

**PENGARUH GELOMBANG TERHADAP STABILITAS GERAK
OLENG KAPAL FERRY RO-RO BERDASARKAN
PENGUJIAN MODEL
(Studi Kasus KMP Lakaan)**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat guna meraih gelar
Sarjana pada Fakultas Teknik Departemen Teknik Perkapalan
Universitas Hasanuddin
Makassar



MUHAMMAD ILHAM

D311 14 317

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2019





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

Kampus Teknik Unhas Gowa, Jalan Poros Malino Km.06 Gedung Perkapalan A
Telp/Fax : (0411)585637, kapal@ft.unhas.ac.id Romang Lompoa 9217

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat guna meraih gelar Sarjana Teknik pada
Fakultas Teknik, Departemen Teknik Perkapalan
Universitas Hasanuddin
Kampus Gowa

Nama : Muhammad Ilham
Stambuk : D311 14 317
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul : Pengaruh Gelombang Terhadap Stabilitas Gerak Oleng Kapal
Ferry Ro-Ro Berdasarkan Pengujian Model (Studi Kasus
KMP Lakaan)

Gowa, 30 Januari 2019

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I

Ir. Hj. Romani., MT.
Nip. 19600620 198802 2 001

Pembimbing II

Daeng Paroka, ST., MT., P.hD
Nip. 19720118 199802 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan

Dr.Eng. Suandar Baso, ST., MT.
Nip. 19730206 20001 2 00



ABSTRAK

Muhammad Ilham (D31114317), Pengaruh Gelombang Terhadap Stabilitas Gerak Oleng Kapal Ferry Roro Berdasarkan Pengujian Model (Studi Kasus KMP Lakaan) (Rosmani dan Daeng Paroka)

Kapal KMP lakaan adalah kapal laik laut yang telah memenuhi persyaratan dan aman untuk berlayar, tetapi keamanan dan keselamatan tidak hanya dinilai dari faktor internal saja namun tidak boleh mengecualikan faktor eksternal, Berdasarkan hasil investigasi KNKT, penyebab utama dari ketenggelaman angkutan penyeberangan berasal dari faktor eksternal kapal yaitu gelombang dan angin, sehingga perlu adanya evaluasi tentang kemampuan stabilitas gerak oleng kapal terhadap kriteria cuaca, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi gelombang dan variasi titik KG terhadap respon gerak oleng kapal dengan menggunakan metode percobaan model pada towing tank dengan gelombang beam sea. Dari penelitian ini diketahui bahwa pengaruh Titik KG terhadap Respon gerak oleng kapal adalah respon gerak oleng kapal semakin besar seiring dengan meningkatnya nilai KG kapal, dengan rata-rata kenaikan sudut roll maksimum kapal pada setiap wave steepness sebesar 3,5% pada kenaikan KG kapal sebesar 0,19 m, selanjutnya nilai sudut roll maksimal kapal dengan bilga keel lebih kecil dibandingkan dengan sudut roll kapal tanpa bilga keel dengan rata-rata perbedaan sudut roll maksimum pada setiap wave steepness adalah 44,5% pada kondisi KG Aktual. pada frekuensi gelombang yang sama dengan amplitudo berbeda, sudut roll yang dialami oleh kapal akan semakin besar seiring dengan bertambahnya nilai amplitudo. Sudut oleng maksimum yang dialami oleh kapal terjadi pada frekuensi gelombang sama dengan frekuensi natural kapal atau $\omega_0/\omega = 1$, kecuali pada kondisi kapal Limiting KG tanpa bilga keel belum mencapai puncak sudut roll maksimum, Dari penelitian ini juga diketahui bahwa respon gerak oleng kapal KMP lakaan telah memenuhi kriteria cuaca IMO

Kata kunci : Kriteria cuaca, Gelombang, Frekuensi, amplitudo, Respon Gerak



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, Salam dan salawat atas Baginda Rasulullah SAW beserta keluarganya yang mulia serta para sahabat dan pengikutnya yang setia.

