

**SKRIPSI**

**EVALUASI KRITERIA CUACA PADA KAPAL FERRY RO-RO  
BERDASARKAN PENGUJIAN MODEL  
(STUDI KASUS KMP MUNGGIYANGO HULALO)**

**Disusun dan Diajukan oleh:**

**ARDEDI YUSUF**

**D311 15 028**



**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2021**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

EVALUASI KRITERIA CUACA PADA KAPAL FERRY RO-RO  
BERDASARKAN PENGUJIAN MODEL (STUDI KASUS KMP  
MUNGGIYANGO HULALO)

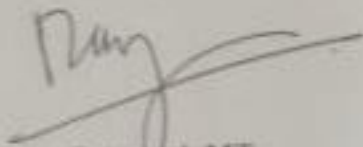
Disusun dan Diajukan oleh:

ARDEDI YUSUF  
D311 15 028

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan Fakultas  
Teknik Universitas Hasanuddin.  
pada tanggal Februari 2021  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

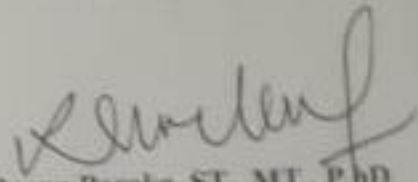
Menyetujui,

Pembimbing Utama



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

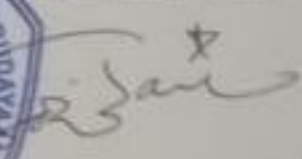
Pembimbing Pendamping



Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D.  
Nip. 19720118 199802 1 001



Departemen Teknik Perkapalan

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



## ABSTRAK

**ARDEDI YUSUF**, Evaluasi Kriteria Cuaca Pada Kapal Ferry Ro-Ro Berdasarkan Pengujian Model (Studi Kasus KMP Munggiyango Hulalo).  
Dibimbing Oleh (**Rosmani dan Daeng Paroka**).

Parameter penting yang berhubungan dengan masalah keselamatan kapal dalam pelayaran adalah stabilitas. Kriteria cuaca diadopsi sebagai bagian dari kriteria stabilitas. Untuk kapal dengan ratio rancangan lebar dan sarat yang lebih besar dari 3,5, factor redaman dalam kriteria cuaca bisa di taksir terlalu tinggi. Melihat kondisi tersebut penulis hendak meneliti evaluasi kriteria cuaca terhadap KMP Munggiyango Hulalo dimana kapal tersebut adalah salah satu kapal yang memiliki perbandingan lebar dan sarat yang lebih besar dari 3,5 dan juga memiliki *bilge keel* sebagaimana yang terdapat dalam perhitungan kriteria cuaca *International Maritime Organization* (IMO) dengan tujuan untuk mengetahui variasi distribusi muatan terhadap gerak oleng kapal pada gelombang dan mengevaluasi kriteria cuaca IMO terhadap kapal tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen dengan memvariasikan distribusi muatan dari model kapal pada kondisi muatan berada pada sisi kapal menggunakan *bilge keel* (A1), kondisi muatan berada pada sisi kapal tanpa *bilge keel* (A2), kondisi muatan berada pada tengah kapal menggunakan *bilge keel* (B1), dan kondisi muatan berada pada tengah kapal tanpa *bilge keel* (B2), dianalisa menggunakan formula kriteria cuaca pada *International Maritime Organization*. Adapun hasil yang diperoleh pada perbandingan sudut oleng kapal dengan kondisi A1 dan A2 sebesar 47.28% sedangkan perbandingan sudut oleng kapal dengan kondisi B1 dan B2 sebesar 59.18%. Dengan sudut oleng maksimum  $23.10^\circ$  terjadi pada kondisi A1 dan sudut oleng minimum  $7.31^\circ$  terjadi pada kondisi B2. Berdasarkan perhitungan dan perbandingan luasan a dan b pada kriteria cuaca *International Maritime Organization* (IMO) dimana  $b/a \geq 1$  (memenuhi) dapat dilihat bahwa kapal dengan semua kondisi beban dengan dan tanpa *bilge keel* masih memenuhi dengan kondisi A1 paling mendekati satu dengan nilai  $b/a = 1,436$ .

**Kata kunci** : Stabilitas, Respon Gerak Oleng, *Bilge keel*, Amplitudo Gelombang, Kriteria Cuaca

## KATA PENGANTAR

Segala Puji bagi ALLAH ﷻ, Tuhan Seluruh Alam, Semoga Sholawat dan Salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad ﷺ beserta keluarganya dan sahabat sahabatnya.

Skripsi ini berjudul: **Evaluasi Kriteria Cuaca Pada Kapal Ferry Ro-Ro Berdasarkan Pengujian Model (Studi Kasus KMP Munggiyango Hulalo)**. Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Strata Satu pada Departemen Teknik Perkapalan Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan karena keterbatasan penulis maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar dikemudian hari dapat diperbaiki segala kekurangannya

Penghargaan dan ucapan terimakasih yang tak terhingga kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis sehingga penulis bersemangat dan termotivasi untuk menyelesaikan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang Tua Tercinta, Istri Tercinta dan Keluarga tersayang yang selalu memberikan dukungan moral maupun materil serta doa-doa yang dipanjatkan untuk kesuksesan penulis.
2. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT. selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan dan penguji.
3. Ir. Rosmani, MT. Selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan masukan dan arahan selama penelitian dan penulisan skripsi.
4. Daeng Paroka, ST., MT.,P.hD selaku Dosen pembimbing II yang selalu memberikan masukan dan arahan selama penelitian dan penulisan skripsi
5. Andi Dian Eka Anggriani, ST., MT. selaku penguji atas seluruh koreksi yang membangun selama ujian skripsi.
6. Dosen-Dosen Departemen Teknik Perkapalan atas ilmu yang telah diberikan selama penulis kuliah di departemen teknik perkapalan

7. Muhammad, ST. MT kakanda senior yang memberikan banyak bantuan tenaga dan pikirannya untuk menyelesaikan skripsi ini
8. Muh.Anjas Syam ST sahabat seperjuangan yang saling membantu dalam menyelesaikan skripsi ini Akbar Rais
9. Seluruh warga OKFT-UH
10. Sahabat PLATFORM 2015
11. Seluruh warga HMDP FT-UH
12. Kakanda-kakanda 2014,2013,2012,2011 dan 2010
13. Adinda-adinda 2016,2017,2018,2019 dan 2020
14. Seluruh team CV.Petik Karya Engineering
15. Seluruh Pihak yang belum sempat disebutkan namanya

Semoga segala amal dan kebaikannya kepada penulis mendapatkan balasan yang berlimpah dari Allah SWT, Besar harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya bagi penulis selaku mahasiswa yang mengerjakannya.

