenal dalam ilmu pelayaran dan nautika:

a. Pitching – Gerakan naik-turun bagian depan (haluan) dan belakang (buritan) kapal terhadap sumbu horizontal melintang.
b. Rolling – Gerakan kapal miring ke kiri dan kanan terhadap sumbu memanjang kapal.
c. Yawing – Gerakan membelok ke kiri dan kanan pada haluan terhadap sumbu vertikal.
d. Heaving – Gerakan naik-turun seluruh badan kapal secara vertikal.
e. Swaying – Gerakan kapal secara horizontal ke kiri dan kanan (menyamping).

f. Surging – Gerakan kapal maju dan mundur secara horizontal (sepanjang sumbu memanjang kapal).

Keenam gerakan ini bisa terjadi karena pengaruh gelombang, arus, angin, atau manuver kapal itu sendiri.

6.13.2 Jenis – Jenis Tekanan Pada Kapal

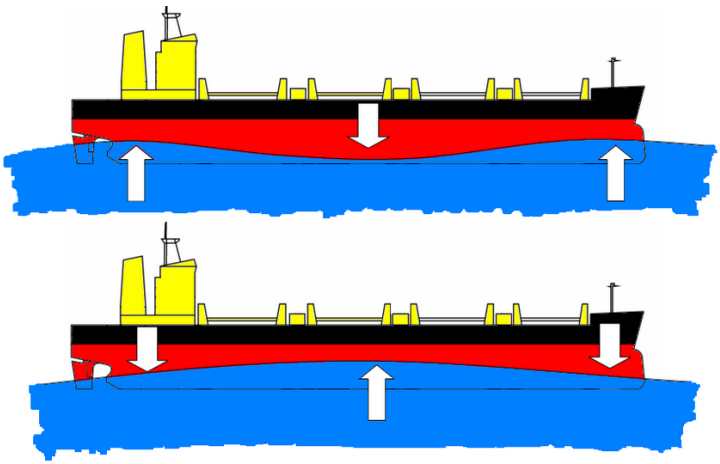
a. Longitudinal Bending Stress (Tekanan Lentur Memanjang)
b. Transverse Stress (Tekanan Melintang)
c. Shear Stress (Tekanan Geser)
d. Torsional Stress (Tekanan Puntir)
e. Local Stress (Tekanan Lokal)

6.13.3 Longitudinal Bending Stress (tekanan lentur memanjang)

Tekanan ini terjadi akibat perbedaan gaya apung dan berat kapal sepanjang panjangnya. Ada dua kondisi utama:

a. Hogging – Terjadi ketika bagian tengah kapal terangkat lebih tinggi daripada bagian haluan dan buritan karena gelombang mendukung bagian tengah kapal lebih banyak daripada ujung-ujungnya.
b. Sagging – Terjadi ketika bagian tengah kapal tenggelam lebih rendah daripada haluan dan buritan, biasanya karena gelombang lebih banyak mendukung bagian ujung kapal dibandingkan bagian tengahnya.

6.13.4 Hogging dan Sagging



Gambar 6. 2 Hogging dan Sagging

Penyebab Hogging:

- Kapal berada di atas gelombang besar dengan puncak gelombang di bagian tengah.
- Muatan lebih banyak berada di ujung-ujung kapal dibandingkan di tengah.

Dampak Hogging:

- Dapat menyebabkan retak atau kegagalan struktural pada dek kapal.
- Jika terjadi terus-menerus, dapat mempercepat kelelahan material pada struktur kapal

Penyebab Sagging:

- Kapal berada di atas gelombang dengan puncak gelombang di bagian haluan dan buritan.
- Muatan lebih banyak terkonsentrasi di tengah kapal.

Dampak Sagging:

- Tekanan tinggi terjadi di bagian lunas kapal, yang dapat menyebabkan deformasi atau kerusakan struktural.
- Jika tidak dikontrol, sagging dapat menyebabkan kebocoran atau bahkan keretakan di bagian dasar kapal.

6.13.5 Transverse Stress (Tekanan Melintang)

Tegangan melintang (*transverse stress*) adalah tegangan yang bekerja pada arah melintang kapal (dari sisi kiri *port* ke sisi kanan *starboard*). Tegangan ini timbul akibat distribusi beban atau tekanan yang tidak seimbang pada kedua sisi kapal, baik yang berasal dari muatan, ballast, bahan bakar, maupun tekanan hidrostatis air laut. Ketidakseimbangan tersebut dapat menyebabkan kapal mengalami kemiringan ke salah satu sisi (*list*) atau gerakan oleng (*rolling*) yang meningkatkan beban pada struktur melintang kapal.

Selain itu, transverse stress juga terjadi ketika kapal berlayar di laut bergelombang, terutama saat gelombang datang dari arah samping (*beam sea*). Kondisi ini menghasilkan gaya dinamis yang bekerja secara bergantian pada sisi kiri dan kanan kapal sehingga menimbulkan tegangan pada rangka melintang (*transverse frames*), geladak (*deck*), pelat kulit (*shell plating*), serta sekat melintang (*transverse bulkhead*). Apabila tegangan tersebut melebihi batas kekuatan material atau terjadi secara berulang dalam jangka waktu lama, dapat mengakibatkan deformasi struktur, retak akibat kelelahan material (*fatigue cracking*), hingga penurunan kekuatan konstruksi kapal. Oleh karena itu, distribusi muatan yang seimbang, pengaturan ballast yang tepat, serta desain struktur melintang yang memenuhi persyaratan klasifikasi kapal merupakan faktor penting untuk meminimalkan transverse stress dan menjaga stabilitas serta integritas struktural kapal selama beroperasi.

DAFTAR PUSTAKA

Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). (2022). *Rules for Hull*. Jakarta: BKI.

Bruhn, E. F. (1973). *Analysis and Design of Flight Vehicle Structures*. Cincinnati: Tri-State Offset Company.

Caldwell, J. B. (1965). Ultimate Longitudinal Strength. *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, 107, 411-430.

IACS. (2021). *Unified Requirements S: Strength of Ships*. London: International Association of Classification Societies.

IMO. (1997). *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)*, Consolidated Edition. London: IMO Publishing.

Jensen, J. J. (2001). *Load and Global Response of Ships*. Oxford: Elsevier Ocean Engineering Book Series.

Lewis, E. V. (Ed.). (1988). *Principles of Naval Architecture, Vol. I: Stability and Strength* (2nd ed.). Jersey City: Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME).

Mansour, A. E., & Liu, D. (2008). *The Principles of Naval Architecture Series: Strength of Ships and Ocean Structures*. Jersey City: SNAME.

Paik, J. K., & Thayamballi, A. K. (2003). *Ultimate Limit State Design of Steel-Plated Structures*. Chichester: John Wiley & Sons.

Rawson, K. J., & Tupper, E. C. (2001). *Basic Ship Theory* (5th ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.

Ship Structure Committee. (2000). *Ship Structural Failures – Analysis of Incidents and Accidents* (SSC Report 420). Washington: US Coast Guard.

Thayamballi, A. K., & Chen, Y. K. (1987). *The Vertical Bending Moment of Ships*. New York: ABS Technical Papers.

Timoshenko, S. P., & Goodier, J. N. (1970). *Theory of Elasticity* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.

Tupper, E. C. (2004). *Introduction to Naval Architecture* (4th ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.

Wierzbicki, T., & Abramowicz, W. (1983). On the Crushing Mechanics of Thin-Walled Structures. *Journal of Applied Mechanics*, 50(4a), 727-734.

Yamamoto, Y., et al. (1986). *Structural Mechanics in Reactor Technology*. Amsterdam: Elsevier.

BAB 7

STABILITAS KAPAL DALAM OPERASI MUAT BONGKAR

Oleh Tri Setianto

Pernahkah Anda mengamati sebuah kapal kontainer raksasa yang sedang membongkar muatannya di pelabuhan? Puluhan bahkan ratusan kotak baja berat dipindahkan oleh derek-derek raksasa, sebuah pemandangan yang menunjukkan betapa dinamisnya interaksi antara kapal, muatan, dan gaya-gaya alam. Di balik aktivitas yang tampak rutin tersebut, terdapat sebuah kalkulasi yang presisi dan berkelanjutan untuk memastikan kapal tidak miring secara berbahaya atau bahkan terbalik. Proses bongkar muat adalah momen paling kritis dalam sebuah pelayaran dari sudut pandang stabilitas. Setiap ton berat yang ditambahkan, dikurangi, atau digeser akan mengubah keseimbangan kapal secara fundamental, menuntut kewaspadaan dan kompetensi tingkat tinggi dari perwira yang bertanggung jawab.

Pemahaman mendalam tentang stabilitas kapal bukan sekadar kewajiban regulasi, melainkan inti dari profesionalisme seorang pelaut. Stabilitas adalah kemampuan sebuah kapal untuk kembali ke posisi tegaknya setelah mengalami kemiringan akibat gaya eksternal seperti angin atau gelombang, atau akibat pergeseran internal seperti pemindahan muatan. Bab ini akan mengupas tuntas prinsip-

prinsip yang mengatur perilaku kapal selama operasi bongkar muat, sebuah fase di mana pusat gravitasi kapal (*center of gravity*) berada dalam kondisi fluktuasi konstan. Kegagalan dalam mengelola perubahan ini telah menjadi penyebab banyak insiden maritim yang sebenarnya dapat dicegah.

Pembahasan dalam bab ini akan dimulai dengan meninjau kembali konsep-konsep dasar stabilitas, termasuk hubungan krusial antara titik berat (G), titik apung (B), dan titik metasentrum (M). Konsep tinggi metasentrik (GM) sebagai indikator stabilitas awal akan dianalisis dalam konteks operasional. Selanjutnya, bab ini akan menggali salah satu ancaman tersembunyi terbesar bagi stabilitas, yaitu efek permukaan bebas (*free surface effect*) yang terjadi dalam tangki-tangki yang tidak terisi penuh. Fenomena ini secara efektif mengurangi stabilitas kapal dan harus dikelola dengan cermat, terutama selama operasi balasting atau transfer bahan bakar.

Fokus utama akan diberikan pada dinamika stabilitas selama proses bongkar muat itu sendiri. Analisis akan mencakup perubahan stabilitas, risiko yang muncul saat mengangkat atau menempatkan muatan berat, serta pentingnya sekuens pemuatan yang benar untuk menjaga integritas struktur kapal. Peran vital teknologi modern melalui *loading instrument* atau *loading computer* akan dibahas secara mendalam, mulai dari fungsinya hingga prosedur darurat jika terjadi kegagalan sistem. Bab ini diakhiri dengan strategi evaluasi dan pencegahan, menggarisbawahi pentingnya kewaspadaan, pelatihan, dan kerja sama tim dalam memastikan kapal tetap aman dan stabil dari dermaga hingga lautan lepas.

7.1 Prinsip Dasar Stabilitas Kapal

Memahami stabilitas kapal ibarat memahami anatomi dan sistem keseimbangan pada manusia. Sebagaimana manusia membutuhkan sistem vestibular yang kompleks untuk tetap tegak, sebuah kapal bergantung pada interaksi gaya-gaya fundamental untuk mempertahankan posisinya di atas air. Prinsip-prinsip ini bukanlah konsep abstrak, melainkan realitas fisika yang menentukan keselamatan setiap pelayaran. Mengabaikan dasar-dasar ini sama saja dengan berlayar tanpa kompas, membuka peluang bagi bencana. Konsep stabilitas melingkupi kemampuan kapal untuk menegak kembali setelah miring oleh gaya dari luar, yang sangat bergantung pada interaksi antara distribusi massa kapal dan daya apung yang diberikan oleh air.

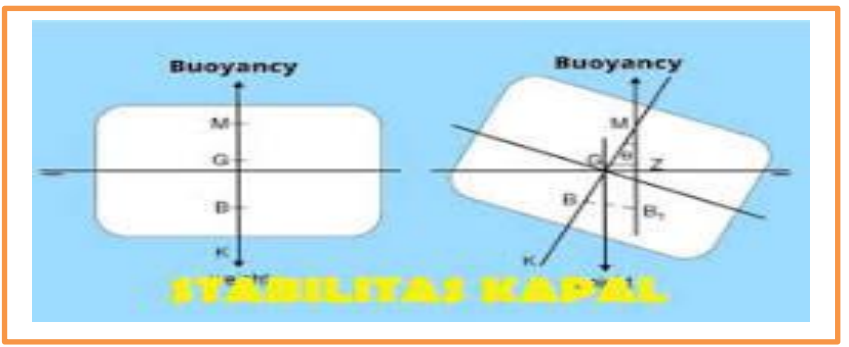
7.1.1 Titik berat (G), titik apung (B), dan titik metasentrum (M)

Tiga titik imajiner menjadi pusat dari seluruh kalkulasi stabilitas kapal: titik berat (G), titik apung (B), dan titik metasentrum (M). Titik berat, atau *Center of Gravity* (G), adalah titik tangkap dari seluruh berat kapal beserta isinya, termasuk kargo, bahan bakar, air tawar, dan kru. Posisi vertikal titik G (dikenal sebagai VCG atau KG) sangat krusial; semakin rendah posisi G, semakin stabil kapal tersebut. Penambahan berat di dek atas akan menaikkan G, sementara pemuatan di dasar palka akan menurunkannya. Titik G dianggap sebagai titik di mana gaya berat kapal bekerja secara vertikal ke bawah.

Titik apung, atau *Center of Buoyancy* (B), adalah titik tangkap dari seluruh gaya apung yang bekerja pada bagian kapal yang terendam air (*underwater volume*). Secara sederhana, ini adalah pusat geometris dari volume badan kapal yang berada di bawah permukaan air. Gaya apung selalu

bekerja vertikal ke atas melalui titik B. Saat kapal dalam posisi tegak, G dan B berada pada satu garis vertikal yang sama. Namun, ketika kapal miring (*heeling*), bentuk bagian kapal yang terendam berubah, menyebabkan posisi B bergeser ke sisi yang lebih rendah, yaitu ke arah kemiringan.

Pergeseran titik B inilah yang memunculkan konsep titik metasentrum (M). Metasentrum adalah titik potong antara garis vertikal yang melalui titik B pada saat kapal miring dengan garis tengah kapal (*centerline*). Untuk sudut kemiringan kecil (biasanya hingga 10-15 derajat), posisi M dapat dianggap tetap. Jarak vertikal dari titik berat (G) ke titik metasentrum (M) dikenal sebagai tinggi metasentrik atau GM. Hubungan spasial antara ketiga titik ini, G, B, dan M, merupakan penentu utama dari perilaku stabilitas awal sebuah kapal (Sulistiana et al., 2025). Stabilitas positif tercapai ketika G berada di bawah M, yang menciptakan lengan penegak (*righting arm*) untuk mengembalikan kapal ke posisi tegak.



Gambar 7. 1. Titik-titik penting Stabilitas kapal

(Sumber: www.kapaldanlogistik.com)

7.1.2 Pengaruh pergeseran berat terhadap stabilitas kapal

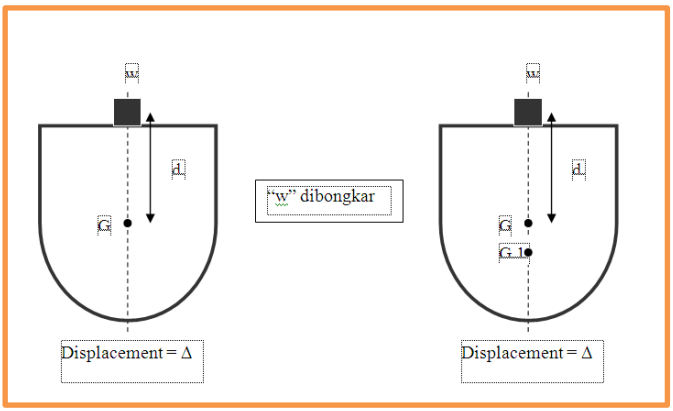
Setiap pergeseran berat di atas kapal, baik secara vertikal, horizontal, maupun longitudinal, akan secara langsung memengaruhi posisi titik berat (G) dan, konsekuensinya, mengubah karakteristik stabilitas kapal. Pemahaman mendalam mengenai dampak ini sangat vital, terutama selama operasi bongkar muat di mana ribuan ton kargo dipindahkan dalam waktu singkat. Pergeseran berat adalah realitas operasional harian yang harus dikelola dengan perhitungan yang cermat untuk menghindari kondisi berbahaya. Dinamika ini menjadi semakin kompleks pada kapal-kapal modern dengan konfigurasi muatan yang beragam (Yuliananta et al., 2026).

Pergeseran berat secara vertikal memiliki dampak paling langsung terhadap tinggi metasentrik (GM). Jika sebuah beban digeser ke atas, titik G kapal secara keseluruhan akan ikut naik, menyebabkan nilai GM berkurang. Sebaliknya, jika beban digeser ke bawah, titik G akan turun dan nilai GM akan meningkat. Efek ini dihitung menggunakan rumus sederhana: pergeseran G (GG') sama dengan berat yang digeser (w) dikalikan jarak pergeseran vertikal (d), dibagi dengan total berat kapal (W). Pengurangan GM berarti mengurangi kemampuan kapal untuk kembali tegak, sementara peningkatan GM membuat kapal lebih "kaku" (*stiff*), yang bisa jadi tidak nyaman namun lebih aman dari segi stabilitas.

Pergeseran berat secara horizontal menyebabkan kapal miring ke sisi pergeseran hingga titik G dan titik B yang baru (B') kembali berada pada satu garis vertikal. Sudut kemiringan (*angle of list*) yang dihasilkan dapat dihitung dan merupakan indikasi langsung dari stabilitas kapal. Kapal dengan GM yang besar akan mengalami kemiringan yang lebih

kecil untuk pergeseran berat horizontal yang sama, dibandingkan dengan kapal dengan GM yang kecil. Fenomena ini sering digunakan sebagai metode praktis di lapangan untuk menaksir nilai GM melalui "percobaan kemiringan" (*inclining experiment*).

Dampak kumulatif dari semua pergeseran berat, pemuatan, pembongkaran, dan pemindahan internal, harus terus-menerus dipantau. Selama operasi kargo, misalnya, mengangkat sebuah kontainer berat dari palka menggunakan derek kapal secara efektif akan menaikkan titik berat beban tersebut ke puncak derek. Ini menyebabkan kenaikan sementara titik G kapal secara keseluruhan, yang secara signifikan mengurangi stabilitas. Momen ini adalah salah satu fase paling kritis yang memerlukan perencanaan matang untuk memastikan stabilitas tetap positif sepanjang proses pengangkatan (Santoso et al., 2025).



Gambar 7. 2. Ilustrasi Pergeseran berat pada kapal

(Sumber: https://blogger.googleusercontent.com)

7.1.3 Definisi Initial Stability (GM) dalam operasional

Tinggi metasentrik, yang lebih dikenal sebagai GM, adalah parameter utama yang digunakan untuk mengukur stabilitas awal (*initial stability*) sebuah kapal. Secara definitif, GM adalah jarak vertikal antara pusat gravitasi kapal (G) dan titik metasentrumnya (M). Nilai GM yang positif (ketika G berada di bawah M) mengindikasikan bahwa kapal memiliki kemampuan awal untuk kembali ke posisi tegak setelah mengalami sedikit kemiringan. Dalam konteks operasional, GM bukanlah sekadar angka teoretis; ia adalah indikator kesehatan stabilitas kapal yang paling vital dan paling sering dirujuk oleh perwira kapal.

Besaran nilai GM memberikan gambaran tentang bagaimana kapal akan "merasa" atau berperilaku di laut. Kapal dengan nilai GM yang besar sering disebut sebagai kapal "kaku" (*stiff ship*). Kapal seperti ini memiliki lengan penegak yang besar pada sudut kemiringan kecil, sehingga ia akan kembali ke posisi tegak dengan sangat cepat dan keras. Periode olengnya (*rolling period*) sangat pendek. Meskipun sangat stabil, gerakan yang cepat dan menyentak ini bisa berbahaya bagi muatan dan tidak nyaman bagi kru. Sebaliknya, kapal dengan nilai GM yang kecil disebut sebagai kapal "lembut" (*tender ship*). Kapal ini akan beroleng secara perlahan dengan periode yang panjang, membuatnya lebih nyaman. Namun, jika GM terlalu kecil, kapal menjadi rentan terhadap kemiringan yang besar akibat angin atau gelombang, dan cadangan stabilitasnya pun menipis.

Nilai GM tidak bersifat konstan. Ia berubah setiap kali ada penambahan, pengurangan, atau pergeseran massa di atas kapal. Selama operasi bongkar muat, nilai GM dapat berfluktuasi secara dramatis. Perwira Mualim Satu (*Chief Officer*), yang bertanggung jawab atas operasi muatan, harus secara konstan menghitung dan memprediksi nilai GM pada setiap tahapan proses pemuatan atau pembongkaran. Nilai

GM minimum yang diizinkan untuk berbagai kondisi pelayaran (misalnya, berangkat dari pelabuhan, tiba di pelabuhan, pelayaran samudra) ditetapkan oleh regulasi internasional dan badan klasifikasi untuk memastikan kapal memiliki cadangan stabilitas yang cukup.

