

STABILITAS KAPAL (SUATU APLIKASI PRINSIP MEKANIKA)

Dadang Suyadi Suryasumirat

Abstrak

Stabilitas kapal (ship's stability) diperlukan untuk memperoleh keselamatan dan keutuhan kapal dengan muatannya (barang dan penumpang), yaitu dengan mengusahakan agar selalu dicapai stabilitas dan keseimbangan kapal. Stabilitas dan keseimbangan ini dipengaruhi oleh susunan timbunan barang-barang di dalam masing-masing palka sewaktu pemuatan dilakukan. Jika barang-barang ditimbun dan dipadatkan di dalam masing-masing palka kapal, maka distribusi penimbunan dan pemadatannya harus dilakukan sedemikian rupa sehingga, (1) tercapai ke-selamatan dan keutuhan kapal dengan muatannya, (2) dapat dilakukan pemuatan maupun pembongkaran barang-barang dengan secepat mungkin dan sistematis, (3) dicapai pemakaian maksimum atas kapasitas (daya angkut) kapal dan pemakaian maksimum atas ruangan muatan (full and down), (4) terjamin keselamatan para awak kapal dan para penumpang, terutama selama pelayaran, (5) terjamin keselamatan para buruh di pelabuhan sewaktu bongkar-muat barang-barang ber-langsung.

Kata kunci: *Stabilitas, kapal, muatan*

PENDAHULUAN

Maskapai pelayaran senantiasa disebut juga sebagai perusahaan pelayaran niaga yang bergerak dalam lapangan pengangkutan muatan dari satu pelabuhan ke pelabuhan lain. Ia termasuk perusahaan jasa yang menyediakan/ memproduksi dan menjual jasa transportasi sehingga disebut juga sebagai industri transportasi (*transportation industry*).

Dari segi pelayaran niaga (*shipping*), transportasi diartikan sebagai pengangkutan melalui air dengan menggunakan alat pengangkut air (kapal, tongkang, dan lain-lain kecuali kapal perang atau kapal yang digunakan untuk tujuan perang). Ruang lingkup kegiatan pelayaran niaga, meliputi :

1. Pengoperasian dan perawatan kapal (manajemen kapal).
2. Perawatan dan pengawasan muatan kapal.
3. Kegiatan orang-orang dan sarana/peralatan di pelabuhan dalam rangka pemberian pelayanan (*service*) kepada kapal dan muatannya (*terminal*

Dadang Suyadi Suryasumirat

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil

Prodi DIII Transportasi Fak. Teknik Universitas Negeri Jakarta

operations) seperti pemuatan dan pembongkaran kapal, penyediaan dan pengisian bahan bakar, air bersih dan pangan, dan lain-lain keperluan kapal. Berhubungan dengan pokok ke tiga inilah, pengetahuan tentang ilmu gaya yang hakekatnya ada dalam kapal selama perjalanan itu perlu dipahami keberadaannya, terutama oleh nakhoda dan para awak kapal. Hal ini berkaitan dengan tata pengaturan penempatan muatan, baik itu pada saat ditambah maupun dikurangi. Setiap muatan memiliki berat yang secara otomatis akan berpengaruh terhadap stabilitas posisi normal kapal untuk kelayakan melanjutkan pelayarannya. Kesalahan dalam penumpukan muatan akan menimbulkan ketidakseimbangan posisi kapal dalam berlayar. Apabila hal ini ditakutkan senantiasa akan mengancam keselamatan penumpang dalam melakukan perjalanannya. Secara sederhana, jika muatan terlalu berat di bagian tengah kapal saja akan mengakibatkan bagian tengah kapal agak melengkung ke arah bawah (*sagging*). Begitu juga sebaliknya, jika muatan terlalu berat pada bagian haluan dan buritan, maka tekanan muatan ini mengakibatkan bagian tengah kapal agak melengkung ke arah atas (*hogging*). Oleh karena itu, pemahaman tentang distribusi ; vertikal, longitudinal, dan transversal dalam pengaturan timbunan dan pepadatan muatan ini akan berkaitan dengan daya apung serta posisi gaya berat kapal, yang sangat berpengaruh terhadap kondisi stabilitas kapal itu sendiri.

1. Pengaturan Penimbunan Muatan

Stabilitas kapal (*ship's stability*) diperlukan untuk memperoleh keselamatan dan keutuhan kapal dengan muatannya (barang dan penumpang), yaitu dengan mengusahakan agar selalu dicapai stabilitas dan keseimbangan kapal. Stabilitas dan keseimbangan ini dipengaruhi oleh susunan timbunan barang-barang di dalam masing-masing palka sewaktu pemuatan dilakukan. Jika barang-barang ditimbun dan dipadatkan di dalam masing-masing palka kapal, maka distribusi penimbunan dan pepadatannya harus dilakukan sedemikian rupa sehingga, (1) tercapai keselamatan dan keutuhan kapal dengan muatannya, (2) dapat dilakukan pemuatan maupun pembongkaran barang-barang dengan secepat mungkin dan sistematis, (3) dicapai pemakaian maksimum atas kapasitas (daya angkut) kapal dan pemakaian maksimum atas ruangan muatan (*full and down*), (4) terjamin keselamatan para awak kapal dan para penumpang, terutama selama pelayaran, (5) terjamin keselamatan para buruh di pelabuhan sewaktu bongkar-muat barang-barang berlangsung.

