

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal *RO-RO*

Kapal *Ro-Ro* (*Roll On – Roll Off*) merupakan tipe kapal penumpang yang dapat digunakan untuk mengangkut penumpang sekaligus kendaraan. Kapal *Ro-Ro* memiliki pintu rampa yang bekerja buka-tutup secara mekanis berfungsi untuk memuat kendaraan yang dihubungkan langsung ke dermaga. Pintu rampa pada Kapal *Ro-Ro* biasanya dibuat pada buritan, haluan, atau sisi kapal dilengkapi dengan *system lashing* untuk mencegah muatan kargo (kendaraan) bergeser saat berlayar pada cuaca yang buruk. Kendaraan di kapal dimuat dan dibongkar melalui pintu rampa. Gambaran yang lazim tentang Kapal *Ro-Ro* adalah hampir selalu memiliki landasan yang besar di buritan, sering juga memiliki empat buah landasan, landasan tersebut ditempatkan hanya pada salah satu sisinya. Saat ini banyak Kapal *Ro-Ro* yang beroperasi di berbagai lintasan penyebrangan Indonesia.

Jenis Kapal *Ro-Ro* Antara lain :

1. Kapal penyebrangan (*ferry*) yang melayani lintasan tetap seperti lintas Merak-Bangkauheni, Lintas Ujung-Kamal, Lintas Ketapang-Gilimanuk, Lintas Padangbay-Lembar dan berbagai lintasan lainnya.
2. Kapal pengangkut mobil (*Car Ferries*)
3. Kapal *general cargo* yang beroperasi sebagai Kapal *Ro-Ro*.

Kapal *Ro-Ro* 1340 GT yang menjadi objek dalam penelitian ini dimiliki oleh salah satu perusahaan *shipping* di Indonesia. Kapal berkapasitas 1340 GT dengan panjang kapal 68.0 Meter dan berawak 10 orang ini, dapat mengangkut 12 Tronton, 3 Mobil dan 400 penumpang dalam sekali perjalanan. Kapal ini selesai dalam kurung waktu ± 1 Tahun, dibangun pada awal tahun 2016 dan selesai pada pertengahan tahun 2017. Sekarang telah beroperasi di penyebrangan Ketapang – Gilimanuk.



(Sumber : data lapangan)

Gambar 2.1. Tampak Kapal *Ro-Ro* 1340 GT.

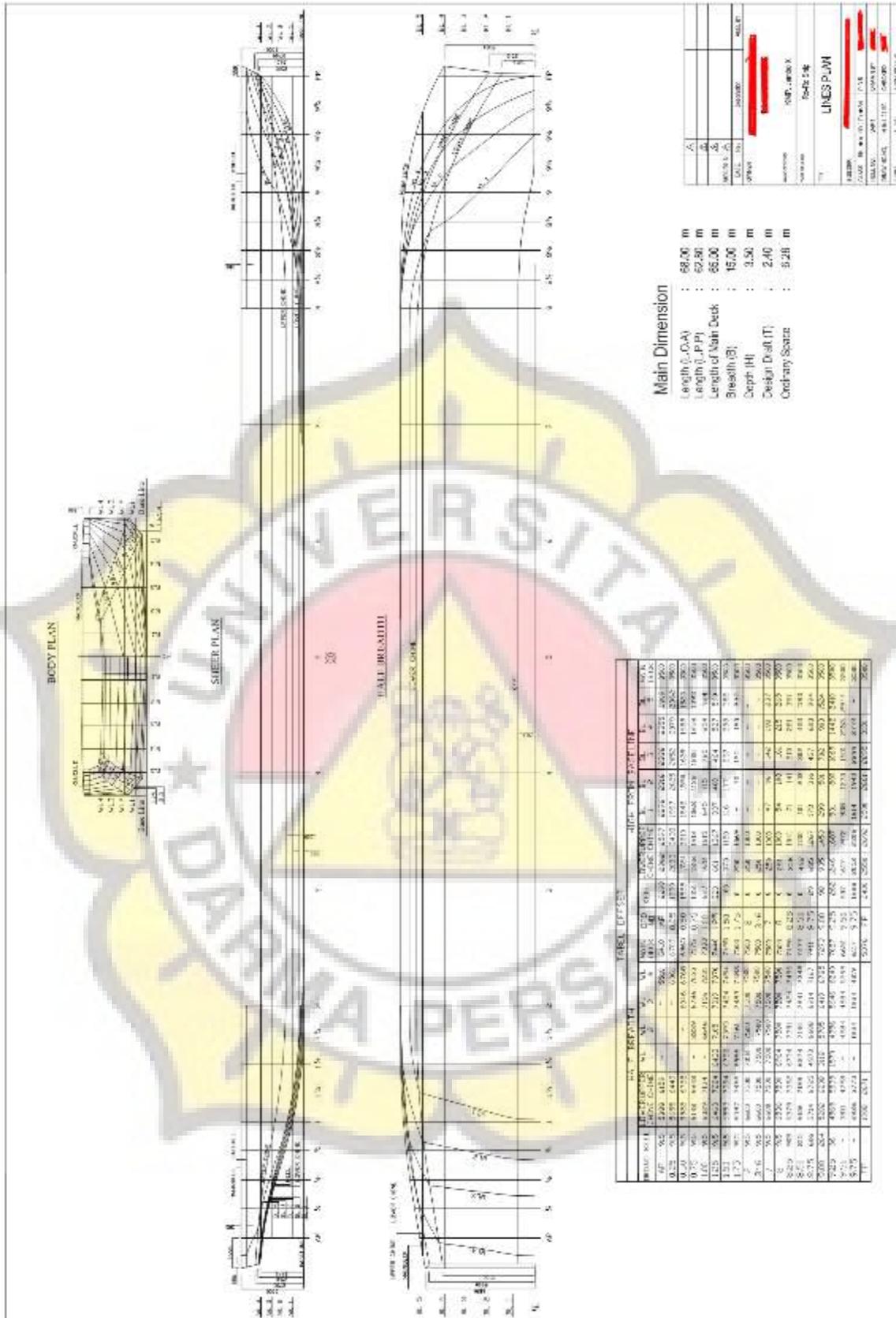
Ukuran Utama Kapal *Ro-Ro* 1340 GT :

- Panjang Keseluruhan (LOA) : 68.0 meter
- Lebar (B) : 15.0 meter
- Tinggi (H) : 3.5 meter
- Sarat (T) : 2.4 meter
- Kecepatan Dinas (V_s) : 12 *Knot*
- GRT : 1340 GT
- Crew : 10 *person*
- Passenger : 400 *person*
- Car : 12 Tronton, 3 Mobil
- Radius Pelayaran : \pm 4 Sea Mile (Ketapang-Gilimanuk)
- Klasifikasi : Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)
- Class Notations : \boxtimes A100IP \boxtimes SM



