

Hetharia et al [14] melakukan penelitian dengan menggunakan tiga varian kapal dengan faktor skala *semi-displacement* 1:27, Skip-Jack Pole&Line 1:10, Pass-Cargo Coaster 1:20. Penelitian ini menggunakan perhitungan tahanan lambung kapal pada perhitungan komputasi dan data hasil percobaan. Perhitungan komputasi menggunakan metode Savitsky, Holtrop, dan Guldhamer. Sedangkan data hasil percobaan berasal dari uji *towink tank*. Kapal yang digunakan untuk uji *towink tank* adalah kapal model dengan skala *ship parameter* yang sama. Kesimpulan pada penelitian ini, penggunaan metode Savitsky menggunakan *software* Maxsurf untuk validasi data hasil percobaan bisa digunakan untuk kapal *semi-displacement* dengan kecepatan di atas 17 Knot.

Susanto et al [15] melakukan penelitian menggunakan kapal patroli dari TNI Angkatan Laut Indonesia berjenis PC-43. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan ketinggian *draught* terhadap tahanan lambung kapal dan efektif daya yang dibutuhkan oleh PC-43. Analisis menggunakan metode Guldammer menggunakan *software* Maxsurf dengan validasi perhitungan numerik manual. Hasil penelitian ini menyebutkan daya maksimal yang dikeluarkan sistem propulsi kapal dapat diraih ketika kecepatan kapal menuju 27 knot.

Lee [11] dalam analisisnya melakukan perbandingan dari hasil prediksi data hidrodinamis kapal dengan hasil pengujian data hidrodinamis kapal secara penuh menunjukkan korelasi yang baik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kapal tipe cepat, dan adanya beberapa perbedaan menunjukkan adanya kaitan dengan karakteristik *drag*, geometri *hull*, dan konfigurasi propulsi.

Kim et al [9] melakukan analisa berupa pengembangan desain untuk kapal cepat *planing hull* untuk mengurangi nilai dari tahanan lambung kapal dan kemampuan *seakeeping*. Dalam analisisnya menggunakan *towing tank test* dengan variasi kecepatan 5 hingga 45 knot dengan interval 5 knot di setiap kenaikannya. Pengujian dilakukan dengan froude *number* dari angka 0.36 hingga 3.25, dengan sudut *trim angle* positif pada bagian depan. Hasil yang didapat apabila kapal sering beroperasi pada kecepatan rendah, maka kapal seharusnya didesain dengan *trim angle* yang kecil pada saat kecepatan rendah. Komponen *frictional resistance* sangat dominan pada kecepatan tinggi, dan efektif untuk mereduksi luasan area permukaan basah untuk mengurangi

nilai tahanan lambung kapal. Perpanjangan dari buritan akan menghasilkan beberapa manfaat untuk mengurangi tahanan lambung kapal, tapi penggunaan *trimtab* disarankan untuk mencegah ketidakstabilan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Lambung Kapal

Lambung kapal adalah bagian bawah kapal yang berfungsi untuk menerima gaya apung atau disebut gaya buoyancy pada saat badan kapal tercelup ke dalam air [16]. Bentuk dan ukuran lambung kapal mempengaruhi kemampuan karakteristik pada setiap kapal. Lambung kapal memiliki daerah luasan permukaan basah yang merupakan salah satu faktor penentu mengenai kemampuan kapal. Lambung kapal terdapat beberapa jenis apabila ditinjau dari jumlah lambungnya yaitu terdapat *monohull*, *catamaran*, dan *trimaran* seperti pada Gambar 2.2 . Perbedaan mendasar adalah jumlah lambung yang digunakan dalam satu kapal beserta konfigurasi letak setiap lambungnya.



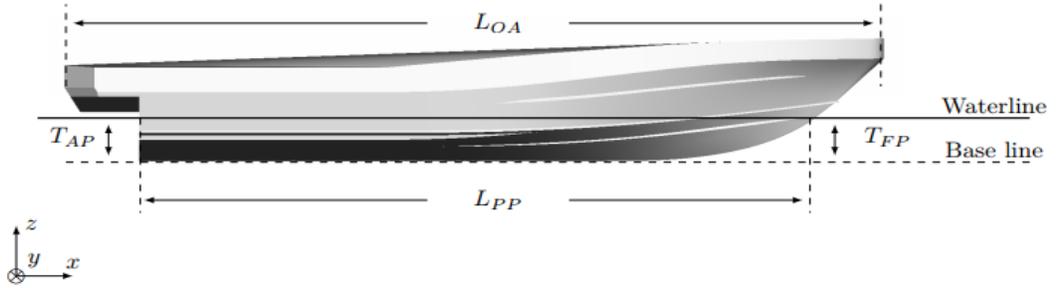
(a) Monohull

(b) Catamaran

(c) Trimaran

Gambar 2.2 Tipe Lambung Kapal[17]