Skripsi ini berjudul **“PENGARUH GELOMBANG TERHADAP STABILITAS GERAK OLENG KAPAL FERRY RO-RO BERDASARKAN PENGUJIAN MODEL (Sudi Kasus KMP Lakaan)”** di susun sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar sarjana pada Program Studi 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 di kemudian hari dapat di perbaiki 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. Ayahanda Drs. Umar dan Ibunda Zaenab 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 yang memberikan izin penggunaan towing tank sehingga penelitian dapat dilakukan
3. Ir. Hj. 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. Dosen-Dosen Departemen Teknik Perkapalan atas ilmu yang telah diberikan selama penulis kuliah di departemen teknik perkapalan
6. Saudaraku Ztringer Crew yang menorehkan banyak cerita susah senang dalam menjalani kehidupan kampus yang tidak akan terlupakan.
7. Sahudin saudara seperjuangan yang memberikan banyak bantuan tenaga dan pikirannya untuk membantu menyelesaikan skripsi ini
8. Kakanda senior 2012
9. Kakanda senior 2013
10. Adinda 2015, 2016
11. Seluruh mahasiswa Teknik perkapalan
12. Seluruh Pihak yang belum sempat disebutkan namanya

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

Gowa, 30 Januari 2019

Penulis

Muhammad Ilham



DAFTAR ISI

SAMPUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR NOTASI.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
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 Bilga Keel	8
2.5. Teori Gelombang Reguler	10
2.6. inclining Test	12
2.7. Percobaan pada Gelombang Beraturan Berdasarkan IMO	16
2.8. Evaluasi Presdiksi Rolling Pada Kriteria Cuaca Berdasarkan IMO 2008.....	20
2.9. Perbandingan Model	22
B II METOLOGI PENELITIAN	24
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian.	24
3.2. Jenis Data dan Teknik Pengambilan data	24



3.3. Pembuatan Model	24
3.4. Prosedur Pelaksanaan Pengujian	29
3.5. Pelaksanaan Pengujian Model	28
3.6. Metode Analisa Data	39
3.7. Kerangka Penelitian	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1. Data Kapal Kapal Ferry KMP Lakaan.....	42
4.2. Inclining Tset	43
4.3. Roll Decay Test pada Air Tenang.....	44
4.4. Pengujian pada Gelombang.	50
4.5. Penentuan Roll Amplitudo berdasarkan Kriteria Cuaca IMO ...	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1. Kesimpulan	64
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kapal <i>Ferry Ro-Ro</i> (ferry-Plus.com, 2019)	6
Gambar 2.2. Enam gerakan kapal di laut lepas	7
Gambar 2.3 Titik G,B dan M pada saat kapal oleng	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'	15
Gambar 3.1. <i>Frame</i> direkatkan pada pola waterline	27
Gambar 3.2 Pemasangan kulit.....	27
Gambar 3.3 Penimbangan dan test <i>draft</i> model.....	28
Gambar 3.4 CPU pembangkit gelombang	33
Gambar 3.5 Paddle safety unit	33
Gambar 3.6 sambungan power suply paddle safety unit.....	33
Gambar 3.7 Kabel panel wave maker	34
Gambar 3.8 Sambungan ke komputer	34
Gambar 3.9 Sambungan Ke paddle safety unit.....	35
Gambar 3.10 lampu indikator paddle safety unit	35
Gambar 3.11 Panel power wave maker	36
Gambar 3.12 Tuas MCCB Panel wave maker	36
Gambar 3.13 Tombol power panel 2.....	37
Gambar 3.14 Tombol emergency power.....	37
Gambar 4.1.Rencana Garis KMP. Lakaan	43
Gambar 4.2. Hasil roll decay test KG aktual	44
Gambar 4.3. Hasil roll decay test limiting KG	45
Gambar 4.4. Hasil roll decay test KG aktual dengan bilga keel	45
Gambar 4.5. Hasil roll decay test limiting KG dengan bilga keel	46
Gambar 4.6 Kurva perbandingan sudut oleng kapal KG aktual dan limiting KG (tampa bilga keel) pada percobaan gelombang.....	51
Gambar 4.7 Kurva perbandingan sudut oleng kapal KG aktual dan limiting KG (dengan bilga keel) pada percobaan Gelombang.....	5



