

STABILITAS KAPAL

Stabilitas kapal adalah kecenderungan atau sifat dari sebuah kapal untuk kembali ke posisi awalnya setelah mengalami kemiringan (kelemahan) yang disebabkan oleh gaya luar.

Buku ini membahas tentang Konsep Dasar Stabilitas Kapal, Gaya dan Momen, Hukum Daya Apung, Stabilitas Kapal, dan Displacement Kapal.



PT MAFY MEDIA LITERASI INDONESIA
ANGGOTA IKAPI 041/SBA/2023
Email : penerbitmafya@gmail.com
Website : penerbitmafya.com
FB : Penerbit Mafy



Andi Ana Humaerah Amran, dkk

STABILITAS KAPAL



STABILITAS KAPAL

Andi Ana Humaerah Amran, Irawan Alham, Irwan,
Andi Imran Anshari, Paharuddin

STABILITAS KAPAL

UU No 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat ciptaan dan/atau produk hak terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. penggandaan ciptaan dan/atau produk hak terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. penggandaan ciptaan dan/atau produk hak terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan fonogram yang telah dilakukan pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu ciptaan dan/atau produk hak terkait dapat digunakan tanpa izin pelaku pertunjukan, produser fonogram, atau lembaga penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

STABILITAS KAPAL

**Andi Ana Humaerah Amran
Irawan Alham
Irwan
Andi Imran Anshari
Paharuddin**



Stabilitas Kapal

Penulis:

**Andi Ana Humaerah Amran, Irawan Alham, Irwan,
Andi Imran Anshari, Paharuddin**

Editor:

Andi Asari

Desainer:

Tim Mafy

Sumber Gambar Cover:

www.freepik.com

Ukuran:

viii, 132 hlm, 15,5 cm x 23 cm

ISBN:

978-623-8427-95-6

Cetakan Pertama:

November 2023

**Hak Cipta Dilindungi oleh Undang-Undang. Dilarang
menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian
atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.**

PT MAFY MEDIA LITERASI INDONESIA

ANGGOTA IKAPI 041/SBA/2023

Kota Solok, Sumatera Barat, Kode Pos 27312

Kontak: 081374311814

Website: www.penerbitmafy.com

E-mail: penerbitmafy@gmail.com

Prakata

Segala puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas pertolongan dan limpahan rahmat-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan buku yang berjudul **Stabilitas Kapal**. Buku ini disusun secara lengkap dengan tujuan untuk memudahkan para pembaca memahami isi buku ini. Buku ini membahas tentang Konsep Dasar Stabilitas Kapal, Gaya dan Momen, Hukum Daya Apung, Stabilitas Kapal, dan Displacement Kapal.

Kami menyadari bahwa buku yang ada di tangan pembaca ini masih banyak kekurangan. Maka dari itu kami sangat mengharapkan saran untuk perbaikan buku ini di masa yang akan datang. Dan tidak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penerbitan buku ini. Semoga buku ini dapat membawa manfaat dan dampak positif bagi para pembaca.

Penulis, Malang 3 Agustus 2023

Daftar Isi

Prakata	v
BAB 1	
Konsep Dasar Stabilitas Kapal	1
BAB 2	
Gaya dan Momen	19
BAB 3	
Hukum Daya Apung	51
BAB 4	
Stabilitas Kapal	71
BAB 5	
Displacement Kapal	95
Tentang Penulis	127

BAB 1

KONSEP DASAR STABILITAS KAPAL

Andi Ana Humaerah Amran

A. Pengertian Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal adalah kecenderungan atau sifat dari sebuah kapal untuk kembali ke posisi awalnya setelah mengalami kemiringan (kelemahan) yang disebabkan oleh gaya luar (Rubianto, 1996 dalam Sugiharto, Wiratno *and* Surabaya, 2019). Sama seperti yang dikatakan Wakidjo (1972), stabilitas didefinisikan sebagai kemampuan sebuah kapal untuk menegak Kembali ke posisi semula (Alamsyah, Zulkarnaen *and* Suardi, 2021).

Secara umum, terdapat dua factor penting yang dapat mempengaruhi keseimbangan kapal. Pertama adalah faktor internal, yang mencakup tata letak barang atau beban kapal, ukuran kapal, dan kebocoran akibat kandas atau tubrukan. Kedua adalah faktor eksternal, yang mencakup angin, ombak, arus, dan badai. Oleh karena itu, stabilitas memiliki kaitan erat dengan bentuk kapal, muatan, draft, dan ukuran nilai GM. Posisi M hampir tetap sesuai dengan gaya kapal, sedangkan pusat buoyancy B digerakkan oleh draft, dan pusat gravitasi berubah posisinya tergantung pada muatan. Sementara itu, posisi M tergantung pada

bentuk kapal, hubungannya dengan lebar dan tinggi kapal, sehingga posisinya meningkat seiring dengan lebar kapal.

Karena hubungannya dengan bentuk dan ukurannya, perhitungan stabilitas kapal sangat bergantung pada berbagai ukuran pokok yang berkaitan dengan dimensi pokok kapal. Dimensi pokok kapal berupa panjang (*length*), lebar (*breadth*), tinggi (*depth*) serta sarat (*draft*).

Sebelum melakukan perhitungan stabilitas kapal, beberapa hal yang perlu diketahui adalah sebagai berikut: a) Berat benaman, juga dikenal sebagai "isi kotor", adalah jumlah ton air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tenggelam dalam air, b) berat kapal kosong, juga dikenal sebagai "*displacement lampu*", adalah jumlah berat kapal kosong, yang mencakup semua mesin dan peralatan kapal, c) operasi berat (OL) adalah berat dari sarana dan alat yang diperlukan untuk mengoperasikan kapal dimana kapal tidak dapat berlayar tanpa alat ini.

$$\text{Displ} = \text{LD} + \text{OL} + \text{Muatan}$$

$$\text{DWT} = \text{OL} + \text{Muatan}$$

B. Titik Penting Dalam Stabilitas

Keseimbangan sebuah kapal dipengaruhi oleh perhitungan stabilitas, dalam perhitungan stabilitas kapal terdapat titik-titik kerusial yaitu titik berat (G), titik apung (B) dan titik M. (Alamsyah, Zulkarnaen and Suardi, 2021)

1. Titik Berat (*Centre of Gravity*)

Titik berat (G) atau *centre of gravity* sebuah kapal adalah titik tangkap dari semua gaya yang menekan ke bawah terhadapnya. Letak titik G dapat dilihat dengan melihat semua pembagian bobot/muatan kapal, lebih banyak bobot yang ditempatkan di bagian atas, lebih tinggi letak titik G. Hasil perhitungan untuk menentukan besar titik G pada kapal kosong dengan melakukan perhitungan stabilitas kapal. Perlu diingat bahwa letak titik G bergantung pada pembagian berat di kapal daripada yang lain. Oleh karena itu, bahkan jika kapal

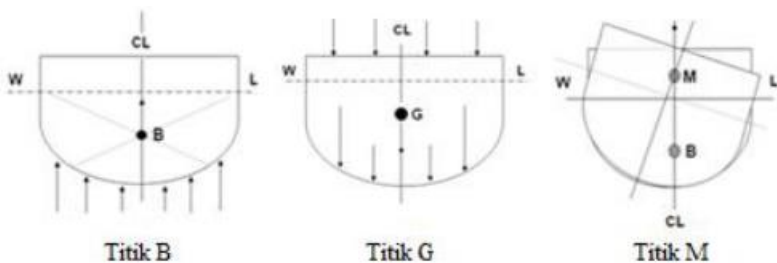
oleng atau mengangguk, titik G tidak akan berubah selama tidak ada berat yang digeser.

2. Titik Apung (*Centre of Buoyance*)

Titik apung kapal (*center of buoyance*) atau biasa disebut dengan titik B, merupakan titik tangkap dari gaya-gaya yang menekan tegak ke atas dari bagian kapal yang tercelup atau terbenam dalam air. Titik B tidak tetap, tetapi akan bergerak ketika kapal mengalami perubahan yang diperlukan. Dalam hal stabilitas kapal, titik B adalah tempat kapal dapat tegak kembali setelah tersenget. Letak titik B bergantung pada besarnya senget kapal: Jika senget berubah, letak titik B akan berubah atau berpindah, dan jika kapal menyenget, titik B akan berpindah pada permukaan kapal yang rendah.

3. Titik Metasentris

Titik metasentris, atau titik M, sebuah kapal, adalah titik semu dari batas di mana titik G tidak boleh melewatinya agar kapal tetap stabil. Karena titik metasentris berubah-ubah, letaknya dapat berubah dan tergantung pada besarnya sudut senget. Titik apung B akan berpindah disepanjang busur jika kapal senget pada sudut kecil (tidak lebih dari 150). Pada sudut kecil ini, titik M berada di bidang tengah kapal (pusat garis), dan perpindahan letak titik M sangat kecil, sehingga masih dapat dikatakan tetap.



Gambar 1.1. Titik Penting Stabilitas
(Sumber : Rachman *et al.*,2014)

Di mana:	B	= titik apung (<i>buoyancy</i>)
	G	= titik berat (<i>gravity</i>)
	M	= titik metasentris (<i>metacentris</i>)
	CL	= <i>Centre Line</i>
	WL	= <i>Water Line</i>

C. Jenis Stabilitas

Stabilitas kapal terdiri dari dua jenis, yaitu stabilitas statis dan stabilitas dinamis. Stabilitas statis kapal mengacu pada kemampuan kapal untuk tetap dalam posisi setimbang atau stabil tanpa terjadi pergeseran atau perubahan signifikan dalam kondisi seimbangannya.

Stabilitas statis khususkan pada kapal-kapal dalam keadaan diam. Ada dua jenis stabilitas statis yaitu stabilitas melintang dan membujur. Stabilitas melintang adalah kemampuan kapal untuk tegak setelah mengalami pergeseran melintang yang disebabkan oleh pengaruh luar. Stabilitas membujur adalah kemampuan kapal untuk kembali ke tempatnya setelah mengalami pergeseran membujur yang disebabkan oleh pengaruh luar.

Stabilitas dinamis kapal merujuk pada kemampuan kapal untuk mempertahankan keseimbangan dan kontrolnya saat bergerak atau mengalami perubahan kecepatan, arah, atau kondisi lingkungan yang dinamis. Hal ini melibatkan respons kapal terhadap gaya-gaya eksternal seperti ombak, arus, angin, dan perubahan muatan. Oleh karena itu, sange yang besar melebihi 20° menyebabkan kapal tidak bisa kembali ke posisi semula.

Istilah "stabilitas awal" juga dikenal dalam teori stabilitas, yang mengacu pada stabilitas kapal pada senget kecil (antara 0°–15°). 3 titik penting yang menentukan stabilitas awal: Titik berat (*center of gravity*), juga dikenal sebagai titik G; titik apung (*center of buoyance*), juga dikenal sebagai titik B; dan titik metasentris (*metacentris*), juga dikenal sebagai titik M.

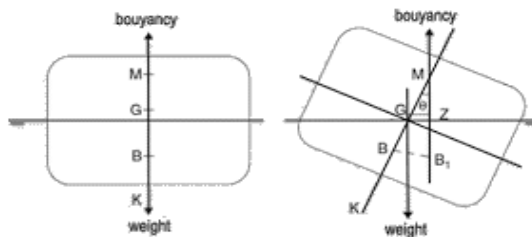
D. Macam-Macam Posisi Stabilitas

Pada dasarnya stabilitas kapal memiliki 3 kondisi, yaitu stabilitas positif (*stable equilibrium*), stabilitas netral (*neutral equilibrium*) dan stabilitas negatif (*unstable equilibrium*) (Zulkarnaen Nasty and Azis Nabawi, 2019).

1. Stabilitas Positif (*Stable equilibrium*)

Stabilitas positif, yang juga dikenal sebagai *stable equilibrium* merujuk pada keadaan keseimbangan di mana objek atau sistem akan kembali ke posisi semula setelah mengalami gangguan kecil. Dalam konteks stabilitas kapal, ini berarti kapal akan cenderung kembali ke posisi tegak atau stabil setelah mengalami miring atau guncangan. Mari kita bayangkan kapal yang berada dalam posisi keseimbangan tegak atau horizontal. Ketika kapal mengalami gangguan kecil, seperti gelombang kecil, angin ringan, atau perubahan posisi muatan, kapal akan cenderung bergerak dari posisi awalnya. Namun, karena stabilitas positif, kapal akan merespons gangguan tersebut dengan mengembalikan dirinya ke posisi awal.

Stabilitas positif dicapai dengan menempatkan pusat gravitasi (G) kapal di atas pusat *buoyancy* (B) atau pusat air kapal. Dengan penempatan G di atas B, kapal akan cenderung untuk kembali ke posisi semula setelah mengalami gangguan. Jika kapal miring ke satu sisi karena suatu sebab, berat kapal akan menciptakan gaya restorasi (*restoring force*) yang akan mendorong kapal untuk kembali ke posisi tegak, seperti pada gambar:



Gambar 1.2. Stabilitas Positif
(Sumber: Bangunan and Kapal, 2003)

Stabilitas positif merupakan kualitas yang sangat diinginkan dalam rancangan kapal, karena memberikan stabilitas dan keamanan yang lebih baik bagi kapal dan awaknya. Namun, penting juga untuk diingat bahwa stabilitas yang berlebihan juga dapat menjadi masalah, karena dapat menyebabkan gerakan yang tidak nyaman atau bahkan berbahaya bagi kapal dan penumpangnya. Oleh karena itu, penting bagi insinyur kapal untuk mencapai keseimbangan yang tepat dalam rancangan untuk memastikan stabilitas yang optimal dalam berbagai situasi laut.

2. Stabilitas Netral (*Neutral Equilibrium*)

Stabilitas netral, yang juga dikenal sebagai *neutral equilibrium*, merujuk pada keadaan keseimbangan di mana objek atau sistem akan tetap berada di posisi baru setelah mengalami gangguan. Dalam konteks stabilitas kapal, ini berarti kapal akan tetap miring atau terguling setelah mengalami gangguan kecil, tanpa ada gaya restorasi yang mendorongnya kembali ke posisi semula.

Mari kita gambarkan lebih lanjut dengan contoh: Jika kapal berada dalam keadaan *netral equilibrium* dan mengalami gangguan yang menyebabkannya miring ke satu sisi, kapal akan tetap miring pada sudut tersebut bahkan setelah gangguan itu dihilangkan. Dalam keadaan ini, pusat gravitasi (G) kapal berada tepat di atas pusat *buoyancy* (B) atau pusat air. Sebagai akibatnya, tidak ada gaya restorasi yang aktif untuk membawa kapal kembali ke posisi tegak.

Stabilitas netral bukanlah kondisi yang diinginkan dalam rancangan kapal, terutama dalam aplikasi kelautan. Kapal dengan stabilitas netral dapat menjadi sangat tidak stabil dan berbahaya, karena miringnya kapal tidak akan dikoreksi secara alami, dan kapal dapat terus miring atau bahkan terguling ketika mengalami gangguan eksternal seperti ombak besar atau angin kencang.

3. Stabilitas Negatif (*Unstable Equilibrium*)

Stabilitas negatif, yang juga dikenal sebagai *unstable equilibrium*, merujuk pada keadaan keseimbangan di mana objek atau sistem akan mengalami perpindahan lebih jauh dari posisi awal setelah mengalami gangguan kecil. Dalam konteks stabilitas kapal, ini berarti kapal akan terus miring atau terguling ke arah yang lebih ekstrem setelah mengalami gangguan kecil, tanpa ada gaya restorasi yang mendorongnya kembali ke posisi semula.

Kondisi ini menggambarkan letak pusat gravitasi (CG) kapal berada di bawah pusat *buoyancy* (CB) atau pusat air. Akibatnya, kapal tidak memiliki gaya restorasi yang aktif untuk membawanya kembali ke posisi tegak, sehingga miringnya kapal semakin menjadi dan mungkin berujung pada terguling. Dalam kasus lain, ketika kapal miring karena gaya dari luar, terjadi sebuah momen yang disebut *moment penerus* atau *moment heiling*, yang menyebabkan kapal menjadi lebih miring.

Stabilitas negatif adalah kondisi yang sangat tidak diinginkan dalam rancangan kapal dan dianggap sangat berbahaya. Kapal dengan stabilitas negatif cenderung tidak stabil dan rentan terhadap terguling atau kecelakaan yang dapat membahayakan kapal, muatan, dan kru di dalamnya.

E. Dimensi Pokok dalam Stabilitas Kapal

Dimensi pokok dalam stabilitas kapal adalah parameter-parameter utama yang digunakan untuk mengukur dan mengontrol stabilitas kapal. Berikut adalah beberapa dimensi pokok yang penting dalam stabilitas kapal. (Rachman, *et al.*, no date).

1. KM (Tinggi Titik Metasentris di Atas Lunas)

KM adalah jarak tegak dari lunas kapal ke titik M, atau jumlah jarak dari lunas ke titik apung (KB) dan jarak titik apung ke metasentris (BM). Tinggi titik KM dapat diperoleh dengan menggunakan diagram metasentris atau hydrostatical

curve untuk setia ketinggian sarat tertentu dan melakukan perhitungan manual dengan rumus berikut:

$$KM = KB + BM$$

2. KB (Tinggi Titik Apung dari Lunas)

Letak titik KB dari lunas berubah-ubah dikarena perubahan besaran bidah basah kapal atau kemiringan kapal. Menurut Rubianto (1996), persamaan berikut dapat digunakan untuk menemukan nilai titik KB:

- a. Untuk kapal plat bawah, $KB = 0,50d$,
- b. Untuk kapal V bawah, $KB = 0,67d$,
- c. Untuk kapal U bawah, $KB = 0,53d$,

di mana d adalah draft kapal.

Tinggi titik KB dapat diperoleh dengan menggunakan diagram metasentris atau *hydrostatical curve* untuk setia ketinggian sarat tertentu (Wakidjo, 1972).

3. BM (Jarak Titik Apung ke Metasentris)

BM atau jarak titik apung ke metasentris (*buoyant moment*) adalah salah satu parameter penting dalam perhitungan stabilitas kapal. BM mengukur jarak horizontal antara titik apung kapal (*center of buoyancy, CoB*) dengan titik metasentris (M) ketika kapal mengalami gangguan condong pada keadaan seimbang.

