

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tongkang (*Barge*) dan *Self Propelled Barge*

Tongkang adalah kapal dengan lambung datar, baik memiliki sistem penggerak ataupun tidak, yang digunakan untuk mengangkut muatan di kanal ataupun sungai. Contoh muatan yang biasa diangkut oleh *barge* adalah pasir ataupun batubara, tergantung kebutuhan. *Barge* adalah salah satu variant dari kapal kontainer yang sudah diisi muatan sebelumnya dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini (Astanugraha, 2017).



Gambar 2. 1 Tongkang Mengangkut Batu Bara

Self Propelled Barge (SPB) dapat diartikan sebagai kapal yang berbentuk menyerupai *barge*, namun menggunakan sistem pendorong sendiri tanpa dibantu oleh *tug boat*. Apabila dibandingkan dengan biaya pembangunan kapal pada umumnya terlabeh kapal *bulk carrier*, SPB mempunyai biaya pembangunan yang lebih rendah 1/3 kali dari kapal *bulk carrier* (Astanugraha, 2017). Untuk barang yang diangkut melalui sungai yang waktu bongkar muatnya cepat dan berlayar pada kecepatan rendah maka akan lebih menguntungkan untuk menggunakan tongkang bermesin. Pertimbangan untuk menggunakan mesin pada tongkang adalah keekonomian, pada tongkang yang bongkar

muatnya cepat akan lebih menguntungkan menggunakan tongkang bermesin sedang bila bongkar muatnya membutuhkan waktu yang lama maka akan lebih menguntungkan menggunakan tongkang biasanya. *Self Propelled Barge (SPB)* dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini (Samudera dkk, 2017).



Gambar 2. 2 *Self Propelled Barge (SPB)*

2.2. Kapal Motor Penumpang (KMP)

Kapal Motor Penumpang (KMP) adalah tipe kapal yang digunakan sebagai angkutan penyeberangan antar pulau yang mengangkut kendaraan, barang, dan penumpang. Jangkauan penyeberangan kapal tipe KMP adalah dalam tujuan jarak dekat sehingga sering disebut sebagai transportasi pantai, sungai, dan danau seperti pada Gambar 2.3 di mana dapat dilihat di bawah (Rohmadhana, 2016).



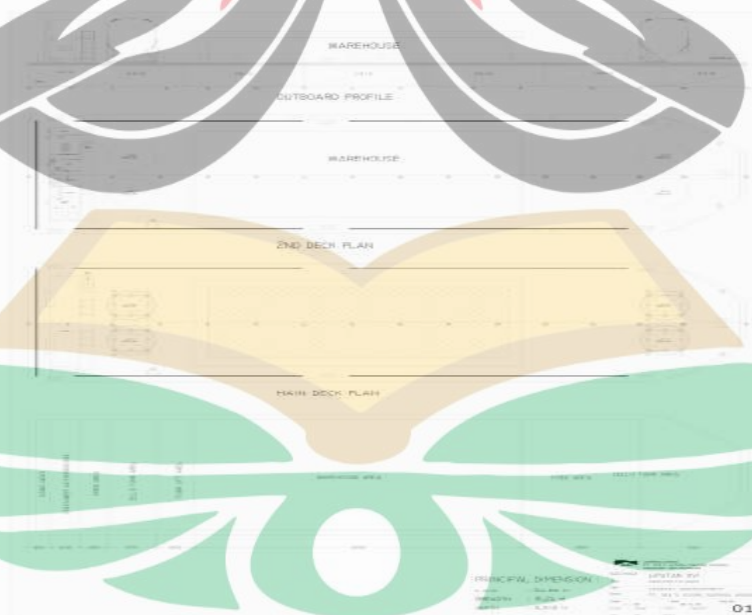
Gambar 2. 1 Kapal Motor Penumpang Membawa Muatan

Selain mengangkut penumpang, KMP biasa juga digunakan untuk mengangkut barang-barang kebutuhan mendesak seperti sayuran, daging, dan bahan makanan lainnya yang dikemas dalam kontainer yang berpendingin (*refrigerated container*). Selain itu pada kapal ini mengangkut barang-barang curah lainnya yang berkapasitas sedikit seperti biji-bijian yang dikemas dalam goni ataupun wadah tertutup lainnya (Rohmadhana, 2016).

2.3. Konversi Kapal

Konversi kapal merupakan salah satu opsi bagi pemilik kapal untuk merubah atau mengalihfungsikan guna kepentingan lainnya. Adapun contohnya ialah mengonversi kapal tongkang menjadi kapal lainnya yang lebih dibutuhkan, dikarenakan tongkang memiliki bentuk konstruksi yang sederhana.

Salah satunya mengonversi kapal tongkang menjadi Kapal Motor Penumpang (KMP) dengan menambah pintu rampa, ruang akomodasi. Namun konsekuensi dari segi teknis dwt dan lwt kapal akan bertambah sehingga sarat akan berubah juga. Untuk desain kapal tongkang sebelum dilakukan konversi dapat di lihat pada Gambar 2.4 dibawah ini (Penulis, 2021).



Gambar 2. 3 Rancangan Umum Tongkang Sebelum Dikonversi

Dari tongkang ini akan dilakukan konversi menjadi KMP (Kapal Motor Penyebrangan) dengan tetap memperhatikan stabilitas kapal dimana lwt dan dwt kapal akan berubah karena adanya penambahan seperti pintu rampa, akomodasi penumpang dan beberapa konstruksi lainnya. Karena adanya penambahan tersebut lwt dan dwt dari kapal juga akan berubah menjadi lebih besar sehingga perlu adanya pengecekan ulang dari segi stabilitas. Stabilitas kebocoran salah satunya yang perlu dilakukan pengecekan ulang karena nilai A dan R kapal yang sudah di modifikasi akan mengalami perubahan. Dimana stabilitas kebocoran diatur pada *Safety of Life at Sea (SOLAS) Consolidated Edition 2009 Chapter II-1 part B-1* tentang subdivisi dan stabilitas. Desain kapal motor penumpang hasil konversi dari tongkang dapat dilihat pada Gambar 2.5 dibawah ini (Penulis,2021).



