

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Transportasi sungai adalah transportasi yang sangat tua umurnya di Indonesia, bahkan dapat dikategorikan sebagai transportasi tradisional. Fungsi sungai sebagai prasarana transportasi di wilayah adalah memberikan kontribusi serta akses sampai ke pedalaman yang belum dijangkau oleh moda transportasi lain. Angkutan sungai diperlukan untuk menjangkau daerah-daerah terpencil yang belum tersentuh oleh moda angkutan lainnya. Selain itu angkutan sungai dapat dimanfaatkan untuk mengangkut barang dalam jumlah besar dibanding moda angkutan darat lainnya dan angkutan sungai juga memungkinkan kegiatan pariwisata dan interaksi sosial budaya antara daerah dan wilayah terpencil.

2.1. Kapal Barang dan Penumpang

Jenis kapal sungai yang disebut kapal barang dan penumpang merupakan salah satu jenis angkutan sungai yang khusus untuk mengangkut barang dari kota ke dusun-dusun di daerah pedalaman di Sumatera Selatan, Sulawesi Utara, dan Kalimantan Barat atau sebaliknya.

Angkutan barang jenis kapal motor yang disebut kapal barang dan penumpang merupakan salah satu jenis angkutan sungai yang khusus untuk mengangkut barang dari ke dusun/ daerah pedalaman. Kapal barang dan penumpang digunakan secara khusus mengangkut produk hasil bumi yang tahan lama, seperti karet, kelapa, dan hewan peliharaan (kambing, ayam) dan sebaliknya dari kota seperti Palangkaraya mengangkut sembilan barang pokok, bahan bangunan (semen), bahan bakar solar dalam drum dan barang barang perlengkapan keluarga lainnya untuk keperluan sehari-hari.

Dalam menentukan ukuran utama kapal ini dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- Area pelayaran atau kedalaman perairan
- Jenis dan ukuran dermaga
- Kebutuhan kapasitas muatan
- Pengaruh/dampak dari pengoperasian kapal terhadap lingkungan/area pelayaran dalam penentuan kecepatan kapal

Pada daerah Sumatera Selatan sebagian besar armada perairan pedalaman tergantikan dengan adanya alternatif darat. Kebanyakan penyeberangan antar sisi sungai secara konvensional banyak dijumpai. Kondisi alur sungai juga tidak mendukung untuk dikembangkan lagi armada perairan pedalaman. Rintangan berupa pendangkalan karena aktifitas tambang dan pemukiman terdapat di beberapa titik alur. Sedangkan di Kalimantan Barat pertumbuhan armada perairan dalam juga mengalami penurunan.



2.1.

Gambar
Kapal
sebagai
angkutan

sungai di Kalimantan Tengah

2.1.1. Material Kapal

Kapal barang dan penumpang umumnya terbuat dari konstruksi kayu Ulin (lunas, gading dan kulit lambung), sedangkan bangunan atas pada umumnya dari kayu Meranti. Kayu jenis ini dipilih karena tahan terhadap rayap, tidak mudah patah dan tahan air serta daya apung tinggi serta bertahan sampai 30 tahun. Dalam penelitian untuk tugas akhir ini material yang digunakan untuk kapal barang dan penumpang ini yaitu material baja. Baja merupakan material yang memiliki kekuatan lebih besar bila dibandingkan dengan material lainnya seperti fiber. Untuk desain

kapal truk air menggunakan mesin *inboard*, maka pertimbangan material bajalah yang memungkinkan untuk digunakan. Namun, untuk material baja akan berpengaruh ke berat kapal dikarenakan nilai berat jenis yang tinggi.

Tabel 2.1. Data Teknis Material Untuk Kontruksi Kapal

Material	Berat Spesifik		Kekuatan Tekan	Modulus Elastisitas
	Lb/ft ³	Kg/m ³	KN/m ²	KN/m ²
FRP (SCM)	94	1500	1000	60
Kayu Balok	42	700	400	80
Kayu Laminasi	40	650	120	110
Alluminium	170	2700	850	80
Baja	485	7800	1900	110

Tabel diatas menunjukkan data teknis dari material pembuatan kapal. Secara umum material baja memiliki kekuatan paling tinggi. Namun dari sisi berat akan memiliki berat relatif lebih besar.