Maka pengaturan distribusi penimbunan dan pemadatan barang-barang di dalam palka kapal mempengaruhi stabilitas dan keseimbangan kapal (*trim*) dan sarat (*draft*).

Distribusi penimbunan dan pemadatan barang-barang di dalam kapal ialah pengaturan banyaknya atau beratnya muatan yang ditimbun dan dipadatkan di dalam masing-masing palka, yaitu di atas *main deck (MD)*, di dalam *upper tween deck (UTD)*, *lower tween deck (LTD)* dan di dalam *lower holds (LH)* sedemikian rupa sehingga keselamatan dan keutuhan kapal dengan barang-barang muatannya terjamin terutama selama dalam pelayaran. Demikian juga dapat dicapai keadaan penuh dan sarat (*full and down*), serta pelaksanaan pemuatan dan pembongkaran secepat mungkin dan sistematis.

Dalam pengaturan penimbunan dan pemadatan barang-barang harus dipertimbangkan daya muat ruangan masing-masing kompartemen, demikian juga kekuatan atau daya tahan geladak (*deck load capacity*) masing-masing kompartemen. Adapun distribusi penimbunan tersebut menyangkut distribusi secara vertikal, secara longitudinal, dan secara transversal, di mana masing-masing cara distribusi mempengaruhi stabilitas dan keseimbangan kapal.

2. Distribusi Vertikal, Longitudinal dan Transversal

Distribusi vertikal adalah pengaturan timbunan muatan secara vertikal (dari bawah ke atas). Cara distribusi ini mempengaruhi stabilitas kapal, yaitu jika lebih (terlalu) berat muatan di bagian atas, maka kapal akan memiliki sedikit stabilitas (*small amount of stability*) sehingga kapal mudah oleng (miring ke kiri dan ke kanan), tapi olengnya agak lambat, sebaliknya, jika lebih (terlalu) berat muatan di bagian bawah, maka kapal akan memiliki stabilitas yang besar (*excess of stability*) sehingga kapal oleng agak cepat.

Stabilitas kapal adalah, sifat atau kecenderungan untuk kembali ke dalam posisi seimbang apabila kapal oleng yang disebabkan oleh gaya dari luar.

Distribusi longitudinal adalah pengaturan timbunan muatan secara longitudinal (dari muka ke belakang). Cara distribusi ini mempengaruhi *trim* kapal, yaitu jika muatan lebih (terlalu) berat pada bagian muka (haluan), maka kapal akan me-nungging, yaitu bagian belakang kapal (buritan) naik ke atas; sebaliknya, jika muatan lebih (terlalu) berat pada bagian belakang (buritan), maka kapal akan men-dongak, yaitu bagian haluan naik ke atas. Jika muatan terlalu (lebih) berat di

tengah-tengah, maka tekanan muatan ini mengakibatkan bagian tengah kapal agak me-lengkung ke arah bawah (*sagging*); sebaliknya, jika muatan terlalu (lebih) berat pada bagian haluan dan bagian buritan, maka tekanan muatan ini mengakibatkan bagian tengah kapal agak melengkung ke arah atas (*hogging*).

Trim kapal adalah perbedaan sarat (draft) kapal antara bagian haluan dengan bagian buritan. Sarat (draft) kapal adalah dalamnya bagian tubuh kapal yang terbenam di dalam air, dihitung (diukur tegak-lurus) mulai dari lunas kapal (bagian terbawah kapal = keel) sampai ke garis permukaan air (waterline).

Distribusi transversal adalah pengaturan timbunan muatan secara transversal (dari samping ke samping kapal). Cara ini mempengaruhi posisi letaknya titik daya-apung kapal (buoyancy). Jika berat muatan berada (dipusatkan) sepanjang garis-tengah kapal (centreline), maka jika kapal oleng, olengan tersebut agak cepat dengan periode olengan yang semakin berkurang (sampai akhirnya olengan berhenti); sebaliknya, jika berat muatan berada (dipusatkan) sepanjang dinding (hull) kapal pada pinggir kanan dan kiri, maka jika kapal oleng, olengan tersebut agak lambat dengan periode olengan yang semakin besar (sampai akhirnya olengan berhenti). Hal yang terbaik ialah agar berat muatan merata dan sama beratnya pada bagian tengah dan pada masing-masing bagian kanan dan kiri garis tengah kapal (centreline).

Daya apung (buoyancy) kapal adalah kekuatan tekanan bagian-bagian air (water portions) yang menekan tubuh kapal ke arah atas sehingga kapal mengapung.