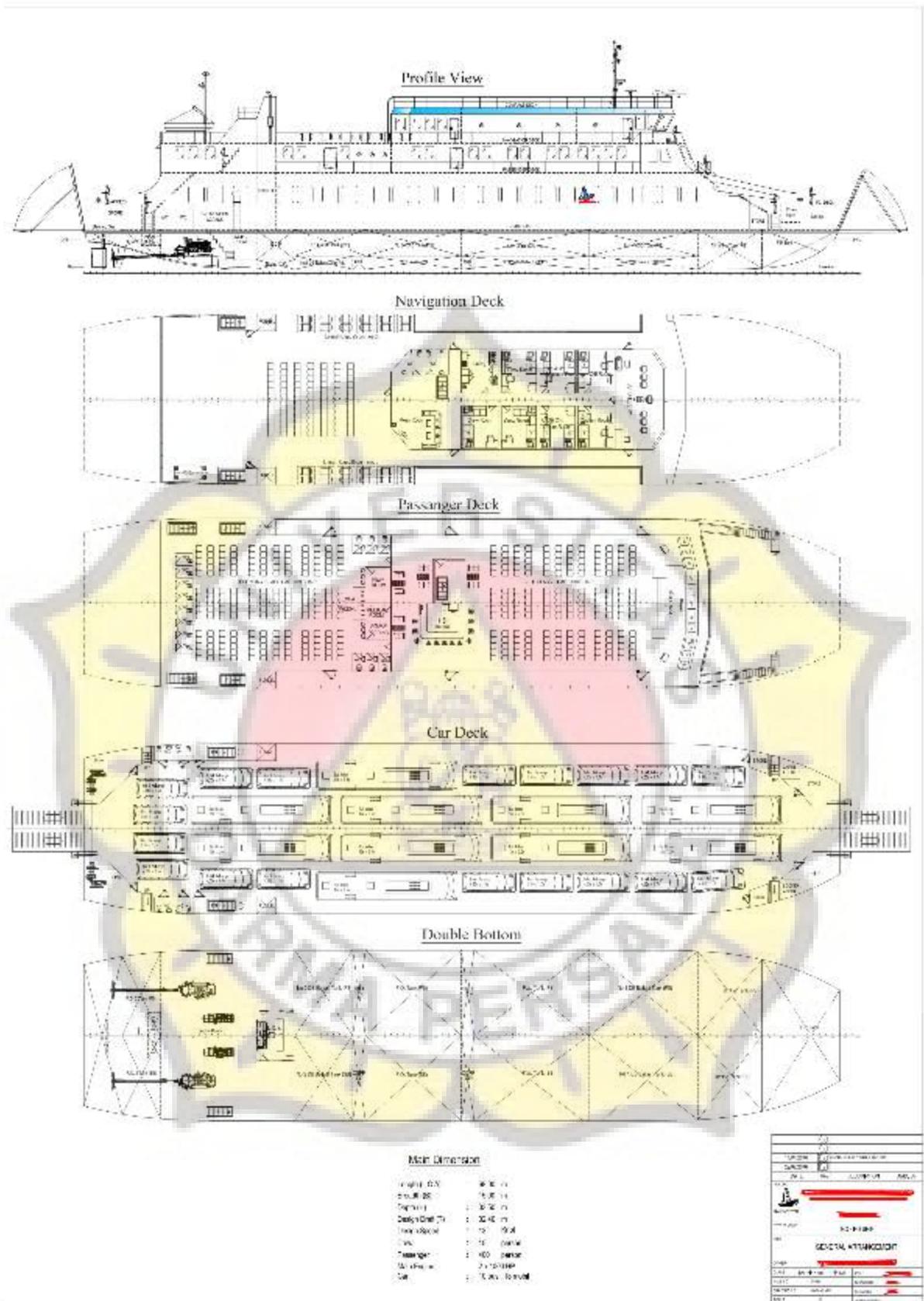
(Sumber : google earth)

Gambar 2.2. Radius Pelayaran Kapal *Ro-Ro* 1340 GT (Ketapang-Gilimanuk)



(Sumber : data lapangan)

Gambar 2.3. Lines Plan Kapal Ro-Ro 1340 GT.



(Sumber : data lapangan)

Gambar 2.4. General Arrangement Kapal Ro-Ro 1340 GT.

2.2 Stabilitas Kapal

Stabilitas dapat diartikan sebagai kemampuan kapal untuk kembali ke keadaan semula setelah dikenai oleh gaya luar. Kemampuan tersebut dipengaruhi oleh lengan dinamis (GZ) yang membentuk momen kopel yang menyeimbangkan gaya tekan ke atas dengan gaya berat. Komponen stabilitas terdiri dari GZ, KG dan GM. Dalam perhitungan stabilitas, yang paling penting adalah mencari harga lengan dinamis (GZ), kemudian setelah harga GZ didapat maka dilakukan pengecekan dengan "*intact stability code, IMO*".

Stabilitas adalah keseimbangan dari kapal, merupakan sifat atau kecenderungan dari sebuah kapal untuk kembali kepada kedudukan semula setelah mendapat senget (kemiringan) yang disebabkan oleh gaya-gaya dari luar (Rubianto, 1996). Sama dengan pendapat Wakidjo (1972), bahwa stabilitas merupakan kemampuan sebuah kapal untuk menegak kembali sewaktu kapal menyenget oleh karena kapal mendapatkan pengaruh luar, misalnya angin, ombak dan sebagainya.

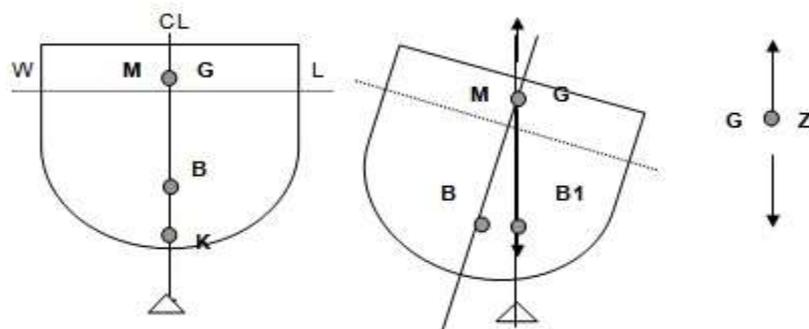
Pendapat lain mengenai stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk mengembalikan dari posisi oleng atau *heel* melintang kapal menuju ke posisi tegak kembali, setelah pengaruh gaya-gaya luar menyebabkan ke posisi tegak kembali, setelah pengaruh gaya-gaya luar yang menyebabkan oleng dihilangkan. Jadi yang dimaksud dengan kemampuan kapal untuk mengembalikan dari posisi oleng ke posisi tegak berupa besaran dalam bentuk momen penegak dan energi potensial dan untuk selanjutnya disebut stabilitas statis dan dinamis. Dalam teori bangunan kapal, stabilitas statis dan stabilitas dinamis dapat ditinjau dari sudut oleng. Bila sudut oleng yang terjadi kurang dari 9° maka disebut stabilitas statis awal dan stabilitas dinamis awal. Dan bila lebih besar dari 9° maka disebut stabilitas statis lanjut dan stabilitas dinamis lanjut.

2.2.1 Titik Penting dalam Stabilitas

Ada tiga titik yang penting dalam stabilitas kapal (Gambar 2.5) yaitu:

- G (*Gravity*) adalah titik pusat gravitasi kapal
- B (*Buoyancy*) adalah titik pusat apung kapal
- M (*Metacentre*) adalah titik tengah kapal

Titik G adalah titik berat Kapal yang dipengaruhi oleh konstruksi kapal. Titik B adalah titik tekan gaya apung dari volume air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tercelup dalam air. Titik M adalah titik air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tercelup air. Titik M adalah titik perpotongan gaya tekan ke atas pada keadaan tetap dengan faktor gaya tekan ke atas pada sudut oleng kecil.



