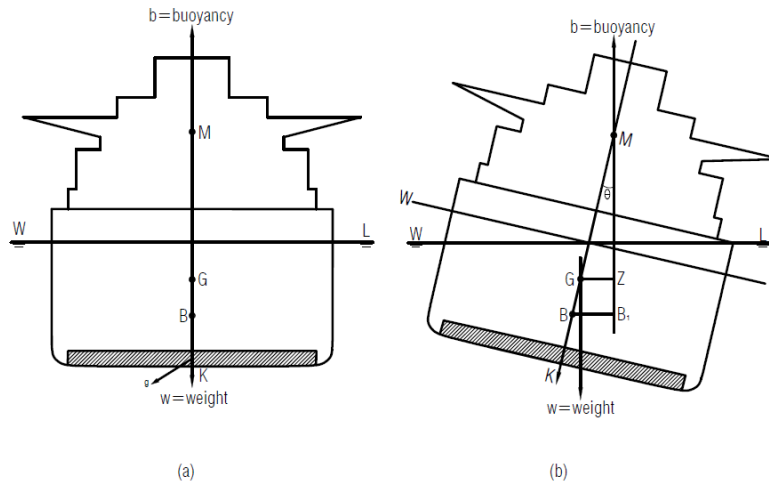


# FREE SURFACE CORRECTION

(Lecture Notes ini merupakan transkripsi dan terjemahan dari penjelasan Dr. Laura Alford di youtube video berikut:  
[https://www.youtube.com/watch?v=WTig6P90WfM&ab\\_channel=NEECvideos](https://www.youtube.com/watch?v=WTig6P90WfM&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.

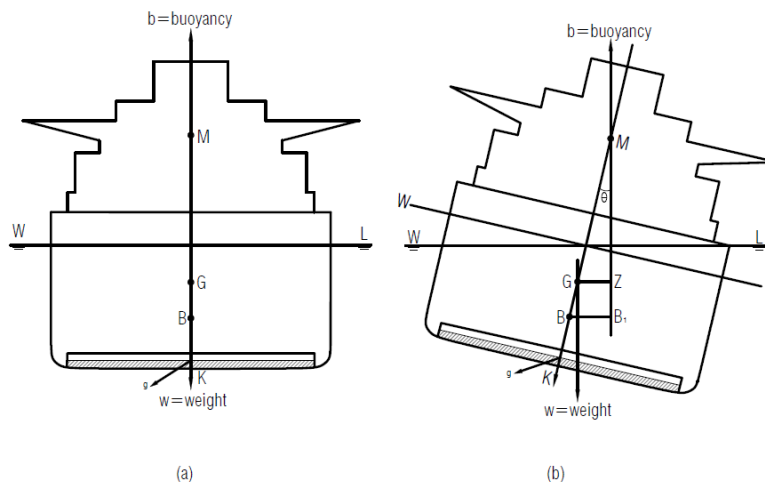


*Gambar 1. Muatan cair mengisi tanki penuh*

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:

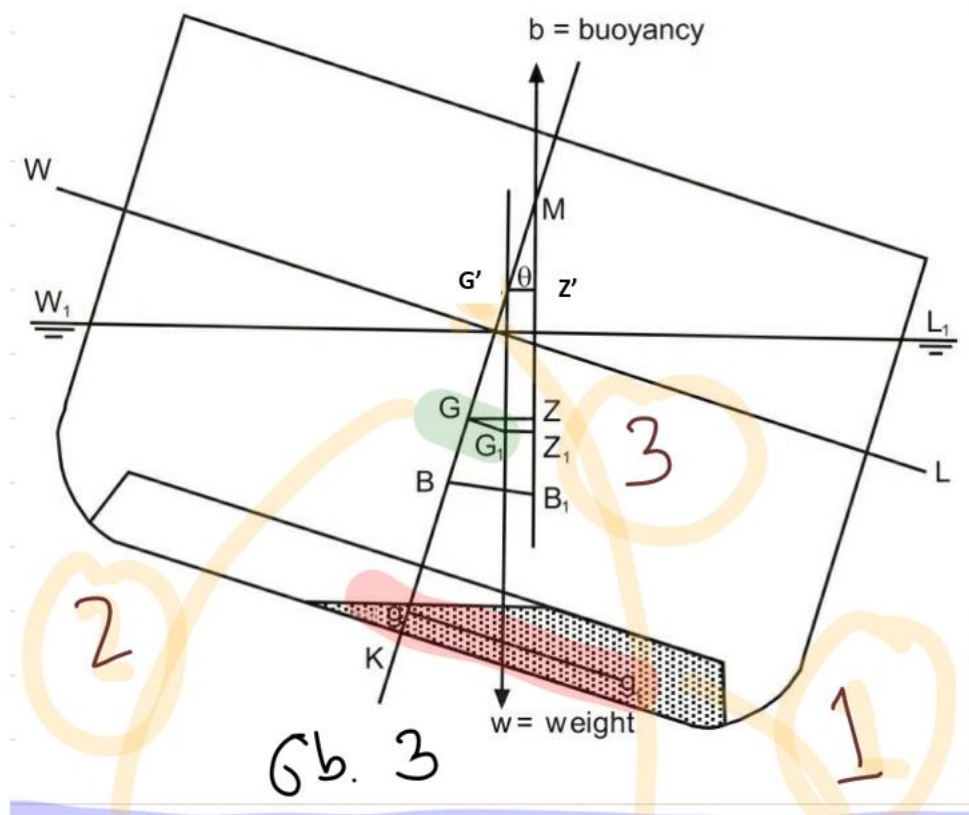
$$RM = \overline{GM} \sin \theta \times \Delta$$

Sekarang kita tinjau jika muatan cair tidak mengisi penuh tanki, seperti tertera di Gambar 2 berikut, 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  $g_1$ . Hal ini juga menyebabkan titik berat:
2.  $G$  bergeser ke  $G_1$  yang sejajar dengan garis  $gg_1$  dan:
3. Memotong garis centerline di  $G''$ .

Sehingga terjadi pengurangan tinggi metacenter yang sangat signifikan yang awalnya di  $GM$  menjadi di  $G''M$ .

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

Dimana:

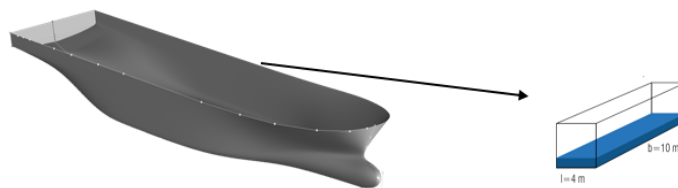
$$\overline{G''M} \lllll \overline{GM}$$

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.



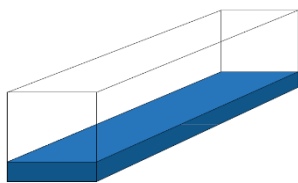
- $GG''$  = Free surface correction (m)
- $\rho_t$  = Massa jenis cairan dalam tanki (ton/m)
- $g$  = Akselerasi gravity (m/s<sup>2</sup>)
- $i_t$  = Momen inersia dari free surface dalam tank (m<sup>4</sup>)
- $\Delta$  = Displacement kapal (ton)

## 2.1 CONTOH 1: SLACK WIDE TANK



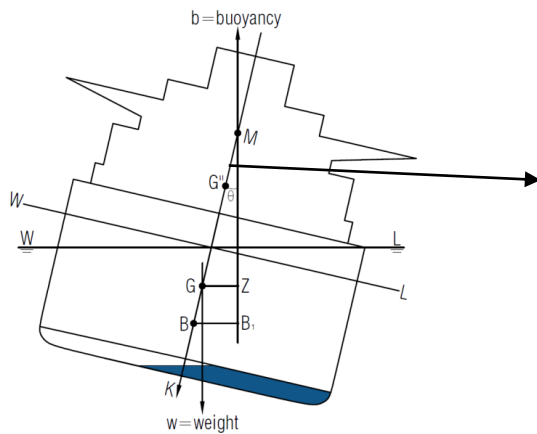
*Gambar 5. Slack wide tank*

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/m<sup>3</sup>. 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?



$$\begin{aligned}
 i_t &= \frac{lb^3}{12} \\
 &= \frac{(4m)(10m)^3}{12} \\
 &= 333.33 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