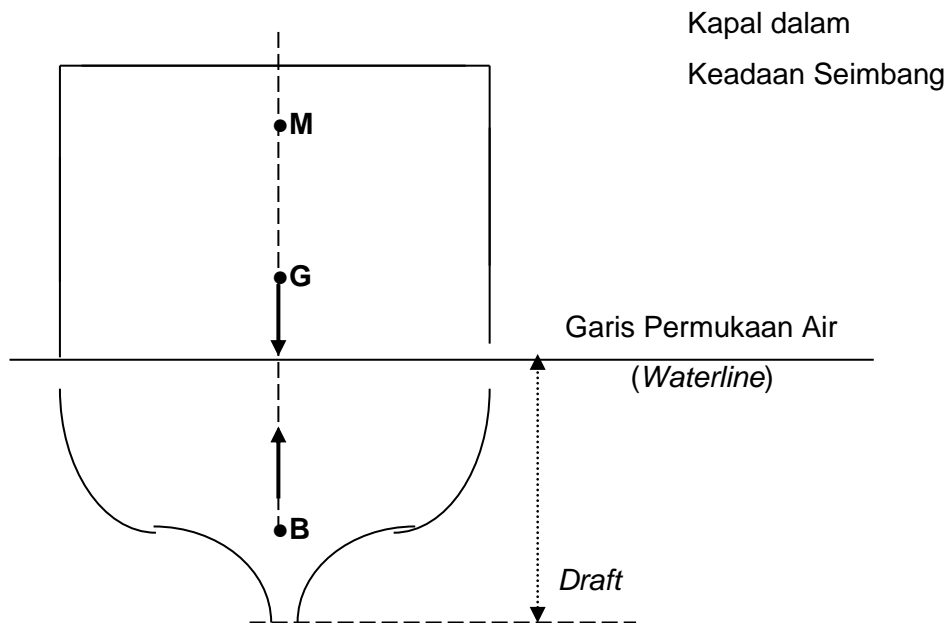
Stabilitas transversal (*transverse stability*) atau stabilitas melintang adalah mengenai olengnya kapal ke kanan dan ke kiri, olengan yang dapat mengakibatkan kapal terbalik (jika olengan itu besar), sehingga stabilitas melintang sangat penting dari segi keamanan dan keselamatan kapal dengan muatannya. Stabilitas longitudinal (*longitudinal stability*) atau stabilitas membujur adalah mengenai stabilitas kapal yang mendongak (bagian haluan naik) dan menungging (bagian buritan naik), sehingga stabilitas membujur menyangkut persoalan srat (*draft*) dan keseimbangan kapal (*trim*). Sarat kapal memegang peranan penting apakah suatu kapal dapat melalui suatu ambang atau alur pelayaran (*seaway*).

Stabilitas kapal dibedakan antara stabilitas awal (*initial stability*), disebut juga stabilitas metasentrik, dengan stabilitas besar. Batas antara stabilitas awal dengan stabilitas besar adalah *senget* (oleng) kapal kira-kira 10° dari posisi seimbang

(vertikal). Dengan demikian, stabilitas awal adalah sifat atau kecenderungan kapal untuk kembali ke dalam posisi seimbang apabila kapal oleng kurang dari 10° .

3. Gravitasi, Daya Apung dan Metasenter

Stabilitas kapal dipengaruhi oleh gravitasi kapal (posisi titik berat kapal), daya apung (*buoyancy*) dan metasenter (*metacentric*), yang dapat dilukis sebagai berikut.



M = metasenter (terletak vertikal di atas **B**).

G = titik berat (*centre of gravity*), yaitu pusat dari segala gaya berat yang bekerja vertikal arah ke bawah (pusat dari gaya berat kapal dengan muatannya).

B = titik daya apung (*centre of buoyancy*), yaitu pusat dari semua bagian-bagian air (*water portions*) yang menekan tubuh kapal yang berada di dalam air (*underwater portion of the hull*).

K = *Keel* (lunas kapal).

Apabila suatu benda mengapung di air, maka bagian benda yang terbenam di dalam air mendapat tekanan dari segala penjuru, masing-masing tekanan tegak lurus terhadap benda yang terbenam di dalam air. Jika bentuk benda tersebut melengkung, maka tekanan bagian-bagian air (*water portions*) tegak lurus pada masing-masing garis-singgung titik tekanan air pada benda yang terbenam di dalam

air. Tekanan air menimbulkan daya apung benda. Titik pusat dari semua tekanan bagian-bagian air merupakan titik pusat daya apung (*centre of buoyancy*) benda tersebut.

Besar daya apung atau jumlah semua tekanan bagian-bagian air sama dengan berat air yang dipindahkan atau didesak oleh bagian benda yang terbenam di dalam air disebut *displacement*. Ketentuan ini terkenal dengan hukum *Archimedes* yang berbunyi sebagai berikut:

“Benda yang terbenam seluruhnya atau sebagian di dalam air mendapat tekanan ke atas oleh bagian-bagian air dengan jumlah kekuatan yang sama dengan berat air yang dipindahkan atau didesak oleh benda yang terbenam di dalam air”.

Jika banyaknya air yang dipindahkan atau didesak oleh benda tersebut 1000 kg, maka besar semua tekanan air di atas benda tersebut adalah 1000 kg.

Titik pusat dari semua tekanan air (*centre of buoyancy*) diberi tanda **B** dengan arah tekanan ke atas (vertikal). Sedangkan titik berat (*centre of gravity*) diberi tanda **G** dengan arah tekanan ke bawah (vertikal), **B** dan **G** merupakan gaya-gaya yang bekerja.