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penentuan nilai k	9
Tabel 2.2. Tabel Wave Steepness Factor	19
Tabel 2.3 Tabel nilai k	20
Tabel 2.4. Tabel nilai X_1	20
Tabel 2.5. Tabel nilai X_2	21
Tabel 2.6. Tabel nilai s	21
Tabe 3.1 Ukuran Seri Model Kapal	25
Tabel 3.2 Tabel kebutuhan Bahan model.	25
Tabel 3.3 Tabel kebutuhan Peralatan model.....	26
Tabel 3.4. Matriks waktu pengujian	29
Tabel 3.5. Matriks kebutuhan pengujian	30
Tabel 3.6. Jadwal pengujian tiap model.	39
Tabel 4.1 Ukuran Utama KMP. Lakaan	42
Tabel 4.2 Data Muatan, Daya Mesin dan Kecepatan Kapal.....	42
Tabel 4.3 Hasil inclining Test.....	44
Tabel 4.3 Frekuensi Natural Kapal.....	46
Tabel 4.4 tabel hasil perhitungan frekuensi gelombang	47
Tabel 4.5 penentuan panjang gelombang	47
Tabel 4.6 penentuan nilai tinggi gelombang (H)	48
Tabel 4.7 tabel penentuan amplitudo gelombang	49
Tabel 4.8 nilai koefisien a dan b.....	50
Tabel 4.9 sudut oleng hasil percobaan gelombang KG Aktual Tanpa bilga keel (KG = 4,717)	50
Tabel 4.10 sudut oleng hasil percobaan gelombang limiting KG Tanpa bilga keel (KG = 5,107)	51
Tabel 4.11 sudut oleng hasil percobaan gelombang KG Aktual dengan bilga keel (KG = 4,717)	52
Tabel 4.12 sudut oleng hasil percobaan gelombang limiting KG dengan bilga keel (KG = 5,244)	52



Tabel 4.13 hasil perhitungan $N(\phi 1r)$	56
Tabel 4.14 hasil perhitungan nilai r	57
Tabel 4.15 Nilai r perhitungan.....	58
Tabel 4.16 Wave stepness fungsi dari periode	58
Tabel 4.17. Penentuan nilai S	59
Tabel 4.18 Penentuan nilai k	59
Tabel 4.19. Hasil nilai K.....	60
Tabel 4.20 nilai X_1 fungsi dari B/d	60
Tabel 4.21 nilai X_2 fungsi dari CB	61
Tabel 4.22. nilai roll amplitudo berdasarkan kriteria cuaca	61
Tabel 4.23 roll amplitudo dengan nilai r hasil percobaan	62
Tabel 4.24 perbandingan roll kriteria cuaca berdasarkan IMO dan roll amplitudo nilai r hasil percobaan.....	62



DAFTAR NOTASI

G	: Titik berat kapal
B	: Titik tekan apung
M	: Titik Metasentra
Δ	: Displacement Kapal
A	: Amplitudo gelombang
H	: Tinggi gelombang
λ	: Panjang gelombang
T_{wave}	: Periode gelombang
T_{ϕ}	: Periode Oleng
k	: Koefisien dari fungsi luas bilga keel
X_1	: Koefisien dari fungsi lebar/sarat
X_2	: Koefisien dari fungsi koefisien blok
ω_o	: Frekuensi natural gelombang
$\omega_1, 2, 3$: Frekuensi gelombang
s	: Wave Steepness
r	: Effective wave slope coefficient
$N\phi$: Koefisien Momen Peredam (Bertin's Coefficient)
ϕ_i	: Sudut kemiringan
$\delta\phi_i$: Selisih sudut kemiringan
ϕ_{mi}	: Rata-rata sudut kemiringan
ϕ_{1r}	: Regular waves roll-back angle
g	: Percepatan gravitasi
OG	: Tinggi G diatas waterline



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 4.1 : Inclining Test	68
Lampiran 4.3 : Perhitungan Koefisien a dan b	74
Lampiran 4.4 : Kurva hasil percobaan Gelombang	96



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Angkutan penyeberangan menurut peraturan pemerintah Republik Indonesia nomor 20 tahun 2010 tentang angkutan perairan. Bahwa angkutan penyeberangan adalah angkutan yang berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan jaringan jalan dan/atau jalan kereta api yang dipisahkan oleh perairan untuk mengangkut penumpang dan kendaraan beserta muatannya (Bab 1 Keketentuan Umum pasal (1) ayat 7)). Kapal ferry ro-ro merupakan Angkutan penyeberangan yang memiliki peran yang sangat penting untuk menunjang pembangunan suatu daerah maupun pembangunan nasional secara keseluruhan, karena moda transportasi ini memberikan dukungan kelancaran arus barang dan mobilitas orang, sehingga tercapai efisiensi dan efektifitas dalam kegiatan ekonomi dan masyarakat.

