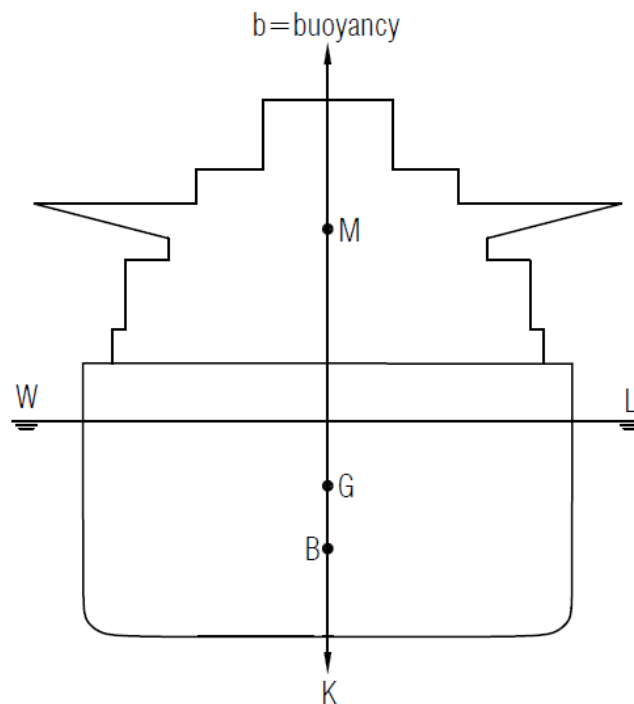


LISTING: Penjelasan dan Contoh Perhitungan

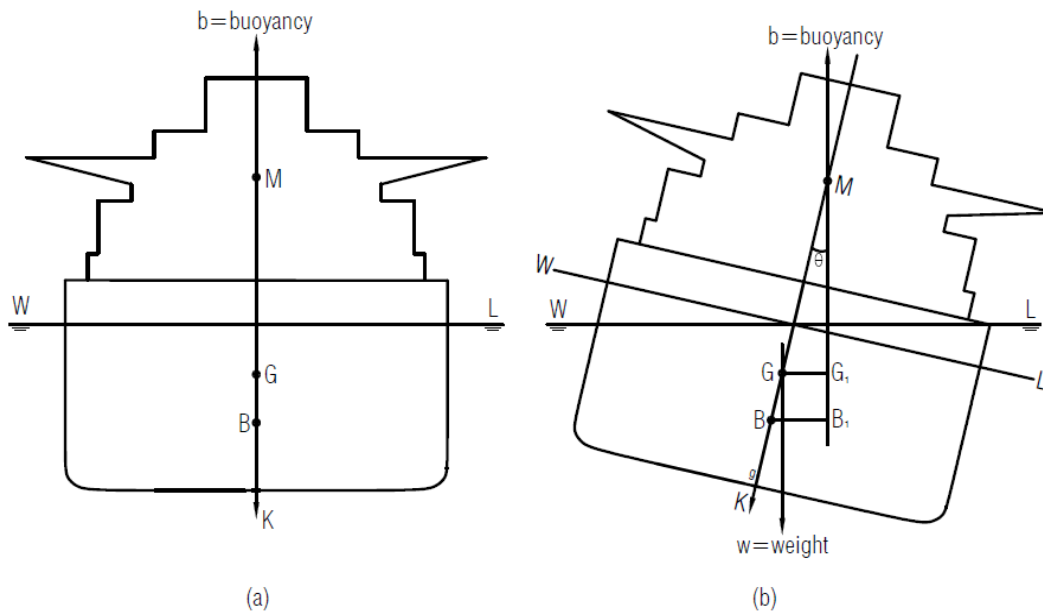
1 APA ITU ANGLE OF LIST?

Seperti yang kita pelajari di Bab 02, listing merupakan peristiwa olengan kapal akibat kondisi internal kapal, yaitu yang paling utama adalah akibat pemindahan muatan. Bagaimana fenomena listing dapat terjadi? Berikut adalah potongan transversal dari sebuah kapal yang dalam posisi *upright*. Dengan titik K, B, G, M sesuai pada Gambar 1. Resultan gaya yang bekerja pada kapal adalah sama dengan nol, alias tidak ada gaya yang bekerja pada kapal.



Gambar 1. Potongan transversal kapal dengan titik K, B, G, M sebagai parameter stabilitas kapal

Muatan yang ada di dalam kapal dipindah secara transversal sehingga titik berat kapal berpindah dari G ke G_1 , seperti tertera pada Gambar 2(a). Akibat perpindahan muatan ini, akan terjadi momen dengan nilai $W \times GG_1$ dan kapal akan mengalami list sampai titik B akan menyesuaikan diri dengan G_1 hingga berada dalam satu garis vertikal seperti tertera pada Gambar 2(b).



Gambar 2. Perpindahan muatan

Untuk sudut list yang kecil (<15 derajat), titik G_1 dapat diasumsikan berada satu garis vertikal yang sama dengan titik M . Dengan demikian, jika posisi M dan G diketahui, sudut list akan dapat ditentukan dengan menggunakan trigonometri sederhana, dimana segitiga $G-G_1-M$ merupakan segitiga siku-siku yang menunjukkan fenomena list dengan sudut sikunya di titik G dan sudut listnya di titik M , seperti tertera di Gambar 2(b).