2.1.2. Permesinan

Berdasarkan kondisi eksisting, menggunakan jenis mesin kendaraan darat atau mesin yang dimodifikasi sistem pendinginan dan kouplingnya. Dilihat dari harga tentu lebih murah dibandingkan dengan mesin jenis marine. Dari sisi regulasi sebenarnya jenis mesin eksisting kurang tepat karena tidak menggunakan mesin standar marine. Penggunaan mesin standar marine tipe *inboard* dapat dijadikan alternatif untuk menghasilkan daya dorong yang lebih besar termasuk benaman propeller yang lebih dalam serta kemampuan olah gerak kapal dengan material baja dan tentu saja membutuhkan biaya investasi awal yang relatif besar jika dibandingkan dengan potensi pendapatan kapal, dan tipe ini memerlukan alokasi ruang mesin secara khusus dibawah geladak kapal.

2.1.3. Sistem Navigasi, Penerangan dan Radio Komunikasi

Sistem navigasi, penerangan dan radio komunikasi pada semua armada eksisting masih belum memenuhi standar minimal, sehingga perlu dilengkapi untuk meningkatkan keselamatan pelayaran. Penambahan sistem penerangan pada kapal

nantinya juga bisa difungsikan untuk meningkatkan kemampuan kapal beroperasi pada malam hari jika diperlukan terutama pada masa puncak angkutan.

2.2. Analisis Regresi

Regresi pertama-tama dipergunakan sebagai konsep statistik pada tahun 1877 oleh Sir Francis Galton yang melakukan studi tentang kecenderungan tinggi badan anak. Istilah regresi pada mulanya bertujuan untuk membuat perkiraan nilai satu variabel terhadap satu variabel yang lain. Selanjutnya berkembang menjadi alat untuk membuat perkiraan nilai suatu variabel dengan menggunakan beberapa variabel lain yang berhubungan dengan variabel tersebut. Sehingga dalam ilmu statistika, teknik yang umum digunakan untuk menganalisis hubungan antara dua atau lebih variabel adalah analisis regresi.

Analisis Regresi (*regression analysis*) merupakan suatu teknik untuk membangun persamaan garis lurus dan menggunakan persamaan tersebut untuk membuat perkiraan (*prediction*). Model matematis dalam menjelaskan hubungan antar variabel dalam analisis regresi menggunakan persamaan regresi, yaitu suatu persamaan matematis yang mendefinisikan hubungan antara dua variabel.

2.2.1. Regresi Linier Sederhana

Regresi linier sederhana adalah regresi yang melibatkan hubungan antara satu variabel tak bebas (Y) dihubungkan dengan satu variabel bebas (X). Bentuk umum persamaan regresi linier sederhana adalah:

$$y = a + bx$$

Dimana:

y = variabel tak bebas

a = intersep (titik potong kurva terhadap sumbu y)

b = kemiringan (slope) kurva linear

x = variabel bebas

2.2.2. Regresi Linier Berganda

Regresi linier berganda adalah regresi yang melibatkan hubungan antara satu variabel tak bebas (Y) dihubungkan dengan dua atau lebih variabel bebas. Bentuk umum persamaan regresi linier berganda adalah:

$$Y_i = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \dots + a_nX_n + \varepsilon_i$$

dengan $i = 1, 2, \dots, n$

Dimana:

Y_i = variable tak bebas ke- i

X_i = variable bebas ke- i

ε_i = kesalahan (*error*) pada pengamatan ke- i

Secara manual, persamaan regresi berganda dengan tiga variabel bebas masih memungkinkan untuk dibangun seperti berikut ini:

$$\sum Y_i = n a_0 + a_1 \sum X_1 + a_2 \sum X_2 + a_3 \sum X_3 + \dots + a_n \sum X_n$$

$$\sum X_{1i} Y_i = a_0 \sum X_1 + a_1 \sum X_i^2 + a_2 \sum X_1 X_2 + a_3 \sum X_1 X_3$$

$$\sum X_{2i} Y_i = a_0 \sum X_2 + a_1 \sum X_1 X_2 + a_2 \sum X_2^2 + a_3 \sum X_2 X_3$$

$$\sum X_{3i} Y_i = a_0 \sum X_3 + a_1 \sum X_1 X_3 + a_2 \sum X_2 X_3 + a_3 \sum X_3^2$$