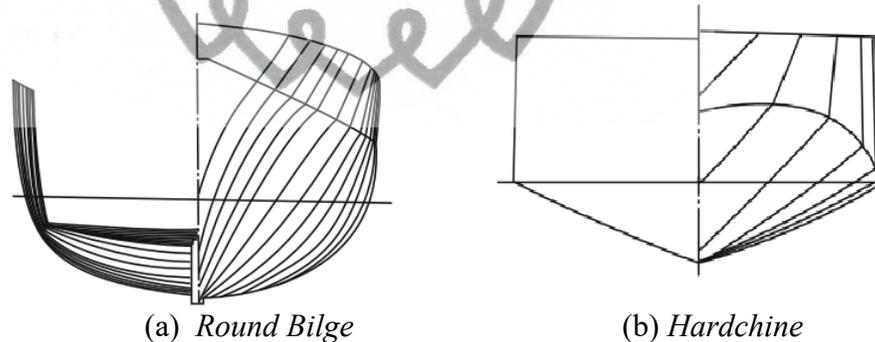
Dalam proses desain pembuatan kapal, terdapat *properties* tertentu untuk mendefinisikan suatu ukuran pada lambung kapal. L_{OA} atau biasa disebut *length over all* adalah Panjang kapal secara keseluruhan, L_{PP} adalah *length between perpendicular* atau garis panjang yang membujur dari garis AP (*after perpendicular*) hingga FP (*forward perpendicular*) yang membatasi garis basah kapal (*waterline*) di bagian depan & belakang kapal [18].



Gambar 2.3 Dimensi Kapal[18]

1 Monohull

Kapal jenis *monohull* pertama kali ditemukan pada tahun 500 sebelum kalender oleh Bangsa Yunani, dan digerakkan dengan dayung oleh manusia [18]. Alat penggerak kapal berkembang dari mulai tenaga manusia, penggunaan layar untuk tenaga angin, hingga saat ini menggunakan mesin merupakan sebuah evolusi kapal. Pada awalnya *naval architects* memnciptakan geometri haluan lambung seperti pada Gambar 2.4 dengan bentuk *round bilge* pada poin (a) dan poin (b) berlanjut ke buritan menjadi bentuk *hardchine* [18]. Kapal yang mempunyai *deadrise angle* yang besar akan menciptakan lambung berbentuk *deep-V*.

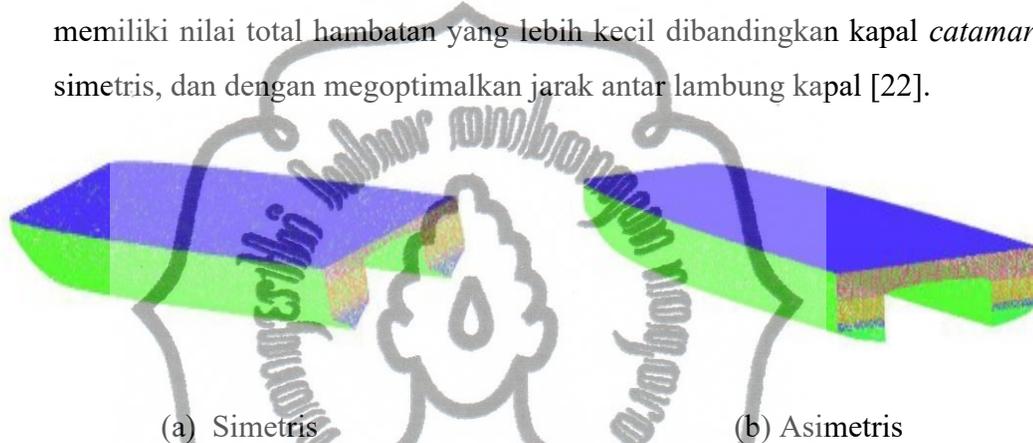


Gambar 2.4 Tipe Lambung Monohull[18]