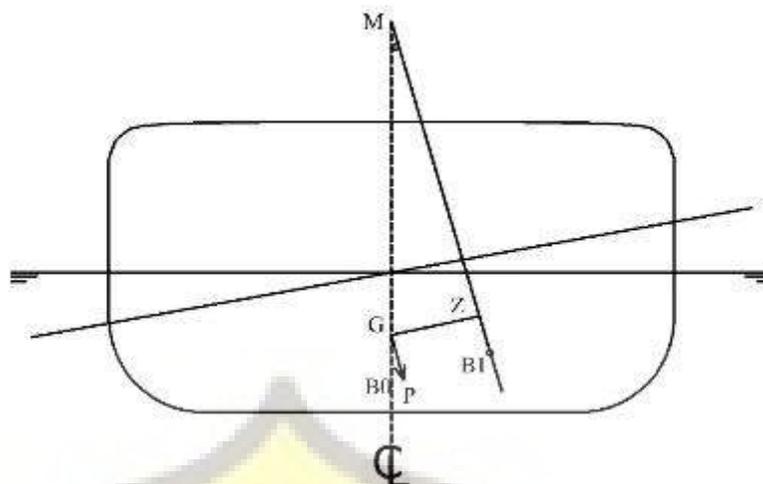
(Sumber :Cakasana & Manfaat 2007)

Gambar 2.5 Titik Stabilitas Kapal.

Pada keadaan kapal setimbang, titik G dan B harus berada pada garis vertikal terhadap permukaan zat cair dan besarnya gaya berat harus sama dengan gaya tekan ke atas. Apabila mendapat gaya dari luar, akan menyebabkan kemiringan, baik oleng maupun *trim* dengan asumsi titik G tidak mengalami perubahan tempat atau dengan kata lain muatannya bergeser, maka titik B akan berpindah tempatnya. Akibat kemiringan kapal, maka letak titik B akan berpindah juga sesuai dengan perubahan bentuk kapal yang tercelup. Jadi untuk kapal yang mengalami oleng, titik B akan berpindah menjadi B_0 pada bidang memanjang kapal.

Keadaan oleng kapal menyebabkan titik G dan B_0 tidak terletak dalam satu garis vertikal lagi terhadap yang baru. Maka kapal akan mengalami momen Berdasarkan kedudukan titik berat, ada tiga kondisi dalam stabilitas yakni stabil, netral dan labil.

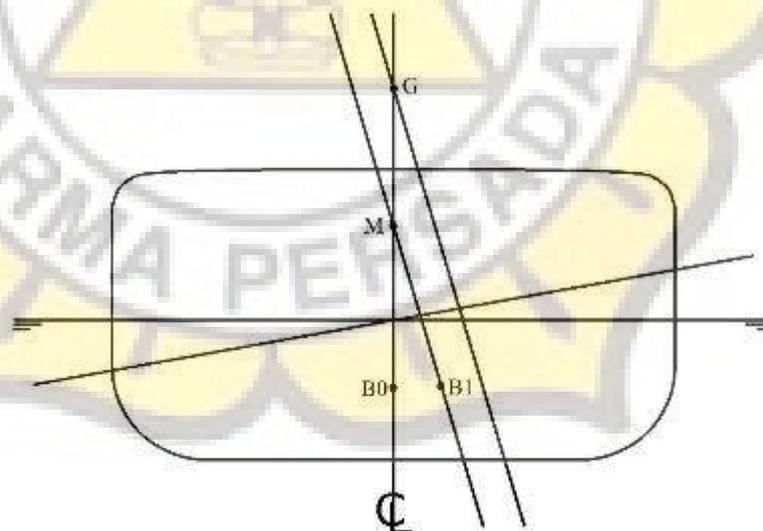
1. Titik G berada dibawah titik M pada kondisi ini MG berharga positif dan kapal dalam kondisi stabil. Keseimbangan Stabil Keseimbangan disebut stabil jika pengaruh gaya luar dihilangkan (tidak ada), maka benda akan bergerak kembali ke posisi semula (awal). Bila diperhatikan, untuk keseimbangan stabil, besar dx (jarak titik berat posisi awal dan akhir) setelah gaya-gaya luar dihilangkan adalah nol. Keseimbangan stabil adalah gaya metasenter (M) berada di atas gaya berat (G).



(Sumber :Cakasana & Manfaat 2007)

Gambar 2.6. Kapal saat kondisi stabil.

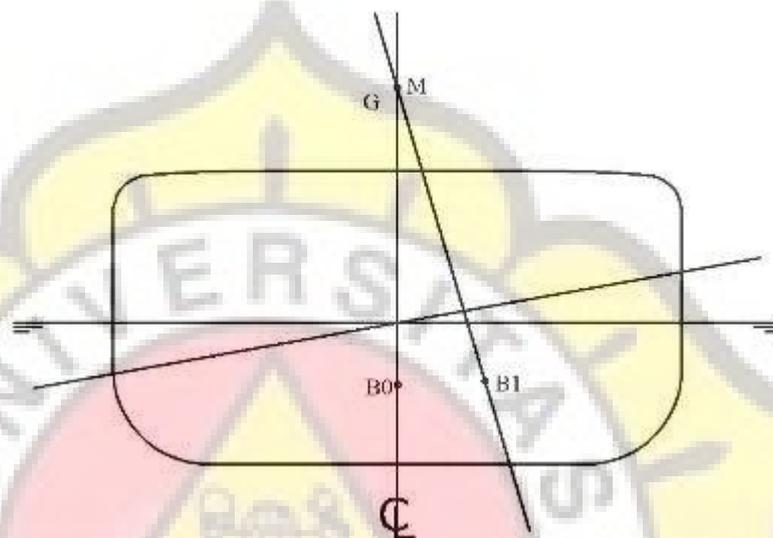
2. Titik M berada di bawah titik G. Keseimbangan disebut labil ketika pengaruh gaya luar dihilangkan, maka benda tidak akan kembali ke posisi semula melainkan akan bergerak terus menjauhi posisi awal. Titik berat benda pada posisi yang baru letaknya semakin jauh juga dari posisi titik berat awal. Keseimbangan labil adalah gaya metasenter (M) berada di bawah gaya berat (G).



(Sumber :Cakasana & Manfaat 2007)

Gambar 2.7. Kapal saat kondisi labil.

3. Titik M berimpit dengan titik G. Keseimbangan disebut *indiferen* atau netral jika pengaruh gaya luar dihilangkan (tidak ada), maka benda tidak akan kembali ke posisi semula (awal), tetapi tetap pada posisi yang baru. Keseimbangan *indeferen*/netral akan membentuk titik berat baru yang tingginya sama dengan titik berat awal sebelum adanya pengaruh gaya luar. Keseimbangan netral adalah gaya metasenter (M) berhimpitan dengan gaya berat (G).



(Sumber :Cakasana & Manfaat 2007)

Gambar 2.8. Kapal saat kondisi netral.