Secara lebih teknis, BM dapat dihitung dengan rumus:

$$BM = GM \sin(\theta)$$

Di mana:

- a. GM adalah tinggi titik metasentris di atas titik apung ($GM = GM_t - GZ_t$),

- b. θ adalah sudut condong kapal dalam keadaan seimbang, dan
- c. GMt dan GZt masing-masing adalah tinggi titik metasentris dan jarak gangguan (intensitas gangguan) kapal pada sudut condong θ .

BM digunakan untuk memahami bagaimana posisi pusat gravitasi (G) kapal berubah sehubungan dengan posisi pusat apung (B) saat kapal mengalami gangguan. Semakin besar BM, semakin besar momen restoratif yang dihasilkan untuk mengembalikan kapal ke posisi tegak (keadaan seimbang) setelah mengalami gangguan.

Penting untuk memastikan bahwa BM memiliki nilai yang sesuai dalam perencanaan dan desain kapal. BM yang terlalu kecil atau negatif dapat menyebabkan kapal menjadi kurang stabil dan lebih rentan terhadap kondisi laut yang buruk. Sementara itu, BM yang terlalu besar dapat menyebabkan kapal menjadi kurang responsif terhadap perubahan sudut condong dan mengurangi kenyamanan selama berlayar.

Pengukuran dan analisis BM menjadi bagian penting dalam perhitungan stabilitas kapal untuk memastikan kapal memiliki stabilitas yang memadai dan aman selama operasionalnya.

4. KG (Tinggi Titik Berat dari Lunas)

KG dapat dihitung dengan menggunakan dalil momen. Nilai ini diperoleh dengan mengetahui letak titik berat suatu bobot di atas lunas yang dikenal sebagai pusat gravitasi tegak (VCG), lalu dikalikan dengan bobot muatan tersebut untuk mendapatkan momen bobot tersebut. Kemudian, jumlah momen seluruh bobot di kapal dibagi dengan jumlah bobot, dan hasilnya adalah nilai KG. Berikut rumus untuk menentukan titik KG kapal:

$$\text{KG total} = \frac{?M}{?W}$$

Di mana:

- a. ? M = Jumlah momen (ton)
- b. ? W = jumlah perkalian titik berat dengan bobot benda (m ton)

Pentingnya KG terletak pada posisi vertikal pusat gravitasi kapal. Semakin rendah KG, semakin stabil kapal dalam kondisi operasionalnya. Hal ini karena dengan KG yang lebih rendah, perubahan sudut condong akan menciptakan momen restoratif yang lebih besar untuk mengembalikan kapal ke posisi tegak (keadaan seimbang).

Dalam perencanaan dan desain kapal, penting untuk memastikan bahwa KG memiliki nilai yang tepat dan sesuai dengan tujuan penggunaan kapal. Jika KG terlalu tinggi, kapal dapat menjadi kurang stabil dan lebih rentan terhadap gangguan gelombang atau angin. Di sisi lain, jika KG terlalu rendah, kapal dapat menjadi tidak stabil dan cenderung condong.

Penentuan KG melibatkan analisis bobot dan distribusi bobot di dalam kapal, termasuk peralatan, muatan, dan struktur kapal. Para insinyur maritim dan ahli perkapalan melakukan perhitungan yang cermat untuk memastikan KG memiliki posisi yang optimal agar kapal memiliki stabilitas yang baik dan aman selama berlayar di laut.

5. GM (Tinggi Metasentris)

GM atau tinggi metasentris (*metacentric height*) adalah salah satu parameter kunci dalam analisis stabilitas kapal. GM mengukur jarak vertikal antara titik berat kapal (Center of Gravity, CoG) dengan titik metasentris (M) ketika kapal mengalami gangguan condong pada keadaan seimbang. Tinggi GM menunjukkan stabilitas statis kapal, yaitu kemampuan

kapal untuk mengembalikan dirinya ke posisi tegak setelah mengalami gangguan seperti gelombang laut atau pergeseran muatan di atas kapal. Semakin tinggi GM, semakin besar momen restoratif yang dihasilkan untuk mengembalikan kapal ke posisi tegak, dan kapal cenderung lebih stabil.

GM dapat dihitung dengan rumus:

$$GM = KB - KG$$

Di mana:

- a. KB adalah ketinggian titik berat dari permukaan air (*keel to waterline*) atau biasanya disebut juga draft (kedalaman kapal).
- b. KG adalah ketinggian titik berat dari lunas (*keel to center of gravity*).

Perhitungan GM merupakan bagian penting dalam perencanaan dan desain kapal, serta dalam analisis stabilitas kapal selama operasionalnya. GM yang sesuai harus dipertahankan untuk memastikan kapal memiliki stabilitas yang baik dan aman dalam berbagai kondisi laut. Jika GM terlalu kecil, kapal dapat menjadi kurang stabil dan cenderung lebih mudah terpengaruh oleh gangguan-gangguan laut. Sementara itu, jika GM terlalu besar, kapal mungkin menjadi kurang responsif terhadap perubahan sudut condong, yang juga dapat mengganggu stabilitasnya.

6. Momen Penegak (*Righting Moment*) dan Lengan Penegak (*Righting Arms*)

Momen penegak (*righting moment*) dan lengan penegak (*righting arms*) adalah konsep kunci dalam analisis stabilitas kapal. Kedua istilah ini terkait erat dengan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak (keadaan seimbang) setelah mengalami gangguan atau kemiringan akibat gelombang laut atau gaya eksternal lainnya.

a. Momen Penegak (*Righting Moment*)

Momen penegak adalah momen yang diciptakan oleh perbedaan antara titik berat (*Center of Gravity, CoG*) kapal dengan titik apung (*Center of Buoyancy, CoB*) kapal saat kapal mengalami condong atau kemiringan. Momen ini mengarahkan kapal untuk kembali ke posisi tegak. Momen Penegak diukur dalam satuan Nm (Newton-meter) atau ft-lbs (kaki-pound) dan dinyatakan sebagai hasil perkalian dari gaya restoratif dan lengan penegak.

b. Lengan Penegak (*Righting Arms*)

Lengan penegak adalah jarak horizontal antara titik apung (CoB) kapal dengan sumbu condong (inti kapal). Lengan ini merupakan jarak antara gaya restoratif yang dihasilkan oleh perbedaan antara titik berat (CoG) dan titik apung (CoB) dengan sumbu condong kapal. Lengan Penegak diukur dalam satuan meter (m) atau kaki (ft).

Rumus umum untuk menghitung momen penegak adalah sebagai berikut:

$$\text{Momen Penegak (RM)} = \text{Berat Kapal (W)} \times \text{Lengan Penegak (GZ)}$$

Di mana:

- a. Berat Kapal (W) adalah berat keseluruhan kapal, termasuk muatan dan peralatan.
- b. Lengan Penegak (GZ) adalah jarak antara titik apung (CoB) dengan sumbu condong kapal.

Momen penegak berfungsi untuk mengembalikan kapal ke posisi tegak setelah mengalami gangguan. Semakin besar momen penegak, semakin besar gaya yang menyebabkan kapal kembali ke posisi tegak, dan semakin stabil kapal dalam menghadapi gelombang laut atau kemiringan.

7. Periode Oleng (*Rolling Period*)

Periode oleng (*rolling period*) adalah waktu yang dibutuhkan oleh sebuah kapal untuk melakukan satu siklus penuh gelombang oleng atau gerakan miring dari satu sisi ke sisi yang lain. satu periode oleng lengkap adalah waktu yang diperlukan kapal untuk berdiri tegak, miring ke kiri, miring ke kanan, dan kembali tegak.

Wakidjo (1972) menggunakan rumus berikut untuk menjelaskan bagaimana tinggi metasentrik (GM) dan periode oleng berhubungan (Sugiharto, Wiratno *and* Surabaya, 2019):

$$T = \frac{0,75}{\sqrt{GM}}$$

Di mana:

- a. T = periode oleng dalam detik
- b. B = lebar kapal dalam meter

Yang dimaksud dengan periode oleng disini adalah periode oleng alami (*natural rolling*), yaitu olengan kapal air yang tenang.

Periode Oleng adalah ukuran penting dalam analisis stabilitas kapal karena dapat mempengaruhi kenyamanan selama berlayar dan dapat menentukan seberapa stabil kapal dalam menghadapi gerakan oleng. Kapal dengan periode oleng yang lebih lama cenderung memiliki gerakan oleng yang lebih lambat dan lebih stabil, sementara kapal dengan periode oleng yang lebih pendek cenderung memiliki gerakan oleng yang lebih cepat dan lebih kurang stabil.

8. Pengaruh Permukaan Bebas (*Free Surface Effect*)

Pengaruh permukaan bebas (*free surface effect*) adalah fenomena yang terjadi pada kapal atau kendaraan laut ketika cairan (biasanya air) di dalam tangki atau ruang terbuka bergerak bebas karena adanya gelombang laut atau gerakan

kapal. Efek permukaan bebas dapat mempengaruhi stabilitas dan kinerja kapal dengan cara-cara berikut:

- a. Stabilitas Kapal: Ketika cairan di dalam tangki bergerak bebas, seperti pada tangki ballast atau tangki bahan bakar, pergeseran massa cairan ini dapat mengubah posisi titik berat kapal. Jika cairan bergerak ke satu sisi, titik berat kapal akan bergeser ke arah tersebut, menyebabkan perubahan dalam tinggi titik metasentris (GM). Jika pergeseran ini terjadi dengan cepat dan cukup besar, dapat mengurangi tinggi GM dan mengurangi stabilitas kapal, membuatnya lebih rentan terhadap gangguan dan risiko.
- b. Respons Dinamis: Permukaan bebas cairan dalam tangki juga dapat menyebabkan gerakan dinamis tambahan yang dapat mempengaruhi kenyamanan dan kinerja kapal. Ketika kapal mengalami gerakan oleng atau gerakan miring lainnya, cairan dalam tangki cenderung bergerak mengikuti gerakan kapal. Efek ini dapat menyebabkan gerakan tambahan dalam cairan yang dapat mempengaruhi stabilitas dinamis dan menyebabkan gerakan yang tidak diinginkan pada kapal.
- c. Handling dan Manuverabilitas: Permukaan bebas dalam tangki dapat mempengaruhi handling dan manuverabilitas kapal. Pada kapal dengan tangki yang memiliki permukaan bebas yang signifikan, seperti kapal tanker atau kapal pemadam kebakaran, pergerakan cairan dalam tangki dapat mempengaruhi perubahan trim dan kemiringan kapal, yang pada gilirannya mempengaruhi manuverabilitas dan respon kapal terhadap kemudi.

Untuk mengatasi pengaruh permukaan bebas yang negatif, perencanaan dan desain kapal dilakukan dengan memperhitungkan distribusi bobot, penggunaan tangki air ballast yang efektif, dan sistem anti-roll stabilizer untuk meminimalkan efek permukaan bebas. Selain itu, penggunaan perangkat bantu kendali, seperti sistem kontrol ballast, juga

dapat membantu dalam mengendalikan pengaruh permukaan bebas pada kapal.

Perhitungan yang digunakan untuk menentukan permukaan bebas dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$gg_1 = r \cdot x \frac{i x b^3}{12 x 35 x W}$$

Di mana:

gg₁ = pergeseran tegak titik G ke G₁

r = berat jenis di dalam tanki dibagi berat jenis cairan di luar kapal

l = panjang tanki

b = lebar tanki

W = displasemen kapal, (Rubianto, 1996).

Daftar Pustaka

- Alamsyah, A., Zulkarnaen, Z. and Suardi, S. (2021). 'The Stability Analyze Of KM. Rejeki Baru Kharisma Of Tarakan – Tanjung Selor Route', *TEKNIK*, 42(1), Pp. 52–62. Available At: <https://doi.org/10.14710/Teknik.V42i1.31283>.
- Bangunan, K. And Kapal, S. (2003). *Menghitung Stabilitas Kapal*.
- Rachman, I. et al. (2014). *Identifikasi Garis Stabilitas Melintang Kapal Melalui Percobaan Kemiringan Menggunakan Delphi Berbasis Arduino*.
- Sugiharto, R., Wiratno, D. And Surabaya, P.P. (2019). Analisa Penambahan Berat Simulator Terhadap Stabilitas Kapal Latih Bung Tomo, *Jurnal Dinamika Bahari*.
- Zulkarnaen Nasty, A. And Azis Nabawi, R. (2019). 'Stabilitas Kapal Jukung Dengan Jenis Lambung Pelat Datar', *Aulia Zulkarnaen Nasty*, 1(2).

BAB 2

GAYA DAN MOMEN

Irawan Alham

A. Pendahuluan

Defenisi gaya dan momen adalah konsep yang penting dalam mekanika. Gaya adalah kekuatan yang bekerja pada suatu benda untuk menyebabkan perubahan gerakannya, sedangkan momen adalah kecenderungan suatu benda untuk berputar sekitar sumbu tertentu. Dalam mekanika, gaya dan momen digunakan untuk menganalisa dan memprediksi pergerakan benda serta kestabilan struktur (Fathoni, 2012).

1. Definisi Gaya dan Momen pada Stabilitas Kapal

Gaya dan momen pada stabilitas kapal merupakan konsep yang sama dengan definisi umum dalam mekanika. Namun, dalam konteks kapal, gaya dan momen memiliki peran khusus dalam menjaga stabilitas kapal di air. Gaya-gaya seperti gaya angkat dan gaya berat serta momen-momen seperti momen guling dan momen tangkap berperan penting dalam menjaga agar kapal tetap seimbang dan tidak terbalik di laut (Putra, 2017).

2. Pentingnya Mempelajari Gaya dan Momen pada Stabilitas Kapal

Gaya dan momen sangat penting dipelajari agar kapal dapat tetap aman dan stabil saat berlayar di air. Dengan memahami bagaimana gaya dan momen bekerja, kita dapat mengambil langkah-langkah yang tepat untuk menjaga keseimbangan kapal dan mencegah kemungkinan terjadinya kecelakaan laut.

B. Gaya dan Momen dalam Stabilitas Kapal

Dalam konteks stabilitas kapal, gaya dan momen adalah dua konsep kunci yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan dan stabilitas kapal. Berikut penjelasan tentang gaya dan momen dalam stabilitas kapal (Basuki, 2023).

1. Gaya (*Force*)

Gaya dalam stabilitas kapal mengacu pada gaya-gaya yang bekerja pada kapal yang dapat mempengaruhi posisi, gerakan, dan stabilitasnya. Beberapa gaya yang penting dalam stabilitas kapal adalah:

- a. Gaya Berat (*Weight Force*): Gaya berat adalah gaya yang dihasilkan oleh berat total kapal dan muatannya. Gaya berat ini bekerja ke bawah pada titik berat kapal yang merupakan titik di mana seluruh berat kapal dianggap terpusat. Karena gaya berat adalah salah satu faktor yang mempengaruhi posisi pusat gravitasi (CG) kapal, gaya berat sangat penting untuk analisis stabilitas kapal. Posisi pusat gravitasi (CG) adalah titik di mana seluruh berat kapal dianggap terpusat secara vertikal, dan posisi pusat gravitasi yang rendah dapat membuat kapal lebih stabil. Penting bagi perancang kapal dan kru kapal untuk mempertimbangkan dengan cermat distribusi berat kapal untuk memastikan pusat gravitasi (CG) berada dalam posisi yang menghasilkan stabilitas yang memadai. Selain itu, untuk menjaga keseimbangan dan stabilitas kapal selama berbagai tahap operasi, perlu dilakukan pengawasan dan perhitungan yang

tepat saat memuat dan membongkar muatan (Santoso, Abdurrahman and Sarwoko, 2016).

- b. Gaya Angkat (*Buoyancy Force*): Gaya angkat adalah gaya yang dihasilkan oleh air yang dipindahkan oleh lambung kapal ketika kapal terendam dalam air. Gaya angkat ini bekerja ke atas pada titik apung kapal yang merupakan titik di mana seluruh gaya angkat yang bekerja pada kapal dianggap terpusat. Agar kapal dapat mengapung secara stabil dan aman, gaya angkat air harus seimbang dengan gaya berat dan muatan kapal agar kapal dapat mengambang di permukaan air.
- c. Gaya Angkat Stabilisasi (*Stabilizing Buoyancy Force*): Gaya angkat stabilisasi adalah gaya angkat yang dihasilkan oleh bagian-bagian kapal yang memiliki bentuk khusus untuk meningkatkan stabilitas kapal. Misalnya, bagian kapal yang melebar di bawah air akan menghasilkan gaya angkat stabilisasi yang memperkuat stabilitas transversal kapal. Komponen kapal ini dikenal sebagai "*stabilizer*" atau "lapisan hidrodinamika stabilisasi" yang dipasang di sisi kapal atau di bawah lambung dan dapat diatur secara hidrolis atau mekanis untuk menghasilkan gaya angkat yang dapat mengurangi atau mengkompensasi pergerakan oleng yang tidak diinginkan. Untuk meningkatkan stabilitas dan mengurangi gerakan oleng yang tidak diinginkan, stabilizer telah menjadi teknik yang umum digunakan pada kapal modern, terutama kapal penumpang, kapal kargo, dan kapal perang. Saat memilih dan membangun stabilizer, harus mempertimbangkan karakteristik dan kebutuhan operasional kapal serta lingkungan perairan yang akan dilayari.

