

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1. PRINSIP DASAR HUKUM ARCHIMEDES

Hukum *Archimedes* menyatakan bahwa "suatu benda yang dicelupkan sebagian atau seluruhnya di dalam suatu zat cair akan mengalami gaya ke atas yang besarnya sama dengan berat zat cair yang dipindahkan (didesak) oleh benda tersebut". Prinsip dasar hukum *Archimedes* ini dapat dijelaskan dengan peristiwa benda yang mengapung, melayang dan tenggelam, yaitu sebagai berikut :

II.1.1. Peristiwa Benda Mengapung

Sebuah benda yang dicelupkan ke dalam zat cair akan terapung jika berat benda (w) lebih kecil dari gaya ke atas.

Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$(F_a).w = F_a$$

$$\rho_b . V_b . g = \rho_a . V_a . g$$

$$\rho_b < \rho_a$$

II.1.2. Peristiwa Benda Melayang

Sebuah benda yang dicelupkan ke dalam zat cair akan melayang jika berat benda (w) sama dengan gaya ke atas (F_a) atau benda tersebut tersebut dalam keadaan setimbang.

Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$w = F_a$$

$$\rho_b \cdot V_b \cdot g = \rho_a \cdot V_a \cdot g$$

$$\rho_b = \rho_a$$

II.1.3. Peristiwa Benda Tenggelam

Sebuah benda yang dicelupkan ke dalam zat cair akan tenggelam jika berat benda (w) lebih besar dari gaya ke atas (F_a).

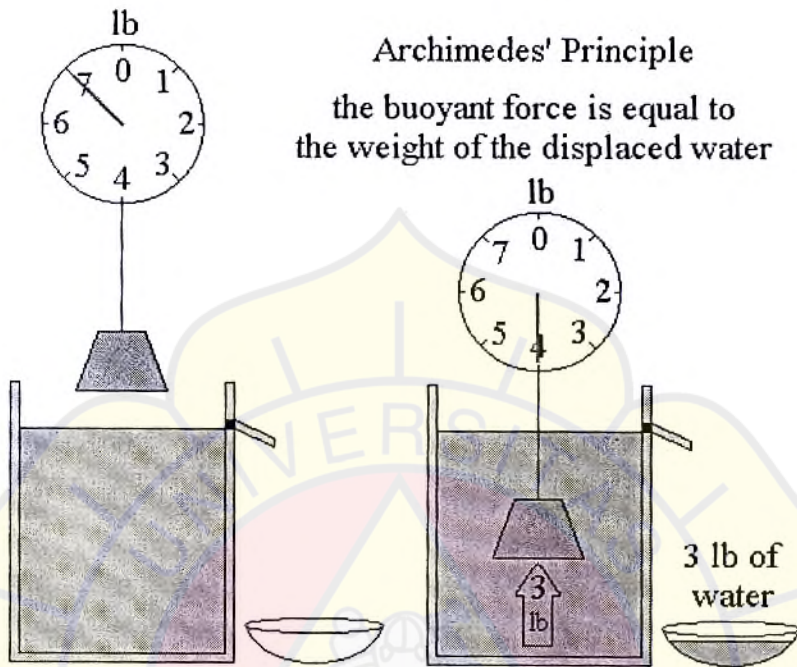
Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$w > F_a$$

$$\rho_b \cdot V_b \cdot g > \rho_a \cdot V_a \cdot g$$

$$\rho_b > \rho_a$$

Ilustrasi Prinsip *Archimedes* dapat diperlihatkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 1. Ilustrasi Prinsip *Archimedes*

(Sumber : <http://erwannugroho.wordpress.com/tag/hukum-archimedes>)

Rumus Hukum Archimedes

$$F_a = M_f \cdot g \quad \text{atau} \quad F_a = \rho_f \cdot V_{bf} \cdot g$$

Keterangan :

F_a = gaya apung

M_f = gaya apung

g = gravitasi

ρ_f = masa jenis fluida

V_{bf} = volum benda yang tercelup dalam fluida

Fluida diartikan sebagai suatu zat yang dapat mengalir. Istilah *fluida* mencakup zat cair dan gas karena zat cair seperti air atau zat gas seperti udara dapat mengalir. Zat padat seperti batu dan besi tidak dapat mengalir sehingga tidak bisa digolongkan dalam *fluida*. Air, minyak pelumas, dan susu merupakan contoh zat cair. Semua zat cair itu dapat dikelompokkan ke dalam *fluida* karena sifatnya yang dapat mengalir dari satu tempat ke tempat yang lain. Selain zat cair, zat gas juga termasuk *fluida*. Zat gas juga dapat mengalir dari satu satu tempat ke tempat lain. Hembusan angin merupakan contoh udara yang berpindah dari satu tempat ke tempat lain.

Fluida merupakan salah satu aspek yang penting dalam kehidupan sehari-hari. Setiap hari manusia menghirupnya, meminumnya, terapung atau tenggelam di dalamnya. Setiap hari pesawat udara terbang melaluinya dan kapal laut mengapung di atasnya. Demikian juga kapal selam dapat mengapung atau melayang di dalamnya. *Fluida* dibagi menjadi dua bagian yakni *fluida statis*

(*fluida* diam) dan *fluida dinamis* (*fluida* bergerak). *Fluida statis* ditinjau ketika *fluida* yang sedang diam atau berada dalam keadaan setimbang (berada dalam wadah). Sedangkan *fluida dinamis* ditinjau ketika *fluida* ketika sedang dalam keadaan bergerak (mengalir). Pembahasan pada penulisan ini yaitu berkaitan dengan *fluida statis* berkaitan tekanan.

Penerapan Hukum *Archimedes* dalam banyak dimanfaatkan untuk teknologi diantaranya adalah dalam teknologi kapal laut, jembatan ponton dan kapal selam



Gambar 2. Contoh penerapan Hukum *Archimedes*

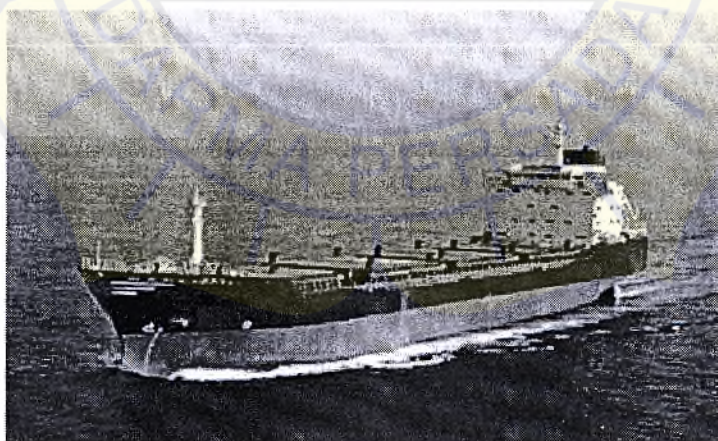
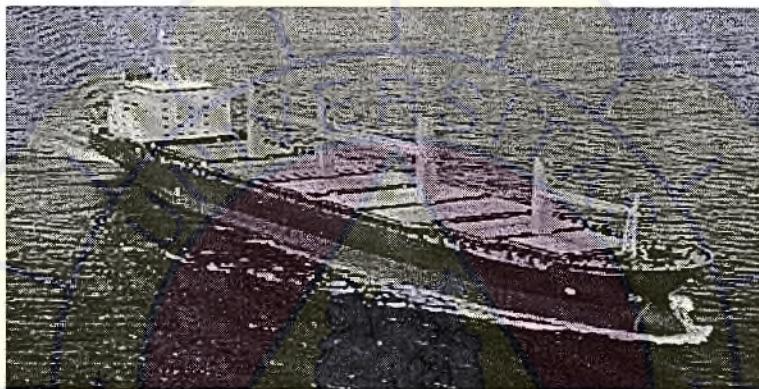
II.2. PRINSIP DASAR TEORI BANGUNAN KAPAL BARANG

II.2.1. Definisi Kapal

Kapal yang dibahas dalam tulisan ini adalah kapal barang/*cargo*, untuk itu dibahas pengertian atau definisi daripada kapal itu sendiri. Pengertian kapal dapat didefinisikan sebagai “*a ship is a floating vessel which is self propelled and capable of carrying cargo or passenger*” (*The Marine Encyclopaedic Dictionary by Eric Sullivan*) dapat diambil pengertian kapal adalah **sarana angkutan terapung di air yang dapat bergerak/berpindah sendiri dari satu tempat ke**

tempat lain dan mampu mengangkut/memindahkan muatan/barang atau penumpang.

Kapal barang adalah merupakan kapal jenis pengangkut barang yang beraneka ragam baik jenis barang dalam bentuk kotak, *crate*, *bundle*, dan lain lain. Kapal-kapal jenis ini umumnya berlayar *trampers* dan tidak memiliki rute khusus tetapi ada juga yang berlayar *linier* dengan rute tetap.