Gambar 2. 4 Rancangan Umum KMP Konversi Dari Tongkang

2.4. 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

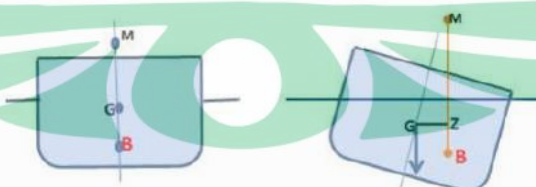
lengan dinamis (GZ). Kemudian setelah harga GZ didapat, maka dilakukan pengecekan dengan "Intact Stability Code, IMO". Stabilitas adalah keseimbangan dari kapal, merupakan sifat atau kecenderungan dari sebuah kapal untuk kembali kepada kedudukan semula setelah mendapat senget (kemiringan) yang disebabkan 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 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 enersi 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° disebut stabilitas statis lanjut dan stabilitas dinamis lanjut.

2.4.1 Titik Penting dalam Stabilitas

Ada tiga titik yang penting dalam stabilitas kapal dapat dilihat pada Gambar 2.5 yaitu:

- G adalah titik pusat gravitasi kapal
- B adalah titik pusat apung kapal
- M adalah metacentre kapal



Gambar 2. 5 Titik pusat Stabilitas 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 perpotongan gaya tekan ke atas pada keadaan tetap dengan vektor gaya tekan ke atas pada sudut oleng kecil. Pada keadaan kapal setimbang, titik G dan B harus berada pada satu 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 air yang baru. Maka kapal akan mengalami momen kapal sebesar M yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$M = P \times GZ \quad (2.1)$$

Rumus 2.1 Rumus Momen Stabilitas

Dimana :

P = berat kapal (Ton)

GZ = lengan kopel (m)

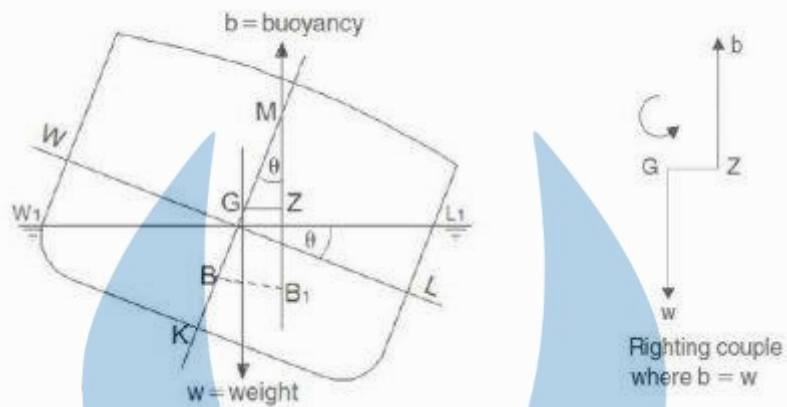
$$= MG \sin \alpha$$

MG = tinggi *metacenta* (m)

$$= MK - KG$$

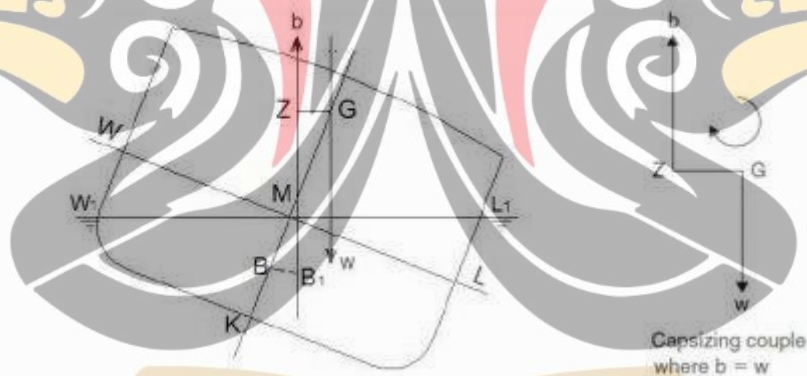
$$= MB + KB - KG$$

Berdasarkan kedudukan titik berat, ada tiga kondisi dalam stabilitas, yakni stabil, netral dan labil. Titik G berada di bawah titik M. Pada kondisi ini MG berharga positif dan kapal dalam kondisi stabil. Apabila mendapat gaya dari luar, maka akan dibalas dengan momen pengembali sebesar $P \times GZ$ di mana dapat dilihat pada Gambar 2.6 dibawah ini.



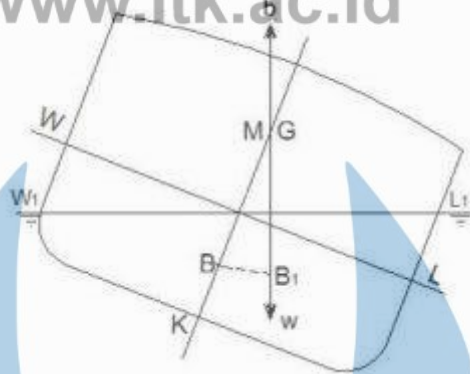
Gambar 2. 6 Kapal saat Kondisi Stabil

2. Titik M berada di bawah titik G. Pada kondisi ini MG berharga negatif sehingga kapal dalam keadaan labil. Bila mendapatkan gaya dari luar, maka kapal tidak akan bisa kembali dalam keadaan semula di mana dapat dilihat pada Gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2. 7 Kapal saat Kondisi Labil

3. Titik M berimpit dengan titik G. Pada kondisi ini MG sama dengan 0 dan kapal dalam kondisi netral atau *indifferent* di mana dapat dilihat pada Gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2. 8 Kapal saat Kondisi Netral

Ada 2 perhitungan stabilitas untuk kapal, yaitu *intact stability* dan stabilitas kebocoran (Cakasana, 2017).

2.4.1.1 Stabilitas Utuh

Stabilitas utuh 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 (Cakasana, 2017).