2. Momen (*Moment*)

Momen dalam stabilitas kapal mengacu pada momen-momen torsi yang dihasilkan oleh gaya-gaya yang bekerja pada kapal dan bagaimana momen-momen ini mempengaruhi

stabilitas kapal. Beberapa momen penting dalam stabilitas kapal adalah:

- a. Momen Berat (*Weight Moment*): Momen berat adalah momen yang dihasilkan oleh gaya berat kapal yang bekerja pada pusat gravitasi (CG) kapal. Momen ini cenderung untuk mengarahkan kapal untuk miring atau berguling. Pengaturan dan distribusi berat kapal dengan hati-hati sangat penting untuk menjaga keseimbangan momen berat dan memastikan stabilitas kapal dalam berbagai kondisi operasional. Selain itu, memahami bagaimana momen berat berinteraksi dengan momen lainnya, seperti momen angkat dan momen hambat, sangat penting untuk mengambil tindakan pencegahan dan mengambil tindakan yang tepat untuk menjaga stabilitas dan keamanan kapal selama pelayaran.
- b. Momen Angkat (*Buoyancy Moment*): Momen angkat adalah momen yang dihasilkan oleh gaya angkat kapal yang bekerja pada pusat pelampung (CB) kapal. Momen ini cenderung untuk mengarahkan kapal untuk kembali ke posisi tegak. Untuk menjaga stabilitas dan performa keseluruhan kapal selama operasi di laut, perancang kapal dan ahli stabilitas harus memahami dan menghitung momen angkat secara akurat. Ini penting untuk memastikan kapal memiliki stabilitas yang memadai dan dapat mengembalikan dirinya ke posisi tegak saat mengalami oleng.
- c. Momen Restoratif (*Restoring Moment*): Momen restoratif adalah momen yang dihasilkan oleh perbedaan antara posisi pusat gravitasi (CG) dan pusat apung (CB) kapal. Momen restoratif ini berfungsi untuk memulihkan kapal ke posisi tegak dan memperkuat stabilitas kapal. Jika kapal oleng atau berguling karena gaya luar seperti gelombang atau angin, titik berat (CG) akan bergerak dari posisi awalnya. Momen restoratif disebabkan oleh gaya angkat (*buoyancy force*) dan gaya berat (*weight force*) yang bekerja pada kapal, masing-masing berusaha untuk mengembalikan

pusat gravitasi (CG) ke posisi di atas pusat pelampung (CB). Momen restoratif sangat penting untuk menjaga stabilitas kapal dan mencegahnya berguling terlalu jauh. Saat bekerja sama dengan momen angkat dan berat, mereka menciptakan kondisi keselamatan dan stabilitas yang baik bagi kapal selama operasi di laut.

- d. Momen Korektif (*Corrective Moment*): Momen korektif adalah momen yang dihasilkan oleh faktor-faktor lain, seperti angin, gelombang, dan muatan kapal yang tidak seimbang. Momen korektif dapat mempengaruhi stabilitas kapal dan harus diperhatikan dalam perencanaan dan operasi kapal. Untuk perencanaan dan operasi kapal yang aman dan efisien, kru kapal dan ahli stabilitas harus memantau momen korektif dengan cermat dan mengambil tindakan yang tepat untuk menjaga stabilitas dan keamanan kapal. Pengaturan muatan yang benar, pemantauan cuaca dan gelombang, dan pemahaman tentang bagaimana momen korektif dan momen restoratif dan momen angkat lainnya berinteraksi satu sama lain.

Untuk merancang kapal yang aman dan stabil dan mengelola risiko yang terkait dengan pelayaran, penting untuk memahami konsep gaya dan momen dalam stabilitas kapal. Memahami gaya dan momen juga membantu menjaga keseimbangan dan stabilitas kapal dalam berbagai kondisi operasional.

1. Gaya-Gaya yang Berbeda yang Bekerja pada Kapal (Gaya Apung, Gaya Gravitasi, Gaya Hidrodinamika)

Ada beberapa gaya yang berbeda yang bekerja pada kapal ketika berada di dalam air, antara lain:

- a. Gaya Apung (*Buoyancy Force*)

Gaya apung adalah gaya vertikal yang bekerja ke atas pada kapal yang terendam di dalam air. Gaya ini dihasilkan oleh perbedaan antara berat air yang dipindahkan oleh kapal (volume kapal yang terendam) dengan berat keseluruhan kapal, termasuk muatan. Gaya apung ini

menyebabkan kapal mengambang di permukaan air dan mampu mendukung berat kapal dan muatannya.

b. Gaya Gravitasi (*Gravity Force*)

Gaya gravitasi adalah gaya vertikal yang bekerja ke bawah pada kapal akibat gaya tarik gravitasi Bumi. Gaya ini mencoba menarik kapal ke bawah ke dalam air. Gaya gravitasi harus diimbangi dengan gaya apung agar kapal tetap mengambang dan memiliki stabilitas.

c. Gaya Hidrodinamika (*Hydrodynamic Forces*)

Gaya hidrodinamika adalah gaya-gaya yang dihasilkan oleh pergerakan kapal melalui air. Gaya ini mencakup:

- 1) Gaya Hambat (*Resistance Force*): Gaya ini menghambat pergerakan kapal ke depan dan muncul sebagai hasil gesekan antara air dan lambung kapal. Salah satu elemen penting dalam perencanaan operasi kapal dan perhitungan konsumsi bahan bakar adalah gaya hambat. Mengurangi gaya hambat dapat meningkatkan efisiensi pergerakan kapal dan mengurangi konsumsi bahan bakar, yang menguntungkan ekonomi operasi kapal dan lingkungan. Untuk mengurangi gaya hambat dan meningkatkan efisiensi kapal, desain lambung yang baik, penggunaan teknologi canggih, dan sistem propulsi yang efisien adalah beberapa langkah yang dapat diambil.
- 2) Gaya Dorong (*Propulsion Force*): Gaya ini dihasilkan oleh sistem propulsi kapal, seperti baling-baling atau propeller, yang menggerakkan kapal maju. Gaya dorong sangat penting untuk menggerakkan kapal dan memastikan kapal dapat berlayar dengan kecepatan dan efisiensi yang diinginkan. Perancang kapal harus mempertimbangkan hal-hal seperti desain baling-baling atau propeller, sistem propulsi yang tepat, dan efisiensi mesin untuk mengoptimalkan gaya dorong dan performa keseluruhan kapal.

- 3) Gaya Geser (*Lateral Force*): Gaya ini muncul saat kapal bermanuver dan mengalami pergerakan lateral atau oleng. Sangat penting bagi kru kapal untuk memahami dan mengantisipasi gaya geser saat beroperasi, terutama saat berada di perairan dengan arus laut yang kuat atau gelombang yang tinggi. Mengambil tindakan yang tepat dan menggunakan teknik manuver yang tepat dapat membantu mengurangi risiko gaya geser yang tidak terkontrol dan memastikan kapal tetap stabil selama operasi.
- 4) Gaya Guling (*Rolling Force*): Gaya ini muncul saat kapal mengalami oleng di sekitar sumbu memanjangnya. Sangat penting bagi kru kapal untuk memahami gaya guling dan tahu cara mengendalikannya. Untuk mengurangi efek gaya guling dan meningkatkan stabilitas kapal, terkadang dipasang stabilizer hidrodinamis atau sistem stabilisasi aktif lainnya. Selain itu, desain lambung yang baik dan manuver yang hati-hati juga membantu mengurangi risiko gaya guling yang berlebihan dan menjaga stabilitas kapal selama operasi di laut.
- 5) Gaya Angkat (*Lift Force*): Gaya ini muncul pada kapal dengan bentuk hidrodinamis tertentu, seperti kapal layar, yang menghasilkan gaya angkat saat berlayar melawan angin. Salah satu prinsip utama pelayaran menggunakan layar adalah gaya angkat, yang memungkinkan kapal bergerak maju melawan angin. Kapal layar menggunakan kombinasi gaya angkat dan daya dorong dari sistem propulsi lainnya, seperti mesin atau baling-baling, untuk mengoptimalkan pergerakan kapal dalam berbagai kondisi angin dan perairan.

Untuk membuat kapal stabil, mengambang dengan benar, dan dapat beroperasi secara aman, perancang kapal dan ahli stabilitas harus mempertimbangkan semua gaya ini saat merancang kapal.

2. Momen dan Hubungannya dengan Stabilitas (Momen Oleng, Momen Heeling, Momen Belok)

Momen adalah gaya torsi yang dihasilkan oleh gaya-gaya yang bekerja pada kapal dan bagaimana momen-momen ini mempengaruhi stabilitas kapal. Berikut adalah penjelasan tentang momen dan hubungannya dengan stabilitas kapal dalam beberapa konteks khusus:

Momen Oleng (*Rolling Moment*)

Momen oleng adalah momen torsi yang dihasilkan oleh gaya-gaya yang cenderung menyebabkan kapal berguling atau miring ke sisi-sisi (oleng) secara lateral. Momen oleng dapat berasal dari gaya angkat dan hambatan hidrodinamis yang bekerja pada lambung kapal saat kapal bergerak di atas gelombang atau dalam kondisi laut yang kasar. Jika momen oleng lebih besar dari momen restoratif yang dihasilkan oleh perbedaan pusat gravitasi (CG) dan pusat pelampung (CB), kapal dapat mengalami gerakan oleng yang berlebihan, yang dapat mengancam stabilitas dan keamanan kapal.

Momen Heeling (*Heeling Moment*)

Momen heeling adalah momen torsi yang dihasilkan oleh gaya-gaya yang cenderung menyebabkan kapal miring ke satu sisi secara longitudinal. Momen heeling dapat berasal dari muatan kapal yang tidak seimbang secara lateral, angin yang kuat yang bekerja pada kapal, atau perubahan berat kapal yang tidak terdistribusi secara merata. Momen heeling dapat menyebabkan kemiringan kapal yang tidak diinginkan dan mempengaruhi stabilitas transversal kapal.

Momen Belok (*Turning Moment*):

Momen belok adalah momen torsi yang dihasilkan oleh gaya-gaya yang cenderung menyebabkan kapal berbelok atau mengubah arah gerakannya. Momen belok dapat berasal dari kemudi kapal yang ditekuk, dorongan baling-baling, atau kekuatan aliran air yang berbeda di sekitar lambung kapal saat

bergerak. Momen belok mempengaruhi kemampuan kapal untuk mengubah arah dan pengendaliannya.

Untuk merancang dan mengoperasikan kapal dengan aman, hubungan antara peristiwa ini dan stabilitas kapal sangat penting. Seseorang dapat memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang stabilitas kapal dengan menghitung momen-momen ini dan menganalisis bagaimana momen-momen ini berinteraksi dengan momen restoratif dan korektif. Dalam berbagai situasi operasional, kapal dapat tetap stabil dan aman. Ini dapat dicapai dengan menerapkan kontrol yang tepat, merencanakan muatan dengan cermat, dan manuver dengan hati-hati.

3. Gaya-gaya dan Momen-momen Ini Berinteraksi untuk Menjaga Stabilitas

Gaya-gaya dan momen-momen yang bekerja pada kapal saling berinteraksi untuk menjaga stabilitas kapal. Prinsip utama dalam menjaga stabilitas kapal adalah bahwa momen restoratif harus lebih besar daripada momen yang menyebabkan gangguan (momen oleng, momen heeling, dan momen belok). Berikut adalah bagaimana gaya-gaya dan momen-momen tersebut berinteraksi untuk menjaga stabilitas kapal:

a. Momen Restoratif dan Momen Oleng

Momen restoratif dihasilkan oleh perbedaan antara pusat gravitasi (CG) dan pusat pelampung (CB) kapal. Momen restoratif ini berfungsi untuk memulihkan kapal kembali ke posisi tegak saat terjadi gerakan oleng. Saat kapal berguling ke satu sisi, momen restoratif akan menyebabkan kapal kembali ke posisi tegak karena pusat gravitasi akan bergerak ke arah yang berlawanan dengan miringnya kapal.

b. Momen Restoratif dan Momen Heeling

Momen restoratif juga berperan dalam menjaga stabilitas transversal kapal. Saat terjadi momen heeling

karena muatan yang tidak seimbang atau gaya angin yang kuat, momen restoratif akan berusaha untuk mengembalikan kapal ke posisi datar. Jika muatan diatur secara simetris dan distribusi berat kapal seimbang, momen restoratif akan lebih efektif dalam menjaga kapal tetap stabil.

c. Momen Restoratif dan Momen Belok

Momen restoratif juga dapat mempengaruhi kemampuan kapal untuk berbelok. Ketika kemudi ditekek untuk mengarahkan kapal ke arah tertentu, akan dihasilkan momen belok yang menyebabkan perubahan arah gerak. Momen restoratif akan berusaha untuk mengatasi momen belok ini dan mempertahankan stabilitas longitudinal kapal selama proses belok.

Untuk menjamin stabilitas kapal dalam berbagai kondisi operasional, diperlukan perhitungan dan analisis yang tepat tentang momen restoratif dan momen lain yang berhubungan. Untuk menjaga stabilitas dan keselamatan kapal, perancang kapal dan kru kapal harus mempertimbangkan distribusi berat kapal, muatan, kondisi laut, dan faktor lain yang dapat mempengaruhi momen kerja kapal.

C. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Stabilitas Kapal

Distribusi material di lambung dan dek memainkan peran penting dalam menentukan stabilitas material. Jika material tidak terdistribusi di lambung, maka dapat menyebabkan hilangnya stabilitas dan mempengaruhi stabilitas transversal kapal. Faktor-faktor utama yang perlu dipertimbangkan termasuk distribusi materi dan gravitasi, distribusi material dan struktur, serta distribusi material dan struktur. Menganalisis faktor-faktor ini dan menerapkan prinsip-prinsip stabilitas bersama dengan manajemen material dan struktur yang cermat, dapat membantu menjaga stabilitas dalam berbagai kondisi operasional (Hetharia, Gaspersz *and* Feninlambir, 2021).

Stabilitas kapal dipengaruhi oleh berbagai faktor yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan, operasi, dan manajemen kapal. Beberapa faktor penting yang mempengaruhi stabilitas kapal adalah:

1. Pusat Gravitasi (*Center of Gravity* - CG)

Posisi pusat gravitasi atau titik berat kapal sangat penting dalam menentukan stabilitas kapal. Pusat gravitasi merupakan titik di mana seluruh berat kapal dan muatannya dianggap terpusat. Posisi yang rendah dan stabil dari pusat gravitasi akan meningkatkan stabilitas kapal, sementara posisi yang tinggi dan tidak stabil dapat menyebabkan kecenderungan berguling.

2. Pusat Pelampung (*Center of Buoyancy* - CB)

Pusat pelampung adalah titik di mana seluruh gaya angkat yang bekerja pada kapal dianggap terpusat. Posisi pusat pelampung akan berubah saat kapal terendam lebih dalam atau lebih dangkal dalam air. Perubahan posisi pusat pelampung dapat mempengaruhi stabilitas transversal kapal.

3. Berat Kapal dan Muatan

Berat kapal dan muatan yang diangkut oleh kapal berkontribusi terhadap stabilitas kapal. Muatan yang tidak seimbang atau berat yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pusat gravitasi naik dan mengurangi stabilitas kapal.

4. Distribusi Berat

Distribusi berat kapal dalam lambung dan dek juga berpengaruh terhadap stabilitas. Jika berat terkonsentrasi pada satu sisi atau tinggi di atas lambung, hal ini dapat menyebabkan momen heeling dan mengganggu stabilitas transversal kapal.

5. Bentuk Lambung Kapal

Bentuk lambung kapal mempengaruhi bagaimana kapal bergerak di dalam air dan berinteraksi dengan gelombang.

Lambung kapal yang lebih lebar atau memiliki bagian bawah yang lebar cenderung memiliki stabilitas transversal yang lebih baik.

6. Muatan Air Ballast

Muatan air ballast adalah air yang disimpan di dalam tangki khusus di kapal untuk mengatur stabilitas. Mengisi atau mengosongkan tangki air ballast dapat membantu menyesuaikan posisi pusat apung dan menjaga stabilitas kapal.

7. Kecepatan dan Perubahan Kecepatan

Kecepatan kapal juga dapat mempengaruhi stabilitas, terutama dalam kondisi operasional tertentu seperti berbelok atau menghadapi gelombang besar. Perubahan kecepatan yang tiba-tiba atau gerakan berbelok yang cepat dapat mengganggu stabilitas kapal.

8. Faktor Lingkungan Laut

Gelombang, arus, dan cuaca laut juga mempengaruhi stabilitas kapal. Kapal harus mampu menangani beban lingkungan ini untuk menjaga stabilitas.

Semua faktor di atas harus diperhatikan dan dikelola dengan baik oleh perancang kapal dan kru kapal untuk memastikan stabilitas yang optimal dan keselamatan dalam operasi kapal.

1. Pengaruh Dimensi dan Desain Kapal terhadap Stabilitas (Beam, Draft, Freeboard)

Dimensi dan desain kapal memiliki pengaruh signifikan terhadap stabilitas kapal. Beberapa dimensi dan desain kapal yang berperan penting dalam stabilitas adalah:

a. Beam (Lebar Kapal)

Beam atau lebar kapal adalah dimensi kapal yang mengukur jarak antara kedua sisi kapal pada titik terluar lambung. Lebar kapal berpengaruh terhadap stabilitas transversal kapal. Kapal dengan beam yang lebih lebar

cenderung memiliki stabilitas transversal yang lebih baik karena memiliki momen restoratif yang lebih besar saat menghadapi momen oleng. Lebar yang cukup juga memastikan bahwa pusat pelampung (CB) cenderung berada di sekitar pusat gravitasi (CG) kapal, yang menghasilkan stabilitas yang lebih baik.

b. Draft (Kedalaman Maksimum Kapal)

Draft atau kedalaman maksimum kapal adalah jarak vertikal dari permukaan air ke dasar lambung kapal. Draft berpengaruh pada stabilitas longitudinal kapal. Kapal dengan draft yang lebih besar cenderung memiliki stabilitas longitudinal yang lebih baik, terutama dalam menghadapi momen heeling akibat angin dan gelombang.

c. Freeboard (Tinggi Dek Kapal)

Freeboard atau tinggi dek kapal adalah jarak vertikal dari permukaan air ke atas dek kapal. Freeboard berpengaruh terhadap stabilitas dan keamanan kapal, terutama dalam mencegah air masuk ke dalam kapal saat terkena gelombang atau cuaca buruk. Freeboard yang cukup memastikan bahwa kapal memiliki daya apung yang memadai dan dapat menjaga stabilitas transversal serta menghindari risiko kecelakaan.