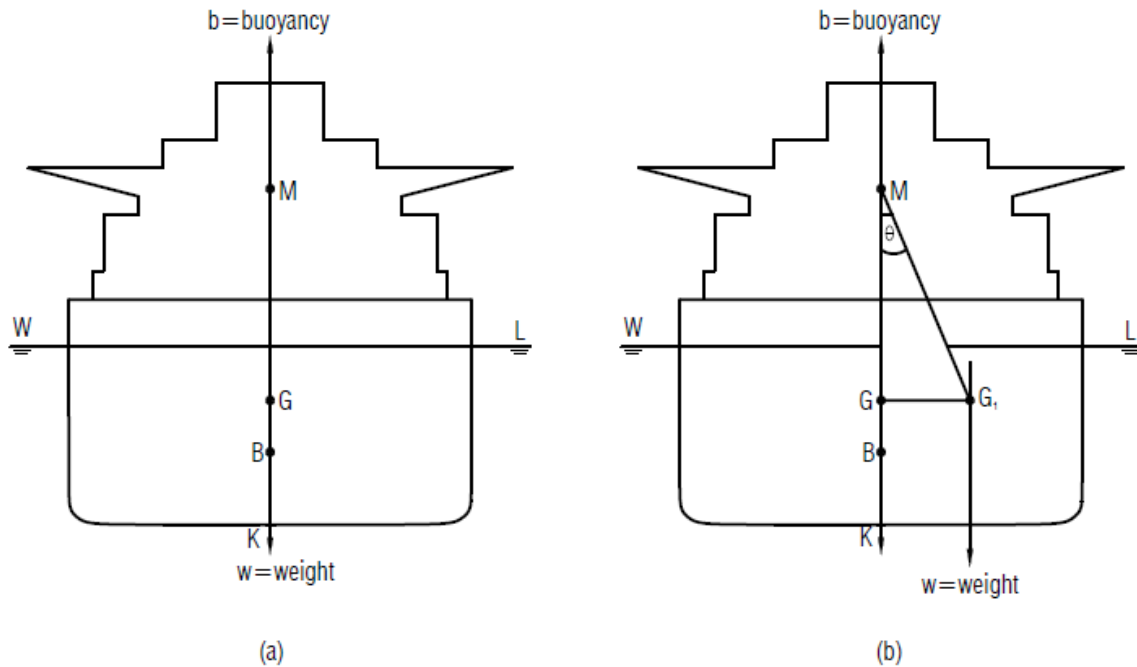
Penting untuk diingat bahwa posisi G harus sudah dihitung menggunakan metode yang sudah dijelaskan di bab SCL.1, tentang Final KG.

1.1 CONTOH 1: PERHITUNGAN ANGLE OF LIST SAAT PERPINDAHAN MUATAN TRANSVERSAL

PROBLEM. Bangunan apung dengan displacement 6000 ton memiliki $KM = 7.3$ m dan $KG = 6.7$ m. Muatan di dalam kapal dipindahkan 12 m secara transversal. Tentukan sudut list yang terjadi!

JAWABAN:

STEP 1. Gambarlah sketsa titik G dan M serta pemindahan muatannya, pada soal kali ini, sketsa digambar seperti Gambar 3 di bawah ini. Perhatikan Gambar 3(a), yang menunjukkan posisi awal G sebelum pemindahan muatan, dan Gambar 3(b) yang menunjukkan posisi G_1 ketika titik berat berubah karena terjadi pemindahan muatan.



Gambar 3. Sketsa titik G dan M

STEP 2. Ketika beban dipindahkan secara transversal maka titik berat juga akan berpindah secara transversal, dari G ke G₁. Akibat dari pemindahan ini adalah sudut listing θ derajat yang merupakan sudut yang menghubungkan M dengan G₁ secara vertikal, dengan jarak GG₁ yang dihitung dengan persamaan berikut

$$\overline{GG_1} = \frac{w \times d}{\Delta} \dots (1)$$

Dimana:

w = berat muatan yang dipindah (tonnes)

d = jarak pemindahan muatan transversal (m)

Δ = displacement (tonnes)

Maka dari data yang diberikan dapat dilakukan perhitungan:

$$\overline{GG_1} = \frac{60 \times 12}{6000}$$

$$\overline{GG_1} = 0.12 \text{ m}$$

Sedangkan untuk menghitung GM, dapat ditentukan dengan persamaan:

$$GM = KM - KG = 7.3 - 6.7 = 0.6 \text{ m}$$

STEP 3. Menghitung sudut list dengan persamaan sebagai berikut:

$$\tan \theta = \frac{\overline{GG_1}}{\overline{GM}} \dots (2)$$

$$\tan \theta = \frac{0.12}{0.6} = 0.2$$

$$\theta = \arctan(0.2) = 11.31^\circ$$

1.2 CONTOH 2: ANGLE OF LIST KETIKA PEMINDAHAN MUATAN HORIZONTAL

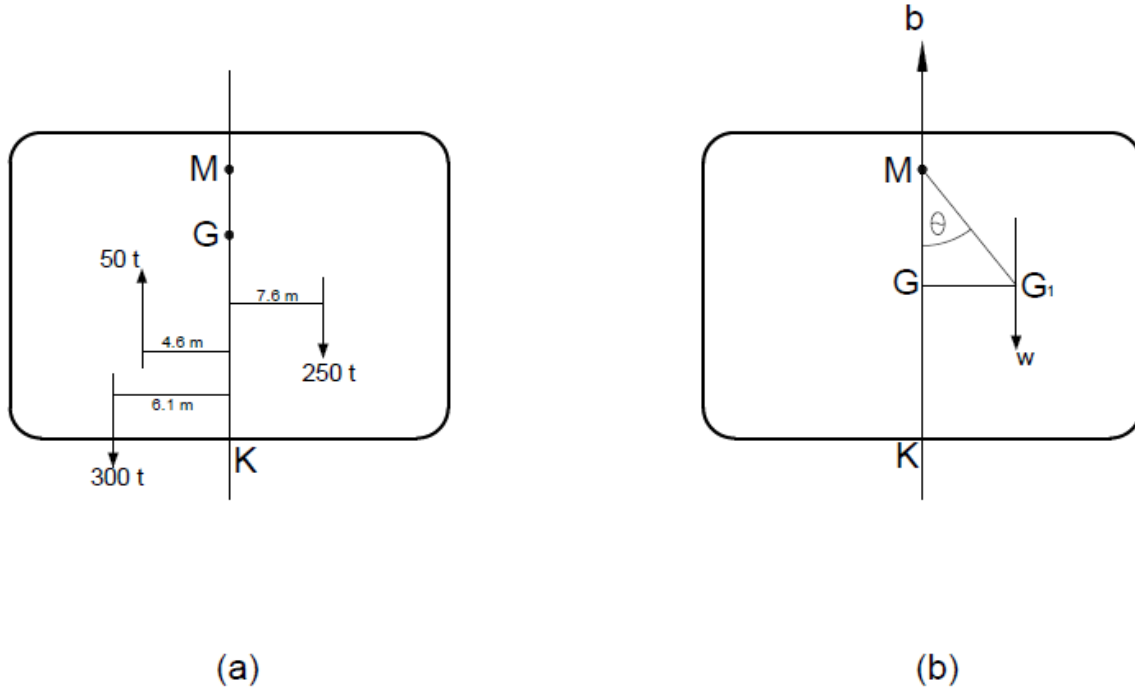
Angle of list dapat terjadi terutama karena pemindahan muatan secara horizontal pada penampang transversal kapal. Hal ini sangat penting untuk diketahui saat proses bongkar muat dan/atau proses desain agar kita tahu kapasitas maksimum masing-masing ruang muat agar kapal dapat berada pada posisi even keel. Berikut adalah contoh penyelesaian problem pemindahan muatan horizontal.

PROBLEM. Sebuah drillship dengan displacement 8000 tonnes memiliki KM = 8.7 m dan KG = 7.6 m. Drillship ini melakukan bongkar muat dengan rincian sebagai berikut:

- Memuat 250 tonnes suplai peralatan dengan KG = 6.1 dan titik berat melintang 7.6 m ke arah starboard dari centerline
- Memuat 300 tonnes bahan bakar dengan KG = 0.6 m dan titik berat melintang 6.1 m ke arah portside dari centerline
- Membuang 50 tonnes ballast dengan KG = 1.2 m dan titik berat melintang 4.6 m ke arah portside dari centerline.

Tentukan sudut listnya!

STEP 1. Membuat sketsa bongkar muat barang secara transversal. Gambar berikut menunjukkan sketsa bongkar muat yang telah dideskripsikan di atas.



STEP 2. Menghitung final KG akibat pemindahan muatan. Momen yang dihitung untuk mencari final KG adalah dari keel. Selalu gunakan tabel momen untuk menghitung final KG, seperti tertera pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Perhitungan momen terhadap keel

Item	Berat (tonnes) [(+) untuk muat, (-) untuk bongkar]	KG (m)	Momen terhadap Keel (tonnes. M)
Displacement	+8000	7.6	+60,800
Suplai	+250	6.1	+1525
Bahan bakar	+300	0.6	+180
Ballast	-50	1.2	-60
Total	8500	-	62,445

$$Final\ KG = \frac{Final\ Moment}{Final\ Displacement}$$

$$Final\ KG = \frac{62445}{8500}$$

$$Final\ KG = 7.35\ m$$

$$Dengan\ demikian\ maka\ GM = KM-KG = 8.70-7.35 = \underline{1.35\ m}$$

STEP 3. Menghitung momen muatan terhadap centerline. Seperti menghitung final KG, gunakan tabel momen seperti di atas, namun lengannya diukur dari centerline. Produk akhir dari step 3 adalah momen muatan terhadap centerline (*listing moment*). Tabel berikut menjelaskan proses perhitungan *listing moment*.

