

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Self-Propelled Oil Barge

Kapal SPOB (Self-Propelled Oil Barge) merupakan salah satu jenis kapal yang termasuk kedalam golongan kapal dengan kegunaan mengangkut muatan minyak, kapal ini merupakan modifikasi dari *oil barge* atau kapal pengangkut minyak yang tidak memiliki propeller. Namun, pada kapal SPOB memiliki inovasi yakni dengan adanya sistem propulsi sendiri sehingga kapal ini dapat bergerak secara leluasa. Kapal SPOB memiliki salah satu fungsi yang utama yakni sebagai pengisi bahan bakar dari kapal satu ke kapal lainnya yang berjalan di atas perairan. Kapal dengan sistem propulsi sendiri tidak memerlukan kapal lain untuk mendorong maupun menarik dalam menggerakannya, adapun keuntungannya terletak pada kemungkinan kapal ini untuk mengontrol kapasitas secara individual, tergantung pula terhadap permintaan dan koneksinya.



Gambar 2. 1 Kapal SPOB

Kapal Self Propelled Barge memiliki keuntungan dibandingkan dengan kapal tanker, yakni biaya pembangunan kapal lebih murah dan lebih mudah, karena bentuk lambung kapal lebih kotak sehingga proses produksi tidak memakan waktu besar untuk membuat bentuk lambung yang rumit. Daya angkut muatan yang lebih besar jika dibandingkan dengan ukuran utama kapal yang sama, karena nilai sarat yang kecil dan bentuk lambung kapal yang berbentuk kotak sehingga daya angkut muatan lebih maksimal. Stabilitas yang lebih besar dari kapal Tanker. Gaya apung yang lebih besar, karena nilai koefisien blok yang besar dari bentuk lambung kapal yang berbentuk kotak. Sangat efisien jika dioperasikan dalam rute pelayaran yang relatif pendek dan berada di perairan yang dangkal seperti sungai, danau dan perairan laut tepi.

2.2 Stabilitas

Masalah stabilitas kapal adalah salah satu penyebab terjadinya kecelakaan kapal seperti kapal tidak dapat dikendalikan, kehilangan keseimbangan dan tenggelam, baik yang terjadi di laut selama pelayaran maupun ketika di pelabuhan selama penambahan, pengurangan atau pemindahan muatan. Kurang lebih 40 % kejadian yang dibahas dalam Sidang Mahkamah Pelayaran adalah menyangkut kecelakaan tenggelamnya kapal disebabkan oleh keadaan stabilitas yang kurang baik ataupun cara penambahan, pengurangan atau pemindahan muatan yang. Stabilitas sendiri memiliki artian yakni kemampuan kapal untuk menegak kembali keposisi stabil sewaktu kapal pada saat diapungkan, tidak mengalami miring kekiri ataupun miring kekanan, demikian pula pada saat berlayar, disebabkan oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya pada saat kapal diolengkan oleh ombak atau angin, kapal dapat tegak kembali.

Stabilitas dibedakan menjadi dua yakni stabilitas statis dan dinamis. Stabilitas statis merupakan stabilitas yang dikhususkan bagi kapal dengan keadaan diam. Stabilitas statis juga mencakup stabilitas melintang (*transversal stability*) dan stabilitas membujur (*longitudinal Stability*) pada

kapal. Stabilitas melintang memiliki makna yakni kemampuan kapal untuk kembali tegak setelah mendapat gaya melintang yang disebabkan oleh pengaruh luar, sebaliknya stabilitas membujur yaitu kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula setelah mendapat gaya membujur karena adanya pengaruh dari luar. Sedangkan stabilitas dinamis dikhususkan bagi kapal yang oleng ataupun mengangguk.

2.2.1 Titik Penting Stabilitas Kapal

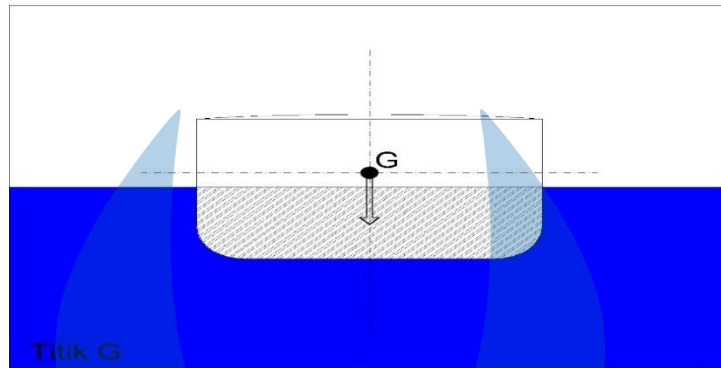
Menurut Hind (1967), titik-titik penting dalam stabilitas antara lain adalah titik berat (G), titik apung (B) dan titik M . Terdapat tiga buah titik yang sangat berpengaruh dalam perhitungan stabilitas suatu kapal, yaitu:

- Titik Berat G (*Gravity*)
- Titik Apung B (*Buoyancy*)
- Titik Metasentris M (*Metacenter*).
- Titik Lunas K (*Keel*)

Berdasarkan pembagian titik penting pada stabilitas kapal yang dapat dijelaskan dengan pengertian sebagai berikut :

1. Titik Berat (*Centre of Gravity*)

Titik berat (center of gravity) dikenal dengan titik G dari sebuah kapal, merupakan titik tangkap dari semua gaya-gaya yang menekan ke bawah terhadap kapal. Titik berat dari kapal dan ini dipengaruhi oleh konstruksi kapalnya. Letak titik G ini di kapal dapat diketahui dengan meninjau semua pembagian bobot di kapal, makin banyak bobot yang diletakkan di bagian atas maka makin tinggilah letak titik G -nya. Secara definisi titik berat (G) ialah titik tangkap dari semua gaya – gaya yang bekerja kebawah. Letak titik G pada kapal kosong ditentukan oleh hasil percobaan stabilitas. Perlu diketahui bahwa, letak titik G tergantung daripada pembagian berat di kapal. Jadi selama tidak ada berat yang di geser, titik G tidak akan berubah walaupun kapal oleng atau mengangguk.