Gowa, Februari 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

SAMPUL	
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR NOTASI .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Ferry Ro-Ro .....	6
2.2. Gerak Kapal .....	6
2.3. Stabilitas Kapal .....	7
2.4. Pengaruh <i>Bilge keel</i> .....	8
2.5. Teori Gelombang Reguler .....	9
2.6. <i>Inclining test</i> .....	12
2.7. Percobaan Pada Gelombang Beraturan Berdasarkan IMO .....	15
2.8. Evaluasi <i>Rolling</i> Pada Kriteria Cuaca Berdasarkan IMO .....	20
2.9. Perbandingan Model .....	23
BAB II METOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	25
3.2. Jenis Data .....	25
3.3. Pembuatan Model.....	25

3.4. Prosedur Pelaksanaan Pengujian .....	28
3.5. Pelaksanaan Pengujian Model .....	33
3.6. Metode Analisa Data .....	33
3.7. Kerangka Penelitian .....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>36</b>
4.1. Data Kapal .....	36
4.2. <i>Inclining Test</i> .....	37
4.3. <i>Roll decay test</i> .....	37
4.4. Pengujian pada Gelombang .....	44
4.5 Perhitungan $N(\varphi_{1r})$ (Bertin's Coefficient) dan nilai r (effective wave slope coefficient) .....	51
4.6. Penentuan Roll Amplitudo berdasarkan Kriteria Cuaca .....	54
4.7. Kurva Kriteria Cuaca .....	59
4.8. Perhitungan dan Perbandingan Luasan a dan b pada Kurva Kriteria Cuaca .....	63
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>64</b>
5.1. Kesimpulan .....	64
5.2 Saran .....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>66</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kapal Ferry Ro-Ro .....	6
Gambar 2.2 Enam Gerakam Kapal Di Laut Lepas .....	7
Gambar 2.3 Titik G, B, Dan M Pada Saat Kapal Olang .....	8
Gambar 2.4 Karakteristik gelombang regular .....	10
Gambar 2.5 Arah Rambat Gelombang Terhadap Bagian Kapal.....	12
Gambar 2.6 Perpindahan Titik Pusat Gravitasi GG' .....	14
Gambar 2.7. <i>Savere Wind And Rolling</i> .....	20
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian .....	35
Gambar 4.1 Rencana Garis Kapal.....	36
Gambar 4.2 Proses <i>Inclining test</i> .....	37
Gambar 4.3. Proses Percobaan <i>Roll decay test</i> .....	38
Gambar 4.4. Grafik Hasil <i>Roll decay test</i> kondisi A1 .....	39
Gambar 4.5. Grafik Hasil <i>Roll decay test</i> kondisi A2.....	39
Gambar 4.6 Grafik Hasil <i>Roll decay test</i> kondisi B1 .....	39
Gambar 4.7. Grafik Hasil <i>Roll decay test</i> kondisi B2 .....	40
Gambar 4.8 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A1 .....	42
Gambar 4.9 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A2 .....	42
Gambar 4.10 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi B1 .....	42
Gambar 4.11 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi B2 .....	43
Gambar 4.12 Grafik Sudut Olang dan $\omega/\omega_0$ Kondisi A1 .....	49
Gambar 4.13 Grafik nilai Sudut Olang dan $\omega/\omega_0$ Kondisi A2 .....	49
Gambar 4.14 Grafik nilai Sudut Olang dan $\omega/\omega_0$ Kondisi B1 .....	49
Gambar 4.15 Grafik nilai Sudut Olang dan $\omega/\omega_0$ Kondisi B2 .....	50
Gambar 4.16 Grafik nilai <i>Bertin Coefisien</i> dan $\omega/\omega_0$ Kondisi A1 .....	51
Gambar 4.17 Grafik nilai <i>Bertin Coefisien</i> dan $\omega/\omega_0$ Kondisi A2 .....	51
Gambar 4.18 Grafik nilai <i>Bertin Coefisien</i> dan $\omega/\omega_0$ Kondisi B1 .....	52
Gambar 4.19 Grafik nilai <i>Bertin Coefisien</i> dan $\omega/\omega_0$ Kondisi B2 .....	52
Gambar 4.20 Grafik nilai <i>Efektive Wave Slope Coefficient</i> dan $\omega/\omega_0$ Kondisi A1.....	53
Gambar 4.21 Grafik nilai <i>Efektive Wave Slope Coefficient</i> dan $\omega/\omega_0$ Kondisi A2.....	53
Gambar 4.22 Grafik nilai <i>Efektive Wave Slope Coefficient</i> dan $\omega/\omega_0$ Kondisi B1 .....	53
Gambar 4.23 Grafik nilai <i>Efektive Wave Slope Coefficient</i> dan $\omega/\omega_0$ Kondisi B2.....	54

Gambar 4.24 Kurva Kriteria Cuaca Kondisi A1 .....	61
Gambar 4.25 Kurva Kriteria Cuaca Kondiis A2 .....	61
Gambar 4.26 Kurva Kriteria Cuaca Kondisi B1 .....	62
Gambar 4.27 Kurva Kriteria Cuaca Kondisi B2 .....	62
Gambar A.1 Inclinometer Digital .....	69
Gambar A.2. Proses <i>Inclining test</i> Model .....	70
Gambar C.1 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A1 percobaan 1	73
Gambar C.2 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A1 percobaan 2 ...	73
Gambar C.3 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A1 percobaan 3 ...	73
Gambar C.4 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A1 percobaan 4 ...	74
Gambar C.5 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A1 percobaan 5 ...	74
Gambar C.6 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A2 percobaan 1 ...	74
Gambar C.7 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A2 percobaan 2 ...	75
Gambar C.8 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A2 percobaan 3 ...	75
Gambar C.9 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A2 percobaan 4 ...	75
Gambar C.10 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A2 percobaan 5	76
Gambar C.11 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi B1 percobaan 1	76
Gambar C.12 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi B1 percobaan 2	76
Gambar C.13 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi B1 percobaan 3	77
Gambar C.14 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi B1 percobaan 4	77
Gambar C.15 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi B1 percobaan 5	77
Gambar C.16 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A2 percobaan 1	78
Gambar C.17 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A2 percobaan 2	78
Gambar C.18 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A2 percobaan 3	78
Gambar C.19 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A2 percobaan 4	79
Gambar C.20 Kurva polinomial orde dua $\varphi_{mi}$ vs $\delta\varphi_i$ kondisi A2 percobaan 5	79
Gambar F.1 <i>Savere Wind And Rolling</i> .....	82
Gambar G.1 Kurva Kriteria Cuaca kondisi A1 .....	83
Gambar G.2 Kurva Kriteria Cuaca kondisi A2 .....	83
Gambar G.3 Kurva Kriteria Cuaca kondisi B1 .....	83
Gambar G.4 Kurva Kriteria Cuaca kondisi B2 .....	84
Gambar H.1 Kondisi Muatan 1 .....	85

Gambar H.2 Kondisi Muatan 2 .....	85
Gambar I.1 Pengujian pada Gelombang .....	86
Gambar I.2 Pengujian pada Gelombang .....	86

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penentuan nilai k.....	9
Tabel 2.2 Tabel <i>Wave steepness Factor</i> .....	19
Tabel 2.3 Tabel Nilai <i>K</i> .....	22
Tabel 2.4 Tabel Nilai $X_1$ .....	22
Tabel 2.5 Tabel Nilai $X_2$ .....	23
Tabel 2.6 Tabel Nilai <i>s</i> .....	23
Tabel 3.1 Ukuran Model Kapal.....	26
Tabel 3.2 Rincian Kebutuhan Bahan Model .....	26
Tabel 3.3 Rincian Kebutuhan Peralatan Model .....	27
Tabel 3.4 Matriks Waktu Pengujian .....	29
Tabel 3.5 Matriks Kebutuhan Pengujian .....	30
Tabel 3.6 Jadwal Pengujian .....	33
Tabel 4.1 Ukuran Utama Kapal .....	36
Tabel 4.2 Hasil <i>Inclining test</i> .....	37
Tabel 4.3 Periode Olang .....	41
Tabel 4.4 Frekuensi Natural Model .....	41
Tabel 4.5 Nilai Koefisien <i>p</i> dan <i>q</i> .....	43
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Frekuensi Gelombang .....	44
Tabel 4.7 Penentuan Panjang Gelombang .....	45
Tabel 4.8 Penentuan Nilai <i>H</i> (Tinggi Gelombang) Kondisi A1.....	46
Tabel 4.9 Penentuan Nilai <i>H</i> (Tinggi Gelombang) Kondisi A2.....	46
Tabel 4.10 Penentuan Nilai <i>H</i> (Tinggi Gelombang) Kondisi B1.....	46
Tabel 4.11 Penentuan Nilai <i>H</i> (Tinggi Gelombang) Kondisi B2.....	47
Tabel 4.12 Amplitudo Gelombang Kondisi A1 .....	47
Tabel 4.13 Amplitudo Gelombang Kondisi A2 .....	48
Tabel 4.14 Amplitudo Gelombang Kondisi B1 .....	48
Tabel 4.15 Amplitudo Gelombang Kondisi B2 .....	48
Tabel. 4.16 Nilai Sudut Olang.....	50
Tabel 4.17 Nilai $X_1$ Kondisi Muatan 1 .....	55
Tabel 4.18 Nilai $X_1$ Kondisi Muatan 2 .....	56
Tabel 4.19 Nilai <i>k</i> .....	57