Jika benda mengapung, maka kekuatan gaya **B** yang menekan ke atas sama dengan kekuatan gaya **G** yang menekan ke bawah, supaya benda mengapung, gaya **G** tidak boleh lebih besar dari gaya **B**. Jika sekiranya gaya **G** lebih besar dari gaya **B**, maka benda tersebut tenggelam ke dalam air.

Titik **B** selalu berada pada pusat dari semua bagian-bagian air yang menekan tubuh kapal yang berada di dalam air (*underwater portion of the hull*). Faktor yang mengakibatkan perubahan posisi **B** ialah perubahan posisi tubuh kapal yang berada di dalam air, misalnya jika kapal oleng. Jadi posisi **B** akan berubah-ubah jika kapal berlayar, perubahan mana akan besar jika kapal berlayar melalui lautan yang ber-gelombang besar.

Titik **G** selalu berada pada pusat dari seluruh berat kapal dengan muatannya. Berat tersebut meliputi berat semua bagian kapal yang berada di

bawah dan yang di atas permukaan air serta semua benda yang berada di bagian atas dan di dalam kapal. Perubahan berat (penambahan berat, pengurangan berat, pergeseran letak berat) akan mengakibatkan perubahan posisi **G**.

Titik **M** selalu berada vertikal di atas **B** dan selalu terletak pada bidang penampang longitudinal yang tegak lurus pada lunas kapal.

4. Beberapa Dalil Mengenai Gaya dan Momen

Untuk menentukan posisi letaknya titik berat digunakan hukum-hukum (dalil-dalil) ilmu gaya karena berat merupakan gaya atau membentuk gaya yang bekerja vertikal arah ke bawah (arah ke pusat bumi), di mana gaya berat ini timbul karena daya tarik pusat bumi (gravitas).

Gaya-gaya Berada pada Suatu Bidang Datar

Dalil I

Jika beberapa gaya berada pada suatu bidang datar (M), di mana satu sama lain bekerja *sejajar* dan *searah*, maka (1) jumlah gaya-gaya tersebut (disebut *resultan* dan diberi tanda dengan huruf W) sama dengan jumlah semua gaya-gaya tersebut, dan resultan W juga merupakan gaya; (2) arah bekerjanya resultan W sejajar dan searah dengan gaya-gaya tersebut; serta (3) resultan W berada pada bidang datar (M) tempat gaya-gaya tersebut bekerja.

$$\text{Jadi, resultan } W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + \dots + W_n$$

W berada pada bidang M dan arahnya sejajar dan searah dengan gaya-gaya

Dalil II

Jika beberapa gaya berada pada suatu bidang datar (M), di mana satu sama lain bekerja *sejajar*, tetapi dengan *arah yang bertentangan*, maka (1) resultan W sama dengan selisih gaya-gaya tersebut; (2) arah bekerjanya resultan W sejajar dan searah dengan jumlah gaya-gaya searah yang terbesar; serta (3) resultan W berada pada bidang datar (M) tempat gaya-gaya tersebut bekerja.

Dalam hal ini, ditentukan resultan gaya-gaya yang searah, misalkan resultan-nya masing-masing R_1 dan R_2 .

Jika $R_1 > R_2$, maka resultan $W = R_1 - R_2$ dan searah dengan R_1 .

Jika $R_2 > R_1$, maka resultan $W = R_2 - R_1$ dan searah dengan R_2 .

Karena gaya-gaya tersebut bertentangan arahnya, maka gaya-gaya tersebut saling menghapuskan sehingga W adalah selisih dari gaya-gaya yang saling menghapuskan tersebut.

W berada pada bidang M dan arahnya sejajar dan searah dengan gaya-gaya

Dalil III

Jika beberapa gaya berada pada suatu bidang datar (M), di mana gaya-gaya tersebut bekerja dengan arah yang *tidak sejajar*, maka besarnya resultan W serta arah bekerjanya ditentukan dengan mempergunakan ilmu *vector* (tidak dibahas di sini).

Gaya-gaya Berada dalam Suatu Ruang

Dalil IV

Jika beberapa gaya berada dalam suatu ruang, di mana gaya-gaya tersebut bekerja *sejajar* dan *searah*, maka resultan W gaya-gaya tersebut sama dengan jumlah gaya-gaya tersebut.

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + \dots + W_n$$

W berada dalam ruang tersebut dengan arah bekerjanya sejajar dan searah dengan gaya-gaya tersebut.

Dihubungkan dengan gaya-gaya yang bekerja pada suatu bidang datar seperti diuraikan di atas, dalil ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Diambil gaya W_1 dan W_2 dan melalui kedua gaya ini dapat dibentuk suatu bidang datar, pada bidang mana kedua gaya tersebut bekerja. Dengan demikian, resultan (R_1) kedua gaya W_1 dan W_2 sama dengan jumlah kedua gaya tersebut, yaitu $R_1 = W_1 + W_2$.

R_1 berada pada bidang yang dibentuk melalui kedua gaya W_1 dan W_2 , berarti berada dalam ruang tempat gaya-gaya tersebut, dimana R_1 sejajar dan searah dengan W_1 dan W_2 , berarti R_1 sejajar dan searah dengan semua gaya yang berada dalam ruang tersebut.

