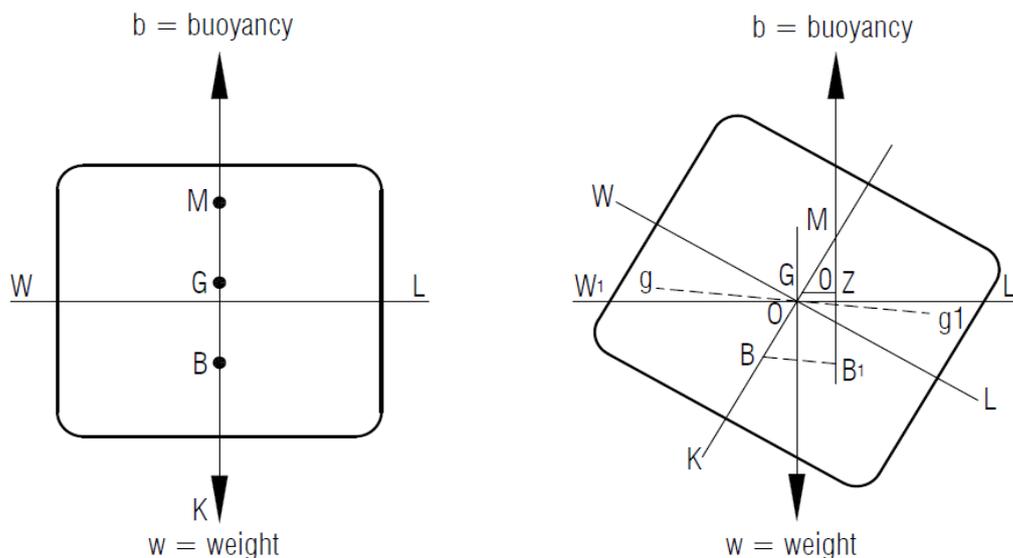


STATIC TRANSVERSE STABILITY

1 METACENTER



Gambar 1. Stable Equilibrium

Bayangkan sebuah kapal mengambang tegak di air tenang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (a). Pusat gravitasi dan daya apung masing-masing berada di G dan B. Gambar 1 (c) menunjukkan momen kopel (momen pengembali yang terjadi akibat $b = w$). GZ adalah lengan momen pengembali.

Sekarang kita bayangkan bahwa kapal dimiringkan oleh gaya eksternal ke sudut kecil θ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (b). Karena tidak ada perubahan dalam distribusi bobot, pusat gravitasi akan tetap di G dan berat kapal (W) dapat dianggap bergerak vertikal ke bawah melalui titik G.