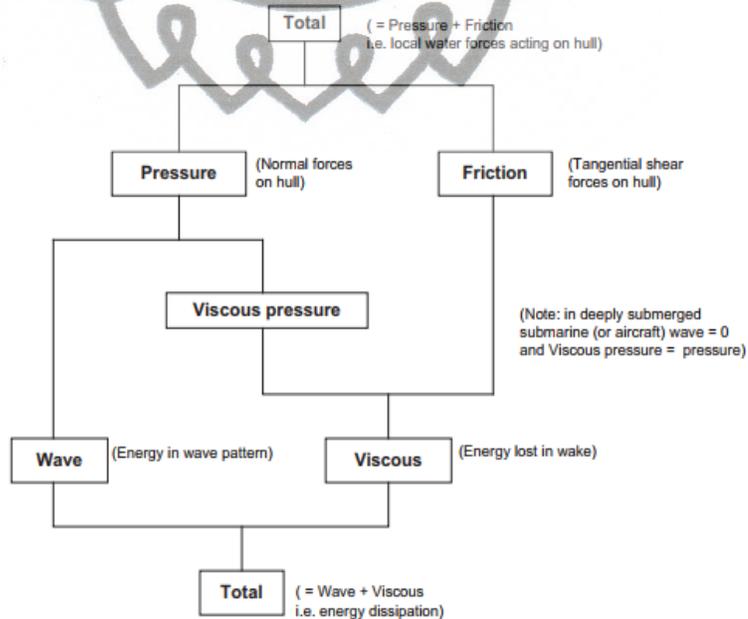
2 Catamaran

Kapal cepat pada umumnya mempunyai masalah pada stabilitas saat kecepatan tinggi [19]. Untuk meningkatkan kemampuan stabilitas *planing hull* dan luasan ruang deck kapal maka *naval architect* mencetuskan untuk

menggunakan pengaturan *twin-hull* atau biasa disebut *hull catamaran* untuk diimplementasikan. Pengaturan konfigurasi *catamaran* dibagi menjadi dua macam simetris dan asimetris seperti pada Gambar 2.5. Pada saat konfigurasi simetris maka *drag* pada tiap masing-masing hull secara umum akan berkurang [20]. Konfigurasi asimetris dapat mengurangi hambatan hidrodinamis antara lambung, dan biasanya kapal *catamaran* asimetris digunakan untuk kapal *planing* kecil, sedangkan karakteristik katamaran simetris digunakan untuk kapal *semi-displacement* dan *semi planing* [21]. Kapal *catamaran* asimetris memiliki nilai total hambatan yang lebih kecil dibandingkan kapal *catamaran* simetris, dan dengan mengoptimalkan jarak antar lambung kapal [22].



Gambar 2.5 Tipe konfigurasi *catamaran* [23]



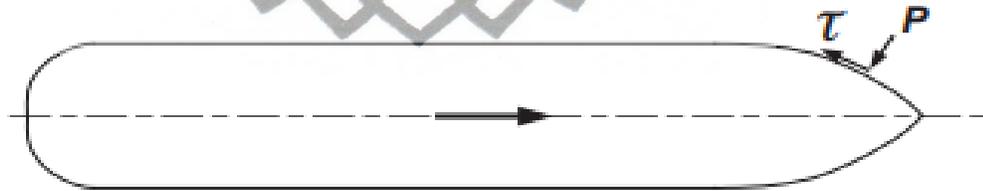
Gambar 2.6 Komponen hambatan kapal [24]

2.2.2 Tahanan Lambung Kapal

Kapal yang bergerak maju di atas air, akan memiliki gaya yang arahnya berlawanan dengan arah gerak kapal. Gaya ini disebut tahanan yang menjadi parameter karakteristik sifat hidrodinamis dari sebuah lambung[24]. Tahanan lambung kapal dibagi lagi menjadi beberapa komponen hambatan yaitu ; *friction*, *wave-making*, dan *hull form drags*. Besarnya nilai tahanan pada kapal dipengaruhi oleh kecepatan kapal, *displacement*, dan bentuk hull [25]. Berdasarkan gaya yang mempengaruhinya, tahanan dapat dibagi menjadi yang dipengaruhi oleh gaya normal dan gaya tangensial pada lambung kapal seperti pada Gambar 2.6. Untuk gaya tekanan maka akan dibagi lagi menjadi gaya yang dipengaruhi oleh pola gelombang dan gaya viskositas yang terjadi pada lambung kapal.

1 *Frictional Resistance*

Frictional resistance adalah suatu komponen tahanan yang terkait dengan gaya geser tangensial untuk melepaskan energi karena pengaruh daerah dari gaya tekan aliran fluida viskositas pada saat melewati lambung kapal seperti pada Gambar 2.7 [24], [26]. Besaran dari nilai *frictional resistance* tergantung pada kecepatan kapal, area permukaan basah kapal, dan *frictional coefficient*.



