

**ANALISIS STABILITAS KAPAL FERI RO-RO KMP. TAKABONERATE
DALAM KEADAAN KOMPARTEMEN BOCOR**

SKRIPSI

*Diajukan guna memenuhi persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



OLEH :

MUHAMMAD RIKY ADHITAMA NUGRAHA

D311 16 018

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam mengikuti seminar dan ujian akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Perkapalan Program Studi Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

Judul Skripsi :

**“ANALISIS STABILITAS KAPAL FERI RO-RO KMP
TAKABONERATE DALAM KEADAAAN KOMPARTEMEN
BOCOR ”**

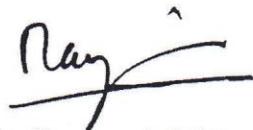
Disusun Oleh :

**MUHAMMAD RIKY ADHITAMA NUGRAHA
D311 16 018**

Gowa, Juni 2021

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I



Ir. Rosmani, MT.
Nip. 19600620 198802 2 001

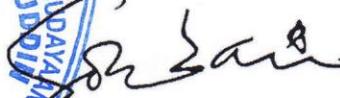
Pembimbing II



Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT
Nip. 19730206 200012 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.
Nip. 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Riky Adhitama Nugraha

NIM : D311 16 018

Program Studi : Teknik Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Analisis Stabilitas Feri Ro-Ro KMP. Takabonerate Dalam Keadaan Kompartemen Bocor

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 11 Juni 2021

Yang menyatakan



Muh. Riky Adhitama N.

ABSTRAK

Adhitama, Muhammad Riky. “Analisa Stabilitas Kapal Feri Ro-Ro KMP. Takabonerate Dalam Keadaan Kompartemen Bocor”. (Dibimbing oleh Ir. Hj. Rosmani, MT. dan Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.)

Dalam satu dekade terakhir terjadi peningkatan jumlah kecelakaan kapal setiap tahunnya. Terjadinya kasus-kasus tersebut dikarenakan kapal feri ro-ro masih banyak memiliki kelemahan dimana geladak kendaraan tidak kedap air dan terdapat beberapa bukaan yang ada di geladak kendaraan kapal. Performa stabilitas kapal feri haruslah baik untuk menjamin keselamatan kapal tersebut dan penumpangnya di lautan. Oleh karena itu, karakteristik performa stabilitas kapal haruslah diprediksi dengan tepat termasuk pada saat kapal dalam keadaan bocor. Untuk mengetahui jumlah maksimum kompartemen yang bocor serta kombinasi kebocoran paling rawan terhadap kondisi stabilitas kapal KMP. Takabonerate 500 GT digunakan parameter dalam rekomendasi SOLAS (*Safety of Life at Sea*) mengenai kriteria stabilitas minimum kapal yang mengalami kebocoran dan menjadi acuan dalam analisis peluang kapal tenggelam.

Terdapat dua indeks yang akan dibandingkan untuk mengetahui *subdivision* dan *damage stability* yaitu nilai indeks R yang disyaratkan (*Required Subdivision Index R*) dan nilai indeks A yang dicapai (*Attained subdivision Index A*). Yang mana nilai indeks A harus lebih besar atau sama dengan nilai indeks R ($A \geq R$). Nilai indeks R dipengaruhi oleh jumlah penumpang kapal, sedangkan nilai indeks A dipengaruhi oleh faktor ρ dan s_i . Nilai indeks A yang dicapai KMP. Takabonerate 500 GT yaitu 0,7716 sedangkan nilai Indeks R yang disyaratkan yaitu sebesar 0,6989 sehingga nilainya sudah memnuhi sesuai aturan SOLAS.

Kata Kunci : Kapal Feri Ro-Ro, Damage Stability, subdivision, probabilitas, SOLAS.

ABSTRACT

Adhitama, Muhammad Riky (2021). “Analysis Stability of Ro-Ro Ferry KMP. Takabonerate In Damage Compartment Condition ”. (Supervised By Ir. Hj. Rosmani, MT. and Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.)

In the last decade there has been an increase in the number of ship accidents every year. The occurrence of these cases is because ro-ro ferries still have many weaknesses where the ship's deck is not watertight and there are several openings in the ship's deck. The stability performance of ferry must be good to ensure the safety of the ship and its passengers at sea. Therefore, the stability performance characteristics of the ship must be accurately predicted, including when the ship is in the state of leakage. To find out the maximum number of compartments that damage and the combination of damage that are most prone to the stability conditions of the KMP. Takabonerate Ship 500 GT using the SOLAS (Safety of Life at Sea) recommendation as the parameter regarding the minimum stability criteria for ships experiencing damage and as a reference in analyzing the probability of a sinking ship.

There are two index that will be compared to determine the subdivision and damage stability, namely the Required Subdivision (Index R) and the Attained Subdivision (Index A) . Which the value of index A must be greater than or equal to the value of index R ($A \geq R$). The R index value is influenced by the number of ship passengers, while the A index value is influenced by pi and si factors. The value of index A achieved by the KMP. Takabonerate Ship 500 GT is 0.7716 while the required R Index value is 0.6989 so that the value has complied with the SOLAS rules.

Keywords: Ro-Ro Ferry, Damage Stability, subdivision, probability, SOLAS.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahims

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam yang telah memberikan rahmat dan hidayahNYA sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “**ANALISIS STABILITAS KAPAL FERI RO-RO KMP. TAKABONERATE DALAM KEADAAN KOMPARTEMEN BOCOR**” ini. Shalawat dan salam juga tak lupa penulis ucapkan untuk junjungan Rasulullah Muhammad SAW.

Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Perkapalan pada Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini memerlukan proses yang panjang, mulai dari awal persiapan hingga tahap akhir perampungan, tidak sedikit hambatan dan kesulitan yang ditemukan dan tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, oleh karena itu saya ucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Drs, Kusnadi M.Pd. dan Sardiaman S.Pd. yang telah mencurahkan segala kasih sayangnya, dan senantiasa meberikan dukungan berupa kesabaran, doa dan materi. Tak ada yang bisa membalas pengorbanan mereka dalam mendidik dan membesarkan penulis hingga menjadi seperti ini, semoga Allah menyempatkan penulis untuk berbakti kepada mereka dan membanggakan mereka.
2. Bapak Dr. Suandar Baso, ST., MT. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta jajarannya;

3. Ibu Ir. Hj. Rosmani M.T. selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST, MT. selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan ide serta meluangkan banyak waktu untuk membantu dan membimbing dalam penyusunan tugas akhir ini;
4. Bapak Dr. Ir. Syamsul Asri, MT., dan Ibu Andi Dian Eka Anggriani, ST., MT. selaku dosen penguji yang banyak memberikan masukan untuk menyempurnakan skripsi ini;
5. Seluruh Dosen dan Staf Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin;
6. Saudara seperjuangan skripsi Kapal bocor ini yaitu Chandra Basongan, Muh. Annash Syafaruddin dan Muh. Risqullah yang telah sama sama berjuang dan memberikan banyak masukan sehingga skripsi ini dapat selesai.
7. Kepada seluruh teman-teman CRUIZER 16, terima kasih telah memberikan banyak pengalaman yang berharga dan telah menjadi teman baik selama penulis menuntut ilmu di Departemen Perkapalan ini.
8. Kepada seluruh teman teman PERKAPALAN 2016, terima kasih telah banyak memberikan suka dan duka selama masa perkuliahan, semoga kita semua bisa menjadi orang yang sukses di masa depan.
9. Kepada seluruh anggota LABO HIDRODINAMIKA KAPAL, terima kasih atas semangatnya dan senantiasa menemani penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Kepada KELUARGA E12 yang telah banyak memberikan pengalaman suka dan duka selama masa perkuliahan.
11. Rekan-rekan SENSE VISUAL yang telah banyak memberikan motivasi dan dukungan sehingga skripsi ini dapat selesai.

12. Kanda-kanda senior, dinda-dinda junior, dan teman-teman seangkatan baik di Jurusan Perkapalan FT-UH maupun jurusan lain di FT-UH, serta pihak-pihak lain yang turut membantu terselesaikannya penelitian ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Mudah-mudahan Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan karunianya kepada semua pihak yang telah memberikan segala bantuannya. Hasil penelitian ini tentu saja masih memiliki banyak kekurangan karena keterbatasan kemampuan penulis. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menjadi suatu karya yang memberi dampak positif dan dapat bermanfaat bagi pembaca dan penulis.