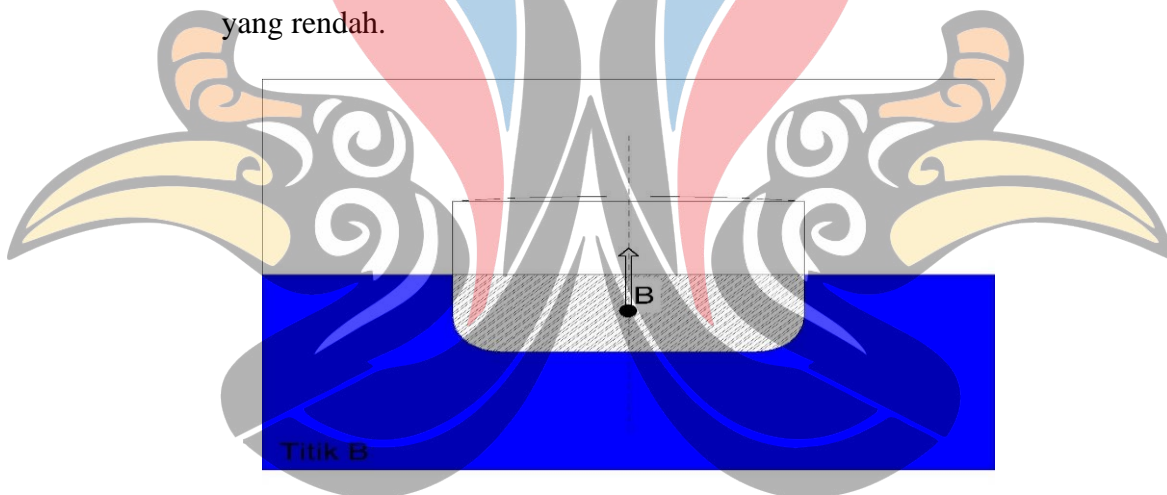
Gambar 2. 2 Titik Berat G

Titik berat kapal (Center of gravity/COG) adalah sebuah titik di kapal yang merupakan titik tangkap dari resultante semua gaya berat yang bekerja di kapal itu dan dipengaruhi oleh konstruksi kapal. Arah bekerjanya gaya berat kapal tersebut adalah tegak lurus ke bawah. Selanjutnya letak / kedudukan titik berat kapal dari suatu kapal yang tegak terletak pada bidang simetris kapal yaitu bidang yang dibuat melalui linggi depan linggi belakang dan lunas kapal. Sifat dari letak / kedudukan titik berat kapal akan tetap bila tidak terdapat penambahan, pengurangan, atau penggeseran bobot di atas kapal dan akan berpindah tempatnya bila terdapat penambahan, pengurangan atau penggeseran bobot di kapal itu dengan ketentuan sebagai berikut :

- Bila ada penambahan bobot, maka titik berat kapal akan berpindah ke arah searah dan sejajar dengan titik berat bobot yang dimuat.
- Bila ada pengurangan bobot, maka titik berat kapal akan berpindah ke arah yang berlawanan dan titik berat bobot yang dibongkar.
- Bila ada penggeseran bobot, maka titik berat sebuah kapal akan berpindah searah dan sejajar dengan titik berat dari bobot yang digeserkan.

2. Titik Apung (*Centre of Buoyance*)

Titik apung (*center of buoyance*) dikenal dengan titik *B* dari sebuah kapal, merupakan titik tangkap dari resultan gaya-gaya yang menekan tegak ke atas dari bagian kapal yang terbenam dalam air. Titik *B* ini dipengaruhi oleh bentuk kapal di bawah permukaan air. Titik tangkap *B* bukanlah merupakan suatu titik yang tetap, akan tetapi akan berpindah-pindah oleh adanya perubahan sarat dari kapal. Dalam stabilitas kapal, titik *B* inilah yang menyebabkan kapal mampu untuk tegak kembali setelah mengalami kemiringan. Letak titik *B* tergantung dari besarnya kemiringan kapal (bila kemiringan berubah maka letak titik *B* akan berubah / berpindah. Bila kapal menyenget titik *B* akan berpindah kesisi yang rendah.



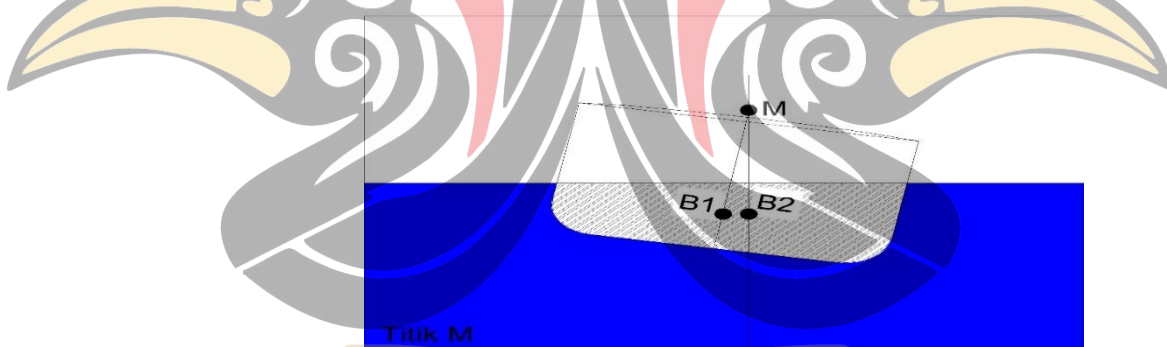
Gambar 2. 3 Titik Apung (*B*)

Saat kapal bergerak dengan posisi tegak (tidak ada pengaruh gaya luar) maka titik tekan kapal (*B*) dan titik berat kapal (*G*) berada pada satu garis vertikal. Sedangkan jika kapal mendapat pengaruh gaya luar, maka titik tekan akan berpindah dari *B* ke *B'* yang mengakibatkan gaya berat dan gaya apung akan membentuk kopel sebesar sudut Θ . kopel inilah yang akan menghasilkan momen oleng (*heiling moment*) dan momen bending (*righting moment*). *Helling moment* adalah momen yang bekerja untuk

memiringkan kapal, sedangkan *righting momen* adalah momen yang mengembalikan kapal ke posisi atau kedudukan semula.

3. Titik Metasentris (*Centre of Metacentrum*)

Titik metasentris atau dikenal dengan titik M dari sebuah kapal, merupakan sebuah titik semu dari batas dimana titik G tidak boleh melewati di atasnya agar supaya kapal tetap mempunyai stabilitas yang positif (*stabil*). Titik perpotongan vektor gaya tekan ke atas pada keadaan tetap dengan vektor gaya tekan ke atas pada sudut yang kecil. Meta artinya berubah-ubah, jadi titik metasentris dapat berubah letaknya dan tergantung dari besarnya sudut kemiringan. Besar kecilnya kemampuan sesuatu kapal untuk menegak kembali merupakan ukuran besar kecilnya stabilitas kapal itu. Jadi dengan berpindah-pindahnya kedudukan titik tekan sebuah kapal sebagai akibat dari menyengetnya kapal tersebut akan membawa akibat pada stabilitas kapal tersebut berubah-ubah dalam setiap waktu.