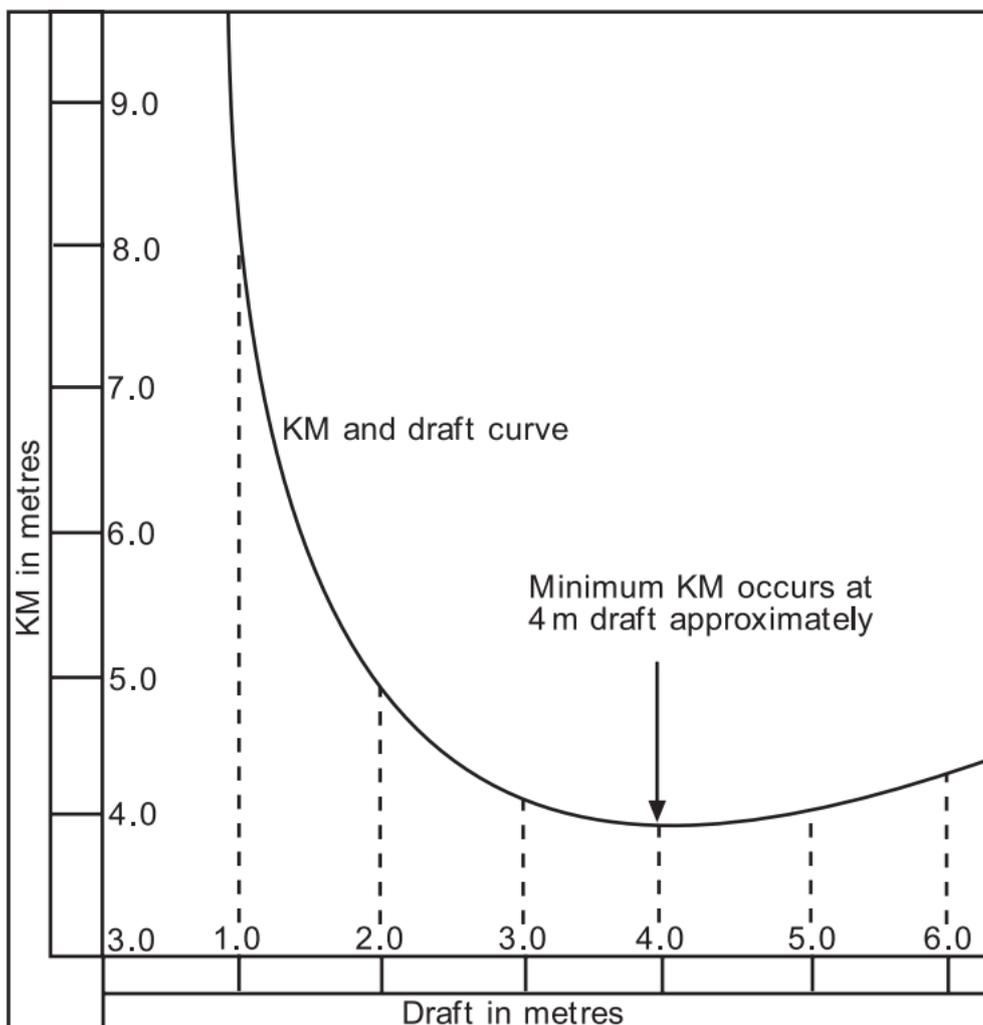
Saat miring inilah, gaya apung yang ada di baji WOW_1 dikeluarkan dari air dan berpindah ke baji LOL_1 yang terendam. Dengan demikian irisan gaya apung yang memiliki CoG pada g dipindahkan ke posisi dengan CoG pada g_1 .

CoB (Center of Buoyancy), sebagai pusat gravitasi volume bawah air, harus bergeser dari B ke posisi baru B_1 , sehingga BB_1 sejajar dengan gg_1 , dan $BB_1 = \frac{v \times gg_1}{V}$ di mana v adalah volume baji yang ditransfer, dan V adalah volume displacement kapal.

Garis vertikal yang melewati CoB pada dua sudut oleng yang berurutan berpotongan pada suatu titik yang disebut **Metacentre**. Untuk sudut oleng hingga sekitar 15° , garis vertikal yang memotong CoB dapat dianggap memotong Centerline pada titik yang sama.

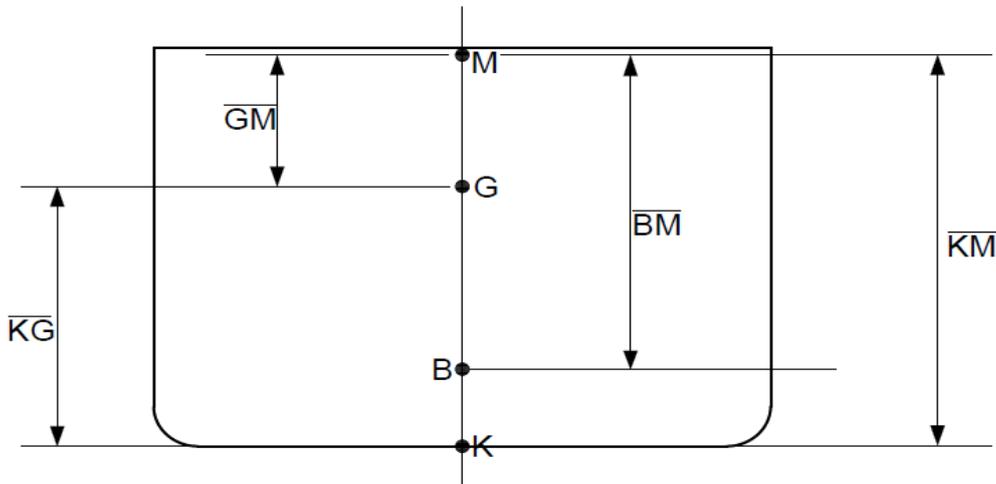
Hal ini yang disebut sebagai titik Metacenter Awal/*Initial Metacenter* (M dalam Gambar 1(b)). Tinggi initial Metacenter di atas Keel (KM) tergantung pada bentuk lambung kapal di bawah garis air. Gambar 2 menunjukkan contoh kurva KM yang diplot terhadap draft.