AamiinYaaRabbalAalamiin

Wassalamualaikum WarahmatullahiWabarakatuh

Makassar, Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kapal Feri.....	5
2.1.1 Double-Ended	5
2.1.2 Hydrofoil Ferry	6
2.1.3 Ro-Ro	6
2.1.4 Cable-Ferry	7
2.1.5 Turntable Ferry.....	8
2.1.6 Train Ferry	9
2.1.7 Catamaran	9
2.2 Kebocoran Kapal.....	10
2.2.1 Perubahan sarat	11

2.2.2	Pergeseran Titik Tekan (B)	13
2.2.3	Trim dan Lambungan	16
2.3	Stabilitas Kapal	18
2.3.1	Titik Titik Penting Dalam Stabilitas	19
2.3.2	Dimensi Pokok Stabilitas Kapal.....	20
2.3.3	Momen Penegak.....	24
2.4	Damage Stability	27
2.5	Perhitungan <i>Damage</i> dengan Pendekatan <i>Probabilistic</i>	27
2.6	Perhitungan SOLAS <i>Requirement</i>	29
2.7	Perhitungan Stabilitas Kapal Dengan <i>Maxsurf</i>	30
2.7.1	Program <i>Maxsurf Modeler</i>	31
2.7.2	Program <i>Maxsurf Stability</i>	32
BAB III.....		34
METODE PENELITIAN		34
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	34
3.2	Jenis Penelitian	34
3.3	Metode Pengumpulan Data	34
3.4	Metode Analisis.....	35
3.4.1	Pemodelan Kapal Feri Ro-Ro 500 GT Selayar.....	35
3.4.2	Menghitung Stabilitas Model Kapal dengan <i>Maxsurf Stability</i>	37
3.4.3	Menganalisa Stabilitas Kapal Feri Ro-Ro Dan Kesesuaiannya Dengan SOLAS.....	38
3.4.4	Penarikan Kesimpulan	39
3.5	Kerangka Pemikiran	39
BAB IV		40
HASIL DAN PEMBAHASAN		40
4.1	Data Kapal Feri Ro-Ro KMP. Takabonerate	40
4.2	Rencana Garis dan Rencana Umum.....	40

4.3	Permodelan Kapal	41
4.4	Data <i>Hydrostatic</i>	42
4.5	Permodelan Tangki Dan Kompartemen	43
4.6.	Berat dan Titik Berat Kapal.....	45
4.6.1	Komponen LWT	45
4.6.2	Komponen DWT.....	47
4.7	Pembagian Rencana Kondisi Pemuatan	51
4.8	Perencanaan Skenario Kebocoran	54
4.9	Analisa Masing-Masing Skenario Kebocoran Pada Air Tenang.....	55
4.10	Stabilitas Kapal Pada Kondisi <i>Intact</i>	61
4.11	Stabilitas Kapal Di Kondisi Ekstrim	66
4.11.1	Lengan Stabilitas Pada Kombinasi Satu Kompartemen Bocor.....	66
4.11.2	Lengan Stabilitas Pada Kombinasi Dua Kompartemen Bocor	71
4.11.3	Lengan Stabilitas Pada Kombinasi Tiga Kompartemen Bocor.....	76
4.12	Menghitung Nilai Indeks <i>Damage Stability</i> Berdasarkan SOLAS (<i>Safety Of Life At Sea</i>)	81
4.12.1	Menghitung Nilai Indeks R.....	82
4.12.2	Menghitung Nilai Indeks A.....	83
BAB V	84
KESIMPULAN DAN SARAN	84
5.1	Kesimpulan.....	84
5.2	Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN	87

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Ukuran Utama Kapal	40
Tabel 4.2 Validasi data hidrostatis pada kondisi <i>full load</i>	42
Tabel 4.3 Volume Tangki-Tangki dan Kompartemen KMP. Takabonerate.....	44
Tabel 4.4 Perhitungan Titik Berat Komponen LWT	45
Tabel 4.5 Perhitungan Titik Berat Komponen DWT Tanpa Muatan.....	47
Tabel 4.6 Perhitungan Titik Berat Komponen DWT Muatan 50%	48
Tabel 4.7 Perhitungan Titik Berat Komponen DWT Muatan 100%	50
Tabel 4.8 Kondisi Kapal Tanpa Muatan (<i>lightweight</i>).....	52
Tabel 4.9 Kondisi Muatan Kapal 50% atau <i>partial subdivision</i> (dp)	52
Tabel 4.10 Kondisi Muatan Penuh 100% atau <i>deepest subdivision</i> (ds)	53
Tabel 4.11 Data hasil percobaan pada air tenang untuk skenario kebocoran satu kompartemen.....	56
Tabel 4.12 Data hasil percobaan pada air tenang untuk skenario kebocoran dua kompartemen.....	57
Tabel 4.13 Data hasil percobaan pada air tenang untuk skenario kebocoran tiga kompartemen.....	60
Tabel 4.14 Hasil analisa kriteria stabilitas IMO-HSC 2000 satu kompartemen bocor pada Haluan kapal	62
Tabel 4.15 Hasil analisa kriteria stabilitas IMO-HSC 2000 satu kompartemen bocor pada kondisi 50% muatan	63
Tabel 4.16 Hasil analisa kriteria stabilitas IMO-HSC 2000 satu kompartemen bocor pada kondisi <i>lightship</i>	65
Tabel 4.17 Rangkuman hasil analisa stabilitas pada kondisi Intact.....	65
Tabel 4.18 Skenario kebocoran yang akan diuji stabilitasnya.....	66
Tabel 4.19 Rangkuman hasil analisa stabilitas pada kebocoran satu kompartemen di bagian Haluan.....	69
Tabel 4.20 Rangkuman hasil analisa stabilitas pada kebocoran satu kompartemen di bagian buritan.....	71

Tabel 4.21	Rangkuman hasil analisa stabilitas pada kebocoran satu kompartemen di bagian Haluan.....	74
Tabel 4.22	Rangkuman hasil analisa stabilitas pada kebocoran satu kompartemen di bagian buritan.....	76
Tabel 4.23	Rangkuman hasil analisa stabilitas pada kebocoran tiga kompartemen di bagian Haluan.....	79
Tabel 4.24	Rangkuman hasil analisa stabilitas pada kebocoran tiga kompartemen di bagian buritan.....	81
Tabel 4.25	Hasil perhitungan damage stability KMP. Takabonerate 500 GT.	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Double Ended Ferry</i>	5
Gambar 2.2. <i>Hydrofoil Ferry</i>	6
Gambar 2.3. Kapal Feri Ro-Ro	7
Gambar 2.4. <i>Cable Ferry</i>	8
Gambar 2.5. <i>Turntable Ferry</i>	8
Gambar 2.6. <i>Train Ferry</i>	9
Gambar 2.7. <i>Catamaran Ferry</i>	9
Gambar 2.8 Kapal yang mengalami kobocoran	10
Gambar 2.9 Volume air yang bocor	10
Gambar 2.10 Luas garis air setelah bocor	12
Gambar 2.11 Pergeseran titik tekan	13
Gambar 2.12 Pergeseran titik f	14
Gambar 2.13 Pergeseran titik B	14
Gambar 2.14 Cara mencari letak Z'	15
Gambar 2.15. Gaya yang bekerja ketika kapal dalam keadaan trim	16
Gambar 2.16 Letak sarat buritan (T_b) dan sarat haluan (T_d)	17
<i>Gambar 2.17 Momen Penegak.</i>	25
<i>Gambar.2.18. Contoh kurva lengan stabilitas</i>	26
<i>Gambar 2.19. Tampilan Window Maxsurf Modeler Advance 64-Bit.</i>	31
<i>Gambar 2.20. Tampilan Maxsurf Stability Advance.</i>	33
Gambar 3.1 <i>Mebuat File Desain Baru.</i>	35
Gambar 3.2 <i>Memilih Surface Yang Ingin Digunakan.</i>	36

Gambar 3.3. Menu Surface Control Point	36
Gambar 3.4 Membuka <i>File</i> Desain <i>Maxsurf</i>	37
Gambar 3.5 <i>Analysis Tools</i>	37
Gambar 3.6 Pemilihan Kriteria.	38
Gambar 4.1 Model Kapal KMP. Takabonerate dengan <i>Maxsurf Modeller</i>	41
Gambar 4.2 Desain Tangki dan Kompartemen KMP. Takabonerate	43
Gambar 4.3 Zona Kebocoran Kompartemen KMP. Takabonerate	54
Gambar 4.4 Layout kompartemen kebocoran KMP. Takabonerate	54
Gambar 4.5 skenario satu kompartemen bocor	55
Gambar 4.6 Skenario dua kompartemen bocor	57
Gambar 4.7 Skenario tiga kompartemen bocor	59
Gambar 4.8 kurva lengan stabilitas satu kompartemen bocor pada Haluan kapal di kondisi <i>full load</i>	62
Gambar 4.9 Kurva lengan stabilitas satu kompartemen bocor di kondisi 50% muatan.....	63
Gambar 4.10 Kurva lengan stabilitas satu kompartemen bocor di kondisi <i>lightship</i>	64
Gambar 4.11 kurva lengan stabilitas satu kompartemen bocor pada Haluan kapal di kondisi <i>full load</i>	67
Gambar 4.12 kurva lengan stabilitas satu kompartemen bocor di kondisi 50% muatan	68
Gambar 4.13 Kurva lengan stabilitas satu kompartemen bocor di kondisi <i>lightship</i>	70
Gambar 4.14 kurva lengan stabilitas satu kompartemen bocor pada buritan kapal di kondisi <i>full load</i>	71
Gambar 4.15 kurva lengan stabilitas satu kompartemen bocor pada buritan kapal di kondisi muatan 50%	73

Gambar 4.16 kurva lengan stabilitas satu kompartemen bocor pada buritan kapal di kondisi <i>lightship</i>	74
Gambar 4.17 Kurva lengan stabilitas dua kompartemen bocor di Haluan kapal pada kondisi <i>full load</i>	76
Gambar 4.18 Kurva lengan stabilitas dua kompartemen bocor di kondisi 50% muatan	78
Gambar 4.19 Kurva lengan stabilitas dua kompartemen bocor di kondisi <i>lightship</i>	79
Gambar 4.20 Kurva lengan stabilitas dua kompartemen bocor di buritan kapal pada kondisi <i>full load</i>	81
Gambar 4.21 Kurva lengan stabilitas dua kompartemen bocor di kondisi 50% muatan	82
Gambar 4.22 Kurva lengan stabilitas dua kompartemen bocor di kondisi <i>lightship</i>	84
Gambar 4.23 Kurva lengan stabilitas tiga kompartemen bocor di kondisi <i>full load</i>	86
Gambar 4.24 kurva lengan stabilitas tiga kompartemen bocor di kondisi 50% muatan	87
Gambar 4.25 Kurva lengan stabilitas tiga kompartemen bocor di kondisi <i>lightship</i>	89
Gambar 4.26 kurva lengan stabilitas tiga kompartemen bocor di buritan kapal pada kondisi <i>Full load</i>	90
Gambar 4.27 kurva lengan stabilitas tiga kompartemen bocor di kondisi 50% muatan	92
Gambar 4.28 Kurva lengan stabilitas tiga kompartemen bocor di kondisi <i>lightship</i>	93