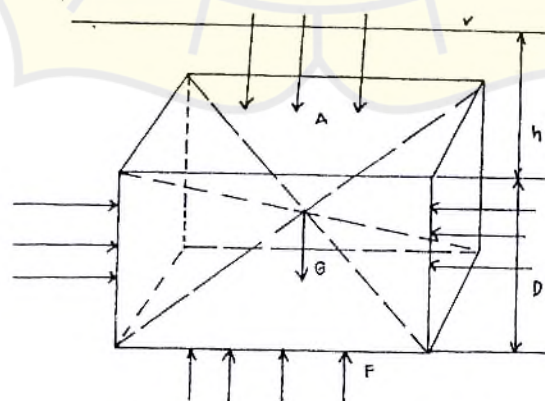


Gambar 3. Kapal barang sedang berlayar

II.2.2. Gaya Apung pada kapal

Benda terapung dapat didefinisikan bahwa benda yang sebagian atau seluruh bagian benda tersebut berada dalam cairan *fluida*, yang dalam hal ini *fluida* disebut sebagai air. Setiap benda apung yang terendam di air akan menerima gaya keatas sesuai dengan berat dari benda tersebut yang akan menekan bidang permukaan benda tersebut. Gaya apung selalu beraksi vertikal ke atas. Bagian yang terendam adalah tidak akan mempunyai komponen horisontal dari resultannya, karena proyeksi yang terendam atau bagian yang terendam tersebut selalu nol pada bidang vertikal. Gaya-gaya vertikalnya akan membentuk resultan gaya, dalam hal ini disebut sebagai gaya apung.

Jadi gaya apung adalah gaya resultan yang dilakukan terhadap suatu benda oleh fluida yang statik tempat benda tersebut terendam. Adalah sudah merupakan suatu hukum bahwa gaya apung selalu beraksi vertikal keatas. Prinsip ini adalah adalah prinsip dasar dari Hukum *Archimedes*, dan prinsip ini menerangkan bahwa benda yang ditenggelamkan seluruhnya atau sebagian dalam fluida akan mengalami gaya keatas seberat air yang dipindahkan.



Gambar 4. Gaya Apung

Gambar diatas menerangkan bahwa benda akan mengalami gaya tekan pada permukaan atas dan permukaan bawah. Jika ρ merupakan kerapatan maka :

- Gaya tekan pada permukaan atas = $A.h . \rho . g$
- Gaya tekan pada permukaan bawah = $A. (h + D). \rho . g$
- Gaya tekan keatas pada benda = $(A. (h + D). \rho . g) - (A. h . \rho . g)$
= $A. D. \rho . g$

Maka berat air yang dipindahkan oleh benda yang tenggelam = $A. D. \rho . g =$ gaya tekan keatas pada benda = F .

Prinsip-prinsip dasar dari benda apung inilah yang banyak digunakan dalam pembahasan stabilitas kapal, hal ini disebabkan karena kapal itu sendiri dikategorikan sebagai benda apung. Dalam melakukan perhitungan gaya apung pada sebuah kapal adalah dihitung volume yang terendam di dalam air, hal ini merupakan displacement dari kapal itu sendiri. Adapun gaya tekan yang diterima oleh kapal tersebut adalah sebesar $F = V . \rho . g$, dimana V adalah volume badan kapal yang terendam atau disebut sebagai displasemen.

II.2.3. Stabilitas pada Kapal

Stabilitas pada kapal adalah kemampuan dari kapal tersebut untuk dapat kembali pada posisinya yang semula setelah mengalami oleng yang diakibatkan oleh pengaruh gaya dari luar maupun dari kapal itu sendiri. Penghitungan stabilitas dari kapal adalah untuk mengetahui besarnya momen dari kapal tersebut agar kapal dapat kembali ke posisinya yang semula, ataupun mendekati posisinya yang semula setelah mengalami berbagai sudut oleng ataupun berbagai kondisi.

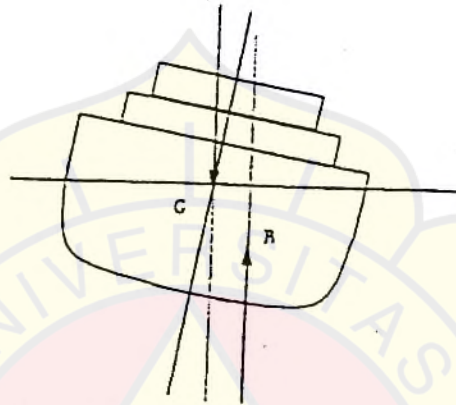
Dalam stabilitas kapal terdapat dua gaya yang mempengaruhi kesetimbangan kapal yaitu gaya gravitasi (F) yang resultan gayanya bekerja pada titik gravitasi (*center of gravity*, G) dan gaya apung yang resultan gaya apung bekerja pada titik pusat gaya apung (*center of bouyancy*, B). Kedua gaya ini akan bekerja pada garis yang sama pada keadaan yang tenang, besaran gayanya adalah sama akan tetapi berlawanan arah. Gaya gravitasi mempunyai arah ke bawah sedangkan gaya apung mempunyai arah ke atas.

Dalam masalah disini hanya akan dibahas tentang gaya-gaya statis saja, maka benda dalam keadaan diam dan gaya-gaya yang bekerjapun adalah kesetimbangan terhadap gaya tersebut dan gaya tersebut tidak mempunyai percepatan. Ada tiga jenis kondisi yang berlaku pada sebuah benda yang berada dalam kondisi kesetimbangan/terapung dia air, kondisi tersebut yaitu keadaan stabil, keadaan netral dan keadaan tidak stabil/labil.

II.2.3.1. Keadaan Stabil

Keadaan Stabil akan terjadi apabila sebuah kapal mengalami kemiringan yang disebabkan oleh pengaruh gaya dari luar kapal dan kapal tersebut mengalami gerak rotasi sehingga mengalami oleng dengan perubahan sudut tertentu, $d\theta$. Keadaan ini membuat titik apung kapal tersebut bergeser dari B menjadi B' , dengan volume yang ada di bawah air tetap. Dan garis kerja gaya apung akan memotong *center line* pada titik metasenter yang baru, M' . Sedangkan gaya berat dan gaya apung akan membuat momen sebuah momen kopel yang disebut juga momen penegak, yang akan menyebabkan kapal akan kembali pada posisi semula.

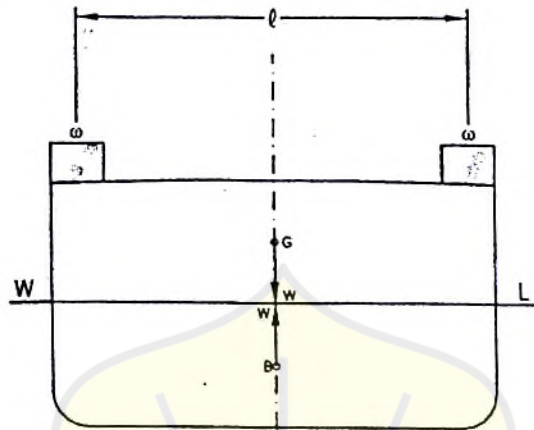
Maka besarnya lengan kopel : $h = Gm' \sin\theta$. Kapal akan dikatakan dalam keadaan yang stabil apabila M' berada diatas G , sehingga lengan momen yang terjadi (h) berharga positif maka dapat dikatakan bahwa kapal dalam keadaan kondisi yang stabil.



Gambar 5. Kapal dalam keadaan stabil

II.2.3.2. Keadaan Netral

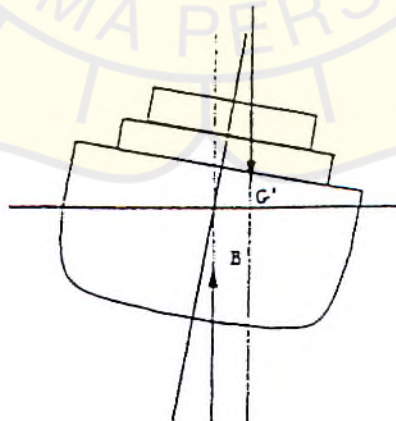
Keadaan Netral akan terjadi apabila sebuah kapal mengalami kemiringan dengan sudut oleng yang menyebabkan garis kerja gaya apung memotong titik G dan M' secara berhimpit. Pada kondisi ini membuat kapal dalam keadaan tetap oleng di posisinya dan tidak dapat kembali pada posisi yang semula.



Gambar 6. Kapal dalam keadaan netral

II.2.3.3. Keadaan Tidak Stabil / Labil

Keadaan Netral akan terjadi apabila sebuah kapal mengalami kemiringan dengan sudut oleng yang menyebabkan titik M' terletak di bawah (h negatif). Dalam keadaan yang seperti ini momen kapal yang terjadi justru akan membuat kapal terbalik / tenggelam.



Gambar 7. Kapal dalam keadaan tidak stabil / labil

II.3. ISTILAH-ISTILAH UMUM TEORI BANGUNAN KAPAL

Beberapa istilah dalam Teori Bangunan Kapal yang digunakan dalam melakukan perhitungan muatan dengan metoda *Draft Survey* adalah yaitu sebagai berikut:

❖ ***Length of Over All (LOA) :***

Panjang kapal secara keseluruhan yang diukur dari haluan sampai buritan kapal .