Stabilitas utuh sendiri memiliki kriteria dari IMO dimana terdapat 6 kriteria yang harus dipenuhi agar kapal aman saat digunakan sebagai transportasi. Kriteria stabilitas yang digunakan yaitu standar keselamatan *International Maritime Organization (IMO)* yaitu *IMO MSC.267 (85)* mengatur tentang *code on intact stability* pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Kriteria *IMO MSC.267 (85) Code On Intact Stability*

No	Parameter	kriteria	Satuan
1	Max Area of GZ 0 to 30	$\geq 0,0500$	m.rad
2	Max Area of GZ 0 to 40	$\geq 0,0900$	m.rad
3	Max Area of GZ 30 to 40	$\geq 0,0300$	m.rad
4	Max GZ at 30 or greater	$\geq 0,20$	m
5	Angle of max. GZ	≥ 25	deg
6	Initial Metacentric Height	$\geq 0,15$	m

Tabel 2. 2 *Special Criteria for Passenger Ships IMO MSC.267 (85) Code On Intact Stability*

No	Parameter	kriteria	Satuan
1	<i>Passenger crowding: angle of equilibrium</i>	≤ 10	deg
2	<i>Turn: angle of equilibrium</i>	≤ 10	deg

2.4.1.2 Stabilitas Kebocoran

Stabilitas kebocoran adalah perhitungan kapal bocor (*damage*) yang dihitung pada beberapa kondisi untuk tiap-tiap derajat kemiringan. Perhitungan stabilitas kebocoran ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan kapal untuk menahan kebocoran agar tetap stabil ketika lambung kapal rusak atau bocor (Cakasana, 2017).

Sejarah tenggelamnya kapal penumpang *Titanic* pada 14 April 1912 yang menimbulkan korban jiwa sebanyak 1.514 dan peristiwa tersebut merupakan bencana yang terburuk dan paling dikenal hingga saat ini. Pada tahun 1913 beberapa negara besar mulai membahas tentang ketahanan kapal terhadap kebocoran dan yang menjadi salah satu warisan terpenting dari bencana ini adalah penetapan Konvensi Internasional untuk Keselamatan Penumpang di Laut (*SOLAS (Safety Of Life At Sea)*), yang masih mengatur keselamatan laut sampai sekarang.

Pada tahun 1936 Maritim Commission mensyaratkan bahwa kapal harus mempunyai kompartemen standar agar kapal masih bisa mengapung jika suatu saat terjadi kebocoran. Tahun 1973 IMCO (sekarang berubah menjadi IMO (*International Maritime Organization*)) menyetujui adanya perubahan pada perhitungan subdivision yaitu dengan pendekatan probabilistik. Melalui berbagai perkembangan, akhirnya sejak 1 Februari 1992 SOLAS mengharuskan bahwa kapal-kapal barang yang akan dibangun pada atau setelah tanggal tersebut harus dihitung stabilitas bocornya dan hubungannya dengan kompartemen standar menggunakan pendekatan probabilistik (Muzdalifah, 2016).

Analisa *damage stability* menggunakan software *Maxsurf Stability Enterprise* dengan menggunakan standar *SOLAS 2009 Chapter II-1 Resolution MSC.281(85)*. Dalam Peraturan *SOLAS (Safety of Life at Sea)* tentang Subdivision, untuk menghitung indeks *damage stability*, dimana terdapat dua variabel utama yaitu *Required Subdivision Index (R)* dan *Attained Subdivision Index (A)*. Di mana nilai indeks A yang dicapai sebuah kapal harus lebih besar atau sama dengan nilai Indeks R yang disyaratkan, atau $A \geq R$ (Muzdalifah, 2016).

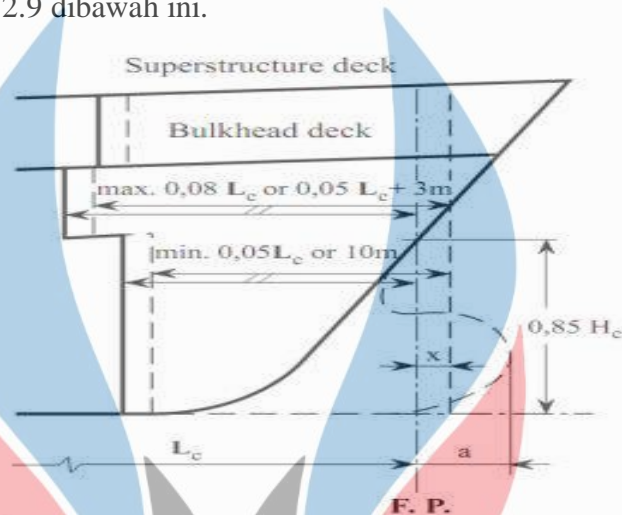
2.5. Pembagian Sekat Pada Kapal

Banyak para ahli mengatakan bahwa semakin banyak sekat kedap pada suatu kapal, maka kapal akan semakin aman dari bahaya tenggelam jika mengalami kebocoran (*flooding*). Hal itu dikarenakan jika suatu kapal terjadi kebocoran pada satu kompartemennya maka air yang masuk tidak akan menyebar ke seluruh bagian kapal karena dibatasi oleh sekat kedap air yang letaknya berdekatan. Secara teori hal ini memang benar dan rasional, namun kenyataan di lapangan menjelaskan bahwa kebocoran terjadi tidak sepenuhnya hanya pada satu kompartemen akan tetapi bisa dua, tiga, empat, atau bahkan lebih kompartemen yang saling berdekatan.

Menurut logika, 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. Peraturan dan standart yang mengatur tentang sekat tubrukan dan sekat ceruk buritan kapal penumpang terdapat pada Biro Klasifikasi Indonesia Volume II bagian 11.A.2. Pada kapal yang 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 $0.05 L_c + 3m$ dimana dapat dilihat pada Gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2. 9 Letak sekat tubrukan

2.6. Dasar Kebocoran

Kapal adalah suatu bangunan apung yang tersusun dari pelat- pelat besi dan baja. Kapal mempunyai kompartemen-kompartemen atau tangki-tangki. 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. 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 standard pelayaran. Peraturan dan standart yang mengatur tentang Stabilitas kebocoran pada *Safety of Life at Sea (SOLAS) Consolidated Edition 2009 Chapter II-1 part B-1* tentang subdivisi dan stabilitas. Untuk contoh kebocoran pada kompartement pada kapal dapat dilihat pada Gambar 2.10 dibawah ini (Cakasana, 2017).



Gambar 2. 10 Kebocoran Kapal pada Kompartemennya

2.7. Perhitungan Permeabilitas

Permeabilitas digunakan dalam perhitungan ketahanan sebuah kapal dan stabilitas kebocoran dalam desain kapal. Dalam kasus ini permeabilitas ruang dengan persentase 0 – 100. Sebagai opsi, permeabilitas ruang juga dapat berupa koefisien dari 0 – 1. Permeabilitas ruang adalah persentase volume ruang yang dapat ditempati oleh air laut jika terjadi kebocoran (Dzakiyyah, 2020).