Selain dimensi kapal, desain lambung kapal juga mempengaruhi stabilitas. Beberapa faktor desain yang berperan penting adalah:

a. Bentuk Bawah Lambung (*Hull Form*)

Bentuk bawah lambung kapal, seperti bentuk U atau V, dapat mempengaruhi stabilitas dan kemampuan kapal untuk menghadapi gelombang. Bentuk bawah yang lebar dan datar cenderung memberikan stabilitas yang lebih baik, sementara bentuk bawah yang lancip lebih cocok untuk kapal dengan kecepatan tinggi dan beroperasi di perairan yang tenang.

b. Distribusi Muatan dan Berat Kapal

Distribusi muatan dan berat kapal yang tidak seimbang dapat mengganggu stabilitas kapal. Desain yang mempertimbangkan distribusi berat yang merata dan simetris akan memberikan stabilitas yang lebih baik.

c. Sistem Ballast

Sistem ballast yang efisien memungkinkan pengaturan distribusi berat kapal dan dapat membantu dalam menjaga stabilitas kapal dalam berbagai kondisi operasional.

d. Superstruktur dan Peralatan Kapal

Desain superstruktur dan penempatan peralatan kapal juga harus mempertimbangkan dampaknya terhadap stabilitas kapal. Peralatan yang ditempatkan terlalu tinggi atau di sisi-sisi yang tidak seimbang dapat mempengaruhi pusat gravitasi dan mengganggu stabilitas kapal.

Untuk membuat kapal yang aman, stabil, dan efisien dalam berbagai kondisi operasional, semua aspek dimensi dan desain harus diintegrasikan secara cermat. Memahami bagaimana dimensi dan desain kapal berhubungan dengan stabilitas akan membantu dalam mengoptimalkan performa dan keselamatan kapal.

2. Pengaruh Distribusi Kargo dan Kondisi Pemuatan terhadap Stabilitas

Distribusi kargo dan kondisi pemuatan kapal memiliki pengaruh signifikan terhadap stabilitas kapal. Pemuatan yang tidak tepat atau distribusi kargo yang tidak seimbang dapat mengubah pusat gravitasi (CG) dan pusat pelampung (CB) kapal, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi stabilitas kapal. Berikut adalah beberapa pengaruh distribusi kargo dan kondisi pemuatan terhadap stabilitas kapal:

a. Perubahan Posisi Pusat Gravitasi (CG)

Pemuatan kargo yang tidak teratur atau distribusi muatan yang tidak seimbang dapat mengubah posisi pusat gravitasi kapal. Jika berat muatan terkonsentrasi pada satu sisi kapal atau di bagian atas, pusat gravitasi kapal dapat naik atau bergeser ke satu sisi. Hal ini dapat menyebabkan momen heeling dan mengurangi stabilitas transversal kapal.

b. Pergeseran Pusat Pelampung (CB)

Pemuatan kargo yang tidak sesuai atau perubahan distribusi muatan juga dapat mempengaruhi posisi pusat pelampung kapal. Jika muatan berat ditempatkan terlalu dekat dengan salah satu sisi lambung atau berada di atas dek yang lebih tinggi, pusat pelampung dapat bergeser dan mempengaruhi stabilitas longitudinal kapal.

c. Kelebihan Muatan atau Kurang Muatan

Pemuatan kapal dengan kelebihan muatan atau kurang muatan dari yang direncanakan dapat mengubah displacement kapal dan mengganggu stabilitas keseluruhan. Kelebihan muatan dapat menyebabkan kapal lebih dalam terendam daripada yang seharusnya, sedangkan kurang muatan dapat menyebabkan kapal terlalu tinggi terendam, keduanya dapat mempengaruhi pusat pelampung dan stabilitas kapal.

d. Pergeseran Ballast

Perubahan dalam distribusi ballast kapal juga dapat mempengaruhi stabilitas. Sistem ballast digunakan untuk mengatur distribusi berat kapal dan membantu menjaga pusat pelampung dan stabilitas kapal. Jika ballast tidak diatur dengan baik atau muatan air ballast diisi atau dikosongkan secara tidak sesuai, dapat menyebabkan pergeseran pusat pelampung dan mempengaruhi stabilitas.

Mengingat pengaruh distribusi kargo dan kondisi pemuatan terhadap stabilitas kapal, perencanaan muatan yang cermat, pengaturan ballast yang tepat, dan pengetahuan tentang efek distribusi berat terhadap stabilitas sangat penting. Untuk menjamin kestabilan dan keselamatan kapal dalam semua kondisi operasional, kru dan manajemen kapal harus memastikan bahwa kapal dimuat sesuai dengan peraturan dan pedoman yang berlaku.

3. Peran Kondisi Cuaca dan Faktor Lingkungan terhadap Stabilitas Kapal

Kondisi cuaca dan faktor lingkungan memainkan peran krusial terhadap stabilitas kapal. Beberapa peran utama yang dimainkan oleh kondisi cuaca dan faktor lingkungan terhadap stabilitas kapal adalah sebagai berikut:

a. Gelombang dan Angin

Gelombang laut dan angin yang kuat adalah dua faktor lingkungan utama yang mempengaruhi stabilitas kapal. Gelombang besar dapat menyebabkan gerakan oleng kapal yang dapat mengganggu stabilitas transversal. Angin kuat yang bekerja pada superstruktur kapal dapat menyebabkan momen heeling dan mengancam stabilitas longitudinal kapal (ICHSAN, 2013).

b. Arus Laut

Arus laut yang kuat juga dapat mempengaruhi stabilitas kapal, terutama ketika kapal bergerak atau berlabuh. Arus yang kuat dapat menyebabkan kapal miring atau berguling, terutama jika distribusi muatan tidak tepat atau jika ballast tidak diatur dengan baik.

c. Es dan Perairan Berbeku

Es dan perairan bebeku adalah faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi stabilitas kapal, terutama di perairan kutub atau musim dingin yang ekstrem. Es yang menumpuk pada lambung kapal dapat mengubah distribusi

berat dan pusat gravitasi kapal, yang dapat mempengaruhi stabilitas.

d. Kondisi Cuaca Ekstrem

Kondisi cuaca ekstrem seperti badai dan topan dapat menyebabkan gelombang besar, angin kencang, dan arus yang kuat. Kondisi ini dapat menyebabkan kapal menghadapi momen oleng, heeling, atau belok yang signifikan dan mengancam stabilitas kapal.

e. Perubahan Displacement

Perubahan dalam kondisi cuaca dan lingkungan dapat menyebabkan perubahan displacement kapal. Gelombang besar atau arus yang kuat dapat menyebabkan kapal terendam lebih dalam atau lebih dangkal dalam air, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi pusat pelampung dan stabilitas.

f. Pengaruh Suhu dan Kondisi Atmosfer

Perubahan suhu dan kondisi atmosfer, seperti perubahan kepadatan air laut, juga dapat mempengaruhi stabilitas kapal. Perubahan kepadatan air dapat mempengaruhi pusat pelampung dan berat kapal, yang dapat mempengaruhi stabilitas.

Saat beroperasi, kru kapal dan manajemen harus memantau dan memahami faktor lingkungan dan cuaca. Mengatasi kondisi cuaca ekstrim, seperti mengatur ballast, mengubah rute pelayaran, atau tindakan pencegahan lainnya, dapat membantu kapal tetap stabil dan selamat selama pelayaran.

D. Metode Analisis Stabilitas

Analisis stabilitas kapal dilakukan dengan berbagai metode untuk memastikan bahwa kapal memiliki stabilitas yang memadai dalam berbagai kondisi operasional. Berikut adalah beberapa

metode analisis stabilitas kapal yang umum digunakan: BASUKI, Y. R

1. Analisis Kurva GZ (GM)

Kurva GZ adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara momen restoratif (GZ) dan kemiringan kapal (θ) saat kapal dikenai momen oleng. Analisis Kurva GZ membantu dalam memahami karakteristik stabilitas transversal kapal dan menentukan GM (jarak metacenter di atas pusat gravitasi) yang merupakan parameter penting dalam stabilitas kapal.

2. Analisis GHS (*General Hydrostatic Software*)

GHS adalah perangkat lunak simulasi stabilitas yang digunakan untuk melakukan analisis hidrostatis dan stabilitas kapal. Dengan menggunakan data geometri kapal, bobot kapal, dan posisi muatan, GHS menghitung kemiringan kapal dan posisi pusat pelampung dalam berbagai kondisi pemuatan dan lingkungan.

3. Analisis Model Fisik

Analisis model fisik melibatkan pembuatan model fisik kapal dan menguji stabilitasnya dalam tangki uji atau kolam air. Model fisik ini memungkinkan pengujian dan pengamatan langsung tentang bagaimana kapal merespons momen oleng, momen heeling, dan momen belok dalam berbagai situasi.

4. Analisis Metode Ikhtisar Kaplan

Metode ini digunakan untuk memperkirakan nilai kapal dari kurva stabilitas metacentric. Dengan menggunakan kurva ini, bisa diketahui kapan stabilisasi mulai berkurang dan potensi risiko kritis yang dapat mempengaruhi stabilitas kapal.

5. Analisis Software Stabilitas Kapal

Terdapat berbagai perangkat lunak komputer yang dirancang khusus untuk melakukan analisis stabilitas kapal, seperti NAPA, MAXSURF Stability, dan program lainnya. Perangkat lunak ini memungkinkan simulasi digital yang lebih

rinci dan akurat untuk mengidentifikasi potensi masalah stabilitas dan mengevaluasi pengaruh distribusi muatan dan kondisi lingkungan terhadap stabilitas.

Semua metode analisis stabilitas di atas sangat penting untuk memastikan bahwa kapal aman dan stabil dalam berbagai situasi operasional. Perancang kapal, ahli stabilitas, dan kru kapal harus bekerja sama untuk menggunakan metode ini untuk merancang, mengoperasikan, dan mengelola kapal dengan keselamatan yang optimal dan stabilitas yang terjamin.

1. Berbagai Metode Analisis Stabilitas (Statis, Dinamis, Probabilistik)

Berikut adalah berbagai metode analisis stabilitas kapal yang umum digunakan, termasuk analisis statis, dinamis, dan probabilistik (Kapal *et al.*, 2003) sebagai berikut:

a. Analisis Statis

- 1) Analisis Kurva GZ (GM): Menggunakan kurva GZ (hubungan momen restoratif dengan kemiringan) untuk menentukan GM (jarak metacenter di atas pusat gravitasi) dan mengukur stabilitas transversal kapal.
- 2) Analisis Ketidakstabilan Statis: Melakukan analisis untuk mengidentifikasi kemungkinan ketidakstabilan kapal dengan memeriksa kondisi kritis di mana momen restoratif kurang dari momen oleng.

b. Analisis Dinamis

- 1) Analisis Model Fisik: Membuat model fisik kapal dan menguji stabilitasnya dalam tangki uji atau kolam air untuk mengamati perilaku kapal dalam berbagai kondisi dinamis.
- 2) Analisis Simulasi Komputer: Menggunakan perangkat lunak simulasi komputer seperti NAPA, MAXSURF Stability, dan sejenisnya untuk melakukan analisis yang lebih rinci dan realistis tentang stabilitas kapal dalam berbagai situasi dinamis.

c. Analisis Probabilistik

- 1) Analisis Safety Factor: Melakukan analisis probabilistik untuk menghitung faktor keamanan dan memperkirakan probabilitas kejadian ketidakstabilan atau risiko lain yang terkait dengan stabilitas kapal.
- 2) Analisis Keandalan Struktur: Menggunakan metode probabilitas untuk mengevaluasi keandalan struktur kapal dan memastikan stabilitas dalam kondisi ekstrem atau tak terduga.

d. Analisis Laju Oleng (*Rolling Motion*)

Analisis Laju Oleng: Menggunakan perangkat lunak simulasi untuk memprediksi laju oleng kapal dalam berbagai kondisi gelombang dan cuaca.

e. Analisis Pengaruh Lingkungan

- 1) Analisis Gelombang dan Angin: Menggunakan data gelombang dan angin untuk mengidentifikasi momen heeling dan memperkirakan dampaknya terhadap stabilitas kapal.
- 2) Analisis Pengaruh Arus: Menghitung momen heeling yang disebabkan oleh arus laut dan mempertimbangkan dampaknya terhadap stabilitas kapal.

Perancang kapal, ahli stabilitas, dan kru kapal menggunakan teknik analisis stabilitas ini untuk memastikan bahwa kapal memiliki stabilitas yang memadai dan aman dalam berbagai situasi operasional dan lingkungan laut. Kombinasi teknik ini membantu dalam perencanaan dan pengelolaan stabilitas kapal untuk memastikan kinerja dan keselamatan yang optimal.

2. Kriteria dan Peraturan Stabilitas (Percobaan Miring, Kriteria Stabilitas Utuh)

Stabilitas kapal diatur oleh berbagai kriteria dan peraturan yang ditetapkan oleh badan regulasi maritim di

berbagai negara. Kriteria dan peraturan tersebut dirancang untuk memastikan bahwa kapal memiliki stabilitas yang memadai dan aman dalam berbagai kondisi operasional. Dua aspek penting dari kriteria dan peraturan stabilitas kapal adalah percobaan miring dan kriteria stabilitas utuh.

a. Percobaan Miring (*Inclining Experiment*)

Percobaan miring adalah proses pengukuran dan analisis untuk menentukan letak pusat gravitasi (CG) kapal secara akurat. Percobaan ini dilakukan dengan mengubah posisi CG kapal menggunakan tambahan beban yang diketahui. Ketika kapal miring dalam kondisi stabil, momen restoratif dan momen oleng seimbang satu sama lain. Data dari percobaan miring ini digunakan untuk menghitung GM (jarak metacenter di atas pusat gravitasi) dan menentukan stabilitas kapal.

b. Kriteria Stabilitas Utuh (*Intact Stability Criteria*)

Kriteria stabilitas utuh adalah peraturan dan batasan yang mengatur tingkat stabilitas yang harus dipenuhi oleh kapal dalam berbagai kondisi operasional. Kriteria ini meliputi GM minimum yang diharuskan, batas maksimum kemiringan kapal yang diizinkan, serta persyaratan mengenai perubahan GM dengan muatan dan kondisi tertentu.

Beberapa badan regulasi maritim yang mengatur kriteria dan peraturan stabilitas kapal antara lain adalah:

- a. International Maritime Organization (IMO): Organisasi Maritim Internasional yang menetapkan Konvensi tentang Keselamatan Hidrostatik, Stabilitas, dan Bongkar Muat (SOLAS), yang mengatur kriteria stabilitas kapal internasional.
- b. United States Coast Guard (USCG): Menetapkan peraturan mengenai stabilitas kapal di perairan Amerika Serikat, termasuk stabilitas dan instruksi pemuatan (*stability and loading instructions*) dan peraturan lainnya.

Kriteria dan peraturan stabilitas ini didasarkan pada hasil studi dan analisis teknis yang dilakukan oleh badan-badan regulasi serta pengalaman operasional kapal-kapal sebelumnya. Perancang kapal, operator kapal, dan kru kapal harus menerapkan kriteria dan peraturan ini untuk memastikan keselamatan dan stabilitas kapal selama setiap tahap operasi.

3. Analisis Stabilitas untuk Memastikan Operasi Kapal yang Aman

Untuk memastikan operasi kapal yang aman, analisis stabilitas menjadi langkah kritis yang harus dilakukan. Berikut adalah beberapa langkah dalam analisis stabilitas untuk memastikan operasi kapal yang aman:

a. Perencanaan Pemuatan dan Distribusi Muatan

Sebelum kapal berlayar, perencanaan pemuatan dan distribusi muatan harus dilakukan dengan hati-hati. Memastikan bahwa muatan terdistribusi secara seimbang dan sesuai dengan batas yang ditentukan untuk kapal. Pemuatan yang tidak tepat dapat menyebabkan perubahan pusat gravitasi (CG) dan pusat pelampung (CB), yang dapat mempengaruhi stabilitas kapal.

b. Analisis Kurva GZ dan GM

Melakukan analisis kurva GZ (hubungan momen restoratif dengan kemiringan) untuk menentukan GM (jarak metacenter di atas pusat gravitasi). GM yang cukup besar menandakan stabilitas kapal yang baik. Hasil analisis kurva GZ digunakan untuk memastikan bahwa kapal memiliki stabilitas yang memadai.

c. Analisis Simulasi Komputer dan Model Fisik

Menggunakan simulasi komputer atau model fisik untuk menguji stabilitas kapal dalam berbagai kondisi operasional dan lingkungan. Simulasi ini membantu dalam

memahami perilaku kapal dalam situasi yang berbeda dan memastikan stabilitas kapal dalam berbagai kondisi.

d. Mematuhi Kriteria Stabilitas Utuh

Menerapkan kriteria stabilitas utuh yang ditetapkan oleh badan regulasi maritim. Kriteria ini meliputi persyaratan untuk GM minimum, batas kemiringan kapal yang diizinkan, dan kriteria lainnya untuk memastikan stabilitas kapal dalam kondisi normal dan ekstrem.

e. Pelatihan Kru Kapal

Mengedukasi dan melatih kru kapal mengenai stabilitas kapal, tanda-tanda ketidakstabilan, dan prosedur tindakan darurat yang harus diambil dalam situasi yang mengancam stabilitas. Kru kapal harus siap untuk menghadapi situasi darurat dan memiliki pengetahuan dan keterampilan yang diperlukan untuk menjaga stabilitas dan keselamatan kapal.

f. Monitoring dan Pengawasan Selama Operasi

Selama operasi kapal, monitoring dan pengawasan yang ketat terhadap stabilitas kapal sangat penting. Penggunaan perangkat lunak monitoring yang canggih dan penerapan prosedur operasional yang tepat membantu dalam memantau stabilitas kapal dan mengambil tindakan pencegahan jika ada tanda-tanda ketidakstabilan.

Dengan melibatkan analisis stabilitas secara menyeluruh dan melibatkan semua pihak terkait, kapal dapat dioperasikan dengan stabilitas yang memadai dan keselamatan yang terjamin dalam berbagai kondisi operasional dan lingkungan laut. Keselamatan dan stabilitas kapal adalah prioritas utama untuk memastikan operasi yang aman dan sukses.

E. Konsekuensi dari Ketidakstabilan

Ketidakstabilan pada kapal dapat memiliki konsekuensi yang serius dan bahkan dapat menyebabkan kecelakaan atau kehancuran. Beberapa konsekuensi dari ketidakstabilan kapal adalah sebagai berikut:

1. Kemiringan Berlebihan (*Heeling*)

Ketidakstabilan transversal dapat menyebabkan kemiringan berlebihan (*heeling*) kapal ke salah satu sisi. Jika kemiringan menjadi terlalu besar, kapal dapat terguling atau bahkan terbalik, menyebabkan kecelakaan dan potensi tenggelam.