Terdapat 2 perhitungan stabilitas untuk kapal, yaitu *intact stability* dan *damage stability*. *Intact stability* adalah perhitungan stabilitas kapal utuh (tidak bocor) yang dihitung pada beberapa kondisi tangki untuk tiap-tiap derajat kemiringan kapal. Perhitungan *intact stability* dilakukan untuk mengetahui kemampuan kapal kembali pada posisi kesetimbangannya setelah mengalami kemiringan. Sedangkan *damage stability* adalah perhitungan kapal bocor (*damage*) yang dihitung pada beberapa kondisi untuk tiap-tiap derajat kemiringan. Perhitungan *damage stability* ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan kapal untuk menahan kebocoran agar tetap stabil ketika lambung kapal rusak atau bocor.

Dalam proses perhitungan stabilitas kapal, ada beberapa kriteria yang menjadi persyaratan apakah stabilitas suatu kapal memenuhi atau tidak. Kriteria tersebut secara umum tercantum pada *IMO regulation* untuk stabilitas. *IMO (International Maritime Organization)* membuat regulasi *SOLAS (Safety of Life at Sea)* sebagai regulasi keselamatan menjadi petunjuk dan arahan untuk para desainer kapal dalam mendesain kapal yang ideal. Rekomendasi *SOLAS* mengenai kriteria stabilitas minimum untuk kapal yang mengalami kebocoran dapat menjadi acuan dalam analisis peluang kapal tenggelam. Sesuai perhitungan *SOLAS Consolidated Edition 2014 Chapter II-1 Part B-1* terdapat dua index yang dibandingkan yaitu index R (*Required index*) yang tergantung pada panjang penyekatan kapal dan index A (*Attained subdivision index*) tergantung pada faktor P_i yang menunjukkan kemungkinan bahwa kompartemen atau beberapa kompartemen berhubungan mengalami kebocoran serta faktor S_i yang menunjukkan kemungkinan kapal akan selamat jika terjadi kebocoran. Dengan membandingkan nilai index A dan index R, maka dapat diketahui apakah *damage stability* dan penyekatan kapal sudah memenuhi standar *SOLAS*. Disamping itu ada juga peraturan atau *rule* yang diterbitkan oleh *classification society* seperti BKI, DNV, ABS, dll.

2.3 Pengertian Dasar Kebocoran (*Flooding*)

Kapal adalah suatu bangunan apung yang tersusun dari pelat-pelat besi dan baja. Kapal mempunyai kompartemen-kompartemen atau tangkai-tangkai. Jika kulit kapal, pelat kapal mengalami kerusakan maka akan mengakibatkan air laut masuk ke dalam ruangan atau kompartemen kapal tersebut. Hal ini berlangsung sampai terjadi keseimbangan baru dari kapal atau sampai kapal itu sendiri tenggelam karena kemasukan air. Ada beberapa penyebab kerusakan pada lambung kapal yang menyebabkan air bisa masuk ke dalam kompartemen kapal :

➤ Benturan dan gesekan dengan benda lain

Benturan pada lambung kapal dapat berupa benturan sesama kapal atau benturan antara kapal dengan benda yang berada diperairan seperti batu karang, *bouy*, rambu, kayu, bongkahan es ataupun gunung es dan lainnya. Tubrukan atau benturan dengan benda yang berada di tepi daratan seperti dermaga *jety* dan pemecah ombak yang letaknya menjorok ke perairan. Salah satu contoh Kapal

Motor Penumpang (KMP) Marisa Nusantara Tabrakan dengan Kapal Cargo Qihang berbendera kamboja di 3 Mil Pelabuhan Bakauheni, Lampung Selatan, Sabtu, 3 Mei 2014 (Pos Kota News, 2014)



(Sumber :Pos Kota News, 2007)

Gambar 2.9. Kondisi KMP Mariasa Nusantara Setelah Tabrakan

Gesekan juga dapat terjadi disaat kapal bergerak pada perairan yang dangkal ataupun melewati sungai. Dimana pada saat air surut lambung kapal terutama *bottom* bergesekan dengan bagian dasar perairan seperti pasir terumbu karang batu lumpur tanah dan bagian dari kapal yang karam.

Gesekan pada lambung kapal dapat menyebabkan terbentuknya deformasi pada bagian plat *bottom* dan dapat juga menyebabkan plat lambung kapal robek. Jika kapal bergerak terus dalam situasi bergesekan dengan benda yang berada di dasar perairan maka kemungkinan dapat berakibat fatal kapal tidak dapat bergerak lagi atau kandas dan sudah pasti terjadi kerusakan yang cukup parah. Salah satu contoh Kapal Lestari Maju yang mengalami bocor pada bagian lambungnya sehingga menyebabkan kapal tenggelam di perairan Selayar, Kabupaten Bulukumba, Sulawesi Selatan. (Detik News, 2018)



(Sumber :Detik News 2018)

Gambar 2.10. Kapal Lestari Tenggelam akibat bocor pada bagian lambung.

➤ Faktor Alam

Contoh kerusakan yang disebabkan oleh faktor alam antara lain adalah kerusakan yang disebabkan oleh hantaman gelombang laut terhadap badan kapal secara terus menerus dalam jangka waktu yang lama.

Umumnya terjadi pada plat lambung pada area *boottop* dimana plat tampak bergelombang atau bagian plat diantara *frame* terdesak kearah dalam konstruksi kapal yang tidak kuat menahan beban dari luar menyebabkan patah. Selain itu teritip hewan laut kecil *bio fouling* juga dapat merusak permukaan plat.

Adapun masalah-masalah yang timbul karena adanya kebocoran adalah :

- Terjadinya penambahan sarat dari garis kapal sebelum bocor dan sesudah bocor.
- Adanya pergeseran titik tekan karena sarat kapal bertambah besar yang disebabkan oleh adanya kebocoran dalam kapal.
- Tinggi *metasentra* dari kapal bocor pada suatu lambung kecil, garis muat tegak dan garis muat miring akan berpotongan pada garis yang sejajar dengan sumbu x dan garis potong ini akan melalui titik z. Dengan adanya ruangan kapal yang bocor, berarti bahwa momen *inersia* atau momen kelembaman dari kapal tersebut akan berkurang sebesar momen kelembaman ruangan yang bocor tersebut.
- Terjadi lambungan dan *trim* yang besar.

Dalam praktiknya mustahil untuk membuat kapal yang benar-benar mampu bertahan untuk tidak mengalami kebocoran (*flooding*) baik karena kecelakaan, kandas, ataupun sebab lainnya. Oleh sebab itu, para *naval architect* berusaha semaksimal dan seoptimal mungkin untuk mengurangi kemungkinan kapal tenggelam akibat kebocoran (*flooding*) baik dari segi konstruksi maupun peraturan dan standart pelayaran. Pada penelitian ini peraturan standart yang dipakai untuk mengatur tentang kebocoran pada Kapal *Ro-Ro* 1340 GT ini yaitu *SOLAS Consolidated Edition 2014 Chapter II-1 Part B-1* tentang *Damage Stability*.

2.4 Pendekatan Probabilistik

Dalam menghitung kebocoran dahulu para ahli menggunakan metode pendekatan *deterministic*, artinya dalam melakukan perhitungan sudah ditentukan lebih dahulu satu atau dua kompartemen yang akan mengalami kebocoran, sehingga volume air yang masuk dianggap tidak ada artinya jika dibandingkan dengan displacement kapal. Serta juga telah ditentukan akibat yang akan timbul yaitu oleng yang terjadi tidak lebih dari 6 (stabilitas

awal) dan garis air maksimum setelah bocor adalah *margin line* (garis yang jarak ya 3” dibawah geladak kekuatan).