Pengukuran atau penentuan GM dapat dilakukan melalui beberapa metode. Metode paling akurat adalah melalui *inclining experiment* yang dilakukan di galangan. Namun, dalam operasi sehari-hari, GM dihitung berdasarkan data hidrostatik kapal dan distribusi berat yang ada, seringkali dengan bantuan perangkat lunak *loading computer*. Ada pula metode praktis seperti mengamati periode oleng kapal; periode oleng yang lebih pendek umumnya mengindikasikan GM yang lebih besar (Sulistiana et al., 2025). Pemantauan *real-time* terhadap GM menjadi semakin penting, terutama pada kapal-kapal penumpang Ro-Ro yang stabilitasnya dapat sangat bervariasi (Wang et al., 2024).

7.1.4 Stabilitas statis dan dinamis pada kapal bermuatan

Stabilitas kapal tidak hanya dinilai dari kondisi tenangnya, tetapi juga dari kemampuannya menahan gaya-gaya dinamis dari lingkungan maritim. Analisis stabilitas dibagi menjadi dua kategori utama: stabilitas statis dan stabilitas dinamis. Keduanya saling melengkapi dalam memberikan gambaran utuh mengenai keselamatan sebuah kapal bermuatan, terutama saat menghadapi kondisi laut yang berat. Stabilitas statis berkaitan dengan kondisi keseimbangan kapal dalam air tenang, sementara stabilitas dinamis mempertimbangkan energi yang dibutuhkan untuk memiringkan kapal.

Stabilitas statis dievaluasi menggunakan kurva lengan penegak (*righting arm* atau GZ) terhadap sudut kemiringan, yang dikenal sebagai kurva stabilitas statis. Lengan penegak (GZ) adalah jarak horizontal antara gaya berat yang bekerja

melalui G dan gaya apung yang bekerja melalui B' saat kapal miring. Momen penegak (*righting moment*), yang merupakan hasil kali antara GZ dan berat total kapal (Displacement), adalah torsi yang bekerja untuk mengembalikan kapal ke posisi tegak. Kurva stabilitas ini menyediakan informasi vital seperti sudut kemiringan di mana GZ mencapai nilai maksimum, serta rentang stabilitas positif (*range of positive stability*), yaitu rentang sudut di mana kapal masih memiliki kemampuan untuk kembali tegak.

Stabilitas dinamis, di sisi lain, berkaitan dengan kerja atau energi. Ia didefinisikan sebagai jumlah kerja yang harus dilakukan oleh gaya eksternal (seperti angin atau gelombang) untuk memiringkan kapal hingga sudut tertentu. Secara grafis, stabilitas dinamis direpresentasikan oleh area di bawah kurva stabilitas statis hingga sudut kemiringan tersebut. Konsep ini sangat penting untuk memahami bagaimana kapal akan merespons gaya-gaya yang bekerja secara tiba-tiba dan dalam durasi tertentu, seperti hembusan angin kencang atau hantaman gelombang besar. Kapal harus memiliki cadangan stabilitas dinamis yang cukup untuk menyerap energi dari gaya-gaya tersebut tanpa terbalik.

Pada kapal bermuatan, kedua jenis stabilitas ini menjadi fokus utama. Distribusi muatan yang buruk, misalnya terlalu banyak berat di bagian atas, akan menurunkan kurva GZ, mengurangi GZ maksimum, memperkecil rentang stabilitas, dan pada akhirnya mengurangi area di bawah kurva (stabilitas dinamis). Regulasi dari Organisasi Maritim Internasional (IMO) menetapkan kriteria minimum untuk berbagai parameter kurva stabilitas statis dan dinamis yang harus dipenuhi oleh semua kapal komersial untuk memastikan mereka layak laut dalam berbagai kondisi pemuatan (Chuku et al., 2025).

7.1.5 Pentingnya kurva stabilitas dalam perencanaan muatan

Kurva stabilitas (kurva GZ) adalah alat analisis paling fundamental dan komprehensif yang dimiliki seorang perwira kapal untuk mengevaluasi kondisi stabilitas kapalnya. Jauh melampaui sekadar nilai GM yang hanya menggambarkan stabilitas pada sudut kemiringan nol, kurva GZ memberikan gambaran lengkap tentang perilaku kapal di seluruh rentang kemiringan. Dalam perencanaan muatan (*stowage planning*), kurva ini bukan hanya dokumen referensi, melainkan alat kerja utama untuk memprediksi, menganalisis, dan memvalidasi keselamatan sebuah rencana pemuatan sebelum satu kontainer pun diangkat.

Kurva stabilitas secara grafis menyajikan lengan penegak (GZ) pada sumbu vertikal terhadap sudut miring (*angle of heel*) pada sumbu horizontal. Dari kurva ini, seorang perwira dapat mengekstrak informasi-informasi kritis. Pertama adalah nilai GZ maksimum dan sudut di mana ia terjadi, yang menunjukkan daya tahan maksimum kapal terhadap kemiringan. Kedua adalah rentang stabilitas positif, yaitu dari sudut nol hingga sudut di mana kurva kembali memotong sumbu horizontal. Di luar sudut ini, lengan penegak menjadi negatif, dan kapal akan terbalik. Ketiga adalah sudut kemiringan statis (*angle of loll*) jika kapal memiliki GM negatif. Informasi ini sangat penting untuk memahami risiko pada setiap tahap operasi.

Selama perencanaan muatan, *Chief Officer* akan menggunakan perangkat lunak (*loading computer*) yang dapat menghasilkan kurva stabilitas secara instan untuk kondisi pemuatan yang direncanakan. Perangkat lunak ini membandingkan kurva yang dihasilkan dengan kriteria stabilitas minimum yang disyaratkan oleh IMO, seperti kriteria area di bawah kurva hingga sudut 30 dan 40 derajat, serta nilai GZ minimum pada sudut 30 derajat. Jika rencana

pemuatan menghasilkan kurva yang tidak memenuhi salah satu kriteria ini, rencana tersebut harus direvisi, misalnya dengan merelokasi muatan berat ke posisi yang lebih rendah atau melakukan operasi balasting.

Pentingnya kurva ini juga terlihat saat mempertimbangkan skenario terburuk. Misalnya, bagaimana stabilitas kapal jika terjadi pergeseran muatan biji-bijian (*grain shifting*)? Atau bagaimana jika sejumlah besar air masuk ke geladak (*water on deck*)? Dengan mensimulasikan skenario ini, kurva stabilitas dapat menunjukkan apakah kapal masih memiliki cadangan stabilitas yang cukup untuk bertahan. Dengan demikian, kurva GZ memungkinkan analisis "bagaimana-jika" yang proaktif, mengubah manajemen stabilitas dari sekadar kepatuhan menjadi praktik manajemen risiko yang sesungguhnya (Santoso et al., 2025).

Analogi/Contoh Kasus: Bayangkan seorang pemain akrobat yang berjalan di atas tali sambil membawa sebuah tiang panjang. Posisi titik berat (G) gabungan dari pemain dan tiang sangat menentukan keseimbangannya. Jika ia memegang tiang di bagian tengah sehingga sebagian besar massa tiang berada di bawah tali (menurunkan titik G), ia akan sangat stabil. Gerakannya akan kaku, mirip dengan kapal *stiff* dengan GM besar. Sebaliknya, jika ia mengangkat tiang tinggi di atas kepalanya (menaikkan titik G), sistem menjadi sangat tidak stabil. Sedikit saja kemiringan akan sulit dikoreksi, mirip kapal *tender* dengan GM kecil atau bahkan negatif. Tiang itu sendiri berfungsi seperti metasentrum (M); selama G berada jauh di bawah M (imajiner), ada "lengan penegak" yang kuat. Proses bongkar muat kapal adalah seperti pemain akrobat yang terus-menerus diberi atau diambil barang oleh asistennya, memaksanya untuk terus menyesuaikan posisi tubuh dan tiangnya untuk menjaga G tetap pada posisi yang aman relatif terhadap M.

7.2 Efek Permukaan Bebas (*Free Surface Effect*)

Pernahkah Anda membawa nampan berisi air dengan cangkir yang terisi penuh? Gerakannya harus sangat hati-hati. Sekarang, bayangkan jika air itu berada di dalam sebuah wadah besar yang dangkal di atas nampan tersebut. Sedikit saja kemiringan akan membuat air di dalam wadah bergerak ke sisi yang miring, memperburuk kemiringan nampan dan membuatnya jauh lebih sulit untuk diseimbangkan. Fenomena inilah yang dikenal sebagai efek permukaan bebas atau *free surface effect*, sebuah ancaman tersembunyi namun sangat signifikan bagi stabilitas kapal. Di dalam kapal, tangki-tangki bahan bakar, air balas, atau bahkan air pemadam kebakaran yang tidak terisi penuh (*slack tank*) dapat bertindak seperti wadah air di atas nampan, secara virtual mengurangi stabilitas kapal.

7.2.1 Penyebab munculnya efek permukaan bebas pada tangki

Efek permukaan bebas muncul dari prinsip fisika sederhana: cairan dalam sebuah wadah akan selalu berusaha mempertahankan permukaan horizontalnya sejajar dengan permukaan bumi. Ketika sebuah kapal yang memiliki tangki tidak terisi penuh (*slack tank*) miring, cairan di dalam tangki tersebut akan bergerak ke sisi yang lebih rendah. Pergerakan massa cairan ini menyebabkan pergeseran titik berat cairan di dalam tangki tersebut. Akibatnya, titik berat keseluruhan kapal (G) juga ikut bergeser ke arah kemiringan.

Pergeseran titik G ini bekerja searah dengan kemiringan, yang berarti ia melawan momen penegak kapal. Gaya berat yang seharusnya bekerja vertikal ke bawah dari G kini bergeser sedikit ke samping, menciptakan sebuah momen kemiringan tambahan (*upsetting moment*). Dari sudut pandang stabilitas, efek dari pergeseran G ini setara dengan menaikkan titik berat kapal secara virtual ke posisi baru, yang disebut Gv. Kenaikan virtual dari G ke Gv inilah yang disebut

sebagai *Free Surface Correction* (FSC). Kenaikan ini secara langsung mengurangi tinggi metasentrik (GM) efektif kapal, menjadikannya GvM, yang nilainya lebih kecil dari GM awal.

Besarnya efek permukaan bebas bergantung pada beberapa faktor. Faktor utama adalah dimensi tangki, terutama lebarnya. Semakin lebar tangki, semakin jauh cairan dapat bergeser, dan semakin besar pula momen yang ditimbulkan. Inilah sebabnya mengapa tangki-tangki besar pada kapal seringkali dibagi menjadi kompartemen-kompartemen yang lebih kecil menggunakan sekat longitudinal (*longitudinal bulkheads*) untuk membatasi pergerakan cairan. Faktor kedua adalah densitas cairan di dalam tangki; cairan yang lebih padat akan menghasilkan efek yang lebih besar. Faktor ketiga adalah volume total kapal (*displacement*); pada kapal dengan *displacement* besar, efek dari satu tangki *slack* mungkin tidak terlalu signifikan, tetapi efek kumulatif dari banyak tangki *slack* bisa menjadi sangat berbahaya (Fuge dan Rizvi, 2021).

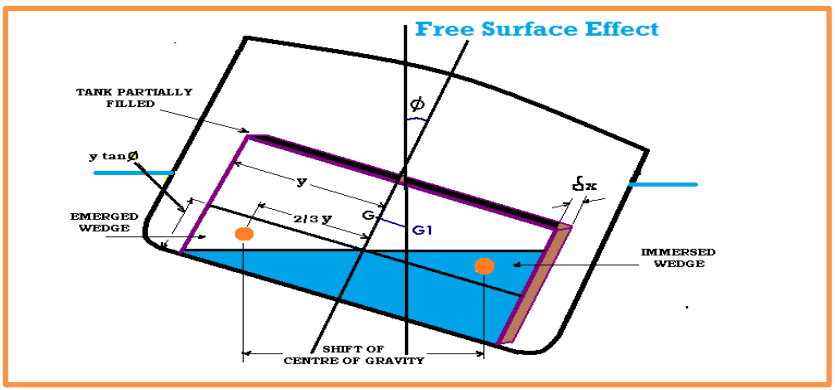
7.2.2 Dampak *Free Surface Effect* terhadap nilai GM

Dampak paling langsung dan terukur dari efek permukaan bebas adalah pengurangan tinggi metasentrik (GM) kapal. Seperti yang telah dijelaskan, pergerakan cairan dalam tangki yang tidak terisi penuh menyebabkan kenaikan virtual pada pusat gravitasi (G) kapal. Pengurangan stabilitas ini bukanlah ilusi; ia adalah fenomena nyata yang dapat dihitung dan harus diperhitungkan dalam semua kalkulasi stabilitas. Nilai GM yang telah dikoreksi karena efek permukaan bebas disebut sebagai GM fluida atau GM efektif (GM *fluid*).

Besarnya momen inersia permukaan bebas (*free surface moment of inertia*) adalah kunci untuk menghitung koreksi ini. Momen ini, dilambangkan dengan 'i', dihitung berdasarkan dimensi permukaan cairan di dalam tangki

(panjang dan lebar). Rumus untuk koreksi permukaan bebas (FSC atau kenaikan virtual G) adalah: FSC = (i x ρi) / (V x ρs), di mana 'i' adalah momen inersia area permukaan cairan, 'ρi' adalah densitas cairan di tangki, 'V' adalah volume perpindahan kapal, dan 'ρs' adalah densitas air laut. Sederhananya, momen permukaan bebas (*Free Surface Moment* atau FSM), yang biasanya disediakan dalam tabel data kapal, dibagi dengan total berat kapal (*Displacement*) untuk mendapatkan nilai FSC.

Nilai GM efektif kemudian dihitung dengan mengurangkan FSC dari GM awal (GM *solid*): GM *fluid* = GM *solid* - FSC. Pengurangan ini dapat sangat signifikan. Sebagai contoh, sebuah kapal feri bisa memiliki beberapa tangki balas yang besar. Jika semua tangki ini dalam kondisi *slack* secara bersamaan, total FSC bisa mencapai nilai yang cukup besar untuk membuat GM efektif menjadi sangat kecil atau bahkan negatif, menempatkan kapal dalam kondisi sangat berbahaya. Sejumlah insiden maritim, termasuk tragedi kapal feri, telah dikaitkan dengan manajemen tangki yang buruk yang menyebabkan hilangnya stabilitas akibat efek permukaan bebas yang tidak terkendali.



Gambar 7. 3. *Free Surface Effect*

(Sumber: https://marinersgalaxy.com)

Oleh karena itu, setiap kalkulasi stabilitas yang dilakukan oleh perwira kapal harus selalu menyertakan koreksi untuk semua tangki yang tidak terisi penuh. *Loading computer* modern secara otomatis menghitung FSM untuk setiap tangki berdasarkan level isinya dan mengakumulasikannya untuk memberikan nilai GM efektif yang akurat. Mengabaikan atau salah menghitung dampak efek permukaan bebas adalah kelalaian profesional yang serius dengan konsekuensi yang bisa sangat fatal (Chrismianto et al., 2025).

7.2.3 Cara meminimalisir dampak permukaan bebas saat bongkar muat

Mengingat dampak berbahayanya terhadap stabilitas, meminimalisir efek permukaan bebas adalah prioritas utama selama operasi kapal, terutama saat bongkar muat di mana stabilitas sudah dalam keadaan fluktuatif. Terdapat beberapa strategi praktis dan desain yang digunakan untuk mengendalikan fenomena ini. Perwira kapal harus memahami dan menerapkan strategi ini secara disiplin untuk memastikan keselamatan operasional.

Strategi yang paling mendasar adalah mengurangi jumlah tangki yang berada dalam kondisi *slack* (tidak penuh dan tidak kosong) pada satu waktu. Praktik terbaik adalah menjaga tangki-tangki dalam kondisi penuh (*pressed up*) atau kosong. Saat melakukan operasi transfer cairan, seperti balasting atau transfer bahan bakar, operasi harus dilakukan satu tangki pada satu waktu jika memungkinkan. Jika beberapa tangki harus dioperasikan secara bersamaan, urutannya harus direncanakan sedemikian rupa untuk meminimalkan total momen permukaan bebas (*Free Surface Moment*) pada setiap saat. Sebagai contoh, daripada mengosongkan dua tangki secara bersamaan dari penuh

hingga kosong, lebih baik mengisi satu tangki hingga penuh terlebih dahulu sebelum mulai mengosongkan tangki lainnya.

Dari sisi desain, tangki-tangki, terutama yang lebar seperti tangki balas sayap (*wing ballast tanks*), seringkali dilengkapi dengan sekat longitudinal (*longitudinal bulkheads*). Sekat ini membagi satu tangki besar menjadi dua atau lebih tangki yang lebih kecil. Karena momen inersia permukaan cairan sebanding dengan pangkat tiga dari lebarnya ($i \propto L \times B^3$), membagi lebar tangki menjadi dua akan mengurangi momen inersia (dan FSM) secara drastis, kira-kira menjadi seperdelapan dari nilai semula untuk tangki tunggal. Beberapa desain tangki juga menggunakan *baffles* atau penghalang internal untuk meredam pergerakan cairan (*sloshing*), meskipun ini lebih bertujuan untuk mengurangi beban struktur daripada mengurangi efek stabilitas statis (Abdullah et al., 2025).

Selain itu, tangki-tangki yang dirancang untuk diisi sebagian, seperti tangki anti-oleng pasif (*passive anti-rolling tanks*), didesain secara khusus agar efek permukaan bebasnya justru membantu meredam gerakan oleng kapal, bukan membahayakannya. Namun, untuk tangki kargo, bahan bakar, dan balas pada umumnya, prinsip utama tetap sama: minimalkan permukaan bebas. Perencanaan yang cermat sebelum, selama, dan setelah operasi bongkar muat adalah kunci untuk mengelola risiko ini secara efektif (Fuge dan Rizvi, 2021).

7.2.4 Hubungan *Free Surface Moment* dengan stabilitas kapal

Momen Permukaan Bebas (*Free Surface Moment* atau FSM) adalah representasi kuantitatif dari potensi bahaya yang ditimbulkan oleh tangki yang tidak terisi penuh. FSM bukanlah momen dalam artian torsi yang memutar kapal, melainkan sebuah nilai kalkulasi yang merepresentasikan

efek destabilisasi dari pergerakan cairan. Nilai ini, yang biasanya diberikan dalam satuan ton-meter, secara langsung digunakan untuk menghitung koreksi (pengurangan) terhadap tinggi metasentrik (GM) kapal.

Hubungan antara FSM dan stabilitas sangat langsung: semakin besar total FSM dari semua tangki *slack*, semakin besar pula pengurangan stabilitas yang dialami kapal. Total FSM dihitung dengan menjumlahkan FSM dari setiap tangki individual yang berada dalam kondisi *slack*. Buku data stabilitas kapal (*stability information book*) menyediakan tabel atau kurva FSM untuk setiap tangki, yang menunjukkan nilai FSM pada berbagai level isian. Biasanya, FSM mencapai nilai maksimum ketika tangki terisi sekitar separuh dan menjadi nol ketika tangki kosong atau penuh.

Perwira kapal menggunakan total FSM ini dalam perhitungan stabilitasnya. Pengurangan tinggi metasentrik (FSC) dihitung dengan membagi total FSM dengan berat total kapal atau *displacement* (W): FSC = Total FSM / W. Hasilnya kemudian dikurangkan dari GM *solid* untuk mendapatkan GM *fluid* atau GM efektif. Hubungan matematis ini menunjukkan bahwa untuk FSM yang sama, kapal yang lebih ringan (dengan *displacement* lebih kecil) akan mengalami pengurangan GM yang lebih besar daripada kapal yang lebih berat. Inilah sebabnya mengapa efek permukaan bebas menjadi sangat kritis pada akhir pelayaran ketika sebagian besar bahan bakar dan perbekalan telah habis dikonsumsi, atau selama tahap akhir pembongkaran muatan.

Pemahaman yang jelas tentang hubungan ini memungkinkan perwira untuk membuat keputusan operasional yang cerdas. Misalnya, jika kalkulasi menunjukkan bahwa GM efektif mendekati batas minimum yang diizinkan, ia dapat mengambil tindakan korektif. Tindakan tersebut bisa berupa mengisi penuh (*pressing up*) beberapa tangki *slack* untuk menghilangkan FSM-nya, atau

memuat kargo di posisi yang sangat rendah untuk meningkatkan GM *solid* awal, sehingga memberikan margin yang lebih besar untuk dikurangi oleh FSM. Manajemen FSM adalah bagian integral dari manajemen stabilitas secara keseluruhan.

7.2.5 Pengaturan tangki saat proses operasi kargo berlangsung

Manajemen tangki yang aktif dan terencana adalah komponen krusial dalam menjaga stabilitas selama operasi bongkar muat kargo yang dinamis. Proses ini tidak bisa diserahkan pada kebetulan; ia harus menjadi bagian dari rencana pemuatan (*loading plan*) yang terperinci. Pengaturan tangki, terutama tangki-tangki balas (*ballast tanks*), bertujuan untuk mengompensasi perubahan berat dan momen yang disebabkan oleh pergerakan kargo, serta untuk mengendalikan efek permukaan bebas.