2. Kehilangan Kontrol

Ketidakstabilan kapal dapat menyebabkan hilangnya kontrol terhadap kapal. Pada kondisi ekstrim, kemampuan kemudi dan manuver kapal dapat terpengaruh, meningkatkan risiko kecelakaan atau tabrakan dengan kapal lain atau objek lain.

3. Kegagalan Struktur

Ketidakstabilan yang berlebihan dapat menyebabkan kegagalan struktural pada kapal. Beban yang tidak merata pada lambung dan struktur kapal dapat menyebabkan retak, patah, atau kerusakan lain pada kapal.

4. Rantai Runtuh Muatan

Pada kapal kargo, ketidakstabilan dapat menyebabkan muatan berpindah atau jatuh, menyebabkan kerusakan pada muatan atau bahkan merusak kapal sendiri.

5. Risiko Kecelakaan Pemuatan

Ketidakstabilan dalam distribusi muatan dapat menyebabkan risiko kecelakaan pemuatan. Kapal dapat menjadi terlalu dalam terendam atau terlalu tinggi terendam, mengancam stabilitas dan keselamatan kapal.

6. Potensi Tenggelam

Ketidakstabilan yang ekstrim dapat menyebabkan kapal tenggelam. Jika kapal terbalik atau terguling, muatan berpindah ke satu sisi, atau pusat pelampung bergeser terlalu jauh, kapal bisa kehilangan daya apung dan tenggelam.

7. Ancaman bagi Keselamatan Awak Kapal dan Penumpang

Ketidakstabilan yang ekstrim menyebabkan ancaman bagi keselamatan awak kapal dan penumpang. Jika kapal tidak stabil, awak dan penumpang bisa terjatuh atau terluka, dan keselamatan mereka menjadi terancam.

Oleh karena itu, perancang kapal, ahli stabilitas, dan kru kapal harus bekerja sama untuk memastikan bahwa kapal memiliki stabilitas yang memadai dalam berbagai kondisi operasional dan lingkungan laut. Langkah-langkah yang diperlukan untuk mengurangi dampak berbahaya termasuk penerapan standar dan peraturan stabilitas, pelatihan kru, pengawasan selama operasi, dan analisis stabilitas yang tepat.

1. Konsekuensi Potensial dari Ketidakstabilan (Terbalik, Kehilangan Kargo, Kehilangan Kehidupan Manusia)

Ketidakstabilan kapal dapat menyebabkan konsekuensi yang sangat serius dan berbahaya, antara lain (Habibi, 2018):

a. Terguling atau Tenggelam (Kapal Terbalik)

Ketidakstabilan yang ekstrim dapat menyebabkan kapal terguling atau bahkan tenggelam. Jika kapal kehilangan stabilitas transversal, kemiringan berlebihan ke salah satu sisi bisa membuat kapal terbalik dan terendam di bawah permukaan air.

b. Kehilangan Kargo

Ketidakstabilan kapal dapat menyebabkan pergeseran muatan atau bahkan kehilangan muatan. Jika muatan tidak terikat dengan baik atau distribusi muatan tidak sesuai, kemiringan berlebihan dapat menyebabkan kargo

berpindah dan jatuh ke laut, menyebabkan kerugian material dan lingkungan.

c. Kehilangan Kehidupan Manusia

Ketidakstabilan kapal dapat mengancam keselamatan awak kapal dan penumpang. Jika kapal terbalik atau tenggelam, awak kapal dan penumpang berada dalam bahaya besar, dan ada risiko kehilangan nyawa.

d. Kecelakaan dan Tabrakan

Ketidakstabilan dapat menyebabkan hilangnya kontrol atas kapal, yang dapat menyebabkan kecelakaan atau tabrakan dengan kapal lain atau objek lain di laut.

e. Kerusakan Struktural

Ketidakstabilan yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan struktural pada kapal. Struktur kapal bisa mengalami retak, patah, atau kerusakan lain akibat beban yang tidak merata dan gerakan yang tidak normal.

f. Rantai Runtuh Kru

Jika kapal tidak stabil saat melakukan pekerjaan di atas kapal, awak kapal dapat terjatuh atau terluka.

g. Dampak Lingkungan:

Ketidakstabilan yang menyebabkan kehilangan muatan kargo dapat menyebabkan pencemaran laut dan merugikan lingkungan.

Oleh karena itu, menjaga stabilitas kapal adalah hal yang kritis untuk operasi yang aman dan keberlanjutan lingkungan laut. Perancang kapal, ahli stabilitas, dan kru kapal harus bekerja sama untuk memastikan bahwa kapal memiliki stabilitas yang memadai dalam berbagai kondisi operasional dan lingkungan laut. Penerapan kriteria dan peraturan stabilitas, pelatihan kru, pengawasan selama operasi, dan

analisis stabilitas yang tepat merupakan langkah-langkah yang diperlukan untuk menghindari konsekuensi serius dari ketidakstabilan kapal.

2. Dampak Ekonomi dari Ketidakstabilan Kapal (Kerugian Material, Biaya Perbaikan, Hilangnya Pendapatan)

Ketidakstabilan kapal dapat menyebabkan dampak ekonomi yang signifikan dan merugikan bagi pemilik kapal dan industri maritim. Berikut adalah beberapa dampak ekonomi dari ketidakstabilan kapal:

a. Kerugian Material dan Kehilangan Kargo

Ketidakstabilan yang menyebabkan kapal terguling atau kehilangan muatan dapat menyebabkan kerugian material yang besar. Kehilangan atau kerusakan muatan berarti hilangnya nilai barang dagangan yang diangkut oleh kapal. Pemilik kapal, perusahaan pelayaran, dan pemilik muatan dapat mengalami kerugian finansial yang serius akibat hilangnya muatan.

b. Biaya Perbaikan dan Pemulihan

Setelah kejadian ketidakstabilan, kapal mungkin mengalami kerusakan struktural dan mekanis yang memerlukan biaya perbaikan yang besar. Biaya perbaikan meliputi perbaikan fisik kapal, penggantian atau perbaikan peralatan kapal, dan biaya pemulihan operasional. Biaya ini dapat menjadi beban besar bagi pemilik kapal dan perusahaan pelayaran.

c. Kehilangan Pendapatan

Jika kapal mengalami ketidakstabilan yang menyebabkan penundaan atau layanan terhenti, pemilik kapal dan perusahaan pelayaran akan mengalami kehilangan pendapatan. Kegagalan untuk menyelesaikan perjalanan atau memenuhi jadwal pelayaran dapat menyebabkan kehilangan pendapatan dari bisnis yang dijadwalkan.

d. Biaya Asuransi dan Klaim

Ketidakstabilan kapal dapat menyebabkan peningkatan biaya asuransi, karena risiko kapal dianggap lebih tinggi oleh perusahaan asuransi. Pemilik kapal mungkin harus membayar premi asuransi yang lebih tinggi, dan jika kecelakaan terjadi, mereka harus mengajukan klaim asuransi untuk menutupi kerugian yang terjadi.

e. Dampak pada Reputasi dan Kepercayaan

Ketidakstabilan yang menyebabkan kecelakaan atau kerugian besar dapat merusak reputasi perusahaan pelayaran atau pemilik kapal. Hilangnya kepercayaan dari pelanggan dan klien dapat menyebabkan dampak jangka panjang pada operasi dan kemampuan untuk mendapatkan kontrak dan bisnis di masa mendatang.

f. Denda dan Sanksi

Ketidakstabilan kapal yang mengakibatkan kecelakaan atau pencemaran laut dapat menyebabkan perusahaan pelayaran atau pemilik kapal dikenai denda dan sanksi oleh badan regulasi maritim dan otoritas pemerintah. Denda dan sanksi ini bisa sangat mahal dan berdampak negatif pada keuangan perusahaan.

Oleh karena itu, untuk mencegah konsekuensi ekonomi yang merugikan dari ketidakstabilan kapal, perancang kapal, ahli stabilitas, dan kru kapal harus bekerja sama untuk memastikan bahwa kapal memiliki stabilitas yang memadai dalam berbagai kondisi operasional dan lingkungan laut, dengan menerapkan standar dan peraturan stabilitas, memberikan pelatihan kru, melakukan pengawasan selama operasi, dan melakukan analisis stabilitas yang tepat.

3. Tindakan Pencegahan dan Mitigasi untuk Menghindari Ketidakstabilan Kapal

Untuk mencegah ketidakstabilan kapal dan mengurangi risikonya, beberapa tindakan pencegahan dan mitigasi yang dapat diambil adalah (Hartono *and* Purwanto, 2015):

a. Pemilihan Desain Kapal yang Stabil

Mulai dari tahap perancangan, memilih desain kapal yang stabil menjadi langkah pertama yang penting. Desain kapal harus memperhitungkan distribusi muatan, pusat gravitasi (CG), dan pusat pelampung (CB) untuk memastikan stabilitas kapal yang memadai dalam berbagai kondisi.

b. Perencanaan Pemuatan yang Tepat

Sebelum berlayar, perencanaan pemuatan harus dilakukan dengan hati-hati. Memastikan distribusi muatan yang seimbang dan sesuai dengan batas yang ditetapkan untuk kapal. Penggunaan perangkat lunak bantu seperti Loadicator dan Loadmaster membantu dalam perencanaan pemuatan yang tepat.

c. Analisis Kurva GZ dan GM secara Berkala

Melakukan analisis kurva GZ secara berkala untuk memantau GM (jarak metacenter di atas pusat gravitasi). Memastikan GM yang memadai merupakan langkah pencegahan untuk menjaga stabilitas kapal.

d. Pelatihan Kru Kapal

Melatih kru kapal dalam mengenali tanda-tanda ketidakstabilan dan tahu bagaimana merespon dengan benar dalam situasi darurat. Pelatihan kru tentang stabilitas kapal dan prosedur tindakan darurat dapat meningkatkan kesadaran dan kemampuan mereka dalam menjaga stabilitas kapal.

e. Pengawasan Selama Operasi

Melakukan pengawasan yang ketat terhadap stabilitas kapal selama operasi. Menggunakan perangkat lunak monitoring yang canggih dan melakukan pemantauan terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas seperti muatan, angin, dan gelombang laut.

f. Penerapan Kriteria dan Peraturan Stabilitas

Menerapkan kriteria dan peraturan stabilitas yang ditetapkan oleh badan regulasi maritim. Mengikuti peraturan seperti SOLAS (Konvensi Keselamatan Hidrostatik, Stabilitas, dan Bongkar Muat) dari IMO sangat penting untuk memastikan stabilitas kapal yang memadai.

g. Penerapan Sistem Stabilitas Aktif

Beberapa kapal modern dilengkapi dengan sistem stabilitas aktif yang dapat membantu mempertahankan stabilitas dalam situasi darurat. Sistem ini termasuk stabilizer hidrodinamik, ballast tank yang dapat diisi ulang, dan teknologi lainnya yang membantu menjaga keseimbangan kapal.

h. Evaluasi dan Pelaporan Kejadian Ketidakstabilan

Jika terjadi kejadian ketidakstabilan, penting untuk melakukan evaluasi menyeluruh dan pelaporan kejadian tersebut. Melakukan analisis untuk memahami penyebabnya dan mengambil langkah-langkah korektif untuk menghindari kejadian serupa di masa depan.

Dengan melakukan tindakan pencegahan dan mitigasi ini, risiko ketidakstabilan kapal dapat diminimalkan, dan kapal dapat dioperasikan dengan stabilitas yang memadai dan keselamatan yang terjamin dalam berbagai kondisi operasional dan lingkungan laut. Kesadaran, pelatihan, pengawasan, dan penerapan teknologi yang tepat adalah kunci untuk mencegah ketidakstabilan dan efek buruknya.

Daftar Pustaka

- Habibi. (2018). 'Review jurnal Kegagalan Sistem Keselamatan Transportasi Laut di Indonesia (Failure of The Marine Transportation Safety System in Indonesia) Disusun oleh: Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Universitas Hasanuddin'. Available at: <https://osf.io/preprints/xfs5n/%0Ahttps://osf.io/xfs5n/download>.
- Hartono, B. and Purwanto. (2015). 'Perancangan Pompa Air Tenaga Surya Guna Memindahkan Air Bersih ke Tangki Penampung', *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 9(1), pp. 28-33.
- Hetharia, W.R., Gaspersz, F. and Feninlambir, A. (2021). 'Evaluasi Parameter Stabilitas Kapal-Kapal Penumpang Kecil', *ALE Proceeding*, 1(April), pp. 86-89. Available at: <https://doi.org/10.30598/ale.1.2018.86-89>.
- ICHSAN, L.O.M. (2013) 'Kriteria Stabilitas Kapal Yang Beroperasi Di Perairan Indonesia', *Jurnal Universitas Hasanuddin*, 1. Available at: http://digilib.unhas.ac.id/uploaded_files/temporary/DigitalCollection/OGNhZTA2NjhkZjU4MDEyZjM1MmMwZjU1NDk0NDNjMWRjYmY5MTIxMQ==.pdf.
- Kapal, M.S. *et al.* (2003). 'NPN - Prod/K.02'.
- Putra, Z. (2017). 'Pengendali Pintu Gerbang Otomatis Menggunakan Bluetooth dan Android Sistem Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno', *Unikom Repository*, pp. 5-24.
- Santoso, B., Abdurrahman, N. and Sarwoko. (2016). 'Analisis Teknis Stabilitas Kapal LCT 200 GT', *Jurnal Rekayasa Mesin, Politeknik Negeri Semarang*, 11(1), pp. 26-31.

BAB V

DISPLACEMENT KAPAL

Paharuddin

A. Pengertian Displacement Kapal

Secara sederhana, displacement kapal adalah berat total kapal yang terdiri dari bobot muatan, bahan bakar, air tawar, peralatan, dan struktur kapal saat mengapung atau terendam dalam air. Displacement kapal diukur dalam ton atau metrik ton dan biasanya dinyatakan dalam dua kondisi: Displacement penuh, yang berarti semua muatan dan bahan bakar yang diizinkan, dan displacement kosong, yang berarti semua muatan dan bahan bakar yang tidak diizinkan.

Dasar teori pengertian displacement adalah dari hukum Archimedes, yang mengatakan bahwa benda padat yang dimasukkan kedalam zat cair akan mendapat gaya tekan ke atas sebesar berat zat cair yang dipindahkan. Gaya tekan air ke atas (*buoyancy*) adalah resultan dari gaya-gaya yang arahnya ke atas yang ditimbulkan oleh desakan air pada benda yang terapung dan besarnya sebanding dengan berat air yang dipindahkan oleh benda tersebut. Jadi displacement adalah jumlah air dalam ton yang dipindahkan oleh kapal yang terapung. Kapal yang terapung di air akan mendapat gaya tekan air ke atas yang besarnya sama dengan volume badan kapal yang tercelup dikalikan dengan berat

jenis air, hal ini umumnya disebut displacement kapal (Utomo, 2010).

Berat total air yang dipindahkan oleh kapal saat berada di dalam air disebut sebagai pemindahan kapal. Konsep ini sangat penting untuk perencanaan dan perancangan kapal karena menentukan kemampuan kapal untuk mengangkut muatan dan menjaga keseimbangan dan stabilitasnya. Performa kapal seperti kecepatan, maneuverability, dan efisiensi bahan bakar dipengaruhi oleh displacement. Dalam praktiknya, untuk mengetahui berapa banyak air yang dipindahkan oleh lambung kapal saat tenggelam sepenuhnya, pengukuran dilakukan. Ini dapat dilakukan dengan pengukuran langsung atau dengan membuat perhitungan matematis berdasarkan dimensi dan bentuk lambung kapal.

Benaman (*displacement*) kapal memiliki peran penting dalam perhitungan stabilitas kapal karena menentukan posisi pusat gravitasi (*Center of Gravity-CG*) dan pusat apung (*Center of Buoyancy-CB*). Perubahan dalam displacement kapal dapat mempengaruhi posisi relatif CG dan CB, yang pada gilirannya mempengaruhi momen stabilitas dan stabilitas keseluruhan kapal.

Untuk menghitung displacement kapal, kita dapat menggunakan jangka sorong, mengukur bobot muatan secara terpisah, atau membuat perhitungan hidrostatis berdasarkan dimensi dan parameter lainnya. Sangat penting untuk merancang kapal yang stabil, memahami bagaimana perubahan muatan mempengaruhi stabilitas, dan memastikan bahwa kapal beroperasi di batas displacement yang aman sesuai dengan marka batas air, atau jalur muatan, yang ditetapkan.

Displacement kapal adalah perpindahan total material dan massanya di udara. Ini adalah parameter penting dalam operasi, dan analisis stabilitas. Hal ini mempengaruhi berbagai struktur seperti pemberat udara, udara tawar, dan elemen lain di udara. Perpindahan dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori: Benaman kosong (*empty displacement*) dan benaman penuh (*full displacement*), yang sesuai dengan perpindahan maksimum.

Displacement kapal juga mempengaruhi posisi pusat gravitasi dan pusat daya apung, sehingga mempengaruhi stabilitas. Estimasi yang akurat dari displacement kapal dapat membantu menghitung kecepatan dan daya dorong kapal, serta memastikan kepatuhan terhadap batasan dan regulasi yang berkaitan dengan displacement kapal.

B. Distribusi Displacement

Distribusi displacement adalah konsep yang mengacu pada bagaimana berat total (displacement) kapal terdistribusi di sepanjang lambung atau dalam kompartemen-kompartemen tertentu di dalam kapal. Hal ini melibatkan penempatan muatan, bahan bakar, air ballast, air tawar, dan komponen-komponen lain yang berkontribusi pada displacement kapal. Perancang kapal dan kru kapal harus memastikan distribusi displacement sesuai dengan peraturan dan standar keselamatan yang berlaku untuk memastikan pelayaran yang aman dan efisien. Ini penting untuk menjaga stabilitas kapal, mengurangi risiko oleng yang berlebihan, dan memastikan kinerja yang optimal selama operasi. Bagian-bagian penting dari displacement kapal dan bagaimana distribusi displacement ini berdampak pada stabilitas kapal. Berikut adalah beberapa hal yang harus diperhatikan untuk menjaga stabilitas kapal dalam berbagai kondisi operasional. Distribusi displacement adalah tujuan utama untuk mencapai distribusi yang seimbang dan ideal. Penempatan muatan, bahan bakar, air ballast, dan air tawar adalah beberapa komponen distribusi displacement kapal.

