

**PREDIKSI PENGARUH KOMPARTEMEN BOCOR TERHADAP
PERIODE OLENG PADA KAPAL FERI ROR-RO MENGGUNAKAN
ROLL DECAY
SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



**OLEH :
MUH. RISQULLAH M
D 311 16 513**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERKAPALAN
DEPARTEMEN PERKAPALAN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021



LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

*Prediksi Pengaruh Kompartemen Bocor Terhadap Periode Oleng Pada Kapal
Feri Ro-Ro Menggunakan Roll Decay*

Disusun dan diajukan oleh:

MUH. RISQULLAH M

D311 16 513

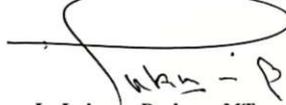
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi pada Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Gowa, 12 Juli 2021

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing I



Ir. Lukman Bochary, MT.

NIP. 19581127 198803 1 001

Pembimbing II



Ir. Rosmani, MT

NIP. 19600620 198802 2 001

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 : Muh.Risqullah M
NIM : D311 16 513
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Prediksi Pengaruh Kompartemen Bocor Terhadap Periode Oleng Pada Kapal Feri
Ro-Ro Menggunakan Roll Decay

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

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil orang lain, maka saya bersedia mengenai sanksi atas perbuatan tersebut

Gowa, 12 Juli 2021

Yang menyatakan,

Muh. Risqullah



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 “*PREDIKSI PENGARUH KOMPARTEMEN BOCOR TERHADAP PERIODE OLENG PADA KAPAL FERI RO-RO MENGGUNAKAN ROLL DECAY*” 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 Jurusan 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. Bapak dan Ibu tercinta, Marsaturba dan Hj. Hasnih yang telah mencurahkan segala kasih sayangnya, 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.Eng. Suandar baso, ST, MT selaku ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Ir. Lukman Bochari, MT selaku pembimbing I dan Ibu Ir. Hj. Rosmani, MT. selaku pembimbing II sekaligus Kepala Laboratorium Hidrodinamika Teknik Perkapalan yang telah banyak memberikan ide serta



meluangkan banyak waktu untuk membantu dan membimbing dalam penyusunan tugas akhir ini.

4. Ibu Dr. Ir. Hj. Misliah, MS.Tr, dan Ibu Andi Dian Eka Anggreani, ST. MT. selaku dosen penguji yang banyak memberikan masukan untuk menyempurnakan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Kepada saudara-saudaraku Abd Qayyum yang telah memberikan doa, dorongan, motivasi dan semangat kepada penulis dalam berbagai hal baik, selama penulis melaksanakan studi.
7. Kepada kak Akbar aziz ST, MT dan kak Ardedi Yusuf ST, yang telah memberikan masukan untuk menyempurnakan skripsi ini.
8. Kepada Airin Tabriz Zahra, ST, yang telah memberikan doa, dorongan, motivasi dan semangat kepada penulis dalam berbagai hal baik.
9. Kepada saudara Chandra Basongan, terima kasih telah menemani mulai dari pembuatan model sampai pengujian di towing tank.
10. Kepada sahabat-sahabatku WOKEM terima kasih telah memberikan semangat selama penulis menuntut ilmu di jurusan perkapalan.
11. Kepada teman-teman seperjuangan skripsi damage stability (annash, riky, ilo). Terima kasih atas kebersamaannya dalam penelitian.
12. Kepada teman-teman seperjuangan Labo Hidrodinamika Kapal terima kasih atas dorongan, motivasi, dan semangat kepada penulis dalam berbagai hal baik.



seluruh teman-teman CRUIZER terima kasih telah menjadi teman terbaik selama ini, semoga kita bisa menjadi generasi baru pembangun negeri ini dengan ilmu kita;

14. Kanda-kanda senior, dinda-dinda junior, dan teman-teman seangkatan di Jurusan Perkapalan 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

WassalamualaikumWarahmatullahiWabarakatuh

Gowa, Juli 2021

Penulis



ABSTRAK

Muh Risqullah M, 2021 . “PREDIKSI PENGARUH KOMPARTEMEN BOCOR TERHADAP PERIODE OLENG PADA KAPAL FERI ROR-RO MENGGUNAKAN ROLL DECAY”. (Dibimbing oleh Lukman Bochary dan Rosmani)

Performa gerak kapal feri haruslah baik untuk menjamin keselamatan kapal dan penumpangnya di lautan dimana dalam satu dekade terakhir terjadi peningkatan jumlah kecelakaan kapal setiap tahunnya. Oleh karena itu, karakteristik performa gerak kapal haruslah diprediksi dengan tepat termasuk pada saat kapal di air tenang bahkan dalam keadaan kapal bocor. Tujuan dari penelitian ini untuk menentukan perubahan sarat dan trim yang diakibatkan oleh kebocoran menggunakan *maxsurf* dan menentukan besar pengaruh kompartemen bocor terhadap roll decay pada kapal feri ro-ro di masing-masing skenario kebocoran. Metode penelitian yang di gunakan adalah metode eksperimen di Labo Hidrodinamika Kapal Universitas Hasanuddin. Analisa dilakukan di skenario kebocoran 1, 2, 3 kompartemen bocor di haluan dan buritan kapal yang paling extreme, yang dimana tidak melewati sarat kapal 3,5 meter dan gaya yang diberikan sampai tinggi geladak. Adapun hasil penetian yang diperoleh bahwa, skenario 2 kompartemen bocor di kondisi yang paling extreme membentuk waktu yang paling lama 5 menit untuk kembali ke posisi awal dan terjadi trim buritan dimana sarat haluan 2,589 m dan sarat buritan 3,459 m, kapal masih dalam konsidi aman di karenakan pada saat kapal oleng amplitudo tidak melewati tinggi geladak kapal.

Kata Kunci : Kebocoran, Kapal Feri, *Roll Decay*, Skenario Kebocoran, *Amplitude*, *Trim* Kapal



ABSTRAK

Muh Risqullah M, 2021 . “PREDICTION OF THE EFFECT IN DAMAGE COMPARTMENT ON NATURAL PERIOD ON FERRY RO-RO USING ROLL DECAY METHOD”. (Dibimbing oleh Lukman Bochari dan Rosmani)

The performance of the ferry movement must be good to ensure the safety of the ship and its passengers at sea where in the last decade there has been an increase in the number of ship accidents every year. Therefore, the characteristics of the ship's motion performance must be predicted accurately, including when the ship is in calm water even in a leaky condition. The purpose of this research is to determine the draft and trim changes caused by leaks using maxsurf and determine the effect of leaky compartments on roll decay on ro-ro ferries in each leak scenario. The research method used is the experimental method at the Ship Hydrodynamics Lab, Hasanuddin University. The analysis was carried out in the most extreme 1, 2, 3 compartment leak scenarios at the bow and aft of the ship, which did not exceed the 3.5 meter draft and the force applied to the deck height. As for the results obtained that, the scenario of 2 leaking compartments in the most extreme conditions requires a maximum time of 5 minutes to return to the initial position and there is a stern trim where the bow draft is 2,589 m and the stern draft is 3,459 m, the ship is still in a safe condition because when the ship shakes the amplitude does not exceed the deck height of the ship.