Tabel 4.20 Nilai Roll Amplitudo .....	58
Tabel 4.21 Persentasi Roll Amplitude kondisi A1 dan A2 .....	59
Tabel 4.22 Persentasi Roll Amplitude kondisi B1 dan B2 .....	59
Tabel 4.23 Penggambaran Kurva Kriteria Cuaca .....	60
Tabel 4.24 Hasil Perhitungan dan Perbandingan luasan a dan b .....	63
Tabel A.1 Titik Stabilitas antara Kapal Sebenarnya dan Model .....	68
Tabel A.2 Beban Tambahan Untuk Proses <i>Inclining test</i> .....	70
Tabel A.3 Hasil <i>Inclining test</i> Model .....	71
Tabel A.4 KG <i>Inclining test</i> .....	71
Tabel B.1 Perhitungan Nilai (T) Periode Oleng .....	72
Tabel C.1 Rata-rata Nilai Koefisien p dan q .....	79
Tabel D.1 Hasil Perhitungan $N(\varphi_{1r})$ ( <i>Bertin's Coefficient</i> ) .....	80
Tabel E.1 Hasil Perhitungan Nilai r ( <i>efective wave slope coefficient</i> ) .....	81

## DAFTAR NOTASI

$G$	:	Titik berat kapal
$B$	:	Titik tekan apung
$M$	:	Titik Metasentra
$\Delta$	:	Displacement Kapal
$A$	:	Amplitudo gelombang
$H$	:	Tinggi gelombang
$\lambda$	:	Panjang gelombang
$T_{wave}$	:	Periode gelombang
$T_{\phi}$	:	Periode Olen
$k$	:	Koefisien dari fungsi luas <i>bilge keel</i>
$X_1$	:	Koefisien dari fungsi lebar/sarat
$X_2$	:	Koefisien dari fungsi koefisien blok
$\omega_0$	:	Frekuensi natural gelombang
$\omega_{1, 2, 3}$	:	Frekuensi gelombang
$s$	:	<i>Wave steepness</i>
$r$	:	Effective wave slope coefficient
$N\phi$	:	Koefisien Momen Peredam (Bertin's Coefficient)
$\phi_i$	:	Sudut kemiringan
$\delta\phi_i$	:	Selisih sudut kemiringan
$\phi_{mi}$	:	Rata-rata sudut kemiringan
$\phi_{1r}$	:	Regular waves roll-back angle
$g$	:	Percepatan gravitasi
$OG$	:	Tinggi G diatas waterline
$\varphi_0$	:	sudut <i>hell</i> di bawah angin stabil
$\varphi_1$	:	sudut <i>roll</i> ke arah angin karena aksi gelombang
$\varphi_2$	:	sudut down-flooding ( $\varphi_r$ ) atau $50^\circ$ atau $\varphi_c$ , mana yang kurang,
$\varphi_r$	:	sudut <i>hell</i> di mana bukaan di lambung, superstruktur atau geladak yang tidak bisa ditutup kedap cuaca. Dalam menerapkan kriteria

ini, bukaan kecil yang mana progresif penggenangan tidak dapat terjadi tidak perlu dianggap terbuka.

$\varphi_c$  : sudut *intercept* kedua antara angin heeling lever  $l_{w2}$  dan Kurva GZ.

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran A : <i>Inclining test</i> .....	68
Lampiran B : Penentuan Nilai $T$ (Periode Oleng) .....	72
Lampiran C. Kurva Polinomial Orde Dua .....	73
Lampiran D : Nilai $N(\varphi_{1r})$ ( <i>Bertin's Coefficient</i> ).....	80
Lampiran E : Nilai $r$ ( <i>efective wave slope coefficient</i> ).....	81
Lampiran F: Penentuan nilai $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_r, l_{w1}$ dan $l_{w2}$ .....	82
Lampiran G : Kurva Kriteria Cuaca.....	83
Lampiran H : Gambar Distribusi Muatan .....	85
Lampiran I: Gambar Pengujian pada Gelombang.....	86



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kapal menurut peraturan pemerintah no.51 tahun 2002 adalah kendaraan air dengan bentuk dan jenis apapun, yang digerakkan dengan tenaga mekanik, tenaga angin, atau ditunda, termasuk kendaraan yang berdaya dukung dinamis, kendaraan di bawah permukaan air, serta alat apung dan bangunan terapung yang tidak berpindah-pindah. Sedangkan, keselamatan kapal adalah keadaan kapal yang memenuhi persyaratan material, konstruksi, bangunan, permesinan dan perlistrikan, stabilitas, tata susunan serta perlengkapan termasuk radio, dan elektronika kapal. (bab 1 ketentuan umum pasal 1 ayat (2) dan (9)).

Salah satu parameter penting yang berhubungan dengan masalah keselamatan kapal dalam pelayaran adalah stabilitas. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa kapal-kapal dengan sarat rendah atau yang mempunyai perbandingan lebar dengan sarat yang besar cenderung tidak memenuhi salah satu kriteria stabilitas Organisasi Maritim Internasional (IMO) (IMO, 2002) khususnya sudut oleng dengan lengan stabilitas maksimum terjadi.

Menurut *International Maritime Organization* (IMO) kriteria cuaca diadopsi sebagai bagian dari kriteria stabilitas, terutama untuk kapal dengan luas tangkap angin yang besar, dari Rumus empiris untuk menghitung momen pengembali dikembangkan dengan menggabungkan standar Jepang dan Rusia. Nilai dari masing-masing *variable* rumus ditentukan secara statistik sebagai fungsi geometri kapal, Yang terdiri atas perbandingan lebar dan sarat lebih kecil dari 3.5 dan koefisien blok lebih kecil dari 0.7. Koefisien kemiringan gelombang efektif dihitung secara linear sebagai fungsi dari perbandingan antara *Vertical Center Of Gravity* (Vertical COG) dan sarat kapal. Fungsi ini di kembangkan secara statistik berdasarkan pada

kapal dengan perbandingan *Vertical Center Of Gravity* (Vertical COG) dan sarat kapal Antara 0.7-1.5.