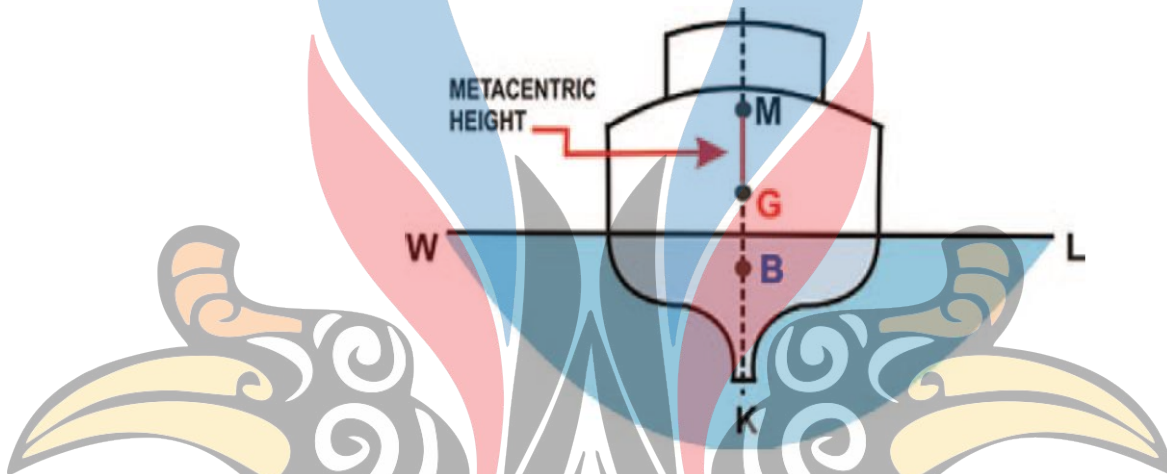
Gambar 2. 4 Titik Metasentris (M)

2.2.2 Keadaan Stabilitas Kapal

Setelah mengetahui titik penting pada stabilitas kapal, maka ditinjau dari hubungan-hubungan yang ada antara kedudukan titik berat (G) dan Metasentrumnya (M), maka Pada prinsipnya keadaan stabilitas ada tiga yaitu Stabilitas Positif (*stable equilibrium*), stabilitas Netral (*Neutral equilibrium*) dan stabilitas Negatif (*Unstable equilibrium*).

1. Stabilitas Positif (*Stable Equilibrium*)

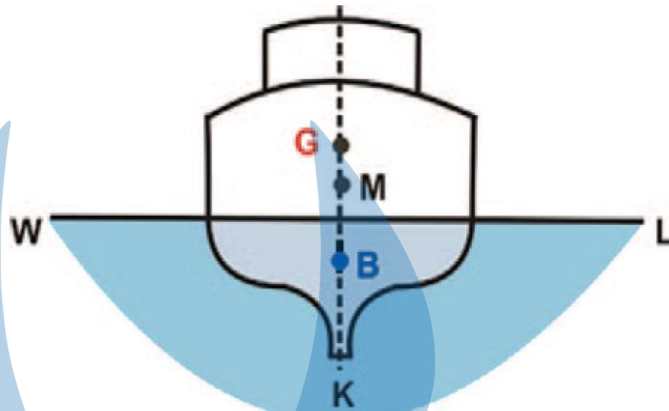
Merupakan keadaan stabilitas kapal yang demikian ini apabila kedudukan titik G lebih rendah dari pada kedudukan metasentrumnya (titik M), sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas mantap sewaktu kapal menyenget mesti memiliki kemampuan untuk menegak kembali. Sehingga apabila titik metacenter berada di atas titik grafitasi kalau kapal senget akan membentuk lengan penegak, yang mendorong kapal tegak kembali.



Gambar 2. 5 Stabilitas Positif

2. Stabilitas Negatif (*Unstable Equilibrium*)

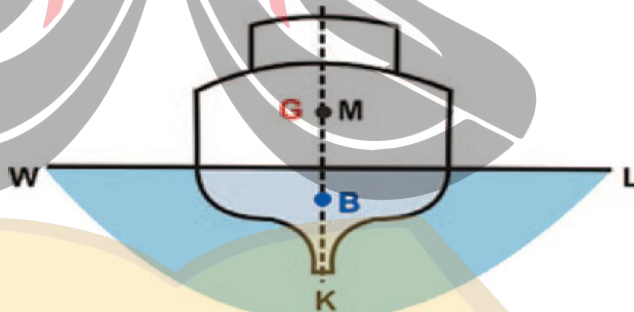
Keadaan stabilitas kapal yang demikian ini apabila kedudukan titik G lebih tinggi dari pada kedudukan metasentrumnya (titik M), sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas goyah atau negatif sewaktu kapal menyenget kapal tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali, tetapi bahkan sudut sengetnya akan bertambah besar.



Gambar 2. 6 Stabilitas Negatif

3. Stabilitas Netral (*Neutral Equilibrium*)

Sebuah kapal mempunyai stabilitas netral apabila kedudukan titik berat G berimpit dengan kedudukan titik M (Metasentrum). Oleh karena jarak antara kedua gaya yang membentuk sepasang koppel itu sama dengan nol, maka momen penagak kapal yang memiliki stabilitas netral sama dengan nol, atau bahwa kapal tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu kapal menyenget.

