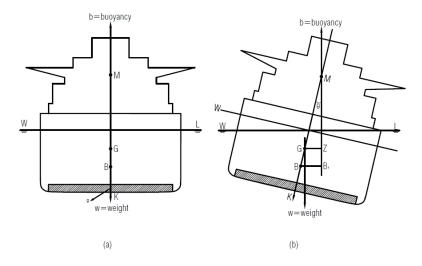
FREE SURFACE CORRECTION

(Lecture Notes ini merupakan transkripsi dan terjemahan dari penjelasan Dr. Laura Alford di youtube video berikut: https://www.youtube.com/watch?v=WTIq6P90WfM&ab_channel=NEECvideos)

1 Penjelasan mengenai free surface effect

Efek muatan cair pada tanki yang tidak penuh dapat mempengaruhi stabilitas transversal kapal dan mengurangi kestabilannya secara signifikan. Mari kita tinjau Gambar 1 berikut ini.

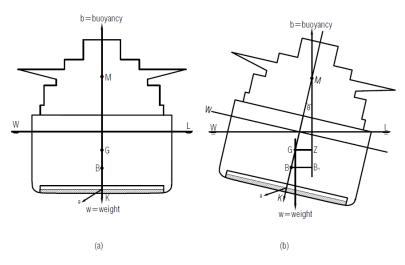


Gambar 1. Muatan cair mengisi tanki penuh

Ketika muatan cair mengisi penuh tanki, cairan tidak bisa bergerak sehingga dapat diasumsikan muatan cair berlaku sebagai muatan padat dengan CoG (Center of Gravity) berupa CoG tanki. Momen pengembali dihitung menggunakan persamaan yang sudah pernah kita bahas:

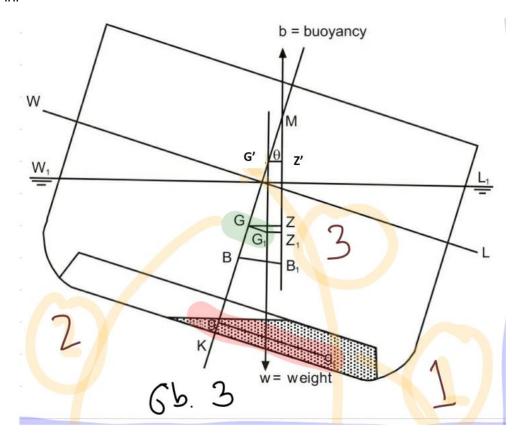
$$RM = \overline{GM} \sin \theta \times \Delta$$

Sekarang kita tinjau jika muatan cair tidak mengisi penuh tanki, seperti tertera di Gambar 2berikut, muatan cair hanya mengisi separuh tanki di double bottom.



Gambar 2. Muatan hanya mengisi separuh tanki double bottom

Ketika kapal mengalami heeling seperti tertera di Gambar 2, muatan cair akan mengalami perpindahan bentuk dan bergeser ke arah terjadinya heel, seperti tertera pada Gambar 3 berikut ini



Gambar 3. Perpindahan bentuk muatan cair yang tidak penuh terhadap titik stabilitas

- 1. Hal yang paling krusial untuk diperhatikan adalah ketika muatan cair berubah bentuk dan mengubah titik berat muatan dari g menjadi g₁. Hal ini juga menyebabkan titik berat:
- 2. G bergeser ke G₁ yang sejajar dengan garis gg₁ dan:
- 3. Memotong garis centerline di G".

Sehingga terjadi pengurangan tinggi metacenter yang sangat signifikan yang awalnya di GM menjadi di G_vM.

$$RM = \overline{G''M} \sin \theta \times \Delta$$

Dimana:

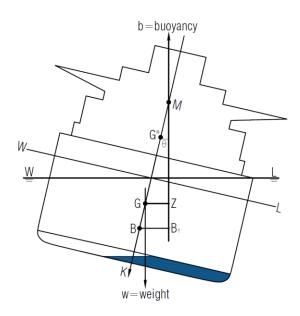
$$\overline{G''M} \ll \ll \overline{GM}$$

Bisa dibuktikan dari proses di atas bahwa free surface dapat mengurangi tinggi metacenter yang efektif, dari GM menjadi G"M. jika fenomena ini terjadi pada kapal dengan initial metacentric height yang kecil, maka bukan tidak mungkin akan terjadi negative GM. Seperti yang telah kita pelajari di awal, negative GM akan menyebabkan angle of loll dan dapat membahayakan operasional kapal.