1. Komponen-Komponen Utama Displacement Kapal

Komponen-komponen utama dalam displacement kapal meliputi; muatan (cargo), bahan bakar (*fuel*), air ballast, air tawar (*freshwater*) dan struktur kapal. Setiap komponen harus ditempatkan dan didistribusikan dengan bijaksana agar kapal beroperasi dengan keseimbangan dan stabilitas yang optimal. Untuk menjaga stabilitas dan keamanan kapal selama berlayar, peran kru kapal dalam mengelola distribusi displacement

dengan cermat sangat penting untuk memastikan kinerja kapal yang aman dan efisien.

Muatan adalah barang atau kargo yang diangkut oleh kapal. Ini dapat berupa muatan cair (seperti minyak, gas, atau bahan kimia) atau muatan kering (seperti kontainer, kargo curah, mobil, dan peralatan). Muatan memiliki bobot tertentu yang membantu kapal bergerak. Muatan adalah barang atau kargo yang diangkut oleh kapal. Muatan ini dapat berupa barang atau zat yang dibawa oleh kapal selama operasinya. Muatan dapat datang dalam berbagai jenis, seperti: Muatan Kering (*Dry Cargo*): Muatan kering terdiri dari berbagai barang atau kargo padat yang tidak mengandung air atau cairan. Contohnya termasuk kontainer yang mengandung barang konsumen, barang industri, mesin, kendaraan, bahan bangunan, kayu, bijih, dan banyak lagi. Muatan Cair (*Liquid Cargo*): Muatan cair terdiri dari bahan-bahan cair yang diangkut oleh kapal. Ini dapat termasuk minyak mentah, produk minyak, bahan kimia, bahan bakar, air laut, dan bahan cair lainnya yang membutuhkan transportasi kapal yang khusus.

2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Distribusi Displacement Kapal

Desain dan struktur kapal memiliki pengaruh langsung terhadap distribusi displacement. Bagaimana kapal dirancang dan dibangun, termasuk bentuk lambung, posisi tangki, dan kompartemen, akan mempengaruhi distribusi berat di sepanjang lambung. Misalnya, kapal dengan lambung yang lebih lebar di bagian atas atau bagian bawah akan memiliki distribusi displacement yang berbeda dibandingkan dengan kapal dengan lambung yang lebih runcing atau meruncing.

Penempatan muatan di dalam kapal juga merupakan faktor penting dalam distribusi displacement. Muatan yang ditempatkan di lokasi yang salah atau tidak seimbang sehingga dapat menyebabkan ketidakseimbangan dalam distribusi berat kapal. Oleh karena itu, penting untuk memperhatikan

penempatan muatan agar seimbang di sepanjang lambung kapal dan tidak mengganggu stabilitas kapal.

Air ballast adalah air yang digunakan untuk mengatur kestabilan kapal dengan menambah atau mengurangi berat di bagian-bagian tertentu dari kapal. Penggunaan air ballast dapat mempengaruhi distribusi displacement kapal dengan mengubah berat yang terdistribusi di dalam kapal. Penambahan atau pengurangan air ballast di tangki ballast akan menggeser distribusi displacement dan mempengaruhi pusat gravitasi (CG) dan pusat apung (CB) kapal.

Air ballast adalah air yang digunakan untuk mengatur kestabilan kapal dengan menambah atau mengurangi berat di bagian-bagian tertentu dari kapal. Penggunaan air ballast dapat mempengaruhi distribusi displacement kapal dengan mengubah berat yang terdistribusi di dalam kapal. Penambahan atau pengurangan air ballast di tangki ballast akan menggeser distribusi displacement dan mempengaruhi pusat gravitasi (CG) dan pusat apung (CB) kapal.

Pengisian bahan bakar juga dapat mempengaruhi distribusi displacement kapal. Tangki bahan bakar biasanya ditempatkan di posisi tertentu di kapal, dan pengisian bahan bakar dapat mengubah distribusi berat dan pusat gravitasi kapal. Perubahan distribusi displacement akibat pengisian bahan bakar harus dipertimbangkan dalam perencanaan dan operasi kapal (Utomo, 2010).

3. Pengaruh Distribusi Displacement terhadap Stabilitas Kapal

Pengaruh distribusi displacement terhadap stabilitas kapal sangat signifikan. Distribusi displacement yang tidak seimbang dapat mempengaruhi stabilitas kapal dalam beberapa cara:

a. Pusat Gravitasi (Center of Gravity - CG):

Distribusi displacement yang tidak seimbang dapat mengubah posisi pusat gravitasi kapal (CG). Pusat gravitasi yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menyebabkan

perubahan signifikan pada momen stabilitas kapal. Jika CG terlalu tinggi, kapal cenderung menjadi tidak stabil dan lebih rentan terhadap miring atau karam. Sebaliknya, jika CG terlalu rendah, kapal dapat menjadi terlalu stabil dan sulit untuk dikendalikan. Perencanaan distribusi displacement harus secara hati-hati mempertimbangkan posisi pusat gravitasi, distribusi muatan, bahan bakar, dan peralatan sesuai dengan posisi CG untuk mencapai stabilitas yang diinginkan. Kapten dan kru kapal juga harus memastikan distribusi displacement tetap seimbang dan mengawasi perubahan yang mungkin terjadi selama pelayaran (Mubarak, 2019).

b. Pusat Apung Center of Buoyancy-CB)

Distribusi displacement yang tidak seimbang juga dapat mempengaruhi posisi pusat apung kapal (CB). Posisi CB yang berubah dapat mengubah momen restoratif dan momen korektif yang bekerja pada kapal saat mengalami perubahan kemiringan. Jika CB bergeser ke arah yang tidak diinginkan, hal ini dapat menghasilkan momen yang tidak diinginkan dan mempengaruhi stabilitas kapal.

c. Momen Stabilitas

Perubahan dalam distribusi displacement dapat mempengaruhi momen stabilitas kapal. Momen stabilitas adalah hasil dari momen berat (momen yang dihasilkan oleh gaya berat kapal yang bekerja melalui CG) dan momen angkat (momen yang dihasilkan oleh gaya angkat kapal yang bekerja melalui CB). Jika distribusi displacement tidak seimbang, momen stabilitas dapat berubah, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi stabilitas keseluruhan kapal.

Oleh karena itu, distribusi displacement harus dipertimbangkan dengan cermat dan diatur dengan tepat untuk memastikan stabilitas kapal yang optimal. Perubahan dalam distribusi displacement yang tidak terkontrol dapat

menyebabkan perubahan yang tidak diinginkan dalam momen stabilitas, posisi CG, dan CB, yang dapat mengancam stabilitas dan keamanan kapal.

C. Marka Batas Air (*Load Lines*)

Dalam perhitungan displacement kapal, salah satu faktor penting yang harus dipertimbangkan adalah marka batas air, yang menunjukkan batas tertinggi di mana kapal dapat dimuat dengan aman tanpa mengorbankan stabilitasnya. Otoritas maritim menetapkan markah batas air ini, yang harus dipatuhi oleh semua kapal komersial. Untuk memastikan keselamatan dan stabilitas kapal selama berlayar, digunakan marka batas air, yaitu garis-garis yang ditandai pada lambung kapal yang menunjukkan berbagai kondisi pemuatan yang aman dan stabil. Kapal yang memuat di atas marka batas air yang ditentukan berisiko kehilangan stabilitas dan dapat menghadapi bahaya serius seperti kandas atau tenggelam. Markasi batas air biasanya dibuat berdasarkan berat kapal, konstruksi lambung, dan sifat hidrodinamika nya. Markasi ini ditandai di lambung kapal untuk membantu kru dan petugas pelabuhan mengetahui bagaimana memuat kapal dengan muatan.

Dalam perhitungan displacement, juga penting untuk mempertimbangkan berat dan posisi beban kapal. Beban seperti muatan kargo, penumpang, dan persediaan harus ditempatkan dengan hati-hati agar tidak mengganggu keseimbangan kapal. Posisi beban yang salah dapat mengubah pusat gravitasi kapal dan mengancam stabilitasnya (Kapal, *et al.*, 2003).

1. Pengertian Marka Batas Air

Markas batas air, juga dikenal sebagai "garisan pengangkutan", adalah tanda atau garis pada lambung kapal yang menunjukkan batas maksimum pengangkutan kapal dalam berbagai kondisi operasional. Berdasarkan peraturan dan standar yang ada di seluruh dunia, otoritas maritim menetapkan marka ini. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa kapal tidak melebihi kapasitas muatan dan pengangkutan yang aman.

Tujuan marka batas air adalah untuk memastikan bahwa kapal tidak melebihi kapasitas muatan dan pengangkutan yang aman serta memastikan stabilitas dan keselamatan kapal dalam berbagai situasi pelayaran. Marka batas air menunjukkan batas maksimum pengangkutan kapal dan memberikan arahan yang jelas bagi kapten dan otoritas maritim untuk mematuhi batas muatan dan pengangkutan yang ditetapkan.

Kapal komersial harus mematuhi marka batas air untuk mendapatkan sertifikat keamanan dan izin berlayar dari otoritas maritim. Marka batas air ditetapkan oleh peraturan dan standar internasional yang ditetapkan oleh International Maritime Organization (IMO). Faktor-faktor ini termasuk dimensi dan jenis kapal, stabilitas, struktur dan kekuatan konstruksi, kondisi operasional, dan jenis muatan yang diangkut.

2. Jenis-Jenis Marka Batas Air yang Digunakan untuk Mengatur Displacement Kapal

Kapal Pada umumnya, terdapat beberapa jenis marka batas air yang digunakan untuk mengatur displacement kapal. Pertama, terdapat marka batas air permanen yang menunjukkan titik tertinggi dari lambung kapal saat dalam kondisi penuh beban. Marka ini biasanya terletak di sisi lambung kapal dan memberikan petunjuk kepada awak kapal tentang berapa banyak muatan yang dapat diangkut oleh kapal tanpa mengorbankan keselamatan. Selanjutnya, terdapat juga marka batas air sementara yang digunakan saat kapal sedang dalam proses pengisian atau pengosongan air ballast. Marka ini memberikan petunjuk kepada awak kapal tentang tingkat keamanan saat melakukan perubahan dalam displacement kapal.

Ada beberapa jenis marka batas air yang ditetapkan berdasarkan karakteristik kapal dan area operasionalnya. Beberapa jenis marka batas air umum meliputi:

- a. *Summer Load Line*: Menunjukkan batas maksimum displacement kapal dalam keadaan penuh muatan di perairan musim panas. Marka batas air ini menunjukkan batas muatan maksimum kapal pada musim panas, ketika kapal penuh dengan muatan, bahan bakar, air ballast, dan air tawar. Jalur muatan musim panas menunjukkan batas muatan maksimum kapal di perairan yang lebih dalam dan saat kapal berlayar dengan muatan penuh.
- b. *Winter Load Line*: Menunjukkan batas maksimum displacement kapal dalam keadaan penuh muatan di perairan musim dingin. Marka batas air ini menunjukkan batas pemuatan tertinggi selama musim dingin, ketika kapal membawa muatan yang lebih ringan (misalnya, saat beroperasi di perairan yang lebih dangkal) atau ketika kapal membawa muatan yang lebih ringan.
- c. *Tropical Load Line*: Menunjukkan batas maksimum displacement kapal dalam keadaan penuh muatan di perairan tropis. Marka batas air ini digunakan untuk kapal yang beroperasi di wilayah tropis dengan suhu udara tinggi karena suhu yang tinggi dapat merusak bahan di atas kapal.
- d. *Fresh Water Load Line*: Menunjukkan batas maksimum displacement kapal saat beroperasi di perairan tawar. Marka batas air ini diterapkan untuk kapal yang berlayar di perairan tawar, seperti danau atau sungai. Ini karena air tawar memiliki kerapatan yang lebih rendah daripada air laut, sehingga kapal dapat mengangkut lebih banyak barang di perairan tawar.

Untuk memastikan keselamatan dan stabilitas kapal selama berlayar, setiap jenis marka batas air ini ditempatkan di lambung kapal dan harus diikuti dengan ketat oleh kru dan operator kapal. Marka batas air ini disesuaikan dengan kondisi operasional kapal dan peraturan yang berlaku di wilayah perairan tertentu.

3. Peran Marka Batas Air dalam Keamanan dan Stabilitas Kapal

Peran marka batas air adalah untuk memastikan bahwa kapal beroperasi dalam batas yang aman dan tidak melebihi kapasitasnya. Marka batas air juga dapat membantu dalam menentukan kebutuhan bahan bakar dan konsumsi energi kapal. Dengan memperhatikan marka batas air, kapal dapat mengoptimalkan penggunaan bahan bakar dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, marka batas air juga penting dalam navigasi kapal. Kapten kapal harus memperhatikan kedalaman perairan agar tidak terjadi *grounding* atau tabrakan dengan dasar laut yang dapat merusak kapal. Oleh karena itu, pemahaman yang baik tentang marka batas air sangat penting bagi semua pelaut dan pengelola kapal komersial.

Fungsi Marka Batas Air: 1) Menentukan batas muatan dan displacement maksimum yang dapat diangkut oleh kapal dengan aman, 2) mencegah kapal dari kelebihan muatan yang dapat mengancam stabilitas dan keamanan kapal, 3) menyediakan acuan bagi kapten dan otoritas maritim dalam memastikan kepatuhan terhadap batas muatan dan displacement yang ditetapkan. Untuk menghindari risiko kecelakaan atau kegagalan stabilitas, kapal dapat beroperasi dalam batas air yang aman dan stabil dengan mengikuti marka batas air dengan cermat. Selain itu, pemantauan terus-menerus terhadap muatan dan distribusi displacement selama berlayar sangat penting untuk menjaga stabilitas dan keamanan kapal.

Penentuan Marka Batas Air: Penentuan marka batas air didasarkan pada berbagai faktor, termasuk dimensi kapal, stabilitas kapal, struktur kapal, kekuatan konstruksi, jenis muatan yang diangkut, serta peraturan dan standar yang berlaku. Proses penentuan marka batas air melibatkan perhitungan dan analisis yang cermat oleh ahli dan perusahaan klasifikasi kapal. Perhitungan kompleks hidrostatik dan hidrodinamik serta pemeriksaan struktur kapal diperlukan dalam proses penentuan marka batas air. Untuk memastikan

bahwa kapal memenuhi persyaratan keselamatan dan stabilitas yang berlaku, perusahaan klasifikasi kapal atau ahli stabilitas kapal melakukan penilaian dan pengukuran yang teliti. Markasi batas air akan ditandai pada lambung kapal untuk membantu kru dan petugas pelabuhan memuat kapal dengan barang.

Penyusutan Kapal dan Marka Batas Air: Penyusutan (*trimming*) kapal, yaitu perubahan trim kapal untuk mencapai distribusi yang optimal, dapat mempengaruhi posisi marka batas air. Kapal harus dipertahankan dalam batas marka batas air yang ditetapkan agar tetap mematuhi peraturan dan standar yang berlaku.

Marka Batas Air (*Load Lines*) merupakan regulasi yang penting dalam distribusi displacement kapal untuk menjaga keamanan, stabilitas, dan integritas struktur kapal. Kapal harus mematuhi batas yang ditetapkan oleh marka batas air untuk memastikan operasi yang aman dan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

D. Pengaruh Displacement terhadap Stabilitas Kapal

Pengaruh displacement terhadap stabilitas kapal sangat signifikan. Displacement, yang merupakan berat total kapal dan muatannya, memainkan peran penting dalam stabilitas kapal. Semakin besar displacement, semakin rendah stabilitas kapal dan risiko terjadinya keseimbangan yang buruk. Oleh karena itu, pengaturan muatan dan distribusi berat di dalam kapal harus dilakukan dengan hati-hati. Untuk memastikan stabilitas dan keamanan kapal, perhitungan dan analisis menyeluruh tentang distribusi dan displacement menjadi penting. Kru kapal dan ahli stabilitas bertanggung jawab untuk memastikan bahwa distribusi displacement dan muatan berada dalam batas yang aman selama berlayar. Pengawasan terus-menerus terhadap distribusi dan penyesuaian yang tepat selama operasi kapal sangat penting untuk menjaga stabilitas yang optimal selama pelayaran.

1. Prinsip Dasar Perubahan Displacement dan Stabilitas Kapal

Prinsip dasar perubahan displacement dan stabilitas kapal melibatkan hubungan antara perubahan dalam displacement kapal dan dampaknya terhadap stabilitas. Beberapa prinsip dasar yang terkait dengan perubahan displacement dan stabilitas kapal adalah prinsip Archimedes, setiap objek yang terendam dalam fluida akan mengalami gaya angkat yang sebanding dengan volume fluida yang dipindahkan. Dalam hal kapal, displacement kapal disebabkan oleh gaya angkat yang dihasilkan oleh air yang dipindahkan oleh lambung kapal. Perubahan dalam displacement kapal mempengaruhi gaya angkat yang bekerja pada kapal, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi stabilitas kapal.

Moment yang bekerja kapal dan stabilitasnya dapat dipengaruhi oleh perubahan displacement kapal juga. Momen adalah jumlah gaya yang dikalikan dengan jarak dari sumbu referensi. Dalam hal displacement kapal, momen stabilitas adalah hasil dari momen berat (gaya berat kapal yang bekerja melalui pusat gravitasi, CG), dan momen angkat (gaya angkat kapal yang bekerja melalui pusat apung, CB). Perubahan dalam kedua momen ini akan berdampak pada stabilitas kapal (Suwasono, *et al.*, 2019).

Seluruh berat kapal dianggap terpusat di titik yang dikenal sebagai pusat gravitasi (CG). Posisi CG kapal dapat dipengaruhi oleh perubahan displacement. Jika CG naik karena peningkatan muatan atau perubahan distribusi berat, stabilitas kapal dapat terpengaruh. Posisi yang lebih tinggi dari CG juga dapat mengurangi stabilitas dan meningkatkan kemungkinan miring atau karam.