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.** Gambar Rencana Garis KMP. Takabonerare
- Lampiran 2.** Gambar Rencana Umum KMP. Takabonerate
- Lampiran 3.** Kondisi stabilitas di setiap kemiringan dalam keadaan intact
- Lampiran 4.** Kondisi stabilitas di setiap kemiringan pada satu kompartemen bocor di bagian Haluan
- Lampiran 5.** Kondisi stabilitas di setiap kemiringan pada satu kompartemen bocor di bagian Buritan
- Lampiran 6.** Kondisi stabilitas di setiap kemiringan pada dua kompartemen bocor di bagian Haluan
- Lampiran 7.** Kondisi stabilitas di setiap kemiringan pada dua kompartemen bocor di bagian Buritan
- Lampiran 8.** Kondisi stabilitas di setiap kemiringan pada tiga kompartemen bocor di bagian Haluan
- Lampiran 9.** Kondisi stabilitas di setiap kemiringan pada tiga kompartemen bocor di bagian Buritan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Keberadaan sebuah transportasi sangat berpengaruh terhadap perkembangan kehidupan bermasyarakat, berbangsa dan bernegara sebagai alat penggerak, pemindah yang dapat menunjang kemajuan perkembangan di seluruh daerah. Untuk mewujudkan hal tersebut, perlu adanya perlakuan yang baik pada semua sistem transportasi salah satunya transportasi laut. Perkembangan transportasi laut dewasa ini tidak terlepas dari kemajuan teknologi yang telah beredar di berbagai wilayah Indonesia hingga dapat memproduksi kapal dalam negeri seperti kapal feri ro-ro. Kapal feri ro-ro sering disebut sebagai jembatan penyeberangan karena merupakan salah satu kapal penyeberangan yang berlayar menghubungkan pulau-pulau dalam jarak yang dekat. Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM. 35 Tahun 2019 tentang Penyelenggaraan Angkutan Penyeberangan bahwa angkutan penyeberangan adalah angkutan yang berfungsi sebagai jembatan penyeberangan yang menghubungkan jaringan jalan dan/atau jaringan jalur kereta api yang dipisahkan oleh perairan untuk mengangkut penumpang dan kendaraan beserta muatannya.

Dalam satu dekade terakhir terjadi peningkatan jumlah kecelakaan kapal setiap tahunnya. Pada tahun 2017 terdapat 34 kasus kecelakaan kapal yang terjadi dengan kerugian korban jiwa yang tidak sedikit, 7 diantaranya merupakan kecelakaan kapal feri ro-ro. Untuk mempertahankan posisi kapal saat terjadi kebocoran dibutuhkan *damage stability* yang baik agar kapal tidak tenggelam atau setidaknya memperlambat proses tenggelamnya kapal sehingga upaya penyelamatan penumpang dapat dilakukan. (P. Manik, 2019)

Salah satu hasil analisa dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) pada tenggelamnya KM. Rafelia II menyimpulkan bahwa tenggelamnya kapal tersebut dikarenakan stabilitas kapal tidak memenuhi kriteria stabilitas yang

baik. Kasus lain terjadi pada KM. Senopati Nusantara, menurut (KNKT) penyebab kapal tersebut tenggelam adalah masuknya air kedalam kapal sehingga menyebabkan kapal mengalami trim dan langsung tenggelam. Hal ini disebabkan karena kapal tidak memiliki stabilitas yang baik sehingga kapal tidak mampu kembali ke posisi semula saat menerima gaya atau tekanan (M. Zaky, 2012).

Terjadinya kasus-kasus diatas dikarenakan kapal feri ro-ro masih banyak memiliki kelemahan salah satunya yaitu terdapat beberapa bukaan yang ada di geladak kendaraan kapal. Kondisi ini mempengaruhi stabilitas kapal pada saat air masuk ke kompartemen dalam lambung kapal. Pada kondisi tersebut, stabilitas kapal dihitung dan dianalisis untuk mengevaluasi kriteria keselamatan sesuai dengan kriteria yang terdapat pada SOLAS 2009 *Chapter II-1 Resolution MSC.281 (85) (based on the probabilistic concept)*.

Oleh karena itu peneliti merasa perlu untuk melakukan penelitian tentang analisa damage stability pada kapal feri ro-ro.

1.2 Rumusan Masalah

Dilihat dari latar belakang yang dijelaskan, maka permasalahan yang akan diteliti adalah:

1. Bagaimana stabilitas kapal feri ro-ro pada saat mengalami kebocoran di kondisi ekstrem?
2. Apakah damage stability pada kapal feri ro-ro sudah memenuhi kriteria SOLAS 2009 *Chapter II-1 part B-1* tentang *Subdivision and damage stability*?

1.3 Batasan Masalah

Dilihat dari permasalahan yang ada maka perlu ada pembatasan masalah agar dalam penelitian bisa mempermudah analisis dan menjadi lebih teratur :

1. Metode yang digunakan dalam mengerjakan penelitian ini adalah metode numerik menggunakan aplikasi *maxurf stability*
2. Pendekatan yang digunakan adalah metode pendekatan probabilistik

3. Kebocoran kompartemen direncanakan asimetris melintang
4. Peraturan yang digunakan untuk menguji kriteria *damage stability* adalah SOLAS 2009 *Chapter II-1*

1.4 Tujuan Penelitian

Dilihat dari rumusan masalah yang ada, tujuan yang ingin dicapai adalah :

1. Menentukan kondisi stabilitas kapal saat mengalami kebocoran
2. Menentukan kesesuaian *damage stability* kapal feri ro-ro dengan kriteria SOLAS 2009 *Chapter II-1 part B-1* tentang *Subdivision and damage stability*

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan tidak lain mempertimbangkan manfaat yang ingin dicapai yakni :

1. Memberikan data hasil percobaan bagi pihak tertentu yang terkait dalam hal memberikan izin berlayar bagi kapal feri ro-ro.
2. Menjadi bahan acuan dalam menganalisa stabilitas kapal pada saat kapal bocor.
3. Dijadikan sebagai media bahan ajar terkait dengan materi stabilitas kapal.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut adalah sistematika penulisan dalam penelitian ini yakni :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, rumusan masalah, tujuan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang teori-teori dasar yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa masalah sehingga diperoleh penyelesaian dari masalah yang ada.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang metode yang digunakan untuk mengumpulkan data serta kerangka analisa data untuk menyelesaikan masalah secara bertahan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang pembahasan mengenai masalah yang ada yakni mengetahui stabilitas kapal pada keadaan bocor dan mengetahui kesesuaian *damage stability* kapal feri ro-ro dengan persyaratan yang ditentukan oleh SOLAS 2009 *Chapter II-1 part B-1* tentang *Subdivision and damage stability*

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran-saran yang berkaitan dengan penulisan.

DAFTAR PUSTAKA

Di bagian daftar pustaka berisi tentang literatur-literatur yang menjadi sumber acuan penyelesaian penelitian.

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Feri

Kapal Feri merupakan salah satu angkutan penyeberangan yang merupakan angkutan yang berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan jaringan jalan yang dipisahkan oleh perairan untuk mengangkut penumpang dan kendaraan beserta muatannya. (Rosmani, 2013)

Kapal feri membentuk bagian dari sistem transportasi publik di banyak kota-kota tepi sungai dan pulau-pulau, yang memungkinkan transit langsung antara titik dengan biaya modal jauh lebih rendah dibandingkan jembatan atau terowongan. Namun, koneksi kapal jarak yang jauh lebih besar (seperti jarak jauh dalam badan air seperti Laut Mediterania) juga dapat disebut layanan feri, terutama jika mereka membawa kendaraan. Berikut ini merupakan jenis-jenis kapal feri antara lain :

2.1.1 Double-Ended

Kapal feri ujung-ganda memiliki bagian depan dan belakang yang dapat ditukar, sehingga feri ini dapat berlayar bolak-balik tanpa harus memutar



Gambar 2.1. *Double Ended Ferry* (Sumber : Google Image, 2020)

2.1.2 Hydrofoil Ferry

Kapal feri ini pada area bawah lambung kapal terpasang *hydrofoil* yang berfungsi memberi gaya angkat dinamis sehingga badan lambung kapal terangkat di atas air. Penggunaan *hydrofoil* ini bertujuan untuk mengurangi hambatan kapal pada kondisi kecepatan yang direncanakan. Gaya angkat yang dimiliki *hydrofoil* dapat mengurangi luas permukaan basah kapal pada kondisi *foilborne* sehingga hambatan yang diterima hanya akan dipengaruhi oleh sistem *hydrofoil* sendiri.



Gambar 2.2. *Hydrofoil Ferry* (Sumber : Google Image, 2020)

2.1.3 Ro-Ro

Kapal feri yang dilengkapi *ramp door* bisa memuat kendaraan yang berjalan masuk ke dalam kapal dengan penggerakannya sendiri dan bisa keluar dengan sendiri juga. Kapal feri tipe Ro-Ro mempunyai ciri khas sebagai berikut :

- Mempunyai geladak kendaraan sebagai geladak utama
- Di atas geladak kendaraan terdapat geladak untuk memuat penumpang

- Mempunyai pintu pendaratan di bagian depan dan belakang kapal
- Mempunyai dermaga khusus dalam pengoperasian
- Dioperasikan pada trayek dekat untuk kapal feri berukuran kecil, sedangkan pada trayek jauh menggunakan kapal feri berukuran besar yang berfungsi sebagai kapal penumpang



Gambar 2.3. Kapal Feri Ro-Ro (Sumber : Google Image, 2020)

2.1.4 Cable-Ferry

Kapal feri yang digerakkan dan dikendalikan dengan menggunakan kabel yang disambung di kedua sisi. Kadangkala feri kabel digerakkan menggunakan tenaga manusia. Feri arus adalah feri kabel yang menggunakan kekuatan arus sebagai sumber energi. Feri rantai dapat digunakan di sungai yang berarus laju pada jarak pendek.