Sebelum operasi kargo dimulai, *Chief Officer* harus merencanakan urutan operasi balasting atau de-balasting. Rencana ini harus selaras dengan rencana pemuatan kargo. Sebagai contoh, saat membongkar kargo berat dari palka, kapal akan menjadi lebih ringan dan titik G-nya bisa naik. Untuk mengompensasi hal ini dan menjaga stabilitas serta *draft* yang diinginkan, air balas mungkin perlu diisikan ke tangki-tangki dasar ganda (*double bottom tanks*). Pengisian ini harus dilakukan secara terkendali untuk meminimalkan FSM. Urutan pengisian, misalnya, mengisi tangki tengah terlebih dahulu, baru kemudian tangki sayap, juga penting untuk mengendalikan kemiringan (*list*) dan tegangan pada struktur kapal.

Selama operasi berlangsung, jumlah tangki *slack* harus dijaga seminimal mungkin. Jika memungkinkan, hindari memiliki banyak tangki balas sayap kiri dan kanan dalam kondisi *slack* secara bersamaan, karena ini akan

memaksimalkan FSM. Gunakan strategi "satu per satu" atau "berurutan" dalam mengisi atau mengosongkan tangki. Koordinasi yang erat dengan tim ruang mesin sangat penting untuk memastikan operasi pompa balas berjalan sesuai dengan rencana dan jadwal yang telah ditetapkan. *Loading computer* memainkan peran vital dalam tahap ini, memungkinkan perwira untuk mensimulasikan urutan balasting dan melihat dampaknya terhadap GM, *draft*, *trim*, dan tegangan struktur secara *real-time* sebelum dieksekusi.

Pengaturan tangki juga krusial untuk mengelola tegangan pada badan kapal (*hull stresses*), seperti *bending moments* dan *shear forces*. Pemuatan kargo berat di tengah kapal tanpa kompensasi balas yang memadai di ujung-ujung kapal dapat menyebabkan kondisi *hogging* (badan kapal melengkung ke atas di tengah). Sebaliknya, pemuatan berat di ujung-ujung dapat menyebabkan *sagging* (badan kapal melengkung ke bawah di tengah). Operasi balasting yang tepat dapat digunakan untuk mendistribusikan kembali berat dan menjaga tegangan-tegangan ini dalam batas aman yang diizinkan (Guo et al., 2021; Elidolu et al., 2023).

Analogi/Contoh Kasus: Sebuah bus tingkat sedang menurunkan penumpang. Jika semua penumpang di dek atas turun terlebih dahulu, pusat gravitasi bus akan turun secara signifikan, membuatnya sangat stabil. Namun, bayangkan jika saat penumpang dek atas turun, di saat yang bersamaan ada vendor yang memuat barang-barang berat (misalnya, tumpukan koran) ke rak bagasi di atap bus. Situasi menjadi lebih kompleks. Sekarang, tambahkan skenario efek permukaan bebas: di atap bus terdapat sebuah kolam ikan portabel yang besar dan hanya terisi setengah. Setiap kali bus sedikit miring, air di kolam akan bergerak ke sisi miring, mendorong bus untuk miring lebih jauh. Perwira kapal adalah sopir bus tingkat ini, yang tidak hanya harus mengatur alur penumpang (kargo) yang naik dan turun, tetapi juga harus

secara aktif mengelola "kolam ikan" (tangki *slack*) dengan cara mengisinya atau mengosongkannya pada waktu yang tepat untuk memastikan bus tidak pernah kehilangan keseimbangan selama proses tersebut.

7.3 Stabilitas Selama Operasi Muat dan Bongkar

Operasi muat dan bongkar di pelabuhan mengubah kapal dari entitas statis menjadi sistem dinamis yang kompleks, di mana setiap variabel stabilitas terus berubah. Ini adalah fase di mana kapal paling rentan terhadap kehilangan stabilitas jika tidak dikelola dengan perhitungan yang cermat dan pengawasan yang ketat. Berbeda dengan pelayaran di laut lepas di mana kondisi pemuatan relatif konstan, di pelabuhan, setiap pengangkatan kargo oleh derek adalah sebuah "eksperimen" stabilitas dalam skala nyata. Kegagalan dalam mengantisipasi perubahan ini dapat dengan cepat menyebabkan kemiringan yang tidak terkendali, tegangan berlebih pada struktur, dan dalam kasus ekstrem, bencana.

7.3.1 Perubahan stabilitas selama proses bongkar muat kargo

Stabilitas kapal selama proses bongkar muat kargo mengalami fluktuasi yang konstan dan signifikan. Setiap kali sebuah unit kargo (misalnya, kontainer, *general cargo*, atau muatan curah) ditambahkan atau dihilangkan, setidaknya tiga parameter kunci berubah: berat total kapal (*displacement*), posisi vertikal pusat gravitasi (KG), dan posisi longitudinal pusat gravitasi (LCG). Perubahan-perubahan ini secara langsung berdampak pada tinggi metasentrik (GM), *draft*, dan *trim* kapal.

Saat pemuatan dimulai, *displacement* kapal bertambah, yang biasanya meningkatkan tinggi metasentrum dari lunas (KM). Namun, pada saat yang sama, penambahan berat di atas

lunas akan menaikkan posisi pusat gravitasi (KG). Efek netto terhadap GM (yang merupakan selisih antara KM dan KG) bergantung pada posisi vertikal di mana kargo ditempatkan. Pemuatan kargo berat di lokasi yang tinggi, seperti di dek atas, dapat menaikkan KG lebih cepat daripada kenaikan KM, yang mengakibatkan penurunan nilai GM. Sebaliknya, pemuatan di dasar palka akan menurunkan KG, sehingga meningkatkan GM.

Proses pembongkaran memiliki efek sebaliknya. Pengurangan *displacement* menurunkan KM, sementara pembongkaran kargo akan mengubah KG. Membongkar kargo dari dek atas akan menurunkan KG (baik untuk stabilitas), tetapi membongkar dari palka bawah akan menaikkan KG (buruk untuk stabilitas). Momen paling kritis sering terjadi saat membongkar muatan berat dari dasar kapal tanpa kompensasi balasting, yang dapat menyebabkan kenaikan KG yang signifikan sementara KM menurun, "menjepit" nilai GM dari dua arah dan berpotensi membuatnya menjadi negatif.

Selain perubahan bertahap ini, ada efek sesaat yang sangat penting. Ketika derek mengangkat kargo berat dari dermaga, berat tersebut secara efektif ditambahkan ke kapal pada titik tertinggi derek (*head of the crane*), menyebabkan kenaikan G sesaat yang signifikan dan pengurangan GM. Begitu kargo ditempatkan di palka, titik G kargo "turun" ke posisi akhirnya. Perwira Mualim Satu harus memastikan bahwa bahkan selama momen pengangkatan yang paling kritis ini, kapal tetap memiliki GM positif yang memadai (Santoso et al., 2025; Uppal dan Pk, 2022).

7.3.2 Risiko stabilitas negatif saat memindahkan muatan berat

Stabilitas negatif (GM negatif) adalah kondisi yang sangat berbahaya di mana pusat gravitasi (G) berada di atas metasentrum (M). Dalam kondisi ini, kapal tidak memiliki

momen penegak awal. Sebaliknya, sedikit saja kemiringan akan menciptakan momen pengguling (*capsizing moment*) yang akan memperbesar kemiringan tersebut. Kapal akan miring ke satu sisi hingga mencapai sudut tertentu (dikenal sebagai *angle of loll*), di mana ia akan "terjebak" dalam keseimbangan yang tidak stabil, dengan daya apung yang sangat berkurang untuk menahan gaya eksternal lebih lanjut.

Risiko mencapai GM negatif sangat tinggi selama operasi bongkar muat yang melibatkan muatan-muatan berat (*heavy-lifts*), seperti generator, lokomotif, atau komponen industri besar. Momen paling berbahaya adalah saat pengangkatan (*lifting*). Ketika sebuah muatan berat diangkat dari posisinya di dalam palka oleh derek kapal, titik berat efektif dari muatan tersebut langsung berpindah ke puncak derek. Kenaikan virtual pusat gravitasi kapal (G) bisa sangat besar, menyebabkan GM turun secara drastis, berpotensi melewati nol dan menjadi negatif.

Jika GM menjadi negatif selama pengangkatan, kapal akan langsung miring dengan cepat ke satu sisi. Ayunan muatan yang tergantung pada derek akan memperburuk situasi, menciptakan gaya dinamis yang sulit dikendalikan. Skenario ini dapat dengan cepat meningkat menjadi kecelakaan katastrofik, di mana kapal terus miring hingga air masuk ke geladak dan akhirnya terbalik. Oleh karena itu, sebelum melakukan operasi *heavy-lift*, perhitungan stabilitas yang sangat teliti adalah wajib. Perhitungan harus memverifikasi bahwa GM akan tetap positif pada setiap tahap operasi: sebelum mengangkat, saat muatan tergantung di puncak derek, dan setelah muatan ditempatkan di lokasi barunya.

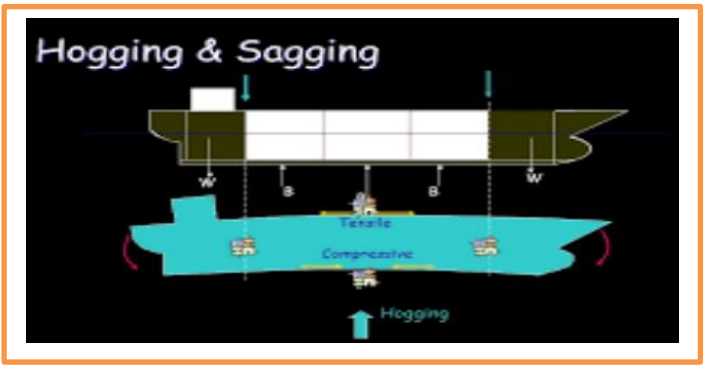
Manajemen risiko dalam kasus ini melibatkan beberapa strategi. Pertama, memaksimalkan GM awal sebelum pengangkatan dengan cara mengisi tangki-tangki balas di dasar ganda (*double bottom tanks*). Kedua, memastikan semua tangki lain dalam kondisi penuh atau kosong untuk menghilangkan efek permukaan bebas. Ketiga, melakukan operasi pada kondisi cuaca yang tenang untuk menghindari gaya eksternal tambahan. Perencanaan yang matang dan kepatuhan yang ketat terhadap prosedur adalah satu-satunya cara untuk memitigasi risiko stabilitas negatif selama operasi kritis ini.

7.3.3 Urutan pemuatan untuk menjaga integritas struktural

Selain stabilitas, integritas struktural badan kapal adalah pertimbangan keselamatan utama lainnya selama operasi bongkar muat. Distribusi berat yang tidak merata di sepanjang kapal dapat menimbulkan tegangan (*stresses*) yang berlebihan pada struktur, berpotensi menyebabkan kerusakan permanen atau bahkan kegagalan katastroflik pada badan kapal (*hull girder failure*). Urutan pemuatan dan pembongkaran (*loading/discharging sequence*) harus dirancang tidak hanya untuk menjaga GM positif, tetapi juga untuk memastikan tegangan-tegangan ini tetap dalam batas aman yang diizinkan.

Dua jenis tegangan utama yang dipantau adalah momen lentur (*bending moments*) dan gaya geser (*shear forces*). *Bending moment* terjadi akibat distribusi berat dan daya apung yang tidak seragam di sepanjang kapal. Jika beban terkonsentrasi di tengah kapal sementara ujung-ujungnya relatif ringan, kapal cenderung melengkung ke atas di bagian tengah, sebuah kondisi yang disebut *hogging*. Sebaliknya, jika beban terkonsentrasi di ujung haluan dan buritan sementara bagian tengah ringan, kapal akan melengkung ke bawah,

disebut *sagging*. Gaya geser maksimum biasanya terjadi di sekitar seperempat panjang kapal dari haluan dan buritan.



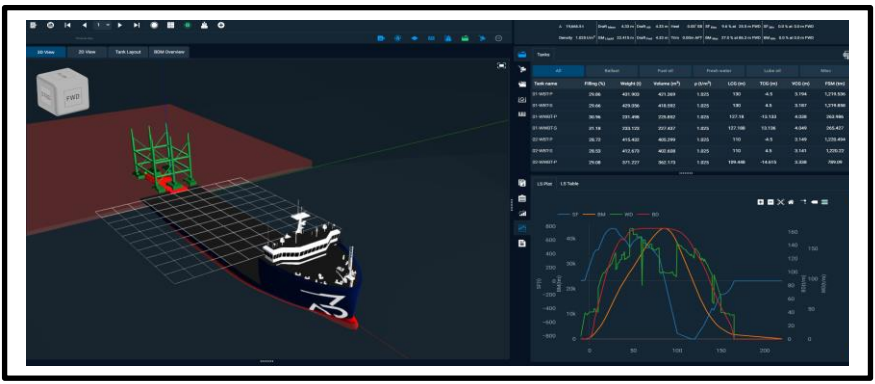
Gambar 7. 4. Kondisi kapal *hogging* dan *Sagging*

(Sumber:https://blogger.googleusercontent.com)

Urutan pemuatan harus direncanakan untuk menghindari konsentrasi berat yang ekstrem di satu area. Misalnya, pada kapal kontainer, pemuatan tidak dilakukan dari satu ujung ke ujung lainnya, melainkan seringkali dimulai dari tengah dan bergerak keluar secara simetris, atau memuat beberapa bagian secara bersamaan untuk mendistribusikan penambahan berat secara lebih merata. Pada kapal tanker atau curah, pemuatan atau pembongkaran beberapa tangki atau palka secara bersamaan harus dianalisis dengan cermat dampaknya terhadap *bending moment*.

Loading computer modern adalah alat yang sangat diperlukan untuk mengelola ini. Perangkat lunak ini memiliki model struktural kapal dan akan menghitung nilai *bending moment* dan *shear force* secara *real-time* di berbagai titik di sepanjang kapal untuk setiap langkah dalam urutan pemuatan. Hasilnya ditampilkan secara grafis, membandingkan nilai aktual dengan batas maksimum yang diizinkan oleh badan klasifikasi. Jika ada langkah dalam rencana yang menyebabkan tegangan melebihi batas, rencana

tersebut harus diubah. Integrasi antara analisis stabilitas dan analisis kekuatan struktural sangat penting untuk operasi yang aman (Boylston dan Stambaugh, 2025; Liu dan Ren, 2023).



Gambar 7. 5. Tampilan *Loading computer* pada Kapal RORO

(Sumber: https://www.hoppe-marine.com)

7.3.4 Teknik menjaga stabilitas saat melakukan *ballasting*

Operasi balasting (mengisi) dan de-balasting (mengosongkan) air balas adalah alat utama yang digunakan perwira kapal untuk mengelola stabilitas, *trim*, *list*, dan tegangan struktural selama bongkar muat. Namun, operasi balasting itu sendiri, jika tidak dilakukan dengan benar, dapat menimbulkan risikonya sendiri, terutama terkait dengan efek permukaan bebas dan tegangan transien. Oleh karena itu, teknik balasting yang cermat dan terencana sangatlah penting.

Tujuan utama balasting selama bongkar muat adalah untuk mengompensasi perubahan berat kargo. Saat membongkar muatan, berat kapal berkurang; balasting diperlukan untuk menjaga baling-baling tetap terendam, menghindari *slamming* di haluan, dan yang terpenting, untuk

menurunkan pusat gravitasi (G) guna menjaga GM yang memadai. Sebaliknya, saat memuat kargo, de-balasting mungkin diperlukan untuk mencegah *draft* kapal melebihi batas maksimum yang diizinkan di dermaga. Perencanaan balas (*ballast plan*) harus menjadi bagian integral dari rencana muatan.

Teknik kunci dalam balasting adalah meminimalkan efek permukaan bebas. Seperti yang dibahas sebelumnya, ini dicapai dengan mengurangi jumlah tangki *slack* pada satu waktu. Jika memungkinkan, tangki harus diisi penuh (*pressed up*) atau dikosongkan sepenuhnya. Saat transfer diperlukan, lakukan secara berurutan. Misalnya, jika air perlu dipindahkan dari tangki sayap kanan ke kiri untuk mengoreksi kemiringan (*list*), daripada memompa keluar dan masuk secara bersamaan (menciptakan dua tangki *slack*), lebih baik menggunakan sistem gravitasi jika memungkinkan atau memompa dalam urutan yang cepat.

Pertimbangan struktural juga penting. Mengosongkan tangki dasar ganda di bawah palka yang terisi penuh dapat menciptakan tekanan lokal yang ekstrem pada struktur dasar. Sebaliknya, mengisi tangki sayap atas hingga penuh sementara palka di bawahnya kosong juga dapat menimbulkan tegangan. *Loading computer* digunakan untuk mensimulasikan urutan balasting dan dampaknya. Koordinasi dengan ruang mesin sangat vital untuk memastikan laju pompa sesuai dengan yang direncanakan, karena laju balasting harus selaras dengan laju operasi kargo untuk menjaga keseimbangan yang berkelanjutan (Nită, 2021; Ababil et al., 2026).

7.3.5 Monitoring stabilitas secara *real-time* di anjungan

Di masa lalu, perhitungan stabilitas dilakukan secara manual menggunakan kalkulator, tabel, dan kurva, sebuah proses yang memakan waktu dan rentan terhadap kesalahan. Era modern telah membawa kemajuan signifikan dalam bentuk sistem pemantauan stabilitas secara *real-time*. Sistem-sistem ini, yang seringkali terintegrasi dengan *loading computer* dan sensor-sensor kapal, memberikan gambaran dinamis dan berkelanjutan tentang kondisi stabilitas kapal kepada perwira di anjungan atau ruang kontrol kargo.

Sistem pemantauan *real-time* bekerja dengan mengumpulkan data dari berbagai sumber. Sensor-sensor mengukur *draft* kapal di beberapa titik, yang digunakan untuk menentukan *displacement* dan *trim* aktual. Level sensor di semua tangki memberikan informasi akurat tentang volume cairan dan FSM. Informasi tentang muatan yang sedang dimuat atau dibongkar dimasukkan ke dalam sistem, baik secara manual maupun otomatis melalui integrasi dengan sistem manajemen terminal. Berdasarkan semua data ini, perangkat lunak terus-menerus menghitung ulang parameter-parameter stabilitas kunci: KG, GM, GZ curve, *bending moments*, dan *shear forces*.

Tampilan informasi ini biasanya bersifat grafis dan intuitif, menunjukkan status kapal saat ini dan membandingkannya dengan batas-batas aman. Sistem akan memberikan peringatan visual dan suara jika ada parameter yang mendekati atau melampaui batas yang diizinkan. Hal ini memungkinkan perwira untuk mengambil tindakan korektif secara proaktif, daripada bereaksi setelah kondisi berbahaya terjadi. Beberapa sistem canggih bahkan dapat memprediksi kondisi stabilitas beberapa langkah ke depan berdasarkan rencana muatan yang telah dimasukkan.

Penerapan teknologi jaringan saraf (*neural network*) dan model digital kembar (*digital twin*) menjanjikan pemantauan yang lebih akurat dan prediktif di masa depan. Model-model ini dapat belajar dari data operasional historis untuk memberikan prediksi stabilitas yang lebih andal, bahkan dalam kondisi yang tidak terduga (Wang et al., 2024; Liu dan Ren, 2023). Meskipun teknologi ini sangat membantu, ia tidak menggantikan kebutuhan akan pemahaman fundamental dan penilaian profesional dari perwira kapal. Teknologi adalah alat, tetapi tanggung jawab akhir tetap berada di tangan manusia.

Analogi/Contoh Kasus: Sebuah tim sedang membangun menara dari balok-balok kayu di atas sebuah platform yang mengapung di kolam. Tim ini dibagi menjadi dua: tim konstruksi (operator derek) dan tim penyeimbang (tim balas). Saat tim konstruksi menambahkan balok berat di puncak menara (memuat kontainer di dek atas), pusat gravitasi sistem naik dan platform mulai goyah. Tim penyeimbang harus segera merespons dengan menempatkan karung-karung pasir (air balas) di dasar platform untuk menurunkan kembali pusat gravitasi dan menstabilkannya. Proses ini harus terus-menerus dikoordinasikan. Jika tim konstruksi bekerja terlalu cepat tanpa menunggu tim penyeimbang, atau jika tim penyeimbang salah menempatkan karung pasir, menara bisa runtuh. *Loading computer* adalah arsitek yang memberikan cetak biru urutan konstruksi dan penempatan karung pasir untuk memastikan menara tidak hanya tinggi tetapi juga tetap kokoh selama proses pembangunan.

7.4 Penggunaan Alat Bantu Stabilitas (*Loading Instrument*)

Dalam kompleksitas operasi kapal modern, mengandalkan perhitungan manual untuk stabilitas dan kekuatan struktural tidak lagi memadai dan terlalu berisiko. Untuk mengatasi tantangan ini, kapal-kapal komersial saat ini diwajibkan untuk dilengkapi dengan alat bantu stabilitas, yang lebih dikenal sebagai *loading instrument* atau *loading computer*. Perangkat ini bukan sekadar kalkulator canggih; ia adalah sistem pendukung keputusan yang vital, yang memungkinkan perwira kapal untuk merencanakan, mensimulasikan, dan memantau operasi muatan dengan tingkat akurasi dan keamanan yang tinggi. Penggunaannya yang benar adalah fundamental untuk mencegah kesalahan manusia yang dapat berakibat fatal.