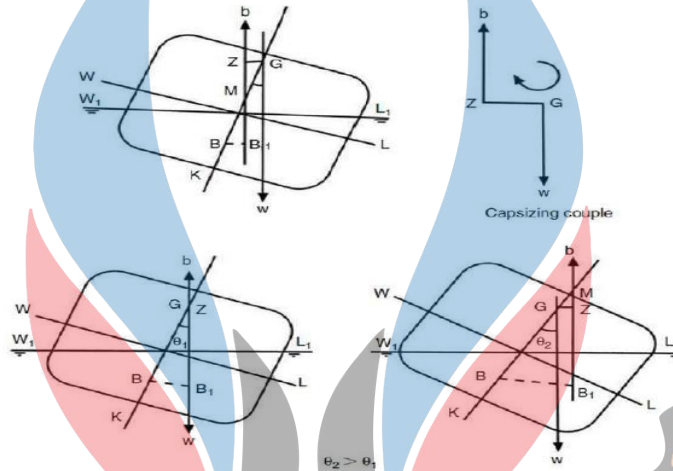


Gambar 2. 7 Stabilitas Netral

4. *Angle of Loll*

Angle of Loll adalah sudut di mana kapal dengan tinggi metasentrik awal negatif akan diam di air tenang. Di laut, kapal yang memiliki sudut *Angle of Loll* akan terombang-ambing di antara sudut loll di SB dan di PS. Kapal akan bergantung pada gaya eksternal

seperti angin dan gelombang, sebuah kapal dapat tiba-tiba gagal kembali dari kemiringan PS ke SB dan kemudian kembali lagi ke PS. Osilasi mendadak seperti itu, berbeda dari *continuous roll*, yang merupakan karakteristik ketinggian metasentrik negatif.



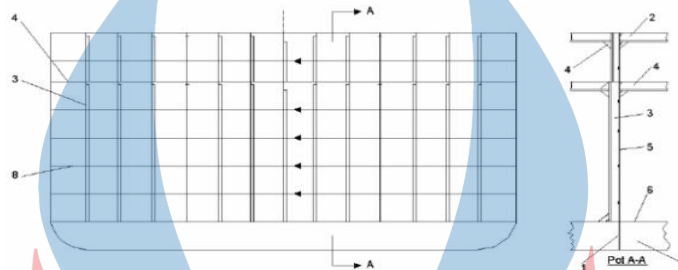
Gambar 2. 8 Angle of Loll

Sudut loll dapat dikoreksi hanya dengan menurunkan pusat gravitasi, bukan dengan memindahkan beban secara melintang. Ini dapat dilakukan dengan memindahkan beban ke bawah, menambahkan pemberat air di tangki dasar ganda atau menghilangkan beban di atas pusat gravitasi vertikal kapal. Jika tangki pemberat kosong tersedia, ini akan memberikan cara paling sederhana untuk menurunkan pusat gravitasi kapal. Prosedur yang benar adalah menambahkan pemberat di sisi bawah kapal. Efek pertama adalah meningkatkan sudut tumit dan menyebabkan hilangnya stabilitas karena permukaan air yang bebas, tetapi efek ini segera dibatalkan dan sudut tumit akan berkurang dengan cepat.

2.3 Sekat Kedap

Sekat Kedap merupakan sekat yang ada pada kapal yang memiliki fungsi untuk menahan air atau api ketika terjadi suatu insiden. Sekat kedap air

dibangun mulai dari *double bottom* sampai kebalok geladak deck, hingga yang paling atas, kecuali sekat tubrukan dan sekat kedap air buritan. Sekat kedap air buritan hanya sampai pada geladak pertama sesudah garis air.



GAMBAR 11.54 KONSTRUKSI SEKAT KEDAP AIR

- | | |
|--------------------|--------------------------|
| 1. LUTUT | 6. DASAR GANDA |
| 2. PENUMPU GELADAK | 7. WRANG KEDAP AIR |
| 3. PENEGAR SEKAT | 8. SAMBUNGAN PELAT SEKAT |
| 4. GELADAK KEDUA | 9. PENUMPU SAMPING |
| 5. SEKAT KEDAP AIR | |

.Gambar 2. 9 Sekat Kedap

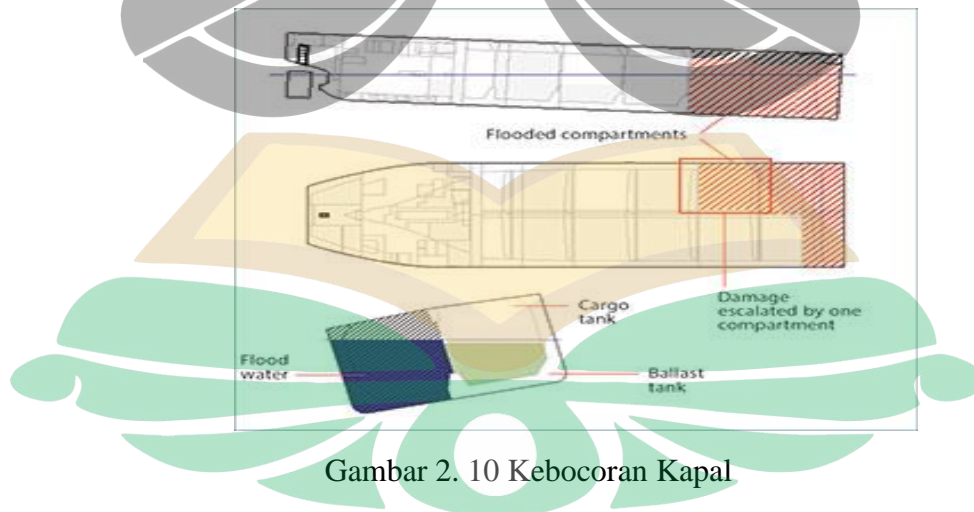
Semakin banyak sekat maka kapal akan semakin aman, dilihat dari segi pemenuhan kekuatan dan faktor keamanan terhadap kebocoran penerapan teori tersebut sangat masuk akal. Apalagi jika diterapkan pada kapal tanker dan dilihat dari sudut pandang stabilitas, hal ini tentunya sangat menguntungkan karena semakin banyak sekat maka permukaan bebas zat cair yang ada dalam ruang muat semakin kecil sehingga efek yang ditimbulkan muatan cair pada stabilitas kapal juga kecil akan tetapi dilihat dari segi ekonomis penambahan banyak sekat kedap membuat berat mati kapal menjadi naik. (Cakasana, 2017).

Semua kapal memiliki sekat tubrukan, sekat ceruk buritan dan satu sekat kedap air di setiap ujung kapal. Pada kapal yang ruang mesin berada di buritan, sekat ceruk buritan dapat berfungsi sebagai sekat belakang ruang mesin. Sekat tubrukan berada pada jarak tidak kurang dari $0.05 L_c$ dari FP atau 10 m dan tidak lebih dari $0.08 L_c$ atau $0.05 L_c + 3m$.