Gambar 2.4. *Cable Ferry* (Sumber : Google Image, 2020)

2.1.5 **Turntable Ferry**

Kapal feri jenis ini memiliki *platform* yang dapat diputar untuk memuat kendaraan



Gambar 2.5. *Turntable Ferry* (Sumber : Google Image, 2020)

2.1.6 Train Ferry

Kapal feri ini dirancang untuk membawa kereta. Biasanya satu tingkat kapal dilengkapi dengan rel kereta api, dan kapal memiliki pintu di bagian depan dan / atau belakang untuk memberikan akses ke dermaga.



Gambar 2.6. *Train Ferry* (Sumber : Google Image, 2020)

2.1.7 Catamaran

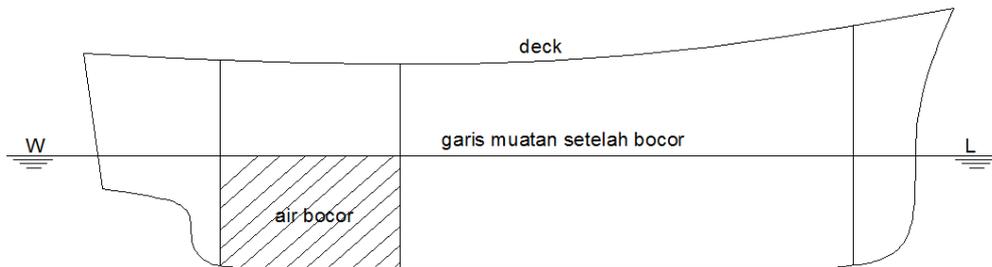
Kapal feri cepat yang didesain dengan dua *hull parallel* yang berukuran sama. Secara geometri, feri *catamaran* memiliki stabilitas yang baik dari kapal monohull. *Catamaran* juga memiliki sarat yang rendah sehingga hambatan yang kecil yang memungkinkan beroperasi dengan kecepatan yang tinggi



Gambar 2.7. *Catamaran Ferry* (Sumber : Google Image, 2020)

2.2 Kebocoran Kapal

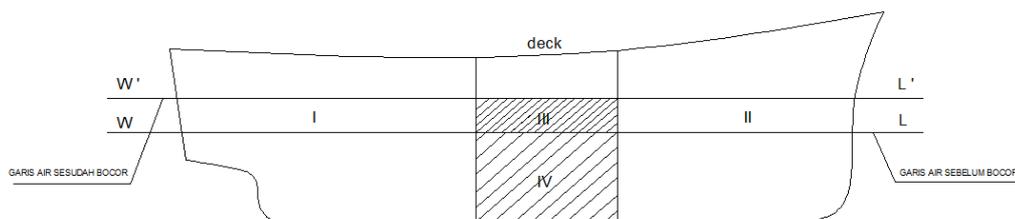
Kebocoran ialah masuknya air kedalam salah satu ruangan atau kompartemen dari kapal yang disebabkan oleh bocornya ruangan tersebut atau adanya peristiwa lain yang menyebabkan air dapat masuk kedalam ruangan kapal.



Gambar 2.8 Kapal yang mengalami kobocoran

Dalam Gambar 2.8 terlihat bahwa permukaan air bocor sama tingginya dengan garis air muat kapal setelah bocor. Dalam hal ini bocor dianggap sebagai muatan zat cair. Untuk mendapatkan gambaran yang jelas tentang akibat kebocoran ini, terdapatlah suatu ketentuan sebagai berikut:

Disebabkan oleh adanya kebocoran, maka pemindahan air dari suatu kapal menjadi berkurang dengan volume air bocor. Misalnya semula volume pemindahan air dari kapal 1000 m^3 , maka setelah terjadi kebocoran pada salah satu ruangan dari kapal sebesar 100 m^3 , volume pemindahan air dari kapal tersebut berkurang menjadi $1000 \text{ m}^3 - 100 \text{ m}^3 = 900 \text{ m}^3$. Karena dalam hal ini beratnya kapal tetap maka kapal tadi terpaksa menambah saratnya untuk mengisi kekurangannya displasmennya.



Gambar 2.9 Volume air yang bocor

Volume lapisan I + volume lapisan II = volume tangki yang terdiri dari volume III dan IV, atau dengan kata lain volume air yang bocor = volume lapisan I + volume lapisan II. Dalam perhitungan isi dari ruang bocor, maka isi dari penguat-penguat yang terdapat di dalam ruangan tersebut boleh diabaikan. Tapi untuk mendapatkan perhitungan yang lebih tepat, kita mengenal adanya apa yang disebut dengan *permeabilitet* (μ).

Sebagai contoh jika sebuah ruangan mempunyai *permeabilitet* (μ), maka itu berarti bahwa: $(100 - \mu)$ % dari ruangan tersebut berisi muatan, sehingga μ % nya dapat terisi dengan air yang bocor. Dari penjelasan ini dapat diketahui bahwa sebuah ruangan yang di dalamnya sama sekali kosong dari muatan, maka μ nya = 100 %. Artinya jika ruangan tersebut karena suatu peristiwa mengalami kebocoran, maka air yang dapat masuk kedalam ruangan tersebut adalah sama dengan isi ruangan tersebut. Jadi, 100% dari isi ruangan tersebut terisi dengan air bocor.

Untuk lebih jelasnya, contoh sebuah ruangan mempunyai $\mu = 70\%$. Ini berarti bahwa: $(100 - 70)\% = 30\%$ dari ruangan berisi muatan, sedangkan 70% nya dapat terisi dengan air bocor.

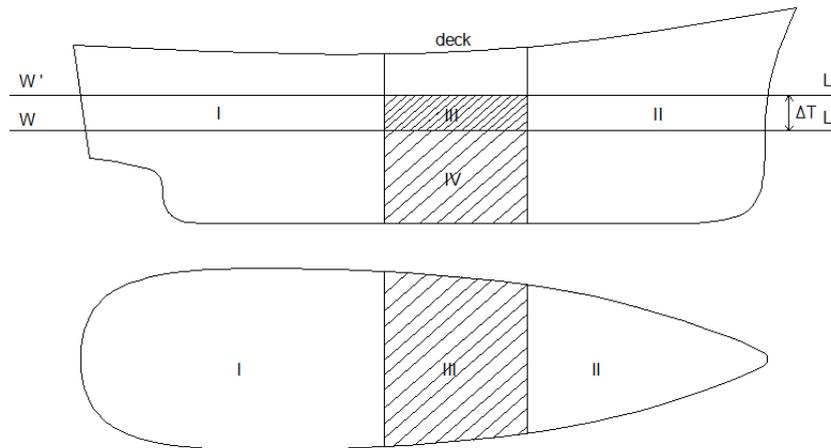
Hal – hal yang dapat terjadi bila kapal mengalami kebocoran:

- Terjadi perubahan sarat kapal
- Terjadi perubahan titik G dan B
- Terjadi trim dan oleng
- Stabilitas kapal terganggu

2.2.1 Perubahan sarat

WL adalah garis muat kapal sebelum kapal bocor dan W'L' adalah garis muat kapal sesudah bocor. Jika dalam peristiwa kebocoran ini tidak terjadi trim, maka garis muat WL sejajar dengan garis muat W'L' dan isi lapisan air antara WL dan W'L' yaitu volume I dan volume II adalah sama dengan isi air bocor yang ada di dalam ruangan III. Karena penambahan sarat T yaitu ΔT adalah kecil sekali sehingga kita boleh beranggapan bahwa garis muat Wl dan W'L' mempunyai luas

yang sama, isi dari lapisan air tadi menjadi: $\Delta V = A_{wl} \cdot \Delta T$, dimana A_{wl} adalah luas garis air I + II + III (lihat Gambar 2.16).



Gambar 2.10 Luas garis air setelah bocor

Jika V_0 adalah isi dari ruangan yang bocor terbatas sampai pada WL dan A_{wl}' adalah luas garis air yang ada didalam ruangan bocor (III), maka isi ruangan bocor sampai pada $W'L'$ adalah:

$$V' = V_0 + A_{wl}' \cdot \Delta T \dots \dots \dots (2.1)$$

Jadi, hubungan antara isi lapisan air dan isi lapisan bocor dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A_{wl} \cdot \Delta T = V_0 + A_{wl}' \cdot \Delta T \dots \dots \dots (2.2)$$

$$A_{wl} \cdot \Delta T - A_{wl}' \cdot \Delta T = V_0$$

$$\Delta T (A_{wl} - A_{wl}') = V_0$$

$$\Delta T = \frac{V_0}{A_{wl} - A_{wl}'} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan adanya *permeabilitet* (μ) dari sebuah ruangan, maka persamaan 2.21 dapat menjadi:

$$\Delta T = \frac{0,01 \mu \cdot V_0}{A_{wl} - 0,01 \mu \cdot A_{wl}'} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

ΔT = penambahan sarat dalam meter

V' = isi lapisan bocor sampai $W'L'$ dalam m^3

V_o = isi ruangan bocor sampai WL dalam m^3

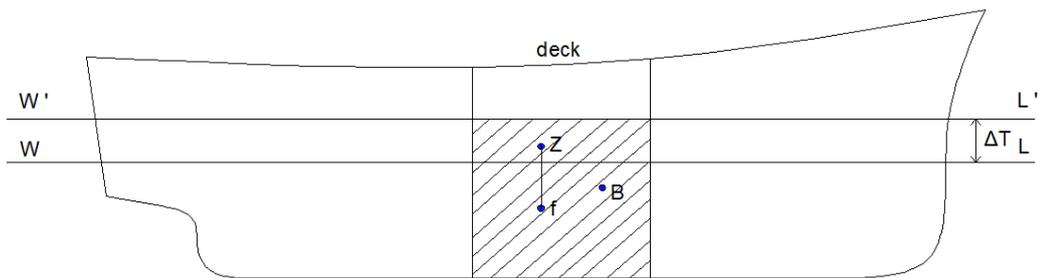
A_{wl} = luas garis air sebelum bocor dalam m^2

A_{wl}' = luas garis air ruang bocor dalam m^2

μ = permeabilitas ruangan dalam %

2.2.2 Pergeseran Titik Tekan (B)

Jika sarat sebuah kapal bertambah besar disebabkan oleh adanya kebocoran, maka titik tekan B akan bergeser ke B' (lihat Gambar 2.11).