7.4.1 Fungsi dan cara kerja *Loading Computer* di atas kapal

Loading computer adalah sistem perangkat lunak yang dipasang pada komputer khusus di atas kapal, biasanya di ruang kontrol kargo atau anjungan. Fungsi utamanya adalah untuk membuat model matematis dari kapal dan menghitung semua parameter stabilitas dan kekuatan struktural berdasarkan data input mengenai distribusi berat. Perangkat lunak ini berisi basis data yang sangat detail tentang karakteristik hidrostatik dan struktural kapal tersebut, yang telah disetujui oleh badan klasifikasi.

Cara kerjanya dimulai dengan input data. Perwira kapal memasukkan kondisi pemuatan kapal, yang mencakup jumlah dan lokasi semua item berat: kargo di setiap palka atau slot kontainer, level isian di setiap tangki (bahan bakar, air balas, air tawar, dll.), serta berat perbekalan dan awak kapal. Berdasarkan input ini, program akan menghitung posisi pusat

gravitasi (KG), berat total (*displacement*), dan kemudian menentukan tinggi metasentrik (GM) dengan membandingkan KG dengan nilai KM yang sesuai dari data hidrostatik.

Selain stabilitas awal (GM), *loading computer* juga akan menghasilkan kurva stabilitas penuh (kurva GZ) dan membandingkannya dengan kriteria stabilitas minimum yang disyaratkan oleh IMO (misalnya, SOLAS, MARPOL, Intact Stability Code). Secara simultan, program ini juga menghitung distribusi gaya geser (*shear forces*) dan momen lentur (*bending moments*) di sepanjang badan kapal. Hasil perhitungan ini ditampilkan secara numerik dan grafis, seringkali dengan indikator berwarna (misalnya, hijau untuk aman, kuning untuk peringatan, merah untuk bahaya) yang memudahkan interpretasi. Ini memungkinkan pengguna untuk dengan cepat menilai apakah kondisi pemuatan saat ini atau yang direncanakan aman dan sesuai dengan regulasi.

7.4.2 Verifikasi data muatan ke dalam *Loading Computer*

Prinsip dasar dari setiap sistem komputer adalah "sampah masuk, sampah keluar" (*garbage in, garbage out*). Seakurat dan secanggih apa pun perangkat lunak *loading computer*, hasilnya hanya akan dapat diandalkan jika data yang dimasukkan benar. Oleh karena itu, verifikasi data muatan yang teliti sebelum dan selama proses input adalah langkah yang sangat krusial dan menjadi tanggung jawab penuh perwira yang bertugas.

Untuk kargo kontainer, verifikasi melibatkan pengecekan manifes kargo terhadap berat yang tertera pada setiap kontainer. Regulasi *Verified Gross Mass* (VGM) dari SOLAS mewajibkan pengirim (*shipper*) untuk menyediakan berat kontainer yang telah diverifikasi sebelum dimuat ke kapal. Perwira kapal harus memastikan data VGM ini yang digunakan dalam *loading computer*, bukan perkiraan.

Kesalahan dalam berat satu kontainer berat saja dapat menyebabkan perhitungan stabilitas dan tegangan yang salah. Posisi penempatan (*stowage position*) kontainer juga harus dimasukkan dengan benar sesuai dengan rencana penumpukan (*bay plan*).

Untuk kargo curah, verifikasi melibatkan pengukuran volume muatan yang dimuat dan mengalikannya dengan faktor penumpukan (*stowage factor*) yang benar untuk menentukan beratnya. Pengukuran *draft survey* sebelum dan sesudah pemuatan adalah metode yang andal untuk memverifikasi berat total kargo yang dimuat. Untuk kargo cair seperti minyak atau bahan kimia, pengukuran level tangki (*ullaging* atau *sounding*) harus dilakukan dengan cermat, dan koreksi untuk suhu dan *trim* kapal harus diterapkan untuk mendapatkan volume dan berat yang akurat. Semua data ini harus diperiksa silang untuk memastikan konsistensi.

Kesalahan input adalah sumber insiden yang umum terjadi. Mungkin terjadi salah ketik angka, penggunaan unit yang salah (misalnya, kilogram vs. pon), atau menempatkan kargo di lokasi yang salah dalam model komputer. Prosedur pengecekan ganda (*double-checking*), di mana satu orang menginput data dan orang kedua memverifikasinya, adalah praktik yang sangat dianjurkan untuk meminimalkan risiko kesalahan manusia.

7.4.3 Interpretasi data *stress* dan *bending moment* kapal

Salah satu fungsi paling kritis dari *loading computer* adalah kemampuannya untuk menganalisis kekuatan longitudinal kapal. Perangkat ini menyajikan data tegangan (*stress*), terutama *shear forces* (SF) dan *bending moments* (BM), dalam format yang mudah dipahami, biasanya berupa diagram grafis. Memahami cara menginterpretasikan data ini sama pentingnya dengan memahami data stabilitas.

Diagram yang ditampilkan biasanya menunjukkan dua garis: satu untuk nilai SF/BM yang dihitung untuk kondisi pemuatan saat ini, dan satu lagi yang menunjukkan batas maksimum yang diizinkan untuk kapal tersebut, baik di pelabuhan (*harbour condition*) maupun di laut (*seagoing condition*). Batas di pelabuhan biasanya sedikit lebih tinggi daripada di laut, karena kondisi di pelabuhan dianggap lebih tenang. Tugas perwira adalah memastikan bahwa garis nilai yang dihitung tidak pernah menyentuh atau melampaui garis batas yang diizinkan di titik mana pun di sepanjang kapal.

Perangkat lunak akan menunjukkan titik-titik di sepanjang kapal di mana tegangan mencapai nilai puncaknya. Perwira harus memperhatikan area-area ini. Jika, misalnya, BM di tengah kapal mendekati 100% dari batas yang diizinkan dalam kondisi *sagging*, ini adalah sinyal bahaya yang jelas. Rencana pemuatan atau balasting harus segera diubah untuk mengurangi beban di ujung-ujung kapal atau menambah beban di tengah. Perubahan ini bisa berupa memindahkan beberapa kontainer, atau melakukan de-balasting pada tangki-tangki ujung (*peak tanks*).

Interpretasi yang benar memungkinkan perencanaan proaktif. Dengan mensimulasikan seluruh urutan bongkar muat, perwira dapat mengidentifikasi langkah-langkah yang berpotensi menyebabkan tegangan berlebih dan menyesuaikan urutan tersebut sebelum operasi dimulai. Misalnya, membongkar dua palka yang bersebelahan secara bersamaan pada kapal curah dapat menciptakan gaya geser yang sangat besar di antara palka-palka tersebut. Simulasi akan menyoroti risiko ini, mendorong perwira untuk merencanakan urutan pembongkaran secara bergantian (*alternate sequence*) untuk menjaga tegangan tetap terkendali (Abbasnia et al., 2024).

7.4.4 Pentingnya validasi data *draft* dan *trim* kapal

Meskipun *loading computer* adalah alat yang kuat, ia tetaplah sebuah model teoretis. Sangat penting untuk memvalidasi hasil perhitungannya dengan pengamatan dunia nyata. Metode validasi utama dan paling fundamental adalah dengan membandingkan nilai *draft* dan *trim* yang dihitung oleh komputer dengan *draft* yang dibaca secara visual dari tanda-tanda sarat (*draft marks*) di lambung kapal.

Setelah semua data pemuatan dimasukkan, *loading computer* akan menghasilkan prediksi nilai *draft* di haluan, buritan, dan tengah kapal, serta *list* (kemiringan). Perwira kemudian harus pergi ke sisi kapal dan secara visual membaca *draft marks*. Jika ada perbedaan yang signifikan antara *draft* yang dihitung dan *draft* yang diamati, ini adalah indikasi kuat adanya masalah. Perbedaan ini bisa disebabkan oleh beberapa hal: kesalahan input data (misalnya, berat kargo yang salah, level tangki yang tidak akurat), atau konstanta kapal yang tidak diketahui (misalnya, akumulasi lumpur di tangki balas, atau berat kapal kosong yang telah berubah seiring waktu).

Perbedaan yang tidak dapat dijelaskan harus diselidiki secara menyeluruh sebelum kapal berangkat. Mengabaikan perbedaan ini berarti berlayar dengan data stabilitas dan kekuatan yang tidak dapat diandalkan, yang merupakan risiko yang tidak dapat diterima. Prosedur ini, yang dikenal sebagai *draft check*, harus dilakukan secara berkala selama operasi bongkar muat dan sebagai pemeriksaan akhir sebelum berlayar.

Validasi ini membangun kepercayaan pada sistem. Ketika *draft* yang dihitung dan diamati cocok secara konsisten, perwira dapat memiliki keyakinan yang lebih tinggi pada parameter lain yang dihitung oleh komputer yang tidak dapat diverifikasi secara visual, seperti GM dan *bending moments*. Sebaliknya, ketidakcocokan yang persisten harus

dilaporkan dan perangkat lunak mungkin perlu dikalibrasi ulang oleh spesialis.

7.4.5 Prosedur darurat jika terjadi kegagalan sistem komputer

Ketergantungan pada teknologi juga membawa risiko kegagalan. *Loading computer* dapat mengalami kegagalan karena berbagai alasan: kerusakan perangkat keras, kesalahan perangkat lunak, atau pemadaman listrik. Karena alat ini sangat penting untuk keselamatan, kapal harus memiliki prosedur darurat yang jelas untuk diikuti jika sistem utama gagal berfungsi selama operasi kritis seperti bongkar muat.

Prosedur pertama adalah mencoba memulihkan sistem, misalnya dengan me-restart komputer atau beralih ke unit cadangan (*backup unit*) jika tersedia. Banyak kapal modern diwajibkan memiliki setidaknya dua sistem *loading instrument* yang independen untuk redundansi. Jika kedua sistem gagal, atau jika kapal hanya memiliki satu sistem, maka operasi harus dihentikan sementara hingga situasinya dapat dinilai dengan aman. Melanjutkan operasi bongkar muat "buta" tanpa kemampuan untuk memeriksa stabilitas dan tegangan adalah tindakan yang sangat berbahaya.

Jika sistem tidak dapat dipulihkan dalam waktu singkat, kapal harus kembali ke metode perhitungan manual. Setiap kapal diwajibkan membawa *Stability Information Book* yang disetujui, yang berisi semua data hidrostatik, kurva, dan tabel yang diperlukan untuk melakukan perhitungan stabilitas dan kekuatan secara manual. Perwira kapal harus terlatih dan kompeten dalam menggunakan metode manual ini. Meskipun lebih lambat dan kurang presisi dibandingkan komputer, perhitungan manual memberikan jaring pengaman yang esensial.

Rencana pemuatan yang telah disetujui sebelum operasi dimulai menjadi sangat penting dalam situasi ini. Jika sistem gagal di tengah-tengah operasi, kapal dapat terus mengikuti urutan yang telah diverifikasi sebelumnya hingga titik pemberhentian yang aman, sambil melakukan perhitungan manual untuk memverifikasi setiap langkah. Pelatihan reguler dan latihan (*drills*) dalam skenario kegagalan *loading computer* sangat penting untuk memastikan kru dapat menangani situasi darurat ini dengan tenang dan efektif.

Analogi/Contoh Kasus: Bayangkan seorang dokter bedah modern yang menggunakan sistem robotik canggih untuk melakukan operasi yang rumit. Sistem robotik (*loading computer*) memberikan presisi, visualisasi 3D dari organ dalam (*stress & bending moment*), dan monitor tanda-tanda vital pasien secara *real-time* (*draft & GM*). Sebelum operasi, dokter dengan cermat memasukkan data rekam medis pasien (*verifikasi data muatan*). Selama operasi, dokter terus membandingkan data dari monitor dengan pengamatan visualnya sendiri terhadap pasien (*validasi draft*). Namun, jika tiba-tiba terjadi pemadaman listrik dan sistem robotik mati (*kegagalan sistem*), operasi tidak bisa berhenti total. Dokter bedah yang kompeten harus dapat segera beralih ke teknik bedah manual konvensional, menggunakan pengetahuan dan keterampilan dasarnya untuk menyelesaikan operasi dengan aman. Kemampuan untuk kembali ke dasar-dasar inilah yang membedakan seorang profesional sejati.

7.5 Evaluasi dan Pencegahan Stabilitas Buruk

Manajemen stabilitas yang efektif tidak hanya tentang perhitungan dan perencanaan, tetapi juga tentang kewaspadaan, evaluasi berkelanjutan, dan kesiapsiagaan dalam menghadapi situasi tak terduga. Stabilitas buruk jarang

terjadi secara tiba-tiba tanpa tanda-tanda peringatan. Kemampuan seorang perwira untuk mengidentifikasi gejala-gejala awal dari stabilitas yang berkurang, serta pengetahuan tentang prosedur yang benar untuk menanganinya, adalah garis pertahanan terakhir untuk mencegah insiden. Budaya keselamatan yang kuat, didukung oleh pelatihan dan kerja sama tim, merupakan fondasi dari pencegahan proaktif.

7.5.1 Identifikasi tanda-tanda stabilitas kapal yang berkurang

Seorang perwira yang berpengalaman mengembangkan "perasaan" terhadap kapalnya, memungkinkannya untuk mendeteksi perubahan subtil dalam perilaku kapal yang mungkin mengindikasikan masalah stabilitas. Tanda-tanda ini dapat diamati bahkan tanpa melihat instrumen. Salah satu indikator yang paling jelas adalah periode oleng (*rolling period*) kapal. Kapal dengan stabilitas yang baik (GM besar) akan beroleng dengan cepat dan kaku. Jika periode oleng kapal menjadi terasa lebih lambat dan lebih "lembut" dari biasanya, ini adalah tanda klasik bahwa GM telah berkurang.

Tanda lainnya adalah kapal menjadi sulit untuk ditegakkan kembali setelah miring, atau mengembangkan kemiringan (*list*) ke satu sisi tanpa alasan eksternal yang jelas seperti angin atau pemuatan yang tidak simetris. Kemiringan yang sulit atau tidak bisa dikoreksi dengan pemindahan balas bisa menjadi gejala dari GM yang sangat kecil atau bahkan negatif, di mana kapal mungkin berada dalam kondisi *angle of loll*. Dalam kondisi ini, kapal terasa "lunglai" dan tidak responsif.

Selama operasi kargo, jika kapal miring secara berlebihan saat mengangkat beban yang relatif ringan, atau jika kemiringan tidak hilang setelah kargo ditempatkan, ini adalah sinyal peringatan yang serius. Tanda-tanda lain dapat

dilihat pada air di sekitar kapal. Jika air dek tidak mengalir dengan cepat ke sisi kapal dan cenderung menggenang, ini juga bisa menunjukkan stabilitas yang tidak memadai. Kemampuan untuk mengenali tanda-tanda kualitatif ini, dan kemudian memverifikasinya dengan perhitungan kuantitatif pada *loading computer*, adalah keterampilan penting dalam manajemen stabilitas proaktif.



Gambar 7. 6. Contoh kapal terbalik

(https://wahananews.com)

7.5.2 Prosedur penanganan jika kapal kehilangan stabilitas

Jika tanda-tanda stabilitas yang buruk teridentifikasi atau jika kapal tiba-tiba mengalami kemiringan yang berbahaya, tindakan yang cepat, tenang, dan terukur sangatlah penting. Panik dan tindakan yang salah dapat memperburuk situasi secara drastis. Prioritas utama adalah menghentikan operasi apa pun yang mungkin menjadi penyebab masalah, seperti menghentikan operasi kargo atau transfer bahan bakar. Semua personel harus diperingatkan, dan prosedur darurat kapal harus diaktifkan.

Langkah pertama dalam penanganan adalah mencoba menurunkan pusat gravitasi (G) kapal secepat mungkin. Cara paling efektif untuk melakukan ini adalah dengan mengisi

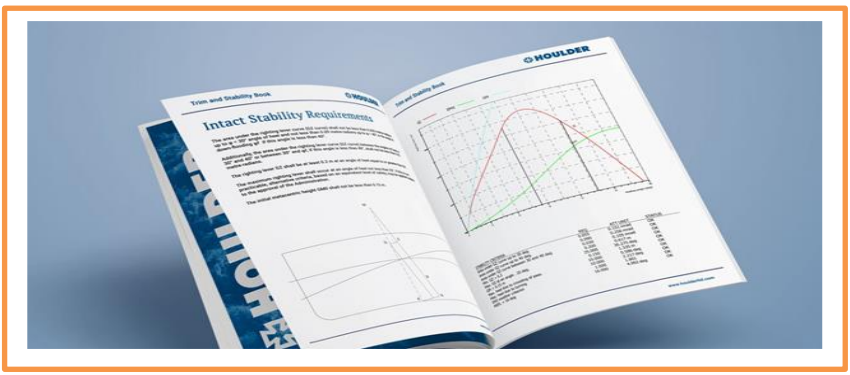
tangki-tangki dasar ganda (*double bottom tanks*), dimulai dari tangki tengah untuk menghindari penambahan momen kemiringan. Penting untuk diingat bahwa saat mulai mengisi tangki, efek permukaan bebas akan muncul terlebih dahulu sebelum berat tambahan memberikan efek positifnya. Oleh karena itu, pengisian harus dilakukan pada sebanyak mungkin tangki dasar secara bersamaan untuk mempercepat penambahan berat di posisi terendah.

Sebaliknya, tindakan membuang berat dari posisi tinggi, seperti air balas dari tangki sayap atas (*upper wing tanks*), harus dihindari sebagai respons awal. Mengosongkan tangki ini akan menciptakan efek permukaan bebas yang besar, yang akan mengurangi GM lebih lanjut sebelum efek positif dari pengurangan berat di atas dirasakan. Ini adalah kesalahan umum yang dapat berakibat fatal. Selain itu, jika ada muatan di dek yang bisa bergeser, muatan tersebut harus diamankan. Jika memungkinkan dan aman untuk dilakukan, muatan berat di dek atas dapat dibuang ke laut (*jettisoning*) sebagai upaya terakhir untuk menyelamatkan kapal. Semua tindakan harus didasarkan pada penilaian situasi yang cermat dan, jika waktu memungkinkan, diverifikasi melalui simulasi cepat pada *loading computer*.

7.5.3 Pentingnya *Stability Information Book* bagi perwira kapal

Di setiap kapal, terdapat satu dokumen yang menjadi "kitab suci" stabilitas: *Stability Information Book* (juga dikenal sebagai *Stability and Trim Booklet*). Dokumen ini, yang disetujui oleh badan klasifikasi dan administrasi bendera kapal, berisi semua data dan informasi yang diperlukan oleh nakhoda dan perwira untuk menghitung dan menjaga stabilitas kapal dalam semua kondisi operasional. Penguasaan penuh terhadap isi buku ini adalah syarat mutlak bagi setiap perwira dek.

Buku ini berisi data-data fundamental seperti kurva hidrostatik (yang memberikan nilai KM, *displacement*, dll., untuk setiap *draft*), kurva GZ silang (*cross curves of stability*), dan batasan-batasan operasional (misalnya, *maximum allowable KG*). Selain itu, buku ini juga menyediakan data detail tentang kapasitas dan pusat gravitasi dari setiap kompartemen kargo dan tangki di kapal. Informasi mengenai momen permukaan bebas untuk setiap tangki juga disertakan.



Gambar 7. 7. *Stability and Trim Booklet*

(Sumber: https://www.superyachtnews.com)

Pentingnya buku ini menjadi sangat nyata dalam dua skenario. Pertama, sebagai dasar untuk semua perhitungan yang dilakukan oleh *loading computer*. Perangkat lunak tersebut pada dasarnya adalah versi digital dari buku ini. Kedua, sebagai satu-satunya sandaran jika *loading computer* mengalami kegagalan. Kemampuan untuk mengambil buku ini dan melakukan perhitungan stabilitas secara manual adalah jaring pengaman terakhir. Buku ini juga berisi contoh-contoh kondisi pemuatan standar (misalnya, kondisi balas, kondisi muatan penuh) yang dapat digunakan sebagai referensi oleh kru. Memahami di mana menemukan informasi

yang relevan dengan cepat di dalam buku ini selama situasi darurat adalah bagian dari kompetensi inti seorang perwira.

7.5.4 Latihan prosedur darurat (*drill*) stabilitas muatan

Pengetahuan teoretis dan prosedur tertulis tidak akan banyak berguna dalam krisis jika tidak dilatih secara teratur. Latihan darurat, atau *drills*, adalah cara paling efektif untuk memastikan bahwa kru kapal dapat merespons skenario kehilangan stabilitas dengan cepat, efisien, dan terkoordinasi. Latihan-latihan ini harus menjadi bagian rutin dari program pelatihan di atas kapal.

Drill stabilitas dapat mensimulasikan berbagai skenario, seperti kegagalan *loading computer* di tengah operasi bongkar muat, kemiringan tiba-tiba akibat pergeseran muatan, atau kerusakan struktural yang menyebabkan masuknya air (*flooding*). Selama latihan, kru akan mempraktikkan langkah-langkah yang diperlukan: menghentikan operasi, membunyikan alarm, melakukan komunikasi internal dan eksternal, dan mensimulasikan tindakan korektif seperti operasi balasting darurat.