Dari Gambar 3 di atas, dengan sedikit saja perubahan di GG₁ maka perubahan tinggi metacenter yang terjadi akan sangat besar.

2 SLACK TANK DAN EFEKNYA TERHADAP GM DAN GZ

Lecture notes ini akan memberikan beberapa contoh dalam menghitung Koreksi Permukaan Bebas/Free Surface Correction (FSC). FSC adalah fenomena yang penting untuk diperhatikan oleh desainer dan kapten kapal. Efek Permukaan Bebas adalah apa yang terjadi ketika sebuah tanki tidak terisi penuh sehingga terjadi efek *sloshing* (cairan mengalami "kocak") di dalam tangki di kapal. Cairan di dalam tanki memiliki inersia negative di permukaannya dan inersia tangki secara keseluruhan akan menurunkan GM kapal. Gambar 4 di bawah menjelaskan apa yang saya maksud. GM, jika Anda ingat, adalah ukuran stabilitas awal kapal dan kemudian GZ adalah lengan momen pengembali. Ingat bahwa GZ adalah fungsi dari GM. Jika Anda menaruh cairan di dalam tangki di kapal ini dan terjadi oleng (heeling), cairan akan pindah ke satu sisi dan itu akan mengubah titik berat kapal kita sebut sebagai G". Jarak antara titik berat awal G dan titik berat terkoreksi G" kita sebut pergeseran virtual dari pusat gravitasi atau dikenal sebagai Koreksi Permukaan Bebas/Free Surface Correction (FSC). Jadi sekarang kita memiliki G"M yang merupakan tinggi metacenter yang dikoreksi dan G"M ini adalah ukuran sebenarnya dari stabilitas kapal Anda.



Gambar 4. Slack tank

Untuk menghitung koreksi permukaan bebas, kita perlu menghitung jarak dari GG" yang dihitung dari massa jenis fluida di dalam tangki dikali gravitasi dikalikan momen inersia permukaan bebas tangki dan kemudian membagi semua itu dengan displacement kapal, seperti tertera pada Persamaan (1) di bawah ini:

$$GG'' = \frac{\rho_t \times g \times i_t}{\Delta} \qquad \dots (1)$$

Dengan:

GG'' = Free surface correction (m)

 ρ_t = Massa jenis cairan dalam tanki (ton/m)

g = Akselerasi gravity (m/s²)

 i_t = Momen inersia dari free surface dalam tank

 (m^4)

 Δ = Displacement kapal (ton)

2.1 CONTOH 1: SLACK WIDE TANK



Gambar 5. Slack wide tank

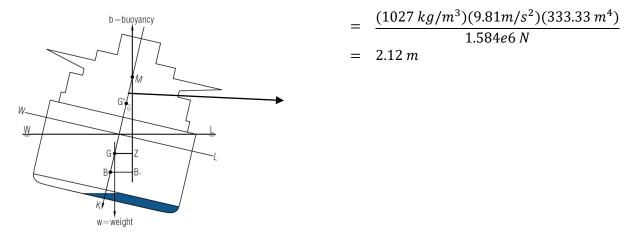
Jika Anda memiliki tangki yang lebar, FSC dapat secara signifikan mengurangi GM. Contoh 1 di bawah ini adalah kasus perhitungan FSC akibat tanki yang selebar beam (B) kapal. Tank merupakan ballast air laut sehingga massa jenisnya 1027 kg/m³. Panjang tangki 4 m dan lebarnya 10 m, seperti tertera pada Gambar 5. Displacement kapal 1584 kN (178.05 ton). Berapa koreksi permukaan bebas untuk tangki ini?

$$i_t = \frac{lb^3}{12}$$

$$= \frac{(4m)(10m)^3}{12}$$

$$= 333.33 m^4$$

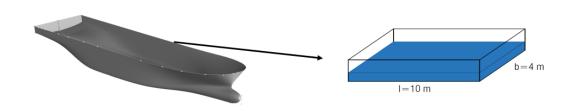
$$GG'' = \frac{\rho_t x g x i_t}{\Delta}$$



Karena tangki berbentuk persegi panjang momen inersia permukaan fluida sama dengan panjang kali lebar tangki pangkat 3 dibagi 12, hasilnya adalah 333.33 m⁴. Kemudian masukkan pada persamaan (1) sehingga FSC nya adalah 2.12 meter. Nilai ini menjadi signifikan tergantung pada GM awal Anda.