Indonesia sebagai negara kepulauan, kapal ferry ro-ro banyak digunakan sebagai media penyebrangan lintas pulau dan jumlahnya semakin bertambah seiring dengan permintaan kebutuhan masyarakat, hal ini dapat dilihat dari data direktorat jendral perhubungan darat yaitu jumlah armada kapal ferry ro-ro dari tahun 2011 sebanyak 228 unit hingga tahun 2016 meningkat sebanyak 354 unit.

Seiring dengan populernya penggunaan angkutan penyeberangan salah satu hal yang wajib di waspadai adalah kecelakaan pelayaran. Berdasarkan Investigasi kecelakaan pelayaran KNKT tahun 2010-2016 jumlah total kecelakaan kapal adalah 54, dan jenis kecelakaan diantaranya tenggelam, tubrukan, terbakar/meledak, kandas, dan lain-lain. Untuk presentase berdasarkan jenis kecelakaan; tenggelam atau terbalik 27 %, tubrukan 20 %, ledakan atau kebakaran 27 %, kandas 13 % dan lain-lain 13 %. Tentu hal tersebut menimbulkan kerugian baik korban jiwa maupun kerugian materiil, maka dari itu perlu upaya untuk

urangi angka kecelakaan pelayaran khususnya angkutan penyeberangan yang
kut tidak hanya barang tetapi juga manusia.



Dilihat dari data kecelakaan pelayaran tersebut, persentase jenis kecelakaan terbesar yaitu tenggelam atau terbalik, Untuk mengurangi angka ketenggelaman kapal-kapal penyeberangan, maka perlu diketahui faktor penyebab dari ketenggelaman kapal tersebut. Baik faktor internal maupun faktor eksternal. faktor eksternal dimana mencakup dua hal penting yaitu keadaan cuaca dan keadaan perairan. Sedangkan faktor internal (kapal) yaitu bobot kapal, dimensi kapal, lambung kapal, mesin (propeller), dan *rudder system* (sistem kemudi). Berdasarkan hasil investigasi dan penelitian ditemukan bahwa penyebab utama dari ketenggelaman berasal dari faktor eksternal yaitu akibat cuaca yang buruk (Bahreisy dan Iskandar,2005). Meskipun faktor internal kapal telah memenuhi syarat dengan pembuktian dokumen stabilitas awal perhitungan MG positif, tetapi stabilitas kapal tidak hanya dilihat dari stabilitas awalnya, melainkan harus dievaluasi stabilitas akibat cuaca dengan mempertimbangkan gaya dan momen pengganggu yang ditimbulkan oleh lingkungan seperti gelombang dan angin.

analisis respon stabilitas gerak oleng kapal akibat dari faktor-faktor ketenggelaman tersebut telah dilakukan sebelumnya. dalam penelitian pada kapal ferry ro-ro KMP Lakaan mengenai prediksi stabilitas gerak oleng kapal ferry ro-ro pada karakteristik perairan di Indonesia (Muhammad Akbar Asis, 2017). Dalam penelitian tersebut telah dilakukan metode numerik untuk mengetahui bagaimana performa kapal ferry ro-ro tersebut menghadapi gelombang di perairan indonesia pada saat operasionalnya, Kapal yang akan diteliti adalah KMP lakaan dimana kapal tersebut mempunyai *belga keel*, bilga kell memiliki efek redaman terhadap gerak oleng kapal, Melihat kondisi tersebut penulis hendak melakukan penelitian respon gerak oleng kapal pada kondisi air bergelombang. Untuk melihat performa yang sebenarnya bisa di dekati dengan metode percobaan model di *Towing Tank* sehingga penelitian ini difokuskan pada **“Pengaruh Gelombang Terhadap Stabilitas Gerak Oleng Kapal Ferry Ro-Ro Berdasarkan Pengujian Model (Studi Kasus KMP Lakaan)”**.



1.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh variasi titik berat vertikal (KG) terhadap respon gerak oleng kapal pada gelombang gelombang?
2. Bagaimana pengaruh variasi gelombang terhadap respon gerak oleng kapal?