Latihan ini juga menguji kemampuan kru dalam menggunakan peralatan darurat dan mengakses informasi penting di bawah tekanan. Misalnya, latihan dapat mencakup tugas untuk menemukan data relevan dalam *Stability Information Book* dan melakukan perhitungan manual untuk menentukan tindakan terbaik. Setelah setiap latihan, harus diadakan sesi evaluasi (*debriefing*) untuk membahas apa yang berjalan dengan baik, apa yang kurang, dan bagaimana prosedur dapat diperbaiki. Latihan yang realistis dan teratur membangun memori otot dan kepercayaan diri, memastikan bahwa ketika insiden nyata terjadi, respons kru menjadi otomatis dan benar, bukan panik dan ragu-ragu.

7.5.5 Sinergi antara Tim Dek dan tim mesin dalam manajemen stabilitas

Manajemen stabilitas bukanlah tugas eksklusif departemen dek. Ini adalah tanggung jawab bersama yang membutuhkan sinergi dan komunikasi yang erat antara tim dek (dipimpin oleh *Chief Officer*) dan tim mesin (dipimpin oleh *Chief Engineer*). Kegagalan komunikasi antara dua departemen ini dapat dengan mudah menggagalkan rencana stabilitas yang paling cermat sekalipun.

Tim dek bertanggung jawab atas perencanaan dan eksekusi operasi kargo, serta perhitungan stabilitas. Namun, eksekusi rencana balas (*ballast plan*) sepenuhnya bergantung pada tim mesin yang mengoperasikan pompa-pompa, katup-katup (*valves*), dan sistem perpipaan yang kompleks. *Chief Officer* harus mengkomunikasikan rencana balastingnya dengan jelas kepada *Chief Engineer*, termasuk urutan tangki yang akan dioperasikan dan laju aliran yang diinginkan. Sebaliknya, *Chief Engineer* harus memberikan umpan balik tentang status sistem, ketersediaan pompa, dan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap operasi.

Koordinasi ini juga berlaku untuk manajemen bahan bakar dan air tawar. Transfer internal bahan bakar atau penggunaan air tawar dalam jumlah besar akan mengubah distribusi berat dan harus dikomunikasikan kepada perwira dek agar dapat dimasukkan ke dalam perhitungan stabilitas. Sebelum berangkat, *Chief Officer* dan *Chief Engineer* harus bersama-sama meninjau dan menyetujui kondisi keberangkatan akhir, memastikan bahwa baik stabilitas kapal maupun operasional mesin berada dalam kondisi optimal dan aman.

Sinergi ini membangun lapisan redundansi dan pengecekan silang. *Chief Engineer* yang memahami dasar-dasar stabilitas mungkin dapat melihat potensi masalah dalam rencana balas yang mungkin terlewatkan. Demikian

pula, *Chief Officer* yang memahami keterbatasan sistem pompa mungkin akan membuat rencana yang lebih realistis. Komunikasi yang terbuka dan rasa saling menghormati antara kedua departemen adalah perekat yang menyatukan seluruh upaya manajemen stabilitas, mengubahnya dari serangkaian tugas individu menjadi sebuah sistem keselamatan yang terintegrasi.

Analogi/Contoh Kasus: Sebuah rumah sakit sedang menghadapi situasi darurat dengan pasien yang kritis. Dokter (*Chief Officer*) merancang rencana perawatan yang kompleks yang melibatkan pemberian beberapa obat secara intravena (rencana kargo dan balas). Namun, perawat (*tim mesin*) adalah orang yang secara fisik menyiapkan infus, mengatur laju tetesan, dan memonitor respons pasien. Jika dokter memberikan instruksi yang tidak jelas, atau jika perawat tidak melaporkan bahwa salah satu jalur infus tersumbat, rencana perawatan akan gagal. Sinergi mereka sangat penting. *Stability Information Book* adalah buku teks medis yang dirujuk oleh dokter. Latihan darurat (*drill*) adalah simulasi kode biru (*code blue*) yang melatih tim untuk merespons serangan jantung. Dan identifikasi tanda-tanda stabilitas yang berkurang adalah seperti perawat berpengalaman yang dapat melihat perubahan kecil pada kulit pasien yang menandakan kondisinya memburuk, jauh sebelum monitor alarm berbunyi.

DAFTAR PUSTAKA

A., Hidayatullah, A., Setiawan, W., , S., , H., Nurcholik, S. and Suwedy, W., 2023. Stability Study of Water Ambulance in East Kalimantan Inland Waterways. *WAVE: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*. https://doi.org/10.55981/wave.2023.186

Ababil, A., Sutoyo, S., Kusumawati, E. and Haryanto, T., 2026. Optimization of Ballast Water Management System on MV Sun Winner II to Ensure Operational Stability During Port Cargo Handling. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*. https://doi.org/10.31004/riggs.v5i1.6514

Abbasnia, A., Sutulo, S. and Soares, C., 2024. Frequency-Domain 3D Computer Program for Predicting Motions and Loads on a Ship in Regular Waves. *Journal of Marine Science and Application*, pp.1-10. https://doi.org/10.1007/s11804-024-00394-6

Abdullah, R., Trimulyono, A., , S. and Adietya, B., 2025. Numerical simulation of sloshing with floating baffles using smoothed particle hydrodynamics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1461*. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1461/1/012007

Boylston, J. and Stambaugh, K., 2025. *DEVELOPMENT OF A PLAN TO OBTAIN IN-SERVICE STILL WATER BENDING MOMENT INFORMATION FOR STATISTICAL CHARACTERIZATION*.

Chrismianto, D., Yudo, H., Adietya, B., Firdhaus, A. and Salassella, A., 2025. Numerical Analysis of the Effect of Passive Free Surface Tank on Rolling Motion of Batang-Type Traditional Fishing Vessel. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. https://doi.org/10.12716/1001.19.02.09

Chuku, A., Oludi, K. and Okey-Onyema, K., 2025. Intact stability analysis of an Aframax Tanker Vessel. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*. https://doi.org/10.30574/wjaets.2025.17.2.1486

Elidolu, G., Sezer, S., Akyuz, E., Arslan, Ö. and Arslanoğlu, Y., 2023. Operational risk assessment of ballasting and de-ballasting on-board tanker ship under FMECA extended Evidential Reasoning (ER) and Rule-based Bayesian Network (RBN) approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 231, p.108975. https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108975

Fuge, R. and Rizvi, J., 2021. Investigation of the influence of tank geometry on a vessel's stability under free surface effect when in coastal waters. *Journal of Physics: Conference Series, 1834*. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1834/1/012010

Guo, Z., Cao, Z., Wang, W., Jiang, Y., Xu, X. and Feng, P., 2021. An integrated model for vessel traffic and deballasting scheduling in coal export terminals. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102409

Liu, Y. and Ren, H., 2023. Rapid acquisition method for structural strength evaluation stresses of the ship digital twin model. *Ocean Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115323

Nită, C., 2021. Ballast tanks sizing and ship stability analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 635*. https://doi.org/10.1088/1755-1315/635/1/012005

Santoso, B., Romadhoni, R., Nasution, P., Hardiyanto, H. and Ariany, Z., 2025. Assessment of Safe Loading Conditions for the SPCB Deck Crane Using Hydrostatic and GZ Curve Analysis. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*. https://doi.org/10.12962/j25481479.v10i2.6422

Sulistiana, O., Bokau, J., Djajasasana, E. and Umatjina, F., 2025. APPLICATION OF THE ROLLING PERIOD FORMULA IN DETERMINING METACENTRIC HEIGHT (GM) FOR SHIP STABILITY A CASE STUDY OF THE TRAINING SHIP SULTAN HASANUDDIN. *International Journal of Social Service and Research*. https://doi.org/10.46799/ijssr.v5i3.1197

Uppal, S. and Pk, B., 2022. DYNAMIC OPTIMIZATION OF PORT OPERATIONS ONBOARD A TYPICAL RORO VESSEL, AIDED BY A SMART DECISION SUPPORT SYSTEM. *ICCAS 2022*. https://doi.org/10.3940/rina.iccas.2022.40

Wang, L., Liao, S., Wang, S., Jia, B., Yin, J. and Li, R., 2024. Real-time prediction of metacentric height of ro-ro passenger ships in Qiongzhou strait based on improved RBF neural network. *Ocean Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.119067

Yu, J., Yue, B. and , B., 2022. Isogeometric analysis with level set method for large-amplitude liquid sloshing. *Ocean Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112613

Yuliananta, P., Sitepu, C., Arisusanty, D. and Suwondo, I., 2026. The Effect of Changes in the Ship's Center of Gravity on Ship Stability on the MV. Meratus Larantuka. *International Journal of Science and Environment (IJSE)*. https://doi.org/10.51601/ijse.v6i1.372

BAB 8
PENANGANAN MUATAN KHUSUS DAN SELAMA BERLAYAR

Oleh Mulyono

8.1 Pengetahuan Jenis – jenis muatan kapal

Di dunia industri logistik transportasi laut, kita harus memahami jenis – jenis muatan kapal dengan baik. Hal ini penting bagi siapa saja (*stake holder)* yang telibat dalam proses pengiriman barang lintas pulau, lintas negara maupun lintas benua. Waktu pengiriman yang cukup lama melalui jalur laut memerlukan penanganan yang baik terhadap muatan agar kondisi dan kualitasnya tetap terjaga. Pengangkutan melaui jalur laut memiliki klasifikasi dan karakteristik muatan yang sangat unik dan memerlukan penanganan khusus agar barang sampai dengan aman, efektif dan efisien tidak terjadi *delay* atau keterlambatan.

Pada bab ini, kita akan membahas mengenai kategori muatan kapal serta karakteristik masing – masing sehingga pengiriman barang melalui laut dapat berjalan dengan lancar dan profesional. Sebelum menangani muatan kapal mulai dari proses persiapan memuat di pelabuhan muat sampai penanganan bongkar muatan di pelabuhan tujuan. Ada baiknya kita kenali dulu jenis – jenis muatan kapal agar dapat mengklasifikasikan barang muatan berdasarkan jenis barang,

kondisi barang dan jumlahnya serta resiko apa yang akan ditimbulkan oleh muatan tersebut.

Dalam dunia industri logistik transportasi laut atau biasa dikenal dengan istilah ekspedisi muatan kapal laut (EMKL), barang yang diangkut dengan kapal biasanya dibedakan berdasarkan kategori dari bentuk fisik, armada pengangkut dan jenis peralatan yang diperlukan untuk penanganan dalam proses pengangkutannya.

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 (Slamet et al., 2025: 4).

Setiap jenis muatan memiliki karakteristik yang berbeda - beda dalam mengemas, mengangkat, meletakkan, menyimpan, mengikat dan menangani proses pemuatan maupun pembongkaran. Pada umumnya muatan kapal laut dibagi dalam kategori – kategori utama, yaitu :

- Muatan Cuarah (bulk cargo)
- Muatan Umum (general cargo)
- Muatan Cair (liquid cargo)
- Muatan berpendingin (reefer cargo)
- Muatan ternak (livestock cargo)
- Muatan kendaraan (vehicles cargo)
- dan sebagainya

Setiap muatan tersebut memerlukan kekhususan dalam penanganannya yang berbeda – beda cara pengemasannya disesuaikan dengan kategori, sifat dan karakteristiknya serta letak geografis dari Pelabuhan muat maupun Pelabuhan tujuan dari muatan – muatan tersebut.

Misalnya muatan curah yang paling banyak diangkut salah satunya adalah Batubara (coal), dimana muatan jenis ini banyak terdapat diwilayah Indonesia seperti di Pulau Kalimantan. Jenis muatan Batubara ini diangkut dalam jumlah besar dalam bentuk curah, tidak perlu kemasan dan dapat diangkut sebanyak – banyaknya sesuai kemampuan daya angkut kapalnya berdasarkan sertifikat garis muat yang dimiliki.

Namun karena batubara diangkut dari daerah tambang yang terletak didaerah perairan pedalaman dan harus berlayar melalui Sungai, sehingga muatan jenis ini hanya dapat diangkut oleh kapal – kapal berukuran kecil seperti tongkang yang ditarik oleh kapal tunda (tugboat). Oleh karena itu jumlah angkutnya terbatas dan memerlukan banyak armada untuk dapat mengangkutnya menuju ke kapal – kapal curah yang berukuran lebih besar untuk dilanjutkan ke pelabuhaan tujuan.

Sedangkan kapal – kapal curah yang berukuran besar dan memiliki daya angkut sangat banyak tersebut tidak dapat masuk ke alur perairan pedalaman seperti Sungai Mahakan, Sungai Martapura, Sungai Barito dan sebagainya. Oleh karena itu kapal – kapal tersebut hanya dapat berlabuh di laut dekat muara sungai agar dapat dimuat melalui kapal – kapal tongkang (barge) yang ditarik dengan kapal tunda atau biasa dikenal dengan istilah STS (Ship to ship).

Contoh lainnya adalah jenis muatan cair seperti minyak kelapa sawit CPO (crude palm oil) yang biasanya dimuat dengan kapal tangki minyak (tanker). Muatan cair ini dapat diangkut dalam jumlah besar dan dimuat didalam ruang tangki muatan pada kapal tanker tersebut.

Namun terdapat beberapa Pelabuhan yang tidak mungkin melakukan proses bongkar muat (loading and unloading) untuk memuat atau membongkar muatan tersebut karena memiliki kedalaman perairan yang dangkal dan tidak cukup dalam untuk disandari kapal – kapal tersebut.

Kapal tanker yang berukuran raksasa seperti VLCC (Very Large Crude Carrier) tidak dapat sandar di dermaga maka untuk mengatasi hal tersebut disiapkanlah pipa – pipa ke laut yang digunakan untuk mentransfer minyak mentah dari kapal ke tangki – tangki di Pelabuhan. Selain dengan cara tersebut ada juga muatan yang dipindahkan ke kapal – kapal tanker yang berukuran lebih kecil terlebih dahulu untuk dapat melanjutkan distribusi menuju ke Pelabuhan – Pelabuhan yang berada di perairan pedalaman, kapal jenis ini biasa dikenal dengan istilah kapal pengumpan (feeder vessel).

Pengiriman barang menggunakan transportasi laut harus dapat dipastikan berjalan dengan baik. Oleh karena itu diperlukan dokumen sebagai legalitas untuk menjaga transparansi, keteraturan, akuntabilitas sesuai peraturan yang berlaku.

Berikut ini adalah dokumen yang harus dilengkapi ketika melakukan pengiriman barang saat proses bongkar muat barang, yaitu :

1. *Shipping Order*
   Dokumen ini adalah surat perintah dari pihak pengirim jasa ekspedisi terkait dengan barang yang akan dikirim.
2. *Delivery Order*
   Dokumen ini adalah surat yang diterbitkan oleh jasa ekspediri barang yang memberikan ijin kepada penerima barang *(consignee)* untuk dapat mengambil muatannya di Gudang Pelabuhan.
   Dengan dokumen ini maka dapat dipastikan bahwa hanya pihak yang berhak saja yang dapat mengambil muatan di Gudang Pelabuhan.
3. *Bill of Lading*
   Bill of Lading merupakan dokumen tanda kontrak antara pengirim *(shipper)* dan pengangkut *(carrier)* sebagai bukti bahwa barang telah diterima untuk dikirim.

Fungsinya sebagai tanda terima atas barang dan dokumen kontrak pengangkutan barang tersebut.

4. *Cargo Manifest*
   Dokumen bongkar muat ini berisi daftar rincian barang yang diangkut oleh armada pengiriman berfungsi sebagai pengelolaan, pelacakan serta untuk memastikan keamanan suatu barang yang dikirim.
5. *Tally Sheet*
   Tally sheet adalah dokumen bongkar muat yang berisi jumlah dan kondisi barang selama proses kegiatan bongkar atau muat di Pelabuhan. Berfungsi untk memastikan bahwa jumlah barang yang dikirim telah sesuai dengan data yang tertera pada dokumen muatan.
6. *Stowage Plan*
   Stowage plan adalah dokumen perencanaan untuk penyusunan muatan campuran atau muatan peti kemas yang akan dimuat di kapal agar waktu memuat menjadi lebih efisien, serta dapat memaksimalkan ruang muat yang tersedia di kapal. *Stowage plan* dibuat dalam bentuk diagram yang menggambarkan susunan letak kargo yang dimuat dalam ruang muat kapal, termasuk muatan diatas geladak jika ada. Dengan dibuat perencanaan muat ini maka keseimbangan kapal dapat diatur dengan baik sebelum kapal berlayar dan muatan dapat dibongkar secara sistematis sesuai urutan Pelabuhan tujuan.
7. *Material Safety Data Sheet (MSDS)*
   Adalah dokumen yang diperlukan bagi muatan barang berbahaya yang berisi rincian bahan atau senyawa berbahaya yang terkandung pada barang. Fungsi dari dokumen ini adalah sebagai dokumen

keselamatan dan panduan dalam penanganan muatan berbahaya.

8. *Special Cargo List*
   Merupakan suatu daftar rincian barang muatan yang memerlukan penanganan khusus, seperti makhluk hidup, barang mudah busuk / rusak. Fungsi dari dokumen ini adalah untuk dapat mengantisipasi kerusakan yang terjadi pada barang – barang yang memerlukan penanganan khusus dan memiliki karakteristik yang unik.
9. *Cargo Damage Report*
   Cargo Damage Report adalah dokumen yang digunakan untuk dapat melaporkan kondisi muatan yang mengalami suatu kerusakan.
   Fungsi dari dokumen ini adalah agar apabila terjadi kerusakan muatan saat pengiriman maka dapat dipertanggung jawabkan dan menjadi dokumen yang diperlukan untuk proses klaim Asuransi.
10. *Receiving Card*
    Receiving Card adalah dokumen yang digunakan pada saat menerima barang dari Gudang, pabrik atau dari toko. Fungsi dari dokumen *Receiving card* ini adalah untuk memastikan bahwa muatan yang diterima tersebut sudah sesuai baik dari segi kuantitas maupun kualitas.

8.2 Penanganan muatan khusus saat pemuatan dan selama pelayaran

8.2.1 Penanganan Muatan Curah *(Bulk Cargo Handling)*

Untuk muatan jenis curah ini pada umumnya adalah berupa material mentah yang diangkut dalam jumlah banyak. Terdapat dua macam kategori utama yaitu muatan curah

kering seperti pasir, Batubara, gandum, nikel, semen, pupuk dan biji-bijian.

Kategori kedua yaitu jenis muatan curah cair seperti minyak *(oil)*, bahan kimia *(chemical)* dan gas. Kapal – kapal yang digunakan untuk mengangkut muatan jenis ini dirancang khusus dengan tanki *(cargo tank)* berukuran besar maupun ruang kargo *(cargo hold)* yang telah dilakukan perhitungan sedemikian rupa oleh para Insinyur rancang bangun kapal untuk menjaga stabilitas kapal selama pelayaran. Mengingat muata jenis curah ini tidak dikemas maka perhitungan muatan dilakukan berdasarkan hasil draft survey dan *TPC (Ton Per Centimetre)* sesuai kemampuan daya angkut setiap kapal.

Kapal *Bulk Carrier* adalah kapal yang didesain khusus untuk mengangkut muatan curah kering seperti gandum, kedelai, beras, Batubara, biji besi atau muatan sejenis. Kapal *Bulk Carrier* dapat dikenali dengan memperhatikan bentuk dan peralatan yang terpasang pada geladak utama. (Antoni, 2020 : 6).

Penanganan muatan curah merupakan kegiatan memuat dan membongkar muatan yang dilakukan dalam jumlah besar langsung ke ruang muat. Tanpa menggunakan kemasan seperti *box,* peti-peti, karung - karung dan sebagainya. Jenis muatan yang diangkut biasanya biji-bijian, gandum, jagung, nikel, batu bara, pupuk serta muatan lain yang sejenis tanpa kemasan.

Oleh karena itu dalam kegiatan bongkar ataupun memuat memerlukan peralatan khusus seperti *conveyor belt, grab crane* atau pompa khusus *(suction pump),* sesuai standar keselamatan yang diatur sesuai ketentuan pada *International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC) Code.*

Conventional Bulkers adalah kapal yang dibangun dengan lubang palka yang dilengkapi dengan derek dan alat pengangkut untuk mempermudah dalam proses muat. Kapal

– kapal jenis ini memiliki daya Tarik tersendiri yang berkaitan dengan muatan dan rute navigasi. Ruang muat/palka kapal jenis ini berjumlah 5-9 palka yang berukuran 250.000 DWT. (Antoni, 2020 : 7)



Gambar 8. 1. Muatan curah dimuat di Kapal Curah

Sumber : https://depositphotos.com/id/photos/dry-bulk-carrier.html

IMSBC Code merupakan pedoman internasional yang dikeluarkan oleh *International Maritime Organization* yang mengatur tentang standar keselamatan untuk pengangkutan dan menangani muatan curah padat melalui transportasi laut yang memuat aspek – aspek penting sebagai berikut ini :

1. Pengelompokan muatan
   Muatan dibagi menjadi grup-grup sesuai potensi resiko bahaya yang dapat ditimbulkannya, yaitu grup A untuk uatan yang bisa mencair *(liguefy).* Grup B untuk muatan yang memiliki resiko bahaya kimia dan Grup C yaitu jenis muatan yang tidak termasuk kedalam grup A dan Grup B.

2. Prosedur Uji Muatan
   Pedoman untuk menguji seperti *Can Test* atau menguji Tingkat kelembaban palka sebelum memuat muatan ke dalam ruang muat.