Sejak dua dekade terakhir, pembahasan mengenai kriteria cuaca telah beberapa kali dilakukan karena kebanyakan jenis kapal pada saat ini berbeda dengan jenis kapal ketika dilakukan pengembangan kriteria. Momen pengembali yang dihasilkan dari rumus kriteria cuaca yang bisa saja berlebih disebabkan oleh factor redaman lebih besar yang mengacu pada perbandingan lebar dan sarat ketika perbandingannya lebih besar dari 3,5. Factor redaman dipengaruhi oleh *bilge keel* yang umumnya berlebihan untuk kapal kecil. *Bilge keel* dapat mengurangi amplitude *roll* lebih dari 30% (Pesman E, Bayraktar D, dan Taylan M, 2007). koefisien redaman bisa meningkat dua kali lebih besar dibandingkan dengan koefisien redaman tanpa *bilge keel*. Semua ketentuan dalam rumus yang tidak sesuai estimasi pada waktu kriteria cuaca asli ditetapkan.

Kriteria cuaca dihitung hanya satu keadaan laut, sedangkan ukuran index terbalik dihitung sebagai penghindaran dari beberapa keadaan laut yang berbeda. Perbedaan hasil juga dapat disebabkan oleh perbedaan antara factor redaman yang digunakan pada kriteria cuaca dan koefisien redaman yang digunakan dalam perhitungan index terbalik, terutama untuk kapal dengan karakteristik geometri berbeda dari yang digunakan untuk mengembangkan kriteria cuaca. Untuk kapal dengan ratio rancangan lebar dan sarat yang lebih besar dari 3,5, factor redaman dalam kriteria cuaca bisa di taksir terlalu tinggi. Oleh karena itu penting untuk menentukan factor redaman yang normal sesuai dengan ratio lebar dan sarat dan *bilge keel* dengan cara yang sama dengan koefisien redaman yang digunakan untuk menghitung index terbalik. Melihat kondisi tersebut penulis hendak melakukan penelitian evaluasi kriteria cuaca terhadap KMP Munggiyango Hulalo dimana kapal tersebut memiliki perbandingan lebar dan sarat yang lebih besar dari pada 3,5 dan juga memiliki *bilge keel* sebagaimana yang terdapat dalam perhitungan kriteria cuaca IMO, Untuk melihat performa yang sebenarnya bisa di dekati dengan metode percobaan model di *Towing Tank* sehingga penelitian ini difokuskan pada “**Evaluasi Kriteria Cuaca**

## **Pada Kapal Ferry Ro-Ro Berdasarkan Pengujian Model (Studi Kasus KMP Munggiyango Hulalo)”.**

### **1.2. Rumusan Masalah**

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

1. Bagaimana pengaruh respon gerak oleng kapal pada gelombang terhadap variasi distribusi muatan?
2. Bagaimana evaluasi kriteria cuaca *international maritime organisation* (IMO) terhadap perubahan distribusi muatan ferry ro-ro KMP Munggiyango Hulalo?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

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

1. Mengetahui pengaruh respon gerak oleng kapal pada gelombang terhadap variasi distribusi muatan.
2. Mengetahui evaluasi kriteria cuaca *international maritime organisation* (IMO) terhadap distribusi muatan ferry ro-ro KMP Munggiyango Hulalo.

### **1.4. Batasan Masalah**

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

1. Penelitian ini hanya berlaku pada kapal *ferry ro-ro* KMP Munggiyango Hulalo
2. Gerak yang diperhitungkan dalam percobaan hanya menggunakan satu derajat kebebasan yaitu gerak *rolling* kapal
3. Kapal memiliki dua kondisi yaitu kapal Tanpa *bilge keel* dan kapal yang dipasang *bilge keel*
4. Gelombang yang dimaksud hanya gelombang reguler saja.

5. Gelombang divariasikan Berdasarkan Amplitudo dan frekuensi gelombang

### **1.5. Manfaat Penelitian**

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

1. Dijadikan sebagai media bahan ajar terkait dengan materi stabilitas gerak oleng kapal.
2. Acuan dan data base untuk desain kapal-kapal berikutnya.
3. Dijadikan referensi perencanaan kapal ferry ro-ro untuk pelayaran wilayah Indonesia
4. Sebagai Acuan terkait kemampuan kapal KMP Munggiyango Hulalo terhadap keselamatan berlayar pada kondisi cuaca buruk.

### **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 pengaruh gelombang terhadap respon gerak oleng kapal

## 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

### 21 Ferry Ro-Ro

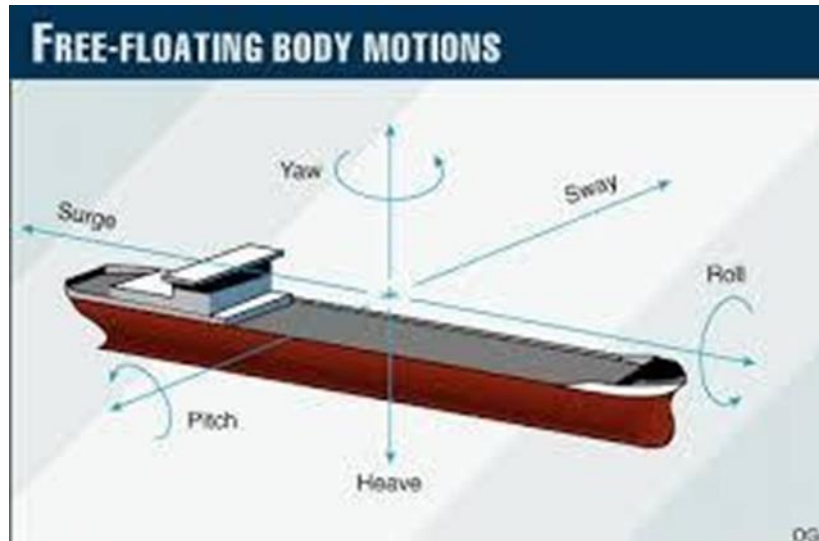
Kapal Ferry Ro-Ro adalah kapal yang dibuat untuk mengangkut muatan beroda seperti mobil, truck, dan lainnya yang masuk dan keluar kapal dengan dikendarai oleh pemilik kendaraan. Kapal ferry memiliki ramp door yang memungkinkan muatan untuk masuk dan keluar saat kapal di pelabuhan. Ramp door kapal Ferry ada yang hanya berada dibagian stern kapal seperti pada Gambar 2.1 dan ada juga yang berada di bagian bow dan stern kapal (Shama M, 2013). Ferry Ro-Ro memiliki fleksibilitas, kemampuan untuk berintegrasi dengan transportasi lain, dan kecepatan operasi sehingga membuatnya sangat populer di banyak rute pelayaran (IMO, 1997).



Gambar 2.1. Kapal ferry ro-ro

### 22 Gerak Kapal

Mujahid A. S. (2011) menuliskan sebuah kapal yang bergerak di laut bebas hampir selalu mengalami gerakan osilasi. Gerakan osilasi yang dialami kapal diperlihatkan pada Gambar 2.2 yang mana memperlihatkan 6 jenis gerakan yang mana terdiri dari 3 gerakan dilatasi dan 3 gerakan rotasi terhadap sumbu  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .



Gambar 2.2. Enam gerakan kapal di laut lepas

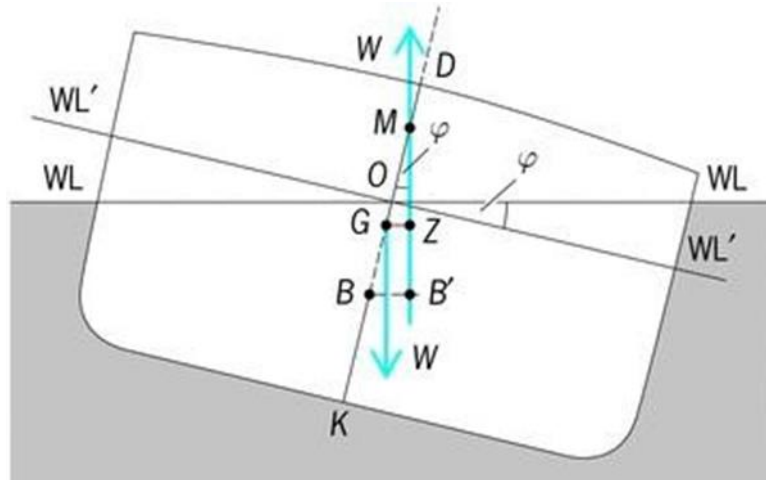
Mengacu pada gambar 2.2 terlihat; a adalah gerakan *surging* yaitu gerak osilasi maju mundurnya kapal, b adalah gerakan *swaying* yaitu gerak osilasi kesamping kiri dan kanan kapal, c adalah gerakan *heaving* yaitu gerak osilasi naik turun kapal, d adalah gerakan *rolling* yaitu gerak osilasi angular badan kapal terhadap sumbu *longitudinal* kapal dari sisi kiri ke kanan, e adalah gerakan *pitching* yaitu gerak osilasi angular pada sumbu melintang kapal ( gerak angguk), f adalah gerakan *yawing* yaitu gerak osilasi angular badan kapal terhadap sumbu tegaknya. Pada gambar 1 terlihat bahwa gerakan *rolling* merupakan gerak osilasi angular badan kapal terhadap sumbu longitudinal.

## 23 Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali pada posisi tegak atau kesetimbangan semula setelah mengalami kemiringan akibat gaya-gaya dari luar seperti ombak, angin, maupun gaya-gaya dari dalam kapal itu sendiri. Faktor utama yang memegang peranan penting pada stabilitas suatu kapal yaitu :

1. Titik G (*Gravity*) atau titik berat kapal dari berat konstruksi itu sendiri.
2. Titik B (*Bouyancy*) atau titik tekan ke atas dari volume air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang ada di dalam air.

3. Titik M (*Metacentra*) atau titik semua dari perpotongan vektor gaya tekan keatas (ketika kapal dalam keadaan tegak (sudut inklinasi dalam limit mendekati nol) dengan vektor gaya tekan keatas ketika kapal mengalami kemiringan).



Gambar 2.3 Titik G,B dan M pada saat kapal oleng

De Heree R. F. S dan Bakker A. R ( 1970 ) menuliskan bahwa pada saat kapal mengalami kemiringan dengan sudut = 0 secara teoritis atau dengan sudut yang sangat kecil secara praktis digunakan persamaan sederhana.

$$MG_{\text{stabilitas}} = MG \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots (1)$$

## 24 Pengaruh *Bilge keel*

*Bilge keel* atau biasa disebut sebagai sirip *bilge keel* dimana dipasang pada lambung kapal secara menerus dengan cara dilas secara permanen dan kedap air berdasarkan BKI (2007).

Bassler and Reed (2009) menuliskan bahwa komponen *bilge keel* adalah sebagian besar berpengaruh terhadap total redaman. Untuk itu sangat penting untuk menghitung model *bilge keel* untuk menentukan batas proporsi lambung, ukuran *bilge keel*, dan amplitudo gerak oleng. *Bilge keel* yang besar akan meningkatkan komponen gaya redaman dan mengurangi interaksi redaman pada lambung.

Menurut IMO (2008) Faktor redaman akibat *bilge keel* (K) Nilainya mengikuti sebagai berikut :



$K = 1$  jika kapal tidak memiliki *bilge keel*

$K = 0,7$  jika kapal memiliki *bilge tajam*

$K =$  nilainya mengikuti tabel 2.1 dibawah jika kapal memiliki *bilge keel*

Tabel 2.1 Penentuan nilai k

$\frac{Ak \times 100}{Lwl \times B}$	k
0	1,0
1,0	0,98
1,5	0,95
2,0	0,88
2,5	0,79
3,0	0,74
3,5	0,72
$\geq 4,0$	0,70

Sebelum menentukan nilai k untuk kapal yang memiliki *bilge*, terlebih dahulu harus di cari nilai persamaan berikut:

$$\frac{Ak \times 100}{Lwl \times B} \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

Ak = luas *Bilge keel* (m<sup>2</sup>)

Lwl = panjang garis air kapal (m)

B = Lebar kapal (m)

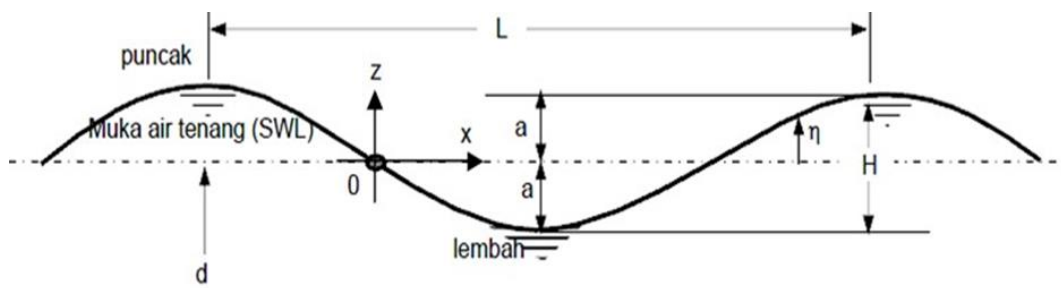
## 25 Teori Gelombang Reguler

Teori gelombang adalah pendekatan dari sebuah kenyataan dengan beberapa asumsi penyederhanaan dan idealisasi. Gelombang reguler adalah gelombang yang memiliki karakteristik periode waktu (T) yang mana tiap satu siklus gelombang memiliki bentuk yang sama. Ini dipelajari untuk membuat penyederhanan akan agar bisa lebih mudah untuk dipelajari. Asumsi

dasar dari teori gelombang tersebut adalah sebagai berikut :

1. Fluida dianggap homogen
2. Tekanan permukaan diabaikan
3. Gaya coriolis karena rotasi bumi diabaikan
4. Tekanan pada permukaan bebas dianggap konstan dan seragam
5. Fluida dianggap ideal (tidak bisa ditekan)
6. Gerakan partikel berdiri sendiri, tidak saling mengganggu dan bertubrukan selama bergerak
7. Dasar laut dianggap datar, tetapi kedap, sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol.
8. Amplitudo gelombang adalah relatif kecil dibanding panjang gelombang
9. Gelombang dianggap memanjang

Karakteristik gelombang regular yang memiliki tinggi dan periode yang relative konstan dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Karakteristik gelombang regular

Dimana :

Amplitudo gelombang (A) :  $\frac{1}{2}$  jarak tegak dari puncak ke puncak atau Lembah ke lembah (m)

Tinggi gelombang (H) : jarak tegak dari puncak ke puncak atau lembah ke lembah (m)

Panjang gelombang ( $\lambda$ ) : jarak mendatar dari puncak ke puncak atau lembah ke lembah (m)

Periode gelombang (T) : waktu yang ditempuh dari puncak ke puncak atau lembah ke lembah (s)

Dari beberapa parameter di atas kemudian bisa diturunkan lagi parameter yang lain yang biasanya dipergunakan dalam pembahasan teori gelombang.