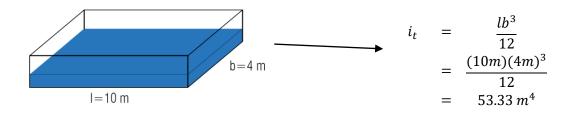
2.2 CONTOH 2: SLACK NARROW TANK

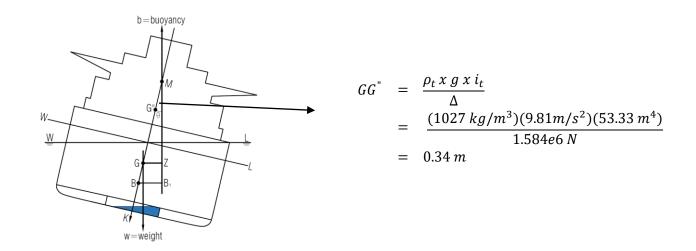
Contoh berikutnya jika Anda mengambil tangki yang sama dan orientasinya diputar 90 derajat pada sumbu Z sehingga panjang tangki sekarang 10 meter, dan lebarnya hanya 4 meter. Ballast air laut masih berada di dalam tangki, displacement kapal tidak berubah, sperti tertera pada Gambar 6 di bawah ini.



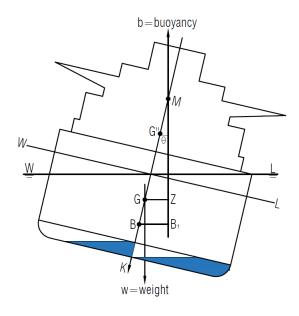
Gambar 6. Slack narrow tank

Untuk menghitung FSC, kita akan menggunakan persamaan yang sama yaitu Persamaan (1). Namun perlu diingat sekarang kita harus menukar angka lebar dan panjang tanki karena orientasinya berubah, jadi panjangnya sekarang 10 meter dan lebarnya jadi 4 meter. Setelah dihitung, momen inersia hanya 53,33 m⁴, bandingkan dengan contoh sebelumnya! Masukkan nilai i_t ke Persamaan (1) dan sekarang FSC hanya 0.34 m. Hasil di contoh 2 ini menunjukkan bahwa memiliki tangki yang lebih sempit pada kapal dapat meminimalkan efek FSC.





2.3 CONTOH 3: TWO SLACK NARROW TANKS



Gambar 7. Two slack narrow tanks

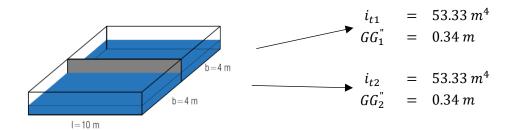
Bagaimana jika kita punya tanki yang lebar dan dibagi menjadi dua? Jika kapal mengalami heel, cairannya bergeser ke samping, tetapi karena ada sekat yang memisahkannya, sekarang kita memiliki dua tangki sempit. Bagaimana efek FSC pada penataan tanki seperti ini?

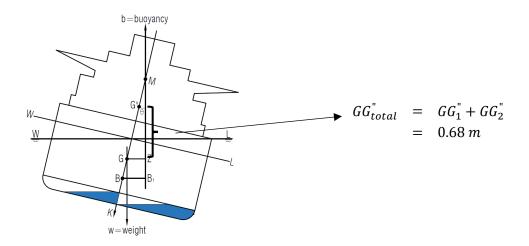


Gambar 8. Example of two slack narrow tanks

Kita akan melakukan yang sama dengan apa yang ada di Contoh 2, namun saya akan meletakkan dua tanki secara berjajar. Saya menggunakan tangki yang sama, dengan panjang 10 meter dan lebar masing-masing adalah 4 meter. Displacement kapal sama. Tanki juga sama-sama diisi air laut serupa dengan dua contoh di atas. Sekarang kita ingin tahu apa koreksi permukaan bebas total untuk kedua tangki ini. Ilustrasi tertera pada Gambar 8.

Untuk menghitung FSC total dari dua tanki tersebut, kita akan menghitung FSC untuk setiap tanki satu per satu dan kemudian langsung menambahkannya. Ini adalah tangki yang sama dengan yang kita lakukan sebelumnya sehingga momen inersia adalah 53,33m⁴ dan kemudian koreksi permukaan bebas adalah 0,34 m. Kemudian tingal dijumlah saja, jadi sekarang total FSC adalah 0,68 m.





Contoh-contoh di atas cukup mudah untuk dihitung dan dipahami karena kita mengasumsikan tangki persegi panjang. Namun di aplikasi nyata, tidak semua tank akan berbentuk persegi panjang. Setiap kapal akan memiliki karakteristik tersendiri. Umumnya, akan ada katalog tabel FSC di setiap tanki di dalam kapal.