

**PENGARUH VARIASI SUDUT *BILGE KEEL* TERHADAP STABILITAS
GERAK OLENG KAPAL IKAN BERDASARKAN PENGUJIAN MODEL
(STUDI KASUS KAPAL KAYU PINISI)**

SKRIPSI

*Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin*



Oleh:

MUHAMMAD ANJAS SYAM

D311 15 302

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2020





**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 92171

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 Anjas Syam
Stambuk : D311 15 302
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul : Pengaruh Variasi Sudut *Bilge Keel* Terhadap Stabilitas Gerak
Oleng Kapal Ikan Berdasarkan Pengujian Model (Studi Kasus
Kapal Kayu Pinisi)

Gowa, 9 November 2020

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Suandar Baso, S.T., M.T.
NIP. 19730206 200012 1 002

Daeng Paroka, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19720118 199802 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan

Dr. Eng. Suandar Baso, S.T., M.T.
NIP. 19730206 200012 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Anjas Syam

NIM : D311 15 302

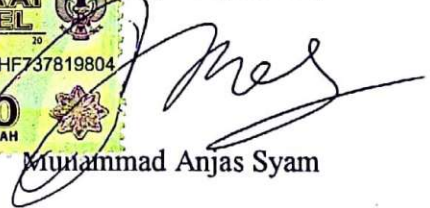
Program Studi : S1 Teknik Perkapalan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila kemudian hari terbukti atau tiak dapat dibuktikan sebagai atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 10 November 2020



yang menyatakan,


Muhammad Anjas Syam



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: **Pengaruh Variasi Sudut *Bilge Keel* Terhadap Stabilitas Gerak Oleng Kapal Ikan Berdasarkan Pengujian Model (Studi Kasus Kapal Kayu Pinisi)**. 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 dan Keluarga yang selalu memberikan dukungan moral maupun materil serta doa-doa yang dipanjatkan untuk kesuksesan penulis.
2. Dr. Eng. Suandar Baso, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan dan Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan masukan dan arahan selama penelitian.
3. Daeng Paroka, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen pembimbing II yang selalu memberikan masukan dan arahan selama penelitian dan penulisan skripsi.
4. Ir. Rosmani, M.T. dan Andi Dian Eka Anggriani, S.T., M.T. selaku Dosen penguji yang selalu memberikan masukan dan arahan selama penelitian dan

penulisan skripsi.

Dosen-Dosen Departemen Teknik Perkapalan atas ilmu yang telah diberikan selama penulis kuliah di Departemen Teknik Perkapalan.



6. Muhammad Akbar Rais kakanda senior yang memberikan banyak bantuan tenaga dan pikirannya untuk menyelesaikan skripsi ini.
7. Ardedi Yusuf sahabat seperjuangan yang saling membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Sahabat seperjuangan perkapalan 2015
9. Seluruh Mahasiswa Teknik perkapalan
10. Seluruh Pihak yang belum sempat disebutkan namanya

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

Gowa, 9 November 2020

Penulis



DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
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. Kapal Kayu Tradisional	6
2.2. Kapal Perikanan	6
2.3. Gerakan Kapal.....	7
2.4. Stabilitas Kapal	8
2.5. Pengaruh <i>Bilge Keel</i>	9
2.6. Teori Gelombang Reguler	11
2.7. Inclning Test	13
2.8. Percobaan Pada Gelombang Beraturan	16
2.9. Kriteria Cuaca berdarakan IMO	20
2.10. Perbandingan Model	24
METODOLOGI PENELITIAN	26
1. Lokasi dan Waktu Penelitian	26



3.2. Jenis Data	26
3.3. Pembuatan Model.....	26
3.4. Prosedur Pelaksanaan Pengujian	30
3.5. Pelaksanaan Pengujian Model.....	34
3.6. Metode Analisa Data	34
3.7. Kerangka Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Data Kapal.....	37
4.2. <i>Inclining Test</i>	38
4.3. <i>Roll Decay Test</i>	38
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. Perhitungan Roll Amplitudo berdasarkan Kriteria Cuaca.....	55
4.7. Kurva Kriteria Cuaca	58
4.8. Perhitungan dan Perbandingan Luasan a dan b pada Kurva Kriteria Cuaca	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1. Kesimpulan	62
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA	64