2.4 Kebocoran Kapal (*Flooding*)

Saat kapal berada di laut, ini dapat dianggap sebagai sistem terisolasi independen yang hanya dapat mengandalkan kemampuannya sendiri untuk menjaga keselamatan di lingkungan yang . Dalam sebagian besar kasus, kecelakaan kapal terjadi dengan akibat kebocoran yang membanjiri kompartemen, penyelamatan mandiri tidak mungkin dilakukan dalam beberapa waktu setelah kejadian tersebut. Oleh karena itu, sangat penting untuk menjaga stabilitas kapal seutuh mungkin untuk memberikan waktu yang cukup bagi bantuan eksternal untuk tiba, atau setidaknya untuk mengevakuasi kapal dengan keamanan terbaik.

Kondisi Kompartemen kapal dalam hal ini adalah ruang kedap air di bagian dalam lambung yang dihubungkan dengan akses kedap air seperti pintu dan palka. Keadaan akses dapat dibuka atau ditutup tergantung mengizinkan atau tidak penyaluran air melalui kompartemen kapal. Kerusakan dalam hal ini biasanya berupa lubang di lambung kapal yang disebabkan oleh tabrakan atau gesekan yang akan memicu kompartemen kapal bocor sehingga dapat merambat kesemua kompartemen maupun satu kompartemen saja.



Gambar 2. 10 Kebocoran Kapal

2.5 Permeabilitas (*Permeability*)

Permeabilitas suatu ruangan kapal adalah presentase dari besarnya ruangan yang dapat di masuki oleh air, jika seandainya terjadi kebocoraan. Untuk keperluan perhitungan subdivisi dan stabilitas kerusakan dari peraturan, permeabilitas setiap kompartemen umum atau bagian dari kompartemen harus sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Permeabilitas untuk tiap kompartemen dan jenisnya

Spaces	Permeability at draught d_s	Permeability at draught d_p	Permeability at draught d_t
Appropriated to stores	0.60	0.60	0.60
Occupied by accommodation	0.95	0.95	0.95
Occupied by machinery	0.85	0.85	0.85
Void spaces	0.85	0.85	0.85
Intended for liquids	0.95	0.95	0.95
Dry cargo spaces	0.95	0.95	0.95
Container spaces	0 or 0.95 *	0 or 0.95 *	0 or 0.95 *
Ro-ro spaces	0.70	0.80	0.95
Cargo liquids	0.70	0.80	0.95
	0.90	0.90	0.95
	0.70	0.80	0.95

2.6 *Damage Stability*

Ketika air mengalir ke kapal setelah kecelakaan, skenario yang berbeda dapat terjadi. Kapal bisa tenggelam karena bocor pada banyak kompartemen sehingga tidak ada daya apung yang cukup untuk membuat kapal tetap mengapung. Skenario yang jauh lebih berbahaya dari kebocoran pada kompartemen adalah kapal terbalik karena hilangnya stabilitas melintang yang

diakibatkan masuknya air kedalam kompartemen dan tangki karena hal ini dapat terjadi dalam beberapa menit. Sebuah kapal dapat bertahan dari kerusakan sampai batas tertentu jika lambung kapal dibagi lagi menjadi kompartemen kedap air dengan menggunakan sekat kedap air. Pembagian harus dirancang untuk memastikan bahwa setelah bocor di beberapa kompartemen, kapal dapat mengapung dan stabil di bawah kondisi lingkungan yang moderat. Kemudian, penumpang dan awak bisa diselamatkan.

Perhitungan *damage stability* saat ini memiliki dua konsep analisis yang berbeda untuk diterapkan yakni metode deterministik dan metode probabilistik. Untuk kedua konsep tersebut, perhitungan stabilitas kerusakan harus dilakukan sesuai dengan metode kehilangan daya apung.

2.7 Metode Probabilistik

Untuk menghitung kebocoran pada kapal, dahulu para ahli di bidang perkapalan menggunakan metode pendekatan deterministik, yang memiliki makna bahwa 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. Pendekatan tersebut masih dianggap kurang relevan 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 menggunakan metode probabilistik.

Metode probabilistik dikenalkan oleh Wendel pada Tahun 1960, ia memperkenalkan notasi probabilitas kapal yang bisa bertahan setelah mengalami kebocoran dan metodenya dikenal dengan '*a new way*'. Pendekatan dengan metode probabilistik dilakukan dengan satu perhitungan yang mencakup dari seluruh kemungkinan kasus kebocoran sepanjang badan kapal yang bisa terjadi beserta kemungkinan akibat yang akan ditimbulkan

usai terjadi kebocoran. Kemungkinan kasus kebocoran bisa satu, dua, tiga atau lebih kompartemen yang saling berdekatan.

2.8 *Damage Stability Metode Probabilistik Menurut SOLAS*

Pendekatan dengan menggunakan metode probabilistik ini melakukan perhitungan yang mencakup seluruh kemungkinan kasus kebocoran sepanjang kapal yang bisa terjadi serta kemungkinan dari akibat yang ditimbulkannya. Kemungkinan kasus kebocoran tersebut bisa terjadi pada satu, dua, tiga atau lebih kompartemen yang saling berdekatan. Jadi dengan metode ini konfigurasi seluruh letak sekat memanjang maupun melintang kapal dapat dinyatakan “relatif mampu” atau tidak untuk membuat kapal bertahan jika mengalami kebocoran (*flooding*) tanpa perlu menghitung jarak per-sekat yang ada pada kapal.

IMO membuat suatu langkah perhitungan melalui serangkaian penelitian dan berdasar pengalaman yang ada. Hal ini kemudian dituangkan dalam SOLAS chapter II-1 part B-1 tentang “*Subdivision and Damage Stability of Cargo Ship*” yang mulai diberlakukan pada tanggal 1 Februari 1992. Metode ini diterapkan dengan mewajibkan nilai minimal A untuk kapal tertentu. Nilai minimum ini disebut sebagai “ indeks subdivisi R yang disyaratkan”. Pada peraturan ini dapat dibuat tergantung pada ukuran kapal, jumlah penumpang atau faktor lainnya yang mungkin dianggap penting. Nilai indeks subdivisi A yang ada tidak boleh kurang dari indeks subdivisi R yang disyaratkan.

$$A \geq R \quad (2.1)$$

Indeks subdivisi A ditentukan oleh rumus dari seluruh probabilitas sebagai acuan jumlah dari produk untuk setiap kompartemen atau kelompok kompartemen pada ruang kebocoran, kemudian dikalikan dengan probabilitas bahwa kapal tidak akan terbalik atau tenggelam akibat ruang bocor yang dipertimbangkan. Dengan kata lain, rumus umum untuk mencapai indeks dapat diberikan dalam bentuk:

$$A = \sum p_i \cdot s_i \quad (2.2)$$

Nilai "i" indeks yang menunjukkan tiap kompartemen atau kelompok kompartemen yang ditinjau. Nilai "pi" faktor yang memperhitungkan kemungkinan bahwa hanya kompartemen atau kelompok kompartemen yang ditinjau saja yang dapat bocor, tanpa memperhitungkan subdivisi horisontal. Nilai "si" faktor yang memperhitungkan kemungkinan atau kemampuan bertahan setelah kebocoran kompartemen atau kelompok kompartemen yang ditinjau, termasuk pengaruh dari subdivisi horisontal.