Tabel 2. Listing moment (momen terhadap centerline)

Item	Berat (tonnes) [(+)untuk muat, (-)untuk bongkar]	Lengan Momen (m) [(+) portside (-) starboard]	Momen terhadap centerline (tonnes.m)
Suplai	+250	-7.6	-1900
Bahan bakar	+300	+4.6	+1830
Ballast	-50	+6.1	-230
Final Moment			-300

Kita ingat di persamaan (1) bahwa:

$$\overline{GG_1} = \frac{w \times d}{\Delta} = \frac{\text{Final Moment}}{\text{Final Displacement}} \dots (1)$$

Maka:

$$\overline{GG_1} = -\frac{300}{8500}$$

$$\overline{GG_1} = -0.035 \text{ m}$$

Karena di *Tabel 2* kita menghitung lengan momen = (-) untuk jarak dari centerline ke starboard, maka nilai $\overline{GG_1} = 0.035 \text{ m}$ ke arah starboard. Kita ingat di persamaan (2):

$$\tan \theta = \frac{\overline{GG_1}}{\overline{GM}}$$

Maka:

$$\tan \theta = \frac{0.035}{1.35}$$

$$\tan \theta = 0.0259$$

$$\theta = 1.48^\circ$$

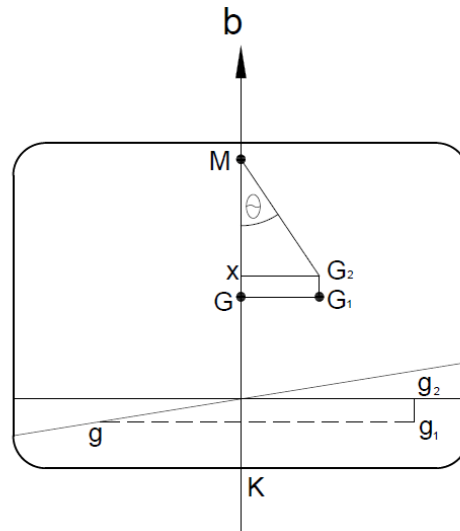
JAWAB: Listing terjadi 1.48 derajat ke arah starboard.

1.3 CONTOH 3: ANGLE OF LIST PADA PERPINDAHAN MUATAN CURAH

Contoh berikut merupakan aplikasi kalkulasi angle of list pada perpindahan muatan curah, mari kita perhatikan bagaimana kaidah-kaidah trigonometri sederhana dapat digunakan dalam perhitungan perpindahan muatan.

PROBLEM. Sebuah kapal curah dengan displacement 8000 tonnes memiliki $\overline{GM} = 0.5 \text{ m}$. Muatan kapal berupa grain, bergeser titik beratnya secara horizontal 6.1 m dan vertical 1.5 m. Berapa list yang terjadi akibat bergesernya muatan ini?

STEP 1. Membuat sketsa pergeseran titik berat. Perhatikan Gambar 4 berikut. Titik berat muatan yang awalnya di g , setelah terjadi pergeseran, akan berubah ke g_2 . Sehingga titik berat kapal yang semula di G akan berubah ke G_2 . Pergeseran terjadi secara vertical dan horizontal karena muatan pun bergeser secara vertical dan horizontal pula. Titik berat kapal menempuh jarak horizontal GG_1 , sedangkan jarak vertical dinotasikan dengan jarak G_1G_2 . Segitiga stabilitas akibat perpindahan muatan yang terbentuk adalah $x-G_2-M$. Sedangkan sudut listing θ dapat diketahui dengan mencari nilai tangen nya, yaitu xG_2/xM .



Gambar 4. Sketsa pergeseran titik berat

STEP 2. Menghitung jarak GG_1 dan G_1G_2 . Jarak ini diperlukan untuk menghitung nilai $\tan \theta$ agar dapat mengetahui nilai sudut listingnya.

$$\begin{aligned} \overline{GG_1} &= \frac{\text{Horizontal shift}}{\Delta} = \frac{w \times d_{hor}}{\Delta} \\ \overline{GG_1} &= \frac{80 \times 6.1}{8000} \\ \overline{GG_1} &= 0.061 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{G_1G_2} &= \frac{\text{Vertical shift}}{\Delta} = \frac{w \times d_{vert}}{\Delta} \\ \overline{G_1G_2} &= \frac{80 \times 1.5}{8000} \\ \overline{G_1G_2} &= 0.015 \text{ m} \end{aligned}$$

STEP 3. Menghitung jarak xG_2 dan xM untuk mengetahui nilai $\tan \theta$.

$$\begin{aligned} \overline{xG_2} &= \overline{GG_1} \\ \overline{xG_2} &= 0.061 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{xM} &= \overline{GM} - \overline{Gx}, \text{ dimana } \overline{Gx} = \overline{G_1G_2} \\ \overline{xM} &= 0.5 - 0.015 \\ \overline{xM} &= 0.485 \text{ m} \end{aligned}$$

STEP 4. Menghitung sudut list

$$\tan \theta = \frac{\overline{xG_2}}{\overline{xM}}$$
$$\tan \theta = \frac{0.061}{0.485} = 0.126$$
$$\theta = 7.18^\circ$$