Dengan:

X_1, X_2, X_3 : variable bebas

A_0, a_1, a_2, a_3 : koefisien regresi

2.3. Hambatan Kapal

Kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, akan mengalami gaya hambat (hambatan atau *resistance*) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya hambatan kapal sangat dipengaruhi oleh kecepatan gerak kapal (V_s), berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang tercelup dalam air (*displacement*), dan bentuk badan kapal (*hull form*).

Untuk menghitung hambatan kapal pada penelitian ini dengan menggunakan metode *Holtrop*. Didalam metode ini hambatan total menjadi tiga komponen hambatan, yaitu:

- *Viscous resistance* (hambatan kekentalan);
- *Appendages resistance* (hambatan karena bentuk kapal);
- *Wave making resistance* (hambatan gelombang).

Hambatan total menurut Lewis (1988) diberikan pada persamaan berikut ini:

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_s^2 \cdot S_{tot} \cdot (CF(1 + k) + CA) + \frac{R_W}{W} \cdot W \quad [N]$$

dimana:

ρ = berat jenis air [t/m^3]

V_s = kecepatan [m/s]

S_{tot} = luas permukaan basah badan kapal

$$= S + S_{app} \quad [m]$$

S = wetted surface area (WSA) dari hidrostatik

S_{app} = luasan dari daerah tonjolan (kemudi, boss dan propeller) [m]

CF = koefisien gesek (ITTC 1957)

$1+k$ = koefisien faktor bentuk

CA = *ship correlation allowance*

$$= 0,006(LWL + 100 - 0,16 - 0,00205 + 0.003.$$

$$(Lwl/7.5)^{0.5} CB4. C2. (0.04 - T/Lwl)$$

$$[untuk T/Lwl < 0,04]$$

R_W/W = koefisien tahanan gelombang

W = gaya keatas pada kapal atau bouyancy [N]

2.3.1. *Viscous resistance* (hambatan kekentalan)

Rumus *Viscous resistance* menurut Lewis (1988) diberikan pada persamaan berikut ini:

$$RV = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Vs^2 \cdot CF \cdot (1 + k1) \cdot S \quad [N]$$

dimana:

RV = *viscous resistance*

CF = koefisien gesek (ITTC 1957)

$$= 0.075 / (\log Rn - 2)^2$$

Rn = angka Reynold

$$= Vs \cdot Lwl / \nu$$

ν = *kinematic viscosity*

$$= 1.14 \times 10^{-6} \text{ [m/s}^2\text{]} \text{ (pada temperatur } 15^\circ \text{) untuk air tawar}$$

$$S = L \cdot (2T + B) \cdot Cm^{0.5} \cdot (0.4530 + 0.4425Cb - 0.2562Cm - 0.003467B/T + 0.3696Cwp) + 2.38A_{BT}/Cb \text{ [m]}$$

A_{BT} = Cross sectional area of bulb in FP [m]

Berdasarkan formula dari Watson (1998):

$1+k1$ = form factor of bare hull

$$= 0.93 + 0.4871c(B/L)^{1.0681} \cdot (T/L)^{0.4611} \cdot (L/LR)^{0.1216} \cdot (L^3/V)^{0.3649} (1 - Cp)^{0.6042}$$

$$\begin{aligned}
c &= 1 + 0.011c_{stern} \\
c_{stern} &= 0, \text{ normal shape of after body} \\
L/LR &= 1 - Cp + 0.06.Cp.Lcb/(4Cp - 1) \\
L &= Lwl \quad [m] \\
T &= \text{sarat kapal} [m] \\
B &= \text{lebar kapal} [m]
\end{aligned}$$