Keywords : Damage, A Ferry, Roll Decay, Damage Scenario, Amplitude, Trim Ship



Datar Isi

ABSTRAK	i
Kata pengantar	i
Datar Isi.....	i
Daftar Tabel	iv
Daftar Gambar.....	v
Daftar Lampiran.....	vii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika penelitian	4
BAB 2.....	6
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Kapal feri	6
2.2 Gerak Kapal	10
2.3 Kebocoran Kapal	11
2.3.1 Perubahan sarat.....	14
2.3.2 Pergeseran Titik Tekan (B)	15
2.3.3 Trim dan Lambungan	18
<i>Roll Decay</i>	20



2.5	<i>Inclining test</i>	23
2.6	<i>Maxsurf</i>	26
	2.6.1 Program Maxsurf Modeler	27
	2.6.2 Program Maxsurf Stability	28
2.7	Perbandingan model.....	29
	2.7.1 Kesamaan Geometris.....	29
	2.7.2 Kesamaan kinematis	30
	2.7.3 Kesamaan Dinamis.....	30
BAB 3.....		32
METODE PENELITIAN.....		32
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian	32
3.2	Jenis Penelitian.....	32
3.3	Jenis Data dan Cara Pengambilan Data	32
3.4	Metode Pengolahan Data	32
	3.4.1 Pemodelan kapal Ferry Ro-ro 500 GT Selayar	32
	3.4.2 Ukuran Utama Kapal Feri ro-ro 500 GT Selayar	32
	3.4.3 Pembuatan model kapal feri ro-ro 500 GT Selayar.....	33
	3.4.4 Tata Cara Pembuatan model.....	34
3.5	Prosedur Pelaksanaan Pengujian.....	36
	3.5.1 Matriks waktu pengujian	36
	3.5.2 Matriks kebutuhan pengujian	37
	3.5.3 Prosedur Pengujian.....	38
	3.5.4 Pengujian <i>Inclining test</i>	38
	3.5.5 Pengujian <i>roll decay test</i>	39
	Pelaksanaan Pengujian Model	39



3.7	Metode Analisa Data.....	39
3.8	Kerangka Pemikiran.....	41
BAB 4.....		42
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		42
4.1	Data Kapal	42
4.2	Skenario Kebocoran.....	42
4.3	Analisis Masing-Masing Skenario Kebocoran Pada Air Tenang	43
4.4	<i>Inclining Test</i>	49
4.5	<i>Roll Decay test</i>	50
4.6	Analisis karakteristik percobaan kapal menggunakan <i>roll decay</i> pada kondisi bocor di air tenang	55
BAB 5.....		56
PENUTUP.....		56
5.1	Kesimpulan	56
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA		58



Daftar Tabel

Tabel 3.1.Ukuran utama kapal	33
Tabel 3.2 Kebutuhan / material pembuatan model.	33
Tabel 3.3Matriks waktu pengujian.....	36
Tabel 3.4Matriks kebutuhan pengujian.....	37
Tabel 3.5Jadwal pengujian tiap model.....	39
Tabel 4.1 Ukuran Model Kapal.....	42
Tabel 4.2 Data hasil percobaan pada air tenang untuk skenario kebocoran 1 kompartemen.....	44
Tabel 4.3 Data hasil percobaan pada air tenang untuk skenario kebocoran 2 kompartemen.....	45
Tabel 4.4 Data hasil percobaan pada air tenang untuk skenario kebocoran 3 kompartemen.....	47
Tabel 4.5 Skenario kebocoran yang akan diuji pada air tenang.....	49
Tabel 4.6 Hasil <i>inclining test</i>	49
Tabel 4.7 Analisis percobaan kapal menggunakan <i>roll decay</i>	55



Daftar Gambar

Gambar 2.1 kapal Feri Ro-Ro	7
Gambar 2.2 <i>Catamaran Ferry</i>	7
Gambar 2.3 <i>Cable Ferry</i>	8
Gambar 2.4 <i>Double-Ended Ferry</i>	8
Gambar 2.5 <i>Hydrofoil Ferry</i>	9
Gambar 2.6 <i>Train Ferry</i>	9
Gambar 2.7 <i>Turntable Ferry</i>	10
Gambar 2.8 Enam derajat kebebasan gerak kapal	10
Gambar 2.9 Kapal yang mengalami kobocoran	11
Gambar 2.10 Volume air pada kebocoran.....	12
Gambar 2.11 Skenario kompartemen kebocoran menurut MSC 429	13
Gambar 2.12 Luas garis air setelah bocor.....	14
Gambar 2.13 Pergeseran titik tekan	15
Gambar 2.14 Pergeseran titik f.....	16
Gambar 2.15 Pergeseran titik B	17
Gambar 2.16 Cara mencari letak Z'	18
Gambar 2.17. Gaya yang bekerja ketika kapal dalam keadaan trim	19
Gambar 2.18 Letak sarat buritan (T_b) dan sarat haluan (T_d)	19
Gambar 2.19 Grafik Gerak Oling tanpa momen eksitasi	21
Gambar 2.20 perpindahan titik pusat gravitasi GG'	26
Gambar 2.21 Tampilan <i>Window Maxsurf Modeler Advance 64-Bit</i>	28
Gambar 2.22 Tampilan <i>Maxsurf Stability Advance</i>	29
Gambar 3.1 <i>Section</i>	34
Gambar 3.2 <i>Frame</i> direkatkan pada <i>water line</i>	34
Gambar 3.3 Hasil pemasangan kulit model	35
Gambar 3.4 Pemasangan resin <i>fiber matt</i> pada lambung bagian dalam model	35
Gambar 3.5 Pemasangan sekat melintang model.....	35
Gambar 3.6 Pembuatan <i>Section</i>	36
Gambar 3.7 Pembuatan tangka-tangki	36
Gambar 4.1 Layout kompartemen kebocoran Kapal Feri Ro-Ro 500 GT.....	43



Gambar 4.2 Simulasi 1 kompartemen bocor.....	43
Gambar 4.3 Simulasi 2 kompartemen bocor.....	45
Gambar 4.4 Simulasi 3 kompartemen bocor.....	47
Gambar 4.5 Proses percobaan <i>Roll decay test</i>	50
Gambar 4.6 Grafik hasil <i>Roll decay test</i> pada skenario kebocoran 1 di <i>starboard side</i>	50
Gambar 4.7 Grafik hasil <i>Roll decay test</i> pada skenario kebocoran 1 di <i>port side</i>	51
Gambar 4.8 Grafik hasil <i>Roll decay test</i> pada skenario kebocoran 2.....	52
Gambar 4.9 Grafik hasil <i>Roll decay test</i> pada skenario kebocoran 3 di <i>starboard side</i>	53
Gambar 4.10 Grafik hasil <i>Roll decay test</i> pada skenario kebocoran 3 di <i>port side</i>	54



Daftar Lampiran

Lampiran 1 : Skala model

Lampiran 2 : *Inclining Test*

Lampiran 3 : *Roll Decay test*

Lampiran 4 : Lines Plan dan General Arrangement



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. Salah satu sarana transportasi laut yang ada di Indonesia adalah sarana penyeberangan antar pulau dengan kapal ferry ro-ro. Hal ini disebutkan dalam Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM. 26 Tahun 2012 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 pelayaran tidak selalu berjalan dengan baik, banyak faktor yang menjadi pertimbangan dalam berlayar salah satunya dari faktor cuaca buruk yang biasa saja terjadi secara tiba-tiba yang pada akhirnya menyebabkan terjadinya kecelakaan apabila dalam operasionalnya kapal tidak mampu bertahan pada kondisi cuaca buruk yang disertai badai serta gelombang tinggi. Akan tetapi, salah satu kendala yang dihadapi oleh sarana transportasi penyeberangan antar pulau saat ini adalah masalah keamanan, keselamatan dan kenyamanan. Dalam pelayaran salah satu arah kebijakan dan strategis kementerian perhubungan ialah menurunkan angka kecelakaan transportasi.