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



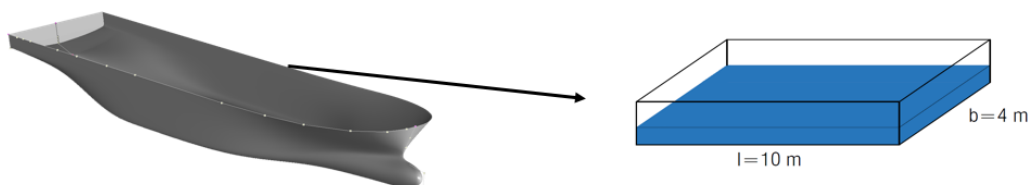
$$= \frac{(1027 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(333.33 \text{ m}^4)}{1.584 \times 10^6 \text{ N}}$$

$$= 2.12 \text{ m}$$

Karena tangki berbentuk persegi panjang momen inersia permukaan fluida sama dengan panjang kali lebar tangki pangkat 3 dibagi 12, hasilnya adalah 333.33 m<sup>4</sup>. Kemudian masukkan pada persamaan (1) sehingga FSC nya adalah 2.12 meter. Nilai ini menjadi signifikan tergantung pada GM awal Anda.

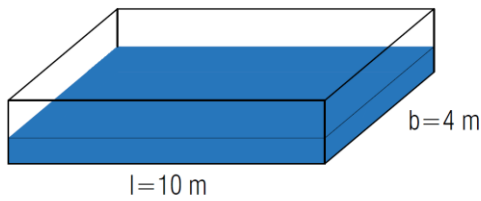
## 2.2 CONTOH 2: SLACK NARROW TANK

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, seperti tertera pada Gambar 6 di bawah ini.



*Gambar 6. Slack narrow tank*

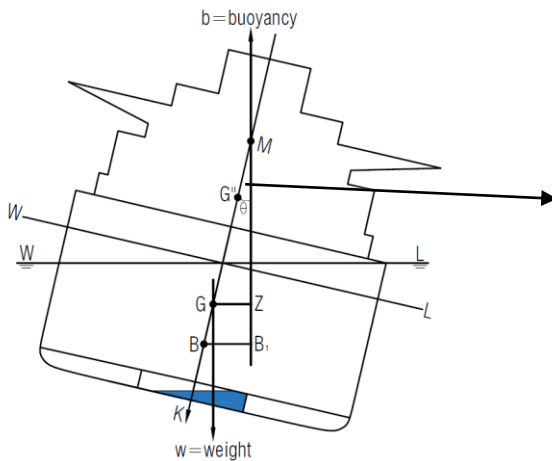
Untuk menghitung FSC, kita akan menggunakan persamaan yang sama yaitu Persamaan (1). Namun perlu diingat sekarang kita harus menukar angka lebar dan panjang tangki karena orientasinya berubah, jadi panjangnya sekarang 10 meter dan lebarnya jadi 4 meter. Setelah dihitung, momen inersia hanya 53,33 m<sup>4</sup>, 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.



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

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

$$= 53.33 \text{ m}^4$$

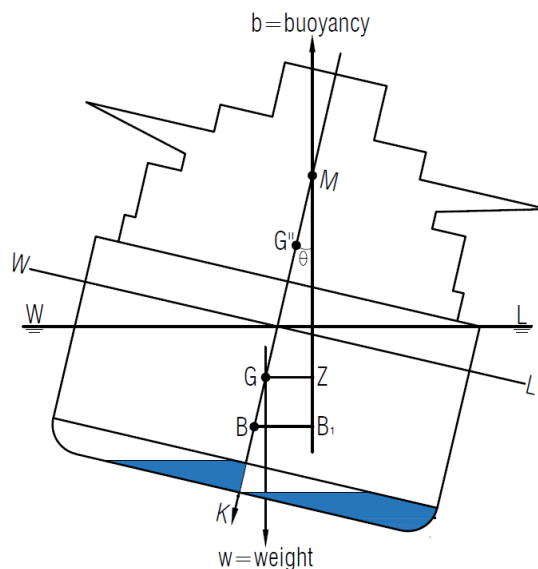


$$GG'' = \frac{\rho_t \times g \times i_t}{\Delta}$$

$$= \frac{(1027 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(53.33 \text{ m}^4)}{1.584 \times 10^6 \text{ N}}$$