2.3.2. Appendages resistance (hambatan karena bentuk kapal)

Dalam menghitung hambatan kapal yang diakibatkan oleh bentuk badan kapal yang tercelup dalam air dibutuhkan luas permukaan basah (S_{tot}) yang terdiri dari luas badan kapal WSA dan luas tonjolan-tonjolan seperti: kemudi dan bilge keel (S_{app}). Untuk menghitung *appendages resistance* digunakan rumus dari Lewis (1988) pada persamaan berikut ini:

$$RV = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_{Fo} \cdot S_{tot} (1 + k) \quad [N]$$

dimana:

$$1 + k = 1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1) \cdot S_{app}/S_{tot}]$$

S_{tot} = luas permukaan basah

$$\begin{aligned}
&= L(2T + B)Cm^{0.5} \cdot (0.4530 + 0.4425Cb - 0.2862Cm \\
&\quad - 0.0346B/T + 0.3696Cw) [m^2]
\end{aligned}$$

2.3.3. Wave making resistance (hambatan gelombang)

Untuk menghitung hambatan gelombang dibutuhkan masukan data seperti berat displasmen, sudut masuk, luasan *bulbuos bow* dan *transom*. Adapun untuk menghitung *wave making resistance* digunakan rumus dari Lewis (1988) pada persamaan berikut ini:

$$Rw/W = C1 \cdot C2 \cdot C3 \cdot e^{\{m1Fn^d + m2 \cos(\lambda Fn^{-2})\}}$$

dimana:

$$C1 = 2223105C4^{3.7861} \cdot (T/B)^{1.0796} (90 - i_E)^{-1.3757}$$

Keterangan:

$$C4 = B/L \quad [\text{untuk } 0.11 \leq B/L \leq 0.25]$$

i_E = half angle of entrance at the load waterline

$$= 125.67B/L - 162.25Cp^2 + 234.32Cp^3 +$$

$$0.1551(Lcb + \frac{6.8(Ta - Tf)}{T})^3$$

Ta = moulded draft at AP [m]

Tf = moulded draft at FP [m]

$$m1 = 0.01404L/T - 1.7525\nabla^{\frac{1}{3}}/L - 4.7932B/L - C5$$

$$C5 = 8.0798Cp - 13.8673Cp^2 - 6.9844Cp^3$$

$$m2 = C6 * 0.4e^{0.034Fn^{-329}} \quad C6 = -1.69385$$

[untuk $L3/\nabla \leq 512$]

$$\lambda = 1.446 Cp - 0.03 L/B$$

[untuk $L/B \leq 12$]

C2 = 1, tidak ada *bulb*

$$C3 = 1 - 0.8A_T/(B.T.Cm) \quad AT =$$

immersed area of the transom at zero speed = 0

W = gaya keatas atau bouyancy

$$= 1.025.g.\nabla [N]$$

∇ = Volume dari kapal [m³]

$$g = 9.8065 \quad [m/s^2]$$

2.3.4. Ship Correlation Allowance (CA)

Untuk menghitung *ship correlation allowance* diberikan rumus dari Lewis (1988) pada persamaan berikut ini:

$$CA = 0.006(Lwl + 100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003 \left(\frac{Lwl}{7.5} \right)^{0.5} *$$

$$Cb^4 * C2(0.04 - Tf) \quad [\text{untuk } Tf/Lwl \leq 0.04]$$

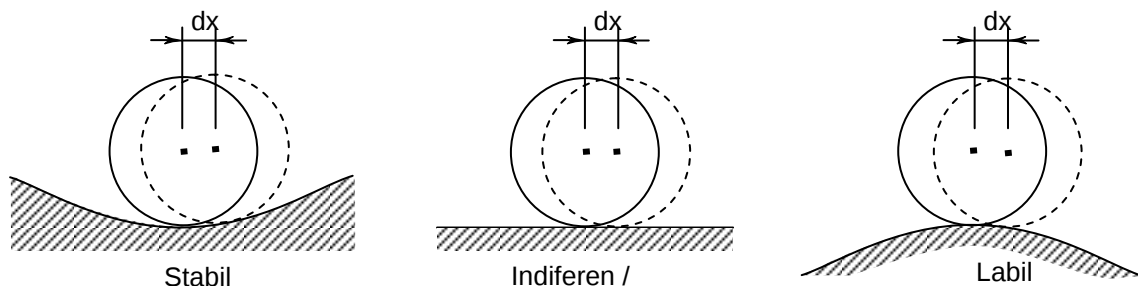
Setelah semua harga komponen hambatan total sudah didapatkan maka hambatan total dapat dihitung dengan penambahan *water margin* sebesar 15%, yaitu penambahan hambatan kapal ketika kapal beroperasi.