Gambar 2.7 *Frictional and pressure forces* [24]

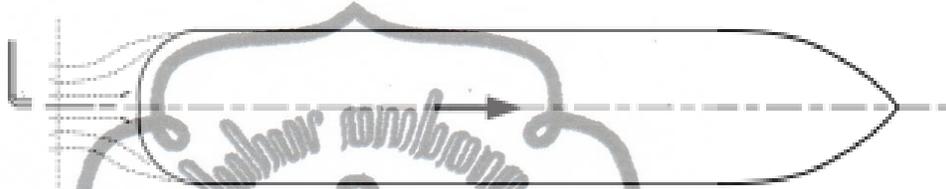
$$R_f = \frac{1}{2} \rho \cdot C_f \cdot S \cdot V^2 \quad (2.1)$$

Besaran dari *frictional resistance coefficient*, C_F , mengacu pada (*The International Towing Tank Conference*), ITTC-57 formula definisikan pada :

$$C_f = \frac{0.075}{(\text{Log}Re-2)^2} \quad (2.2)$$

2 *Viscous Resistance*

Viscous resistance dapat dihitung dengan mengukur total *head losses* yang terjadi di belakang lambung kapal [24]. Pada *viscous resistance* akan termasuk *frictional resistance* karena mencakup bagian dari gaya normal yang terjadi seperti pada Gambar 2.8. Hal ini dapat terjadi karena adanya *total head loss* yang terjadi dalam aliran sepanjang lambung akibat dari gaya viskos mengakibatkan hilangnya tekanan di permukaan lambung yang menimbulkan hambatan karena gaya tekanan [24].



Gambar 2.8 Perhitungan total tahanan *viscous* [24]

Viscous resistance dapat didefinisikan dalam formula

$$C_v = (1 + k)C_f \quad (2.3)$$

3 *Wave Resistance*

Pada kecepatan kapal yang tinggi maka *wave resistance* dapat dipertimbangkan menjadi nol, karena nilai dari R_w sangat kecil [24]. Apabila nilai dari *froude number* mencapai 0.89 di mana panjang gelombang sekitar lima kali panjang *waterline* mengakibatkan adanya interferensi yang meminimalkan *wave resistance*, maka *wave resistance* dapat diabaikan, dan komponen dari tahanan kapal akan lebih berpengaruh oleh *frictional resistance* pada luasan area permukaan basah [12]. Karena kapal pada nilai *froude number* 0.89 akan mencapai status *planing* [27]. Formula *wave resistance* dapat didefinisikan oleh Holtrop pada formula;

$$R_w = c_1 c_2 c_5 \nabla \rho g \exp\{m_1 Fr^d + m_4 \cos(\lambda Fr^{-2})\} \quad (2.4)$$

2.2.3 Stabilitas

Kemampuan suatu kapal untuk kembali tegak secara melintang, setelah adanya gaya yang mengakibatkan terjadinya ketidakstabilan pada kapal [28], [29]. Gaya ini

dapat berupa eksternal seperti pengaruh angin, atau gelombang air atau internal seperti muatan pada kapal yang berpindah. Pada dasarnya rasio antara distribusi *center of gravity* dan titik gaya buoyancy pada kapal akan menentukan kemampuan kapal untuk kembali tegak. Kestabilan pada kapal terdapat dua jenis, pertama stabilitas statis yang berarti stabilitas kapal dihitung pada saat kondisi gelombang tenang dan kapal diam [30]. Stabilitas dinamis dimaknai suatu usaha untuk memiringkan atau mengolengkan suatu kapal [31]. Berat kapal dan distribusi berat pada kapal sangat penting untuk menentukan stabilitas kapal. Berat kapal terdiri dari beberapa jenis

1 *Lightweight*

Berat kapal pada saat tidak ada muatan, dan berat kapal mencakup peralatan dan perlengkapan dasar kapal. Peralatan dan perlengkapan mencakup mesin-mesin kapal. [32]

2 *Deadweight*

Kondisi kapal ketika semua muatan perlengkapan kapal untuk berlayar seperti air tawar, bahan bakar, logistic untuk berlayar, termasuk beban dari awak kapal dan penumpang kapal. [32]