Gambar 2.11 Pergeseran titik tekan

Pada Gambar 2.12 , titik f merupakan titik berat ruang yang bocor terbatas sampai WL dengan volume V_o dan titik z adalah titik berat isi dari lapisan air antara WL dan $W'L'$ yang besarnya $\Delta T \cdot A_{wl}$, maka berdasarkan rumus pergeseran dapat dituliskan persamaan kesebandingan sebagai berikut :

$$BB' : fz = V_o : V \dots \dots \dots (2.5)$$

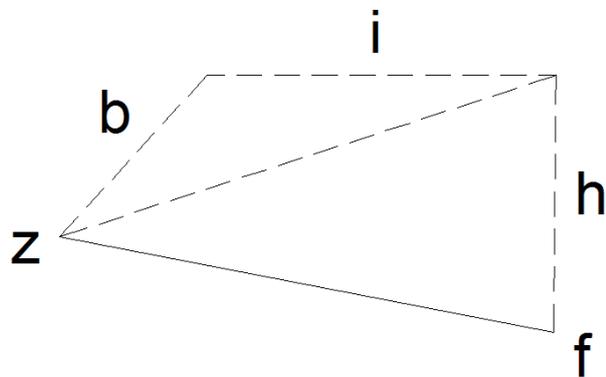
Dimana :

V = isi carena sebelum bocor, sedangkan BB' sejajar dengan fz

Karena titik f dan titik z berada pada satu garis lurus pada bidang simetris, maka BB' juga segaris dalam arah vertikal, sehingga tidak mengakibatkan terjadinya trim atau oleng.

Pergeseran titik f dan titik z dapat diuraikan menjadi :

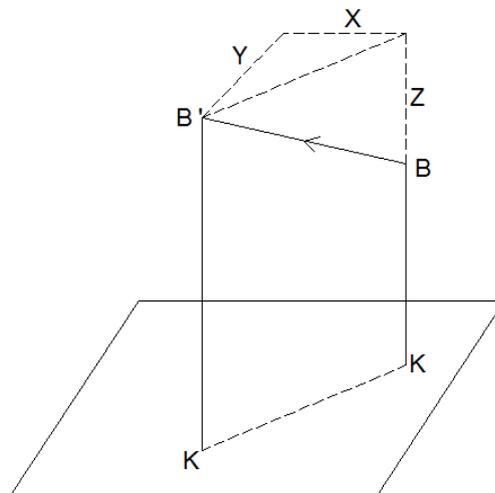
1. Pergeseran tegak keatas (h)
2. Pergeseran datar memanjang (l)
3. Pergeseran datar melintang (b)



Gambar 2.12 Pergeseran titik f

Selain itu pergeseran dari B ke B' juga dapat diuraikan menjadi :

1. Pergeseran tegak keatas (Z)
2. Pergeseran datar memanjang (X)
3. Pergeseran datar melintang (Y)



Gambar 2.13 Pergeseran titik B

Dari harga Z, X dan Y diatas dapat ditentukan dengan sifat-sifat kesebandingan sebagai berikut :

$$Z : h = X : l = Y : b = BB' : fz = V_o : V \dots \dots \dots (2.6)$$

Sehingga :

$$Z = \frac{V_o \cdot H}{V} \quad X = \frac{V_o \cdot l}{V} \quad Y = \frac{V_o \cdot b}{V}$$

Jadi, jarak B' terhadap keel menjadi :

$$KB' = KB + Z$$

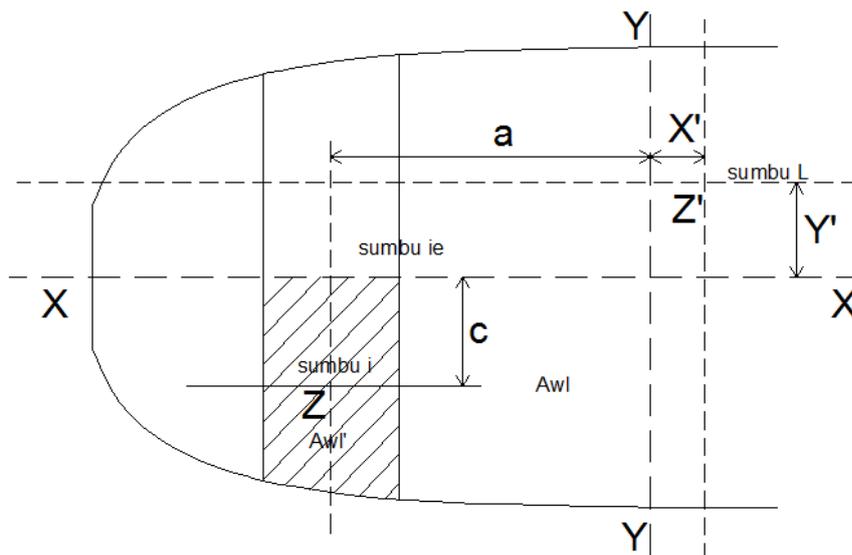
$$KB' = KB + \frac{V_o \cdot H}{V} \dots \dots \dots (2.7)$$

Untuk letak dari titik Z', yaitu titik berat dari (Awl – Awl'), baik memanjang maupun melintang dapat dicari dengan jalan sebagai berikut :

Melalui titik berat dari garis muatannya dibuatkan 2 buah garis yang berpotongan tegak lurus sebagai sumbu-sumbu X dan Y (lihat gambar 2.13). Jarak-jarak dari z terhadap sumbu-sumbu X dan Y masing-masing sebagai c dan a, sehingga menjadi suatu persamaan momen. Persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$(Awl - 0,01 \mu \cdot Awl') \cdot X' = a \cdot 0,01 \mu \cdot Awl' \dots \dots \dots (2.8)$$

$$(Awl - 0,01 \mu \cdot Awl') \cdot Y' = c \cdot 0,01 \mu \cdot Awl' \dots \dots \dots (2.9)$$



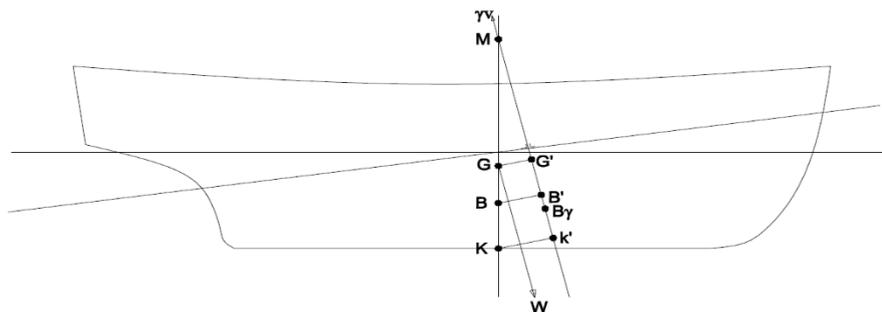
Gambar 2.14 Cara mencari letak Z'

- X = garis tengah kapal secara memanjang
- Y = garis tengah kapal secara melintang
- Z = titik berat ruang bocor yang dilalui sumbu i
- Z' = titik berat luas garis air setelah bocor yang dilalui sumbu i
- C = jarak antara sumbu X dan sumbu i
- a = jarak dari Z terhadap sumbu Y
- X' = jarak Z' terhadap sumbu Y

Dengan adanya persamaan 2.8 dan persamaan 2.9 dapatlah dicari harga-harga dari X' dan Y' nya yaitu masing-masing sebagai letak titik berat secara memanjang dan melintang dari Z' yaitu titik berat garis air setelah kapal mengalami kebocoran.

2.2.3 Trim dan Lambungan

Trim akan terjadi pada sebuah kapal karena garis yang menghubungkan titik berat kapal (G) dan titik tekan ke atas dari air yang dipindahkan (B) tidak tegak lurus pada garis air yang rata (datar)



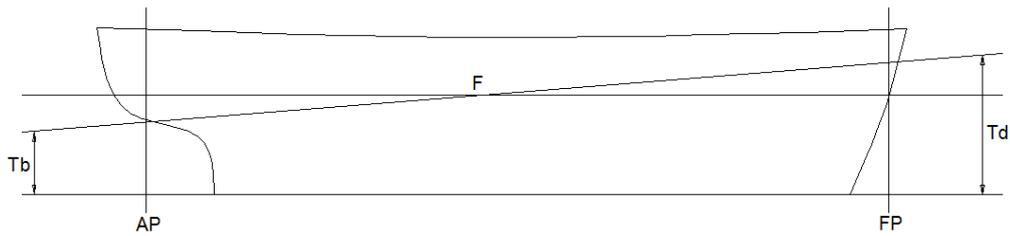
Gambar 2.15. Gaya yang bekerja ketika kapal dalam keadaan trim

Perbedaan antara sarat buritan dan sarat haluan disebut trim (t)

$$t = T_b - T_d$$

$$T_d = \text{Sarat haluan}$$

$$T_b = \text{Sarat buritan}$$



Gambar 2.16 Letak sarat buritan (T_b) dan sarat haluan (T_d)

Trim ini terutama disebabkan oleh berpindahnya titik berat kapal G secara memanjang. Titik berat G ini sangat dipengaruhi oleh pergeseran / pemindahan muatan / benda-benda di dalam kapal atau waktu bongkar muat. Diagram trim adalah grafik dari suatu kapal yang memberikan hubungan secara langsung maupun tidak langsung dari sarat kapal (T_b dan T_d), displasmen dan momen trim.