Seluruh gaya angkat yang bekerja pada kapal dianggap terpusat di pusat apung (CB). Posisi CB juga dapat dipengaruhi oleh pergeseran kapal. Pergeseran CB dapat mempengaruhi momen restoratif dan korektif, yang mempengaruhi stabilitas kapal. Jika CB bergerak dari posisi idealnya, stabilitas kapal dapat terganggu.

Dalam hal stabilitas kapal, perubahan displacement harus diperhatikan dengan cermat. Distribusi displacement yang seimbang dan perubahan displacement yang terkontrol akan membantu menjaga posisi yang tepat dari CG dan CB serta momen stabilitas yang optimal. Dengan memahami prinsip dasar ini, displacement kapal dapat dirancang dan dikelola dengan mempertimbangkan stabilitas sebagai faktor utama.

Gaya tekan air ke atas, juga disebut buoyancy, adalah hasil dari gaya-gaya yang arahnya ke atas ditimbulkan oleh desakan air pada benda yang terapung dan besarnya sebanding dengan berat air yang dipindahkan oleh benda tersebut. Gaya tekan air ke atas adalah hasil dari hukum Archimedes, yang menetapkan bahwa benda padat yang dimasukkan ke dalam zat cair akan memiliki gaya tekan ke atas sebesar berat zat cair yang dipindahkan oleh benda tersebut. Gaya angkat, dihasilkan oleh volume badan kapal yang tercelup di dalam air dikalikan dengan berat jenis air (massa jenis air). Ini menyebabkan kapal mengambang di permukaan air.

Displacement kapal, juga disebut sebagai "displacement volume", adalah jumlah air dalam ton yang dipindahkan oleh kapal yang terapung di air. Displacement adalah ukuran dari berat total kapal, termasuk semua muatan, bahan bakar, air ballast, air tawar, peralatan, dan struktur kapal yang diperlukan untuk mengampung pada kedalaman yang tepat.

2. Hubungan antara Displacement Kapal dengan Pusat Gravitasi (CG) dan Pusat Apung (CB)

Hubungan antara displacement kapal dengan pusat gravitasi (*Center of Gravity*-CG) dan pusat apung (*Center of Buoyancy*-CB) sangat penting dalam memahami stabilitas kapal. Hubungan ini terkait dengan faktor keamanan. Tingkat pusat gravitasi (CG) yang lebih tinggi dan pusat apung/angkat (CB) yang lebih rendah menunjukkan bahwa stabilitas kapal lebih baik. Pusat gravitasi dianggap sebagai tempat di mana seluruh berat kapal dan muatannya terkonsentrasi. Posisi CG

sangat penting karena menunjukkan tingkat stabilitas kapal. Jika CG berada pada posisi yang tinggi, kapal cenderung tidak stabil karena momen oleng gaya berat lebih kuat daripada momen restoratif gaya angkat. Ini bisa menyebabkan kapal oleng atau karam. Pusat apung dianggap sebagai tempat di mana seluruh gaya angkat yang dihasilkan oleh air saat kapal terendam terkonsentrasi. CB juga merupakan ukuran penting untuk stabilitas kapal. Posisi CB yang lebih rendah dari CG dihasilkan oleh distribusi displacement yang tepat di sepanjang lambung kapal, yang memungkinkan momen restoratif untuk meningkatkan stabilitas. Jika CB berada pada posisi yang lebih tinggi dari CG, kapal akan cenderung lebih stabil, dan momen restoratif akan membantu mengembalikan kapal ke posisi tegak setelah oleng.

Kecepatan angin dan gelombang laut juga dapat mengganggu stabilitas kapal. Angin kencang atau gelombang tinggi dapat membuat kapal terguling atau bahkan terbalik. Akibatnya, penting untuk memperhatikan cuaca sebelum pelayaran. Angin kencang dapat menyebabkan gaya geser lateral pada kapal, menyebabkannya oleng ke samping. Jika stabilitas transversal kapal tidak cukup untuk menahan gaya geser ini, kapal dapat kehilangan stabilitas dan terguling. Oleh karena itu, sangat penting bagi kapten kapal untuk memantau kecepatan dan arah angin sehingga mereka dapat menjaga stabilitas kapal dengan mengurangi kecepatan atau mengubah arah. Kapal juga dapat oleng karena gelombang laut yang tinggi, terutama gelombang miring atau tinggi yang datang dari samping. Gelombang laut besar dapat mengganggu stabilitas kapal jika kapal tidak stabil atau jika muatan tidak seimbang. Kapten kapal harus memperhatikan prakiraan gelombang laut sebelum berlayar dan mengambil tindakan pencegahan, seperti menghindari daerah dengan gelombang besar atau mengurangi kecepatan kapal.

Selain faktor-faktor tersebut, harus diperhatikan bahwa muatan yang tidak seimbang atau tidak terikat dengan baik

dapat menyebabkan pergeseran muatan saat kapal bergerak, yang dapat mengganggu stabilitas kapal.

Seluruh berat kapal dianggap terpusat di titik yang dikenal sebagai pusat gravitasi (CG). Distribusi displacement kapal dan posisi berat di dalamnya mempengaruhi CG. Semakin tinggi CG kapal, semakin tidak stabil.

Hubungan dengan Displacement Kapal: Posisi CG dapat dipengaruhi oleh perubahan displacement kapal. Misalnya, ketika muatan ditambahkan atau dihilangkan, berat kapal dan distribusi displacement nya berubah, sehingga mempengaruhi posisi CG. Penempatan muatan yang tidak seimbang juga dapat mempengaruhi posisi CG.

Seluruh gaya angkat yang bekerja pada kapal dianggap terpusat di pusat apung (CB). Hubungan dengan displacement kapal: Posisi CB terkait erat dengan displacement kapal dan posisi pusat angkat kapal. Perubahan displacement kapal, seperti saat muatan ditambahkan atau dihilangkan, dapat mempengaruhi perubahan distribusi berat kapal dan posisi CB. Selain itu, perubahan displacement kapal yang tidak terkontrol atau tiba-tiba dapat menyebabkan posisi CB berubah, yang berdampak pada stabilitas kapal.

Hubungan antara displacement kapal, CG, dan CB sangat penting untuk stabilitas kapal. Stabilitas transversal: Distribusi displacement yang seimbang akan memastikan bahwa pusat angkat (CB) dan pusat berat (CG) berada pada posisi yang sesuai. Ini akan memastikan bahwa momen restoratif, yang berasal dari perbedaan posisi CG dan CB, mendukung stabilitas transversal kapal.

Stabilitas Longitudinal: Perubahan distribusi displacement kapal dapat mengubah momen korektif dan restoratif, yang berdampak pada stabilitas longitudinal kapal. Untuk menjaga stabilitas longitudinal kapal yang aman dan stabil, perubahan distribusi muatan, bahan bakar, atau air ballast harus dilakukan dengan hati-hati dan dihitung dengan cermat oleh ahli stabilitas kapal. Selain itu, kapten kapal harus

secara terus-menerus memantau distribusi displacement dan mengambil tindakan pencegahan yang sesuai selama berlayar.

Hubungan yang saling terkait antara displacement kapal (CG) dan displacement kapal (CB) sangat penting saat merancang dan mengoperasikan kapal. Distribusi displacement yang seimbang akan meningkatkan stabilitas kapal dan mengurangi risiko kecelakaan atau gangguan selama pelayaran. Perubahan displacement harus dikelola dengan hati-hati untuk memastikan bahwa, dalam berbagai kondisi operasional, distribusi displacement tetap seimbang.

4. Pengaruh Perubahan Displacement terhadap Momen Stabilitas

Pengaruh perubahan displacement terhadap momen stabilitas kapal juga harus dipertimbangkan. Momen stabilitas kapal dapat dipengaruhi oleh perubahan displacementnya. Jika displacementnya meningkat, momen stabilitasnya juga akan meningkat, tetapi jika displacementnya berkurang, momen stabilitasnya juga akan berkurang. Oleh karena itu, dalam merencanakan pelayaran kapal, perubahan displacement harus dipertimbangkan dengan hati-hati.

Faktor lain yang harus diperhatikan adalah arah dan kecepatan angin. Angin yang kencang dan tidak stabil dapat membuat kapal sulit untuk dikendalikan dan mengganggu stabilitasnya (Mubarak, 2019).

Kapal dengan displacement yang lebih besar cenderung memiliki kecepatan yang lebih lambat dan konsumen bahan bakar yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yang terkait dengan displacement kapal. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut:

- a. Hambatan Hidrodinamik: Kapal dengan displacement yang lebih besar terdapat ukuran dan bentuk yang lebih besar, yang menghasilkan hambatan hidrodinamis yang lebih besar saat bergerak di air. Hambatan ini menyebabkan peningkatan tahanan yang harus diatasi kapal, yang pada gilirannya mengurangi kecepatan kapal.

- b. Pengaruh Ukuran dan Bentuk Kapal: Displacement kapal yang lebih besar sering kali berarti kapal memiliki dimensi secara keseluruhan. Ukuran dan bentuk kapal yang lebih besar dapat menghasilkan resistensi terhadap gerakan kapal melalui air, yang pada akhirnya mempengaruhi kecepatan kapal.
- c. Pengaruh Kekuatan dan Tenaga Mesin: Kapal dengan displacement yang lebih besar membutuhkan tenaga mesin yang lebih besar untuk menggerakkan kapal tersebut melawan hambatan hidrodinamis yang lebih besar. Mesin yang lebih besar dan lebih kuat cenderung memiliki konsumen bahan bakar yang lebih tinggi, yang dapat mempengaruhi efisiensi bahan bakar yang mempengaruhi operasional.

E. Pengukuran dan Perhitungan Displacement Kapal

Pengukuran dan perhitungan displacement kapal adalah aspek penting dalam merencanakan pelayaran. Displacement mengacu pada berat total air yang dipindahkan oleh kapal ketika terapung di permukaan laut. Untuk menghitung displacement, berbagai faktor seperti ukuran, bentuk, dan material kapal harus diperhitungkan. Selain itu, muatan yang dibawa oleh kapal juga mempengaruhi displacement. Perhitungan ini penting karena displacement yang tidak tepat dapat menyebabkan masalah stabilitas dan keamanan kapal. Oleh karena itu, sebelum melakukan pelayaran, perlu dilakukan pengukuran dan perhitungan yang akurat untuk memastikan bahwa displacement kapal sesuai dengan batas yang ditentukan. Hal ini akan membantu dalam menjaga stabilitas dan kinerja kapal selama pelayaran.

1. Metode Pengukuran Displacement Kapal

Ada beberapa metode yang digunakan untuk mengukur displacement kapal. Berikut adalah beberapa metode umum yang digunakan:

a. Pengukuran Volume Air Terdorong (*Sounding*)

Metode ini melibatkan pengukuran volume air yang terdorong keluar saat kapal ditempatkan di dalam air. Kapal didorong ke dalam air hingga terendam sepenuhnya, dan volume air yang terdorong keluar diukur. Volume air ini mewakili displacement kapal.

Metode untuk mengukur volume air yang terdorong keluar saat kapal berada di dalam air adalah dengan mengukur "volume ruang" (*bilge sounding*). Volume ruang ini adalah ruang yang tidak terisi oleh muatan, bahan bakar, air ballast, atau peralatan lainnya. Metode ini bermanfaat karena memungkinkan kapal untuk mengangkut muatan tambahan tanpa mengubah displacement kapal.

b. Metode Pengukuran Hidrostatik

Metode ini menggunakan prinsip Archimedes dan melibatkan pengukuran gaya angkat yang dihasilkan oleh kapal yang terendam dalam air. Gaya angkat ini sebanding dengan volume air yang dipindahkan oleh kapal, yang kemudian digunakan untuk mengestimasi displacement kapal (Utomo, 2010).

Prinsip Archimedes menyatakan bahwa gaya angkat yang dihasilkan oleh fluida ketika benda dicelupkan ke dalamnya sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut. Ketika kapal ditempatkan di dalam air, volume air yang dipindahkan oleh lambung kapal akan menghasilkan gaya angkat yang sama dengan berat displacement kapal.

Metode hidrostatik mengukur volume air yang dipindahkan oleh kapal dalam kondisi tertentu, seperti ketika kapal terapung dengan draft tertentu di dalam air. Ini dapat dilakukan dengan deretan pelampung atau dengan alat pengukur khusus, seperti tape suara. Setelah volume air yang dipindahkan tersebut dihitung, berat displacement kapal dihitung dengan mempertimbangkan berat jenis air yang diketahui.

c. Metode Pengukuran Berat

Metode ini melibatkan pengukuran berat total kapal dan muatannya dengan menggunakan timbangan yang akurat. Kapal ditempatkan di atas timbangan yang tepat, dan beratnya diukur. Berat ini mewakili displacement kapal. Metode langsung untuk menghitung displacement kapal adalah dengan mengukur berat total kapal dan muatannya dengan menggunakan timbangan yang akurat. Metode ini biasanya menggunakan "timbangan kapal" atau "timbangan maritim" adalah istilah untuk timbangan yang tepat dan akurat.

Untuk mendapatkan berat displacement yang akurat, kapal harus dalam kondisi stabil dan terapung dengan baik di air. Oleh karena itu, saat pengukuran dilakukan, perlu dipastikan bahwa kapal tidak bergerak dan tidak ada muatan yang ditambahkan atau dibuang.

Saat pengukuran dilakukan, berat total kapal akan dihitung, termasuk semua muatan, bahan bakar, air ballast, air tawar, peralatan, dan struktur kapal yang ada.

Berat yang diukur oleh timbangan tersebut berfungsi sebagai representasi dari displacement kapal saat itu.

d. Metode Pengukuran Kapasitas Tangki

Metode ini melibatkan pengukuran volume air ballast yang diisi ke dalam tangki ballast kapal. Tangki ballast diisi dengan air, dan volume air yang diukur mencerminkan displacement kapal. Dengan mengukur perubahan volume lambung saat air ballast ditambahkan atau dibuang, metode ini berguna untuk menghitung displacement kapal. Perlu diingat bahwa metode ini bergantung pada kemampuan dan akurasi ballast untuk mengukur volume air, dan harus dilakukan dengan hati-hati dan teliti untuk mendapatkan hasil yang akurat.

Saat kapal beroperasi dan sistem tangki air ballastnya terisi dengan baik, metode pengisian tangki air ballast dapat digunakan. Dengan mengatur jumlah dan posisi air ballast

dalam tangki kapal, kapten kapal dapat mengoptimalkan distribusi displacement dan stabilitas kapal selama berlayar.

e. Metode Pengukuran Berdasarkan Desain Kapal

Metode ini menggunakan data dan perhitungan dari desain kapal untuk mengestimasi displacement. Data yang digunakan termasuk dimensi kapal, volume lambung, dan distribusi berat yang diperkirakan. Dalam perencanaan dan analisis stabilitas kapal, metode perhitungan berdasarkan dimensi dan parameter kapal umumnya digunakan. Metode ini lebih praktis daripada metode pengukuran langsung dan dapat memberikan estimasi displacement kapal yang akurat, terutama jika data dan perhitungannya didasarkan pada desain kapal yang akurat dan terpercaya.

Pengukuran displacement kapal merupakan proses penting dalam memastikan kepatuhan terhadap regulasi dan batasan kapal yang ditetapkan. Metode pengukuran yang digunakan akan tergantung pada ketersediaan peralatan dan kebutuhan spesifik dari kapal yang diukur.

2. Perhitungan Displacement Kapal Berdasarkan Dimensi dan Parameter Kapal

Displacement kapal adalah volume air yang dipindahkan oleh kapal ketika berada di dalam air. Untuk menghitung displacement kapal, kita perlu memperhatikan dimensi dan parameter kapal (Kapal, *et al.*, 2003).

Pertama, kita perlu mengetahui panjang, lebar, dan tinggi kapal. Dimensi ini akan memberikan informasi tentang volume ruang dalam kapal. Selain itu, kita juga perlu mengetahui berat jenis air laut tempat kapal berada.

Selanjutnya, kita dapat menggunakan rumus dasar untuk menghitung volume dan displacement kapal. Rumus yang umum digunakan adalah:

$$\text{Displacement} = \text{Volume} \times \text{Berat Jenis Air}$$

Volume dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Volume} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}$$

Berat jenis air dapat diperoleh dari tabel atau data yang tersedia. Perhitungan displacement kapal berdasarkan dimensi dan parameter kapal dapat dilakukan dengan menggunakan rumus dan persamaan yang menghubungkan dimensi dan parameter kapal dengan volume dan berat kapal. Berikut adalah beberapa metode umum yang digunakan dalam perhitungan displacement kapal:

a. Metode Archimedes

Metode ini menggunakan prinsip Archimedes untuk menghitung displacement kapal. Displacement kapal dihitung sebagai volume air yang dipindahkan oleh lambung kapal saat terendam dalam air. Persamaan umum yang digunakan adalah:

$$\text{Displacement} = \text{Volume Lambung} \times \text{Densitas Air}$$

Di mana:

- 1) Volume lambung adalah volume ruang dalam lambung kapal.
- 2) Densitas air adalah densitas air laut (biasanya 1025 kg/m^3).

b. Metode Simpson's Rule

Metode ini menggunakan prinsip perhitungan integral untuk menghitung displacement kapal. Displacement dihitung dengan membagi lambung kapal menjadi segmen-segmen dan menghitung volume masing-masing segmen. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Displacement} = \Sigma (\text{Area Segmen} \times \text{Panjang Segmen})$$

Di mana:

- 1) Area segmen adalah luas penampang lambung pada setiap segmen.
- 2) Panjang segmen adalah panjang segmen lambung yang diukur secara vertikal.

c. Metode Desain Kapal

Metode ini menggunakan data dan perhitungan yang disediakan dalam desain kapal. Data yang digunakan termasuk dimensi kapal seperti panjang, lebar, tinggi, serta volume tangki dan kompartemen yang diperkirakan. Perhitungan displacement kapal dapat dilakukan berdasarkan desain ini dengan mempertimbangkan distribusi berat yang diperkirakan.

d. Metode Hydrostatik

Metode ini melibatkan pengukuran berat kapal dan perhitungan displacement berdasarkan perbedaan berat dengan berat air yang dipindahkan. Perhitungan ini memerlukan data berat spesifik material yang digunakan dalam konstruksi kapal dan distribusi berat yang diestimasi.