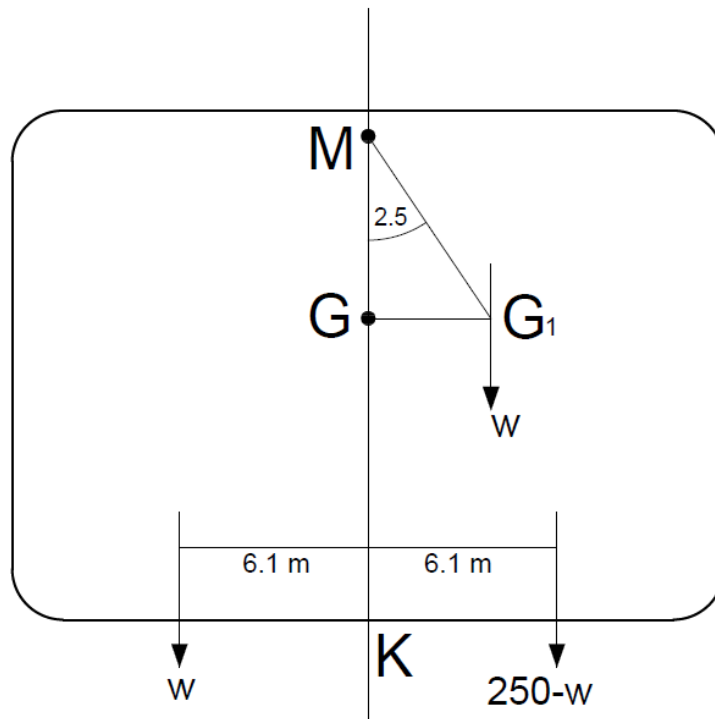
JAWAB: sudut list $\theta = 7.18^\circ$

1.4 CONTOH 4: MENENTUKAN BEBAN YANG HARUS DIMUAT KETIKA TERJADI LISTING

Pada suatu kasus tertentu, ketika kapal terjadi listing akibat ketidakberesan dalam pemuatan, kita dituntut untuk bisa menghitung beban yang harus dimuat agar kapal dapat kembali even keel. Berikut adalah contoh perhitungan beban yang harus dimuat.

PROBLEM. Kapal dengan displacement 13750 tonnes memiliki $GM = 0.75$ m. Kapal ini mengalami list 2.5 derajat ke starboard dan harus dimuati cargo sebanyak 250 ton. Saat ini ruang muat yang tersedia hanya tinggal dua ruang muat yaitu di portside dan starboard dengan titik berat melintang masing-masing 6.1 m dari centerline. Tentukan berapa banyak muatan yang harus dimuat di masing-masing ruang muat agar kapal dapat berada di posisi even keel!

STEP 1. Membuat sketsa kondisi listing kapal dan konfigurasi tanki. Gambar 5 di bawah ini memberikan sketsa kondisi eksisting kapal saat listing. Disebutkan di problem di atas bahwa terjadi listing 2.5 derajat ke starboard, dan terdapat dua ruang muat dengan titik berat melintang masing-masing 6.1 m dari centerline ke portside dan starboard.



Gambar 5. Sketsa kondisi list dan posisi tanki

STEP 2. Menghitung lengan momen yang terjadi saat listing.

$$\overline{GG_1} = \overline{GM} \tan \theta$$

$$\overline{GG_1} = 0.75 \tan 2.5^\circ$$

$$\overline{GG_1} = 0.75 \times 0.0437$$

$$\overline{GG_1} = 0.0328 \text{ m}$$

STEP 3. Menghitung momen terhadap centerline dengan tabel momen seperti yang dijelaskan di contoh 2.

Item	Berat (tonnes) [[(+)]untuk muat, (-)]untuk bongkar]	Lengan Momen (m) [[(+)] portside (-)] starboard]	Momen terhadap centerline (tonnes.m)
Portside tank	w	+6.1	+6.1w
Displacement	+13750	-0.0328	-451
Starboard tank	250-w	-6.1	-1525+6.1w
Final Moment			-1976+12.2w

STEP 4. Agar kapal pada posisi upright, final moment yang dihasilkan harus = 0

$$\text{Final moment} = 0$$

$$\text{Final moment} = 12.2w - 1976 = 0$$

Maka:

$$w = \frac{1976}{12.2} = 161.97 \text{ tonnes}$$

JAWABAN:

- Berat yang harus diletakkan pada portside = $w = 161.97$ tonnes
- Berat yang harus diletakkan pada starboard = $250 - w = 83.03$ tonnes

1.5 CONTOH 5: MENENTUKAN ANGLE OF LIST KETIKA CRANE KAPAL SEDANG BEROPERASI

Kapal yang memiliki crane di atas decknya, seperti Kapal Maersk Niamey di Gambar 6 berikut, harus dihitung kapasitas maksimum crane-nya agar tidak melebihi sudut list maksimum. Sudut list maksimum terjadi tepat ketika crane akan melakukan lifting. Contoh 5 akan membahas tentang proses perhitungan sudut list ketika crane melakukan lifting.