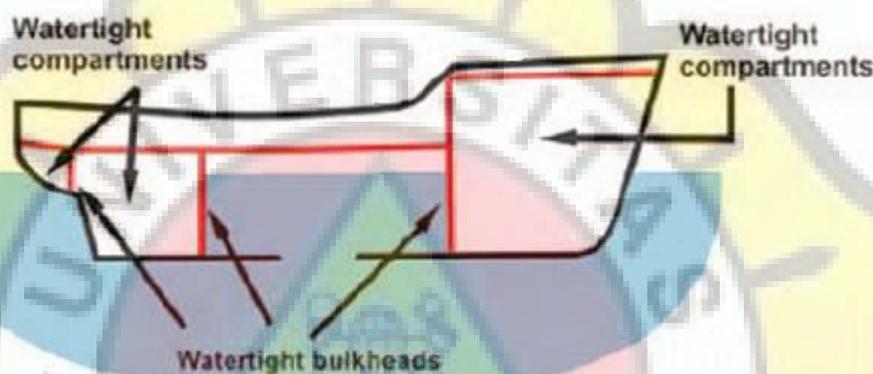
Pendekatan diatas sekarang sudah tidak bisa lagi digunakan karena kenyataannya tidak dapat ditentukan kompartemen mana yang mengalami kebocoran dan bagaimana akibat yang ditimbulkannya. Sehingga digunakan pendekatan baru yang lebih mendekati kenyataan dilapangan yaitu pendekatan Probabilistik. Wendel 1960, telah memperkenalkan notasi probabilitas kapal bisa bertahan setelah kebocoran dan metodenya dikenal dengan ‘*a new way*’. Pendekatan ini melakukan satu perhitungan yang mencakup seluruh kemungkinan kasus kebocoran sepanjang kapal yang bisa terjadi beserta kemungkinan kasus kebocoran itu bisa satu, dua, tiga atau lebih kompartemen yang saling berdekatan. Jadi dengan metode ini konfigurasi seluruh letak sekat memanjang maupun melintang Kapal dapat dinyatakan mampu bertahan atau tidak untuk membuat kapal bertahan jika mengalami banjir atau kebocoran tanpa perlu menghitung jarak per sekat.

Untuk mengakomodasi pendekatan baru ini dalam perhitungan *damage stability*, maka *IMO* membuat suatu set perhitungan melalui serangkaian penelitian dan berdasar pengalaman yang ada. Hal ini kemudian dituangkan dalam *SOLAS requirement Chapter II Part B-1 tentang subdivision and damage stability of cargo ship and passenger ship* yang mulai diberlakukan pada tanggal 1 februari 1992. Perhitungan *SOLAS* telah mencakup 2 hal yang disyaratkan dan dibutuhkan dalam perhitungan *damage stability* berdasarkan pendekatan Probabilistik, yaitu:

1. Perhitungan (P_i) yang mengakomodasi Probabilistik atau kemungkinan tentang kompartemen atau group kompartemen mana yang akan mengalami kebocoran. Kemungkinan ini berlaku sepanjang kapal, yaitu mulai 1 kompartemen bocor sampai kemungkinan kompartemen seluruh panjang kapal mengalami kebocoran. Yang perlu dicatat bahwa kemungkinan bocor dari group kompartemen yang terjadi adalah kompartemen yang saling berdekatan.
2. Perhitungan (S_i) yang mengakomodasi Probabilistik atas kemungkinan kapal jika kapal mengalami kebocoran pada kompartemen atau group kompartemennya. Kemungkinan ini juga berlaku sepanjang kapal.

2.5 *Damage Stability*

Damage stability atau dalam Bahasa Indonesia stabilitas saat kapal bocor adalah keadaan stabilitas kapal setelah mengalami kebocoran (masuknya air ke dalam kompartemen kapal yang bisa terdiri satu kompartemen atau lebih dari satu kompartemen yang saling berdekatan). Pada perkembangan terakhir, tahun 1990-an, perhitungan *damage stability* dihitung dengan pendekatan Probabilistik karena mendekati kejadian yang sebenarnya ketika Kapal mengalami kebocoran. Sejak tanggal 1 februari 1992 perhitungan *damage stability* dengan menggunakan pendekatan Probabilistik resmi disyaratkan oleh SOLAS.



(Sumber : M. Zaky 2012)

Gambar 2.11. *Damage Stability*

2.6 Metode Perhitungan *Damage Stability*

Untuk menghitung *damage stability*, metode yang biasa digunakan, yaitu:

➤ *Lost Buoyancy Methode*

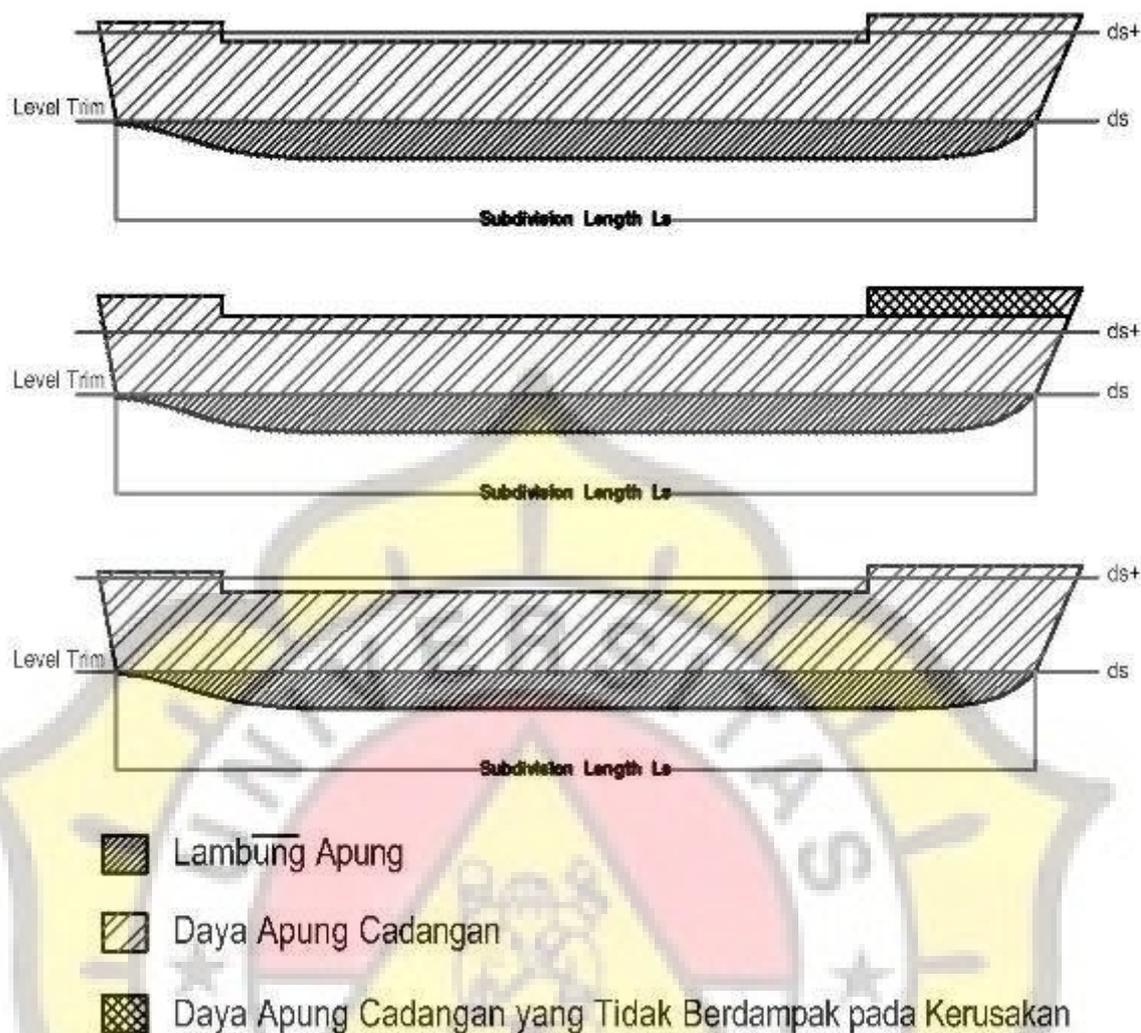
Prinsip dari metode perhitungan ini adalah bahwa ketika kapal mengalami kebocoran, maka ruangan yang kemasukan air sudah tidak dianggap lagi sebagai bagian dari kapal. Karena bagian kapal berkurang, maka besar *buoyancy* atau gaya tekan keatas juga berkurang. Berkurangnya *buoyancy* maka kapal akan terjadi *sinkage* yang menyebabkan sarat kapal akan naik.