1.3. Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui pengaruh variasi titik berat vertikal (KG) terhadap respon gerak oleng kapal pada gelombang.
2. Mengetahui pengaruh variasi gelombang terhadap respon gerak oleng kapal

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 Lakaan
2. Gerak yang diperhitungkan dalam percobaan hanya menggunakan satu derajat kebebasan yaitu gerak *rolling* kapal
3. Diasumsikan gelombang yang datang tegak lurus arah memanjang kapal (*Beam Sea*).
4. Kapal memiliki dua kondisi yaitu kapal Tanpa bilga keel dan kapal yang dipasang bilga keel
5. Gelombang yang dimaksud hanya gelombang reguler saja.
6. Gelombang diavariasikan Berdasarkan Amplitudo dan frekuensi gelombang



7. KG kapal divariasikan berdasarkan KG aktual Tanpa bilga keel (4,717 m), Limiting KG Tanpa bilga keel (5,107 m), KG aktual dengan Bilga keel (4,717 m), Limiting KG dengan bilga Keel (5,244 m)
8. Luas Bilga keel KMP Lakaan adalah $9,34 \text{ m}^2$
9. Percobaan hanya dilakukan di Towing tank, Labo hidrodinamika, Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin

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 Lakaan 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.

METODOLOGI PENELITIAN

ini berisi tentang metode yang digunakan untuk mengumpulkan data hingga 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

2.1 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 1 dan ada juga yang berada di bagian bow dan *stern* kapal seperti pada Gambar 2. (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).

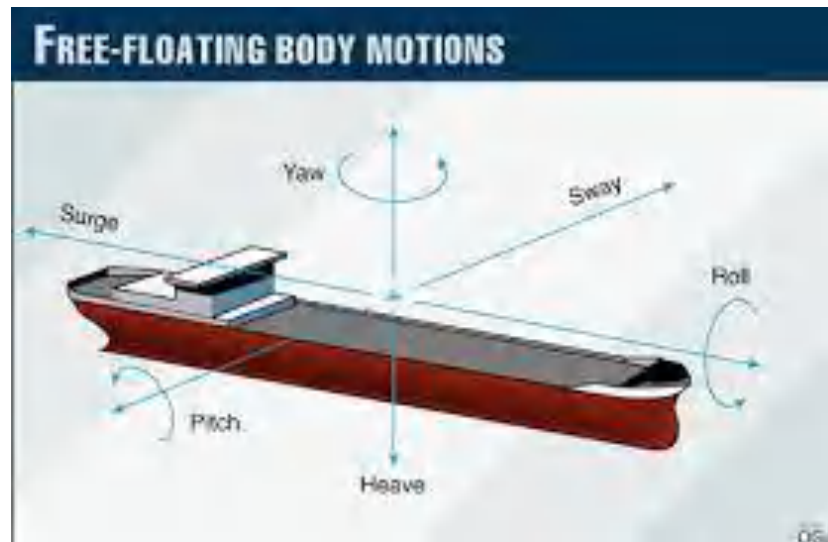


Gambar 2.1. Kapal *Ferry Ro-Ro* (ferry-Plus.com, 2019)

2.2 Gerak Kapal

Mujahid A. S. (2011) menuliskan sebuah kapal yang bergerak di laut bebas selalu mengalami gerakan osilasi. Gerakan osilasi yang dialami kapal akan diperlihatkan pada Gambar 2.2 yang mana memperlihatkan 6 jenis gerakan yang 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.

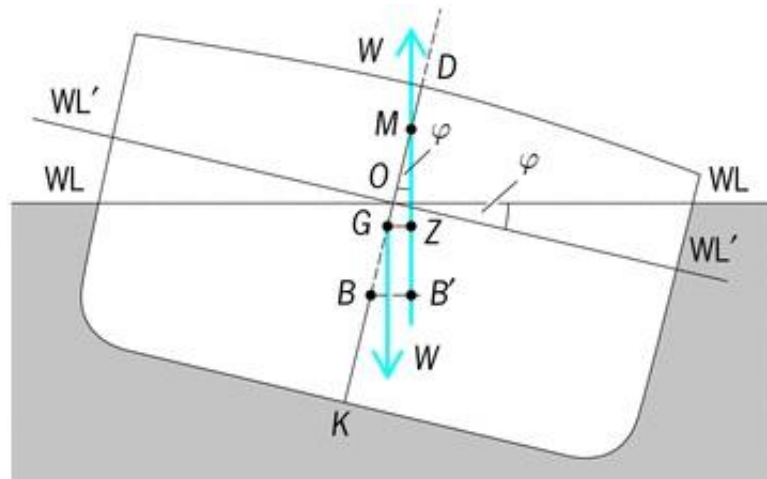
2.3 Stabilitas Kapal

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 :