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis-Jenis Gerakan Kapal	7
Gambar 2.2 Titik G, B dan M pada saat kapal oleng	8
Gambar 2.3 Variasi pemasangan sudut kemiringan <i>Bilge Keel</i>	10
Gambar 2.4 Definisi dari gelombang regular	11
Gambar 2.5 Perpindahan Titik Pusat Gravitasi GG'	16
Gambar 2.6 <i>Savere Wind And Rolling</i>	20
Gambar 3.1 Proses Pembuatan Model	30
Gambar 3.2 Kerangka Penelitian	36
Gambar 4.1 Rencana Garis Kapal	37
Gambar 4.2 Proses <i>Inclining Test</i>	38
Gambar 4.3. Proses Percobaan <i>Roll Decay Test</i>	39
Gambar 4.4. Grafik Hasil <i>Roll Decay Test</i> Tanpa <i>Bilge Keel</i>	39
Gambar 4.5. Grafik Hasil <i>Roll Decay Test</i> Posisi <i>Bilge Keel</i> 15°	40
Gambar 4.6 Grafik Hasil <i>Roll Decay Test</i> Posisi <i>Bilge Keel</i> 30°	40
Gambar 4.7. Grafik Hasil <i>Roll Decay Test Bilge</i> Posisi <i>Keel</i> 45°	40
Gambar 4.8 Kurva polinomial orde dua φ_{mi} vs $\delta\varphi_i$ tanpa <i>bilge keel</i>	42
Gambar 4.9 Kurva polinomial orde dua φ_{mi} vs $\delta\varphi_i$ <i>bilge keel</i> 15°	42
Gambar 4.10 Kurva polinomial orde dua φ_{mi} vs $\delta\varphi_i$ <i>bilge keel</i> 30°	43
Gambar 4.11 Kurva polinomial orde dua φ_{mi} vs $\delta\varphi_i$ <i>bilge keel</i> 45°	43
Gambar 4.12 Grafik nilai φ_{1r} dan ω/ω_0 Tanpa <i>Bilge Keel</i>	50
Gambar 4.13 Grafik nilai φ_{1r} dan ω/ω_0 Posisi <i>Bilge Keel</i> 15°	50
Gambar 4.14 Grafik nilai φ_{1r} dan ω/ω_0 Posisi <i>Bilge Keel</i> 30°	50
Gambar 4.15 Grafik nilai φ_{1r} dan ω/ω_0 Posisi <i>Bilge Keel</i> 45°	51
Gambar 4.16 Grafik nilai N dan ω/ω_0 Tanpa <i>Bilge Keel</i>	51
Gambar 4.17 Grafik nilai N dan ω/ω_0 Posisi <i>Bilge Keel</i> 15°	52
Gambar 4.18 Grafik nilai N dan ω/ω_0 Posisi <i>Bilge Keel</i> 30°	52
Gambar 4.19 Grafik nilai N dan ω/ω_0 Posisi <i>Bilge Keel</i> 45°	52
Gambar 4.20 Grafik nilai r dan ω/ω_0 Tanpa <i>Bilge Keel</i>	53