2.7 Persyaratan SOLAS Consolidated Edition Chapter II-1 Part B-1 Tentang *Subdivision and Damage Stability of Cargo Ship and Passenger Ship*

Persyaratan ini berlaku efektif mulai 1 Februari 1992, artinya semua Kapal kargo dan Kapal penumpang yang dibangun pada dan setelah tanggal tersebut harus mengikuti aturan dan persyaratan yang telah dibuat dan dimuat dalam *SOLAS Chapter II-1 Part B-1* sampai *Part B-4*.

Dalam persyaratan SOLAS akan didapat istilah-istilah yang berhubungan dengan perhitungan yaitu :

1. *Subdivision Load Line*: garis air yang digunakan untuk menentukan jarak sekat pada kapal.
2. *Deepest Subdivision Load Line* : *Subdivision Load Line* yang merupakan sarat kapal pada musim panas (*summer draught*).
3. *Partial Load Line* : sarat kapal kosong ditambah 60% jarak antara sarat kapal kosong dan *deepest subdivision load line*.
4. *Light Services Draft* : sarat kapal yang disesuaikan pada antisipasi muatan paling ringan yang dibutuhkan untuk menjaga kondisi stabilitas atau tercelupnya propeller.
5. *Subdivision Length of The Ship (L_s)* : panjang yang diukur antara garis tegak pada *deepest subdivision load line*.
6. *Mid Length* : titik tengah *subdivision length*.
7. *Aft Terminal* : ujung belakang dari *subdivision length*.
8. *Forward Terminal* : ujung depan dari *subdivision length*.
9. *Breadth (B)* : lebar terbesar kapal pada *deepest subdivision load line*.
10. *Draught (d)* : tinggi dari *moulded baseline* pada titik tengah *subdivision length* ke *subdivision load line*
11. *Permeability (p)* : bagian dari volume ruang muat yang dapat ditempati oleh air bocor.



(Sumber :Andi Muhammad Akmal 2013)

Gambar 2.12 Panjang Subdivisi (L_s) kapal

2.8 Perhitungan *Damage Stability* (SOLAS Requirement)

Indek derajat *subdivision* yang dicapai (*Attained Subdivision*) Indeks A sebuah kapal tidak boleh kurang dari harga indeks R. Indeks A dihitung berdasarkan persamaan dibawah ini :

$$A = \sum P_i S_i \quad (\text{Sumber : SOLAS 2014 Chapter II-1 Part B-1})$$

Dimana :

i = Menunjukkan kompartemen atau kelompok kompartemen yang berdekatan dan dianggap dapat mengalami kebocoran dan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap nilai A.

P_i = Hasil perhitungan (nilai) yang menunjukkan probabilitas/kemungkinan bahwa Kompartemen yang dipilih (i) akan dapat mengalami kebocoran.

S_i = Hasil perhitungan (nilai) yang menunjukkan probabilitas kemungkinan kapal selamat setelah kompartemen yang dipilih (i) mengalami kebocoran.

Panjang subdivisi dari kapal adalah proyeksi panjang terbesar dari bagian kapal dibawah geladak atau geladak yang membatasi jarak vertikal dari genangan dengan kapal yang berada pada garis muat subdivisi tertinggi dan disimbolkan sebagai (L_s).

Perhitungan ini harus mencakup seluruh kasus yang mungkin terjadi sepanjang kapal (L_s) yang memberikan kontribusi pada nilai index A. Kasus ini bisa terjadi untuk satu kompartemen atau beberapa kompartemen yang saling berdekatan. Jika terdapat *wing compartement* maka perhitungan juga harus mengikut sertakan kompartemen ini. Kompartemen ini bisa menjadi kasus *flooding* tersendiri dan juga bisa berupa gabungan dengan kompartemen di dalamnya.

Jika terdapat sekat memanjang maka kasus yang dihitung adalah kasus kebocoran pada salah satu sisi kapal yang mengakibatkan terjadinya olangan/hell. Jika terdapat sekat memanjang yang terletak tepat pada *centerline* maka sekat ini dianggap tidak pernah rusak.

2.8.1 Required Subdivision indeks R

Peraturan SOLAS tentang *Subdivision* dibuat dimaksudkan untuk mendapatkan jarak sekat minimum bagi Kapal yang masih mempengaruhi standart keselamatan. Memenuhi atau tidaknya *subdivision* satu kapal ditempatkan oleh suatu indeks derajat sub division (R) untuk kapal penumpang yang didefenisikan seperti persamaan dibawah ini :

$$R = 1 - \frac{5,000}{L_s + 2.5N + 15.225} \quad (\text{Sumber : SOLAS 2014 Chapter II-1 Part B-1})$$

Dimana :

$$N = N_1 + N_2$$

N_1 = Jumlah penumpang yang disediakan *lifeboats*

N_2 = Jumlah penumpang termasuk (ABK & Crew) yang diijinkan di kapal melebihi N_1 .

2.8.2 Attained Subdivision Indeks A

Kemungkinan bertahannya kapal setelah mengalami kebocoran akibat kebocoran lambung kapal diungkapkan oleh indeks A. Untuk menghasilkan indeks A memerlukan skenario perhitungan kebocoran berbagai divisi oleh tingkat kebocoran dan kondisi beban awal kapal sebelum kebocoran. Tiga pemuatan kondisi harus dipertimbangkan dan hasil bobot sebagai berikut :

$$A = 0.4 A_s + 0.4 A_p + 0.2 A_i \quad (\text{Sumber : SOLAS 2014 Chapter II-1 Part B-1})$$

Dimana :

- Indeks s, p dan i mewakili tiga kondisi beban dan faktor yang dikalikan indeks menunjukkan bagaimana indeks A dari setiap kondisi pembebanan tertimbang.