Titik G (*Gravity*) atau titik berat kapal dari berat konstruksi itu sendiri.
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 ($\gamma.V$) 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 $\varphi = 0$ secara teoritis atau dengan sudut yang sangat kecil secara praktis digunakan persamaan sederhana.

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

2.4 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, *bilge keel*, dan amplitudo gerak oleng. *Bilge Keel* yang besar akan atkan komponen gaya redaman dan mengurangi interaksi redaman pada



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

K = 1 jika kapal tidak memiliki bilga keel

K = 0,7 jika kapal memiliki bilga tajam

K = nilainya mengikuti tabel 2.1 dibawah jika kapal memiliki bilga 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 bilga, terlebih dahulu harus di cari nilai persamaan berikut:

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

dimana :

Ak = luas Bilga keel (m²)

Lwl = panjang garis air kapal (m)

B = Lebar kapal (m)

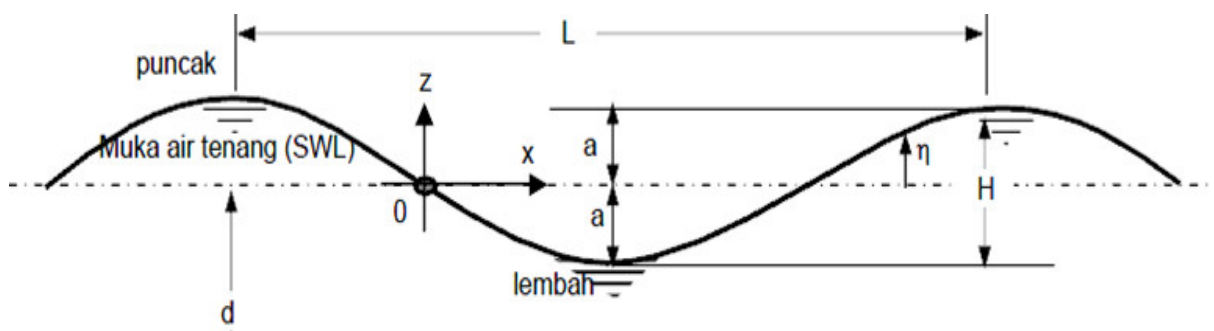
2.5 Teori Gelombang Reguler

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 gelombang memiliki bentuk yang sama. Ini dipelajari untuk membuat perhitungan 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 (λ) : 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.

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

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

$$\omega = \text{Frekuensi gelombang} : \omega = \sqrt{\frac{2\pi \cdot g}{\lambda}} \dots \dots \dots (5)$$

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

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

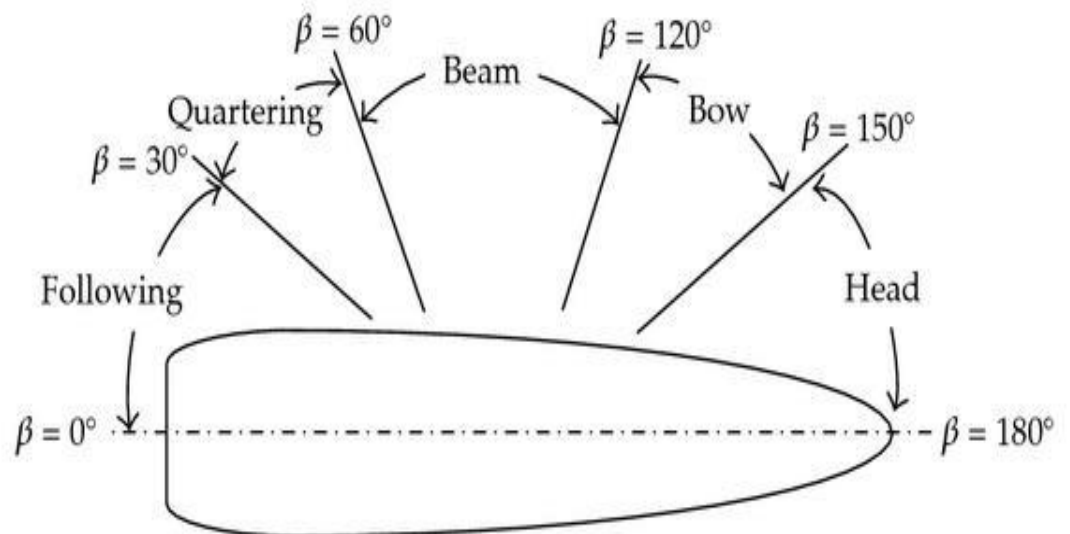
Arah rambat gelombang terhadap gerak kapal dibedakan menjadi 3 yaitu :