Metode perhitungan displacement kapal dapat bervariasi tergantung pada desain dan karakteristik kapal. Data yang akurat dan dimensi yang tepat diperlukan untuk mendapatkan hasil perhitungan yang akurat. Dalam prakteknya, kombinasi dari beberapa metode di atas sering digunakan untuk mengestimasi displacement kapal dengan presisi yang memadai.

3. Konversi Displacement antara Ton Metrik dan Tonimperial

Konversi displacement antara ton metrik dan tonimperial adalah penting dalam industri perkapalan. Untuk mengkonversi displacement antara ton metrik dan ton

imperial, kita perlu menggunakan faktor konversi yang tepat. Biasanya, 1 ton metrik setara dengan 0,9842 ton imperial. Jadi, jika kita memiliki displacement kapal dalam ton metrik, kita dapat mengalikannya dengan faktor konversi ini untuk mendapatkan nilai dalam ton imperial. Sebaliknya, jika kita memiliki displacement dalam ton imperial, kita dapat membaginya dengan faktor konversi ini untuk mendapatkan nilai dalam ton metrik. Konversi displacement ini penting karena berbagai standar dan peraturan di industri perkapalan menggunakan unit berbeda-beda. Dengan mengetahui cara mengkonversi displacement antara ton metrik dan ton imperial, kita dapat dengan mudah beradaptasi dengan persyaratan yang ada dan memastikan kepatuhan terhadap (center, 2021).

Konversi antara displacement kapal dalam ton metrik dan ton imperial dapat dilakukan dengan menggunakan faktor konversi yang sesuai. Berikut adalah faktor konversi yang umum digunakan:

a. Ton Metrik ke Ton Imperial

$$1 \text{ ton metric} = 0,9842 \text{ ton imperial}$$

Dalam konversi ini, displacement kapal dalam ton metrik dikalikan dengan faktor konversi 0,9842 untuk mendapatkan nilai dalam ton imperial.

b. Ton Imperial ke Ton Metrik

$$1 \text{ ton imperial} = 1,016 \text{ ton metrik}$$

Dalam konversi ini, displacement kapal dalam ton imperial dikalikan dengan faktor konversi 1,016 untuk mendapatkan nilai dalam ton metrik.

Contoh:

Jika displacement kapal dalam ton metrik adalah 5000 ton metrik, maka untuk mengonversinya ke ton imperial, kita dapat menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}\text{Displacement dalam ton imperial} &= \text{Displacement} \\ &\text{dalam ton metrik} \times 0,9842 \\ &= 5000 \text{ ton metrik} \times 0,9842 \\ &= 4921 \text{ ton imperial}\end{aligned}$$

Sebaliknya, jika displacement kapal dalam ton imperial adalah 6000 ton imperial, untuk mengkonversinya ke ton metrik, kita dapat menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}\text{Displacement dalam ton metrik} &= \text{Displacement} \\ &\text{dalam ton imperial} \times 1,016 \\ &= 6000 \text{ ton imperial} \times 1,016 \\ &= 6096 \text{ ton metrik}\end{aligned}$$

Penting untuk memperhatikan bahwa konversi ini hanya mengubah satuan pengukuran displacement kapal dari ton metrik ke ton imperial atau sebaliknya, tanpa mempengaruhi nilai aktual dari displacement kapal itu sendiri.

F. Estimasi Displacement Kapal

Estimasi displacement kapal adalah salah satu faktor penting dalam perencanaan dan pengoperasian kapal. Estimasi displacement kapal adalah proses untuk menghitung berat total kapal ketika terendam penuh di dalam air. Hal ini sangat penting karena displacement kapal mempengaruhi stabilitas, kecepatan, dan kapasitas muatan yang dapat ditampung oleh kapal. Untuk melakukan estimasi displacement, kita perlu menghitung volume air yang dipindahkan oleh lambung kapal saat terendam penuh. Volume ini kemudian dikonversi menjadi berat menggunakan faktor konversi yang sesuai. Dengan memiliki estimasi displacement yang akurat, kita dapat melakukan perencanaan dan pengoperasian kapal dengan lebih efisien dan aman.

Estimasi displacement kapal dapat dilakukan dengan menggunakan metode dan teknik tertentu. Berikut adalah beberapa metode umum yang digunakan untuk melakukan estimasi displacement kapal:

1. Estimasi Berdasarkan Desain

Metode ini melibatkan penggunaan data dan informasi yang tersedia tentang desain kapal; ini termasuk dimensi kapal, seperti panjang, lebar, dan tinggi, serta volume tangki dan kompartemen yang dihitung dalam desain. Dengan menggunakan distribusi berat yang diestimasi berdasarkan desain tersebut, kita dapat menghitung displacement kapal.

2. Estimasi Berdasarkan Tabel Konversi

Metode ini melibatkan penggunaan tabel konversi yang menyediakan perkiraan displacement berdasarkan dimensi dan jenis kapal. Tabel ini biasanya dikembangkan berdasarkan pengalaman dan data historis untuk jenis-jenis kapal tertentu. Pengguna dapat mencocokkan dimensi kapal dengan jenis kapal yang sesuai dalam tabel konversi untuk mendapatkan estimasi displacement.

3. Estimasi Berdasarkan Perhitungan Hidrostatik

Metode ini melibatkan perhitungan displacement berdasarkan prinsip hidrostatik dan teori Archimedes. Displacement kapal dihitung dengan mempertimbangkan volume air yang dipindahkan oleh lambung kapal saat terendam dalam air. Estimasi dapat dilakukan dengan menggunakan rumus dan persamaan yang menghubungkan dimensi dan karakteristik kapal dengan volume dan berat kapal.

4. Estimasi Berdasarkan Model Skala atau Prototipe

Metode ini melibatkan pembuatan model skala atau prototipe kapal yang diuji di dalam tangki uji atau di lapangan. Pengukuran displacement model atau prototipe kemudian digunakan sebagai estimasi displacement kapal sebenarnya.

Metode ini sering digunakan dalam pengembangan kapal baru atau ketika data aktual displacement tidak tersedia.

Estimasi displacement kapal dapat bervariasi dalam tingkat keakuratan tergantung pada data dan metode yang digunakan. Dalam praktiknya, kombinasi dari beberapa metode sering digunakan untuk mendapatkan estimasi yang lebih akurat. Penting untuk mencatat bahwa estimasi displacement adalah perkiraan dan dapat memiliki toleransi kesalahan tertentu. Oleh karena itu, data aktual dari pengukuran atau perhitungan yang lebih terperinci harus digunakan untuk tujuan yang memerlukan keakuratan yang lebih tinggi.

1. Metode Estimasi Displacement Kapal Saat Merancang Kapal Baru

Saat merancang kapal baru, estimasi displacement kapal merupakan langkah penting dalam perencanaan dan perancangan kapal. Berikut adalah beberapa metode yang umum digunakan dalam estimasi displacement kapal saat merancang kapal baru:

a. Metode Perhitungan Hidrostatik

Metode ini melibatkan perhitungan displacement berdasarkan prinsip hidrostatik dan teori Archimedes. Pada tahap awal perancangan, dimensi dan bentuk kapal ditentukan, termasuk panjang, lebar, tinggi, dan area penampang lambung. Berdasarkan dimensi dan konfigurasi ini, perhitungan hidrostatik dilakukan untuk mengestimasi volume dan berat kapal.

b. Metode Pendekatan Empiris

Metode ini mengandalkan data dan pengalaman empiris dari kapal serupa yang telah dibangun sebelumnya. Data historis tentang kapal serupa digunakan untuk memperkirakan displacement kapal yang sedang dirancang. Informasi ini dapat diperoleh dari database kapal, literatur teknis, atau pengalaman ahli perancang kapal.

c. Metode Analisis Numerik (*Computational Fluid Dynamics-CFD*)

Metode ini melibatkan penggunaan perangkat lunak simulasi komputer seperti *Computational Fluid Dynamics (CFD)* untuk menganalisis performa hidrodinamis kapal. Dalam proses ini, perhitungan numerik dilakukan untuk memperkirakan displacement kapal dengan memper-timbangkan interaksi antara lambung kapal dan fluida di sekitarnya.

d. Metode Skala Model

Metode ini melibatkan pembuatan model skala dari kapal yang direncanakan dan pengujian model tersebut di dalam tangki uji. Dalam pengujian tersebut, displacement model skala diukur, dan data tersebut digunakan untuk mengestimasi displacement kapal sebenarnya. Metode ini memungkinkan pemodelan fisik dan pengujian untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Penggunaan kombinasi dari beberapa metode di atas dapat memberikan estimasi displacement yang lebih akurat saat merancang kapal baru. Penting untuk menggabungkan pengetahuan teknis, pengalaman, dan data yang relevan untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam estimasi displacement kapal. Estimasi displacement yang akurat akan menjadi dasar penting dalam perancangan yang tepat dan keselamatan operasional kapal.

2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Estimasi Displacement

Di antara faktor-faktor yang mempengaruhi estimasi displacement kapal adalah berbagai hal. Pertama, dimensi dan bentuk kapal sangat mempengaruhi, karena dimensi kapal berkorelasi langsung dengan displacement yang diperlukan untuk menjaga keseimbangan dan stabilitasnya di air. Bentuk lambung kapal juga dapat mempengaruhi displacement, karena adanya struktur tambahan seperti bulbous bow atau

ponton, yang dapat meningkatkan volume air yang diangkut. Dalam perencanaan dan analisis stabilitas kapal, penggunaan struktur tambahan seperti bulbous bow atau ponton harus dipertimbangkan dengan cermat. Kapten kapal dan ahli stabilitas harus memastikan bahwa distribusi displacement kapal tetap dalam batas yang aman dan sesuai dengan peraturan yang berlaku. Selain itu, penggunaan struktur tambahan harus mempertimbangkan pengaruh struktur tersebut terhadap stabilitas longitudinal dan transversal kapal. Untuk memastikan bahwa kapal tetap aman, stabil, dan memenuhi persyaratan keselamatan selama berlayar, perencanaan dan analisis yang cermat terhadap penggunaan struktur tambahan sangat penting.

Selain itu, bahan yang digunakan dalam konstruksi kapal dapat mempengaruhi estimasi displacement. Bahan dengan densitas tinggi, seperti baja, akan memiliki displacement yang lebih besar daripada bahan dengan densitas rendah, seperti aluminium, jadi sangat penting untuk memilih bahan yang tepat untuk melakukan estimasi. Untuk memastikan stabilitas, keamanan, dan kinerja kapal selama berlayar, estimasi displacement yang akurat sangat penting. Perusahaan klasifikasi kapal dan ahli konstruksi dalam industri maritim memiliki peran penting dalam memverifikasi estimasi displacement untuk memastikan bahwa kapal memenuhi persyaratan keselamatan dan keamanan yang berlaku.

3. Signifikansi Estimasi Displacement dalam Merencanakan Stabilitas Kapal

Signifikansi estimasi displacement dalam merencanakan stabilitas kapal dan kinerja keseluruhan kapal. Estimasi displacement yang akurat memungkinkan perencana kapal untuk menentukan berapa banyak muatan yang dapat dibawa oleh kapal tanpa mengorbankan stabilitasnya. Selain itu, estimasi displacement juga penting dalam merencanakan sistem ballast kapal. Sistem ballast digunakan untuk menjaga keseimbangan dan stabilitas kapal dengan mengatur volume

air yang masuk atau keluar dari ruang ballast. Dengan mengetahui estimasi displacement, perencana kapal dapat merancang sistem ballast yang efisien dan efektif. Selain itu, estimasi displacement juga berperan dalam perhitungan daya dorong yang diperlukan oleh mesin kapal. Semakin besar displacement sebuah kapal, semakin besar pula daya dorong yang diperlukan untuk menggerakkannya.

Dalam merencanakan stabilitas kapal, estimasi displacement sangat penting. Displacement adalah faktor penting dalam stabilitas kapal, dan estimasi yang akurat dari displacement diperlukan untuk menjamin stabilitas dan keamanan kapal dalam berbagai kondisi operasional. Dalam merencanakan stabilitas kapal, estimasi displacement dianggap penting sebagai berikut:

Stabilitas Transversal: Momen stabilitas transversal dihitung dengan menghitung estimasi displacement kapal; momen ini dihasilkan dari momen berat dan momen angkat yang bekerja pada kapal. Mendapatkan estimasi displacement yang akurat merupakan faktor penting dalam menjaga stabilitas lateral kapal saat menghadapi kemiringan (Mubarak, 2019).

Untuk menentukan posisi pusat gravitasi (CG) kapal, estimasi displacement yang tepat sangat penting. Posisi CG yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mempengaruhi stabilitas kapal, dan estimasi displacement yang akurat memungkinkan untuk menghitung posisi CG dengan presisi yang diperlukan untuk menjaga stabilitas kapal dalam berbagai kondisi.

Pusat apung (CB): Posisi pusat apung (CB) adalah titik di mana seluruh gaya angkat yang bekerja pada kapal dianggap terpusat. Perubahan dalam displacement dapat mempengaruhi posisi CB, dan oleh karena itu momen restoratif dan korektif yang bekerja pada kapal. Perhitungan posisi CB yang tepat memastikan stabilitas longitudinal yang optimal. Estimasi displacement yang akurat memastikan perhitungan posisi CB yang tepat.

Secara keseluruhan, estimasi displacement yang akurat membantu perhitungan momen stabilitas. Perhitungan momen stabilitas kapal dapat membahayakan stabilitas keseluruhan karena momen angkat dan berat kapal.

Estimasi displacement yang akurat sangat penting untuk memastikan keamanan operasional kapal. Untuk merencanakan stabilitas yang tepat dan menjaga keamanan kapal, pemahaman yang baik tentang displacement kapal sangat penting untuk perencanaan dan distribusi muatan yang aman, dan untuk mencegah kapal dari kelebihan muatan yang dapat mempengaruhi stabilitas dan keamanan kapal. Metode yang tepat dan data yang akurat harus digunakan untuk mengurangi kesalahan dan risiko yang terkait dengan stabilitas kapal.

Daftar Pustaka

- Kapal, M.S. *et al.* (2003). 'NPN - Prod/K.02'.
- Mubarak, A.A. (2019). 'Kekuatan Batas Lambung Kapal Dalam Menahan Momen Lentur Vertikal', *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 22(1), pp. 56–61. Available at: <https://doi.org/10.25042/jpe.052018.10>.
- Suwasono, B. *et al.* (2019). *Teori dan Panduan Praktis Hidrodinamika Kapal Hukum Archimedes*.
- Utomo, B. (2010). 'Pengaruh Ukuran Utama Kapal Terhadap Displacement Kapal', *Teknik*, 31(1), pp. 84–89. Available at: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/article/view/1748>.

Tentang Penulis



Andi Ana Humaerah A, S.T., M.T.

Dosen Pengelolaan Pelabuhan Perikanan
Jurusan Teknologi Kemaritiman
Politeknik pertanian Negeri Pangkep

Penulis lahir di Maros tanggal 28 desember 1995. Penulis adalah dosen pada Program Studi Pengelolaan Pelabuhan Perikanan, Jurusan Teknologi Kemaritiman, Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Transportasi. Penulis menekuni Penelitian dan pengabdian pada masyarakat bidang Kemaritiman khususnya bangunan kapal dan transportasi laut. Beberapa mata kuliah yang diampu adalah Bangunan dan Stabilitas Kapal serta Olah Gerak Kapal Perikanan.



Irawan Alham, S.T., M.Si.

Dosen Teknik Kelautan
Jurusan Teknologi Kemaritiman
Politeknik pertanian Negeri Pangkep

Penulis lahir di Makassar tanggal 23 Oktober 1978. Penulis adalah dosen pada Program Studi Teknik Kelautan Jurusan Teknologi Kemaritiman, Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin dan melanjutkan S2 pada Program Studi Teknologi Kelautan Mayor Teknologi Perikanan Tangkap Institut Pertanian Bogor.

Penulis menekuni Penelitian dan pengabdian pada masyarakat bidang Kemaritiman khususnya terkait dengan teknologi kelautan. Beberapa mata kuliah yang diampu adalah Pesawat Kapal, Bangunan dan Stabilitas Kapal serta Olah Gerak Kapal Perikanan.



Irwan, S.T., M.T.

Dosen Teknik Kelautan

Jurusan Teknologi Kemaritiman Politeknik Negeri Pertanian
Pangkajene Kepulauan

Penulis lahir di Kota Parepare tanggal 1 November 1983. Anak keempat dari pasangan Mappede Gani dan Netti Herawati. Penulis adalah dosen pada Program Studi Pendidikan Teknik Kelautan Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan.

Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Tahun 2009 dan menyelesaikan S2 pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Tahun 2015. Penulis menekuni bidang Penelitian Teknik Kelautan dan Teknik Pantai.



Ir. Andi Imran Anshari, M.Si.

Dosen Pada Prodi Teknik Kelautan
Jurusan Teknologi Kemaritiman
Politeknik Pertanian Negeri Pangkep

Penulis lahir di Makassar tanggal 02 Agustus 1967. Penulis adalah dosen pada Program Studi Teknik Kelautan Jurusan Teknologi Kemaritiman, Politeknik Pertanian Negeri Pangkep. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Perikanan Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Ilmu Perikanan Universitas Hasanuddin. Penulis menekuni bidang Penelitian dengan konsentrasi pada kapal perikanan dan teknologi kelautan. Di samping itu, penulis juga aktif sebagai asesor kompetensi.



Paharuddin, S.T., M.Si.

Dosen Teknik Kelautan
Jurusan Teknologi Kemaritiman
Politeknik pertanian Negeri Pangkep

Penulis lahir di Ujung Pandang tanggal 29 Mei 1971. Penulis adalah dosen pada Program Studi Teknik Kelautan, Jurusan Teknologi Kemaritiman, Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Ilmu dan Teknologi Kelautan Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknologi Kelautan Institut Pertanian Bogor.

Penulis menekuni penelitian dan pengabdian pada masyarakat, bidang kemaritiman khususnya terkait dengan teknologi kelautan, kepelautan (Nautika Kapal Penangkap Ikan) dan kelaiklautan. Beberapa mata kuliah yang diampu adalah Bangunan dan Stabilitas Kapal serta Olah Gerak Kapal Perikanan.