Pada tahun 2017 terdapat 34 kasus kecelakaan kapal yang terjadi dengan korban jiwa yang tidak sedikit, 7 diantaranya merupakan kecelakaan kapal ro-ro. Untuk mempertahankan posisi kapal saat terjadi kebocoran dibutuhkan stability yang baik agar kapal tidak tenggelam atau setidaknya



memperlambat proses tenggelamnya kapal sehingga upaya penyelamatan penumpang dapat dilakukan.

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.

Roll decay test merupakan salah satu bentuk pengujian gerak oleng kapal tanpa ada gangguan dari luar seperti gelombang dan angin. percobaan ini pada dasarnya merupakan penyelesaian persamaan gerak rolling tanpa momen eksitasi. Koefisien Damping akan diperoleh dari persamaan gerak oleng dengan demikian add Inersia dan Restoring momen otomatis diperhitungkan pada penentuan koefisien damping. Besarnya momen redaman dapat dihitung dari penurunan amplitudo gerak oleng pada roll decay dimana koefisien redaman dapat diperoleh.

Oleh karena itu perlu adanya kajian dan penelitian tentang analisa gerak kapal feri ro-ro yang mengalami kebocoran pada saat berlayar. Kecepatan dan sarat dari kapal sangat mempengaruhi kerja kapal pada saat berada di air tenang selain itu. Respon gerak kapal rolling dapat dijadikan sebagai acuan kapal feri ro-ro dalam keadaan kapal bocor. Berdasarkan penjelasan di atas, studi ini dilakukan untuk menganalisis respon gerak rolling kapal feri ro-ro diberbagai kondisi di air tenang.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Seberapa besar pengaruh kebocoran kompartemen terhadap trim dan sarat di berbagai kondisi kebocoran ?
2. Seberapa besar pengaruh kompartemen bocor terhadap roll decay pada kapal feri ro-ro ?



1.3 Batasan Masalah

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

1. Sampel yang digunakan adalah model KMP Takabonerate 500 GT.
2. Dalam menginvestigasi kondisi hydrostatic (trim dan volume) kompartemen bocor, kompartemen bocor disimulasi kedalam 1 kompartemen, 2 kompartemen, dan 3 kompartemen.
3. Pendekatan kebocoran yang dilakukan adalah pendekatan pada skema kebocoran.
4. Kebocoran kompartemen direncanakan simetris melintang.
5. Kompartemen di bawah inner bottom tidak diperhitungkan.
6. Kebocoran pada geladak kendaraan tidak diperhitungkan.
7. Kapal dalam keadaan muatan penuh.
8. Gerak yang diperhitungkan dalam percobaan hanya menggunakan satu derajat kebebasan yaitu *rolling* kapal.
9. Percobaan hanya dilakukan pada kondisi air tenang.
10. Kapal dalam keadaan *zero speed*.
11. Lubang bocor berdiameter 9mm.

1.4 Tujuan Masalah

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

1. Menentukan perubahan sarat dan trim yang diakibatkan oleh kebocoran kompartemen di masing-masing skenario kebocoran.
2. Menentukan besar pengaruh kompartemen bocor terhadap roll decay pada kapal feri ro-ro.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan tidak lain mempertimbangkan manfaat yang ingin di dapatkan yakni :

Memberikan data hasil percobaan bagi pihak tertentu yang berkait dalam hal memberikan izin berlayar bagi kapal ferry ro-ro.



2. Menjadikan sebagai media bahan ajar terkait dengan materi stabilitas gerak oleng kapal pada saat bocor.
3. Menjadi bahan acuan dalam menganalisa stabilitas gerak oleng kapal pada saat bocor.
4. Untuk mengetahui pengaruh kebocoran terhadap perubahan sarat dan trim kapal.
5. Mengetahui besaran waktu yang dibutuhkan model kapal tegak kembali keposisi semula akibat kebocoran

1.6 Sistematika penelitian

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 pengaruh gerak *rolling* kapal pada saat bocor dalam daan air tenang.

B V PENUTUP



Bab ini berisi kesimpulan yang didapat dari keseluruhan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan. Selanjutnya diberikan saran sebagai bahan pertimbangan tindak lanjut terhadap penelitian dengan permasalahan terkait.



BAB 2

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.

Berbagai jenis kendaraan air yang tergolong feri, tergantung pada jarak perjalanan, kapasitas kapal, kecepatan yang diperlukan dan keadaan perairan yang harus dilalui antara lain:

1. 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 2.1 kapal Feri Ro-Ro
Sumber : Google Image, 2020

2. *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 2.1 *Catamaran Ferry*
Sumber : Google Image, 2020

3. *cable-ferry*

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





Gambar 2.2 *Cable Ferry*
Sumber : *Google Image, 2020*

4. **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 2.3 *Double-Ended Ferry*
Sumber : *Google Image, 2020*

5. **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 2.4 Hydrofoil Ferry
Sumber : Google Image, 2020

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 2.5 Train Ferry
Sumber : Google Image, 2020

7. Turntable Ferry

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

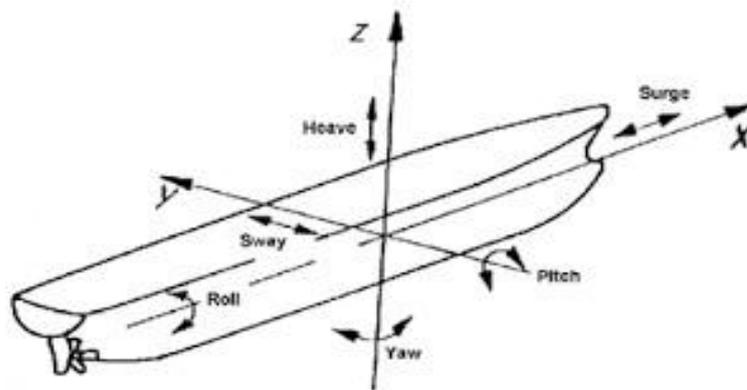




Gambar 2.6 *Turntable Ferry*
 Sumber : *Google Image, 2020*

2.2 Gerak Kapal

Pada prinsipnya perilaku gerak kapal dibagi dalam enam-derajat kebebasan (six-degree of freedom), yaitu: surge, sway, yaw, heave, roll, dan pitch. Penjelasan tentang arah vektor dari ke-enam derajat kebebasan tersebut ditunjukkan seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.7 Enam derajat kebebasan gerak kapal

- 1) Surge adalah salah satu gerak translasi kapal dimana kapal mengalami perpindahan pada sumbu x (berpindah arah sumbu x), pada gerak ini tidak terjadi perubahan massa kapal dan titik buoyancy sehingga tidak ada gaya pengembali.



adalah salah satu gerak translasi kapal yang mengalami perpindahan pada sumbu y (berpindah ke samping), pada gerak ini titik berat kapal tidak berubah tetap sehingga tidak terjadi perubahan massa kapal dan titik buoyancy sehingga tidak berpindah dan tidak ada gaya pengembali.