Jarak vertikal antara G dan M disebut sebagai **Tinggi Metacenter**. Jika G di bawah M maka kapal dikatakan memiliki **Tinggi Metacenter** positif, dan jika G di atas M maka **Tinggi Metacenter** dikatakan negatif.



Gambar 2. Contoh Kurva KM

2 LINEAR MEASUREMENT IN TRANSVERSE STABILITY



KG - Tinggi Center of Gravity yang diukur dari atas Keel

KM - Tinggi Metacenter yang diukur dari Keel

GM – Tinggi Metacenter: Perhitungan GM ini dihitung dari pengurangan KM dengan KG

$$KM(GM = KM - KG)$$

GM adalah hasil pengukuran dari stabilitas kapal.

BM – Radius Metacenter: Jarak antara Center of Buoyancy dan Metacenter.

3 EQUILIBRIUM

3.1 STABLE EQUILIBRIUM (KESEIMBANGAN STABIL)

Sebuah kapal dikatakan dalam keseimbangan yang stabil jika, ketika miring, dia cenderung untuk kembali ke posisi semula. Agar hal ini terjadi, pusat gravitasi (G) harus berada di bawah metacentre (M), yaitu kapal harus memiliki tinggi metasentrik awal positif (**Positive initial Metacentric Height**).

Gambar 1(a) menunjukkan kapal dalam posisi tegak memiliki GM positif. Gambar 1(b) menunjukkan kapal yang sama, dimiringkan ke sudut kecil. Posisi G tetap tidak terpengaruh oleh sudut oleng dan gaya gravitasi dianggap bergerak secara vertikal ke bawah melalui titik ini. Titik berat gaya apung (CoB) bergerak ke sisi bawah dari B ke B₁ untuk membentuk titik

berat gaya apung baru dari volume di bawah air, dan gaya apung dianggap bekerja secara vertikal ke atas melalui B_1 dan Metacenter M.

Akibat perbedaan titik pusat gaya inilah, momen pengembali terjadi. Berat kapal (w) yang mengarah ke bawah melalui titik G dilawan oleh gaya apung kapal (b) melalui titik Z. Momen ini adalah factor utama untuk mengembalikan kapal ke posisi tegak. Momen ini disebut sebagai **Momen Stabilitas Statis (Moment of Static Stability)** dan sama dengan hasil kali gaya 'W' dan panjang lengan GZ. Yaitu:

$$\text{Moment of Static Stability} = \Delta \times GZ \text{ (tonnes.meters)}$$

Lengan GZ disebut sebagai lengan pengembali (righting lever) dan merupakan jarak tegak lurus antara pusat gravitasi dan perpotongan veretikal CoB terhadap garis horizontal. Pada sudut oleng yang kecil ($<15^\circ$) GZ dihitung dengan persamaan berikut:

$$GZ = MG \times \sin \theta$$

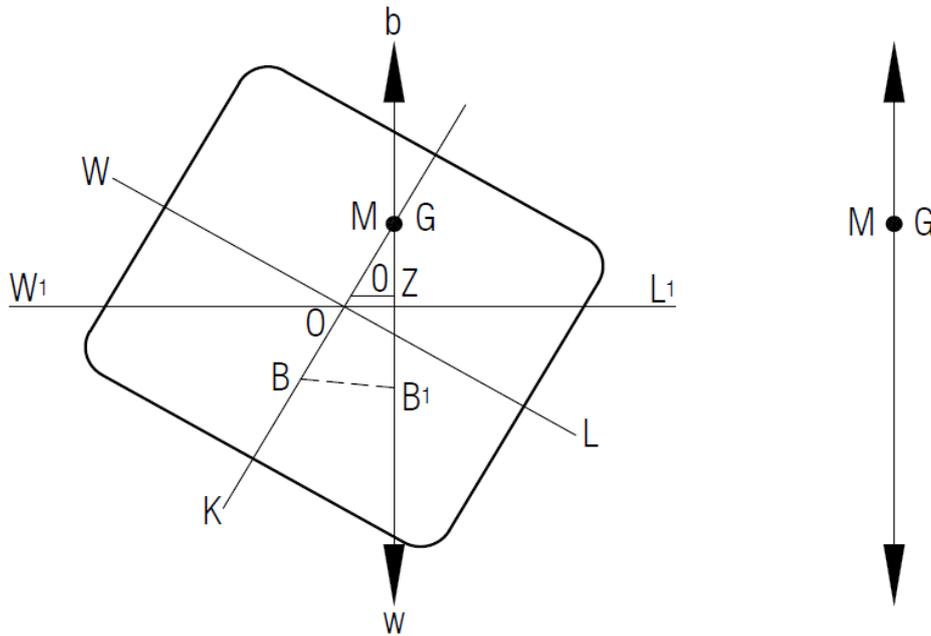
Sehingga **Momen Stabilitas Statis (Moment of Static Stability) untuk sudut oleng $<15^\circ$** adalah:

$$\text{Moment of Static Stability} = \Delta \times MG \times \sin \theta$$

3.2 NEUTRAL EQUILIBRIUM (KESEIMBANGAN NETRAL)

Ketika titik G berada di posisi yang tepat sama dengan M seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3(a), kapal dikatakan berada dalam kesetimbangan netral (neutral equilibrium), dan jika miring ke sudut oleng kecil dia akan cenderung untuk tetap pada sudut oleng itu sampai kapal terkena gaya eksternal lainnya. Dalam kasus ini, kapal itu tidak memiliki MG. Perhatikan bahwa $KG = KM$.

Oleh karena itu tidak ada momen untuk membawa kapal kembali ke posisi tegak atau untuk menggulingkannya lebih jauh. Kapal akan bergerak secara vertikal ke atas dan ke bawah dengan sudut tetap.



Gambar 3. Keseimbangan Netral

Sehingga Momen Stabilitas Statis untuk keseimbangan netral adalah:

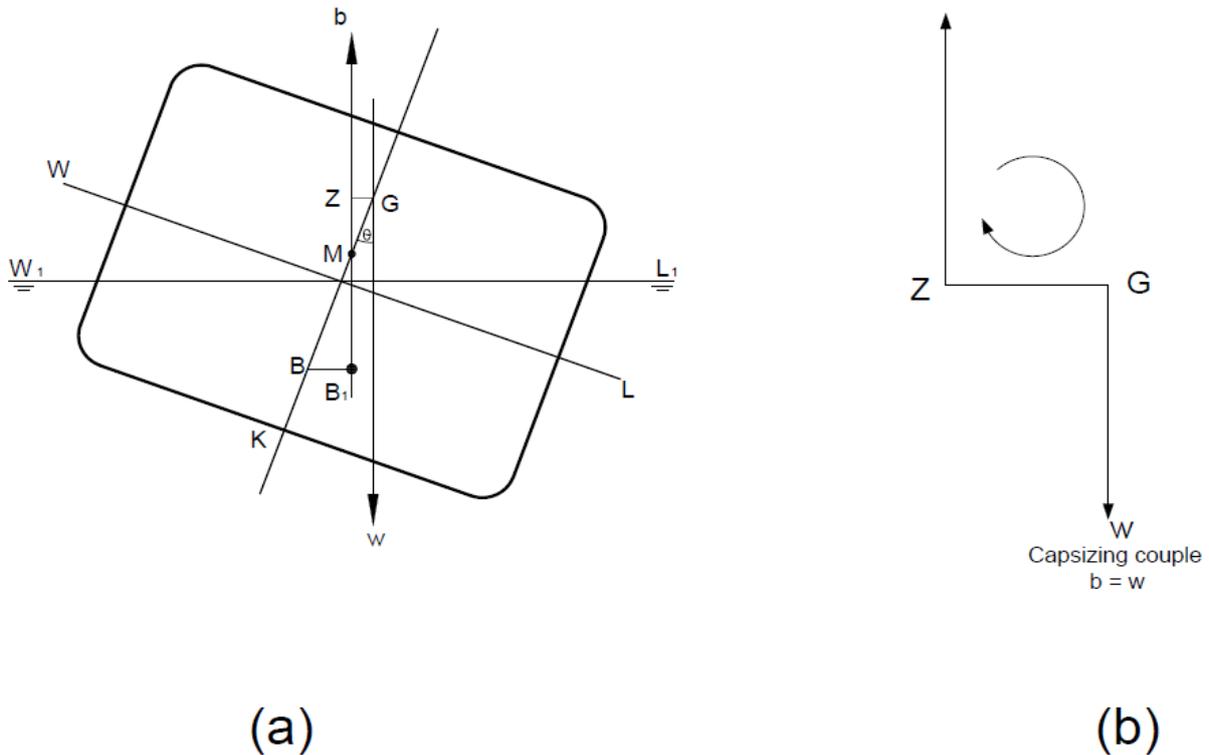
$$\text{Moment of Static Stability} = \Delta \times MG \times \sin \theta$$

$$\text{Moment of Static Stability} = \Delta \times 0 \times \sin \theta$$

$$\text{Moment of Static Stability} = 0$$

3.3 UNSTABLE EQUILIBRIUM

Saat kapal yang miring ke sudut kecil cenderung akan miring lebih lanjut ke sudut yang lebih besar, dia dikatakan berada dalam ekuilibrium yang tidak stabil (unstable equilibrium). Hal ini terjadi karena, kapal memiliki GM negatif. **Mengapa? Karena titik G di atas M.**



Gambar 4. Unstable Equilibrium

Gambar 4(a) menunjukkan kapal dalam kondisi tidak stabil yang telah dimiringkan ke sudut kecil. Momen kestabilan statis, $W \times (-GZ)$, seperti tertera di Gambar 4(b) jelas merupakan momen terbalik yang akan cenderung membuat kapal semakin miring.

Catatan. Kapal yang memiliki tinggi metasentrik awal negatif yang sangat kecil GM bisa saja tidak terbalik. Poin ini akan dibahas dan dijelaskan nanti. Situasi ini disebut sudut loll (angle of loll).

4 MENGOREKSI KETIDAKSETIMBANGAN DAN KESETIMBANGAN NETRAL

Ketika sebuah kapal dalam keseimbangan yang tidak stabil atau netral, kapal harus dibuat agar kembali menjadi stabil, pusat gravitasi efektif kapal harus diturunkan. Untuk melakukan ini, satu atau lebih metode berikut dapat digunakan:

1. Menurunkan muatan di kapal,
2. Beban dapat dimuat di bawah titik G kapal,
3. Beban dapat di atas G dipindah ke bawah G ,
4. Permukaan bebas di dalam tanki kapal harus dihilangkan.

5 KENYAMANAN DI DALAM KAPAL (KAPAL YANG “STIFF”-KAKU DAN “TENDER”-LUNAK)

Periode *roll* kapal adalah waktu yang dibutuhkan kapal untuk berguling dari satu sisi ke sisi lain dan kembali lagi ke posisi semula. Jika kapal memiliki GM yang relatif besar, misalnya 2 m hingga 3 m, momen pengembali yang dihasilkan juga akan relatif besar, sehingga dibutuhkan momen yang lebih besar untuk memiringkan kapal. Saat miring dia akan cenderung lebih cepat kembali ke posisi awal.