2. Kemudian diambil resultan R_1 dan gaya W_3 , dan melalui kedua gaya ini dibentuk suatu bidang datar, pada bidang mana kedua gaya tersebut

bekerja. Dengan demikian, resultan (R_2) dari kedua gaya R_1 dan W_3 sama dengan jumlah kedua gaya tersebut, yaitu: $R_2 = R_1 + W_3$.

R_2 berada pada bidang yang dibentuk oleh kedua gaya tersebut, berarti berada dalam ruang tempat gaya-gaya tersebut, di mana R_2 sejajar dan searah R_1 dan W_3 , berarti R_2 sejajar dan searah dengan semua gaya yang berada dalam ruang tersebut.

Oleh karena telah diperoleh $R_1 = W_1 + W_2$, maka

$$R_2 = R_1 + W_3 = W_1 + W_2 + W_3$$

3. Seterusnya diambil resultan R_2 dan gaya W_4 , di mana melalui kedua gaya inipun dapat dibentuk suatu bidang datar, pada bidang mana kedua gaya tersebut bekerja. Dengan demikian, resultan (R_3) dari kedua gaya tersebut sama dengan jumlah kedua gaya tersebut, yaitu :

$$R_3 = R_2 + W_4 \text{ atau } R_3 = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

4. Dengan cara yang demikian dilakukan seterusnya sehingga akhirnya diperoleh :

$$W = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_{n-1}$$

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + \dots + W_n$$

Dalil V

Jika beberapa gaya berada dalam suatu ruang, di mana gaya-gaya tersebut bekerja *sejajar*, tetapi *dengan arah yang bertentangan*, maka resultan W sama dengan selisih gaya-gaya tersebut ; dan resultan W sejajar dan searah dengan jumlah gaya-gaya searah yang terbesar, serta resultan W berada dalam ruang tersebut,

$$W = W_1 + W_2 + W_3 - (W_4 + W_5)$$

Gaya-gaya W_1 , W_2 , dan W_3 sejajar dan searah dengan resultannya (R_1) sama dengan jumlah ketiga gaya tersebut, yaitu :

$$R_1 = W_1 + W_2 + W_3$$

Gaya-gaya W_4 dan W_5 sejajar dan searah (bertentangan arah dengan W_1 , W_2 , dan W_3) sehingga resultannya R_2 sama dengan jumlah kedua gaya tersebut, yaitu :

$R_2 = W_4 + W_5$. Dalam hal ini, (1) $W = R_1 - R_2$ jika $R_1 > R_2$. Arah W sejajar dan searah dengan R_1 . (2) $W = R_2 - R_1$ jika $R_2 > R_1$. Arah W sejajar dan searah dengan R_2 .

Dalil VI

Jika beberapa gaya berada dalam suatu ruang, di mana gaya-gaya tersebut bekerja dengan arah *tidak sejajar*, maka besarnya resultan W serta arah bekerjanya ditentukan dengan mempergunakan ilmu *vector* (tidak dibahas di sini).

Gaya dan Momen Gaya

Gaya-gaya $W_1, W_2, W_3, W_4, \dots, W_n$ yang bekerja pada titik tempatnya masing-masing, dan bekerjanya gaya-gaya dinyatakan terhadap suatu titik acuan tertentu (*reference point*) atau terhadap suatu garis acuan tertentu (*reference line*), atau terhadap suatu bidang acuan tertentu (*reference surface*) akan menimbulkan *momen*.

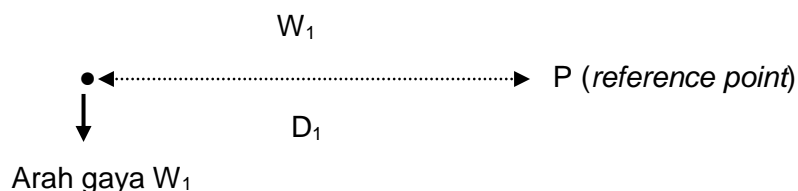
Jarak gaya-gaya tersebut terhadap titik (garis, bidang) yang dipergunakan sebagai *reference* (acuan), disebut *tuas* atau *lengan gaya*. Satuan untuk tuas (lengan) dinyatakan dalam satuan jarak, yaitu dalam satuan cm, m, atau dalam satuan km, ataupun dalam satuan inci, satuan kaki, dan satuan mil. Yang umum dipergunakan ialah satuan meter (m) atau kaki (ft).

Besarnya momen yang ditimbulkan oleh gaya yang bekerja terhadap *reference point (line, surface)* sama dengan besarnya gaya x luas. Letak *reference point (line, surface)* ditentukan sembarangan, tapi perlu ditentukan sedemikian rupa sehingga tidak mempersulit perhitungan, tapi mempermudah dan menyederhanakan perhitungan.

Momen Suatu Gaya

Dalil VII

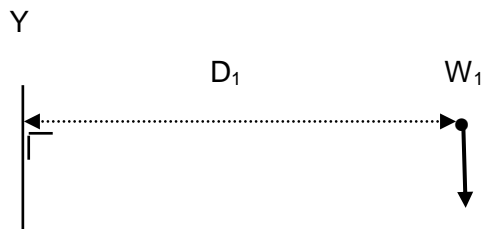
Jika suatu gaya W_1 bekerja terhadap *reference point* P sejauh D_1 dari P, maka momen gaya W_1 terhadap *reference point* P besarnya $W_1 \times D_1$.