Berdasarkan *SOLAS Consolidated Edition 2009 Chapter II-1 part B-1* tentang subdivisi dan stabilitas, permeabilitas tiap kompartemen harus dengan nilai yang akan ditunjukkan pada Tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2. 3 Permeabilitas Untuk Setiap Kompartemen

<i>Spaces</i>	<i>Permeability at draught ds</i>	<i>Permeability at draught dp</i>	<i>Permeability at draught dl</i>
<i>Appropriated to stores</i>	0.60	0.60	0.60
<i>Occupied by accommodation</i>	0.95	0.95	0.95
<i>Occupied by machinery</i>	0.85	0.85	0.85
<i>Void spaces</i>	0.95	0.95	0.95
<i>Intended for liquid</i>	0 or 0.95 *	0 or 0.95 *	0 or 0.95 *
<i>Dry cargo spaces</i>	0.70	0.80	0.95
<i>Container spaces</i>	0.70	0.80	0.95
<i>Ro-ro spaces</i>	0.90	0.90	0.95
<i>Cargo liquids</i>	0.70	0.80	0.95

**whichever result in the more severe*

2.8. 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 akibat yang ditimbulkannya. Kemungkinan kasus kebocoran itu bisa satu, dua, tiga atau lebih kompartemen yang saling berdekatan.

Untuk mengakomodasi pendekatan baru ini dalam perhitungan stabilitas kebocoran maka IMO kemudian menuangkannya dalam *SOLAS requirement chapter III part B-1* yang mulai diberlakukan pada tanggal 1 Februari 1992. Perhitungan SOLAS telah mencakup 2 hal yang disyaratkan dan dibutuhkan dalam perhitungan *stabilitas kebocoran* berdasar pendekatan probabilistik, yaitu:

- 1) Perhitungan yang mengakomodasi probabilistik atau kemungkinan tentang kompartemen atau group kompartemen mana yang akan mengalami kebocoran. Kemungkinan ini berlaku sepanjang kapal, yaitu mulai 1 kompartemen seluruh panjang kapal mengalami bocor yang perlu dicatat bahwa kemungkinan bocor dari grup kompartemen yang terjadi adalah kompartemen yang saling berdekatan.
- 2) Perhitungan yang mengakomodasi probabilistik atau kemungkinan atas keselamatan kapal jika kapal mengalami kebocoran pada kompartemen atau grup kompartemennya. Kemungkinan ini juga berlaku sepanjang kapal (Muzdalifah, 2016).

2.9. Persyaratan SOLAS Consolidated Edition 2009

Sesuai dengan peraturan SOLAS (*Safety of Life at Sea*) tentang subdivisi dan *damage stability*, sebagaimana tercantum dalam SOLAS (*Safety of Life at Sea*) Bab III, berdasarkan pada konsep probabilistik yang menggunakan probabilitas sebagai upaya kapal untuk bertahan dalam kondisi bocor setelah terjadi kebocoran. Dari peraturan probabilitas ini akan menghasilkan nilai indeks kebocoran A (*Attained subdivision index A*). Hal ini dapat dianggap sebagai suatu

www.itk.ac.id

tujuan mengukur keselamatan kapal, sehingga dapat dengan mudah diketahui bahwa ada banyak faktor yang akan mempengaruhi akibat akhir dari kebocoran lambung kapal. Faktor-faktor ini secara acak dan pengaruhnya berbeda untuk kapal dengan karakteristik yang berbeda pula. Sebagai contoh, akan terlihat jelas bahwa dalam kapal dengan ukuran yang sama membawa jumlah muatan yang berbeda, luasan kebocoran yang sama dapat menyebabkan hasil yang berbeda karena perbedaan permeabilitas.

Hal ini dapat ditunjukkan melalui teori probabilitas bahwa kemungkinan suatu kapal untuk bertahan, harus dihitung sebagai jumlah dari peluang setelah tergenangnya suatu kompartemen, dua atau tiga kompartemen yang berdekatan. Jika kemungkinan terjadinya untuk setiap skenario kebocoran yang dialami kapal bisa dihitung dan kemudian digabungkan dengan kemungkinan bertahan terhadap kebocoran dengan kapal dimuat dalam kondisi pembebanan yang paling mungkin, kita dapat menentukan indeks A. Oleh karena itu, kemungkinan bahwa kapal akan tetap bertahan tanpa tenggelam atau terbalik sebagai akibat dari kebocoran dalam posisi membujur yang diberikan dapat dibagi menjadi kemungkinan bahwa pusat kebocoran longitudinal terjadi hanya dalam wilayah kapal yang dipertimbangkan, kemungkinan bahwa kebocoran ini memiliki batas memanjang yang hanya mencakup ruang antara sekat kedap melintang, kemungkinan bahwa kebocoran memiliki batas vertikal yang akan membanjiri hanya ruang bawah batas horizontal (Muzdalifah, 2015).

Oleh karena itu, 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.

$$A \geq R \quad (2.2)$$

Untuk mencapai indeks subdivisi A ditentukan oleh rumus untuk seluruh probabilitas sebagai probabilitas jumlah dari produk untuk setiap kompartemen

atau kelompok kompartemen bahwa ruang kebocoran, 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:

$$A = \sum p_i \cdot s_i$$

Dimana :

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

Persyaratan ini berlaku efektif mulai 1 Februari 1992, artinya semua kapal 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 Regulasi 5 hingga 7-3. 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. *Mad length*: titik tengah dari *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*.

12. *Permeability (p)* : bagian dari volume ruang muat yang dapat ditempati oleh air bocor.

13. Panjang subdivisi dari kapal adalah proyeksi panjang terbesar dari bagian kapal di bawah geladak atau geladak-geladak yang membatasi jarak vertikal dari genangan dengan kapal yang berada pada garis muat subdivisi tertinggi, dan disimbolkan sebagai *L_s*.