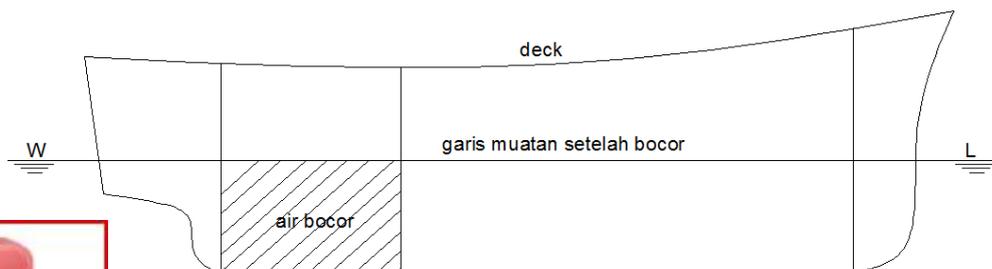
- 3) Yaw adalah salah satu gerak rotasi kapal yang bergerak berputar pada sumbu z sehingga jika diamati dari atas maka dapat dilihat kapal bergerak berputar.
- 4) Heave adalah gerakan naik dan turun kapal secara vertikal.
- 5) Roll adalah gerak oleng yang merupakan gerak rotasi kapal pada sumbu x.
- 6) Pitch adalah gerakan anguler yang memutar kedepan dan belakang terhadap sumbu transversal kapal, sepanjang sumbu y.

Gerak kapal dengan enam derajat kebebasan yang ditunjukkan pada gambar dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian berdasarkan karakteristik frekuensi respon, yaitu gerak kapal dengan frekuensi tinggi yang meliputi gerak heave, roll dan pitch. Gerak surge, sway dan yaw merupakan gerak kapal dengan frekuensi rendah. Perbedaan mendasar dari kedua kelompok gerak kapal tersebut adalah gaya atau momen pengembali, pada gerak frekuensi tinggi pada saat kapal menerima gaya dan momen dari luar. Gerak surge, sway dan yaw adalah kombinasi gerak yang menunjukkan karakteristik kemampuan olah gerak kapal.

Berbeda dengan gerak heave, roll dan pitch, gerak surge, sway dan yaw tidak disertai dengan gaya dan momen pengembali pada penelitian Stabilitas gerak oleng yang paling dominan gerak yang terjadi pada saat gelombang samping adalah gerak Rolling jadi gerak rolling menjadi titik focus.

2.3 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.

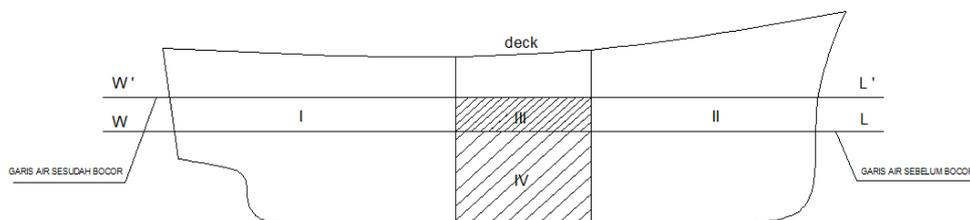


Gambar 2.8 Kapal yang mengalami kobocoran



Dalam Gambar 2.9 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 kekurangan displasmennya.



Gambar 2.9 Volume air pada kebocoran

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 $\mu \%$ 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, yang dapat masuk kedalam ruangan tersebut adalah sama dengan isi tersebut. Jadi, 100% dari isi ruangan tersebut terisi dengan air bocor.



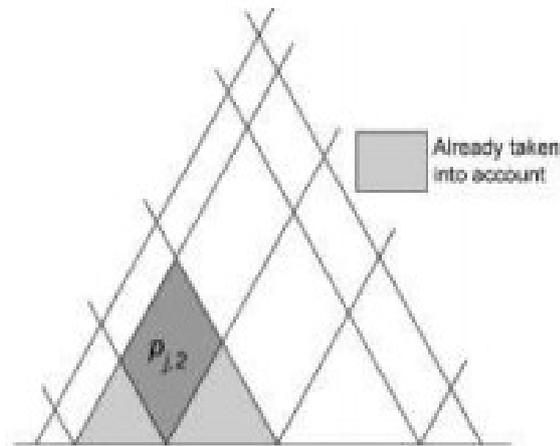
Untuk lebih jelasnya, contoh sebuah ruangan mempunyai $\mu = 70\%$. Ini berarti bahwa: $(100 - 70)\% = 30\%$ dari ruangan berisi muatan, sedangkan 70% nya dapat terisi dengan air bocor.

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

Penentuan skenario kompartemen kebocoran dilakukan pada kondisi air tenang dan model kapal tongkang tidak dalam keadaan ditarik. Penentuan skenario kompartemen kebocoran dilakukan untuk mengetahui momen trim dan momen heeling kapal sebelum di tarik. Adapun tahapan dalam penentuan skenario kebocoran, yaitu:

- 1) Penentuan skenario kompartemen kebocoran berdasarkan pada MSC 429 dimana kebocoran simetris memungkinkan dilakukan pada sisi kiri atau sisi kanan pada model dan titik kompartemen dibocorkan harus berdekatan seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.10 Skenario kompartemen kebocoran menurut MSC 429

- 2) Perhitungan hidrostatik berdasarkan pengujian model.

Perhitungan *trim* pada tiap kompartemen kebocoran.

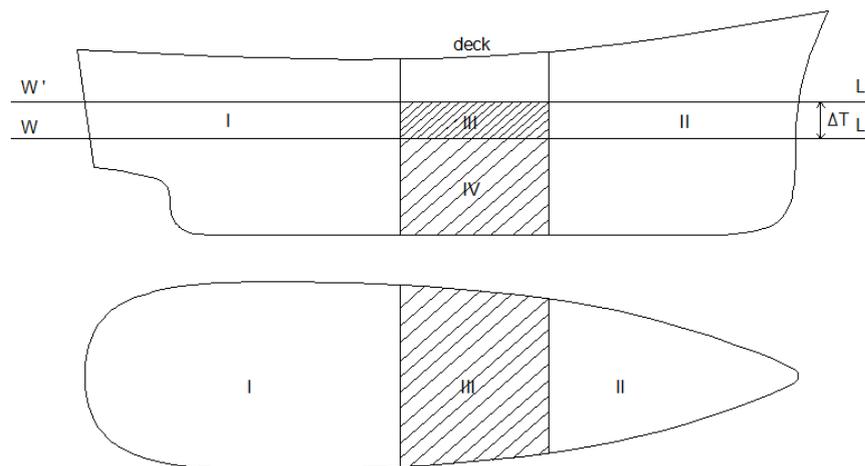
Skenario 1 kompartemen kebocoran dianggap simetris jadi yang dilakukan pengujian hanya di 1 sisi model



- 5) Skenario 2 kompartemen dianggap simetris jadi pengujian yang dilakukan hanya pada 1 sisi model dan pengujian yang dilakukan dengan kebocoran yang berdekatan.

2.3.1 Perubahan sarat

Pada gambar 2.12 ditetapkan bahwa 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 2.12).