$$k = \text{Bilangan gelombang} : k = \frac{\omega^2}{g}, k = \frac{2\pi}{\lambda} \dots\dots\dots (3)$$

$$\lambda = \text{Panjang Gelombang} : \lambda = \frac{2\pi \cdot g}{\omega^2} \dots\dots\dots (4)$$

$$\omega = \text{Frekuensi gelombang} : \omega = \frac{2\pi}{T} \dots\dots\dots (5)$$

$$T = \text{Periode Gelombang} : T = \frac{2\pi}{\omega} \dots\dots\dots (6)$$

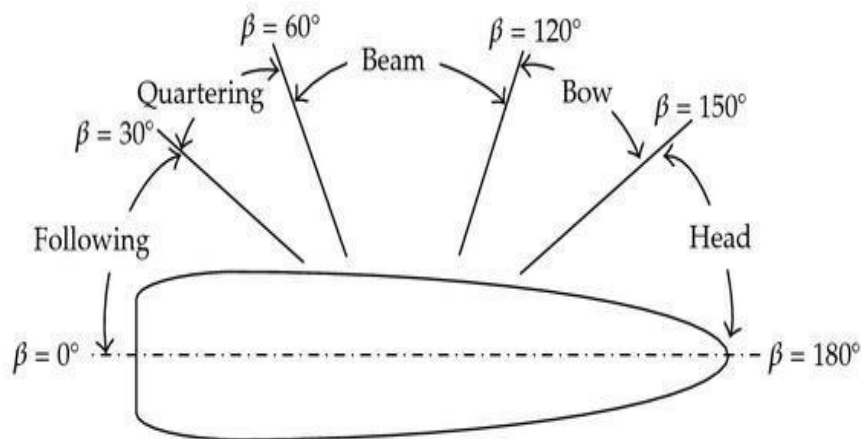
$$s = \text{Kelandaian gelombang} : s = \frac{H}{\lambda} \dots\dots\dots (7)$$

Arah rambat gelombang terhadap gerak kapal dibedakan menjadi 4 yaitu :

1. *Heading Sea*, Jika kapal mendapat gelombang dari depan. maka pada waktu mengganggu, umumnya kapal cenderung mengganggu lebih cepat dari pada periode mengoleng. Bila gelombang dari depan dan kapal mempunyai kecepatan konstan maka periode kapal lebih besar dari pada periode gelombang
2. *Following Sea*, Jika kapal mendapat gelombang dari belakang. Kapal menjadi sulit dikemudian, haluan merewang (oleng) bagi kapal yang dilengkapi kemudi otomatis, penyimpangan kemudi yang besar dapat merusak sistemnya dan kemudi rusak akibat hantaman gelombang.
3. *Quartering sea* adalah jika badan kapal mendapat gelombang sudut 45 derajat
4. *Beam Sea*, Jika kapal mendapat gelombang dari samping. Kapal akan mengoleng, pada kemiringan yang besar dapat membahayakan stabilitas kapal. Olengan ini makin membesar, jika terjadi sinkronisasi antara periode oleng kapal dengan periode oleng semu, kemungkinan kapal terbalik dan tenggelam. Periode olengan kapal adalah lamanya olengan yang dialami kapal dihitung dari posisi tegak, olengan terbesar kiri/kanan, kembali tegak, olengan terbesar disisi kanan/kiri dan kembali keposisi tegak. Periode gelombang semu adalah waktu yang diperlukan

untuk menjalani satu kali panjang gelombang dari puncak ke puncak gelombang berikut. Pada kapal berlayar dalam gelombang, sebaiknya kecepatan kapal dikurangi, haluan dibuat sedemikian rupa sehingga gelombang datang dari arah diantara haluan dan arah melintang kapal, secara khusus olah gerak kapal menghadapi cuaca buruk.

Arah rambat gelombang laut terhadap kapal dapat dilihat pada gambar 2.5 :



Gambar 2.5 arah rambat gelombang terhadap bagian kapal

## 26 *Inclining test*

Menurut BKI (2015) *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 :

- 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 dikawal tidak boleh melebihi 2% dan tidak termasuk air balas, kelebihan beban tidak melebihi 4 % dari berat kapal kosong. Untuk kapal kecil persentasi tersebut boleh lebih besar.

2. Semua benda harus diamankan pada posisinya, semua benda yang berputar atau bergeser harus diamankan dalam posisi yang diketahui. Jika lebih dari satu posisi penyimpanan, posisi penyimpanan yang digunakan selama pengujian harus dicatat.
3. Kapal harus dibersihkan dari sisa muatan, alat kerja, sampah, perancah. Melekat pada permukaan dalam dan luar, termasuk lambung dibawah permukaan air tidak diizinkan.
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:

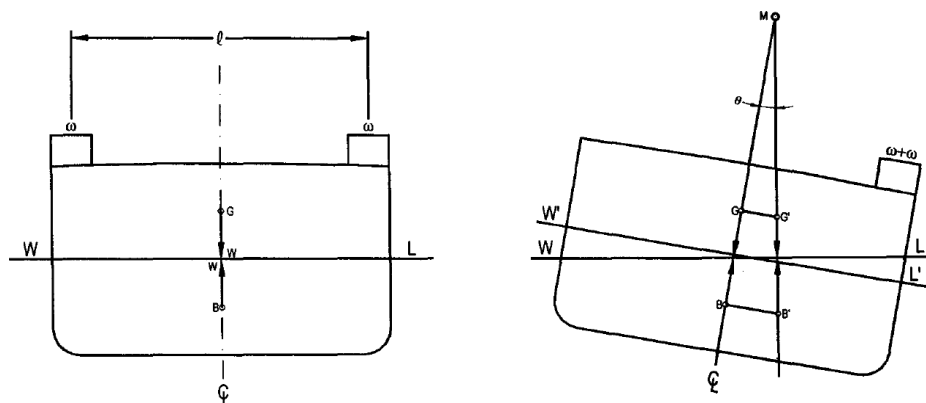
A. Pengukuran Sarat Air dan Massa Jenis Air

1. Sarat air/lambung timbul harus diukur menjelang dan setelah pengujian untuk memastikan bahwa tidak ada perubahan yang signifikan terhadap

kondisi kapal selama pengujian.

2. Sarat air/lambung timbul harus diukur pada tanda sarat haluan, buritan dan tengah kapal pada kedua sisi. Apabila lambung timbul tidak diukur dari tepi atas garis geledak pada sisi kapal dari geledak lambung timbul atau pada gading yang sama lokasinya dengan tanda sarat, maka lokasi dan data vertikalnya harus dinyatakan.
  3. Untuk mengontrol 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.
  4. Sejumlah contoh air yang cukup harus diambil pada lokasi dan kedalaman yang sesuai untuk memperoleh hasil pemeriksaan massa jenis air yang tepat..
- B. pemindahan beban pengujian
1. 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.
  2. Panjang bandul harus diukur dari titik pusat ayunan sampai dengan papan untuk pembacaan simpangan.

C. Perhitungan tinggi metasentra



Gambar 2.6 perpindahan titik pusat gravitasi GG'

Jarak perpindahan titik pusat gravitasi  $GG'$  dihasilkan akibat adanya pergeseran beban uji. akan diperoleh dengan rumus rumus berikut (1) dan selanjutnya nilai  $GMO$  dapat diperoleh melalui rumus berikutnya (2).

$$GG' = \frac{w \times l}{W} \dots\dots\dots (8)$$

$$MG = \frac{GG''}{\sin \theta} \dots\dots\dots (9)$$

$$KG = MK - MG \dots\dots\dots (10)$$

dimana:

$GG'$  = jarak perpindahan titik pusat gravitasi (m)

$GMO$  = tinggi metasentra (m)

$W$  = displasmen kapal (ton)

$I$  = jarak perpindahan beban uji (m)

$\theta$  = sudut kemiringan kapal (derajat)

$w$  = berat beban uji.(ton)

## 27 Percobaan pada Gelombang Beraturan berdasarkan IMO

Panduan ini untuk menyediakan sarana alternatif untuk penilaian kriteria cuaca dari Kode tentang Stabilitas untuk Semua Jenis Kapal yang dicakup oleh IMO Instruments (IMO MSC.1/Circ.1200.2006).