2.9.1. Indek Subdivisi R

Peraturan SOLAS tentang subdivision bertujuan untuk mendapatkan jarak sekat minimum bagi kapal yang masih memenuhi standar keselamatan. Memenuhi atau tidaknya penyekatan suatu kapal ditentukan oleh suatu indek tingkat subdivisi R, sedangkan indek subdivisi untuk kapal penumpang dirumuskan sebagai berikut :

$$R = 1 - \frac{5000}{L_s + 2,5 N + 15225} \quad (2.4)$$

$$N = N_1 + N_2 \quad (2.5)$$

Dimana:

R = *required subdivision index*

L_s = panjang subdivisi kapal (m),

$$N = N_1 + N_2$$

N_1 = jumlah orang dalam setiap sekoci

N_2 = jumlah orang (termasuk perwira dan awak kapal)

Nilai indek yang dicapai Attained Subdiviion Index, A sebuah kapal tidak boleh kurang dari nilai indek R (*Required Subdivision index*, R), $A > R$.

2.9.2. Indek Subdivisi A

Kemungkinan suatu kapal yang bertahan seusai mengalami kebocoran dilambangkan dengan indeks A. Untuk didapatkannya indeks A perlu melakukan skenario perhitungan kebocoran berbagai divisi oleh tingkat kebocoran dan kondisi beban awal kapal sebelum kebocoran (Darmawan dkk,2019).

$$A = \sum P_i \cdot S_i \quad (2.6)$$

Dimana :

i = Menyatakan kompartemen atau grup kompartemen dengan kondisi berdekatan yang dianggap dapat mengalami kebocoran serta memberikan perubahan yang signifikan terhadap nilai indeks A.

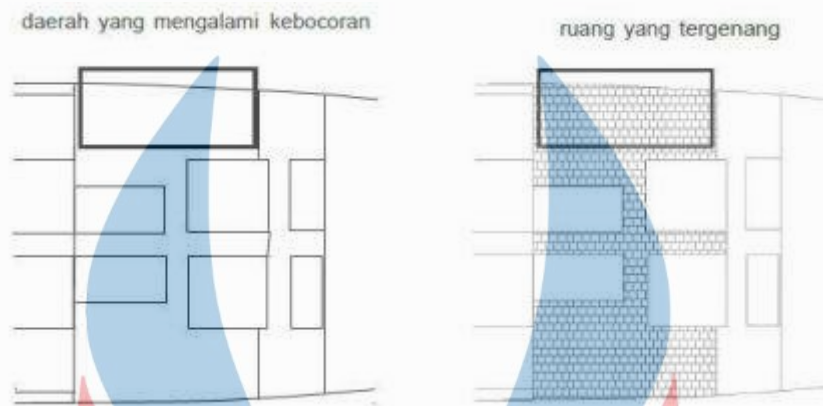
P_i = Mengakomodasi kemungkinan tentang kompartemen mana yang mengalami kebocoran. Kemungkinan ini berlaku sepanjang kapal

S_i = Mengakomodasi kemungkinan atas keselamatan kapal jika kapal mengalami kebocoran. Kemungkinan ini juga berlaku sepanjang kapal (Dzakiyyah, 2020).

2.9.3. Faktor P_i

Dalam peraturan 7-1 kata 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. Gambar

2.11 menunjukkan kompartemen yang tergenang pada saat terjadi kebocoran yaitu sebagai berikut (Akmal, 2013).