Kalau disebabkan oleh kebocoran terjadi lambungan sebesar Δ^φ dan $\Delta\theta$, kita akan mendapatkan :

$$\text{tg } \Delta^\varphi = \frac{W \cdot Y}{W \cdot M'LG'} \text{ atau } \text{tg } \Delta^\varphi = \frac{Y}{M'LG'} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$\text{tg } \Delta\theta = \frac{W \cdot X}{W \cdot M'LG'} \text{ atau } \text{tg } \Delta\theta = \frac{X}{M'LG'} \dots \dots \dots (2.11)$$

Disini berlaku juga :

$$X = \frac{v \cdot l}{V} \dots \dots \dots (2.12)$$

$$Y = \frac{v \cdot b}{V} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dalam hal ini kita juga dapat menghitung jumlah trim haluan maupun jumlah trim buritan yaitu :

$$t_d = L_d \frac{X}{M'LG'} \dots \dots \dots (2.14)$$

$$t_b = L_b \frac{X}{M'LG'} \dots \dots \dots (2.15)$$

2.3 Stabilitas Kapal

Menurut pendapat Wakidjo (1972), stabilitas merupakan kemampuan sebuah kapal untuk menegak kembali sewaktu kapal miring karena kapal mendapatkan pengaruh luar, misalnya angin, ombak dan sebagainya.

Stabilitas dibedakan atas 2 (dua) yaitu stabilitas memanjang dan stabilitas melintang. Stabilitas melintang (oleng) adalah kemampuan suatu kapal untuk kembali tegak setelah mengalami kemiringan secara melintang.

Stabilitas ditentukan oleh interaksi antara gaya berat dan gaya tekan engan titik metacentra. 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. 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.

$$KG_T = \frac{M}{W} \quad (2.16)$$

Dimana:

KG_T = Jarak vertikal titik berat kapal terhadap garis lunas

M = Statis momen terhadap garis lunas

W = Berat benda di kapal

Titik apung (center of buoyancy) dikenal engan 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 tangkap B bukanlah merupakan suatu titik yang tetap, akan tetapi akan berpindah-pindah oleh adanya perubahan sarat dari kapal. Menurut Normand dalam buku “Ship Design For Efficiency And Economic” halaman 19, rumus untuk mencari KB adalah.

$$KB = T \left(\frac{5}{6} - \frac{1}{3} \frac{C_b}{C_w} \right) \quad (2.17)$$

Dimana :

KB = Jarak vertikal titik berat kapal terhadap garis lunas

T = Sarat Kapal

Cw = Koefisien water line

Cb = Koefisien blok

Pada prinsipnya keadaan stabilitas ada 3 (tiga) yaitu Stabilitas Positif (stable equilibrium), Stabilitas Netral (Neutral equilibrium) dan Stabilitas Negatif (Unstable equilibrium).

a. Stabilitas Positif (Stable Equilibrium)

Suatu keadaan dimana titik M berada di atas titik G, sehingga sebuah kapal yang memiliki keseimbangan mantap mesti sewaktu miring memiliki kemampuan untuk tegak kembali.

b. Stabilitas Netral (Neutral Equilibrium)

Suatu keadaan seimbang dengan titik G berhimpit dengan titik M. maka momen penegak kapal memiliki stabilitas netral sama dengan nol, atau bahkan tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu miring. Dengan kata lain bila kapal miring tidak ada momen pengembali maupun momen penerus sehingga kapal tetap miring pada sudut oleng yang sama, penyebabnya adalah titik G terlalu tinggi dan berhimpit dengan titik M karena terlalu banyak muatan dibagian atas kapal.

c. Stabilitas Negatif (Unstable Equilibrium)

Suatu keadaan seimbang dengan titik G berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas negatif sewaktu miring tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali, bahkan sudut olengnya akan bertambah besar, yang menyebabkan kapal akan bertambah miring lagi bahkan bias terbalik. Atau suatu kondisi bila kapal miring karena gaya dari luar, maka timbullah sebuah momen yang dinamakan *Heeling moment* sehingga kapal bertambah miring.

2.3.1 Titik Titik Penting Dalam Stabilitas

Stabilitas kapal ditentukan oleh 3 (tiga) titik yang digunakan untuk mengetahui besarnya momen yang terjadi pada kapal pada saat terjadi trim dan

oleng, yaitu titik berat (Center of Gravity), titik apung (Center of Bouyancy) dan titik Metasentra.

1) Titik Berat (Center Of Gravity)

Titik berat (Center Of Gravity) dikenal dengan titik G dari sebuah kapal, merupakan titik tangkap dari semua gaya- gaya yang menekan kebawah terhadap kapal. Letak titik G inidikapal dapat diketahui dengan meninjau semua pembagian bobot di kapal, makin banyak bobot yang diletakkan dibagian atas maka makin tinggilah letak titik G.

2) Titik Apung (Center Of Bouyancy)

Titik Apung (Center Of Bouyancy) dikenal dengan titik B dari sebuah kapal, merupakan titik tangkap dari resultan gaya –gaya yang menekan tegak ke atas dari bagian kapal yang terbenam didalam air. Titik tangkap B bukanlah merupakan suatu titik yang tetap, akan tetapi akan berpindah-pindah oleh adanya perubahan sarat kapal.

3) Titik Metacentra

Titik metasentra atau dikenal dengan titik M dari sebuah kapal, merupakan sebuah titik semu dari batas dimana titik G tidak boleh melewati diatasnya agar supaya kapal tetap mempunyai stabilitas yang positif (stabil). Meta artinya berubah-ubah, jadi titik metasentris dapat berubah letaknya dan tergantung dari besarnya sudut oleng.

Setelah kapal mengalami kemiringan akibat gaya atau momen dari luar atau dari dalam kapal, stabilitas atau keseimbangan sangat ditentukan oleh interaksi antara gaya berat dan gaya tekan.

2.3.2 Dimensi Pokok Stabilitas Kapal

1) KM (Tinggi titik metasentris di atas keel)

KM ialah jarak tegak dari lunas kapal sampai ke titik M, atau jumlah jarak dari lunas ke titik apung (KB) dan jarak titik apung ke metasentris (BM), sehingga KM dapat dicari dengan rumus :

$$KM = KB + BM \quad (2.18)$$

Dimana :

KM = Jarak tegak dari lunas kapal sampai ke titik M

KB = Jarak titik apung ke lunas kapal

BM = Jarak titik apung ke metasentris

Diperoleh dari diagram metasentris atau *hydrostatical curve* untuk setiap sarat (*draft*) saat ini.

2) KB (Tinggi titik apung dari keel)

Letak titik B di atas lunas bukanlah suatu titik yang tetap, akan tetapi berpindah-pindah oleh adanya perubahan sarat atau senget kapal (Wakidjo, 1972).

Nilai KB dapat dicari :

$$\begin{aligned} \text{Untuk Kapal Tipe Plat Bottom, } KB &= 0,50d \\ \text{Untuk Kapal Tipe V Bottom, } KB &= 0,67d \\ \text{Untuk Kapal Tipe U Bottom, } &= 0,53d \end{aligned} \quad (2.19)$$

Dimana:

d = Draft kapal

Dari diagram metasentris atau lengkung hidrostatis, dimana nilai KB dapat dicari pada setiap sarat kapal saat itu (Wakidjo, 1972).

3) BM (Jarak titik apung ke metasentris)

BM dinamakan jari-jari metasentris atau metacentris radius karena bila kapal mengoleng dengan sudut-sudut yang kecil, maka lintasan pergerakan titik B merupakan sebagian busur lingkaran dimana M

merupakan titik pusatnya dan BM sebagai jari-jarinya. Titik M masih bisa dianggap tetap karena sudut olengnya kecil (100 -150):

$$M = b^2/10d \quad (2.20)$$

Dimana:

M = Titik Metasentris

b = Lebar kapal (m)

d = Draft kapal (m)

4) KG (Tinggi titik berat dari keel)

Nilai KB untuk kapal kosong diperoleh dari percobaan stabilitas (inclining experiment), selanjutnya KG dapat dihitung dengan menggunakan dalil momen. Nilai KG dengan dalil momen ini digunakan bila terjadi pemuatan atau pembongkaran di atas kapal dengan mengetahui letak titik berat suatu bobot di atas lunas yang disebut dengan vertical centre of gravity (VCG) lalu dikalikan dengan bobot muatan tersebut sehingga diperoleh momen bobot tersebut, selanjutnya jumlah momen-momen seluruh bobot di kapal dibagi dengan jumlah bobot menghasilkan nilai KG pada saat itu.

$$KG \text{ Total} = \frac{VM}{VW} \quad (2.21)$$

Dimana:

VM = Jumlah momen (ton)

VW = Jumlah perkalian titik berat dengan bobot benda (m ton)

5) GM (Tinggi metasentris)

Tinggi metasentris atau metacentris high (GM) yaitu jarak tegak antara titik G dan titik M. Dari rumus disebutkan :

$$GM = KM - KG \quad (2.22)$$

$$GM = (KB + BM) - KG$$

Dimana:

GM = Jarak tegak antara titik G dan titik M

KM = Jarak tegak dari lunas kapal sampai ke titik M

KB = Jarak titik apung ke lunas kapal

BM = Jarak titik apung ke metasentris

KG = Jarak Titik berat ke lunas

Nilai GM inilah yang menunjukkan keadaan stabilitas awal kapal atau keadaan stabilitas kapal selama pelayaran nanti.