❖ ***Length Between Perpendicular (LBP atau LPP) :***

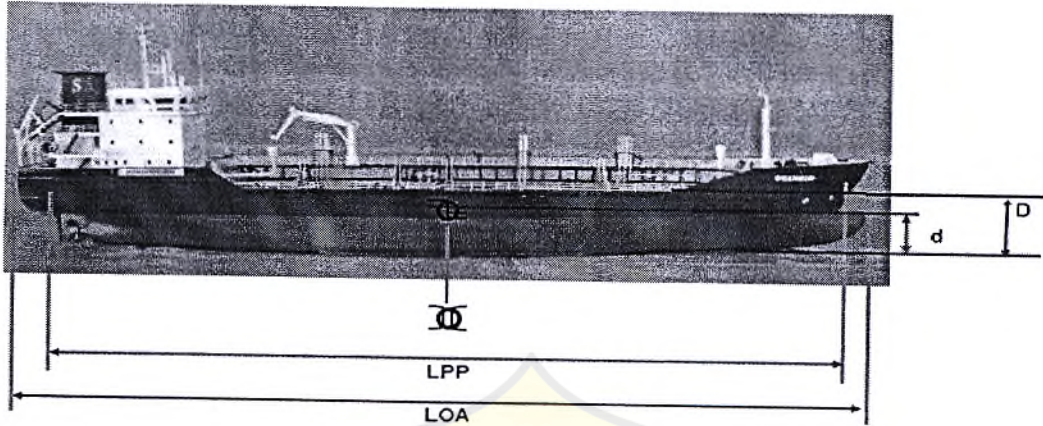
Panjang kapal yang diukur antara garis tegak diukur dari garis tegak poros kemudi (*rudder stock*) yang disebut After Perpendicular sampai ke garis tegak pada perpotongan garis muat atau *load water line (LWL)* maksimum dengan linggi depan dari kapal (*stem*) yang disebut *Forward Perpendicular (FP)*.

❖ ***Depth (D) :***

Tinggi kapal diukur dari garis dasar (*base line*) sampai ke geladak utama (*main deck*) di tengah-tengah kapal.

❖ ***Draught atau Draft (d) :***

Dalamnya bagian kapal yang terbenam dalam air dengan muatan maksimum (*full load*) diukur dari garis dasar (*base line*) sampai ke garis air muat maksimum (*load water line maksimum*)



Gambar 8. Ilustrasi ukuran utama kapal

❖ **Breadth (B) :**

Lebar terbesar dari konstruksi tetap diukur ditengah-tengah panjang kapal.

❖ **Lightweight (Lwt) :**

Berat kapal itu sendiri yang terdiri dari berat badan kapal (*hull*), bangunan atas (*superstructure*), berat mesin utama (*main engine*), berat mesin pembantu (*auxiliary engine*), berat dari peralatan mesin-mesin lainnya, berat dari mesin-mesin geladak (*deck machinery*), berat dari perlengkapan lainnya (*out fitting*), misalnya bahan-bahan kayu yang dipakai (*wood work*), akomodasi (*accommodation*), berat perlengkapan alat-alat bongkar muat dan berat dari lain-lainnya yang dipasang di kapal yang memang dianggap diperlukan untuk kesempurnaan kapal.

❖ ***Deadweight (Dwt) :***

Berat dari muatan-muatan yang diangkut atau yang berada diatas kapal yang terdiri dari muatan-muatan (*cargo*), bahan baker (*fuel oil*), air tawar (*fresh water*), air minum (*drink water*), air ketel (*feed water*), minyak pelumas (*lubricating oil*), air balas (*ballast water*), penumpang dengan barangnya (*passenger and effects*), awak kapal dengan barangnya (*crew and effects*) dan lain-lain.

❖ ***Displacement (Δ) :***

Berat kapal dengan muatan seluruhnya yang ada, adalah *Deadweight (Dwt)* ditambah *Lightweight (Lwt)*. Atau dapat didefinisikan berat air yang dipisahkan oleh bagian kapal yang terbenam didalam air.

❖ ***Constant (Konstanta) :***

Adalah perbedaan berat dari Displacemen kapal dengan seluruh berat yang ada di kapal yang diketahui termasuk berat kapal itu sendiri, jadi konstanta adalah berat yang tidak diketahui dengan pasti yang berada di atas kapal, biasanya konstanta ini terjadi dari beberapa faktor diantaranya seperti umur kapal, kesalahan pembacaan draft kapal, adanya peralatan bongkar muat, kesalahan dalam menghitung air balas, bahan bakar, air tawar dan lain-lain.

❖ ***Trim :***

Perbedaan sarat air kapal (*draft*) dibagian depan (haluan) dan sarat air kapal (*draft*) di bagian belakang (buritan).

❖ ***Moment To Change Trim One Centimeter (MTC):***

Besarnya momen yang diperlukan untuk merubah trim kapal sebesar 1 cm.

❖ ***Ton per Centimeter (TPC)***

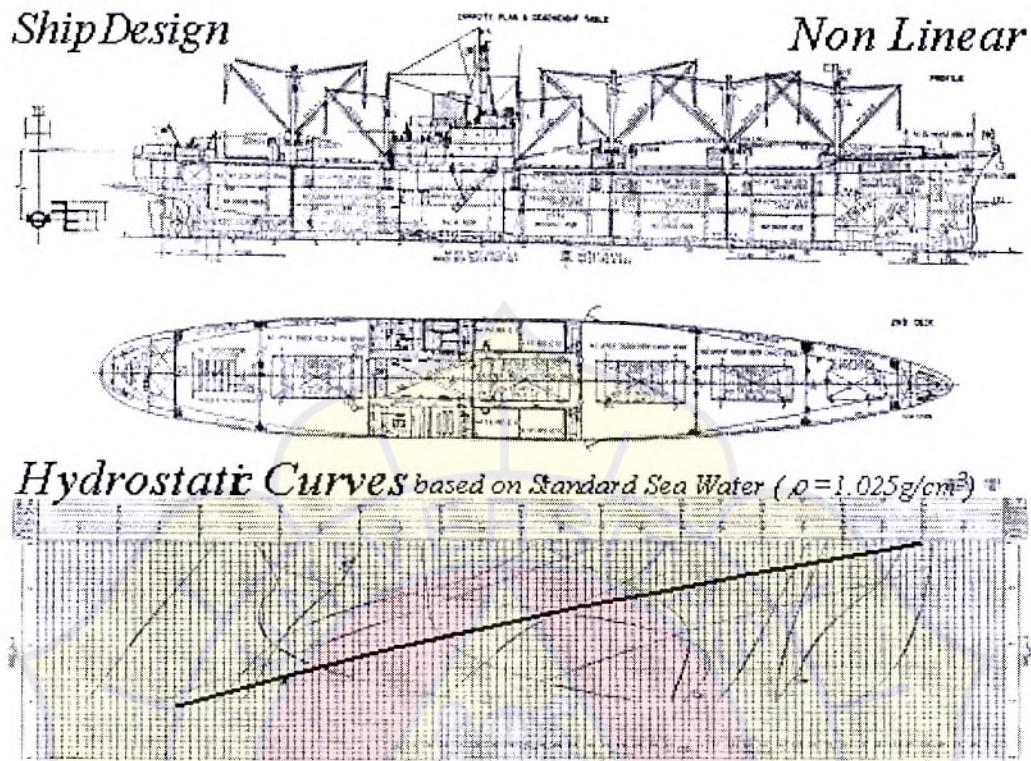
Besarnya muatan dalam ton yang dapat merubah sarat air kapal atau *draft* (d) sebesar 1 Cm.

❖ ***Longitudinal of Centre Flootation (LCF) atau OF***

Suatu jarak titik apung kapal terhadap tengah kapal

❖ ***Hydrostatic Table (Tabel Hidrostatik)***

Tabel yang menggambarkan suatu karakteristik kapal yang dapat juga dituangkan dalam bentuk kurva, jadi bisa juga disebut *Hydrostatic Curve* (Kurva Hidrostatic) .



Gambar 9. Ilustrasi Kurva Hidrostatik

❖ *Centre of Bouyancy (OB)*

Suatu titik tekanan arah ke atas dari dari volume air yang dipisahkan, yang sebenarnya adalah titik berat dari volume air tersebut tetapi karena ini adalah volume air dari kapal yang terapung maka arahnya ke atas. Jadi *Centre of Bouyancy* dari kapal adalah titik berat gravitasi (*Centre of Gravity*) dari volume kapal dibawah air atau titik berat dari air yang dipisahkan.

❖ ***Centre of Gravity (OG)***

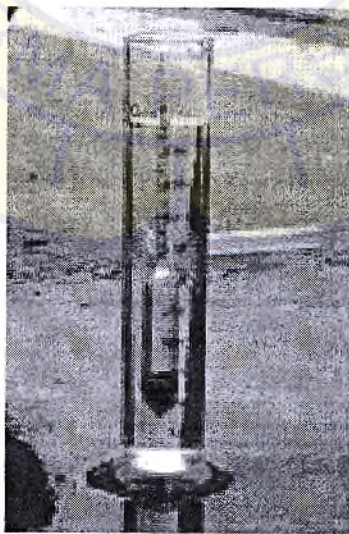
Suatu titik tekanan arah ke bawah dari kapal yang ditentukan oleh berat struktur kapal tersebut dengan segala muatan yang ada di atasnya. Pergeseran atau perpindahan dari letak barang-barang di kapal menyebabkan *centre of gravity* (titik berat gravitasi) akan berubah-ubah letaknya (menjadi tinggi atau menjadi rendah).

❖ **dM/dZ**

Suatu besaran untuk merubah momen trim per meter.

❖ ***Density of Water (Berat Jenis Air)***

Berat Jenis Air Laut adalah perbandingan antara berat air dalam Ton dengan volumenya dalam meter kubik, jadi satuannya adalah Ton / M^3 . Alat ukur untuk menentukan berat jenis air adalah *Hydrometer*.