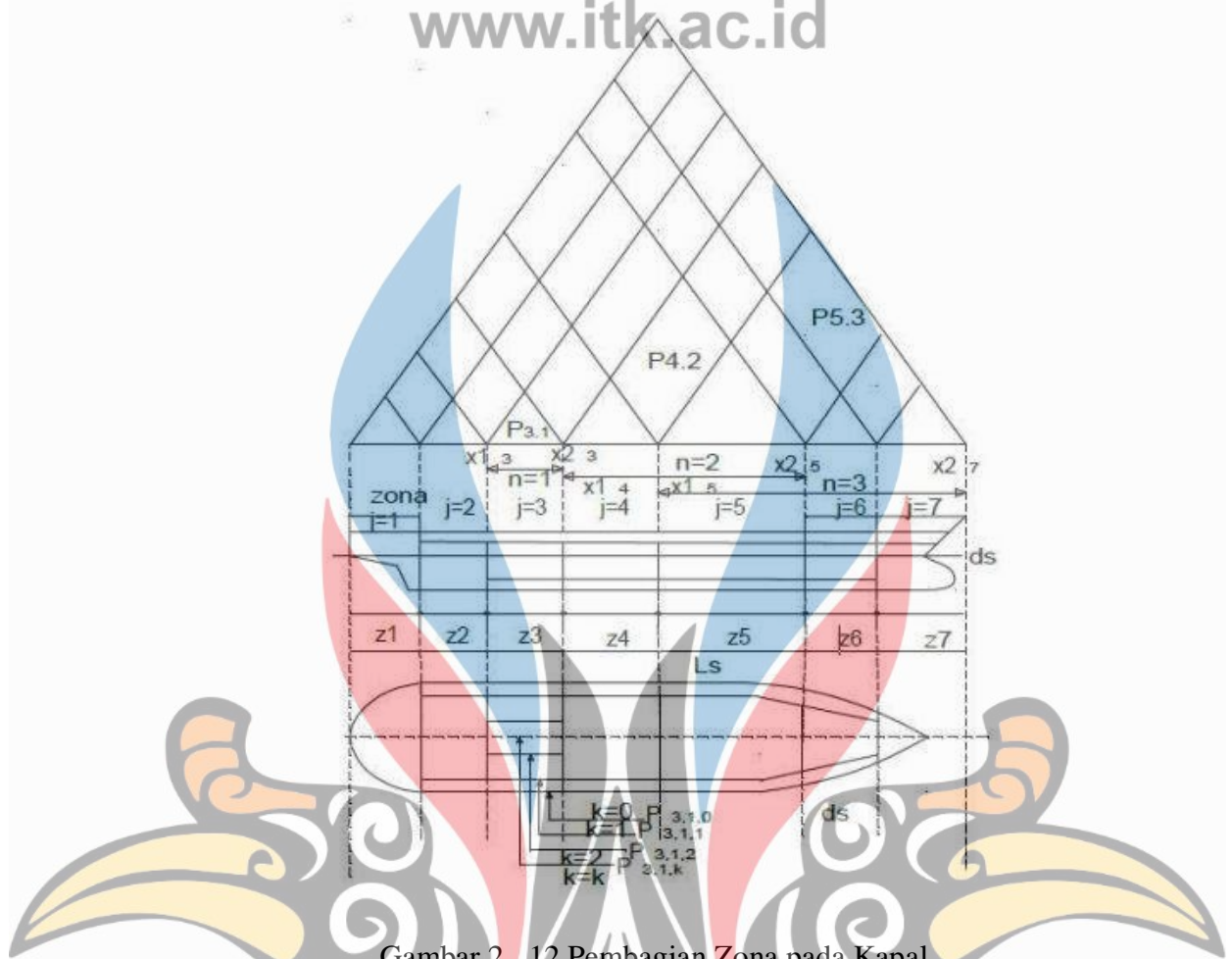


Gambar 2. 11 Kebocoran pada Kompartemen Kapal

Dalam mempersiapkan perhitungan indeks A , panjang subdivisi kapal (L_s) kebocoran zona dibagi menjadi beberapa bagian yang terpisah. Kebocoran zona ini akan menentukan perhitungan stabilitas kebocoran. Batas zona tidak perlu bertepatan dengan batas sekat kedap. Namun penting untuk dipertimbangkan sebuah strategi yang cermat untuk mendapatkan hasil yang baik (nilai indeks A yang besar). Semua zona dan gabungan dari zona yang berdekatan memberikan kontribusi pada indeks A . 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- p_i di zona j dan seterusnya ($n-1$)

Berikut pembagian zona pada kapal yang akan ditunjukkan pada Gambar 2.12 (Akmal, 2013).



Gambar 2. 12 Pembagian Zona pada Kapal

Faktor pi harus dihitung dengan menggunakan notasi sebagai berikut :

- X1 = jarak dari ujung belakang Ls ke bagian paling depan dari ujung belakang kompartemen yang ditinjau.
- X2 = jarak dari ujung belakang Ls ke bagian paling belakang dari ujung depan kompartemen yang ditinjau.

$$E1 = X1 / Ls \tag{2.7}$$

$$E2 = X2 / Ls \tag{2.8}$$

$$E = E1 + E2 - 1 \tag{2.9}$$

$$J = E2 - E1 \tag{2.10}$$

$$J' = J - E \text{ bila } E \geq 0 \tag{2.11}$$

$$J = J + E \text{ bila } E < 0 \quad (2.12)$$

Panjang kerusakan non dimensional maksimum $J_{max} = 48/Ls$ tetapi tidak kurang dari 0,24. Distribusi berat jenis dari lokasi kerusakan yang membentang sepanjang yang diasumsikan adalah:

$$a = 1,2 + 0,8E, \text{ tetapi tidak lebih dari } 1,2 \quad (2.13)$$

Asumsi distribusi fungsi dari lokasi kerusakan yang membentang sepanjang kapal adalah:

$$F = 0,4 + 0,25E (1,2+a) \quad (2.14)$$

$$y = J/J_{max} \quad (2.15)$$

$$p = F1.J_{maks} \quad (2.16)$$

$$q = 0,4 F2. (J_{maks})^2 \quad (2.17)$$

$$F1 = y^2 - 1/3 y^3 \quad \text{bila } y < 1 \quad (2.18)$$

$$F1 = y - 1/3 \quad \text{bila } y \geq 1 \quad (2.19)$$

$$F2 = 1/3 y^3 - 1/12 y^4 \quad \text{bila } y < 1 \quad (2.20)$$

$$F2 = 1/2 y^2 - 1/3 y + 1/12 \quad \text{bila } y \geq 1 \quad (2.21)$$

Perhitungan faktor P_i untuk *single compartement* adalah sebagai berikut:

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

$$P_i = 1 \quad (2.22)$$

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

$$P_i = F + 0,5 ap + q \quad (2.23)$$

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

$$P_i = 1 - F + 0,5 ap \quad (2.24)$$

4. Kompartemen berada diantara ujung depan dan ujung belakang L_s .

$$P_i = ap \quad (2.25)$$

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 :

$$P_i = P_{12} - P_1 - P_2 \quad (2.26)$$

$$P_i = P_{23} - P_2 - P_3 \quad (2.27)$$

Untuk grup yang terdiri dari 3 kompartement :

$$P_i = P_{123} - P_{12} - P_{23} - P_3, \text{ dan seterusnya} \quad (2.28)$$

Untuk grup yang terdiri dari 4 kompartement :

$$P_i = P_{1234} - P_{123} - P_{234} - P_{23} \quad (2.29)$$

$$P_i = P_{2345} - P_{234} - P_{345} - P_{34}, \text{ dan seterusnya} \quad (2.30)$$

Dengan :

$$P_{12} - P_{23} - P_{34}, \text{ dan seterusnya} \quad (2.31)$$

$$P_{123} - P_{234} - P_{345}, \text{ dan seterusnya} \quad (2.32)$$

$$P_{1234} - P_{2345} - P_{3456}, \text{ dan seterusnya} \quad (2.33)$$

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

Faktor P_i untuk grup dari tiga atau lebih kompartemen lainnya = 0 jika nilai J grup tersebut dikurangi nilai J dari kompartemen ujung depan dan belakang di dalam grup itu lebih besar dari J_{max} (Dzakiyyah, 2020).

2.9.4 Faktor S_i

Untuk setiap kompartemen nilai S_i dapat ditemukan melalui persamaan sebagai berikut:

$$S_i = 0.5 S_1 + 0.5 S_p \quad (2.35)$$

Dimana:

S_1 adalah faktor S_i pada garis terendah

S_p adalah faktor S_i pada partial line

Sedangkan nilai S ditentukan sebagai berikut :

$$S_{final} = K \cdot \left[\frac{GZ}{0.12} \cdot \frac{Range}{16} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.34)$$

Di mana :

$$K = 1 \quad \text{jika } \theta_e \leq 7^\circ \quad (2.35)$$

$$0 < K < 1 \quad \text{jika } 7 < \theta_e \leq 15^\circ \quad (2.36)$$

$$0 \quad \text{jika } \theta_e \geq 15^\circ \quad (2.37)$$

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

GZ_{max} adalah lengan pengembali (*righting arm*) positif yang paling besar pada kurva stabilitas statis, tetapi tidak boleh lebih besar dari 0.1 m. *Range* adalah jarak antara sudut *list* (θ) dan sudut tenggelam. Nilai $S_i = 0$ jika garis air terakhir dengan *trim* dan *heel* terjadi telah menyentuh sisi atau sudut terendah dari lubang *palkah* atau bukaan lain di geladak yang menyebabkan terjadinya *progressive flooding* (Dzakiyyah, 2020).