6) Periode Oleng (*Rolling Period*)

Periode oleng dapat kita gunakan untuk menilai ukuran stabilitas. Periode oleng berkaitan dengan tinggi metasentrik. Satu periode oleng lengkap adalah jangka waktu yang dibutuhkan mulai dari saat kapal tegak, miring ke kiri, tegak, miring ke kanan sampai kembali tegak kembali. Wakidjo (1972), menggambarkan hubungan antara tinggi metasentrik (GM) dengan periode oleng adalah dengan rumus:

$$T = \frac{0,75 B}{\sqrt{GM}} \quad (2.23)$$

Dimana:

T = Periode oleng dalam detik

B = Lebar kapal dalam meter

GM = Jarak antara titik metasentrik ke titik berat

Yang dimaksud dengan periode oleng disini adalah periode oleng alami (natural rolling) yaitu olengan kapal air yang tenang.

7) Pengaruh Permukaan Bebas (*Free Surface Effect*)

Permukaan bebas terjadi di dalam kapal bila terdapat suatu permukaan cairan yang bergerak dengan bebas, bila kapal mengoleng di laut dan cairan di dalam tanki bergerak-gerak akibatnya titik berat cairan tadi tidak lagi berada di tempatnya semula. Titik G dari cairan tadi kini berada di atas cairan tadi, gejala ini disebut dengan kenaikan semu titik berat, dengan demikian perlu adanya koreksi terhadap nilai GM yang kita perhitungkan dari kenaikan semu titik berat cairan tadi pada saat kapal mengoleng sehingga diperoleh nilai GM yang efektif. Perhitungan untuk koreksi permukaan bebas dapat mempergunakan rumus:

$$gg_1 = r \cdot \frac{1 \cdot b^3}{12 \cdot 35 \cdot W} \quad (2.24)$$

Dimana:

gg_1 = Pergeseran tegak titik G ke G1

r = Berat jenis di dalam tanki dibagi berat jenis cairan di luar kapal

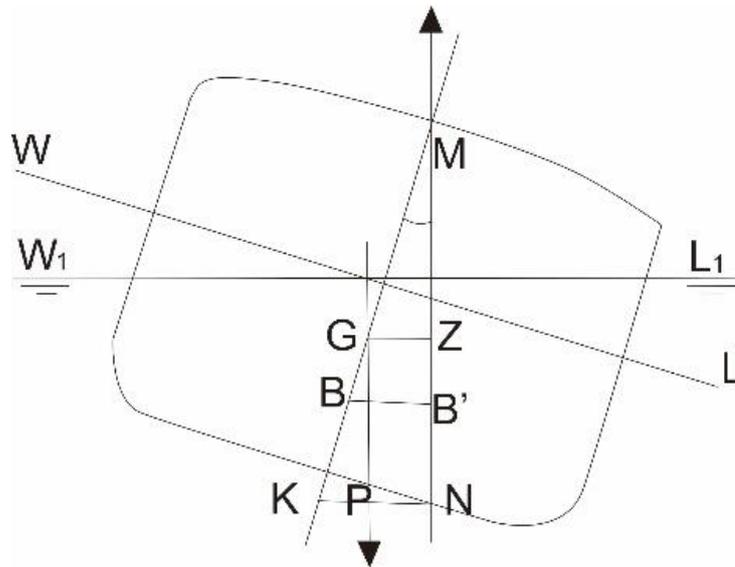
l = Panjang tanki

b = Lebar tanki

W = Displasemen kapal

2.3.3 Momen Penegak

Momen penegak adalah momen yang akan mengembalikan kapal ke posisi semula setelah mengalami kemiringan karena gaya dari luar dan gaya tersebut tidak bekerja lagi. Untuk gambar kerja Momen Penegak dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.17 Momen Penegak.

$$\text{Momen stabilitas statis} = W \times GZ$$

$$KN = KP + PN$$

$$PN = GZ$$

$$\sin \theta = KP/KG \quad (2.25)$$

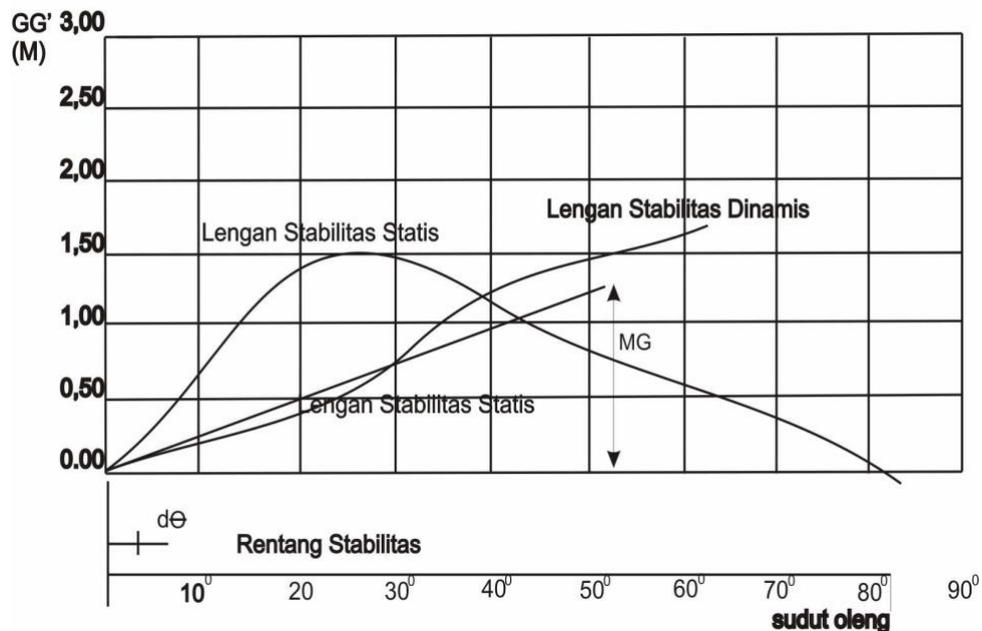
$$KP = KG \cdot \sin \theta$$

$$GZ = KN - KG \cdot \sin \theta$$

$$KG = KM - GM$$

Nilai GZ merupakan bagian yang sangat penting dalam menentukan stabilitas statis kapal. Fyson (1985), menjelaskan pembahasan mengenai stabilitas statis kapal terkait erat dengan perhitungan nilai GZ atau lengan penegak pada kapal. Persyaratan dan rekomendasi untuk stabilitas berhubungan erat dengan pembahasan kurva GZ dalam arti pencegahan air masuk kedalam kapal (fyson, 1985).

Kurva GZ menunjukkan hubungan antara lengan penegak GZ pada berbagai variasi sudut kemiringan pada perubahan berat yang konstan. Kurva stabilitas statis sebuah kapal memuat nilai lengan pengembali (GZ) yang dibandingkan terhadap sudut kemiringan. Untuk contoh kurva stabilitas dapat dilihat pada Gambar 2.18



Gambar.2.18. Contoh kurva lengan stabilitas.

Dari kurva stabilitas statis GZ dapat diperoleh informasi mengenai kondisi beberapa kriteria stabilitas, antara lain:

1. Selang stabilitas (*The range of stability*), yaitu sudut selang dimana kapal memiliki nilai GZ positif;
2. *The angle of vanishing stability*, yaitu sudut kemiringan dimana nilai GZ kembali nol atau sebesar sudut dimana nilai GZ berubah dari positif menjadi negatif;
3. Nilai maksimum GZ (*The maximum GZ*) merupakan nilai pada sumbu x pada puncak tertinggi pada kurva stabilitas;
4. Tinggi metacentra (GM), pada gambar diatas ditunjukkan oleh tinggi YZ. Dimana titik Z bernilai $1 \text{ rad} (180/\pi)$;
5. Area dibawah kurvamengambarkan kemampuan kapal untuk menyerap energyyang diberikan oleh angin, gelombang dan gaya external lainnya.
6. Luas dibawah kurva merupakan merupakan indikasi dari kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula/ stabil. Semakin besar luas

dibawah kurva maka semakin besar pula kemampuan kapal untuk mengatasi gaya-gaya yang membuat kapal terbalik.

7. Lengan koppel maksimum merupakan indikasi dari kemampuan kapal untuk kembali ke posisi stabil pada sudut oleng tertinggi.

2.4 Damage Stability

Damage stability atau dalam bahasa Indonesia stabilitas saat kapal bocor adalah keadaan stabilitas kapal pada saat mengalami kebocoran (masuknya air laut ke dalam kompartemen kapal yang bisa terdiri dari satu kompartemen atau lebih dari satu kompartemen yang saling berdekatan).

Pada perkembangan dunia perkapalan, perhitungan *damage stability* dibuat untuk menggantikan perhitungan *floodable length* dan perhitungan *intact stability* yang terbukti sudah tidak aman lagi untuk menjamin keselamatan kapal jika terjadi kebocoran. Pada awalnya perhitungan *damage stability* dihitung dengan menggunakan pendekatan *deterministic*, tetapi pada perkembangan terakhir, tahun 1990-an, perhitungan *damage stability* dihitung dengan menggunakan pendekatan *probabilistic* karena mendekati kejadian yang sebenarnya ketika kapal mengalami kebocoran. Mulai tanggal 1 Februari 1992 perhitungan *damage stability* dengan menggunakan pendekatan *probabilistic* resmi disyaratkan oleh SOLAS. (Narendra, 2017)

2.5 Perhitungan *Damage* dengan Pendekatan *Probabilistic*

Pendekatan ini melakukan satu 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 *flooding* 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.

Dalam Peraturan SOLAS (*Safety of Life at Sea*) tentang subdivisi, untuk menghitung indeks *damage stability*, terdapat dua variabel utama yaitu *Required Subdivision Index* (R) dan *Attained Subdivision Index* (A). Dimana nilai indeks yang dicapai A sebuah kapal tidak boleh kurang dari nilai Indeks R yang disyaratkan atau $A \geq R$. Untuk analisa *damage stability* hanya ruangan yang kedap air yang masuk dalam perhitungan nilai indeks A sesuai dengan aturan dari SOLAS 2009.