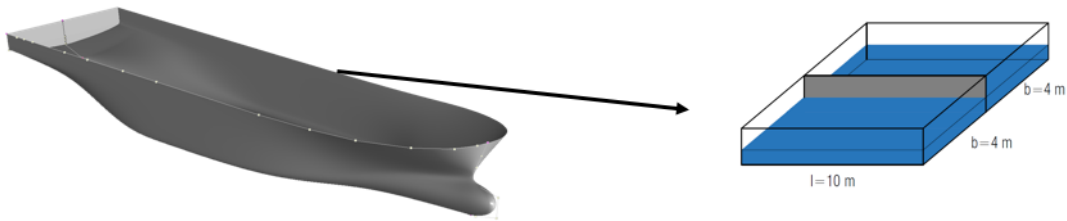
$$= 0.34 \text{ m}$$

### 2.3 CONTOH 3: TWO SLACK NARROW TANKS



Gambar 7. Two slack narrow tanks

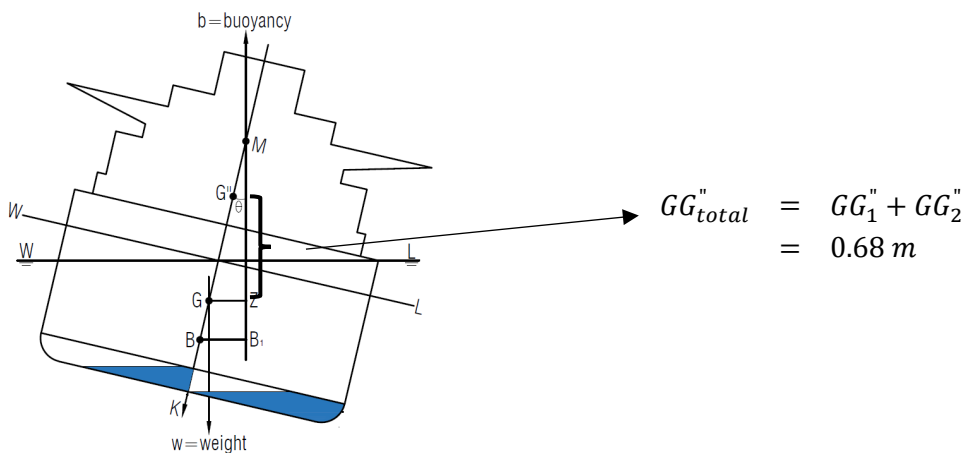
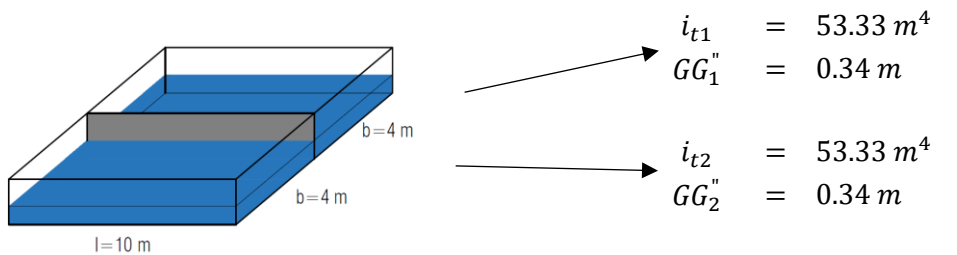
Bagaimana jika kita punya tanki yang lebar dan dibagi menjadi dua? Jika kapal mengalami heel, cairannya bergeser ke samping, tetapi karena ada sekat yang memisahkannya, sekarang kita memiliki dua tanki sempit. Bagaimana efek FSC pada penataan tanki seperti ini?



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 tanki 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 tanki 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 menembahkannya. Ini adalah tanki yang sama dengan yang kita lakukan sebelumnya sehingga momen inersia adalah  $53,33\text{m}^4$  dan kemudian koreksi permukaan bebas adalah  $0,34\text{ m}$ . Kemudian tinggal dijumlah saja, jadi sekarang total FSC adalah  $0,68\text{ m}$ .



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.