- a. Kode ini didasarkan pada data dari kapal yang memiliki:
  - a.  $B/d$  lebih kecil dari 3.5;
  - b.  $OG/d$  antara -0,3 dan 0,5;
  - c.  $T$  lebih kecil dari 20 dtk.
- b. Untuk kapal dengan parameter di luar batas di atas, sudut roll dapat ditentukan dengan percobaan model kapal, mengikuti prosedur yang dijelaskan dalam Pedoman sebagai alternatif.

### A. Prosedur Pengujian

#### 1. Prosedur pengujian langsung

- a. Pengujian dalam gelombang reguler dapat digunakan untuk secara langsung mendapatkan "sudut putar-balik gelombang reguler"  $\Phi_{ir}$ .  $\Phi_{ir}$  adalah respons roll puncak kapal dalam gelombang reguler Untuk

menentukan  $\phi_{ir}$ , amplitudo gerakan gulungan stasioner harus diukur untuk jumlah frekuensi yang cukup di sekitar frekuensi natural roll  $\omega_0 = 2\pi/T_0$ . Set minimum poin tes berikut direkomendasikan  $\omega/\omega_0 = 0,8, 0,9, 1,0, 1,1, 1,2$ , dengan  $\omega$  menjadi frekuensi gelombang reguler dalam rad / s. Pengukuran tambahan dalam kedekatan puncak respons mungkin diperlukan untuk memungkinkan penentuan  $\phi_{ir}$  yang akurat terutama dalam kasus pengaruh kuat tuas non-linearitas.

- b. Selama pengujian, model kapal harus diposisikan normal dengan arah gelombang (sudut arah  $90^\circ$ ). Sudut heading model adalah:
  - 1) diperbaiki, dengan pemandu yang terpasang pada kereta penarik menjaga gerakan putar-ayun bebas dari pengekanan. Kereta harus melacak gerakan drift model yang disebabkan oleh aksi gelombang balok. Draf, GM, dan  $T\phi$  harus disesuaikan dengan mempertimbangkan dampak panduan; atau
  - 2) dikontrol oleh tali pemandu yang dipasang pada model pada garis tengah pada batang dan buritan, secara simetris dan pada ketinggian vertikal antara garis air dan pusat gravitasi. Garis-garis ini dapat digunakan untuk memperbaiki model dalam gerakan yaw dengan memungkinkan drift dan sway, asalkan heading selama pengujian tidak menyimpang dari beam sea lebih dari  $15^\circ$ .

## 2. Prosedur Alternative

Percobaan pada gelombang beraturan adalah salah satu standar prosedur untuk menentukan sudut roll-back gelombang beraturan yang dinyatakan dalam simbol  $\phi_{1r}$ . Dalam beberapa kasus penentuan secara langsung  $\phi_{1r}$  tidak layak, seperti pada contoh, dalam kasus model yang panjang memiliki roll period yang besar  $T_\phi$ . Dalam kasus seperti itu, prosedur alternatif yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan 3 langkah prosedur yakni :



- a) Menentukan Roll Damping (Bertin's Coefficient,  $N$ ) diperoleh dari percobaan *roll decay* pada air tenang.
- b) Menentukan effective wave slope coefficient ( $r$ ) diperoleh dari percobaan *rolling* pada gelombang, dan
- c) Menentukan regular waves roll-back angle ( $\phi_{1r}$ ).

a. Tahap Pertama

Tujuan dari tahap ini adalah menentukan Kurva Bertin's Coefficient dan roll period dari fungsi roll amplitude. Pada *roll decay*  $\phi_1, \phi_2, \dots$ (sudut), rata-rata sudut *rolling*

$$\phi_{mi} = \frac{\phi_i + \phi_{i-1}}{2} \dots\dots\dots(11)$$

dan selisih

$$\delta\phi_i = \phi_i - \phi_{i-1} \dots\dots\dots (12)$$

Bertin's Coefficient,  $N$  adalah fungsi dari  $\phi_m$  di dapatkan dari

$$N_i = N(\phi_{mi}) = \frac{\delta\phi_i}{(\phi_{mi})^2} = \frac{a}{\phi_{1r}} + b \dots\dots\dots(13)$$

b. Tahap Kedua

Tujuan dari tahap ini adalah menentukan effective wave slope coefficient,  $r$ . Di bawah ini ada dua metode yang dapat digunakan :

- 1) Saat amplitudo *rolling* stabil di dapatkan, periode natural *rolling* untuk amplitudo bisa diperhitungkan dengan hasil dari percobaan *roll decay*. Jika periode tersebut secara signifikan berbeda dari periode gelombang, perhitungan sudut *rolling* dapat diulang tetapi dengan menggunakan perhitungan periode yang baru yang di input ke dalam *wave maker*. Sehingga effective wave slope coefficient,  $r$  ditentukan sebagai berikut :

$$r = \frac{g \cdot T_{wave,r}^2 \cdot \phi_r^2 \cdot N(\phi_r)}{180\pi^2 \cdot H_r} \dots\dots\dots (14)$$

Keterangan :

$T_{wave,r}^2$  dan  $H_r$  adalah periode gelombang dalam detik dan tinggi gelombang dalam meter yang masing-masing digunakan dalam percobaan, dan  $g$  percepatan gravitasi dalam  $m/s^2$ . Dari persamaan di atas, *wave steepness* diasumsikan berhubungan dengan wave height dan wave period dengan :

$$s = 2\pi \cdot H / (g \cdot T_{wave}^2) \dots\dots\dots (15)$$

2) Secara alternatif memungkinkan secara langsung menghitung roll excitation moment  $M_{exc}$  dengan menggunakan dynamometer. Model harus terhubung dengan kereta atau carriage yang bisa melakukan gerakan drift, sway, heave dan pitch tetapi untuk surge, roll dan yaw harus tetap atau fix. Dynamometer dapat menghitung momen yang terhubung dengan centre of gravity antara model dan kereta. Dynamometer harus di desain pada batas interaksi antara gaya yang terdeteksi termasuk 2% dari resultan gaya. Koefisien  $r$  kemudian ditentukan dengan rumus :

$$r = \frac{M_{exc}}{\Delta \cdot GM \cdot \pi \cdot s} \dots\dots\dots (16)$$

c. Tahap Ketiga

Pada tahap ini bertujuan untuk memprediksi puncak dari roll untuk kecuraman dapat dilihat pada tabel 2.2 :

Tabel 2.2. Tabel *Wave steepness* Factor

Ship Roll Periode (s)	<i>Wave steepness</i> = $H/\lambda$
<6	0,100
6	0,100
7	0,098
8	0,093
12	0,065
14	0,053
16	0,044
18	0,038
20	0,032
22	0,028
24	0,025
26	0,023
28	0,021
30	0,020
>30	0,020

Sumber : ( IMO, 2008)

Dengan menggunakan kurva untuk  $N(\phi)$  dan estimasi nilai untuk  $r$  dari tahap sebelumnya dan menggunakan *wave steepness*  $s$  yang didapatkan dari tabel diatas, prediksi sudut *rolling*  $\phi_{1r}$  dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\phi_{1r} = \sqrt{\frac{90 \pi r s}{N(\phi_{1r})}} \dots\dots\dots(17)$$