3. Persyaratan keselamatan
   Mengatur mengenai sirkulasi udara di dalam ruang muat, Tindakan mencegah terjadinya resiko kebakaran dan penanganan keadaan darurat yang mungkin akan terjadi di laut. Keselamatan di kapal sangat penting oleh karena itu peraturan terkait keselamatan harus dilaksanakan dengan baik sesuai prosedur.



Gambar 8. 2. Penanganan muatan curah di kapal

Sumber :
https://www.kapaldanlogistik.com/2025/09/penanganan-stowage-dan-pembawaan-bulk-cargo.html#google_vignette

Dalam kegiatan pengangkutan muatan curah harus mengacu pada peraturan – peraturan yaitu :

1. *International Code for the Safe Carriage of Grain in Bulk*
2. *Code of practice for the Safe Loading and Unloading of Bulk Cargoes (BLU Code)*
3. *Code of Safe Practice for Solid Bulk Cargoes (BC Code)*

4. *International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk (IBC Code).*

Penyusunan muatan curah adalah hal yang sangat penting untuk memastikan bahwa muatan didistribusikan dengan baik dan benar ke seluruh bagian kapal secara vertikal dan membujur *(longitudinal).* Hal ini dilakukan agar stabilitas kapal tetap terjaga dan kapal tidak mengalami tekanan berlebihan pada salah satu bagian *(overstressed).*

Informasi tentang data muatan harus diketahui oleh nahkoda sebelum kapal menerima muatan curah, seperti *stowage factor (SF)* muatan, riwayat muatan, jenis muatan dan sebagainya.

Yang harus diperhatikan dalam melakukan penanganan muatan curah antara lain yaitu :

1. Distribusi muatan pada setiap ruang muat harus terbagi secara merata mulai palka depan *(fore)* sampai belakang *(aft).*
2. Jika ada lebih dari satu jenis muatan, maka muatan yang densitinya lebih besar harus dimuat pada ruang muat bagian bawah *(lower hold)* jangan dimuat pada geladak antara *(tween deck)*.
3. Bobot muatan maksimal yang ditempatkan pada ruang muat tidak melebihi Panjang palka, lebar rata – rata palka dan draft muat musim panas *(draught summer load).*
4. Tinggi puncak tumpukan material *(cargo pile)* tidak boleh melebihi *stowage factor* muatan (m^3/ton), rumus : 1,1 x D x SF

Sebelum memuat dan membongkar muatan curah, perhatikan ketentuan berikut ini :

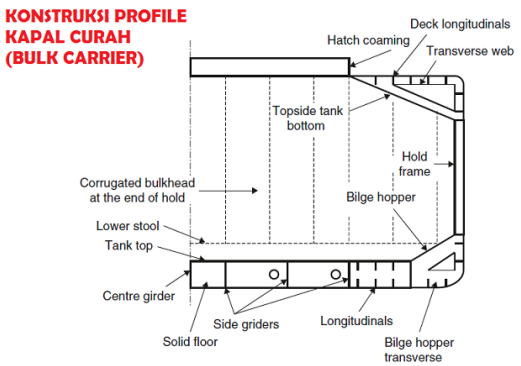
1. Sebelum memuat, maka ruangan muat *(cargo hold)* harus dicek dengan baik dan disiapkan sesuai dengan jenis muatan yang akan dimuat.
2. Ruang muat harus benar – benar bersih, disapu dari sisa – sisa muatan sebelumnya apalagi jika muatan sebelumnya berbeda jenis.
3. Awak kapal harus dapat memastikan bahwa saluran got *(bilges),* sistem kemarau drainase, pipa sounding dan pompa got di ruang muat harus dalam keadaan baik dan normal.
4. Perhatikan pada bagian *bilges well* dan *strainer plate,* jangan sampai ada yang menyumbat agar dapat memberikan fasilitas drainase untuk mencegah ada muatan yang masuk kedalam bilga *(bilges).*
5. Awak kapal harus membersihkan debu dan kotoran yang masuk dan dan beresiko dapat bersentuhan dengan bagian yang bergerak dari mesin geladak dan alat bantu navigasi eksternal.
6. Sistem sirkulasi udara *(air ventilation)* dan pendingin udara *(air conditioner)* harus ditutup atau disaring agar dapat meminimalisir masuknya debu dan kotoran kedalam ruang akomodasi.

Ventilasi adalah aspek yang sangat penting dalam penanganan muatan curah untuk mencegah terjadinya kelembaban *(dew)* yang dapat merusak muatan. Kualitas muatan harus dapat selalu dijaga selama pelayaran dalam segala kondisi cuaca hingga tiba di tempat tujuan. Oleh karen itu perlu diperhatikan hal – hal sebagai berikut :

1. Jika peranginan atau ventilasi diperlukan oleh suatu jenis muatan secara terus menerus maka harus dipertahankan ventilasi itu dilakukan selama muatan berada didalam ruang muat.
2. Untuk ruang muat yang memerlukan ventilasi secara berkesinambungan maka harus dilengkapi

dengan sistem ventilasi yang dapat tetap terbuka bila diperlukan sesuai persyaratan konvensi garis muat.

3. Ventilasi harus dikondisikan sehingga uap, debu atau gas berbahaya yang keluar tidak mengganggu ruang akomodasi.



Gambar 8. 3. Konstruksi Kapal Curah

Sumber :
https://blogger.googleusercontent.com/img/b/R29vZ2xl/AVvXsEiDfQ8ZqErdyuhQN_iq4Oxg8feIMUQtH2paSWFvEm6lD37llbhLxxs1kGXyhi2NQuWOqvjWyvrqo5YBRQ9F-vpLzhSxC214wkfQNr3IbBViNj7f7ngNQQ90xSTGmfGDQ29DjtS1PmmN60/s691/Konstruksi+kapal+curah.png

Awak kapal dan operator kapal harus memahami peraturan dan cara menangani muatan dengan baik dan memastikan keamanan pelayaran sekaligus dapat selalu menjaga kualitas muatan hingga tiba di Pelabuhan tujuan. Dengan pengetahuan tentang penanganan muatan curah dapat menjamin keseimbangan kapal dan mencegah terjadinya resiko kapal miring *(listing)* bahkan terbalik *(capsize)* akibat titik berat kapal yang naik diatas titik *metacentris*. Selain itu proses memuat dan membongkar muatan akan dapat terlaksana dengan baik, aman, efektif dan sistematis.

8.2.2 Penanganan Muatan Umum *(General Cargo Handling)*

Kapal *general cargo* adalah jenis kapal yang dapat dikenali dari tipe muatan yang diangkut dan peralatan muat yang terpasang di geladak utama. Kapal *general cargo* biasanya mengangkut barang kemasan seperti bahan kimia, makanan, mebel, mesin, kendaraan bermotor, barang pecah belah, dan lain-lain. Muatan tersebut biasanya dibungkus atau dikemas dalam peti, karung atau kemasan lainnya (Antoni, 2020 : 2).

Muatan Umum *(general cargo)* ialah semua jenis muatan yang dikemas dalam bentuk satuan dalam karung, peti, tong/drum, palet dan sebagainya. Muatan seperti ini tidak memerlukan penanganan khusus seperti pendinginan atau pengawasan bahan berbahaya pada umumnya diangkut dalam ruangan muat / palka atau disimpan didalam container. Namun demikian beberapa jenis muatan harus tetap dilakukan sirkulasi udara *(ventilation)* dengan baik diruang muat agar terhindar dari kerusakan akibat kelembaban udara yang terjadi didalam palka.

Muatan juga harus dilakukan pengikatan *(lashing)* dan pengamanan *(securing)* agar tidak bergeser atau bergesekan dengan muatan lain dan dinding kapal akibat ombak dan gelombang laut. Pengecekan secara rutin selama pelayaran juga harus dilakukan untuk melihat apakah ada ikatan yang kendor dan perlu dikencangkan karena jika ada ikatan muatan yang kendor atau putus maka bisa mengakibatkan terjadi pergeseran dan pergesekan muatan yang sangat berbahaya bagi keselamatan kapal. Pengecekan sistem kemarau *(bilges* pada ruang muat juga perlu dilakukan jika terdapat genangan air akibat dari kondensasi atau keringat muatan, maka harus segera dipompa agar tidak merusak muatan.

Jenis muatan seperti ini biasanya dikemas secara terpisah dan dapat diangkut dalam bentuk peti kemas *(containerized)* dan tanpa peti kemas *(non containerized)* yang

dikemas dalam bentuk peti kotak *(box),* karungan*,* kemasan koli, gulungan dan sebagainya.

Muatan yang dimuat antara lain barang – barang elektronik, gulungan pelat baja *(steel coil),* material peralatan industri, beras, pupuk, semen, hingga bahan kebutuhan rumah tangga. Muatan campuran didistribusikan hingga ke daerah terpencil dan perairan pedalaman sebagai kebutuhan dasar Masyarakat.



Gambar 8. 4. Proses penanganan muatan umum dikapal kargo

Sumber : https://www.antarafoto.com/id/view/1879890/bongkar-muat-beras-di-pelabuhan-tanjung-perak-surabaya

Ketika memuat muatan campuran di kapal maka perlu dilakukan pengelompokkan muatan berdasarkan jenis, bentuk, jumlah, karakteristik dan resiko yang dapat ditimbulkan oleh muatan tersebut. Hal ini perlu dilakuan untuk menghindari terjadinya kerusakan muatan.

Berikut ini adalah contoh pengelompokkan barang muatan umum, antara lain :

1. Barang Elektronik
   Contohnya : laptop, *smartphone,* televisi, peralatan rumah tangga elektronik.
2. Tekstil dan pakaian
   Contohnya : kain gulung, perlengkapan konveksi, pakaian.
3. Peralatan industri dan otomotif
   Contohnya suku cadang otomotif, mesin – mesin, perkakas.
4. *Furniture* dan bahan bangunan
   Contohnya : meja, keramik, kursi, lemari, sofa, kitchen set
5. Barang kebutuhan sehari – hari
   Contohnya : Beras, tepung terigu, kosmetik, buku, mainan, makanan dan minuman tahan lama.

Proses memuat dan membongkar muatan umum atau muatan campuran *(general cargo)* dilakukan oleh kelompok tenaga kerja bongkar muat atau TKBM dan biasanya dikenal dengan istilah *stevedoring.*

Tahapan – tahapan yang dilakukan pada saat persiapan kedatangan kapal yaitu :

1. Pemeriksaan kelengkapan dokumen muatan
   Pihak Perusahaan pelayaran atau diwakili oleh agen kapal harus menyerahkan dokumen – dokumen yang terkait dengan muatan antara lain *manifest cargo, bill of lading* serta dokumen lainnya kepada otoritas Pelabuhan dan bea cukai *(customs).*
2. Persiapan peralatan bongkar muat
   Alat bongkar muat disiapkan sesuai kebutuhan dan jenis muatan yang akan dimuat atau dibongkar hal ini penting dilakukan agar tidak terjadi keterlambatan dan kerusakan muatan pada saat bongkar muat dilaksanakan. Selain itu lokasi penumpukan muatan dan gudang juga harus disiapkan agar muatan dapat

segera disimpan atau didistribusikan. Bagi awak kapal dan tenaga kerja bongkar muat juga harus dilengkapi dengan alat pelindung diri yang sesuai standar untuk menghindari terjadinya kecelakaan kerja.

3. Persiapan penyandaran kapal *(berthing)*
   Dermaga untuk tempat sandar kapal juga harus disiapkan, termasuk jasa pemanduan kapal *(pilot)* dan kapal tunda *(assist tug)* juga petugas yang akan menerima tali tambat di dermaga *(mooring man).*

8.2.3 Penanganan Muatan berukuran besar (*Project Cargo Handling*)

Jenis muatan pada kategori seperti ini dapat berupa barang – barang yang berukuran cukup besar dan berat dimana perlu penanganan khusus seperti bagian – bagian mesin industri, komponen turbin, bagian – bagian untuk konstruksi. Untuk penanganan jenis muatan ini memerlukan perencanaan yang benar – benar masak dan dapat diandalkan, perlu izin khusus dan membutuhkan peralatan bongkar muat yang memiliki daya angkut tinggi untuk menjamin keamanan dan keselamatan *(safe working load).*

Project cargo merupakan suatu istilah dalam proses distribusi transportasi domestik maupun Internasional yang mencakup pengiriman barang atau peralatan yang dibutuhkan pada sebuah proyek seperti proyek energi baru dan terbarukan, pembangkit listrik, kedirgantaraan atau pesawat terbang, pertahanan nasional, pertambangan, petrokimia, mega konstruksi hingga proyek permesinan atau *engineering*. Oleh karena barang yang dikirim merupakan barang yang sangat penting maka penanganan proses distribusinya harus dilakukan denga naman, efektif dan efisien jangan sampai terjadi kesalahan karena pasti akan mengganggu pekerjaan proyek tersebut.

Penanganan muatan berukuran besar *(project cargo handling)* merupakan proses kegiatan logistik khusus yang dilakukan untuk mengirim barang yang berukuran besar dan memiliki bobot yang ekstrem *(oversize and overweight).*

Muatan tersebut memerlukan perencanaan yang matang serta perizinan yang ketat agar barang tersebut dapat dikirim dan tiba dengan aman, efektif dan efisien. Karena ukurannya yang besar dan berat maka diperlukan peralatan angkut yang memiliki kapasitas besar dan khusus, serta pengamanan rute yang dilalui baik dari Lokasi awal menuju ke dermaga hingga ke Lokasi tujuan. Harus memenuhi semua prosedur dan kelengkapan dokumen yang diperlukan hingga teknis pelaksanaannya.

Dalam menangani *projects and heavy lift cargo* dilakukan secara khusus untuk pengiriman barang yang berukuran cukup besar, berat dan memiliki dimensi bentuk yang tidak biasa. Jenis muatan ini mencakup peralatan industri, komponen suku cadang mesin besar, infrastruktur konstruksi serta barang khusus lainnya yang sangat membutuhkan perhatian ekstra dalam pengangkutan, tim ahli yang berpengalaman dan peralatan khusus mulai dari perencanaan hingga pelaksanaan hingga ke tempat tujuan.

Peralatan yang digunakan untuk menangani muatan berat harus memiliki teknologi canggih termasuk dok alternatif untuk memuat dan membongkar muatan, crane khusus dan kendaraan pengangkut yang dirancang untuk menangani beban yang berat.

Terdapat *Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing (CSS) wage and Securing (CSS)* yang memberikan pedoman tentang cara Menyusun, mengamankan dan mengikat muatan agar tetap stabil selama pelayaran (Slamet et al., 2025 : 12).

Selain itu hal yang harus diperhatikan Adalah pengemasan dan penanganan khusus untuk muatan berat harus dipastikan dilakukan dengan aman dan terlindungi dari

kerusakan selama proses pengangkuan menggunakan palet khusus, pengikatan dan pengamanan tambahan untuk melindungi muatan.

Proses penanganan barang berat diatur sesuai pedoman keselamatan untuk melindungi kapal dan muatan. Meliputi kewajiban nakhoda, penggunaan alat bongkar muat yang tersertifikasi hingga perhitungan stabilitas kapal, pengikatan dan pengamanan muatan.

Dalam industri maritim peralatan penanganan muatan berperan penting dalam proses bongkar muat barang di kapal. Alat ini dirancang untuk mengangkat berbagai jenis muatan secara aman dan efisien.



Gambar 8. 5. Muatan berukuran besar

Sumber : https://tba.group/insights/whitepapers/tos-break-bulk-general-cargo-finding-sweet-spot

Sebelum barang berat dimuat di kapal, mualim satu harus melakukan penghitungan stabilitas agar kapal tetap seimbang, tidak miring, tidak *hagging / sagging*, dan memiliki sarat kapal yang aman selama pelayaran. Derek kapal yang akan digunakan atau *floating crane* harus bersertikat yang masih berlaku *(valid)* dari badan klasifikasi yang diakui.

Berikut ini merupakan jenis peralatan penanganan muatan yaitu :

1. Derek Kapal *(ship's crane)*
2. Batang Pemuat *(derrick boom)*
3. *Forklift*
4. *Conveyor Belt*
5. *Sling* dan *Webbing Sling*
6. Jaring muatan *(cargo net)*
7. *Grabs*
8. Kait dan pengait *(hook and shackles)*
9. *Pallet*
10. *Container spreader*

Muatan berat tersebut harus diikat dengan kuat atau dilas jika menggunakan struktur baja sesuai dengan buku pedoman *cargo securing manual* yang disetujui untuk mencegah pergeseran saat kapal oleng akibat pengaruh cuaca. Nakhoda bertanggung jawab penuh terhadap keselamatan kapal dan muatan dalam pelayaran.

Kelengkapan dokumen yang harus disyahkan oleh otoritas berwenang dan bea cukai sebelum kapal berlayar yaitu :

1. Daftar rincian muatan *(cargo manifest)*
2. Rencana pemuatan *(stowage plan)*
3. Surat keterangan berat muatan *(weight certificate)* agar barang yang akan diangkat tidak melampaui kapasitas daya angkut derek *(safe working load)*

Cargo stowage and securing code CSS Code memberikan standar teknis tentang metode pengikatan dan penggunaan perlengkapan pengamanan seperti ranti, sling baja, *dunnage* atau bantalan. Perlengkapan bantalan muatan *(dunnage)* digunakan untuk dapat melindungi muatan dari benturan serta pergesekan dan pergeseran. Bahan yang digunakan pada umumnya adalah kayu, karet atau bahan lainnya yang diletakkan dibagian bawah dan di sekitar muatan untuk dapat

meredam guncangan yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan muatan.

Metode lain yang digunakan untuk mencegah kerusakan muatan ialah penopang muatan *(shoring)* yang bertujuan agar barang berat yang dimuat tetap dalam posisi tertentu terutama untuk barang yang bentuknya tidak beraturan, sehingga tidak terguling, bergeser atau berpindah tempat. Bahan yang digunakan untuk *shoring* biasanya kayu atau logam sebagai penopang.

Metode pengamanan tambahan *(securing)* juga dapat dilakukan agar dapat memberikan perlindungan tambahan menggunakan *bracing* atau struktur tambahan untuk mencegah pergerakan muatan yang dapat mengganggu stabilitas kapal dan membahayakan bagi awak kapal. *Securing* bisa berupa pagar pembatas di sekeliling muatan atau sistem penguncian menggunakan alat pengencang (*turn buckle).*

Dengan menerapkan sistem pengamanan *(securing)* yang baik maka dapat mengurangi resiko kecelakaan kapal akibat pergeseran dan benturan muatan. Kombinasi yang dilakukan dalam penanganan muatan berat menggunakan metode *lashing, dunnage, shoring* dan *securing* akan memastikan posisi muatan akan tetap stabil selama pelayaran dan keselamatan kapal dapat tetap terjaga hingga tiba di Pelabuhan tujuan.

Kesalahan dalam mengatur, mengamankan dan mengikat muatan akan mengakibatkan terjadi kecelakaan kapal yang akan berdampak bagi keselamatan kapal, awak kapal, muatan dan lingkungan laut disekitarnya yang disebabkan karena pergeseran muatan *(shifting cargo)*. Jika beban muatan tidak terbagi dengan dengan baik maka bagian geladak kapal dan dinding kapal akan mengalami tekanan yang berlebihan berpotensi terjadi retakan, deformasi, lengkungan hingga kebocoran lambung kapal.



Gambar 8. 6. Muatan steel coil pada *lower deck*

Sumber : https://www.alamy.com/stock-photo-stowage steel-coil-in-hold-of-vessel 143171401.html?imageid=29765FC7-F4D54626-A742-D5CA347A8671

Untuk menjamin stabilitas kapal tetap terjaga dengan baik seharusnya muatan berat ditempatkan dibagian bawah kapal *(lower deck).* Karena dengan menempatkan muatan berat pada bagian bawah kapal maka titik berat kapal akan berada di bawah titik metacentris kapal sehingga stabilitas kapal atau GM positif. Selain itu pembagian distribusi muatan berat yang merata sesuai dengan kapasitas muat geladak *(deck load capacity)* sangat penting untuk mencegah kapal menjadi miring *(listing).* Hal ini juga dapat menghindari terjadinya trim yang berlebihan yang akan mengurangi efisiensi hidrodinamis kapal, menyebabkan kapal sulit diolah Gerak, mengurangi kecepatan dan menambah konsumsi bahan bakar.

8.2.4 Penanganan Muatan berbahaya *(Dangerous Cargo Handling)*

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 16 Tahun 2021 tentang Tata cara penanganan dan pengangkutan barang berbahaya di Pelabuhan pada pasal 1 ayat (3) dijelaskan bahwa penanganan barang berbahaya adalah semua kegiatan yang berkaitan dengan penumpukan, bongkar muat, termasuk pengujian dan pengendalian kemasan barang berbahaya

International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code adalah peraturan internasional yang ditetapkan oleh *International Maritim Organization (IMO)* untuk memastikan keselamatan dalam pengangkutan muatan berbayaha melalui laut (Slamet et al., 2025 : 33).