3 *Displacement*

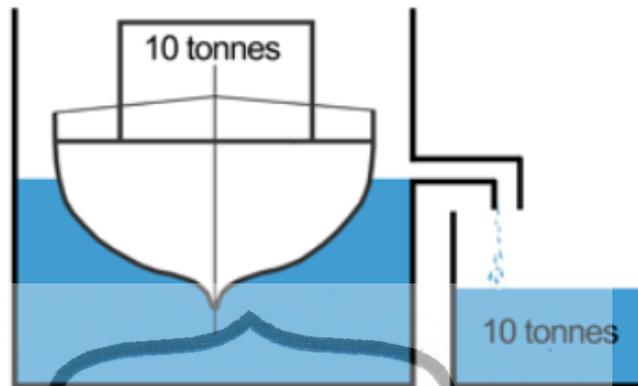
Kondisi di mana kondisi berat kapal mencakup *lightweight* dan *deadweight*. [32]

Kestabilan pada kapal selain ditentukan oleh jenis berat suatu muatan, juga ditentukan oleh titik-titik penting pada kapal seperti pada Gambar 2.9. Titik-titik ini dibagi menjadi tiga macam yaitu :

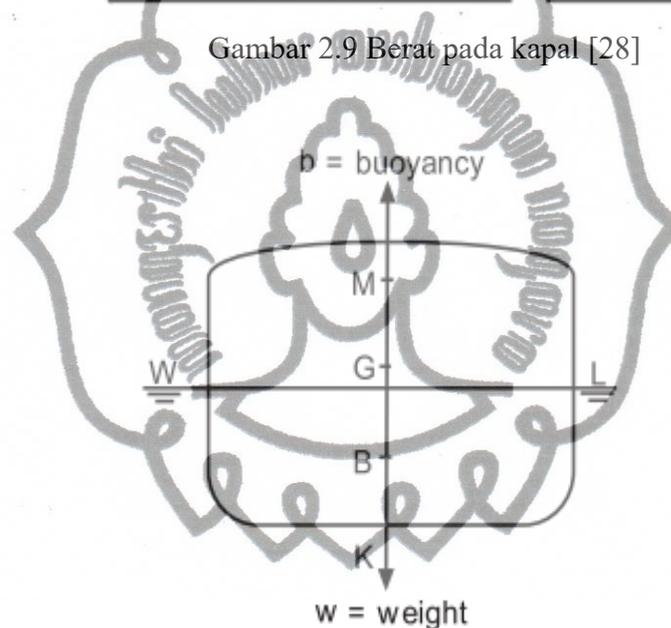
1 Titik *Buoyancy*

Titik buoyancy atau biasa disebut titik apung adalah suatu resultan gaya angkat apabila suatu benda tercelup ke dalam air [30]. Titik *buoyancy* ini menjadi suatu penyebab mengapa kapal bisa mengapung di atas air. Kapal yang mengapung pada permukaan air akan memindahkan air dalam jumlah yang sama dengan berat kapal, diakibatkan oleh titik buoyancy seperti pada Gambar 2.10 [28]. Letak dari titik buoyancy bersifat tidak tetap dan berpindah menyesuaikan dari *draft*, *heel*, dan *trim* pada kapal [28]. Semua resultan gaya titik *buoyancy* akan terakumulasi dan

terpusat kan menjadi satu titik, disebut titik buoyancy atau titik B, seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Berat pada kapal [28]



Gambar 2.10 Titik kestabilan pada kapal [31]

2 Titik Gravitasi

Pusat gravitasi pada suatu kapal adalah suatu titik dimana semua massa berat kapal dianggap terpusat dan arah gaya titik gravitasi berlawanan dengan titik *buoyancy* yaitu arah gaya akan bertindak vertikal ke bawah. Letak dari titik gravitasi tergantung pada distribusi bobot kapal termasuk muatan kapal [33]. Selama posisi muatan kapal tidak berpindah maka letak titik G akan tetap. Pada kondisi kapal kosong atau *lightship* untuk menentukan letak titik G akan ditentukan dari hasil percobaan kemiringan [34].

3 Titik Metasentris

Titik metasentris merupakan titik pusat olengan kapal. Letak metasentris dapat berubah-ubah tergantung pada kondisi olengan kapal. Letak titik metasentris harus selalu di atas titik G dengan alasan agar kapal tetap mempunyai stabilitas yang positif untuk membuat kapal kembali normal.