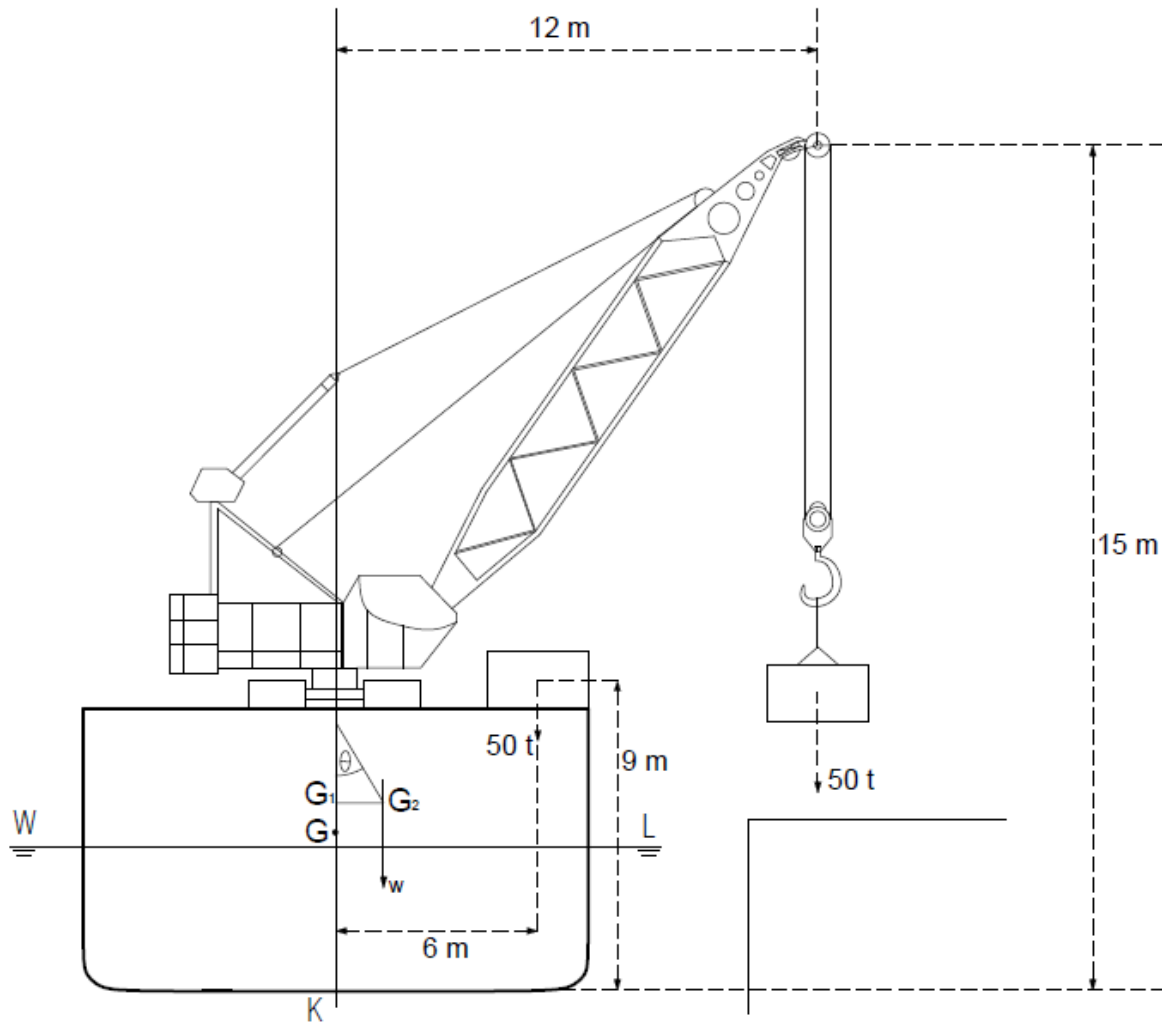
Gambar 6. Maersk Niamey

PROBLEM. Kapal Maersk Niamey yang memiliki crane di atas deck-nya dengan displacement = 9900 tonnes memiliki $KM = 7.3$ m dan $KG = 6.4$ m. Kapal sedang bersandar dan harus memuat 2 container dengan berat masing-masing 50 tonnes. Kapal sudah melakukan loading 1 container yang diletakkan di atas decknya dengan $KG = 9$ m dan titik berat melintang 6 m ke portside dari centerline.

Crane akan mengangkat container kedua dengan berat 50 tonnes, dengan jangkauan crane 12 m dari centerline ke portside dan 15 m dari Keel.

Tentukan sudut list yang terjadi ketika operasi lifting ini!

STEP 1. Menggambar sketsa operasi lifting serta posisi muatan yang sudah ada di atas deck. Perlu dicatat bahwa momen yang terjadi ketika lifting adalah pada derrick head, yang tidak lain merupakan titik terjauh dari keel dan centerline dimana beban diangkat. Gambar berikut ini merupakan sketsa operasi lifting sesuai deskripsi problem.



Gambar 7. Sketsa operasi lifting

STEP 2. Menghitung kenaikan titik G menggunakan tabel momen terhadap keel, seperti tertera di Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Momen terhadap keel

Item	Berat (tonnes) [[(+)] untuk muat, (-) untuk bongkar]	KG (m)	Momen terhadap Keel (tonnes. M)
Displacement	9900	6.4	63,360
Container on deck	+50	9.0	+450
Container on crane	+50	15	+750
Total	10.000	-	64,560

$$Final\ KG = \frac{Final\ Moment}{Final\ Displacement}$$

$$Final\ KG = \frac{64560}{10000}$$

$$Final\ KG = KG_1 = 6.456\ m$$

$$GG_1 = KG_1 - KG = 6.456 - 6.4 = 0.056\ m$$

Dari hasil perhitungan di atas ternyata terjadi kenaikan sejauh **0.056 m dari KG mula-mula.**

STEP 3. Menghitung momen terhadap centerline. Karena terdapat beban yang berada di luar centerline, maka momennya dihitung terhadap centerline.