Metode perhitungan A untuk kondisi pembebanan yang dinyatakan dengan rumus :

$$A_c = \sum_{i=1}^{t} P_i \cdot S_i \quad (\text{Sumber : SOLAS 2014 Chapter II-1 Part B-1})$$

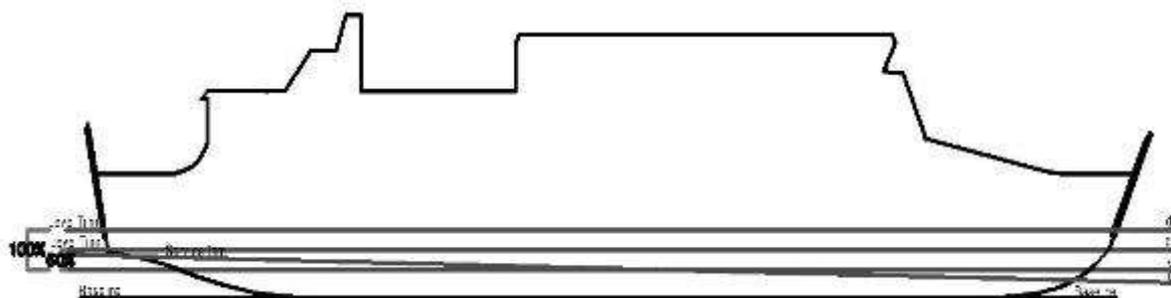
Dimana

- Indeks c merupakan salah satu dari tiga kondisi beban, indeks i mewakili masing-masing kebocoran yang diselidiki atau kelompok kebocoran dan t adalah jumlah kerugian yang harus diselidiki untuk menghitung A_c untuk kondisi pembebanan tertentu.

Indeks A dibagi menjadi beberapa faktor parsial sebagai berikut :

- P_i faktor P_i adalah semata-mata tergantung pada geometri dari susunan kedap dari kapal.
- V_i faktor V_i tergantung pada geometri dari perencanaan ruang kedap dari kapal dan kondisi pembebanan awal. Ini mewakili kemungkinan bahwa ruangan diatas subdivisi horizontal.
- S_i faktor S_i tergantung pada kemampuan bertahan kapal, dihitung dari kapal setelah dianggap bocor untuk kondisi awal.

Tiga kondisi pembebanan awal harus digunakan untuk menghitung indeks A. kondisi pemuatan yang ditentukan oleh rata-rata rancangan sarat (d), trim dan GM (atau KG). Sarat rata-rata dan trim diilustrasikan pada gambar 2.10 sebagai berikut :



(Sumber :Andi Muhammad Akmal 2013)

Gambar 2.13 Kondisi Kapal saat sarat pemuatan

Nilai MG dari ketiga kondisi itu dapat diambil dari kurva stabilitas. Jika indeks R yang diperlukan belum diperoleh maka nilai MG dapat dinaikan dengan syarat untuk menaikkan nilai MG berdasarkan pada ketentuan-ketentuan pembebanan stabilitas. Sehingga memperoleh nilai MG yang digunakan untuk menghitung *damage stability*.

2.8.3 Perhitungan Faktor Pi

Notasi – notasi yang akan digunakan dalam perhitungan ini adalah :

J : Jumlah kerusakan zona yang mengalami kebocoran dihitung dari No.1 dari Buritan

n : Jumlah zona yang berdekatan terhadap kebocoran

k : Jumlah sekat memanjang tertentu sebagai pembatas tekanan melintang terhadap zona bocor yang dihitung dari kulit (*shell*) menuju titik tengah Kapal. *Shell* memiliki nilai $k = 0$

x1 : Jarak antara ujung belakang Ls dengan ujung belakang kompartemen yang mengalami kebocoran.

x2 : Jarak antara ujung belakang Ls dan ujung depan kompartemen yang mengalami kebocoran.

b : jarak melintang rata-rata dalam meter diukur dari sudut siku ke *centerline* pada *Subdivision load line* antara *shell* dan diasumsikan bidang vertikal yang Diperpanjang antara batas memanjang yang digunakan pada perhitungan faktor *Pi* Dan yang sama dengan semua atau sebagian bagian terluar sekat memanjang Sebagai pertimbangan.

$$E1 = x1/L1$$

$$E2 = x2/L2$$

$$E = E1 + E2 - 1$$

$$J = E2 - E1$$

$$J' = J - E \text{ bila } E \geq 0$$

$$J' = J + E \text{ bila } E < 0$$

Panjang kerusakan non dimensional maksimum

$$J_{\max} = 48/L_s \quad \text{tetapi tidak kurang dari } 0.24$$

Asumsi distribusi fungsi dari lokasi kerusakan yang membentang sepanjang kapal adalah

$$F = 0.4 + 0.25E (1.2 + a)$$

$$y = J/J_{\max}$$

$$p = F1 \cdot J_{\max}$$

$$q = 0.4 F2 \cdot (J_{\max})^2$$

$$F1 = y^2 - 1/3 y^3 \quad \text{bila } y < 1$$

$$F1 = y - 1/3 \quad \text{bila } y \geq 1$$

$$F2 = 1/3 y^3 - 1/12 y^4 \quad \text{bila } y < 1$$

$$F2 = 1/2 y^2 - 1/3 y + 1/12 \quad \text{bila } y \geq 1$$

Perhitungan P_i dilakukan sebagai berikut :

Besarnya faktor P_i untuk *single compartement* adalah

- a) Untuk kompartemen yang panjangnya adalah L_s , artinya kapal hanya memiliki satu kompartemen, tanpa adanya sekat melintang.

$$P_i = 1$$

- b) Untuk kompartemen di ujung belakang kapal (ujung belakang kompartemen merupakan ujung belakang L_s).

$$P_i = F + 0.5 ap + q$$

- c) Untuk kompartemen di ujung depan kapal (ujung depan kompartemen merupakan ujung depan L_s).

$$P_i = 1 - F + 0.5 ap$$

- d) Kompartemen berada diantara ujung depan dan ujung belakang L_s .

$$P_i = ap$$

Dalam mengimplementasikan 4 persamaan di atas, jika kompartemen yang dianggap dapat mengalami kebocoran panjangnya melewati titik tengah dari L_s maka hasil perhitungan dikurangi dengan nilai q . Besarnya faktor P_i untuk kelompok atau group kompartemen ditentukan sebagai berikut :

Untuk grup yang terdiri dari 2 kompartemen :

$$P_i = P_{12} - P_1 - P_2$$

$P_i = P_{23} - P_2 - P_3$, dan seterusnya.

Untuk group yang terdiri dari 3 kompartemen :

$$P_i = P_{123} - P_{12} - P_{23} - P_3, \text{ dan seterusnya.}$$

Untuk group yang terdiri dari 4 kompartemen :

$$P_i = P_{1234} - P_{123} - P_{234} - P_{34}$$

$P_i = P_{2345} - P_{234} - P_{345} - P_{34}$, dan seterusnya.

Dengan :

P_{12} , P_{23} , P_{34} dan seterusnya.

P_{123} , P_{234} , P_{345} dan seterusnya.

P_{1234} , P_{2345} , P_{3456} dan seterusnya.