2.10. Software *Maxsurf*

Maxsurf adalah serangkaian *software* berbasis *NURBS* (*Non-Uniform, Rational B-spline Surface*) perusahaan *software Bentley Engineering* yang dapat digunakan untuk membantu proses desain kapal. Didalam rangkaian *software* *maxsurf* terdapat beberapa *software* diantaranya adalah :

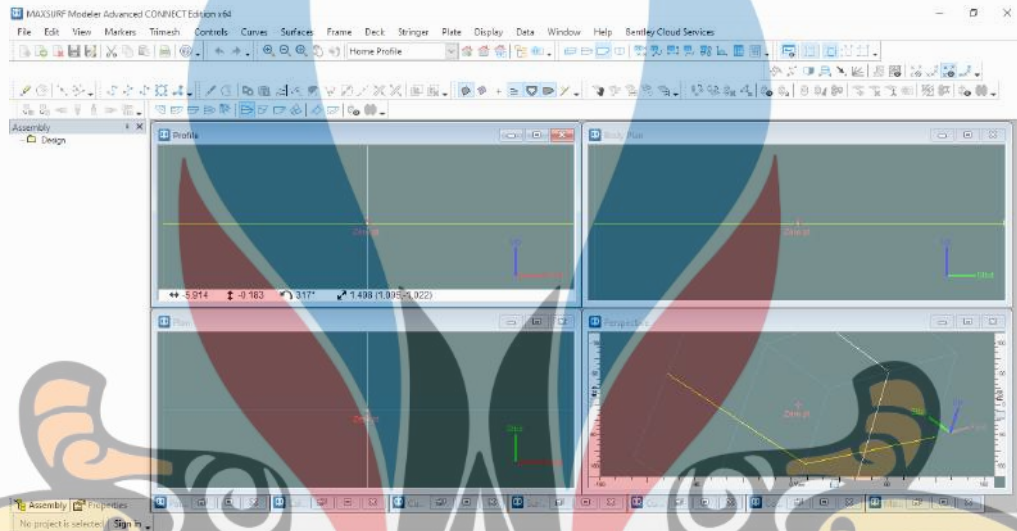
1. *Maxsurf Modeller* yang digunakan membuat desain 3D kapal serta analisa hidrostatik sederhana.
2. *Maxsurf Stability* yang digunakan untuk permodelan tangki-tangki dan kompartemen pada kapal, serta dapat digunakan untuk analisa stabilitas kapal baik secara statis dan dinamis serta dalam kondisi *Intact* maupun *damage*.
3. *Maxsurf Resistance* untuk melakukan analisa hambatan kapal
4. *Maxsurf Motion* untuk melakukan analisa olah gerak kapal secara dinamis.
5. *Maxsurf Structure* untuk menganalisa kekuatan kapal (Cakasana, 2017).

2.10.1. *Maxsurf Modeller*

Maxsurf Modeller sendiri lebih menitikberatkan desain kapal dan pembuatan *lines plan* dalam bentuk 3D, yang dapat memperlihatkan potongan *station*, *buttock*, *shear* dan 3D-nya pada pandangan depan, atas, samping dan prespektif. Selain digunakan untuk membuat *lines 26 plan* kapal juga dapat digunakan untuk membuat bentuk 3D-lain seperti: pesawat, mobil dan produk industri lainnya. Dasar pembuatan modelnya adalah *Surface* yang merupakan bidang permukaan dan dapat dibuat menjadi berbagai bentuk model 3D dengan jalan menambah, mengurangi, dan merubah kedudukan *control point*. Pembuatan *lines plan* ini adalah merupakan bagian yang paling penting, karena menggambarkan karakteristik kapal yang akan dibuat, sehingga bagian ini harus dikuasai dengan baik.

Pemodelan lambung kapal di *Maxsurf Modeller* terbagi atas beberapa *surface* yang digabung (*bounding*). *Surface* pada *Maxsurf Profesional* didenifisikan sebagai kumpulan *control point* yang membentuk jaring – jaring

control point. Dalam memperoleh surface yang diinginkan maka *control point* digeser – geser terhadap sumbu X, Y, dan Z nya sampai mencapai bentuk yang optimum. Pusat proses pemodelan desain rencana garis menggunakan *Maxsurf* adalah pengertian bagaimana *control point* digunakan untuk mencapai bentuk surface yang ingin dicapai . Model *software* dapat dilihat pada Gambar 2.13 dibawah ini (Cakasana, 2017).



Gambar 2. 13 Maxsurf Modeller

2.10.2. Maxsurf Stability

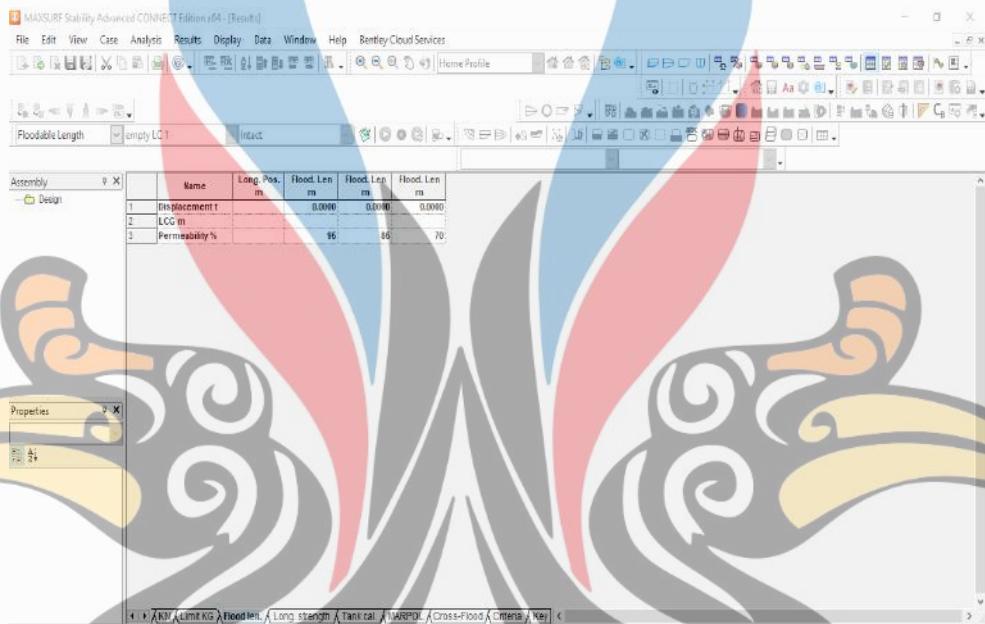
Maxsurf Stability adalah rangkaian software maxsurf yang berfungsi melakukan analisa stabilitas kapal yang didalamnya juga sudah terdapat kriteria-kriteria perhitungan stabilitas dari beberapa organisasi sehingga hasil analisa dapat langsung diketahui apakah memenuhi yang ada atau tidak. Pada software ini juga dapat dilakukan permodelan tangki-tangki dan kompartemen pada kapal serta dapat pula memodelkan *Loadcase* untuk tangki-tangki tersebut (Cakasana, 2017).