Pada kategori jenis muatan tersebut dikelaskan menjadi 9 kelas muatan berbahaya yang diatur dalam *International Maritime Dangerous Goods (IMDG Code).* Muatan – muatan berbahaya memiliki resiko meledak, terbakar, beracun dan merusak. Oleh karena itu diperlukan sertifikasi dan penanganan yang spesifik sesuai standar internasional agar keselamatan pelayaran dapat terjamin. Barang berbahaya diklasifikasikan menjadi sembilan kelas berdasarkan karakteristiknya. Untuk setiap kelas pada daftar tersebut juga menunjukkan jumlah yang dikecualikan.

Jika jumlah barang berbahaya melebihi jumlah ini maka diperlukan izin penyimpanan.

Class 1. ***Explosives*** (bahan peledak)
Contoh : mesiu, detonator, kembang api

Class 2. ***Gases*** (gas)
Contoh : gas beracun, oksigen, *LPG*

Class 3. ***Flammable liquids*** (cairan mudah terbakar)
Contoh : bensin, solar, avtur, aseton

Class 4. ***Flammable solids*** (zat padat mudah terbakar)
Contoh : sulfur, Batubara, korek api

Class 5. ***Oxidising agents and organic peroxides*** (zat pengosidasi dan peroksida organic)
Contoh : amonium nitrat, pemutih
Class 6. ***Poisonous*** *(toxic) and infectious substances* (Zat beracun toksik dan infeksius)
Contoh : pestisida, limbah medis
Class 7. ***Radioactive substances*** (zat raioaktif)
Contoh : uranium, isotop untuk keperluan medis
Class 8. ***Corrosives substances*** (zat korosif)
Contoh : asam sulfat, soda api
Class 9. ***Miscellaneous dangerous substances*** (berbagai zat berbayaha lainnya)
Contoh : baterai litium, *dry ice,* kendaraan

Penanganan muatan berbahaya diatur secara internasional pada *International Maritime Dangerous Code (IMDG Code)* yang merupakan standar global wajib yang ditetapkan oleh *International Maritime Organization* untuk mengatur pengangkutan barang berbahaya melalui jalur laut yang mulai diberlakukan sejak tahun 2004. Setiap barang berbahaya wajib memiliki kode identifikasi PBB (*UN Number)* dan disertai dokumen *DGD (Dangerous Goods Declaration), packing certificate* serta *MSDS (Material Data Safety Sheet).*

Barang berbahaya dikelaskan sesuai dengan kategori Tingkat bahayanya sesuai dengan *International Maritime Dangerous Goods* harus menggunakan kemasan memenuhi ketentuan spesifikasi dan pengujian. Pengujiaan yang dilakukan terdiri dari pengujian awal *(performance test)* dan pengujian berkala *(frequency test)*.

Pengujian awal Adalah pengujian yang dilakukan pada kemasan baru, rekondisi atau kemasan yang baru dilakukan modifikasi sebelum kemasan tersebut digunakan. Sedangkan pengujian berkala hanya untuk kemasan yang dilakukan

pengujian secara berkala sesuai ketentuan *IMDG Code* dan perubahannya.

Kemasan barang berbahaya tersebut harus mendapatkan pengesahan dari otoritas berwenang yaitu Syahbandar sesuai Surat Edaran Direktur Jenderal Perhubungan Laut nomor : SE-DJPL 13 Tahun 2022 tentang Pelaksanaan Kewenangan Syahbandar dalam penanganan dan pengangkutan Barang Berbahaya di Pelabuhan.

Syahbandar sebagai otoritas berwenang memiliki kewenangan dalam melakukan persetujuan, pengawasan dan evaluasi terhadap barang berbahaya yang meliputi :

1. Standar operasional prosedur pengemasan, penandaan dan pelabelan barang berbayaha dari otoritas yang berwenang
2. Standar operasional penanganan dan pengangkutan barang berbahaya di Pelabuhan
3. Tempat penumpukan barang berbahaya di Pelabuhan
4. Penyelenggaraan pelatihan penanganan dan pengangkutan barang berbahaya
5. Pengakuan laboratorium uji kemasan barang berbahaya
6. Tenaga kerja yang memiliki kompetensi penanganan dan pengangkutan barang berbahaya di Pelabuhan
7. Penetapan klasifikasi barang berbahaya tidak terdaftar bersifat sementara dari otoritas yang berwenang
8. Pengecualian dan pembebasan barang berbahaya dari otoritas yang berwenang
9. Rekomendasi barang berbahaya yang tidak terdaftar dari otoritas yang berwenang
10. Persetujuan bongkar muat barang berbahaya yang terdaftar dan barang berbahaya yang tidak terdaftar
11. Pemeriksaan pengawasan kapal pengangkut barang berbahaya

Kemasan barang berbahaya terdiri dari :

1. Kemasan konvensional *(conventional packaging)*
2. Kemasan besar *(large packaging)*
3. Kemasan portable, kau atau fleksibel
4. Tangki *(tanks)*
5. Peti kemas curah *(bulk container)*

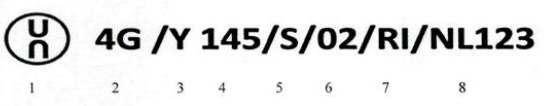
Pada pengangkutan barang berbahaya melalui laut, penandaan *(marking)*, pelabelan *(labelling*). Dan penyimpanan *(storage)* merupakan aspek krusial yang diatur oleh *International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code* dan berbagai peraturan Internasional lainnya. Tujuan utama dari sistem ini adalah memastikan bahwa barang berbahaya dapat diidentifikasi dengan jelas, ditangani dengan benar, serta disimpan dengan aman untuk mencegah kecelakaan seperti kebakaran, ledakan atau pencemaran lingkungan (Slamet et al., 2025 : 41)

Setiap kemasan barang berbahaya yang telah mendapatkan pengesahan harus mencantumkan Tanda Nomor PBB *(United Nation Number)* yang letaknya disesuaikan dengan ukuran kemasan sehingga terlihat dengan jelas.

Kemasan barang berbahaya harus lulus pengujian dari laboratorium uji kemasan dan mengajukan permohonan kepada otoritas yang berwenang dan diverifikasi terlebih dahulu untuk memperoleh pencantuman tanda nomor PBB. Tanda nomor PBB berlaku selama 2 (dua) tahun.

Tujuan utama penandaan adalah memastikan bahwa barang berbahaya dapat dikenali dengan mudah, baik oleh pekerja, pihak keamanan maupun petugas darurat, sehingga resiko kecelakaan dapat diminimalkan (Slamet et al., 2025 : 41).

Contoh tanda nomor PBB :



Keterangan :

1 = *United Nation Number* (nomor UN/PBB)

2 = nomor tipe kemasan (4G untuk *freeboard box)*
Untuk tipe kemasan lain dapat dilihat nomornya yang terdapat dalam *IMDG Code*

3 = kelompok kemasan / PG (*Packaging Group)*
X untuk PG 1
Y untuk PG 2
Z untuk PG 3

4 = apabila kemasan untuk padatan atau digunakan sebagai *outer packaging* maka diisi dengan berat kotor maksimum dalam kilogram (Kg) seperti contoh tersebut diatas diketahui berat kotornya Adalah 145 kilogram

Apabila kemasan cairan angka maka angka ini berisi berat jenis misalnya : 1A1/Y 1,4/200/02/RI/NL123, untuk untuk nomor PBB tersebut diketahui berat jenisnya adalah 1,4

5 = menyatakan padatan atau ada inner *packaging* didalamnya dinyatakan dengan "S", namun bila kemasan untuk cairan maka bagian ini diisi dengan jilai uji tekanan hidrolis dalam satuan kPa yang dibulatkan kebawah ke nilai mendekati 10 kPa

6 = dua digit terakhir tahun pembuatan

7 = nomor negara yang melakukan otorisasi yang diambil dari nomor negara internasional

8 = nomor identifikasi atau nomor pabrik pembuat kemasan

Barang berbahaya yang akan dimuat ke kapal atau barang yang sudah dibongkar dari kapal dapat disimpan pada tempat penumpukan / penyimpanan barang berbahaya di Pelabuhan terpisah dari muatan lain, kecuali barang berbahaya kelas 1 dan kelas 7.

Setiap kemasan barang berbahaya harus diberi tanda label tertentu, dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Mudah terlihat dan terbaca
2. Dapat terbaca jika kemasan tersebut terendam air laut minimal 3 bulan
3. Ditempatkan pada latar belakang warna yang mencolok
4. Tidak terhalang dan tertumpuk oleh tanda yang lainnya
5. Ditempatkan di kedua sisi muka dan belakang
6. Bentuk tanda tertentu dan label sesuai klasifikasi dalam ketentuan *IMDG Code* besera perubahannya.
7. Barang berbahaya yang diangkut dengan jumlah terbatas harus diberikan tanda tertentu berupa kata "*limited quantity".*

Pemilik kapal atau operator kapal dan agen Perusahaan angkutan laut nasional yang mengangkut barang berbahaya harus dapat menyampaikan pemberitahuan kepada syahbandar sebelum kapal yang akan mengangkut barang berbahaya tiba di Pelabuhan berupa informasi barang berbahaya apa yang dimuat di kapal paling lambat 1 x 24 jam sebelaum kapal tiba di Pelabuhan dengan melampirkan dokumen – dokumen antara lain :

a. Lembar data keselamatan bahan yang berisi informasi tentang :
    1. Nomor UN
    2. Nama pengapalan
    3. Klasifikasi bahaya fisik, Kesehatan, lingkungan atau manifes limbah

b. Dokumen menifes barang berbahaya sesuai *facilitation convention / convention on facilitation of International Maritime Traffic*
c. Formulir pengangkutan barang berbahaya *(multimoda dangerous goods form)*
d. Sertifikat kemasan peti kemas *(container packing certificate)* dalam hal barang berbahaya dimuat didalam peti kemas atau diatas kendaraan yang disahkan oleh otoritas yang berwenang.
e. Informasi prosedur penanganan keadaan darurat selama pengiriman dan mencantumkan nomor kontak yang dapat dihubungi setiap saat.
f. *Approval document* barang berbahaya sesuai klasifikasi dari instansi yang berwenang
g. Dokumen persetujuan pembebasan *(exemption document)* jika ada

Nakhoda wajib mengikuti petunjuk mengenai pemisahan barang berbahaya sesuai ketentuan IMDG Code yaitu :

1. Dijauhkan dari *(away from)*
2. Dipisahkan dari *(separated from)*
3. Dipisahkan oleh compartment lengkap atau ruang dari *(separated by acomplete compartment or hold from)*
4. Dipisahkan secara memanjang oleh compartment lengkap atau ruang antara dari *(separated longitudinally by an intervening complete compartment or hold from)*

Selain itu nakhoda juga harus menyampaikan rencana pemuatan *(stowage plan)* kepada syahbandar sesuai ketentuan dalam *IMDG Code* untuk memperoleh persetujuan pemuatan. Persetujuan pemuatan tersebut akan diperoleh setelah dilakukan verifikasi dokumen oleh pejabat pemeriksa muatan berbahaya terhadap kesesuaian pemenuhan ketentuan dalam *IMDG Code* beserta perubahannya minimal 1

x 24 jam (satu kali duapuluh empat) jam sejak rencana pemuatan diterima.

Satu hal yang wajib diketahui oleh nakhoda yang kapalnya akan mengangkut muatan berbahaya yaitu kegiatan pemuatan dilarang dilaksanakan tanpa persetujuan dari syahbandar sebagai otoritas yang berwenang.

Bagi kapal yang mengangkut barang berbahaya dalam kemasan harus memenuhi persyaratan pemuatan dan pemisahan barang berbahaya sesuai dengan ketentuan dalam IMDG Code yaitu harus memiliki :

1. Persyaratan khusus untuk kapal yang mengangkut barang berbahaya *(document of compliance with the special requirement for ships carrying dangerous goods)* sesuai dengan peraturan *SOLAS (Safety of life at sea)* tahun 1974 *chapter II-2 Regulation 19.4*
2. Rencana pemuatan barang berbahaya
3. Petunjuk pemisahan barang berbahaya
4. Daftar pemeriksaan kapal untuk pemuatan barang berbahaya sesuai format pemeriksaan

Bagi pihak pengirim muatan barang berbahaya harus membuat standar operasional prosedur pengemasan, penandaan dan pelabelan barang berbahaya yang telah mendapatkan persetujuan dari otoritas yang berwenang sesuai ketentuan dalam *IMDG Code*. Persetujuan tersebut akan diberikan setelah pihak pengirim mengajukan permohonan sesuai format dan melampirkan dokumen – dokumen sebagai berikut :

1. Identitas lengkap Perusahaan
2. Pengesahasn tanda nomor PBB
3. Lembar data keselamatan bahan
4. Bentuk, ukuran, penempatan dan tulisan nama Perusahaan
5. Prosedur penanggulangan keadaan darurat yang diterapkan oleh Perusahaan tersebut.

Ketentuan lain yang harus diperhatikan oleh pemilik kapal, operator maupun Nakhoda yang memuat barang berbahaya yaitu :

1. Buku *IMDG Code* harus ada tersedia diatas kapal
2. Barang berbahaya yang mengalami kerusakan kemasan ataupun bocor tidak dimuat ke kapal
3. Kapal yang terkontaminasi barang berbahaya dilarang untuk dioperasikan sebelum ada penetapan dan petunjuk teknis keselamatan oleh otoritas yang berwenang
4. Jika terdapat kemasan yang telah dimuat dikapal mengalami kerusakan atau kebocoran maka nakhoda wajib melakukan Tindakan penanggulangan sesuai ketentuan dalam *IMDG Code*
5. Nakhoda wajib melakukan pengawasan kegiatan pemuatan barang berbahaya sesuai *document of compliance with the special requirement for ships carrying dangerous goods* yang dimiliki
6. Peralatan dan bahan – bahan untuk penanggulangan kerusakan atau kebocoran kemasan barang berbahaya harus tersedia di kapal

Bagi nakhoda yang tidak memenuhi dan melanggar ketentuan tersebut maka akan diberikan sanksi administrative berupa peringatan tertulis dan pembekuan sementara ijazah keahlian pelaut dan sertifikat keterampilannya.

8.2.5 Penanganan Muatan berpendingin *(reefer cargo)*

Yang dimaksud dengan penanganan muatan berpendingin yaitu proses pemuatan, pengawasan dan pembongkaran muatan yang mudah rusak akibat ketidaksesuaian pengaturan temperatur seperti daging, ikan, makanan segar dan obat – obatan yang memerlukan

temperature konstan. Penanganan ini dilakukan agar dapat mencegah terjadinya kerusakan muatan serta menjaga nilai ekonomis hingga tiba di Pelabuhan tujuan.

Muatan dingin ialah jenis muatan yang memiliki temperature antara -1^0 hingga -5^0. Jenis muatan seperti ini memerlukan pengaturan suhu yang stabil sesuai dengan jenis muatan didalamnya untuk dapat mempertahankan tingkat kesegaran dan kualitasnya selama dalam pengiriman.

Dengan mempertahankan temperaturnya maka dapat menghambat aktivitas mikroorganisme maupun proses kimia yang dapat merusak muatan dan menjadi lebih tahan lama.

Jenis barang yang diangkut antara lain produk makan olahan *(frozen food),* daging *(meat)*, buah – buahan *(fruits)* dan sebagainya.

Muatan dingin *(reefer cargo)* digolongkan dalam menjadi tiga yaitu :

1. **Muatan Beku *(Frozen cargo)***
   Golongan jenis muatan beku ini diangkut oleh kapal peti kemas dalam kondisi beku dan keras dengan temperature hingga -18^0 *celcius* hal ini dilakukan agar terhindar dari pertumbuhan bakteri atau mikro organisme yang dapat merusak muatan tersebut. Jenis peti kemas yang digunakan adalah tipe peti kemas pendingin *(refrigerated container)* dirancang khusus dan harus dipastikan tidak ada kebocoran untuk itu pada bagian dinding dan langit – langit peti kemas diberikan lapisan yang dapat meredam panas dari luar seperti bahan dari *wol, fiberglass* atau *foam*.
   Hal ini dilakukan untuk menjaga barang tetap segar atau beku selama proses logistik berlangsung maupun selama pelayaran hingga tiba di Pelabuhan tujuan.

2. Muatan Segar *(Chilled cargo)*

Muatan segar adalah jenis muatan yang mudah rusak oleh karena itu muatan ini harus segera disimpan serta dikirimkan dalam suhu rendah dan harus terjaga kestabilan temperaturnya, namun tetap berada diatas titik beku. Kisaran temperature yang sesuai untuk muatan jenis ini biasanya berada diantara -2^0 *celcius* hingga -6^0 *celcius* agar kualitas kesegarannya tetap terjaga hingga sampai diterima oleh konsumen.

Jenis barang yang termasuk kategori muatan segar antara lain buah – buahan segar, sayuran, bunga, daging segar, ikan segar, susu serta produk olahan susu seperti keju mentega, *yogurt* dan sebagainya.

Agar dapat menjamin kualitas dan mencegah terjadinya pembusukan pada saat proses logistik, maka muatan segar tersebut memerlukan peralatan khusus seperti peti kemas berpendingin *(regrigerated container)* dan dikapalkan dengan kapal khusus jenis kapal berpendingin *(reefer ship)* dimana kapal tersebut dilengkapi dengan sistem pengaturan temperature yang spesifik dan akurat.

3. Muatan Bertemperatur Teratur (Temperature regulated cargo)

Muatan bertemperatur teratur ialah jenis muatan yang memiliki karakteristik yang sensitif terhadap perubahan temperature dan mudah rusak. Oleh karena itu harus ditangani dengan sangat hati – hati terutama pada saat transit disepanjang ranti pasok.

Peralatan yang digunakan untuk mengangkutnya antar lain :

- Peti kemas berpendingin *(reefer container)*
- Truk kotak perpendingin *(reefer truck)*
- Fasilitas Gudang berpendingin *(cold storage)*

Hal ini sangat penting dilakukan untuk mencegah kerugian dan pemborosan serta untuk memastikan bahwa barang yang akan diterima konsumen akan terjaga kualitas dan dalam kondisi yang layak pakai.

Salah satu tantangan terberat dalam mengelola muatan kapal yaitu bagaimana memastikan keamanan dan menjaga kualitas barang selama dalam pelayaran. Kapal – kapal modern sudah dilengkapi dengan sistem ventilasi, pemantauan temperatur bahkan sudah dilengkapi dengan pendeteksi Tingkat kelembaban ruangan muat. Hal itu dilakukan untuk meminimalkan resiko kerusakan muatan. Para awak kapal juga dilatih untuk dapat menangani setiap kategori muatan sesuai dengan prosedur.

Berikut ini Adalah prosedur standar yang harus dilakukan dalam menangani muatan berpendingin *(reefer cargo),* yaitu :

1. Persiapan sebelum pemuatan *(preparation before loading)*
   - Pembersihan ruang muat
     Pembersihan ruang muat dilakukan untuk dapat memastikan bahwa ruang muat bersih dari kotoran dan sisa – sisa muatan sebelumnya. Selain itu untuk menghilangkan baru dan aroma yang menyengat dan dapat merusak kualitas muatan.

   - Pengecekan sistem alat pendingin
     Pengecekan sistem alat pendingin dilakukan untuk dapat memastikan bahwa temperatur dan sirkulasi udara pada ruang muat berfungsi dengan baik sebelum dimasukkan muatan.

2. Pelaksanaan proses pemuatan *(stowage cargo)*
   - Pengecekan kondisi fisik muatan dan temperature.
     Mengecek temperature muatan sebelum dimuat dan memeriksa kondisi kemasan. Temperatur muatan tidak boleh melebihi atau kurang dari batas toleransi yang telah ditentukan untuk mencegah terjadinya kerusakan muatan.
   - Pengaturan letak muatan dan pemberian batas (dunnage)
     Agar sirkulasi udara dingin dapat dengan lancar mengalir ke seluruh tumpukan muatan maka perlu diberikan penerapan (dunnage) pada setiap kemasan muatan untuk memastikan ada celah diantara muatan.
   - Mengontrol temperatur udara (Controlling air temperature)
     Lakukan kontrol temperatur secara berkala selama proses pemuatan berjalan, pastikan tidak terjadi perubahan suhu udara sesuai batas toleransi agar muatan tidak rusak pada saat proses pemuatan.

3. Perawatan selama dalam pelayaran *(maintenance during shipping)*
   - Pemeriksaan muatan secara berkala (periodic cargo inspection)
     Lakukan pemeriksaan muatan secara rutin dengan mengecek instrument mesin pendingin pada periode tertentu untuk memastikan temperaturnya normal dan dicatat pada buku jurnal pengecekan muatan.
     - Pengecekan sistem pembuangan air *(checking dranaige water system).*
       Pastikan bahwa semua sistem saluran pembuangan air pada ruang muat lancar dan tidak terjadi penyumbatan yang dapat merusak muatan

4. Pelaksanaan bongkar muatan *(unloading cargo)*
   Pada saat proses bongkar muatan pastikan kondisi temperatur ruang muat tetap sesuai standar seblum pintu ruang muat dibuka. Selain itu dalam melakukan proses bongkar muatan juga harus dilakukan dengan cepat dan sistematis agar muatan tidak terlalu lama terkena suhu udara luar yang berbeda temperaturnya.