Dalil VIII

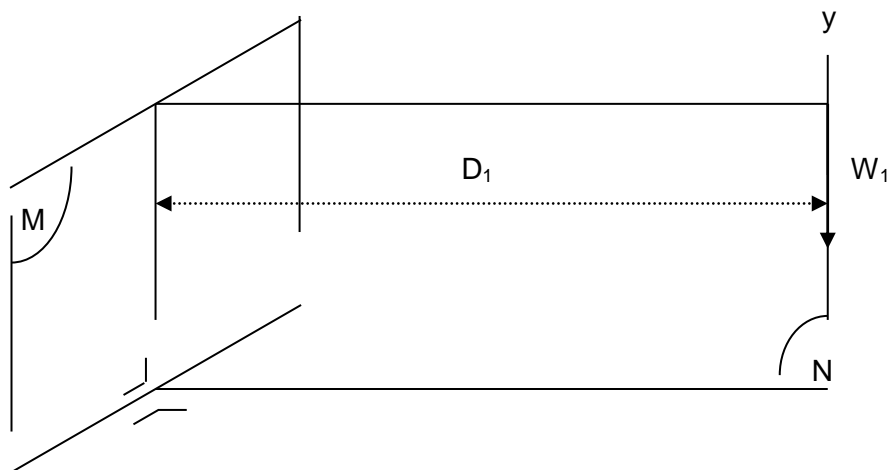
Jika suatu gaya W_1 bekerja terhadap suatu garis Y tertentu (*reference line* Y) sejauh D_1 dari garis Y, maka momen gaya W_1 terhadap *reference line* Y besarnya $W_1 \times D_1$.

Untuk menentukan jarak D_1 terhadap garis Y melalui titik W_1 ditarok garis yang tegak lurus pada garis Y.



Dalil IX

Jika suatu gaya W_1 bekerja terhadap suatu bidang M tertentu (*reference surface M*) sejauh D_1 dari bidang M, maka momen gaya W_1 terhadap bidang *reference surface M* adalah $W_1 \times D_1$. Untuk garis menentukan jarak D_1 terhadap bidang M, melalui titik W_1 ditarik garis yang tegak lurus bidang M dengan cara sebagai berikut.



Tarik garis Y melalui titik W_1 yang sejajar dengan bidang M, kemudian melalui garis Y dibentuk suatu bidang N yang tegak lurus pada bidang M ; seterusnya melalui titik W_1 ditarik garis D_1 yang berada pada bidang N dan tegak lurus pada garis Y. Karena D_1 tegak lurus pada garis Y dan D_1 berada pada bidang N, sedangkan bidang N tegak lurus pada bidang M, maka D_1 tegak lurus pada bidang M (Setiap garis yang berada pada bidang N dan tegak lurus pada garis Y akan tegak lurus pada bidang M).

Momen Beberapa Gaya

Dalil X

Jika beberapa gaya berada pada suatu bidang datar, di mana gaya-gaya tersebut bekerja sejajar dan searah, maka besarnya momen masing-masing gaya terhadap suatu garis Y tertentu (*reference line Y*) sesuai dengan besar masing-masing gaya dikalikan dengan jarak masing-masing gaya terhadap *reference line Y*.

Tidak menjadi soal apakah *reference line Y* ditempatkan pada bidang datar tersebut atau di luarnya (yang terbaik ialah ditempatkan pada bidang datar tersebut).

Dengan demikian,

$$\text{momen gaya } W_1 = W_1 \times D_1$$

$$\text{momen gaya } W_2 = W_2 \times D_2$$

$$\text{momen gaya } W_3 = W_3 \times D_3$$

.....

$$\text{momen gaya } W_n = W_n \times D_n$$

$D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ adalah jaraknya masing-masing gaya terhadap *reference line Y*.

1. Resultan W dari semua gaya dalam satu sistem (lihat uraian di muka mengenai resultan gaya-gaya) sesuai dengan jumlah semua gaya tersebut.

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n$$

2. *Momen resultan W* terhadap *reference line Y* sama dengan jumlah momen semua gaya dalam sistem tersebut, yaitu :

$$\text{momen } W = W_1 \times D_1 + W_2 \times D_2 + W_3 \times D_3 + \dots + W_n \times D_n$$

3. Jika sekiranya jarak resultan W terhadap garis Y sama dengan D (tidak diketahui, akan ditentukan), maka *momen resultan W* terhadap *reference line Y* = $W \times D$.