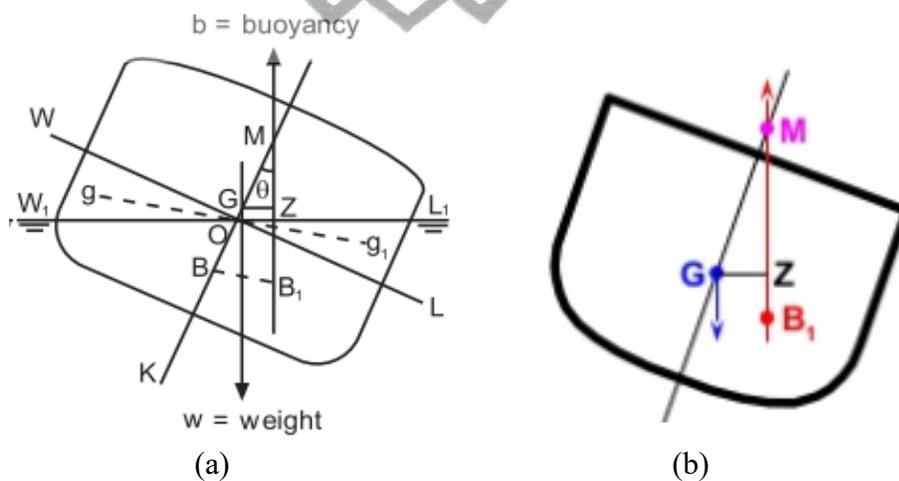
Keadaan stabilitas pada kapal tergantung pada tiga titik penting di atas. Titik tersebut dapat mempengaruhi kondisi kestabilan pada kapal. Kondisi itu dibagi menjadi tiga macam berdasarkan momen keseimbangan kapal yaitu :

1 Stabilitas Positif

Kondisi di mana ketika kapal mengalami oleng dengan kemiringan tertentu, kapal memiliki kemampuan untuk kembali tegak seperti kondisi semula. Hal ini disebabkan oleh titik M berada di atas titik G dan menyebabkan *righting couple moment* dan membuat kapal berdiri tegak [30]. Pada Gambar 2.11 (a) kemiringan kapal menyebabkan letak titik-titik gaya utama pada kapal berubah dan kapal mempunyai momen untuk tegak kembali atau disebut *righting couple moment* pada Gambar 2.11 (c) [31]. Dengan catatan hal ini dapat terjadi apabila titik metasentris berada di atas titik G.

$$GZ = GM \times \sin \theta \tag{2.5}$$

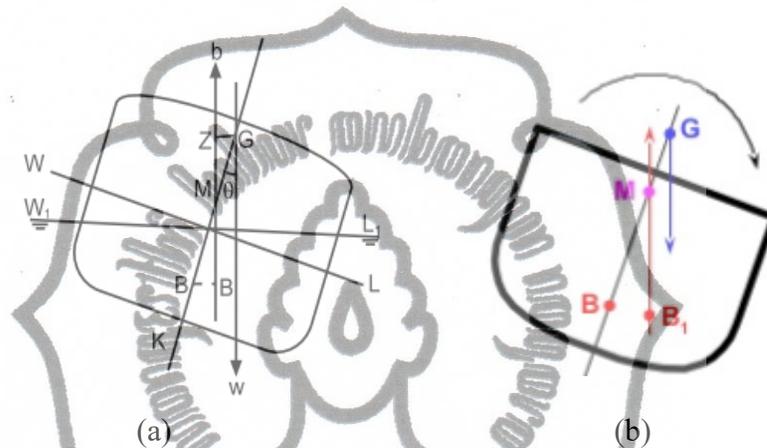
$$\text{Moment of Statical Stability} = W \times GM \times \sin \theta \tag{2.6}$$



Gambar 2.11 Momen stabilitas positif [31]

2 Stabilitas Negatif

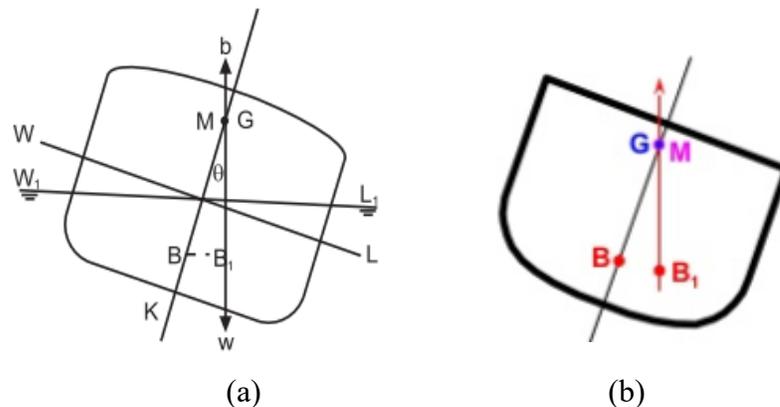
Kondisi di mana kapal tidak memiliki kemampuan untuk kembali menegak apabila terjadi olengan pada kapal. Hal ini dapat terjadi karena titik G berada di atas titik M dan tidak terjadinya momen penegak pada kapal seperti pada Gambar 2.12 [30]. Apabila kapal kehilangan momen pembalikannya maka sudut kemiringan kapal saat oleng akan bertambah besar dan hal ini disebut *heeling moment*. Gambar 2.12 (b) menjelaskan mengenai lengan momen yang terjadi ketika kapal mengalami stabilitas negatif.