Dihitung seperti *single kompartemen* dengan *non dimensional length*, J dihitung dengan panjang gabungan kompartemen tersebut.

Faktor P_i untuk group dari tiga atau lebih kompartemen lainnya = 0 jika nilai J group tersebut dikurangi nilai J dari kompartemen ujung depan dan belakang di dalam group itu lebih besar dari J_{max} .

2.8.4 Perhitungan Faktor S_i

Untuk masing-masing kompartemen dan group kompartemen (i) nilai S_i didapat dari persamaan berikut :

$$S_i = \text{minimum } S_{final\ i}$$

Dimana :

$$S_{final\ i} = K \cdot \left[\frac{GZ_{max} \cdot Range}{0.12 \cdot 16} \right]^{\frac{1}{4}}$$

(Sumber : SOLAS 2014 Chapter II-1 Part B-1)

GZ_{maks} adalah lengan pengembali (*righting arm*) positif yang paling besar pada kurva stabilitas statis, tetapi tidak boleh lebih besar dari 0.12 m. *range* adalah jarak antara sudut *list* (θ) dan sudut tenggelam dengan nilai tidak lebih besar dari 16° . Nilai $S_i = 0$ jika garis air akhir dengan *trim* dan *heel* yang terjadi telah menyentuh sisi atau sudut terendah dari lubang palkah atau bukaan lain di geladak yang menyebabkan terjadinya *progressive flooding*.

2.9 Permeability

Untuk tujuan *subdivision* dan perhitungan *damage stability* berdasarkan regulasi, permeabilitas pada masing-masing kompartemen atau bagian kompartemen harus memenuhi sebagai berikut :

Tabel 2.1 *Permeability*

<i>Spaces</i>	<i>Permeability</i>
1. Kompartemen untuk <i>store/gudang</i>	0.60
2. Ruang Akomodasi	0.95
3. Ruang Mesin	0.85
4. Kompartemen muatan kering	0.95
5. <i>Itended for liquid</i>	0 atau 0.95 ¹

(Sumber : Solas Chapter Damage Stability)

2.10 Floodable Length

Keselamatan kapal dan penumpang dalam pelayaran dinasnya merupakan masalah yang harus mendapat perhatian khusus dalam merancang kapal. Memperhatikan bahwa banyak faktor yang mengakibatkan terjadinya gangguan terhadap keselamatan tersebut, salah satunya adalah pembagian sekat kedap air (*Subdivision*) dibawah geladak kapal.

Dalam peraturan SOLAS disebutkan dalam pembagian sekat kedap air, yaitu setiap kapal yang mengangkut 12 (dua belas) penumpang atau lebih harus dipasang sekat kedap air (*Watertight Bulkhead*). Bila terjadi kebocoran kapal pada satu atau lebih pada ruangan yang berurutan kapal tidak tenggelam melampaui batas benam (*Margin Line*), yaitu garis yang letaknya 76 mm (3 inchi) dibawah geladak sekat (*Bulkhead Deck*). Jika ada geladak kayu, maka *Margin Line* berada dibawah permukaan geladak kayu. Sedangkan geladak sekat adalah geladak teratas yang merupakan batas sekat kedap air melintang (batas kompartemen).

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan *subdivision* :

1. Lengkung Sekat Kedap Air (*Floodable Length*)

Lengkungan Sekat kedap air (*Floodable Length*) adalah grafik dari panjang maksimal ruangan, dengan letak sekat melintang dari panjang kapal bila ruangan tersebut tergenang air sarat airnya akan tepat menyinggung garis batas

tenggelam (*Margin Line*), dimana kapal masih tepat dapat terapung atau pada saat kapal tenggelam.

2. Koefisien *Permeabilitas* (μ)

Adalah jumlah (%) dari air yang dapat masuk atau menggenangi ruangan tersebut.

μ = Volume air yang menggenangi ruangan selalu lebih kecil dari volume ruangan yang sebenarnya, hal ini dapat dijelaskan karena dalam ruangan – ruangan tersebut selalu ada barang yang mengurangi volume air yang masuk misalnya; muatan, mesin – mesin perlengkapan, bahkan adanya gading – gading dalam ruangan yang kosong.

3. Faktor Pembagi Sekat

Adalah koefisien bervariasi antara 0.3 ~ 1 yang mana digunakan untuk menentukan panjang ruangan yang diperbolehkan.

2.11 *Software Maxsurf*

Sejak komputer diciptakan pada pertengahan abad ke-20, terjadi sedemikian banyak perubahan drastis dalam konsep perdisain kapal. Proses perdisainan kapal yang semula harus mempergunakan model dan diujikan dalam *towing tank* atau MOB, perlahan-lahan ke arah komputerisasi secara menyeluruh. Walaupun demikian sampai saat ini belum ada kesepakatan global masyarakat perdisain kapal untuk secara murni menggunakan konsep komputerisasi ini.

Oleh karena itu kemudian berkembang program-program aplikasi rancang bangun kapal, yang walaupun terbatas namun mampu memberikan gambaran awal yang terpercaya. Beberapa program aplikasi rancang bangun kapal yang kerap digunakan perdisain perorangan maupun galangan, antara lain : *Defcar*, *Hullfrom*, *Autoship*, *Maxsurf* dan lain-lain.

Maxsurf adalah salah satu program aplikasi skruktur yang dikembangkan oleh sebuah perusahaan pembuat perangkat lunak yang berlokasi di Fremantle Australia, yang bernama *Formation System (FORMSYS)*. Sejak dimulai diciptakan pada tahun 1984 sampai sekarang, *Maxsurf* telah mengalami banyak pembaruan, terutama dalam hal perbaikan dan penyempurnaan metode-metode yang dipergunakan.

➤ Kelebihan dan kekurangan *Maxsurf*

Secara umum, *Maxsurf* mempunyai kelebihan dibandingkan dengan beberapa program aplikasi lainnya, antara lain :

- a) Mengacu pada proses disain manual yang telah bertahun-tahun dipergunakan, misalnya pada pembuatan titik control yang berdasar atas posisi gading dan garis air.
- b) Mengacu pada ketentuan-ketentuan dari organisasi keselamatan dunia, mialnya *IMO*, *MARPOL*, *US NAVY* dan lain-lain.
- c) Perkembangan cepat dan mengacu pada kejadian-kejadian terbaru.
- d) Tampilanya menarik dan sangat mudah untuk dipelajari, terutama untuk kalangan akademis/universitas.
- e) Keluaran dari analisa *Maxsurf* dapat dinampatkan pada hampir semua program aplikasi umum, seperti *Ms. Office*, *Autocad*, *Corel* dan lain-lain. Bahkan berintegrasi dengan program aplikasi rancang bangun lainnya, seperti *Autoship*.
- f) Hampir semua sub program *Maxsurf* dapat saling berinteraksi secara bersamaan, sehingga proses pengujian dan analisa dapat berlangsung secara efisien.

Namun selain itu, terdapat pula beberapa kekurangan *Maxsurf*, Antara lain :

- a) Harga perpaket *Maxsurf* sangat mahal, sehingga jarang dipakai oleh pihak akademis/universitas.
- b) Peralihan versi sangat cepat, sebagai contoh pada tahun 2000, tercatat terjadi dua kali penyempurnaan sub program *Maxsurf Pro*, *Hydrolink*, *Hullspeed* dan *SPAN*.