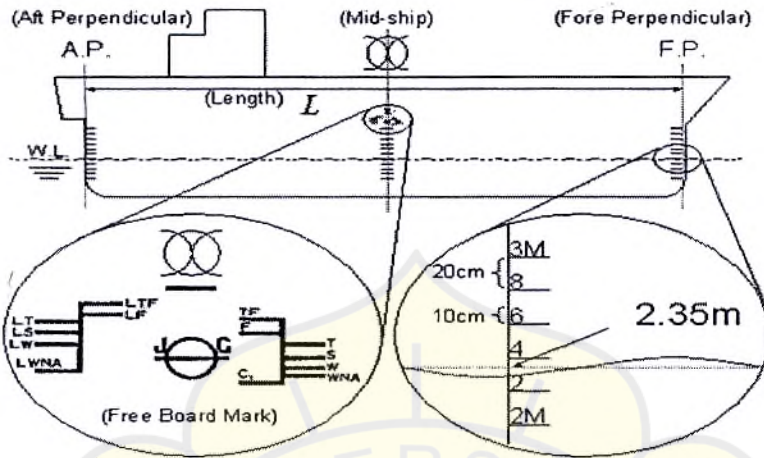


Gambar 10. Penggunaan *Hydrometer*

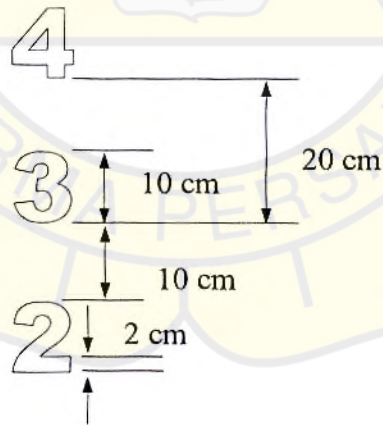
Tabel Hidrostatik menunjukkan angka Displasemen yang diasumsikan memakai angka berat jenis laut ideal dalam perencanaan pembangunan kapal yaitu sebesar $1.025 \text{ Ton} / \text{M}^3$, namun pada kenyataannya pada saat kapal beroperasi atau berlayar tidak pada kondisi berat air laut yang ideal atau sama dengan berat jenis air yang sama dalam perencanaan pembangunan kapal. Oleh karena hal inilah diperlukan *Hydromoter* untuk mengetahui berat jenis air laut pada saat pengambilan angka sarat air kapal awal (*initial draft survey*) dan pada saat pengambilan angka sarat air kapal akhir (*final draft survey*). Pengukuran berat jenis air laut ini harus dilakukan dikarenakan berat jenis air laut pada waktu yang berbeda dan tempat yang berbeda dimungkinkan mendapatkan angka berat jenis air laut yang berbeda. Adanya perbedaan berat jenis air laut inilah menjadi faktor koreksi dalam mendapatkan berat muatan barang yang dimuat ke dalam kapal barang.

❖ *Draft Mark* (Tanda Sarat Air Kapal)

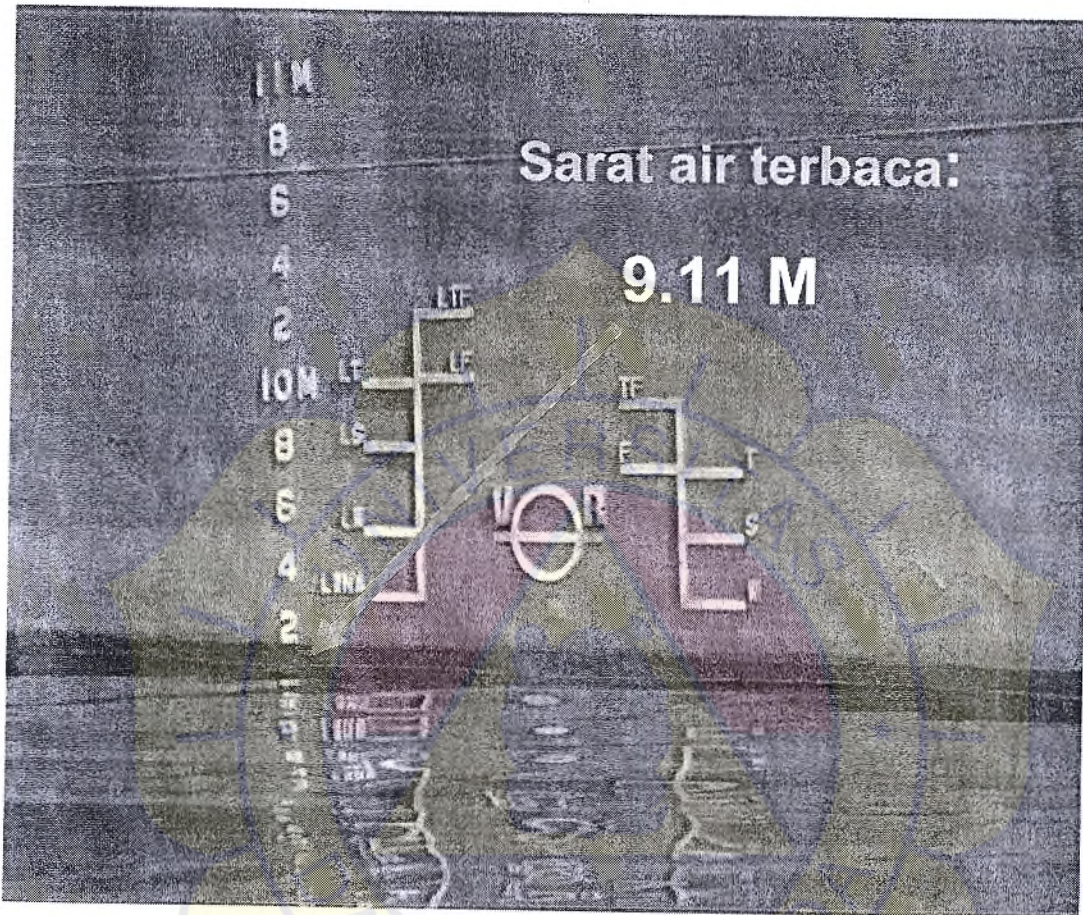
Tanda Saat Air kapal adalah suatu angka yang ada di sisi kiri dan kanan lambung kapal yang terletak di depan, tengah dan belakang kapal yang dapat menunjukkan tinggi badan kapal yang terendam di dalam air yang diukur dari dasar kapal (*base line*).



Gambar 11. Ilustrasi Posisi Tanda Sarat Air (*Draft Mark*)



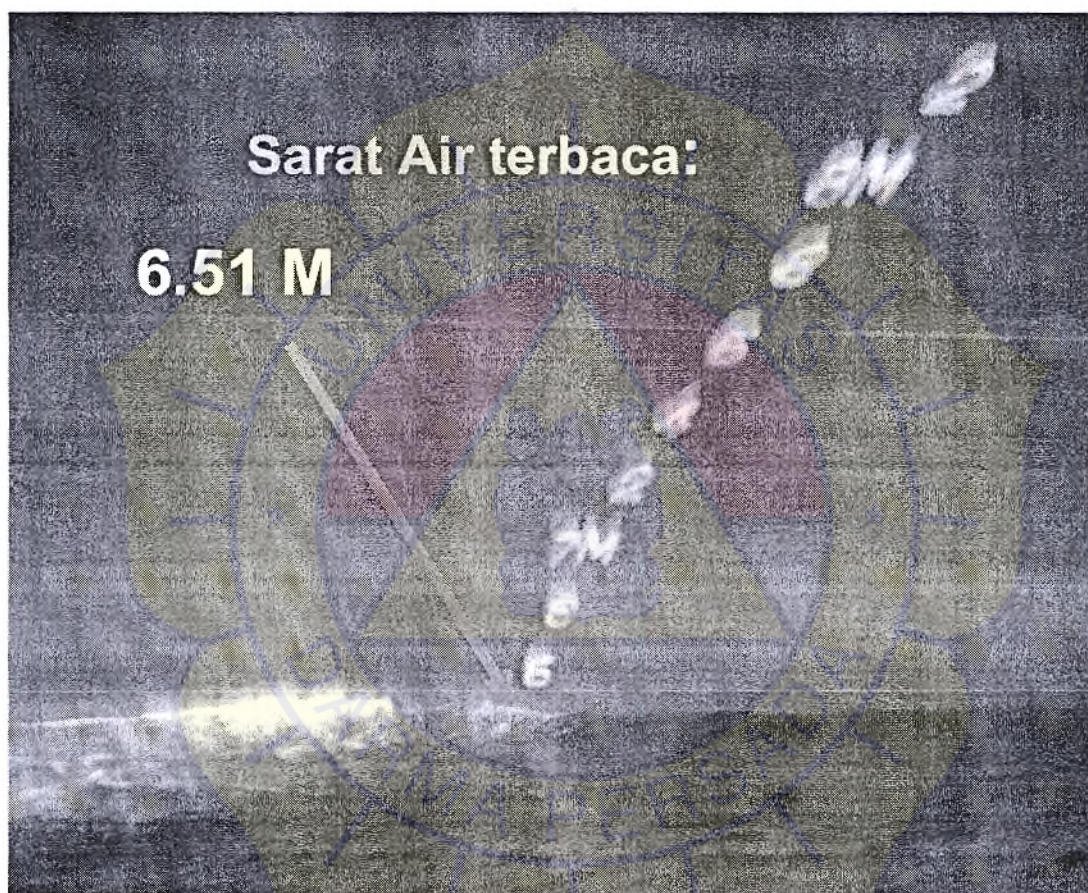
Gambar 12. Standar ukuran Tanda Sarat Air (*Draft Mark*)



Gambar 13. Pembacaan Sarat Air Bagian Tengah Kapal



Gambar 14. Pembacaan Sarat Air Kapal Bagian Haluan



Gambar 15. Pembacaan Sarat Air Kapal Bagian Buritan

❖ *Area Water Line (Aw)*

Area Water Line adalah luas penampang garis air.