8.2.6 Penanganan muatan kendaraan

Muatan kendaraan diangkut dengan kapal *Ro-RO (Roll-on Roll-of)* yaitu proses logistik pengiriman kendaraan seperti mobil, motor, truk, bus, sampai alat berat yang dapat masuk dan keluar dari geladak kapal dengan dikendarai sendiri melalui akses *ramp door.* Selain menggunakan kapal *R0-Ro,* kapal feri *(ferry vessel)*, atau kapal *LCT (Landing Craft Tank vessel),* pengangkutan kendaraan juga dapat dimasukkan kedalam peti kemas dan diangkut menggunakan kapal peti kemas *(Container vessels)*.

Untuk mengirim kendaraan melalui jalur laut dari satu Pelabuhan ke Pelabuhan tujuan dapat menggunakan kapal khusus yang didesain untuk mengangkut kendaraan antara lain :

1. Kapal RORO *(Roll-on Roll-off vessels)*
   Kapal yang dirancang secara spesifik dengan pintu rampa *(ramp door)* pada bagian Haluan, buritan atau pada lambung kapal sehingga memungkinkan kendaraan dapat dikemudikan langsung untuk masuk atau keluar lambung kapal menuju geladak kendaraan *(car deck)* atau ke dermaga saat kapal tiba dan sandar di Pelabuhan.

2. Kapal Feri *(Ferry vessels)*
   Pada umumnya kapal ini digunakan untuk penyeberangan antar pulau dengan jarak yang relative dekat mengangkut kendaraan beserta penumpangnya.

3. Kapal Peti Kemas *(Container vessels)*
   Kendaraan yang diangkut menggunakna kapal peti kemas dilakukan dengan cara memasukkan *(stuffing)* kendaraan kedalam peti kemas khusus berukuran 20 kaki atau 40 kaki terlebih dahulu kemudian peti kemas tersebut diangkat keatas kapal menggunakan derek *(derrick / crane)*.

4. Kapal *LCT (Landing Craft Tank)*
   Kapal ini didesain secara khusu untuk dapat mengangkut alat berat, kendaran, mesin industri dan material konstruksi. Dengan draft yang tidak terlalu dalam maka kapal ini sangat cocok untuk dapat menjangkau daerah terpencil dan memasuki alur pelayaran pedalaman.

Tarif dan penanganan muatan kendaraan pada umumnya dikelompokkan sesuai ukuran dan tipe kendaraan. Berdasarkan panduan standar penyeberangan seperti Angkutan Sungai Danau dan Penyeberangan (ASDP) maka kendaraan dikelompokkan sesuai golongan sebagai berikut :

1. Golongan I, II dan III
   Terdiri dari Sepeda, sepeda motor dan kendaraan roda tiga
2. Golongan IV, V dan VI
   Mobil pribadi, mobil *pick up,* minibus dan kendaraan barang dengan dua sumbu roda (truk dan bus)
3. Golongan VII, VIII dan IX

Kendaraan muatan berat seperti truk tronton, trailer dan alat – alat berat *(excavator, crane).*

Jika akan mengirimkan kendaraan melalui jalur laut menggunakan kapal harus memenuhi dokumen dan persiapan fisik yang harus dsiapkan antara lain :

1. Legalitas kendaraan
   Untuk melengkapi legalitas kendaraan yang akan dikirim maka harus melampirkan Surat Tanda Nomor Kendaraan (STNK) dan fotocopy Buku Pemilik Kendaraan Bermotor (BPKB) serta dapat menunjukkan aslinya untuk verifikasi kepemilikan dan pajak kendaran.

2. Identitas pengirim
   Melampirkan foto copy Kartu Tanda Penduduk (KTP) pemilik kendaran dan / atau pengirim kendaraan.

3. Pengecekan bahan bakar
   Bahan bakar yang ada didalam tangki kendaraan sebaiknya hanya untuk digunakan naik dan turun dari kapal saja, karena beresiko terjadi hal – hal membahayakan seperti kebakaran, efek permukaan bebas pada tangki *(free surface effect)* yang berpengaruh pada stabilitas kapal. Tangki bahan bakar dipastikan tidak terjadi kebocoran pada saat pengangkutan di kapal.

4. Pelepasan aksesori
   Jika aksesoris kendaraan terdapat aksesoris atau peralatan yang berharga sebaiknya dilepas agar terhindar dari kejahatan pencurian onderdil kendaraan.

Dalam menangani muatan kendaraan pada kapal *RoRo* maka diperlukan prosedur keselamatan yang tepat. Harus dilakukan penimbangan dan verifikasi dokumen sebelum dimuat, dilakukan pengaturan letak kendaraan yang presisi dan sistematis, dilakukan pengikatan dan pengamanan *(lashing and securing)* yang kuat pada bagian casis agar tidak terjadi perubahan dan pergeseran posisi kendaraan akibat cuaca dan ombak di laut.

Lashing adalah proses pengikatan atau pemasangan sistem pengaman untuk muat di kapal *RoRo (Roll-on/Roll-off).* Tujuan utama dari pengaman muatan dengan *lashing* di kapal RoRo adalah untuk memastikan keamanan dan stabilitas muatan selama pengangkutan laut. Hal ini dilakukan untuk mencegah pergeseran atau kerusakan muatan selama perjalanan laut yang dapat mengancam keselamatan kapal, kru dan muatan itu sendiri (Wardhana., 2024:1).

Adapun tahapan – tahapan yang perlu dilakukan yaitu:

1. Penimbangan dan verifikasi

   Sebelum kendaraan memasuki kapal harus dipastikan bahwa kendaraan telah ditimbang dan dilengkapi dengan data terkini dan sesuai terkait tipe kendaraan, dimensi kendaraan dan berat kotor kendaraan. Data ini sangat penting agar dapat menjaga stabilitas kapal selama pelayaran hingga tiba di Pelabuhan tujuan.

2. Pengaturan letak kendaraan di geladak *(stowage)*

   Letak kendaraan di geladak harus diatur secara tepat, presisi dan sistematis, Kendaraan mana yang harus dimuat terlebih dahulu dan kendaraan mana yang akan dibongkar lebih dahulu di Pelabuhan tujuan, jangan sampai ada yang terhalang dan terhambat oleh kendaraan lainnya.

Perhatikan jarak antara pintu rampa *(ramp door)* dengan posisi kendaraan yang dimuat, jangan sampai mengganggu operasional pintu rampa.
Jarak antar kendaraan juga harus dijaga agar memudahkan proses pengikatan dan pengamanan *(lashing and securing)* termasuk lintas evakuasi jika terjadi keadaan darurat.

3. Pengikatan dan pengamanan *(lashing and securing)*

   Dalam melakukan pengikatan dan pengamanan harus dilakukan dengan cermat dan hati – hati jangan sampai terjadi kesalahan dan keteledoran untuk mencegah perubahan letak kendaraan, bergeser atau bertabrakan akibat ombak, olengan kapal ataupun cuaca buruk.

   Hal – hal yang harus diperhatikan antara lain :

- Untuk mengikat kendaraan sebaiknya gunakan tali khusus, rantai atau pengencang *(turnbuckle)* pada titik – titik di geladak kapal.
- Gunakan rem tangan pada setiap kendaraan, posisikan persnelling pada transmisi 1 (gigi 1) untuk kendaraan manual, sedangkan pada kendaraan matik *(automatic transmission)* letakkan pada posisi P.
- Jangan lupa untuk diberikan ganjal pasak pada setiap roda kendaraan agar tidak dapat bergerak.

   Tujuan utama dari pengikatan dan pengaman muatan di kapal *RoRo* untuk memastikan keamanan dan keseimbangan kapal selama pelayaran. Tindakan ini dilakukan untuk mencegah terjadinya pergerakan atau pergeseran kendaraan yang dapat mengakibatkan benturan dan kerusakan muatan maupun kerusakan kapal. Fungsi utama *lashing* yaitu untuk mengikat

muatan dengan bagian kapal agar menjadi satu kesatuan dengan kapal. Jika *lashing*-an kurang kuat maka bisa kendor, lepas bahkan putus akibat Gerakan olengan *(rolling)* atau anggukan *(pitching)* kapal karena cuaca buruk yang dapat mengakibatkan kendaraan akan bergerak, bergeser dan berpindah tempat bahkan berbenturan dengan kendaraan lain atau dengan dinding kapal.



Gambar 8. 7. Pengamanan dan pengikatan kendaraan

Sumber :
http://eprints.pipmakassar.ac.id/827/1/KIT%20MUH%20ARYWARDHANA.pdf

4. Tindakan khusus bagi jenis kendaraan Listrik *(Electric Vehicle)*

   Untuk mencegah resiko yang terjadi pada kendaraan Listrik maka letak parkirnya di geladak harus dilengkapi dengan sisem drainase serta dipasang pompa yang sesuai dengan standar keselamatan maritim.

Demikianlah cara penanganan muatan khusus dan selama pelayaran agar muatan dapat dimuat dengan aman hingga tiba di Pelabuhan tujuan secara aman, efektif dan efisien, dengan memperhatikan prinsip – prinsip pemuatan dan memenuhi ketentuan serta peraturan yang berlaku baik peraturan nasional maupun peraturan internasional.

DAFTAR PUSTAKA

Antoni Arif Priadi, 2020, Dasar-dasar Penanganan dan Pengaturan Muatan Kapal Niaga, Semarang, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang

Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 16 Tahun 2021 tentang Tata cara penanganan dan pengangkutan barang berbahaya di Pelabuhan

Slamet Riyadi, Dian Erliyani, 2025, Penanganan dan Pengaturan Muatan Kapal, Prinsip, keselamatan, dan Teknik Operasional, Medan, PT. Media Penerbit Indonesia

https://afrotransmaritim.co.id/jenis-jenis-muatan-kapal dalam-dunia-logistik/

https://kontainerindonesia.co.id/blog/komponen-reefer-container/

http://eprints.pipmakassar.ac.id/827/1/KIT%20MUH%20ARYWARDHANA.pdf

https://depositphotos.com/id/photos/dry-bulk-carrier.html

https://tba.group/insights/whitepapers/tos-break-bulk-general-cargo-finding-sweet-spot

https://www.kapaldanlogistik.com/2025/09/penanganan-stowage-dan-pembawaan-bulk-cargo.html#google_vignette

https://www.antarafoto.com/id/view/1879890/bongkar-muat-beras-di-pelabuhan-tanjung-perak-surabaya

https://www.alamy.com/stock-photo-stowage-steel-coil-in-hold-of-vessel-143171401.html?imageid=29765FC7-F4D5-4626-A742-D5CA347A8671&pn=1&searchId=9627b33229eb5c6b167e74db2fa54ab8&searchtype=9

https://blogger.googleusercontent.com/img/b/R29vZ2xl/AVvXsEiDfQ8ZqErdyuhQN_iq4Oxg8feIMUQtH2p-aSWFvEm6lD37llbhLxxs1kGXyhi2NQuWOqvjWyvrqo5YBRQ9F-vpLzhSxC214wkfQNr3IbBViNj7f7ngNQQ90xSTGmfGDQ29DjtS1PmmN60/s691/Konstruksi+kapal+curah.png

BIODATA PENULIS



Rahmatang, S.Pi., M.Si
Dosen Program Studi Teknik Penangkapan Ikan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone

Penulis lahir di Bone, Sulawesi Selatan, pada 31 Desember 1991. Saat ini aktif sebagai dosen tetap pada Program Studi Teknik Penangkapan Ikan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone. Pendidikan Sarjana (S1) diselesaikan di Universitas Hasanuddin pada Program Studi Pemanfaatan Sumber Daya Perikanan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan. Selanjutnya, penulis menyelesaikan pendidikan Magister (S2) pada Program Studi Ilmu Perikanan, Universitas Hasanuddin, dengan fokus kajian pada bidang Penanganan dan Pengolahan Hasil Perikanan.

Dalam menjalankan Tri Dharma Perguruan Tinggi, penulis aktif melaksanakan kegiatan pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat. Bidang keilmuan yang ditekuni meliputi penanganan dan penyimpanan hasil tangkapan, mutu hasil perikanan, serta teknologi pascapanen perikanan. Penulis juga aktif menghasilkan publikasi ilmiah pada jurnal nasional maupun internasional, serta terlibat dalam penyusunan buku ajar dan pengembangan bahan pembelajaran di bidang perikanan.

BIODATA PENULIS



Rafi Ohorella, S.St.Pi, M.Pi.
Dosen Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone,
Kementerian Kelautan dan Perikanan

Penulis lahir di Kabauw (Maluku Tengah) dari pasangan keluarga. Bapak Ali Ohorella dan Ibu Fatma Wassahua. Penulis merupakan dosen tetap di Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Pada tahun 2004 penulis menyelesaikan pendidikan Diploma 4 (D4) di Sekolah Tinggi Perikanan Jakarta Program Studi Teknologi Pengolahan Hasil Perikanan. Pada tahun 2016 Penulis berkesempatan untuk menempuh dan menyelesaikan Program Studi Magister (S2) Manajemen Perikanan di Universitas Terbuka. Sebelum menjadi dosen di Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone, penulis sejak tahun 2004 bekerja sebagai Quality Assurance di CV. Prima Indo Tuna – Makassar Selama 4 Tahun, Pada tahun 2009 menjadi PNS pada jabatan Instruktur bidang Pengolahan Hasil Perikanan di Sekolah Usaha Perikanan Menengah (SUPM) Bone - Kementerian Kelautan dan Perikanan. Penulis mengembangkan konsentrasi keilmuannya pada

bidang penanganan, pengolahan hasil perikanan dalam sistem jaminan mutu hasil perikanan.
Email: rafiathifa@gmail.com

BIODATA PENULIS



Dr. Muhammad Maskur, S.St.Pi., M.S.T.Pi
Dosen Program Studi Teknik Penangkapan Ikan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone

Penulis Lahir di Cirebon, 13 Januari 1983 dan lulus D.IV Program Studi Pengolahan Hasil Perikanan pada Sekolah Tinggi Perikanan Jakarta pada tahun 2006 dan pada Tahun 2012 – 2014 melanjutkan Pendidikan Magister (S-2) Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan pada program Pasca Sarjana Sekolah Tinggi Perikanan Jakarta. Setelah lulus D.IV menjadi Guru pada Sekolah Usaha Perikanan Menengah (SUPM) Negeri Bone pada Tahun 2008 s/d 2015 dan mulai Tahun 2016 sebagai Dosen pada Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Pada September 2022 s/d Juli 2025 melaksanakan program doktor di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya pada peminatan Teknologi Hasil Kelautan dan Perikanan. Bidang ilmu yang dimiliki yaitu Penyimpanan dan Pengendalian Mutu Hasil Perikanan, dengan Riset yang sedang ditekuni terkait mutu hasil tangkapan, senyawa bioaktivitas, dan aplikasi bioaktivitas rumput laut.

BIODATA PENULIS



Mohammad Roin Najih,S.St.Pi,M.Si
Dosen Program Studi Teknik Kelautan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone

Penulis lahir di Palembang pada 18 Juli 1984. Pendidikan Diploma IV (D.IV) ditempuh pada Program Studi Pengolahan Hasil Perikanan, Sekolah Tinggi Perikanan Jakarta, dan diselesaikan pada tahun 2006. Selanjutnya, pada periode 2015–2017, penulis melanjutkan pendidikan Magister (S2) pada Program Studi Ilmu Perikanan, Program Pascasarjana.

Karier profesional penulis diawali sebagai guru pada Jurusan Teknologi Pengolahan Hasil Perikanan di Sekolah Usaha Perikanan Menengah (SUPM) Negeri Bone, yang dijalani sejak tahun 2008 hingga 2022. Sejak tahun 2022 hingga saat ini, penulis bertugas sebagai dosen di Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone, salah satu perguruan tinggi vokasi di bawah naungan Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.

Penulis memiliki minat dalam bidang teknologi pengolahan hasil perikanan, mutu dan keamanan pangan hasil perikanan, serta pendidikan vokasi kelautan dan perikanan. Melalui kegiatan pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat, penulis terus berupaya berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan sumber daya manusia di sektor kelautan dan perikanan.

BIODATA PENULIS



Yani Nurita Purnawanti, M.T

Akademisi Dan Peneliti Di Bidang Teknologi Bangunan Lepas Pantai

Penulis lahir di Jember pada 10 Mei 1993, merupakan seorang akademisi dan peneliti di bidang teknologi bangunan lepas pantai. Penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) dan Magister (S2) di Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada bidang yang sama dengan fokus keahlian dalam teknologi bangunan lepas pantai.

Saat ini, penulis bekerja sebagai dosen di Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong pada Program Studi Mekanisasi Perikanan. Penulis memiliki pengalaman penelitian dan publikasi ilmiah yang berfokus pada kekuatan struktur bangunan lepas pantai serta offshore aquaculture. Minat penelitiannya terus berkembang, terutama dalam aspek operabilitas, stabilitas, dan kekuatan bangunan lepas pantai, guna mendukung pengembangan infrastruktur kelautan yang tangguh dan berkelanjutan. Penelitian terbarunya terkait

dengan Integrated Barge Floating Wind Turbine Aquaculture (IBFWTA), yaitu pengembangan fasilitas lepas pantai untuk aquaculture berbasis energi terbarukan. Penulis juga berpengalaman dalam penulisan *book chapter* Teknik Kelautan pada Sub Bab Desain dan Konstruksi Bangunan Lepas Pantai dan Buku Pencemaran Laut: Sumber, Dampak, dan Strategi Pengendalian pada Sub Bab Pencemaran Minyak di Laut.

BIODATA PENULIS



Dr. Tri Setianto, S.St.Pi, M.S.T.Pi

Dosen Teknologi Penangkapan Ikan pada
Program Studi Teknik Penangkapan Ikan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone

Penulis lahir di Bone tanggal 30 Oktober 1981, beliau adalah pegawai negeri sipil Badan Penyuluhan dan Pengembangan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan yang bertugas sebagai dosen di Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone.

Penulis menyelesaikan Pendidikan Diploma IV dan ANKAPIN 1 di Sekolah Tinggi Perikanan Jakarta Prodi Teknologi Penangkapan Ikan di Jakarta. Kemudian melanjutkan Magister Terapan Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan pada Sekolah Tinggi Perikanan Jakarta, Penulis menyelesaikan Pendidikan Doktoral (S3) Teknologi Perikanan Laut(TPL) di IPB University Bogor..

Pengalaman kerja penulis dimulai pada tahun 2004-2006 sebagai Guru Prodi Nautika Kapal Penangkap Ikan, ,

mulai tahun 2016 mengajar di Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone hingga sekarang .

BIODATA PENULIS



Dahlia Dewi Apriani, S.T., M.T

Dosen Konstruksi dan Stabilitas Kapal di Program Studi Permesinan Kapal Politeknik Pelayaran Barombong

Penulis lahir di Palembang tanggal 19 April 1984, beliau adalah PNS di Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Perhubungan, Kementerian Perhubungan yang saat ini ditugaskan sebagai dosen tetap di Politeknik Pelayaran Barombong.

Penulis menempuh pendidikan Diploma III di Sekolah TinggiTransportasi Darat (STTD) jurusan D-III LLASDP Palembang, kemudian melanjutkan pendidikan S-1 di Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta jurusan Teknik Perkapalan, pendidikan S-2 di Universitas Sriwijaya dengan jurusan Teknik Sipil konsentrasi Transportasi dan saat ini sedang menempuh pendidikan S-3 di Universitas Hasanuddin dengan jurusan Teknik Sipil konsentrasi Transportasi.

Pengalaman kerja penulis dimulai pada tahun 2008 sebagai PNS di Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, Direktorat Lalu Lintas Angkutan Sungai, Danau dan Penyeberangan (LLASDP) Kementerin Perhubungan, kemudian pada tahun 2017 – 2021 ditugaskan di Politeknik Transportasi Sungai, Danau dan Penyeberangan Palembang, selanjutnya pada tahun 2021 sampai sekarang bertugas di Politeknik Pelayaran Barombong.

Penulis juga sudah menerbitkan 2 (dua) buah buku dengan judul Seni dan Ilmu Pemuatan Kendaraan di Kapal Penyeberangan (2024) sebagai penulis pertama dan Strategi Pencegahan Pencemaran dari Pengoperasian Kapal dan Pelabuhan (2026) sebagai penulis kedua.

BIODATA PENULIS



Mulyono, S.A.P., M.Tr.A.P., M.Mar

Dosen Penanganan dan Pengaturan Muatan pada
Program Studi Nautika Politeknik Pelayaran
Barombong

Penulis lahir di Jakarta tanggal 17 Januari 1980, beliau adalah pegawai negeri sipil Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Perhubungan, Kementerian Perhubungan yang bertugas sebagai dosen di Politeknik Pelayaran barombong.

Penulis menyelesaikan Pendidikan Diploma III dan ANT-III di Akademi Maritim Nasional Jakarta Raya jurusan Nautika di Jakarta. Kemudian melanjutkan Pendidikan Strata 1 Manajemen Sumber Daya Manusia pada Sekolah Tinggi Administrasi Negara Makassar, Pendidikan Magister Terapan Administrasi Pembangunan Negara di Politeknik STIA LAN Makassar. Selain menyelesaikan Pendidikan umum, penulis juga telah menyelesaikan Pendidikan keahlian pelaut hingga Ahli Nautika Tingkat 1 di Politeknik Pelayaran Makassar.

Pengalaman kerja penulis dimulai pada tahun 2005 sebagai pegawai negeri sipil di Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Perhubungan yang ditempatkan di Politeknik Pelayaran Barombong hingga sekarang.