1. *Heading Sea*, Jika kapal mendapat gelombang dari depan. maka pada waktu mengangguk, umumnya kapal cenderung mengangguk 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. Olangan 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 dijalani 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 2.6 :



Gambar 2.5 arah rambat gelombang terhadap bagian kapal

2.6 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.

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 sama 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 sama 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.

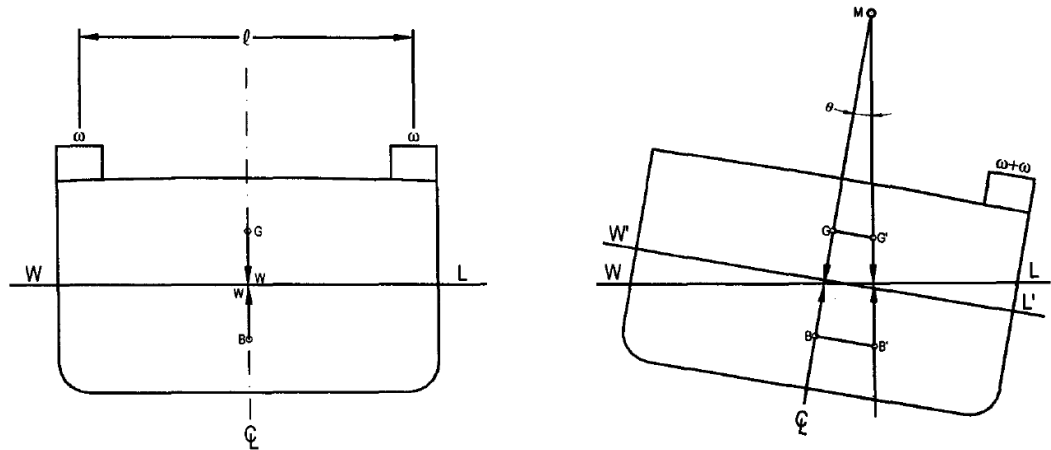
2. pemindahan beban pengujian

- 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 2.6 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 G_{M0} 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)
- G_{M0} = tinggi metasentra (m)
- W = displasmen kapal (ton)
- I = jarak perpindahan beban uji (m)
- θ = sudut kemiringan kapal (derajat)
- w = berat beban uji.(ton)



2.7 Percobaan pada Gelombang Beraturan berdasarkan IMO

2.7.1 Tujuan

Tujuan dari Panduan ini adalah untuk menyediakan sarana alternatif untuk penilaian kriteria cuaca dari Kode tentang Stabilitas untuk Semua Jenis Kapal yang dicakup oleh IMO Instruments (resolusi A.749 (18))

2.7.2 Aplikasi

- a) Kode ini didasarkan pada data dari kapal yang memiliki:
 - B/d lebih kecil dari 3.5;
 - OG/d antara -0,3 dan 0,5;
 - 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.

2.7.3 Prosedur Pengujian

- a) Prosedur pengujian langsung
 - Pengujian dalam gelombang reguler dapat digunakan untuk secara langsung mendapatkan "sudut putar-balik gelombang reguler" ϕ_{ir} . ϕ_{ir} adalah respons roll puncak kapal dalam gelombang reguler Untuk menentukan ϕ_{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 $\omega/\omega_0 = 0,8, 0,9, 0,95, 0,975, 1,0, 1,05, 1,2$, dengan ω menjadi frekuensi gelombang reguler dalam rad / s. Pengukuran tambahan dalam kedekatan puncak respons mungkin diperlukan untuk memungkinkan penentuan ϕ_{ir} yang akurat terutama dalam kasus pengaruh kuat tuas non-linearitas.