Tabel 4. Tabel momen listing

Item	Berat (tonnes) [(+)untuk muat, (-)untuk bongkar]	Lengan Momen (m) [(+) portside (-) starboard]	Momen terhadap centerline (tonnes.m)
Displacement	9900	0	0
Container on deck	+50	+12	+600
Container on crane	+50	+6	+300
Listing Moment			+900

Berdasarkan sketsa, final momen merupakan produk dari:

$$Listing\ Moment = Final\ Displacement \times G_1G_2$$

Sehingga:

$$900 = 10000 \times G_1G_2$$

$$G_1G_2 = \frac{900}{10000}$$

$$G_1G_2 = 0.09\ m$$

STEP 3. Menghitung GM dan perpindahannya untuk menghitung segitiga listing.

$$GG_1 = KG_1 - KG = 6.456 - 6.4 = 0.056$$

$$Original\ GM = KM - KG = 7.3 - 6.4$$

$$GM = 0.9\ m$$

Berdasarkan segitiga listing G_1G_2M , maka GM yang baru adalah:

$$New\ GM = G_1M = GM - GG_1$$

$$= 0.9 - 0.056$$

$$G_1M = 0.844\ m$$

STEP 4. Menghitung sudut listing. Dari parameter segitiga listing yang telah diketahui, maka sudut listing dapat dihitung dengan proses yang dijelaskan sebagai berikut:

$$\tan \theta = \frac{G_1 G_2}{G_1 M}$$

$$\tan \theta = \frac{0.09}{0.844}$$

$$\tan \theta = 0.1066$$

$$\theta = 6.084^\circ$$

1.6 KESIMPULAN DARI 5 CONTOH DI ATAS

Dari ke-4 contoh yang telah dijelaskan di atas, maka 7 poin kesimpulan di bawah ini menjadi sangat penting untuk diingat dalam perhitungan listing:

1. Titik G dari bangunan apung akan berubah mendekati titik berat dari muatan yang ditambahkan
2. Titik G dari bangunan apung akan berubah menjauhi titik berat dari muatan yang dibongkar
3. Titik G akan bergerak parallel dengan muatan yang dipindahkan
4. Ketika sebuah muatan dipindah ke bawah, maka titik G akan juga ikut turun sehingga stabilitas kapal menjadi lebih besar
5. Ketika sebuah muatan dipindah ke atas, maka titik G akan juga ikut naik sehingga stabilitas kapal menjadi berkurang
6. Perubahan titik G, baik secara horizontal maupun vertical dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\overline{GG_1} = \frac{w \times d}{\Delta} \dots (1)$$

Dimana:

w = berat muatan yang dipindah (tonnes)

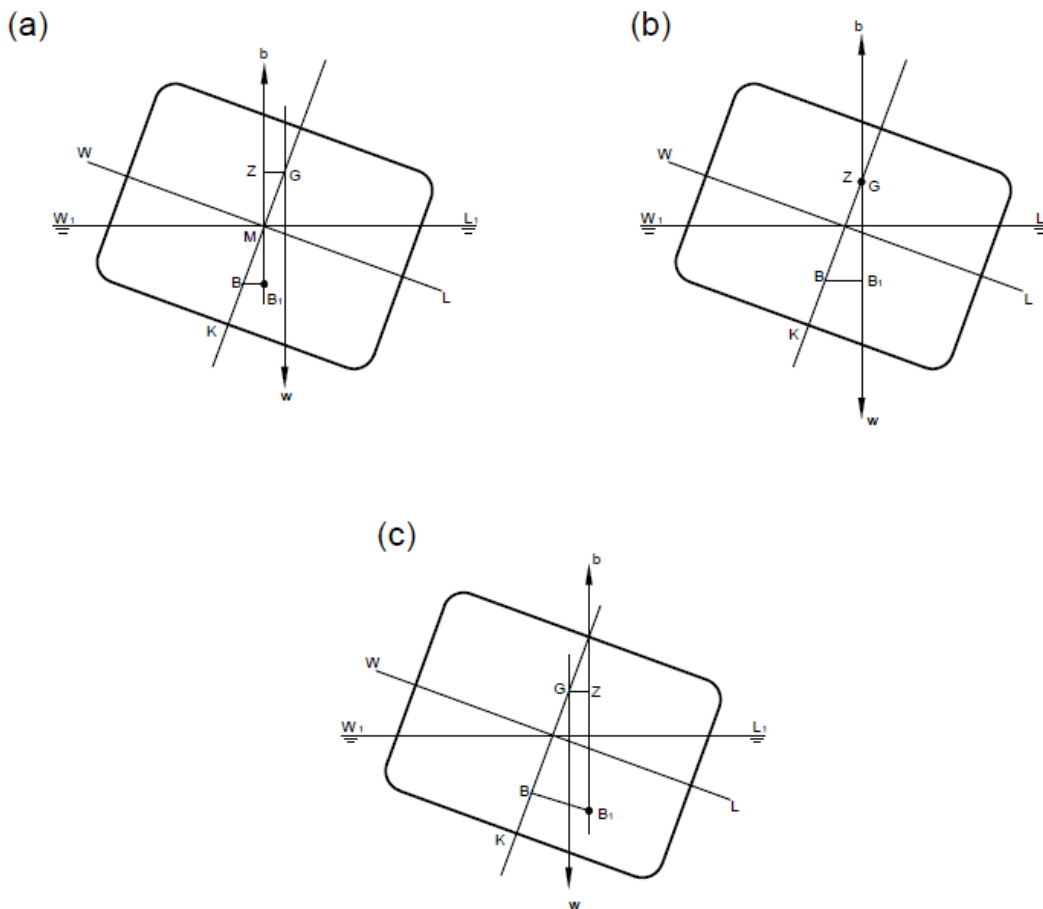
d = jarak pemindahan muatan transversal (m)

Δ = displacement (tonnes)

7. Ketika muatan diangkat oleh crane di atas deck, maka lengan momen yang terjadi adalah pada titik terluar, yaitu jarak tertinggi dari titik K dan jarak terjauh dari Centerline. Titik ini biasanya ada pada *point of suspension* dari sebuah muatan.