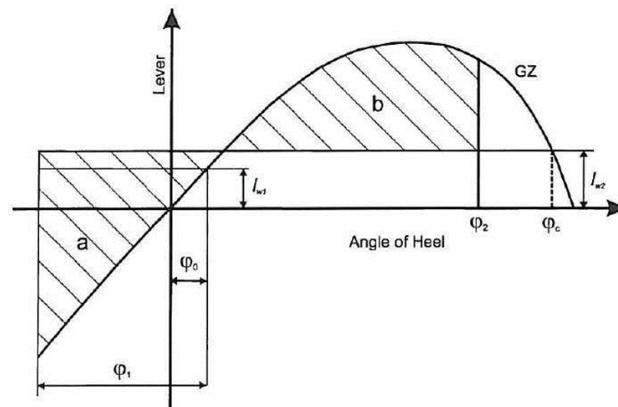
Rumus  $\phi_{1r}$  ini termasuk keduanya sisi kanan dan kiri, perhitungan itu seharusnya dilakukan dengan prosedur dibawah ini :

- 1)  $\phi_{1r}$  pada dasarnya diasumsikan  $20^\circ$
- 2) Sisi kanan rumus tersebut dihitung
- 3) Penentuan  $\phi_{1r}$  di substitusikan ke dalam sisi kanan rumus
- 4) Ketika nilai  $\phi_{1r}$  bertemu dengan nilai yang pasti, seharusnya diperlihatkan sebagai nilai akhir.

## 2.8 Evaluasi *Rolling* pada Kriteria Cuaca berdasarkan IMO 2008

1. Kemampuan kapal untuk menahan efek gabungan dari angin dan *rolling* harus diperagakan, dengan mengacu pada gambar 2.7 sebagai berikut :

1. kapal dikenai tekanan angin stabil yang bekerja tegak lurus terhadap kapal centreline yang menghasilkan *heeling lever* angin stabil ( $l_{w1}$ );
2. dari sudut resultan keseimbangan ( $\varphi_0$ ), kapal diasumsikan *roll* aksi gelombang ke sudut *roll* ( ke arah angin. Sudut *hell* sedang bekerja angin stabil ( $\varphi_0$ ) tidak boleh melebihi  $16^\circ$  atau 80% dari sudut tepi *deck* tercelup, mana yang kurang;
3. kapal kemudian mengalami tekanan angin embusan angin yang menghasilkan angin embusan angin *heeling lever* ( $l_{w2}$ ) ; dan
4. dalam kondisi ini, area b harus sama dengan atau lebih besar dari area a, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7:



Gambar 2.7 – *Savere Wind And Rolling*

di mana sudut pada gambar 2.7 didefinisikan sebagai berikut:

$\varphi_0$  = sudut *hell* di bawah angin stabil

$\varphi_1$  = sudut *roll* ke arah angin karena aksi gelombang

$\varphi_2$  = sudut down-flooding ( $\varphi_r$ ) atau  $50^\circ$  atau  $\varphi_c$ , mana yang kurang,

dimana:

$\varphi_r$  = sudut *hell* di mana bukaan di lambung, superstruktur atau

geladak yang tidak bisa ditutup kedap cuaca. Dalam menerapkan kriteria ini, bukaan kecil yang mana progresif penggenangan tidak dapat terjadi tidak perlu dianggap terbuka.

$\varphi_c$  = sudut *intercept* kedua antara angin heeling lever  $l_{w2}$  dan Kurva GZ.

2. Angin *heeling levers* dan , sebagaimana dimaksud dalam bagian A dan B adalah nilai konstan pada semua sudut kemiringan dan harus dihitung sebagai berikut:

$$l_{w1} = \frac{P * A * Z}{1000 * g * \Delta} \text{ (m)} \text{ dan} \quad (18)$$

$$l_{w2} = 1.5 * l_{w1} \text{ (m)} \quad (19)$$

Dimana :

P = tekanan angin 504 Pa. Nilai P yang digunakan untuk kapal dalam batasan layanan dapat dikurangi dengan persetujuan Administrasi

A = Wilayah lateral yang diproyeksikan dari bagian kapal dan muatan geladak di atas garis air (m<sup>2</sup>)

Z = jarak vertikal dari pusat A ke pusat bawah laut daerah lateral atau kira-kira ke titik pada setengah draf rata-rata (m)

$\Delta$  = displacement (t)

g = percepatan gravitasi 9,81 m / s<sup>2</sup>

3. Sarana alternatif untuk deternlining tuas heeling angin ( $l_{w1}$ ) dapat diterima, untuk kepuasan Administrasi, setara dengan perhitungan pada 2.8 .2. Ketika alternatif seperti itu tes dilakukan, referensi harus dibuat berdasarkan Pedoman yang dikembangkan oleh Organisasi. Kecepatan angin yang digunakan dalam pengujian harus 26 m/s dalam skala penuh dengan seragam profil kecepatan. Nilai kecepatan angin yang digunakan untuk kapal dalam layanan terbatas dapat dikurangi untuk *satisfaction* dari Administrasi.

4. Penentuan sudut Roll Amplitude to Windward megikuti persamaan sebagai berikut

$$\Phi_1 = 109 k x_1 x_2 \sqrt{rs} \dots\dots\dots(20)$$

Keterangan :

k = fungsi dari luas *bilge keel* keel megikuti tabel 2.3

Tabel 2.3 Tabel nilai k

$\frac{Ak \times 100}{Lwl \times B}$	k
0	1,0
1,0	0,98
1,5	0,95
2,0	0,88
2,5	0,79
3,0	0,74
3,5	0,72
$\geq 4,0$	0,70

Sumber : (IMO, 2008)

$x_1$  = adalah fungsi dari lebar/sarat , megikuti tabel 2.4

Tabel 2.4. Tabel nilai  $X_1$

B/d	X1
$\leq 2.4$	1
2.5	0.98
2.6	0.96
2.7	0.95
2.8	0.93
2.9	0.91
3	0.9
3.1	0.88
3.2	0.86
3.4	0.82
$\geq 3.5$	0.8

Sumber : (IMO, 2008)

$x_2$  = adalah fungsi dari koefisien blok. Mengikuti tabel 2.5

Tabel 2.5. Tabel nilai  $X_2$ 

$C_B$	$X_2$
$\leq 0,45$	0,75
0,5	0,82
0,55	0,89
0,6	0,95
0,65	0,97
$\geq 0,7$	1

Sumber : (IMO, 2008)

$C$  = nilai konstan, dengan nilai 109 di pilih untuk level keamanan yang disediakan oleh metode Japan.

$r$  = effective wave slope coefficient :

$$r = 0,73 + 0,6 OG/d \dots\dots\dots(21)$$

Keterangan :

$OG$  = tinggi titik berat kapal dari waterline

$D$  = adalah sarat kapal.

$S$  = *wave steepness* faktor mengikuti tabel 2.6

Tabel 2.6. Tabel nilai  $s$ 

$T$	$s$
$\leq 6$	0,1
7	0,098
8	0,093
12	0,065
14	0,053
16	0,044
18	0,038
$\geq 20$	0,035
0	

Sumber : (IMO, 2008)

## 2.9 Perbandingan Model

Zohuri B (2015) menuliskan bahwa dalam pembuatan model kapal harus memenuhi Hukum perbandingan 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:

$$L_{ratio} = \frac{L_{model}}{L_{ship}} \text{ atau } \frac{L_M}{L_S} = L_r \dots\dots\dots(22)$$

Dimana :

$L_r$  = skala model

$L_m$  = panjang model (m)

$L_p$  = panjang Kapal (m)

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:

$$B_m < 1/10 B \text{ tangki} \dots\dots\dots (28)$$