Selama pengujian, model kapal harus diposisikan normal dengan arah gelombang (sudut arah 90°). Sudut heading model adalah:

Sebaiknya, dengan pemandu yang terpasang pada kereta penarik menjaga kereta agar tetap lurus dan bebas dari putaran-ayun bebas dari pengekangan. Kereta harus melacak gerakan



drift model yang disebabkan oleh aksi gelombang balok. Draf, GM, dan $T\phi$ harus disesuaikan dengan mempertimbangkan dampak panduan; atau

- 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° .

b) Prosedur Alternative

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

1. Menentukan Roll Damping (Bertin's Coefficient, N) diperoleh dari percobaan roll decay pada air tenang.
2. Menentukan effective wave slope coefficient (r) diperoleh dari percobaan rolling pada gelombang, dan
3. Menentukan regular waves roll-back angle (ϕ_{1r}).

- Tahap Pertama

Tujuan dari tahap ini adalah menentukan Kurva Bertin's Coefficient dan roll period dari fungsi roll amplitude. Pada roll decay ϕ_1, ϕ_2, \dots (sudut), rata-rata sudut rolling

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

selisih

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



Bertin's Coefficient, N adalah fungsi dari ϕ_m di dapatkan dari

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

- 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 torsi antara gaya yang terdeteksi termasuk 2% dari resultan gaya. Coefisien r kemudian ditentukan dengan rumus :



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

- 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 Period T_ϕ (s)	Wave Steepness = H/λ
<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 ϕ_{1r} dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

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

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



ϕ_{1r} pada dasarnya diasumsikan 20°

Sisi kanan rumus tersebut dihitung

Penentuan ϕ_{1r} di substitusikan ke dalam sisi kanan rumus

4. Ketika nilai ϕ_{1r} bertemu dengan nilai yang pasti, seharusnya diperlihatkan sebagai nilai akhir.

2.8 Evaluasi Rolling pada Kriteria Cuaca berdarakan IMO 2008

Penentuan sudut Roll Amplitude to Windward megikuti persamaan sebagai berikut

$$\Phi_1 = 109 k x_1 x_2 \sqrt{rs} \dots\dots\dots(18)$$

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	X_1
2,4	1,0
2,5	0,98
2,6	0,96
2,7	0,95
2,8	0,93
2,9	0,91
3,0	0,90
3,1	0,88
3,2	0,86
3,4	0,82
$\geq 3,5$	0,80

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 :

$$r = 0,73 + 0,6 OG/d \dots\dots\dots(19)$$

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
≤ 6	0,1
7	0,098
8	0,093
12	0,065
14	0,053
16	0,044
18	0,038
≥ 20	0,035

Sumber : (IMO, 2008)



2.9 Perbandingan Model

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

a. 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:

$$L_{\text{ratio}} = \frac{L_{\text{model}}}{L_{\text{ship}}} \text{ atau } \frac{L_M}{L_S} = L_r \dots\dots\dots(20)$$

Dimana :

L_r = skala model

L_m = panjang model (m)

L_p = panjang Kapal (m)

b. 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:

$$\frac{V_M}{\sqrt{gL_M}} = \frac{V_S}{\sqrt{gL_S}} \dots\dots\dots(21)$$

Dimana :

V_M = kecepatan model (m/det)

V_S = kecepatan kapal (m/det)

c. Kesamaan Dinamis

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



$$f_i = \rho V^2 l^2 \dots\dots\dots(22)$$

dan yang bekerja pada viskositas,

$$f_v = \mu V l \dots\dots\dots(23)$$

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

$$\frac{(f_i)_{\text{model}}}{(f_i)_{\text{prototype}}} = \frac{(f_v)_{\text{model}}}{(f_v)_{\text{prototype}}} \dots\dots\dots(24)$$

Atau

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

$$(Re)_{\text{model}} = (Re)_{\text{prototype}} \dots\dots\dots(25)$$

Dimana:

Re = *Reynold number*, Vl/v

V = Kecepatan

l = Panjang

v = Viskositas kinematis (m^2/det)

ρ = Massa jenis (kg/m^3)

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:

$$B_m < 1/10 B \text{ tangki} \dots\dots\dots(26)$$