2.4. Teori Stabilitas Kapal

Suatu benda dikatakan dalam keadaan seimbang jika jumlah gaya yang bekerja pada benda dan jumlah momen (yang bekerja pada benda) terhadap suatu titik sama dengan nol.

Menurut Made and Joswan (1982), teori mekanika keseimbangan statis dari suatu benda dibedakan menjadi 3 macam seperti pada Gambar 2.2, yaitu:

- a. Keseimbangan disebut **stabil** jika setelah pengaruh luar hilang/tidak ada, benda bergerak kembali ke kedudukan semula.
- b. Keseimbangan disebut **indiferen** atau **netral** jika setelah pengaruh luar hilang/tidak ada, benda tidak kembali ke kedudukan semula, tetapi tetap diam pada kedudukannya yang baru.
- c. Keseimbangan disebut **labil** jika setelah pengaruh luar hilang/tidak ada, benda tidak kembali ke kedudukan semula, tetapi bergerak terus menjauhi kedudukan semula.



Gambar 2.2. Macam keseimbangan

Kapal yang mengapung di air akan selalu mendapat pengaruh dari gelombang dan angin, untuk itu demi menjamin keselamatan kapal tersebut dalam pelayarannya harus mempunyai keseimbangan yang stabil atau stabilitas yang baik.

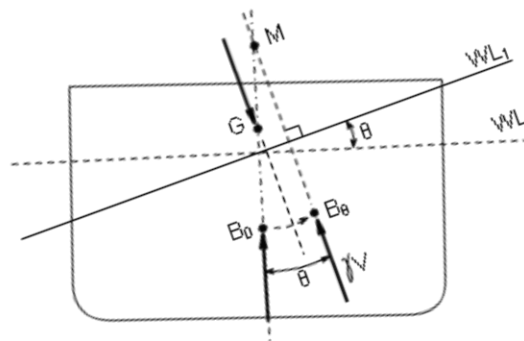
Pada perhitungan stabilitas suatu kapal ada beberapa titik dari kapal yang harus diketahui (Rawson and Tupper, 1994), antara lain:

1. Titik G (*Gravity*) adalah titik berat dari kapal dan dipengaruhi oleh konstruksi kapal.
2. Titik B (*Buoyancy*) adalah titik tekan ke atas dari volume air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tercelup air.
3. Titik M (*Metacenter*) adalah titik perpotongan vektor gaya ke atas (γV) dengan vektor gaya tekan ke atas.

Untuk kapal dalam keadaan setimbang titik G dan B harus dalam satu garis vertikal. Apabila suatu kapal mendapat gaya-gaya dari luar akan menyebabkan

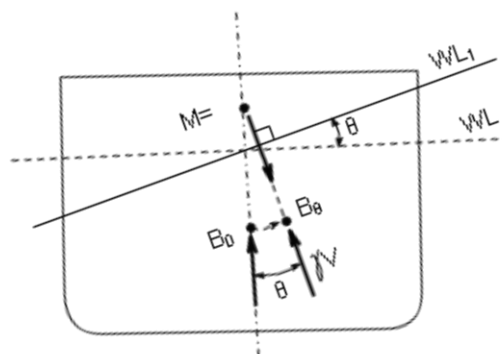
kemiringan baik oleng maupun trim, dengan asumsi titik G tidak mengalami perubahan (muatan kapal tidak digeser/ ditambah/ dikurangi), maka titik B akan berpindah letaknya. Dilihat dari kedudukan titik berat kapal (G) terhadap tinggi *Metacenter* (M) maka akan diperoleh 3 kemungkinan:

1. Titik M berada di atas titik G. Pada kondisi ini MG berharga positif dan kapal dalam keadaan stabil.



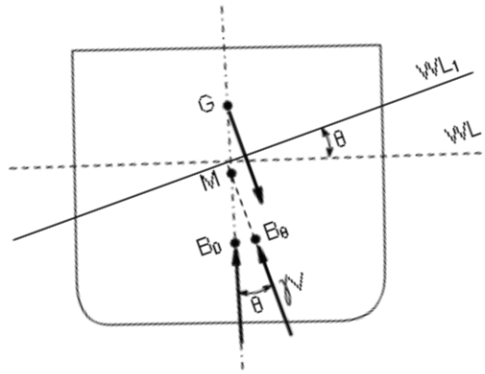
Gambar 2.3. Kapal dalam keadaan stabil

2. Titik M berhimpit dengan titik G. Pada kondisi ini MG sama dengan nol dan kapal dalam keseimbangan *indiferen*.



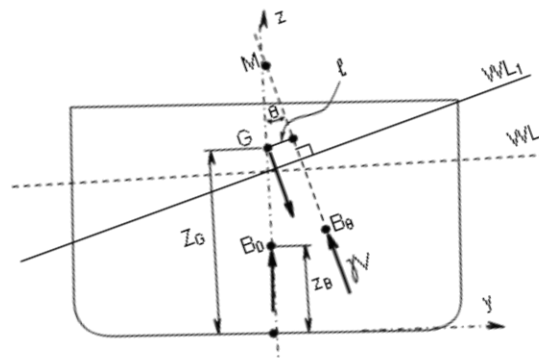
Gambar 2.4. Kapal dalam keadaan *indiferen*

3. Titik M berada dibawah titik G. Pada kondisi ini MG berharga negatif dan kapal dalam keseimbangan labil.



Gambar 2.5. Kapal dalam keadaan labil

Pada saat kapal oleng, titik B berpindah ke titik B_ϕ , vektor P ke bawah dan γV ke atas dan mempunyai jarak lengan sama dengan h .



Gambar 2.6. Gaya yang bekerja pada saat kapal oleng

Jadi titik G dan titik B_ϕ sudah tidak terletak pada satu garis vertikal terhadap garis air yang baru WL_1 maka kapal akan mendapat momen kapal (S) yang besarnya:

$$S = P \times l$$

Dimana:

P = Berat kapal dalam ton

γV = Displacement kapal dalam ton

h = lengan koppel dalam meter

$$= MG \sin \phi$$

MG = Tinggi metacenter dalam meter

$$= MK - KG$$

$$= MB + KB - KG$$

Jadi untuk menghitung stabilitas suatu kapal selain harga P maka perlu diketahui harga KG, KB, dan MB. Perhitungan KG, KB dan MB dirumuskan sebagai berikut:

a. Letak titik berat kapal terhadap keel KG (Center of Gravity)

Titik berat ini sangat dipengaruhi bentuk konstruksi kapal, berat badan kapal dapat dicari dengan rumus pendekatan (Lloyd Register, 1964), yaitu:

$$KG = \frac{\text{jumlah momen tiap komponen berat terhadap keel}}{\text{jumlah berat tiap komponen}}$$

$$KG = \frac{\sum P \cdot h}{\sum P}$$

b. Perhitungan jarak titik tekan gaya ke atas terhadap keel KB (Center of Buoyancy).

Titik tekan gaya ke atas terhadap kapal sangat dipengaruhi oleh bentuk badan kapal dibawah permukaan air. Menurut Made dan Joswan (1982) untuk menghitung besarnya harga KB digunakan metode numerik khususnya metode Simpson.