Hasilnya adalah bahwa kapal akan memiliki periode yang relatif singkat, dan akan terjadi *roll* dengan cepat—atau sangat cepat—dari sisi ke sisi. Kapal dalam kondisi seperti ini dikatakan 'kaku', dan kondisi seperti ini sangat tidak diinginkan. Periode *roll* yang terjadi pada kapal yang stiff mencapai serendah-rendahnya 8 detik. Titik G kapal harus dinaikkan jika kondisi ini terjadi.

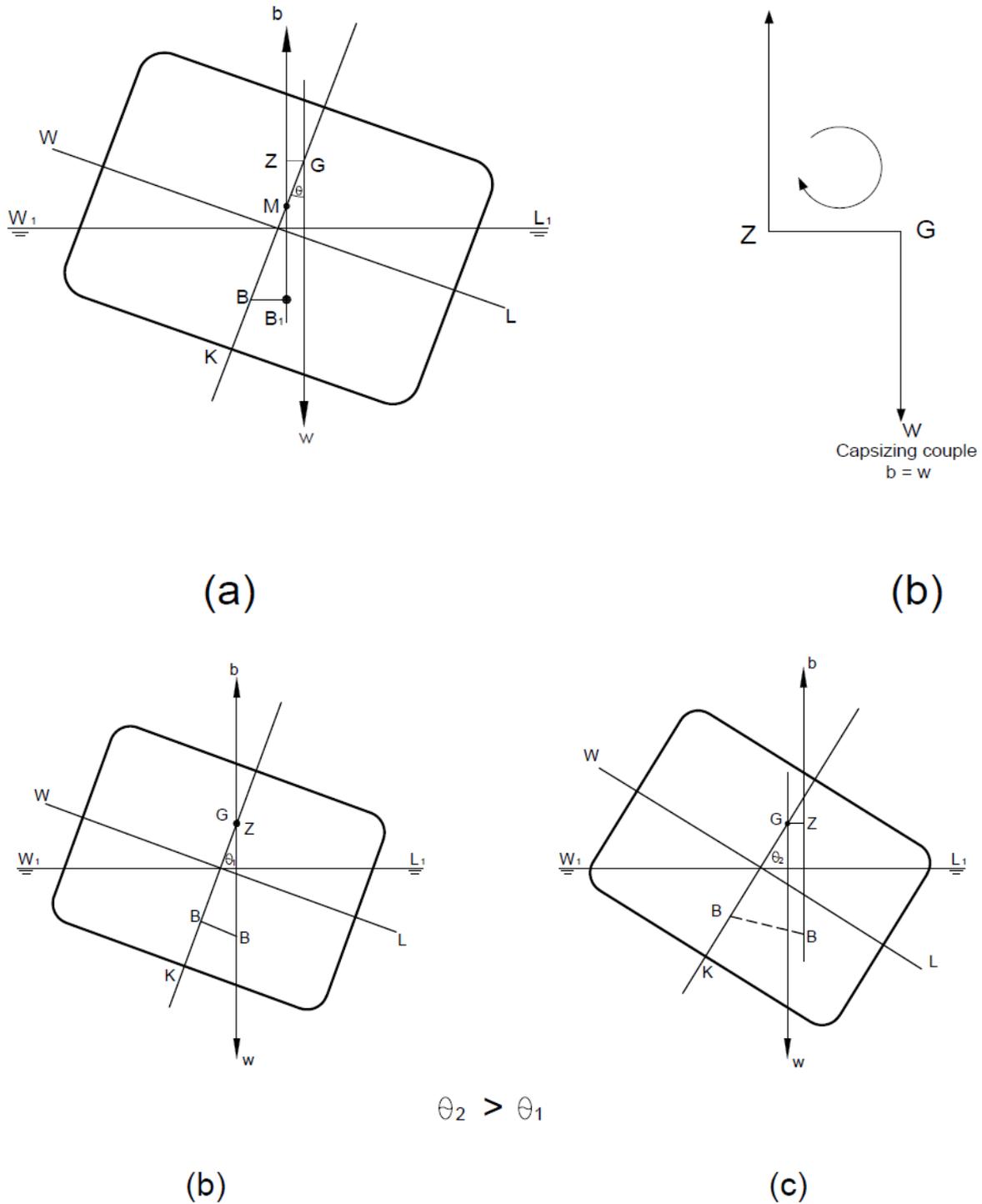
Jika GM relatif kecil, misalnya 0,16 m hingga 0,20 m, momen pengembali juga akan kecil. Kapal dengan demikian akan lebih mudah untuk miring dan tidak akan cenderung untuk kembali begitu cepat ke posisi semula. Periode *roll* yang terjadi akan relatif lama, berkisar antara 30 sampai 35 detik, dalam kondisi ini kapal dikatakan 'tender'. Seperti sebelumnya, kondisi ini tidak diinginkan dan harus diambil langkah-langkah untuk meningkatkan GM dengan menurunkan titik G kapal.