Gambar 2.12 Momen stabilitas negatif[31]

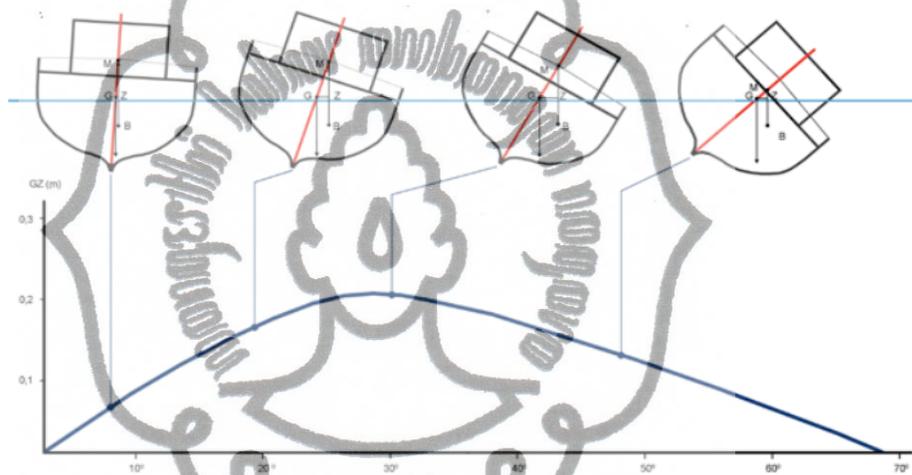
3 Stabilitas Netral

Pada kondisi ini kapal tidak mempunyai momen penegak ataupun menambah sudut kemiringan. Stabilitas netral dapat terjadi karena titik G berada dalam posisi berimpit seperti pada Gambar 2.13

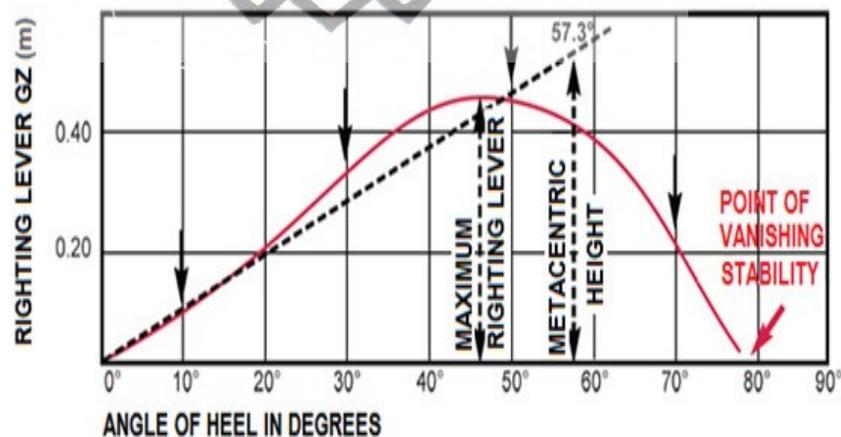


Gambar 2.13 Momen Stabilitas Netral [31]

Apabila kapal mengalami kemiringan atau *heeling* maka bagian dari kapal yang berada di dalam air akan mengakibatkan perubahan. Perubahan ini berat titik B akan terus berubah tergantung dari sudut *heeling* suatu kapal. Nilai GZ juga berubah seiring dengan perubahan sudut *heeling*. Gambar 2.14 dan Gambar 2.15 memperlihatkan bahwa ketika nilai GZ maksimum kapal akan mempunyai nilai maksimal dari gaya momen penegak untuk kembali ke posisi tegak, sedangkan ketika nilai GZ turun maka kapal tidak akan mempunyai momen penegak dan meneruskan *heeling moment*. Moment dimana kapal memasuki fase stabilitas negatif disebut *point of vanishing stability* seperti pada Gambar 2.15.