Gambar 2.11 Luas garis air setelah bocor

Sumber: Aditya Pratama, 2015

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 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:

$$Awl \cdot \Delta T = V_o + Awl' \cdot \Delta T \dots\dots\dots(2.2)$$

$$Awl \cdot \Delta T - Awl' \cdot \Delta T = V_o$$

$$\Delta T (Awl - Awl') = V_o$$

$$\Delta T = \frac{V_o}{Awl - Awl'} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan adanya *permeabilitet* (μ) dari sebuah ruangan, maka persamaan 2.4 dapat menjadi:

$$\Delta T = \frac{0,01 \mu \cdot V_o}{Awl - 0,01 \mu \cdot Awl'} \dots\dots\dots(2.4)$$

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

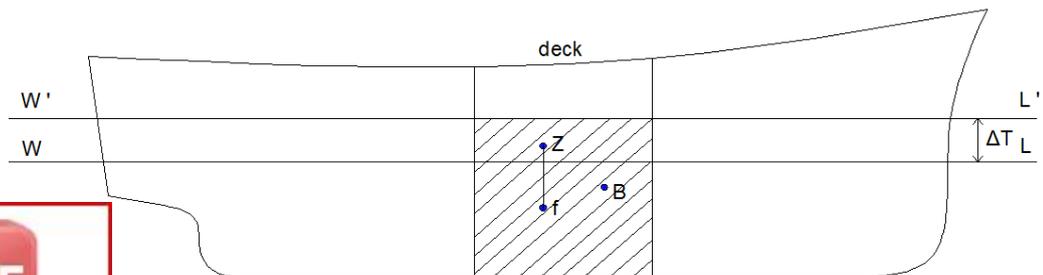
Awl = luas garis air sebelum bocor dalam m^2

Awl' = luas garis air ruang bocor dalam m^2

μ = permeabilitas ruangan dalam %

2.3.2 Pergeseran Titik Tekan (B)

Jika sarat sebuah kapal bertambah besar disebabkan oleh adanya kebocoran, maka titik tekan B akan bergeser ke B' (lihat Gambar 2.13).



r: Aditya Pratama, 2015

Gambar 2.12 Pergeseran titik tekan



Pada Gambar 2.13 , titik f merupakan titik berat ruang yang bocor terbatas sampai WL dengan volume V_0 dan titik z adalah titik berat isi dari lapisan air antara WL dan W'L' yang besarnya ΔT . Awl, maka berdasarkan rumus pergeseran dapat dituliskan persamaan kesebandingan sebagai berikut :

$$BB' : fz = V_0 : V \dots \dots \dots (2.5)$$

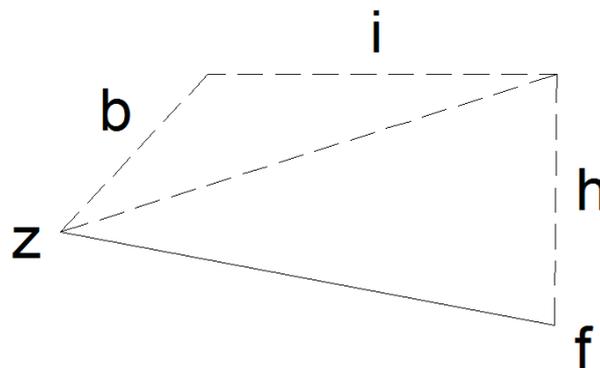
Dimana :

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)

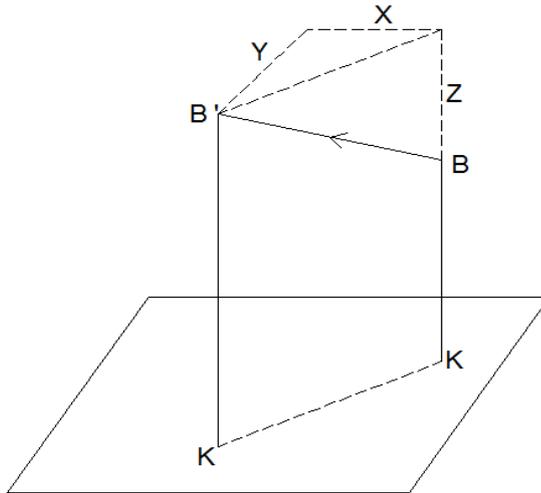


Gambar 2.13 Pergeseran titik f
Sumber: Aditya Pratama, 2015

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 2.14 Pergeseran titik B
 Sumber: Aditya Pratama, 2015

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 :

$$KB' = KB + Z$$

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

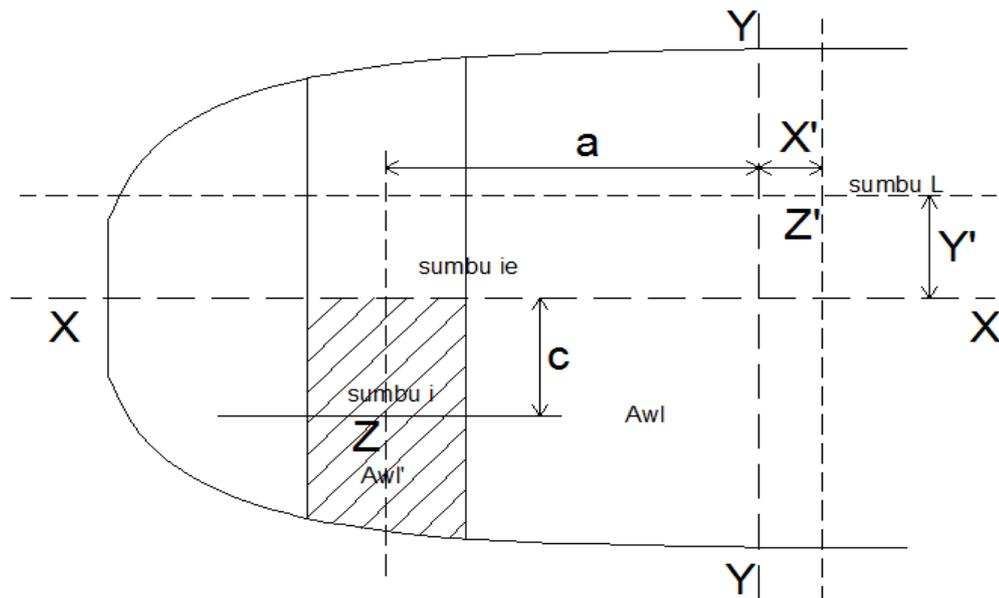
Untuk letak dari titik Z', yaitu titik berat dari (Awl – Awl'), baik memanjang maupun melintang dapat dicari dengan jalan sebagai berikut :

Melalui titik berat dari garis muatannya dibuatkan 2 buah garis yang berpotongan tegak lurus sebagai sumbu-sumbu X dan Y (lihat gambar 2.14). 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 2.15 Cara mencari letak Z'

Sumber: Aditya Pratama, 2015

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

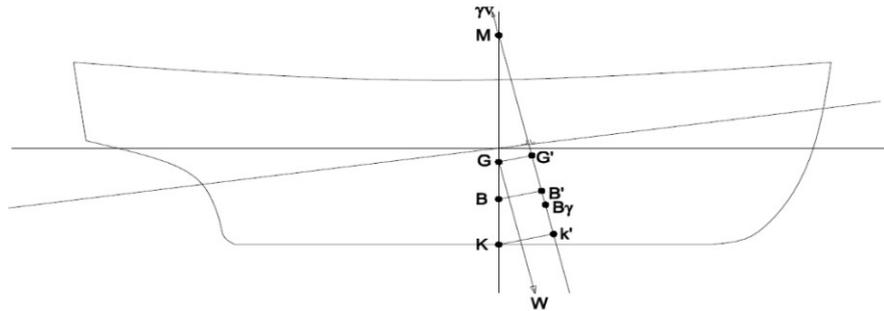
X' = jarak Z' terhadap sumbu Y

Dengan adanya persamaan 2.15 dan persamaan 2.16 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.