4. Menurut titik 2 dan titik 3 di atas ini, maka :

$$W \times D = W_1 \times D_1 + W_2 \times D_2 + W_3 \times D_3 + \dots + W_n \times D_n$$

$$W_1 \times D_1 + W_2 \times D_2 + W_3 \times D_3 + \dots + W_n \times D_n$$

$$\text{atau } D = \frac{\quad}{W}$$

W

Dalil XI

Jika beberapa gaya berada dalam suatu ruang, di mana gaya-gaya tersebut bekerja sejajar dan searah, maka momennya masing-masing serta *momen resultan W*

terhadap suatu bidang datar M tertentu (*reference surface M*) adalah sebagai berikut.

$$\text{momen gaya } W_1 = W_1 \times D_1$$

$$\text{momen gaya } W_2 = W_2 \times D_2$$

$$\text{momen gaya } W_3 = W_3 \times D_3$$

$$\text{momen gaya } W_n = W_n \times D_n$$

.....

$$\text{..... +}$$

$$\text{momen resultan } W = W_1 \times D_1 + W_2 \times D_2 + W_3 \times D_3 + \dots + W_n \times D_n$$

Jika sekiranya jarak resultan W ke *reference surface M* = D (tidak diketahui, akan ditentukan), maka : momen resultan $W = W \times D$

Dari kedua persamaan momen resultan W di atas ini dapat ditentukan D sebagai berikut.

$$D = \frac{W_1 \times D_1 + W_2 \times D_2 + W_3 \times D_3 + \dots + W_n \times D_n}{W}$$

Dalil XII

Jika beberapa gaya berada dalam suatu ruang, di mana gaya-gaya tersebut bekerja sejajar, tapi dengan arah yang bertentangan, maka (1) momennya masing-masing terhadap *reference line Y (reference surface M)* adalah :

$$\text{momen gaya } W_1 = W_1 \times D_1$$

$$\text{momen gaya } W_2 = W_2 \times D_2$$

$$\text{momen gaya } W_3 = W_3 \times D_3$$

.....

$$\text{momen gaya } W_n = W_n \times D_n$$

(2) resultan W gaya-gaya tersebut sama dengan selisih antara jumlah gaya-gaya yang searah dengan jumlah gaya-gaya yang searah lainnya, dan resultan W searah dengan gaya-gaya searah yang terbesar jumlahnya ; (3) momen resultan W terhadap *reference line Y (reference surface M)* sama dengan selisih momen gaya-gaya tersebut.

W_1 dan W_2 serta W_3 sejajar dan searah bekerjanya, W_4 dan W_5 sejajar dan searah bekerjanya, juga sejajar dengan $W_1, W_2,$ dan W_3 , tapi bertentangan arah kerjanya.

Memilih Reference Line/Surface

Dalam uraian di atas, kepada gaya-gaya diberi tanda yang sama, yaitu tanda positif. Hal yang demikian dilakukan jika *reference line/surface* ditentukan tempatnya sedemikian rupa sehingga semua gaya berada sebelah *reference line/surface* tersebut (di sebelah kanan atau di sebelah kiri). Dapat juga *reference line/surface* ditempatkan sebagai berikut.

1. Di tengah-tengah sebuah gaya sehingga beberapa gaya berada di sebelah kanan dan gaya-gaya lainnya berada di sebelah kiri *reference line/surface* tersebut. Dalam hal ini, jika kepada gaya-gaya yang berada di sebelah kanan *reference line/surface* diberi tanda positif, maka kepada gaya-gaya yang di sebelah kirinya harus diberi tanda negatif, demikian sebaliknya. Dengan demikian, ada gaya-gaya yang diberi tanda positif, ada juga yang diberi tanda negatif. Demikian juga dengan momen masing-masing gaya. Sudah tentu dengan adanya tanda positif dan tanda negatif tersebut akan memper-sulit perhitungan untuk menentukan resultan W dan momen resultan W . Oleh karena itu, cara penempatan *reference line/surface* yang demikian lebih baik tidak dilakukan.
2. Melalui salah satu gaya. Dalam hal ini, momen gaya yang bersangkutan sama dengan nol, karena jaraknya ke *reference line/surface* tidak ada, atau nol. Kemungkinan juga ada di antara gaya-gaya tersebut yang berada di sebelah kanan dan ada di sebelah kiri *reference line/surface* tersebut, sehingga di antara gaya-gaya tersebut ada yang diberi tanda positif dan ada yang diberi tanda negatif. Juga cara penempatan *reference line/surface* yang demikian tidak baik dilakukan karena akan mempersulit perhitungan.
3. Ditempatkan di luar susunan (sistem) gaya-gaya. Misalnya, gaya-gaya yang berada pada bidang datar, *reference line/surface*-nya ditempatkan di luar bidang datar tersebut. Demikian juga untuk gaya-gaya yang berada dalam suatu ruang, *reference line/surface*-nya ditempatkan di luar ruang tersebut. Kesulitan dalam cara penempatan *reference line/surface* yang demikian akan dijumpai kalau gaya-gaya berpindah atau dipindahkan sehingga jaraknya masing-masing ke *reference line/surface* tersebut berubah, berarti momen masing-masing gaya dan momen resultan W juga berubah.

Cara yang terbaik untuk menentukan *reference line/surface* ialah dengan cara sebagai berikut.