Kapten kapal harus bertanggung jawab untuk memuat kapal dengan menjaga kapal berada di antara dua kondisi ini dimana kapal tidak terlalu kaku atau terlalu empuk. Periode *roll* yang ideal umumnya bernilai 20 hingga 25 detik sehingga *roll* kapal tidak membuat penumpang mabuk laut.

6 NEGATIVE GM AND ANGLE OF LOLL

Telah ditunjukkan sebelumnya bahwa kapal yang memiliki GM awal negatif akan menjadi tidak stabil jika terjadi oleng. Ini ditunjukkan pada Gambar 5(a).

Saat sudut oleng meningkat, titik B akan bergerak lebih jauh ke sisi bawah. Jika titik B bergerak keluar ke posisi vertikal di bawah G, *capsizing moment* akan menghilang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5(b). Sudut oleng di mana ini terjadi disebut sudut *loll* (angle of *loll*). Akan terlihat bahwa pada sudut *loll*, GZ-nya nol. G tetap berada di garis tengah.



Gambar 5. Angle of Loll

Saat sudut oleng meningkat, titik B akan bergerak lebih jauh ke sisi bawah. Jika titik B bergerak keluar ke posisi vertikal di bawah G, *capsizing moment* akan menghilang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5(b). Sudut oleng di mana ini terjadi disebut sudut loll (angle of loll). Akan terlihat bahwa pada sudut loll, GZ-nya nol. G tetap berada di garis tengah.

Jika kapal mengalami oleng melebihi sudut loll dari θ_1 ke θ_2 , titik B akan bergerak lebih jauh ke sisi bawah dan akan ada momen pengembali yang mengembalikan kapal ke sudut loll seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 (c).



Gambar 6. Kapal yang mengalami Angle of Loll

Dari sini terlihat bahwa kapal akan berosilasi dengan titik tengah di sudut loll alih-alih di sumbu vertikal. Jika titik B tidak bergerak cukup jauh untuk secara vertikal berada di bawah G, kapal akan terbalik.

Sudut loll bisa saja terjadi di ke arah portside atau ke starboard tergantung dari gaya yang bekerja (angin atau gelombang). Selalu ada bahaya bahwa G akan naik di atas M dan menciptakan situasi ketidakstabilan. Ini yang berbahaya karena berpotensi menyebabkan kapal terbalik.

7 NILAI UMUM GM

Nilai GM sangat penting untuk stabilitas kapal. Tabel 1 di bawah ini menunjukkan nilai-nilai umum GM untuk beberapa jenis kapal di kondisi *full draft*.

Tabel 1. Typical GM Values

Tipe Kapal	GM saat full draft (m)
General cargo	0.3 – 0.5
Oil tanker – VLCC	0.3 – 1.0
Container ship	~1.5
Ro-Ro	~1.5
Bulk carrier	2 – 3