2.8.1 Required index R

Konsep deterministik berlaku Rumus untuk R bervariasi menurut tiga kategori, kapal penumpang, kapal kargo lebih besar dari 100m dan kapal kargo antara 80 dan 100m. Metode deterministik diterapkan untuk kapal kargo dengan panjang di bawah 80 meter. Untuk kapal penumpang, indeksnya bervariasi sesuai dengan panjang subdivisi dan berapa banyak orang yang disertifikasi kapal tersebut. Perlu dicatat bahwa Ls berbeda untuk stabilitas kerusakan probabilistik dan stabilitas kerusakan deterministik.

$$R = 1 - \frac{5000}{L_s + 2.5N + 15225} \quad (2.3)$$

Dimana:

- $N = N1 + 2N2$
- $N1$ = Jumlah orang yang disediakan sekoci
- $N2$ = Jumlah orang yang diizinkan menggunakan kapal melebihi $N1$
- Ls = Panjang subdivisi

Kapal kargo hanya memasukkan panjang kapal saat menghitung indeks yang dibutuhkan. Indeks R yang diperlukan untuk kapal kargo yang lebih besar dari 100 meter dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$R = 1 - \frac{128}{L_s + 152} \quad (2.4)$$

- L_s =Subdivision length

Saat menghitung R untuk kapal kargo kurang dari 100 meter tetapi panjangnya lebih dari 80 m, perhitungan harus dilakukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$R = 1 - [1/(1 + \frac{L_s}{100} \times \frac{R_0}{1-R_0})] \tag{2.5}$$

- R_0 =Nilai R digunakan dengan menghitung dari persamaan (2.4)



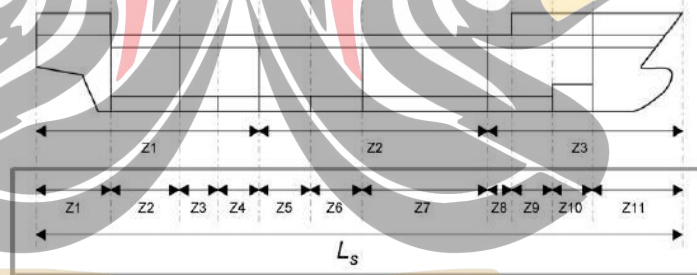
Gambar 2. 11 Subdivision Length untuk Damage Probabilistic Stability (IMO, 2008a)

2.8.2 Subdivision Index A

Indeks A yang diperoleh dihitung untuk beberapa kerusakan, tergantung pada kompleksitas geometrik kapal. Menghitung indeks yang dicapai adalah dasar dari *Probabilistic damage stability*, dan membutuhkan pengetahuan tentang notasi kapal dan rumus mana yang diterapkan untuk berbagai jenis kapal. Kemungkinan suatu kapal yang bertahan sesuai mengalami kebocoran dilambangkan dengan indeks A. indeks A perlu dilakukan skenario

perhitungan kebocoran diberbagai divisi oleh tingkat kebocoran sertan kondisi beban awal kapal sebelum kebocoran.

Untuk mempersiapkan penghitungan indeks A, panjang subdivisi kapal L_s dibagi menjadi sejumlah zona kerusakan tetap. Zona kerusakan ini akan menentukan investigasi stabilitas kerusakan dengan cara menghitung kerusakan tertentu. Tidak ada aturan untuk pengelompokan, kecuali panjang L_s yang menentukan ekstrem untuk lambung yang sebenarnya. Batas zona tidak harus sesuai dengan batas fisik kedap air. Namun, penting untuk mempertimbangkan strategi dengan hati-hati untuk mendapatkan hasil yang baik (yaitu indeks A yang dicapai besar). Semua zona dan kombinasi zona yang berdekatan dapat berkontribusi pada indeks A. Secara umum diharapkan bahwa semakin banyak batas zona yang dibagi kapal, semakin tinggi indeks yang dicapai, tetapi manfaat ini harus diimbangi dengan waktu komputasi tambahan. Gambar di bawah ini menunjukkan pembagian zona longitudinal yang berbeda dari panjang L_s .



Gambar 2. 12 Pembagian Zona sepanjang L_s

Nilai indeks A diperoleh melalui penjumlahan indeks bagian A_s , A_p , dan A_l dimana nilainya dapat dihitung berdasarkan sarat *deepest subdivision draft* (d_s), *partial subdivision draft* (d_p), dan *light service draft* (d_l).

$$A = 0,4 A_s + 0,4 A_p + 0,2 A_l \tag{2.6}$$

Dimana:

- A_s = Indeks A pada *deepest subdivision draft*.

- A_p = Indeks A pada *partial subdivision draft*.
- A_l = Indeks A pada *light service draft*

Setiap indeks parsial merupakan penjumlahan kontribusi dari semua kasus kerusakan yang dipertimbangkan, dengan menggunakan rumus berikut:

$$A = \sum p_i s_i \quad (2.7)$$

Dimana:

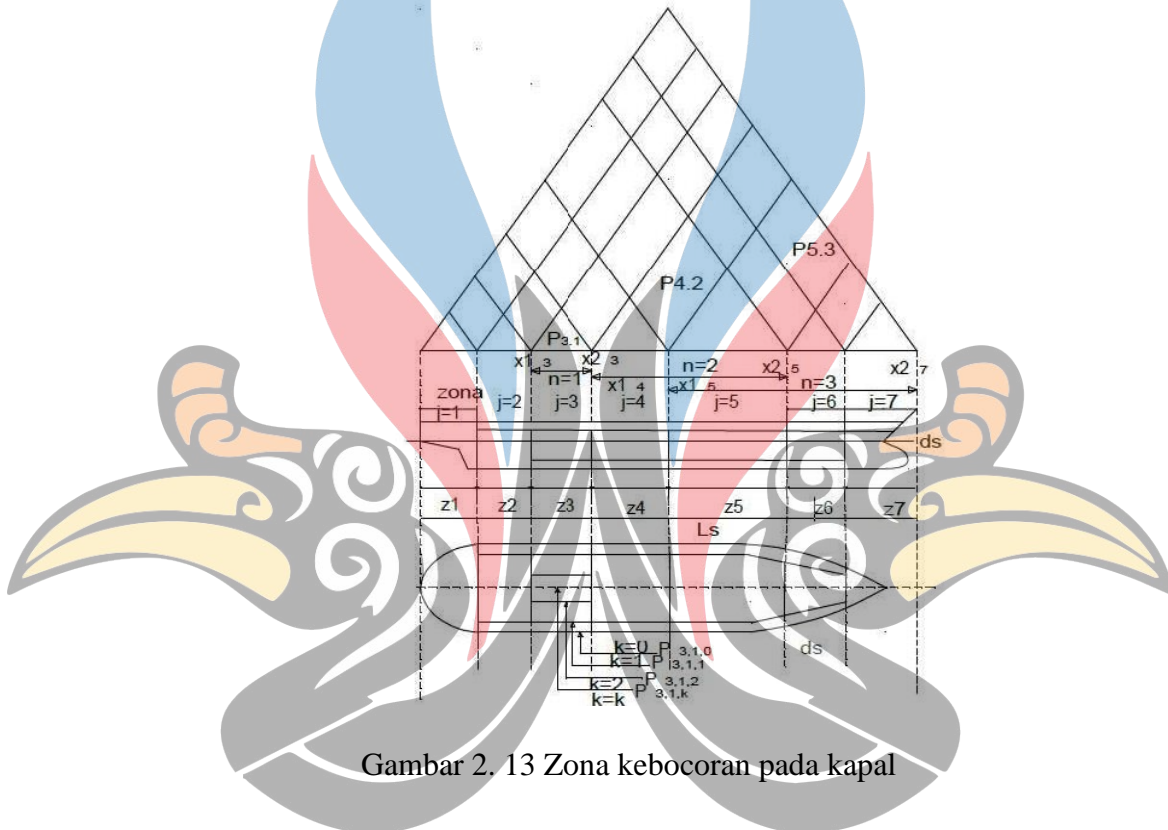
- i = Menunjukkan kompartemen atau kelompok kompartemen yang berdekatan dan dianggap dapat mengalami kebocoran dan memberikan kontribusi yang significant terhadap nilai A.
- p_i = probabilitas bahwa hanya kompartemen atau kelompok kompartemen yang dipertimbangkan yang dapat bocor, dengan mengabaikan subdivisi horizontal
- s_i = probabilitas bertahan setelah bocornya kompartemen atau kelompok kompartemen yang sedang dipertimbangkan, dan termasuk efek dari setiap subdivisi horizontal, sebagaimana didefinisikan dalam peraturan

2.8.2.1 Faktor Pi

Faktor-Pi hanya bergantung pada geometri susunan kedap air dan pembagian zona. Kompartemen dan grup kompartemen harus dipahami sebagai zona dan zona yang berdekatan. Zona adalah suatu interval memanjang kapal dalam panjang pembagian ruang kedap air. Pembagian ruangan pada kapal dibatasi dengan sekat dan geladak kapal yang memiliki nilai permeabilitas tertentu. Kompartemen adalah ruangan kapal yang kedap. Karena Pi adalah probabilitas kerusakan tertentu di kapal, $\sum P_i$ untuk seluruh panjang kapal.

Faktor P_i yang berkaitan dengan pengaturan sekat kedap air oleh batas kebocoran memanjang dan melintang kapal pada setiap zona, maka dimasukkan indeks berikut :

- J : nomor zona kebocoran yang mulai dihitung dari buritan
- n : jumlah zona kebocoran yang berdekatan
- k : jumlah sekat memanjang sebagai penghalang secara melintang pada zona yang bocor dari kulit sampai *centreline*
- K : total jumlah batas penembusan secara melintang
- $P_{j,n,k}$: kebocoran faktor- pi di zona j dan seterusnya (n-1)



Gambar 2. 13 Zona kebocoran pada kapal

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

$$P_i = 1 \quad (2.8)$$

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

$$P_i = F + 0,5 ap + q \quad (2.9)$$

Untuk kompartemen di ujung depan kapal (ujung depan kompartemen adalah ujung depan L_s).

$$P_i = 1 - F + 0,5 ap \quad (2.10)$$

Kompartemen berada diantara ujung depan dan ujung belakang L_s .

$$P_i = ap \quad (2.11)$$

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

Untuk grup yang terdiri dari 2 kompartemen :

$$P_i = P_{12} - p_1 - p_2 \quad (2.12)$$

$$P_i = P_{23} - p_2 - p_3, \text{ dan seterusnya.} \quad (2.13)$$

Untuk grup yang terdiri dari 3 kompartemen :

$$P_i = P_{123} - p_{12} - p_{23} - p_3, \text{ dan seterusnya.} \quad (2.14)$$

Untuk grup yang terdiri dari 4 kompartemen :

$$P_i = P_{1234} - p_{123} - p_{234} - p_{23} \quad (2.15)$$

$$P_i = P_{2345} - p_{234} - p_{345} - p_{34}, \text{ dan seterusnya.} \quad (2.16)$$

Dengan :

$$P_{12}, P_{23}, P_{34} \text{ dan seterusnya.} \quad (2.17)$$

$$P_{123}, P_{234}, P_{345} \text{ dan seterusnya.} \quad (2.18)$$

$$P_{1234}, P_{2345}, P_{3456} \text{ dan seterusnya.} \quad (2.19)$$

2.8.2.2 Faktor si

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

$$S_i = 0.5 S_1 + 0.5 S_p \quad (2.20)$$

Dimana

S_1 adalah faktor S_i pada garis terendah

S_p adalah faktor S_i pada *partial line*

$$s_{\text{final},i} = K \cdot \left[\frac{GZ_{\text{max}}}{0.12} \cdot \frac{\text{Range}}{16} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.21)$$

Dimana:

$$K = 1 \quad \text{jika } \theta_e \leq 7^\circ \quad (2.22)$$

$$0 < K < 1 \quad \text{jika } 7 < \theta_e \leq 15^\circ \quad (2.23)$$

$$0 \quad \text{jika } \theta_e \geq 15^\circ \quad (2.24)$$

$\theta_e = \text{final equilibrium heeling angle}$

GZ max 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 tengelam 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 palka atau bukaan lain di geladak yang menyebabkan terjadinya *progressive flooding*.