1. Kepada semua gaya dalam susunan (sistem) tersebut dapat diberi tanda positif, berarti semua gaya berada di sebelah kanan atau di sebelah kiri *reference line/surface* tersebut.
2. *Reference line/surface* berada (ditempatkan) dalam lingkungan susunan (sistem) gaya-gaya tersebut. Misalnya, untuk gaya-gaya yang berada di dalam suatu kapal (gaya berat barang-barang yang diangkut), *reference line/surface*-nya harus berada di dalam kapal tersebut, sehingga jika kapal berlayar, jarak masing-masing gaya ke *reference line/surface* tidak berubah, berarti tidak berubah momennya masing-masing gaya serta momen resultan W . Dapat dibayangkan bagaimana akibatnya jika *reference line/surface* ditempatkan di luar kapal, misalnya ditetapkannya Pelabuhan Tanjung Priok, kemudian kapal berlayar meninggalkan pelabuhan itu menuju Pelabuhan London, dan seterusnya ke Pelabuhan New York.

Menentukan Posisi Resultan W

Untuk menentukan posisi resultan W terhadap *reference line*, diperlukan dua *reference line*, misalnya garis Y dan X yang tegak lurus satu sama lain.

1. Ditentukan jarak masing-masing gaya terhadap garis Y , misalnya $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$. Jika sekiranya D adalah jarak resultan W ke garis Y , maka sesuai dengan yang diuraikan di muka :

$$D = \frac{W_1 \times D_1 + W_2 \times D_2 + W_3 \times D_3 + \dots + W_n \times D_n}{W}$$

2. Ditentukan jarak masing-masing gaya terhadap garis X , misalnya $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$.

Jika sekiranya L adalah jarak resultan W ke garis X , maka :

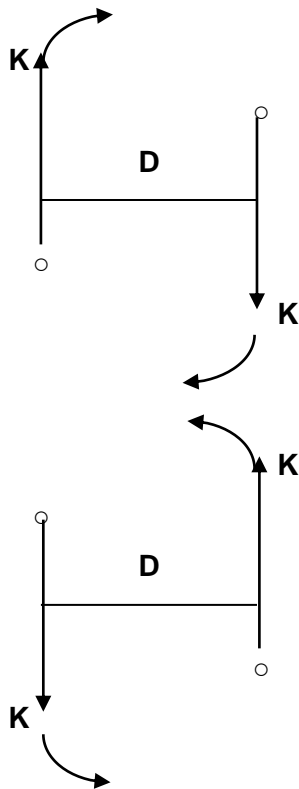
$$L = \frac{W_1 \times L_1 + W_2 \times L_2 + W_3 \times L_3 + \dots + W_n \times L_n}{W}$$

Posisi resultan W atau tempat letaknya resultan W adalah pada titik perpotongan antara garis D dengan garis L .

Momen Koppel

Momen koppel adalah momen dari dua gaya yang bergabung/terikat (*gekoppeld*), di mana (1) kedua gaya tersebut sejajar, tapi bertentangan arahnya dan (2) kedua gaya tersebut terletak pada suatu bidang datar.

Jika kedua gaya tersebut sama besarnya, maka kedua gaya yang terikat akan menimbulkan gerakan melingkar.



$$\text{Momen koppel} = K \times D$$

Momen koppel $K \times D$ ini menimbulkan putaran yang searah dengan putaran jarum jam, disebut *positif*.

$$\text{Momen koppel} = K \times D$$

Momen koppel $K \times D$ ini menimbulkan putaran yang bertentangan dengan putaran jarum jam, disebut *negatif*.

KESIMPULAN

Apabila barang-barang ditimbun dan dipadatkan di dalam masing-masing palka kapal, maka distribusi penimbunan dan pematatannya harus dilakukan sedemikian rupa, sehingga ; (1) tercapai keselamatan dan keutuhan kapal dengan muatannya, (2) dapat dilakukan pemuatan dan pembongkaran barang-barang se-

cepat mungkin dan sistematis, (3) dicapai pemakaian maksimum atas kapasitas (daya angkut) kapal dan pemakaian maksimum atas ruangan muatan (*full and down*), (4) terjamin keselamatan para awak kapal dan para penumpang, terutama selama pelayaran, (5) terjamin keselamatan para buruh di pelabuhan sewaktu kegiatan bongkar-muat barang-barang berlangsung.

Ketidakteraturan posisi gaya berat masing-masing muatan akan menyebabkan kapal memiliki stabilitas yang labil, yang dengan sendirinya akan menyebabkan terjadinya *kopel-momen* dari gaya-gaya yang bekerja pada penampang kapal dengan seluruh muatannya. Dalam hal mana, hal ini akan menyebabkan terjadinya suatu kecelakaan yang fatal. Dengan demikian, untuk menjaga dan menjamin keselamatan kapal dan muatannya itulah, perlu dilakukan segala usaha agar kapal selalu berada dalam posisi yang stabil. Usaha pertama dalam menjaga dan menjamin kestabilan kapal adalah nakhoda bertanggung-jawab dalam mengatur susunan barang-barang di dalam kapal, yang harus diusahakan sejak pemuatan, penimbunan, dan pemadatan barang-barang secara seimbang di dalam masing-masing palka kapalnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Istopo, Captain, *Stabilitas Kapal Niaga*, Akademi Ilmu Pelayaran Republik Indonesia, Jakarta, *t.t.*
- Purba, Radiks, *Angkutan Muatan Laut*, Jilid 1, Penerbit Rineka Cipta, Jakarta, 1997.
- Soemono, *Ilmu Gaya*, Penerbit Djambatan. Jakarta, 1980.