2.3.3 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)





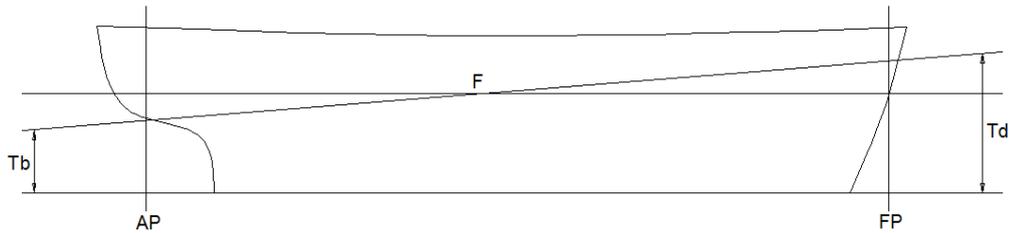
Gambar 2.16. Gaya yang bekerja ketika kapal dalam keadaan trim
 Sumber: Aditya Pratama, 2015

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 2.17 Letak sarat buritan (T_b) dan sarat haluan (T_d)
 Sumber: Aditya Pratama, 2015

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 :

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

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



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 :

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

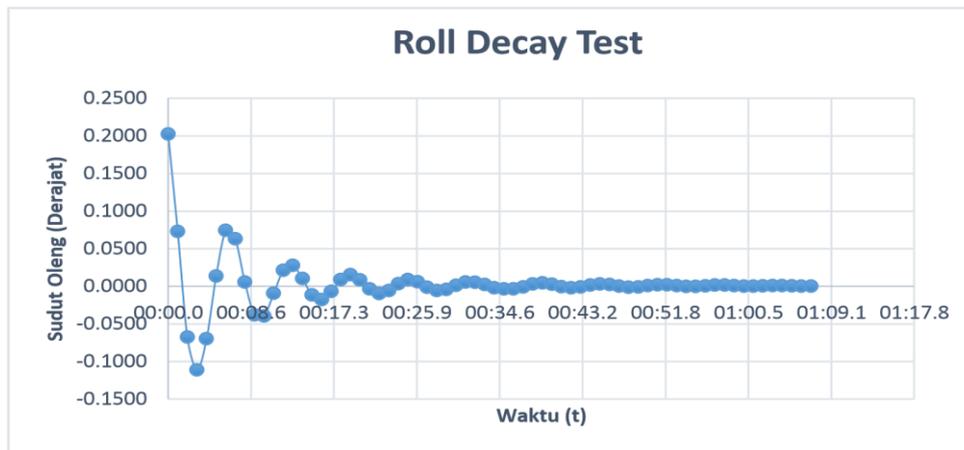
$$t_b = L_b \frac{X}{M'LG'} \dots\dots\dots(2.15)$$

2.4 Roll Decay

Momen inersia dan momen damping dapat diestimasi dengan percobaan model melalui roll decay test. Roll decay test merupakan salah satu bentuk pengujian gerak oleng kapal tanpa ada gangguan dari luar seperti gelombang dan angin. percobaan ini pada dasarnya merupakan penyelesaian persamaan gerak rolling tanpa momen eksistasi. Koefisien Damping akan diperoleh dari persamaan gerak oleng dengan demikian add Inersia dan Restoring momen otomatis diperhitungkan pada penentuan koefisien damping . Model kapal diset sedemikian rupa sehingga hanya bisa bergerak dalam satu derajat kebebasan

- 1) Pertama-tama model kapal diberi sudut kemiringan awal.
- 2) Kemudian dilepaskan untuk gerak oleng sampai model kapal diam seperti semula.
- 3) Sudut oleng pada setiap satuan waktu direkam atau dicatat sehingga akan diperoleh besar penurunan sudut oleng persatuan waktu. Karena tidak ada gaya luar yang bekerja, maka penurunan sudut oleng tersebut murni disebabkan oleh redaman kapal.





Gambar 2.18 Grafik Gerak Olang tanpa momen eksitasi

Oleh karena itu besarnya momen redaman dapat dihitung dari penurunan amplitudo gerak oleng pada roll decay. Penurunan amplitudo gerak oleng kapal dapat diestimasi dari data free-decay test. Menganalisa grafik yang didapat dari percobaan roll decay test. Pada kurva roll decay test. sumbu x adalah sudut oleng dan sumbu y adalah waktu (detik), jadi dapat disimpulkan setiap satuan pertambahan waktu sudut oleng cenderung kecil atau bisa dikatakan dalam keadaan diam. Dari grafik roll decay tes didapatkan periode gerak dengan periode gerak tersebut dapat ditentukan frekuensi natural (ω) . Dan penentuan cubic restoring moment (ϵ) dapat dari lengan stabilitas dengan menentukan koefisien-koefisien momen pengembali dengan penyelesaian polynomial, sehingga fungsi damping dapat diselesaikan sebagai berikut :

Fungsi parameter Jacobian

$$m = \frac{\epsilon \phi_0^2}{2(1+g^2\phi_0^2)} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

m : Jacobian Parameter

ϵ^2 : kubic momen pengembali $\epsilon^2 = \frac{a_2}{\omega^2}$

an moment pengembali untuk mengestimasi momen damping dari free st

$$Z(\phi) = a_1 \phi + a_2 \phi^2 \dots\dots\dots(2.17)$$



Dimana :

a1 : Koefisien pengembali a1 sama dengan MG kapal

a2 : Koefisien pengembali a2

Jika persamaan persamaan diatas di nondimensional maka masing-masing koefisien dibagi Inersia maka a1 akan sama dengan frekuensi natural dan dan a2 akan sama dengan kubic momen pengembali :

Sehingga fungsi damping didapatkan dari

$$Q(V) = \frac{L(V)}{2 \omega_0 V} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana

$Q(V)$: fungsi damping

$L(V)$: rata-rata kehilangan energi di setiap siklus

ω_0 : frekuensi natural

V : total energi rolling respon

Rata-rata kehilangan energi di setiap siklus

$$\frac{d}{dt} V(t) = -L(V) \dots\dots\dots(2.19)$$

Fungsi V

$$(V) = 1 + 0.375 m \dots\dots\dots(2.20)$$

$$(V) = 1.200 + (1 + 0.450 m) \dots\dots\dots(2.21)$$

Fungsi V

$$D(V) = \frac{\sqrt{v}B(V)}{\omega_0} \dots\dots\dots(2.22)$$

Sehingga fungsi damping sebagai berikut :

$$(V) = b_1 (V) + b_1 (V) \dots\dots\dots(2.23)$$

$$b_1 = \frac{\beta b_1}{2\omega_0}$$

$$\beta b_1 = b_1 2\omega_0$$



$$b_2 = \frac{\beta b_2}{2} \qquad \beta b_2 = b_2 \cdot 2$$

Untuk menghitung rata-rata error

$$e = \sum_{i=1}^N [Q(V_i) - \hat{Q}(V_i)]^2$$

Sehingga persamaan untuk b_1 dan b_2

$$b_1 = \frac{s_3 s_4 - s_2 s_5}{s_1 s_3 - s_2^2} \dots \dots \dots (2.24)$$

$$b_2 = \frac{s_1 s_4 - s_2 s_4}{s_1 s_3 - s_2^2} \dots \dots \dots (2.25)$$

Dimana :

$$s_1 = \sum_{i=1}^n A^2(V_i)$$

$$s_2 = \sum_{i=1}^n A^2(V_i) D(V_i)$$

$$s_3 = \sum_{i=1}^n D^2 V_i$$

$$s_4 = \sum_{i=1}^n A^2(V_i) \hat{Q}(V_i)$$

$$s_5 = \sum_{i=1}^N D(V_i) \hat{Q}(V_i)$$

2.5 Inclining test

Menurut BKI (2003) *inclining test* adalah tes yang bertujuan untuk mendapatkan secara cermat berat dan titik berat kapal kosong. Informasi yang harus tersedia saat pelaksanaan pengujian kemiringan :

- Gambar Rencana Umum
- Kapasitas Tangki
- Kurva Hidrostatik
- Lokasi tanda sarat (draft mark)



Persyaratan kondisi pengujian kemiringan :

- 1) Kapal harus sedapat mungkin mendekati penyelesaian akhir. Alat-alat yang digunakan oleh pihak galangan kapal diusahakan sesedikit mungkin. Sebelum pengujian kemiringan, daftar semua barang yang dinaikkan ke kapal, diturunkan atau dipindahkan lokasinya harus dicatat dengan cermat. Diusahakan agar barang yang belum terpasang dikapal tidak boleh melebihi 2% dan kelebihan beban tidak melebihi 4 % dari berat kapal kosong tidak termasuk air balas. Untuk kapal kecil prosentase tersebut boleh lebih besar.
- 2) Semua barang harus terpasang pada posisinya atau mudah bergeser harus terikat ditempatnya, apabila terdapat kemungkinan lebih dari satu penumpukan barang, maka posisi penumpukan barang saat itu harus dicatat.
- 3) Kapal harus dibersihkan dari sisa muatan, alat kerja, sampah, perancah.
- 4) Semua air got dan cairan diruang terbuka harus dibersihkan. Jika pengeringan masing-masing tangki tidak memungkinkan, maka jumlah cairan yang diizinkan harus mendapat persetujuan dari Surveyor
- 5) Semua tangki harian dan pipa dari permesinan harus terisi sesuai kondisi kerjanya.
- 6) Secara umum, hanya personil yang bertugas dalam pengujian kemiringan yang boleh berada di kapal.
- 7) Semua ruangan harus aman untuk diperiksa.
- 8) Kapal harus pada posisi tegak sebelum dimiringkan, diizinkan posisi awal kapal miring asal tidak melebihi $0,50^\circ$.
- 9) trim yang berlebihan harus dihindari untuk bentuk badan kapal tertentu pada daerah yang akan mengakibatkan perubahan bentuk bidang garis air pada saat kapal miring. Kondisi tersebut diatas harus dipertimbangkan dalam menentukan sarat trim yang memadai untuk pengujian.
- 10) stabilitas positif dan tegangan yang timbul masih dapat diterima selama pengujian berlangsung. Perkiraan Tinggi Metasentra (GMo) paling sedikit adalah 0,20 m.



Pelaksanaan pengujian sebagai berikut

1) Pengukuran Sarat Air dan Massa Jenis Air

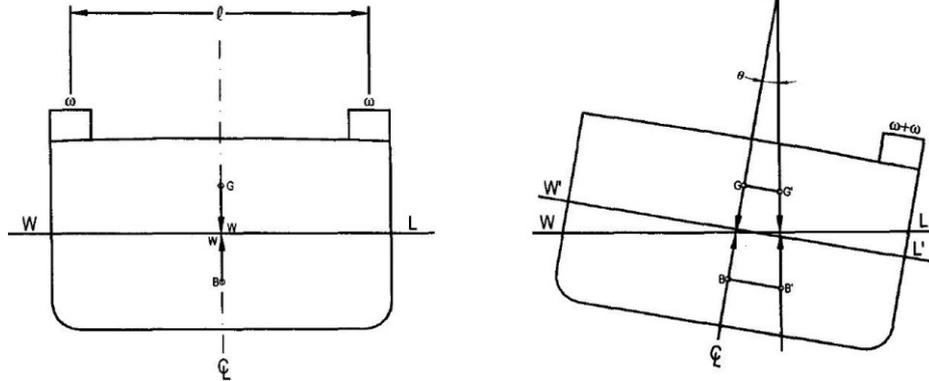
- Sarat air/lambung timbul harus diukur di haluan, buritan dan tengah kapal dari tanda sarat (draft mark) pada kedua sisi. Apabila lambung timbul tidak diukur dari tepat atas garis geladak pada sisi kapal dari geladak lambung timbul atau pada gading yang sarna lokasinya dengan tanda sarat, maka lokasi dan data vertikalnya harus dinyatakan.
- Sarat air/lambung timbul harus diukur di haluan, buritan dan tengah kapal dari tanda sarat (draft mark) pada kedua sisi. Apabila lambung timbul tidak diukur dari tepi atas garis geladak pada sisi kapal dari geladak lambung timbul atau pada gading yang sarna lokasinya dengan tanda sarat, maka lokasi dan data vertikalnya harus dinyatakan.
- Untuk memeriksa ketepatan pengukuran sarat air, dianjurkan untuk menggambar 2 garis air berdasarkan pembacaan sarat air dan dengan yang diukur berdasarkan lambung timbul. Bila pengukuran tepat, maka kedua garis air akan berhimpit. Dalam hal kedua garis air tidak berhimpit, maka pengukuran tambahan harus dilakukan.
- Sejumlah contoh air yang memadai harus diambil pada lokasi dan kedalaman yang sesuai untuk memperoleh hasil pemeriksa massa jenis air yang tepat.

2) pemindahan beban pengujian

- Posisi beban uji harus diberi tanda diatas geladak untuk menjamin bahwa pemindahan dilakukan dengan konsisten. Jarak pergeseran beban melintang harus sejauh mungkin dan perubahan pada posisi memanjang dan vertikal ketika gerakan dari kiri ke kanan atau sebaliknya harus dihindari.
- Jarak bandul harus diukur dari titik pusat ayunan sampai dengan papan untuk pembacaan simpangan.



3) Perhitungan tinggi metasentra



Gambar 2.19 perpindahan titik pusat gravitasi GG'

Jarak perpindahan titik pusat gravitasi GG' dihasilkan akibat adanya pergeseran beban uji. akan diperoleh dengan rumus berikutnya.

$$KG = MK - MG \dots \dots \dots (2.26)$$

dimana:

GG' = jarak perpindahan titik pusat gravitasi (m)

GMo = tinggi metasentra (m)

W = displasmen kapal (ton)

I = jarak perpindahan beban uji (m)

θ = sudut kemiringan kapal (derajat)

w = berat beban uji.(ton)

2.6 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

asyarakat 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.