2 ANGLE OF LOLL

Seperti yang telah dijelaskan di awal perkuliahan (pertemuan 02), kapal yang memiliki negative GM akan menyebabkan capsizing moment dimana momen yang terjadi searah dengan momen heel sehingga kapal akan mengalami heel yang lebih besar, dan dapat menyebabkan kapal terbalik, seperti yang tertera di Gambar 8(a). Namun jika kapal terus menerus mengalami heel sampai pada saat dimana kapal mampu memberikan buoyancy force yang cukup, dan titik B berpindah ke titik B1 sehingga titik Z akan berhimpitan dengan titik G dan membuat momen pengembalinya menjadi sama dengan nol.



Gambar 8. Proses terjadinya angle of loll

Sudut heeling dimana hal ini terjadi, seperti diilustrasikan di Gambar 8, disebut sebagai angle of loll. Jika terjadi heeling lebih jauh lagi, maka kapal akan dapat dikembalikan, namun bukan ke posisi even keel namun ke posisi angle of loll, sketsa titik-titik stabilitas yang terjadi pada fenomena ini dijelaskan di Gambar 8(c). Angle of loll dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$\tan \theta_{loll} = \sqrt{\frac{2GM_{negative}}{BM}}$$

Dimana

$$\begin{aligned}\theta_{loll} &= \text{Angle of loll (degrees)} \\ \text{GM}_{\text{negative}} &= \text{Negative GM} \\ \text{BM} &= \text{BM ketika kondisi upright}\end{aligned}$$

2.1 CONTOH ANGLE OF LOLL

Sebuah box mengapung di air dengan $KG = 1.5$ m dan $KM = 1.225$ m. Box ini mengapung dengan draft 1.2 m. Apakah box ini akan mengapung pada posisi upright? Jika tidak, berapa angle of loll-nya?

STEP 1. Mengecek apakah GM-nya negative.

$$\begin{aligned}\text{KM} &= \text{KG} + \text{GM} \\ \text{GM} &= \text{KM} - \text{KG} \\ \text{GM} &= 1.225 - 1.5 \\ \text{GM} &= -0.275 \text{ m}\end{aligned}$$

Ternyata GM nya negative, sehingga kita harus menghitung angle of loll-nya.

STEP 2. Menghitung angle of loll.

$$\begin{aligned}\text{Draft} &= 1.2 \text{ m} \\ \text{KB} &= \frac{1}{2} \times \text{Draft} = \frac{1}{2} \times 1.2 = 0.6 \text{ m} \\ \text{KM} &= \text{KB} + \text{BM} \\ \text{BM} &= \text{KM} - \text{KB} = 1.225 - 0.6 \\ \text{BM} &= 0.625 \text{ m}\end{aligned}$$

Dengan demikian maka angle of loll:

$$\begin{aligned}\tan \theta_{loll} &= \sqrt{\frac{2GM}{BM}} \\ \tan \theta_{loll} &= \sqrt{\frac{0.55}{0.625}} = 0.9381 \\ \theta_{loll} &= 43.17^\circ\end{aligned}$$

3 ANGLE OF LIST VS ANGLE OF LOLL

Dari penjelasan dua bab di atas, ada sedikit kerancuan antara angle of list dan angle of loll, karena sama-sama membuat kapal menjadi miring. Padahal perbedaannya sangat besar. Apa saja perbedaannya? Mari kita simak perbandingan di Tabel 5 berikut ini:

Tabel 5. Angle of List vs Angle of Loll

Parameter	Angle of...	
	List	Loll
<i>Titik G</i>	Titik G berpindah ke salah satu sisi kapal akibat perpindahan muatan	Titik G terletak di centerline Titik G berhimpitan dengan titik M, $KG = KM$
<i>Garis GM</i>	Nilai GM Positive, yaitu titik G dibawah titik M dan berada di stable equilibrium	Nilai $GM = 0$ karena G berhimpitan dengan M. Jika titik G naik di atas titik M, kapal akan terbalik
<i>Sudut oleng</i>	Ketika sudut list terjadi, misal 3° ke arah portside, maka tidak terjadi osilasi sampai ke 3° arah starboard.	Sudut oleng akan terjadi di dua sisi yaitu 3° ke arah portside serta 3° ke arah starboard.
<i>Cara mengatasinya</i>	Memberikan counterweight, yaitu beban di sisi seberang kapal. Misal kapal list 3° ke arah portside, maka beban diberikan ke arah starboard hingga kembali upright	Titik G harus dibawa ke titik M, dengan menambah beban di bawah titik G, mengurangi beban di atas titik G, memberikan ballast serta menghilangkan free surface effect