❖ *Hogging*

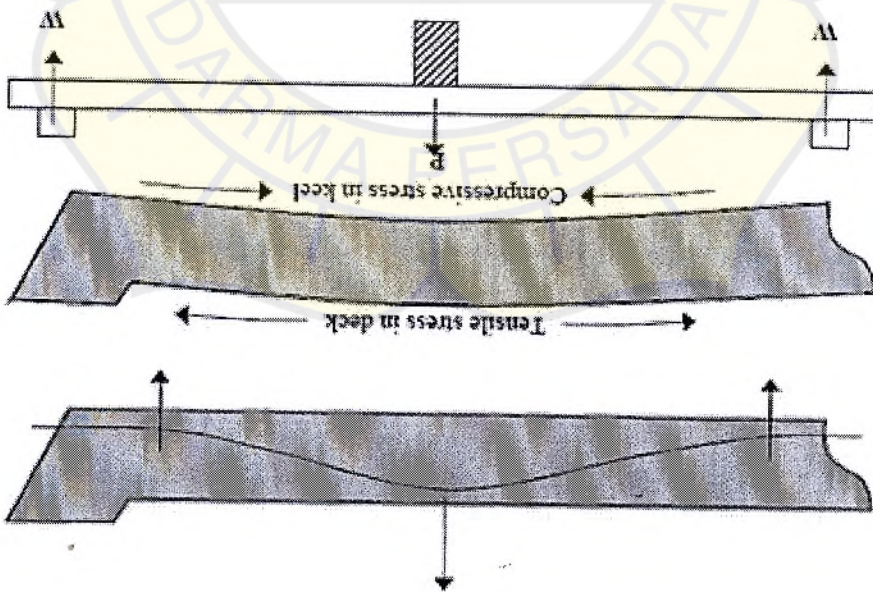
Hogging adalah muatan atau distribusi berat di bagian tengah kapal lebih ringan, sedangkan muatan atau distribusi berat di haluan kapal dan di buritan kapal lebih berat, hal ini menyebabkan haluan dan buritan lebih rendah dari bagian tengah.

Hogging terjadi jika kekuatan daya apung yang terkonsentrasi di sekitar bagian tengah kapal, sementara bagian haluan kapal dan buritan kapal terdapat muatan atau distribusi berat, kapal akan cenderung bergerak ke bawah di haluan dan buritan kapal, sementara bagian tengah kapal bagian akan cenderung bergerak ke atas. Dalam situasi ini, anggota struktural dek mengalami stres tarik sedangkan struktur dibawah mengalami tekanan kompresif. Fenomena ini dapat dibandingkan dengan balok didukung di bagian tengah, sementara bobot beban berada pada bagian ujung depan dan belakang.

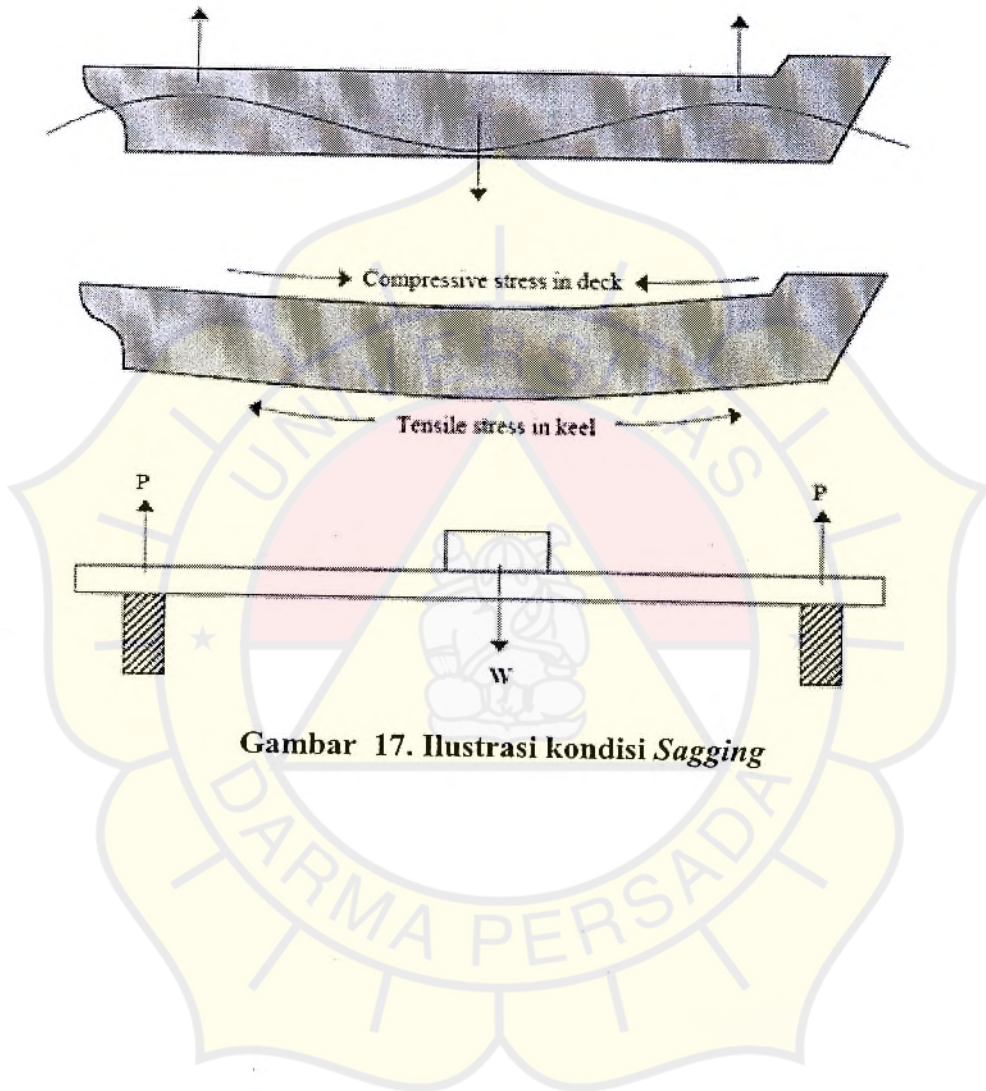
Sagging terjadi jika kekuatan daya apung terkonsentrasi di bagian bawah haluan kapal dan di bagian bawah burtan kapal, sementara bagian tengah kapal terdapat muatan atau distribusi berat, kapal akan cenderung bergerak ke atas di haluan dan burtan, sementara bagian tengah kapal akan cenderung bergerak ke bawah. Dalam situasi ini, anggota struktural dek mengalami tekanan kompresif

❖ *Sagging* adalah muatan atau distribusi berat di bagian tengah kapal lebih berat, sedangkan muatan atau distribusi berat di haluan kapal dan di burtan kapal lebih ringan, hal ini menyebabkan haluan dan burtan lebih tinggi daripada bagian tengah.

Gambar 16. Ilustrasi kondisi *Hogging*



sedangkan struktur dibawah mengalami mengalami stres tarik. Fenomena ini dapat dibandingkan dengan sebuah balok yang didukung pada bagian ujung depan dan belakang, sementara bobot beban berada di bagian tengah.



Gambar 17. Ilustrasi kondisi *Sagging*

II.4. METODE PERHITUNGAN MUATAN PADA BEBERAPA JENIS KAPAL BARANG BERDASARKAN JENIS MUATANNYA

Ada beberapa jenis kapal yang Penulis ketahui metode menghitung muatannya yaitu sebagai berikut :

Tabel 1. Tabel metode perhitungan muatan pada kapal barang

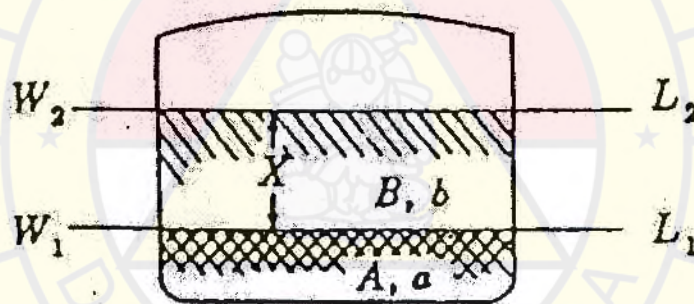
No.	Jenis Kapal	Jenis Muatan	Contoh Muatan	Metode Perhitungan Muatan	Alasan penggunaan Metode Perhitungan
1.	Tanki	cairan	Bahan bakar minyak, cairan kimia, minyak kelapa sawit	<i>Sounding Tanky</i>	satuan standar yang dipakai Volume, Kilo Liter, Barrel, Metric Ton, Long Ton
2.	Peti kemas	peti kemas	Peti kemas berbagai ukuran dan jenis	<i>Tally (stowage plan)</i>	satuan standar yang dipakai TEUS (Twenty-foot Equivalent Units) atau FEUS (forty-foot equivalent units)
3.	Barang umum	karung, peti kayu, <i>jumbo bag</i> , <i>bundel</i> , <i>crate</i> , <i>roll</i> , kardus	kopi, beras, gula, pupuk, pipa, pelat baja, kayu gelondongan, <i>sling</i> , <i>cooper slag</i> , semen	<i>Tally (stowage plan)</i>	satuan standar yang dipakai sangat beragam jenis, seperti volume, lot, pices, roll, bundle, ton, dan lain-lain
4.	Barang umum dan Barang muatan curah	curah, batuan, tanah, pasir, kerikil, butiran	batubara, bijih : besi, nickel, mangan, tembaga, bauksit, granit, pasir : laut dan darat.	<i>Draft Survey</i>	satuan standar : Metric Ton, dimungkinkan untuk menghitungnya dengan metode <i>Draft Survey</i>

Draft Survey hanya dilakukan untuk kapal barang umum muatan curah dan kapal barang curah, hal ini dikarenakan hanya muatan curah saja yang memungkinkan untuk diketahui beratnya dengan prinsip Archimedes dan metode *Draft Survey*.