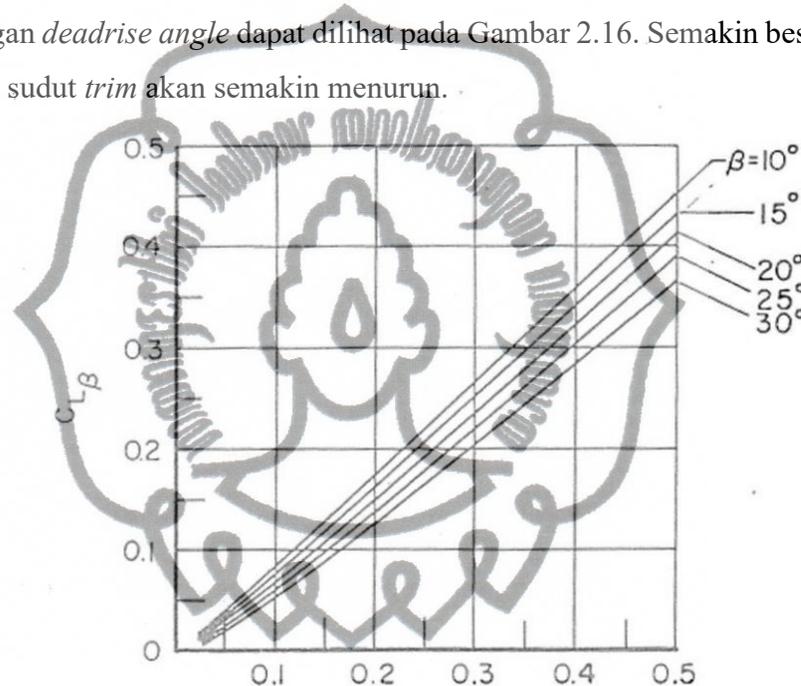
Gambar 2.14 Pengaruh kurva GZ terhadap stabilitas kapal [28]



Gambar 2.15 *Righting lever GZ* [35]

2.2.4 Metode Savitsky

Metode savitsky pertama dipublikasikan pada tahun 1964 dengan metode penelitiannya mengamulasikan dari data test untuk mendeskripsikan karakteristik hidrodinamis dari kapal permukaan *prismatic planing* dengan *deadrise* konstan, rata-rata panjang luasan tetap, dan kecepatan konstan [13]. Sebuah kapal dapat dinyatakan kapal cepat dilihat dari nilai froude *number* di atas 1-1.2 pada kondisi tersebut gaya hidrodinamik akan berdampak pada lambung kapal dan menciptakan gaya angkat, pada fase kecepatan ini kapal dikategorikan bertipe *planing hulls* [27]. Hubungan koefisien angkat dengan *deadrise angle* dapat dilihat pada Gambar 2.16. Semakin besar *deadrise angle* maka sudut *trim* akan semakin menurun.



Gambar 2.16 Hubungan *lift coefficient* dengan *deadrise angle* [13]

Formula dari gaya angkat total (karena adanya kontribusi gaya *buoyancy* & gaya angkat dinamis) pada *deadrise angle* nol adalah :

$$C_{L0} = \tau^{1.1} \left[0.0120\lambda^{1/2} + 0.0055 \frac{\lambda^{2.5}}{C_V^2} \right] \quad (2.8)$$

Dengan batas limit: $0.60 \leq C_V \leq 13$; $2^\circ \leq \tau \leq 15^\circ$; dengan τ dalam derajat ;
 $\lambda \leq 4.0$.

Untuk kapal dengan permukaan yang mempunyai *deadrise angle*, koefisien gaya angkat :

$$C_{L\beta} = C_{L0} - 0.0065\beta C_{L0}^{0.60} \quad (2.9)$$

Dengan λ merupakan rata-rata dari rasio panjang-lebar area basah kapal ;

$$\lambda = \frac{(l_K + l_C)/2}{b} = \frac{l_m}{b} \quad (2.10)$$

Untuk komponen gaya hambat gesek pada kapal didefinisikan pada :

$$D_f = \frac{c_f \rho V_1^2 (\lambda b^2)}{2 \cos 2\beta} \quad (2.11)$$

Gaya hambat hidrodinamis pada permukaan *planing* adalah ;

$$D = \Delta \tan \tau + \frac{\rho V_1^2 c_f \lambda b^2}{2 \cos \beta \cos \tau} \quad (2.12)$$