2.6.1 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.

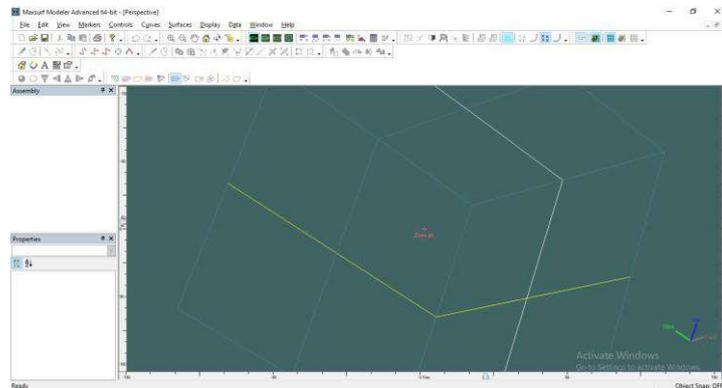
Kemampuan Multiple Surface Maxsurf Modeler, yang memungkinkan sejumlah surfaces dimodelkan dalam desain apa pun, menawarkan ruang lingkup untuk menciptakan berbagai bentuk hull. Dikombinasikan dengan perhitungan hidrostatis bawaan, Anda memiliki alat untuk bereksperimen dengan bentuk dan menjelajahi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

ngi kebutuhan untuk masuk kembali data setelah desain telah diselesaikan, hilangkan 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 2.20 Tampilan *Window Maxsurf Modeler Advance 64-Bit*.

2.6.2 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.

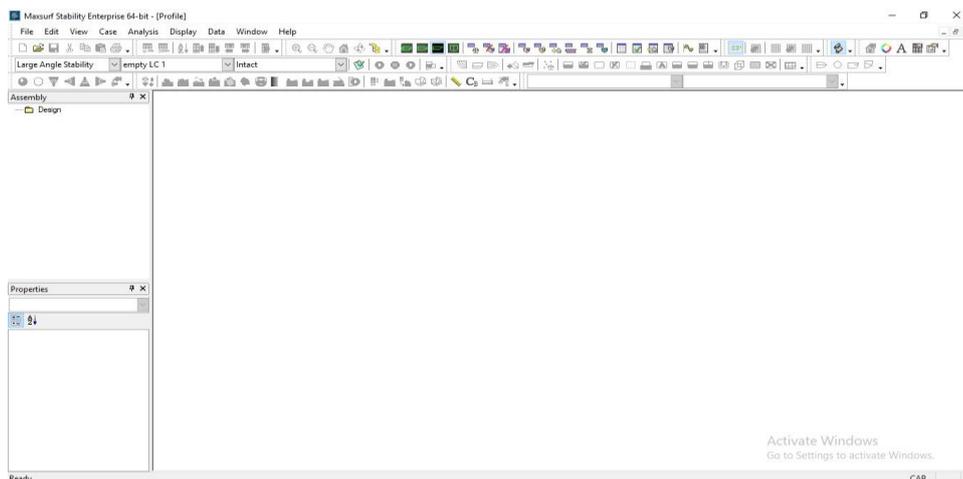
Maxsurf Stability dirancang secara logis, yang membuatnya mudah digunakan. Langkah-langkah berikut diikuti ketika melakukan analisis:

- 1) Input Model
- 2) Pemilihan Jenis Analisis
- 3) Pengaturan analisis
- 4) Pengaturan Lingkungan

Spesifikasi dan Pemilihan Kriteria
 Menjalankan Analisa
 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 2.22 (*Maxsurf stability user manual 2013*).



Gambar 2.21 Tampilan *Maxsurf Stability Advance*.

2.7 Perbandingan model

Dalam percobaan dengan menggunakan model fisik, ukuran kapal ditransfer ke skala model, dengan demikian maka harus ada atau harus dinyatakan beberapa hukum perbandingan untuk keperluan transfer tersebut. Hukum perbandingan yang dipakai harus memenuhi syarat – syarat sebagai berikut:

2.7.1 Kesamaan Geometris

Pada dasarnya kesamaan geometri antara model dan kapal dapat diperoleh jika rasio semua dimensi model dan kapal adalah sama. Secara matematika maka dapat menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Rasio} = \frac{L_{\text{model}}}{L_{\text{ship}} \text{ atau } \frac{L_M}{L_S} = L_r \dots\dots\dots (2.27)$$

dimana :

= skala model



L_m = panjang model (m)

L_p = panjang Kapal (m)

2.7.2 Kesamaan kinematis

Kesamaan kinematis merujuk pada persamaan gerakan. Karena gerakan dideskripsikan oleh jarak dan waktu, itu menunjukkan kesamaan panjang (kesamaan geometri) dan kesamaan interval waktu. Jika panjang model dan prototipe memiliki rasio tetap kecepatannya harus memiliki rasio tetap terhadap interval waktu. Kesamaan kinematis dapat diketahui melalui persamaan berikut:

$$\frac{V_M}{\sqrt{gL_M}} = \frac{V_S}{\sqrt{gL_S}} \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana :

V_M = kecepatan model (m/det)

V_S = kecepatan kapal (m/det)

2.7.3 Kesamaan Dinamis

Kesamaan dinamis adalah kesamaan gaya. Perbedaan gaya antara kapal dan model harus memiliki rasio skala yang sama. Gaya yang dimaksud adalah tekanan, gaya grafitasi, viskositas, elastisitas dan tegangan permukaan. Selain itu, sifat fisik yang mempengaruhi adalah massa jenis, viskositas, elastisitas, dan lainnya. Sebagai contoh, gaya yang bekerja pada inersia,

$$f_i = \rho V^2 l^2 \dots\dots\dots (2.29)$$

dan yang bekerja pada viskositas,

$$f_v = \mu V l \dots\dots\dots (2.30)$$

dan memiliki rasio konstan pada semua homologous points model dan prototipe, memberikan persamaan berikut:

$$\frac{(f_i)_{model}}{(f_i)_{prototype}} = \frac{(f_v)_{model}}{(f_v)_{prototype}} \dots\dots\dots (2.31)$$



$$\left(\frac{f_i}{f_v}\right)_{\text{model}} = \left(\frac{f_i}{f_v}\right)_{\text{prototype}} = \left(\frac{Vl\rho}{\mu}\right)_{\text{model}} = \left(\frac{Vl\rho}{\mu}\right)_{\text{prototype}}$$

$$(\text{Re})_{\text{model}} = (\text{Re})_{\text{prototype}} \dots\dots\dots(2.32)$$

Dimana:

$\text{Re} = \text{Reynold number}, V/l\nu$

$V = \text{Kecepatan}$

$l = \text{Panjang}$

$\nu = \text{Viskositas kinematis (m}^2/\text{det)}$

$\rho = \text{Massa jenis (kg/m}^3\text{)}$

Untuk menghindari terjadinya ombak pada dinding tangki atau biasa disebut dengan *blockage effect* maka ukuran model harus disesuaikan dengan ukuran tangki serta tinggi air dalam tangki dengan sarat model. Menurut harvald, penentuan lebar model (B_m) adalah sebagai berikut:

$$B_m < 1/10 B \text{ tangki} \dots\dots\dots(2.33)$$