Berikut dasar-dasar langkah perhitungan harga KB:

1. Membagi bagian badan kapal yang tercelup air menjadi beberapa bagian yang masing-masing jaraknya sama secara vertikal
2. Menghitung luasan garis air setiap garis air yang sudah dibagi sebelumnya
3. Mengintegrasikan setiap luasan yang telah dibagi tadi secara vertikal ke seluruh badan kapal

c. Menghitung jari-jari Metacenter ke Buoyancy (MB)

Metacenter adalah titik-titik tangkap garis kerja gaya apung (buoyancy) pada saat kapal dalam kedudukan tegak dan pada saat kapal dalam keadaan oleng. Untuk menghitung jari-jari metasenter terlebih dahulu menghitung momen inersia melintang dari setiap garis air yang telah dibagi pada perhitungan KB. Selanjutnya besarnya volume badan kapal yang tercelup air harus diketahui. Rumusan untuk mendapatkan jari-jari metasenter melintang kapal (untuk oleng) adalah:

$$BM = \frac{I}{V}$$

$$I = \int_0^L Y^3 dx$$

Sedangkan untuk mendapatkan jari-jari metasenter kapal (untuk trim) adalah:

$$M_L B = \frac{I_L}{V}$$

Dimana :

I = Momen inersia dalam garis air terhadap sumbu memanjang kapal yang melalui titik berat garis airnya (m^4)

I_L = Momen inersia dalam garis air terhadap sumbu melintang kapal yang melalui titik berat garis airnya (m^4)

V = Volume air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tercelup ke dalam air (ton)

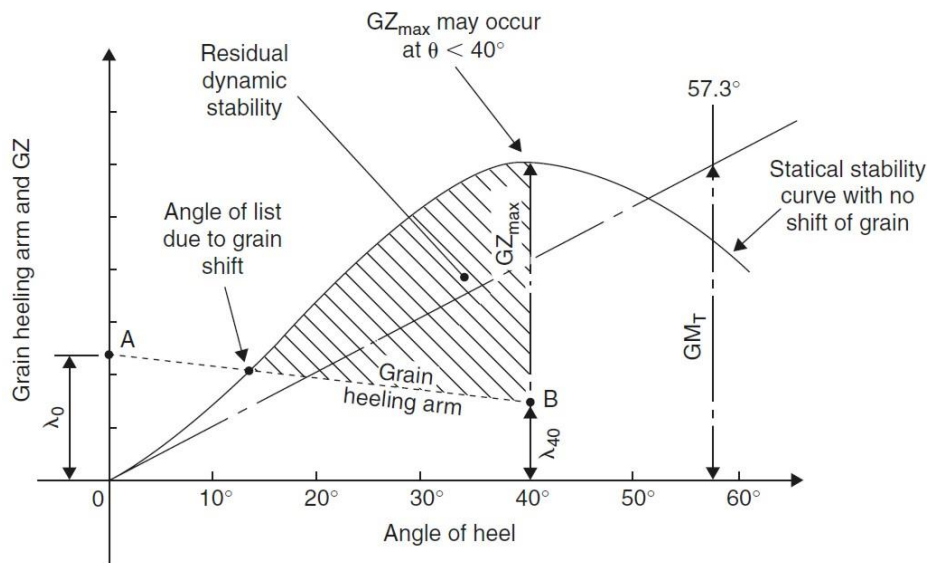
Langkah awalnya adalah menghitung momen inersia terhadap penampang tengah kapal (I_o) selanjutnya menghitung momen inersia terhadap sumbu yang melalui titik berat luas garis air (I_L)

$$I_L = I_o - (\theta F)^2 \cdot A$$

Dimana:

A = Luas garis air (m^2)

ϕF = Jarak titik berat garis air ke midship (m)



Gambar 2.7. Persyaratan stabilitas yang ditetapkan IMO

Analisa stabilitas menurut peraturan IMO seperti pada Gambar 2.7 yaitu:

1. Luasan di bawah kurva dari sudut 0° s/d 30° minimal 0,055 m.rad
2. Luasan di bawah kurva dari sudut 0° s/d 40° minimal 0,09 m.rad
3. Luasan di bawah kurva dari sudut 30° s/d 40° minimal 0,03 m.rad
4. Nilai GZ maksimal pada sudut 30° atau lebih nilainya minimal 0,2 meter
5. Nilai GML pada sudut nol tidak boleh kurang dari 0,15 meter
6. Nilai GZ maximum tidak boleh $> 30^\circ$ dan tidak boleh $< 25^\circ$