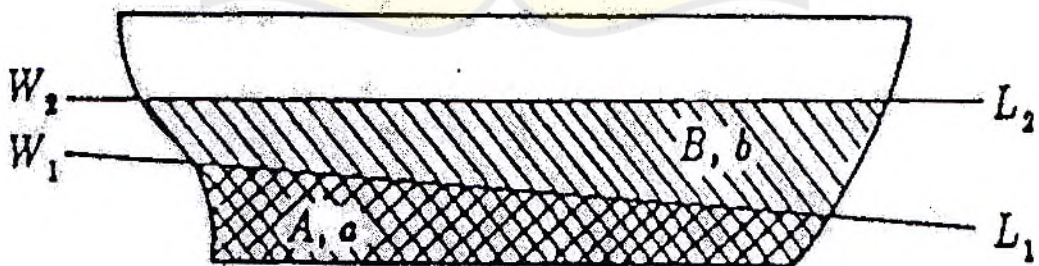
II.5. PERHITUNGAN MUATAN CURAH DENGAN METODE *DRAFT SURVEY*

SURVEY

Prinsip dasar perhitungan muatan curah dengan metode *Draft Survey* mengacu pada hukum atau prinsip *Archimedes*. Dapat dijelaskan melalui ilustrasi gambar kapal berikut :



Gambar 18. Ilustrasi *Draft Survey* tampak melintang



Gambar 19. . Ilustrasi *Draft Survey* tampak memanjang

Sebagai ilustrasi dari gambar 2.17 dan gambar 2.18 dapat dijelaskan sebagai berikut :

W_2L_2 : garis air kapal pada sarat air yang berisi muatan

B : displasemen pada sarat air tersebut

Perhitungan displasemen ini didapat dari kurva atau tabel Hidrostatik dari hasil pembacaan sarat air kapal yang telah dikoreksi dengan berat jenis dari air laut, dikoreksi oleh lengkungan memanjang (*longitudinal bending*) dan dikoreksi oleh trim (perbedaan sarat air bagian depan dan belakang kapal).

b : total dari seluruh muatan selain muatan kapal (bahan bakar, air balas, air tawar dan lain-lain).

Perhitungan muatan ini berdasarkan dari tabel tangki untuk masing-masing tangki setelah diketahui dari hasil aktual pengukuran dengan pita ukur kedalam tangki (*actual sounding*), dan dikoreksi untuk perbedaan sarat air kapal depan dan belakang (*trim*), kemiringan melintang kapal (*list*) dan perbedaan berat jenis,

W_1L_1 : garis air pada sarat air tanpa muatan

A : displasemen pada sarat air tersebut.

Perhitungan displasemen ini didapat dari kurva atau tabel Hidrostatik dari hasil pembacaan sarat air kapal yang telah dikoreksi dengan berat jenis dari air laut, dikoreksi oleh

lengkungan memanjang (*longitudinal bending*) dan dikoreksi oleh trim (perbedaan sarat air bagian depan dan belakang kapal).

a : total dari seluruh muatan selain muatan kapal (bahan bakar, air balas, air tawar, dan lain-lain).

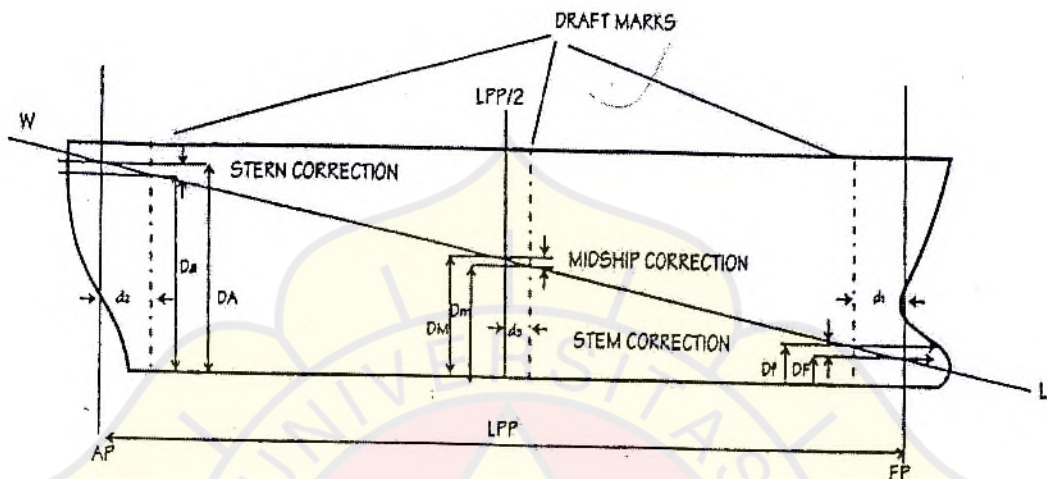
Perhitungan muatan ini berdasarkan dari tabel tangki untuk masing-masing tangki setelah diketahui dari hasil aktual pengukuran dengan pita ukur kedalam tangki (*actual sounding*), dan dikoreksi untuk perbedaan sarat air kapal depan dan belakang (*trim*), kemiringan melintang kapal (*list*) dan perbedaan berat jenis.

Jadi untuk berat dari muatan dari kapal adalah "X", yang mana muatan tersebut di muat ke kapal atau yang dibongkar dari kapal adalah : $X = (B - b) - (A - a)$.

II.5.1. Pembacaan Sarat Air Kapal

Pada umumnya letak tanda atau angka sarat air kapal (*Draft Mark*) tidak berada tepat di lambung linggi bagian belakang (*After Perpendicular*), tidak berada tepat di lambung linggi bagian depan (*Forward Perpendicular*) dan tidak berada tepat di lambung tengah kapal (LPP/2 atau *Midship*).

Kondisi ini dapat dilustrasikan pada gambar berikut :



Gambar 20. Ilustrasi letak jarak tanda sarat air kapal terhadap linggi haluan, linggi buritan dan tengah kapal

LPP : *The distance between perpendicular* atau Panjang kapal yang diukur antara garis tegak diukur dari garis tegak poros kemudi (*rudder stock*) yang disebut *After Perpendicular* sampai ke garis tegak pada perpotongan garis muat atau *load water line (LWL)* maksimum dengan linggi depan dari kapal (*stem*) yang disebut *Forward Perpendicular (FP)*.

FP : *The forward perpendicular* atau linggi bagian depan.

- AP : *The after perpendicular* atau garis tegak poros kemudi (*rudder stock*).
- Df : *The draft at forward marks* atau sarat air kapal bagian depan
- DF : *The draft at forward perpendicular* atau sarat air kapal pada linggi bagian depan kapal
- Da : *The draft at aft marks* atau sarat air kapal bagian belakang
- DA : *The draft at aft perpendicular* atau sarat air kapal pada poros kemudi (*rudder stock*).
- DM : *The draft at LPP/2* atau sarat air kapal tepat ditengah-tengah kapal (LPP/2)
- $d_1 d_2 d_3$: *The distance between draft marks and perpendiculars* atau jarak antara tanda angka sarat air kapal dengan linggi di bagian depan, belakang dan tengah kapal.
- WL : *The water line* atau garis air.

Dikarenakan perhitungan displacemen diukur berdasarkan *Length Between Perpendicular (LPP)*, maka pembacaan sarat air kapal (*draft mark*) harus dikoreksi. Berikut adalah koreksi yang harus dilakukan untuk mendapatkan angka

sarat air kapal (draft mark) yang sebenarnya sesuai dengan perhitungan displasemen dalam perancangan (design) kapal.