2.9 Perangkat Lunak *Maxsurf*

Maxsurf adalah serangkaian perangkat lunak berbasis NURBS (*Non-Uniform, Rational B-spline Surface*) yang merupakan bagian dari perusahaan Bentley Engineering. Perangkat lunak *maxsurf* ini banyak membantu para desainer kapal dalam proses desain kapal. Pada *maxsurf* sendiri memiliki beberapa rangkaian perangkat lunak yang dapat menunjang desainer menentukan dalam berbagai metode, yakni.

- *Maxsurf Modeller* yang digunakan membuat desain 3D kapal serta Analisa hidrostatis sederhana.
- *Maxsurf Stability* yang digunakan untuk permodelan tangki-tangki dan kompartemen pada kapal, serta dapat digunakan untuk analisa stabilitas kapal baik secara statis dan dinamis serta dalam kondisi *Intact* maupun *damage*.
- *Maxsurf Resistance* untuk melakukan analisa hambatan kapal

- *Maxsurf Motion* untuk melakukan analisa olah gerak kapal secara dinamis.
- *Maxsurf Structure* untuk menganalisa kekuatan kapal.

Dalam penelitian kali ini akan digunakan dua jenis bagian perangkat lunak dari *maxsurf* saja, yakni *Maxsurf Modeller* yang digunakan untuk memodelkan kapal yang sudah ada dari *General Arrangement* dan juga *Maxsurf Stability* untuk melakukan simulasi kebocoran tangki yang nantinya akan digunakan dengan metode *damage probabilistic*.

2.10 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan, ditunjukkan pada tabel 2.2:

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Narendra Agrawira Cakasanadari, "ANALISIS DAMAGE STABILITY PADA DESAIN AWAL FSO UNTUK LAPANGAN MINYAK KAKAP DI LAUT NATUNA PROVINSI KEPULAUAN RIAU", 2017	Permasalahan: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil analisis <i>damage stability</i> pada kapal <i>Floating Storage and Offloading (FSO)</i> yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan lapangan minyak di Laut Natuna dari segi infrastruktur. Metode: Dari desain awal <i>New build barge hull</i> dengan ukuran yang telah ada sebelumnya dilakukan analisa lanjutan terhadap kondisi <i>Damage Stability</i> nya. Mulai dari langkah awal dengan <i>redrawing</i> gambar, permodelan 3D, pemeriksaan tangki-tangki hingga pengolahan data <i>input</i> desain tersebut untuk di uji ke dalam beberapa

		<p>pengecekan kriteria Damage Stability pada SOLAS 2009.</p> <p>Hasil: Jumlah maksimal kompartemen bocor yang masih dapat ditahan oleh desain awal FSO ini adalah sampai dengan tiga kompartemen bocor. Nilai faktor p untuk lebih dari 4 zona kebocoran adalah dibawah nilai minimum p faktor sehingga tidak dapat dilakukan Analisa</p>
2	<p>Annas Hidayatulloh, “ANALISIS PROBABILISTIK <i>DAMAGE</i> <i>STABILITY</i> TONGKANG TIPE <i>BALLASTABLE</i>”, 2018</p>	<p>Permasalahan: Objek kapal yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah jenis tongkang (<i>ballastable barge</i>) pengangkut muatan berat struktur bentangan tengah jembatan Holtekamp dari Surabaya ke Jayapura. Ingin diketahui hasil analisis damage stability</p> <p>Metode: Referensi yang dipakai untuk menghitung <i>damage stability</i> adalah SOLAS Chapter II-1 Part B-1. Perhitungan menggunakan metode intact stability, probabilistik</p> <p>Hasil: Jumlah maksimum zona (tangki) yang mengalami kebocoran (<i>damage</i>) yang masih memenuhi kriteria probabilistik <i>damage stability</i> dari SOLAS adalah hanya 1 tangki saja yang bocor. Untuk kebocoran lebih dari 1 tangki, nilai <i>index A</i> kurang dari nilai</p>

		<i>index R</i>
3.	Siti Noor Rooidah Dzakiyyah, “ANALISIS <i>DAMAGE STABILITY</i> PADA KAPAL <i>FERRY</i> <i>RO-RO 300 GT</i> DENGAN METODE PROBABILISTIK”, 2020	Permasalahan: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil analisis <i>damage stability</i> pada kapal <i>ferry ro-ro 300 GT</i> Metode: Penelitian ini membahas tentang stabilitas kebocoran dengan metode probabilistik pada kapal <i>ferry ro-ro 300 GT</i> yang memiliki 9 zona kebocoran, 3 sekat memanjang dan <i>double bottom</i> pada kamar mesin serta beberapa kompartemen lainnya. Penelitian dengan metode probabilistik ini menggunakan <i>software</i> bantu yaitu <i>maxsurf stability</i> dengan tujuan memberikan hasil analisis agar mendekati kejadian sebenarnya jika kapal mengalami kebocoran Hasil: Analisis <i>damage stability</i> dengan metode probabilistik menghasilkan data berupa jumlah maksimal kompartemen bocor yang masih sanggup ditahan oleh kapal ini yaitu 3 kompartemen. Hal tersebut dikarenakan nilai dari faktor p untuk perhitungan diatas 3 zona kebocoran berada di bawah p minimum sehingga tidak dapat dianalisis.

Dari beberapa hasil penelitian diatas, semuanya membahas dan meneliti terkait simulasi kebocoran tangki pada macam - macam jenis kapal yang

berbeda satu sama lain, analisis kebocoran dari semua penelitian menggunakan *damage probabilistic* yang dimodelkan pada *software* yakni *maxsurf stability*. Metode probabilistik merupakan metode yang kompleks dalam mengetahui stabilitas kebocoran kapal, namun terdapat beberapa kriteria untuk melakukan metode probabilistik, pada index R memiliki tiga kategori kapal saja, yakni yang pertama metode probabilistik untuk kapal penumpang, kapal kargo lebih 100m dan kapal kargo kurang dari 100m tetapi lebih dari 80m menurut SOLAS. Adapun kesimpulan hasil dari semua penelitian menunjukkan bahwa rata-rata batas maksimal kompartemen yang dapat disimulasikan kebocoran hanya 3 zona saja. Selebihnya sudah melebihi batas p minimum. Dari semua hasil penelitiannya tidak menggunakan jenis kapal SPOB, oleh karena itu diangkatlah tema *damage probabilistic* pada kapal SPOB.