Maxsurf Stability ini memiliki beberapa hal yang dapat di analisis diantaranya adalah :

1. *Large Angle Stability*
2. *Hydrostatic Calculation*

- 3. *KN value*
- 4. *Equilibrium*
- 5. *Tank Calibration*
- 6. *Limiting KG*
- 7. *Probabilistic Damage Stability*

Maxsurf stability dapat dilihat pada Gambar 2.14 dibawah ini :



Gambar 2. 14 *Maxsurf Stability*

2.11. Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan, ditunjukkan pada tabel 2.4:

Tabel 2. 4 Daftar Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Berlian Arswendo A, dkk, Pengaruh Modifikasi Kapal LCT(Landing Craft Tank)	1. Menganalisis instac stability dan damage stability pada kapal ferry konversi dari LCT untuk mengetahui apakah sudah

	<p>Menjadi Kapal Ferry Terhadap Performa Kapal, 2019</p>	<p>memenuhi syarat dari IMO dimana di <i>instact stability</i> ada 6 kriteria dan di stabilitas kebocoran syaratnya indeks $A > R$.</p> <p>2. metode yang digunakan pada stabilitas kebocorannya menggunakan damage probabilistic.</p> <p>3. analisis intact stability kapal sebelum dan setelah modifikasi telah memenuhi kriteria yang disyaratkan dalam semua kondisi load case dengan nilai sudut maksimal GZ tidak kurang dari atau sama dengan 250 .</p> <p>Serta melakukan perhitungan analisis damage stability kapal sebelum modifikasi diperoleh nilai Index A sebesar 0.998341 dan nilai Index R sebesar 0.490257, sedangkan kapal setelah modifikasi diperoleh nilai 0.998341 untuk Index A dan 0.691519 untuk Index R. Hasil tersebut telah memenuhi standar kriteria yang disyaratkan yaitu Index A lebih besar dari Index R, seperti pada penelitian lain yang menjadi referensi dalam penelitian ini. Hasil penelitian ini, baik intact stability maupun damage stability telah memenuhi ketentuan serta kriteria yang berlaku.</p>
2	<p>Siti Noor Rooidah Dzakiyyah, “Analisis Stabilitas kebocoran pada</p>	<p>1. analisis stabilitas kebocoran pada kapal ferry ro-ro 300 GT. Analisis ini menggunakan software bantu yaitu</p>

	<p>Kapal Ferry Ro-Ro 300 GT dengan Metode Probabilistik”, 2020</p>	<p>maxsurf stability dengan metode probabilistik.</p> <p>2. Analisis stabilitas kebocoran 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 yang dapat dilihat pada Gambar 4.40 untuk perhitungan diatas 3 zona kebocoran berada di bawah p minimum sehingga tidak dapat dianalisis.</p> <p>3. Analisis stabilitas kebocoran pada kapal ini telah memenuhi kriteria dari SOLAS Chapter II-1 Part B-1 tentang subdivision and stability karena nilai indeks $A \geq R$ dengan nilai indeks A sebesar 0.994771 dan indeks R sebesar 0.701282.</p>
3	<p>Eko Sasmito Hadi, Deddy Chrismianto & Lily Muzdalifah, “Analisis Keselamatan Kapal Ferry Ro-Ro Ditinjau Dari Stabilitas kebocoran Probabilistik”, 2016</p>	<p>1. Mengetahui apakah perhitungan stabilitas kebocoran kapal feri ro-ro ukuran 500, 600 dan 750 GT sudah memenuhi syarat <i>SOLAS Consolidated edition 2009 Chapter II-1 part B-1</i> tentang Subdivision and stabilitas kebocoran.</p> <p>2. Perhitungan kebocoran dianalisa menggunakan software Maxsurf stability enterprise menggunakan metode probabilistik.</p> <p>3. Didapatkan perhitungan dan analisa yang telah dilakukan dimana disimpulkan sebagai berikut:</p>

	<p>Hasil tabulasi stabilitas kebocorankapal feri ro-ro sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none">Model kapal feri ro-ro 500 GT memiliki indeks faktor A akhir sebesar 0,9683 dengan nilai indeks R 0,693865.Model kapal <i>feri ro-ro</i> 600 GT memiliki indeks faktor A akhir sebesar 0,960 dengan nilai indeks R 0,695886.Model kapal <i>feri ro-ro</i> 750 GT memiliki indeks faktor A akhir sebesar 0,816 dengan nilai indeks R 0,694448.
--	---

Dari ketiga hasil penelitian di atas, semuanya membahas mengenai stabilitas kebocoran di setiap kompartemen. Didapatkan indeks A dan R dan semuanya memenuhi standart kriteria dari IMO, dimana nilai $A \geq R$. Seluruh penelitian diatas menganalisi stabilitas kebocoran pada kapal ferry dan salah satunya hasil konversi dari LCT. Dari uraian penelitian yang ada diatas tidak ada yang melakukan penelitian mengenai konversi tongkang menjadi Kapal Motor Penumpang (KMP). Sehingga diangkatlah tema mengenai analisis stabilitas kebocoran pada *ferry Ro-ro 1200 GT* konversi dari tongkang dengan metode probabilistik”.