II.5.1.1. Koreksi sarat air kapal bagian depan (*Stem Correction*)

Untuk koreksi sarat air kapal bagian depan:

$$\Delta df = \frac{L1}{L - (L1 + L2)} \times \text{Trim} \dots\dots\dots (\text{Ref.1: Lampiran 1})$$

Dimana: L = panjang kapal antara garis tegak (LBP)

L1 = jarak dari linggi haluan ke tanda sarat air depan

L2 = jarak dari linggi buritan ke tanda sarat air belakang

Catatan: $df = df + \Delta df$ (jika trim ke depan)

$df = df - \Delta df$ (jika trim ke belakang)

II.5.1.2. Koreksi sarat air kapal bagian belakang (*Stern Correction*)

Untuk koreksi sarat air kapal bagian belakang:

$$\Delta da = \frac{L1}{L - (L1 + L2)} \times \text{Trim} \dots\dots\dots (\text{Ref.2: Lampiran 2})$$

Dimana: L = panjang kapal antara garis tegak (LBP)

L1 = jarak dari linggi haluan ke tanda sarat air depan

L2 = jarak dari linggi buritan ke tanda sarat air belakang

Catatan: $da = da + \Delta da$ (jika trim ke belakang)

$da = da - \Delta da$ (jika trim ke depan)

II.5.1.3. Koreksi sarat air kapal bagian tengah (*Midship Correction*)

Untuk koreksi sarat air kapal bagian belakang:

$$\Delta dm = \frac{L1}{L - (L1 + L2)} \times \text{Trim} \dots\dots\dots(\text{Ref.3: Lampiran 3})$$

Dimana: L = panjang kapal antara garis tegak (LBP)

L1 = jarak dari linggi haluan ke tanda sarat air depan

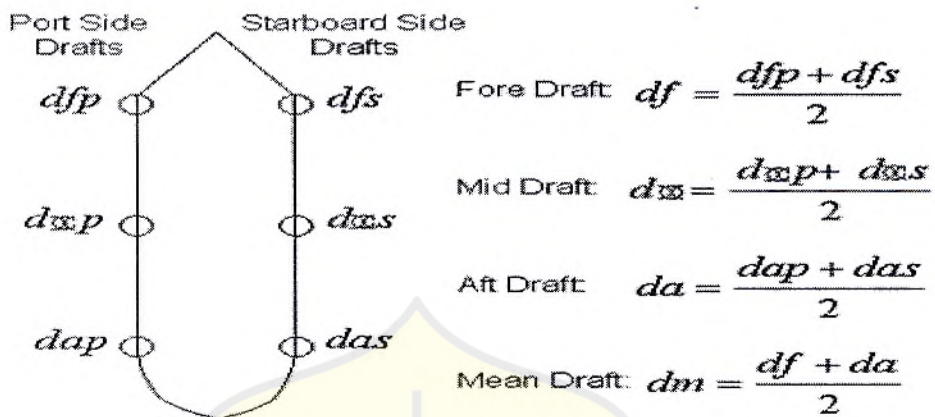
L2 = jarak dari linggi buritan ke tanda sarat air belakang

Catatan: $dM = dm - \Delta dm$ (jika trim ke belakang)

$dM = dm + \Delta dm$ (jika trim ke depan)

II.5.1.4. Koreksi sarat air kapal akibat deformasi (*Draft Corrected for Deformation*)

Koreksi sarat air kapal akibat deformasi sering juga disebut *True Mean Draft* atau *Quarter Mean Draft*, koreksi harus dihitung karena konstruksi badan kapal telah mengalami deformasi dari proses pembangunan kapal, usia kapal, korosi, pengaruh momen *Sagging* dan *Hogging*. Oleh karenanya pembacaan sarat air kapal (*draft*) diperlukan untuk di *streamline-kan* (*corrected line*), dengan cara melakukan koreksi dibawah ini :



$$\text{Mean of Mean} = \frac{\text{Mean Draft} + \text{Mid Draft}}{2}$$

$$= \frac{dm + d\Phi}{2}$$

$$\text{Draft Corrected for Deformation} = \frac{\text{Mean of Mean} + \text{Mid Draft}}{2}$$

$$= \frac{\text{Mean of Mean} + d\Phi}{2}$$

Atau dapat juga memakai rumus berikut:

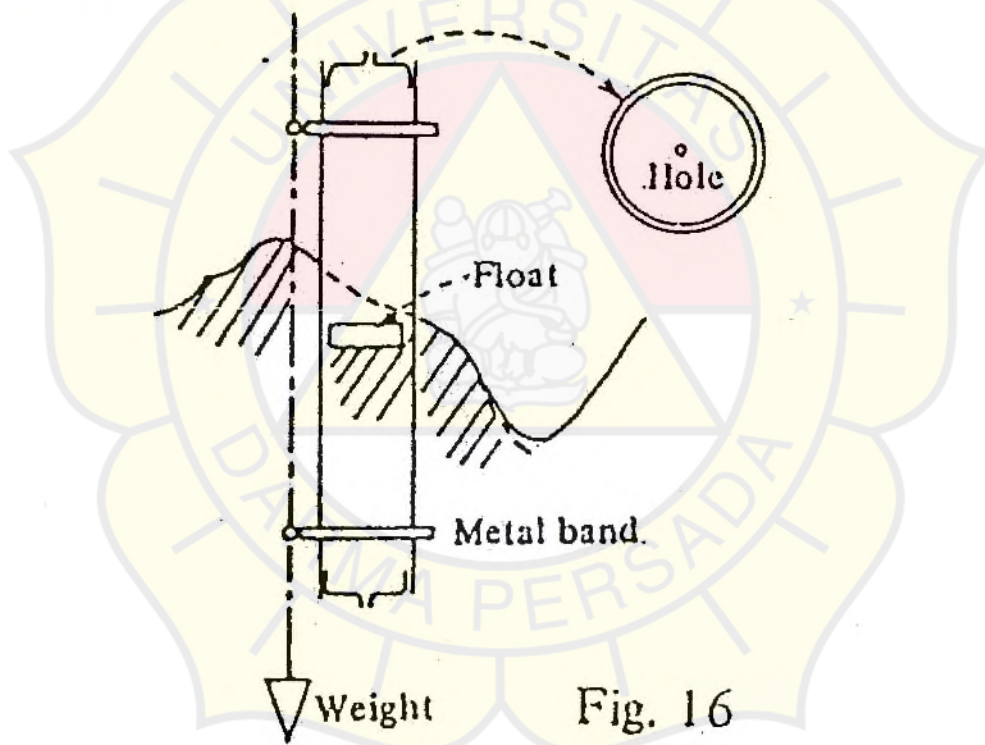
Draft Corrected for Deformation :

$$= \frac{(df + da + (6 \times d\Phi))}{8} \dots\dots\dots(\text{Ref.4: Marine Surveys, Hal.9})$$

Angka atau nilai sarat air kapal yang telah dikoreksi inilah yang menjadi acuan untuk perhitungan selanjutnya dalam menentukan berat muatan yang dimuat atau di bongkar ke atau dari kapal.

II.5.1.5. Alat Bantu untuk Melihat Sarat Air Kapal

Jika kondisi gelombang air laut sangat ekstrim atau menemukan kesulitan dalam pembacaan Sarat Air Kapal dapat digunakan sebuah alat bantu berupa tabung transparan/bening yang diberi pemberat dan didalamnya ada sebuah pelampung. Alat ini prinsipnya adalah mengurangi pengaruh gelombang yang kuat di luar tabung, namun pelampung yang didalam tabung dapat mewakili pembacaan Sarat Air Kapal dengan akurat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada ilustrasi dibawah ini.



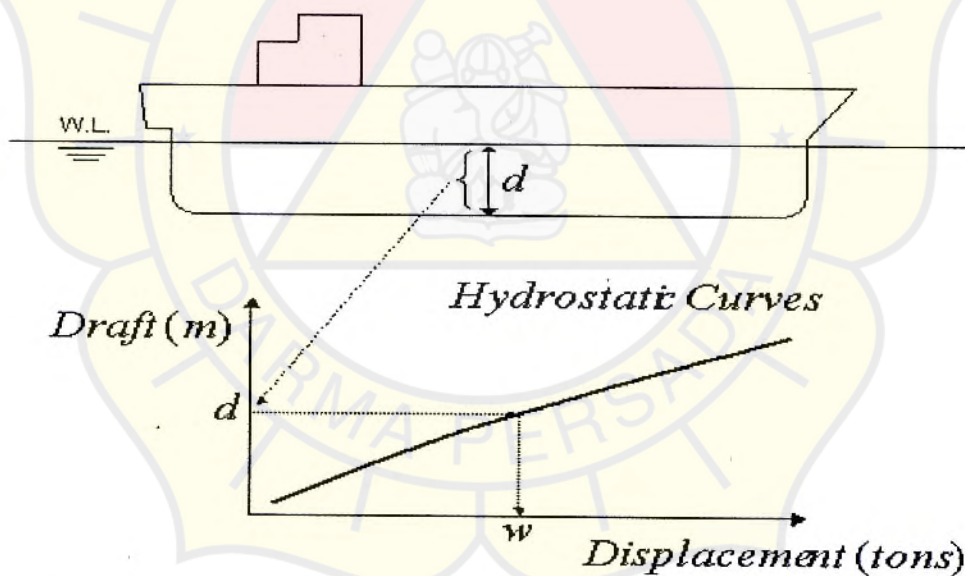
Gambar 21. Ilustrasi alat bantu membaca sarat air kapal

(Sumber : *Draft Survey Hand Book , to calculate the weight of cargo by means of ship draft, halaman 9*)

II.5.2. Perhitungan Displasemen Tahap Pertama (Δ_1)

Setelah mendapatkan nilai atau angka sarat air kapal yang telah dikoreksi seperti tersebut pada item 2.4.1.4. diatas, maka untuk selanjutnya dapat dilakukan perhitungan **Displasemen Tahap Pertama (Δ_1)**. Disebut **Displasemen Tahap Pertama (Δ_1)** dikarenakan akan ada koreksi kembali untuk nilai displasemen tersebut.