Perhitungan SOLAS telah mencakup 2 hal yang disyaratkan dan dibutuhkan dalam perhitungan *damage stability* berdasarkan pendekatan *probabilistic*, yaitu:

1. Perhitungan (Pi) yang mengakomodasi *probabilistic* atau kemungkinan tentang kompartemen atau grup kompartemen mana yang akan mengalami kebocoran. Kemungkinan ini berlaku sepanjang kapal, yaitu mulai 1 kompartemen bocor sampai kemungkinan kompartemen seluruh panjang kapal mengalami bocor. Yang perlu dicatat bahwa kemungkinan 15 bocor

dari grup kompartemen yang terjadi adalah kompartemen yang saling berdekatan.

2. Perhitungan (S_i) yang mengakomodasi *probabilistic* atau kemungkinan atas keselamatan kapal jika kapal mengalami kebocoran pada kompartemen atau grup kompartemennya. Kemungkinan ini juga berlaku sepanjang kapal.

2.6 Perhitungan SOLAS Requirement

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 didefinisikan seperti persamaan dibawah ini:

$$R = 1 - \frac{5000}{L_s + 2,5N + 15225} \quad (2.26)$$

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

$$A = \sum p_i s_i \quad (2.27)$$

Dimana :

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

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

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

Dalam Peraturan SOLAS (*Safety of Life at Sea*) nilai indeks yang dicapai A sebuah kapal tidak boleh kurang dari nilai Indeks R yang disyaratkan atau $A \geq R$. Untuk analisa *damage stability* hanya ruangan yang kedap air yang masuk dalam perhitungan nilai indeks A sesuai dengan aturan dari SOLAS 2009.

2.7 Perhitungan Stabilitas Kapal Dengan *Maxsurf*

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

Oleh karena itu kemudian berkembanglah program-program aplikasi rancang bangun kapal, yang walaupun terbatas namun mampu memberikan gambaran awal yang terpercaya. Tersebutlah beberapa program aplikasi rancang bangun kapal yang kerap dipergunakan pendesain perorangan maupun galangan, antara lain *DEFCAR*, *HULLFORM*, *AUTOSHIP*, *Maxsurf* dan lain-lain.

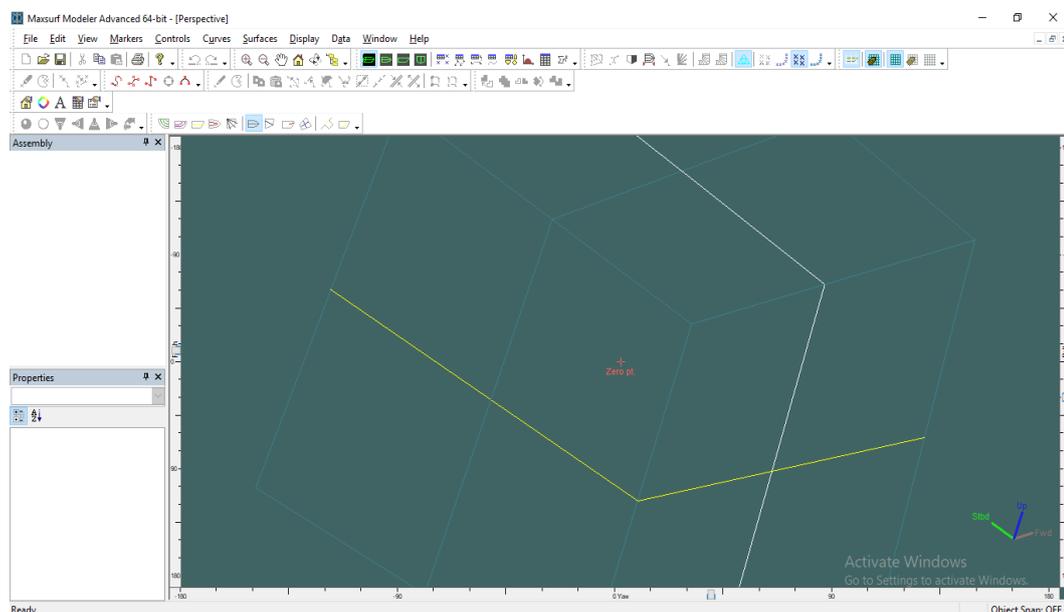
Maxsurf adalah salah satu program aplikasi struktur yang dikembangkan oleh sebuah perusahaan pembuat perangkat lunak yang berlokasi di Fremantle Australia, yang bernama Formation System (FORMSYS). Sejak mulai diciptakan pada tahun 1984 sampai sekarang, *Maxsurf* telah mengalami banyak pembaharuan terutama dalam hal perbaikan dan penyempurnaan metode-metode yang dipergunakan. Sesuai dengan surat edaran elektronik terbaru yang dikeluarkan oleh FORMSYS, tercatat kurang lebih 1200 pemakai *Maxsurf*, baik perorangan maupun galangan di 20 negara.

2.7.1 Program *Maxsurf Modeler*

Maxsurf Modeler adalah sistem pemodelan surface tiga dimensi yang kuat untuk digunakan dalam bidang desain perkapalan. Ini memberi anda kejelasan dan kemudahan dalam lingkungan kerja, memungkinkan untuk eksperimen sistematis dan optimalisasi cepat dari setiap desain baru.

Kemampuan Multiple Surface Maxsurf Modeler, yang memungkinkan sejumlah surfaces dimodelkan dalam desain apa pun, menawarkan ruang lingkup untuk menciptakan berbagai bentuk hull. Dikombinasikan dengan perhitungan hidrostatis bawaan, Anda memiliki alat untuk bereksperimen dengan bentuk dan menjelajahi parameter desain.

Output yang sangat akurat dihasilkan dalam bentuk Lines Plan, transfer file untuk program lain, dan tabel offset yang komprehensif. Transfer data ke program lain dalam Maxsurf Modeler berasal dari rangkaian file desain Maxsurf Modeler, mengurangi kebutuhan untuk masuk kembali data setelah desain telah diselesaikan, dan menghilangkan kemungkinan hilangnya akurasi melalui penggunaan file offset lambung yang tidak lengkap. Untuk tampilan maxsurf modeler dapat dilihat pada Gambar 2.12 (*Maxsurf modeler user manual 2013*).



Gambar 2.19. Tampilan Window Maxsurf Modeler Advance 64-Bit.

2.7.2 Program Maxsurf Stability

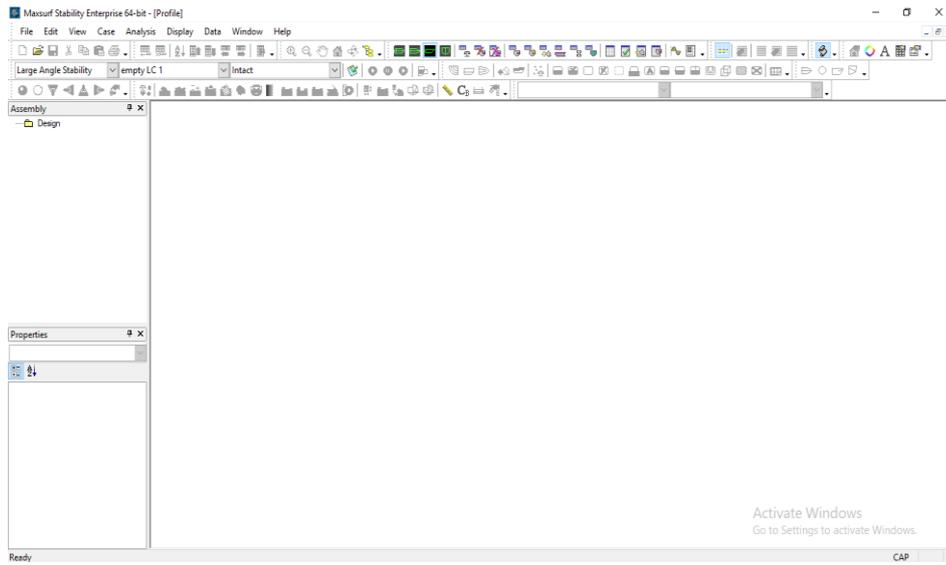
Maxsurf Stability adalah program hidrostatis, stabilitas, dan kekuatan memanjang yang dirancang khusus untuk bekerja dengan Maxsurf. Stabilitas Maxsurf menambahkan informasi tambahan ke model Surface Maxsurf. Ini termasuk: kompartemen dan poin utama seperti titik downflooding dan garis margin.

Tools analisis Maxsurf stability memungkinkan berbagai karakteristik hidrostatis dan stabilitas ditentukan untuk desain Maxsurf Anda. Sejumlah opsi pengaturan lingkungan dan pengubah menambah kemampuan analisis lebih lanjut untuk Maxsurf Stability.

Maxsurf Stability dirancang secara logis, yang membuatnya mudah digunakan. Langkah-langkah berikut diikuti ketika melakukan analisis:

1. Input Model
2. Pemilihan Jenis Analisis
3. Pengaturan analisis
4. Pengaturan Lingkungan
5. Spesifikasi dan Pemilihan Kriteria
6. Menjalankan Analisa
7. Hasil

Maxsurf Stability beroperasi dalam lingkungan grafis yang sama dengan Maxsurf; model dapat ditampilkan menggunakan garis kontur lambung, rendering atau rendering transparan. Ini memungkinkan pemeriksaan visual kompartemen dan menunjukkan orientasi kapal selama analisis Untuk tampilan maxsurf stability dapat dilihat pada Gambar 2.11 (Maxsurf stability user manual 2013).



Gambar 2.20. Tampilan Maxsurf Stability Advance.