Untuk mendapatkan nilai Displasemen ini dapat dilihat pada Tabel Hisrostatik atau Kurva Hidrostatik, sebagai ilustrasi dapat ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 22. Ilustrasi pembacaan sarat air kapal dan Kurva Hidrostatik

Untuk perhitungan Displasemen dengan memakai Tabel Hidrostatik maka untuk mendapatkan nilai Displasemen pada sarat air yang telah dikoreksi adalah dengan cara interpolasi.

$$\text{Rumus Interpolasi : } \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$\text{Menjadi : } y = y_1 + \left[\left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right) \times (y_2 - y_1) \right]$$

Keterangan :

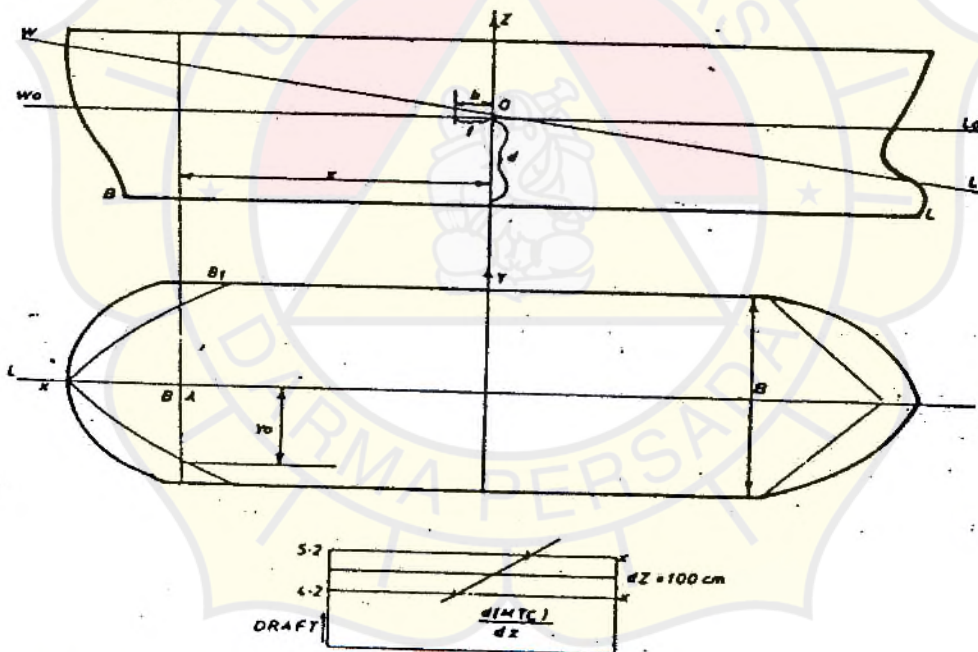
- x = nilai sarat air setelah dikoreksi deformasi
- x₁ = nilai draft yang berada di atasnya (lebih kecil)
- x₂ = nilai draft yang berada di bawahnya (lebih besar)
- y = nilai yang dicari (Displasemen , TPC dan LCF)
- y₁ = nilai yang berada di atasnya atau lebih kecil (Displasemen , TPC dan LCF)
- y₂ = nilai yang berada di bawahnya atau lebih besar (Displasemen , TPC dan LCF)

Selain mendapatkan nilai Displasemen Tahap Pertama (Δ_1), TPC dan LCF juga didapatkan nilai MTC. Untuk MTC dalam hal ini harus dihitung nilai untuk MTC₁ dan MTC₂ pada Tabel Hidrostatik melalui interpolasi seperti rumus diatas. Untuk mendapatkan nilai tersebut maka nilai sarat air setelah dikoreksi deformasi x' harus ditambahkan 0.5 meter utk MTC₁ dan dikurangi 0.5 meter untuk MTC₂. Setelah mendapatkan nilai MTC₁ pada nilai sarat air setelah dikoreksi x + 0.5

meter dan nilai MTC_2 pada nilai sarat air setelah dikoreksi $x - 0.5$ meter, maka dihitung dM/dZ yaitu selisih antara MTC_1 dan MTC_2 . (Ref. 5 : *Marine Surveys*, Hal.10)

II.5.3. Perhitungan Displasemen Tahap Kedua (Δ_2)

Menghitung Displasemen Tahap Kedua adalah dengan melakukan koreksi terhadap nilai dari Displasemen Tahap Pertama (Δ_1) dengan Koreksi Trim (*Trim Correction*), yang dilakukan dalam dua tahap seperti dijelaskan dibawah ini.



Gambar 23. Ilustrasi terjadinya Koreksi Trim (*Trim Correction*)

❖ Koreksi Pertama yaitu :

Koreksi yang diakibatkan oleh perubahan bentuk bidang garis air (A_w) dan perpindahan titik pusat daya apunnya (LCF), hal ini disebabkan oleh karena A_w dan LCF yang disajikan dalam Kurva Hidrostatik atau Tabel

Hidrostatik adalah pada kondisi kapal *even keel* (sejajar dengan lunas kapal, tegak dan lurus tidak terjadi trim atau perbedaan sarat air haluan dan buritan, tidak terjadi kemiringan kapal), sementara pada saat dilakukan draft Survey sudah dapat dipastikan terjadi kondisi tidak *even keel*.

Koreksi Pertama (1st) (Nemoto's Formula):

$LCF \times (\text{trim} / LPP) \times 100 \times TPC \dots\dots\dots$ (Ref.6 : *Marine Surveys*, Hal.10)

❖ **Koreksi Kedua yaitu :**

Koreksi yang diakibatkan oleh perubahan besarnya momen trim per cm (MTC), perubahan ini mengakibatkan berubahnya volumen displasemen dan titik pusat apung (LCB). Sedangkan untuk MTC dan LCB yang disajikan dalam Kurva Hidrostatik atau Tabel Hidrostatik adalah pada kondisi kapal *even keel* (sejajar dengan lunas kapal, tegak dan lurus tidak terjadi trim atau perbedaan sarat air haluan dan buritan, tidak terjadi kemiringan kapal), sementara pada saat dilakukan draft Survey sudah dapat dipastikan terjadi kondisi tidak *even keel*.

Koreksi Kedua (2nd) (Nemoto's Formula):

$50 \times (dM / dZ) \times (\text{trim}^2 / LPP) \dots\dots\dots$ (Ref.7 : *Marine Surveys*, Hal.10)

Jadi Displasemen Tahap Kedua (Δ_2) adalah :

$$\Delta_2 = \Delta_1 - .[\text{Koreksi Pertama (1st)} + \text{Koreksi Kedua (2nd)}$$

II.5.4. Perhitungan Displasemen Tahap Ketiga (Δ_3)

Menghitung **Displasemen Tahap Ketiga (Δ_3)** adalah dengan melakukan koreksi terhadap nilai dari **Displasemen Tahap Kedua (Δ_2)** dengan **Koreksi Berat Jenis Air (*Density Correction*)**. Berat Displasemen dalam Tabel Hidrostatik atau Kurva Hidrostatik adalah dalam satuan Ton, dengan memakai satuan Berat Jenis Air Laut dalam Merancang Kapal yaitu 1.025 Ton per M^3 . Pada saat dilakukan penghitungan *Draft Survey* kondisi Berat Jenis Air Laut tidak selalu sama dengan Berat Air Laut dalam Merancang Kapal, oleh sebab itu dilakukan Koreksi Berat Jenis Air Laut.

Untuk formula Koreksi Berat Jenis Air Laut adalah sebagai berikut:

$$\frac{\gamma \text{ Observasi} - 1,025}{1,025} \times \Delta_2 \dots\dots\dots (\text{Ref.8 : } \textit{Marine Surveys}, \text{ Hal.11})$$

Keterangan : γ Observasi = berat jenis air laut saat survey sarat air kapal

Jadi Displasemen Tahap Ketiga:

$$\Delta_3 = \Delta_2 + \text{Koreksi Berat Jenis Air Laut}$$

II.5.5. Perhitungan Displasemen Bersih (*Net Displacement*)

Menghitung **Displasemen Bersih (*Net Displacement*)** adalah dengan melakukan pengurangan terhadap nilai dari **Displasemen Tahap Ketiga (Δ_3)** dengan **Komponen Berat Selain Muatan (*Deducted Weight*)** dan **Konstanta (*Constant*)**.

Untuk mempermudah dapat dijadikan rumus sebagai berikut:

$$\text{Net Displacement} = \Delta_3 - [\text{Deducted Weight} + \text{Constant}]$$

II.5.6. Perhitungan Berat Muatan (*Cargo Loaded*)

Dari hasil seluruh Perhitungan dengan mendapatkan nilai **Displasemen Bersih (*Net Displacement*)** di awal dan di akhir kegiatan pemuatan atau pembongkaran muatan ke atau dari kapal, dapat diketahui besarnya muatan yang dimuat atau dibongkar ke atau dari atas kapal. Menghitung **Berat Muatan (*Cargo Loaded*)** adalah menghitung selisih antara nilai **Displasemen Bersih Akhir (*Net Displacement Final*)** dengan **Displasemen Bersih Awal (*Net Displacement Initial*)**.

Diasumsikan bahwa Perhitungan ini adalah untuk pemuatan ke atas kapal jadi rumusnya adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat Muatan} = \text{Displasemen Bersih Akhir} - \text{Displasemen Bersih Awal}$$