Gambar 4.21 Grafik nilai r dan ω/ω_0 Posisi <i>Bilge Keel</i> 15°	53
Gambar 4.22 Grafik nilai r dan ω/ω_0 Posisi <i>Bilge Keel</i> 30°	54
Gambar 4.23 Grafik nilai r dan ω/ω_0 Posisi <i>Bilge Keel</i> 45°	54
Gambar 4.24 Kurva Kriteria Cuaca Tanpa <i>Bilge Keel</i> ($s = 0.1$)	59
Gambar 4.25 Kurva Kriteria Cuaca <i>Bilge Keel</i> 15° ($s = 0.1$)	59
Gambar 4.26 Kurva Kriteria Cuaca <i>Bilge Keel</i> 30° ($s = 0.1$).....	59
Gambar 4.27 Kurva Kriteria Cuaca <i>Bilge Keel</i> 45° ($s = 0.1$)	60
Gambar A.1 Inclinator Digital	67
Gambar A.2. Proses <i>Inclining Test</i> Model	68
Gambar G.1 <i>Savere Wind And Rolling</i>	78
Gambar H.1 Kurva Kriteria Cuaca Tanpa <i>Bilge Keel</i> ($s = 0.08$)	79
Gambar H.2 Kurva Kriteria Cuaca Tanpa <i>Bilge Keel</i> ($s = 0.1$)	79
Gambar H.3 Kurva Kriteria Cuaca <i>Bilge Keel</i> 15° ($s = 0.08$)	79
Gambar H.4 Kurva Kriteria Cuaca <i>Bilge Keel</i> 15° ($s = 0.1$)	80
Gambar H.5 Kurva Kriteria Cuaca <i>Bilge Keel</i> 30° ($s = 0.08$)	80
Gambar H.6 Kurva Kriteria Cuaca <i>Bilge Keel</i> 30° ($s = 0.1$)	80
Gambar H.7 Kurva Kriteria Cuaca <i>Bilge Keel</i> 45° ($s = 0.08$)	81
Gambar H.8 Kurva Kriteria Cuaca <i>Bilge Keel</i> 45° ($s = 0.1$)	81
Gambar I.1 Pemasangan <i>Bilge Keel</i> dengan sudut kemiringan 15°	82
Gambar I.2 Pemasangan <i>Bilge Keel</i> dengan sudut kemiringan 30°	82
Gambar I.3 Pemasangan <i>Bilge Keel</i> dengan sudut kemiringan 45°	82
Gambar I.4 Pengujian pada Gelombang	83
Gambar I.5 Pengujian pada Gelombang	83



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penentuan nilai k.....	10
Tabel 2.2 Tabel <i>Wave Steepness Factor</i>	19
Tabel 2.3 Tabel Nilai X_1	22
Tabel 2.4 Tabel Nilai X_2	22
Tabel 2.5 Tabel Nilai k	23
Tabel 2.6 Tabel Nilai s	23
Tabel 3.1 Ukuran Model Kapal.....	27
Tabel 3.2 Rincian Kebutuhan Bahan Model	28
Tabel 3.3 Rincian Kebutuhan Peralatan Model	28
Tabel 3.4 Matriks Waktu Pengujian	30
Tabel 3.5 Matriks Kebutuhan Pengujian	31
Tabel 3.6 Jadwal Pengujian	34
Tabel 4.1 Ukuran Utama Kapal	37
Tabel 4.2 Hasil <i>Inclining Test</i>	38
Tabel 4.3 Periode Oleng	41
Tabel 4.4 Frekuensi Natural Model	41
Tabel 4.5 Nilai Koefisien p dan q	44
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Frekuensi Gelombang	44
Tabel 4.7 Penentuan Panjang Gelombang	45
Tabel 4.8 Penentuan Nilai H (Tinggi Gelombang) Tanpa <i>Bilge Keel</i>	46
Tabel 4.9 Penentuan Nilai H (Tinggi Gelombang) <i>Bilge Keel</i> 15°	46
Tabel 4.10 Penentuan Nilai H (Tinggi Gelombang) <i>Bilge Keel</i> 30°	47
Tabel 4.11 Penentuan Nilai H (Tinggi Gelombang) <i>Bilge Keel</i> 45°	47
Tabel 4.12 Amplitudo Gelombang Tanpa <i>Bilge Keel</i>	48
Tabel 4.13 Amplitudo Gelombang <i>Bilge Keel</i> 15°	48
Tabel 4.14 Amplitudo Gelombang <i>Bilge Keel</i> 30°	49
Tabel 4.15 Amplitudo Gelombang <i>Bilge Keel</i> 45°	49
Tabel 4.16 Nilai X_1	55
Tabel 4.17 Nilai k.....	56
Tabel 4.18 Nilai Roll Amplitudo	57



Tabel 4.19 Nilai φ_0 , φ_1 , φ_2 , φ_r , l_{w1} dan l_{w2}	58
Tabel 4.20 Hasil Perhitungan dan Perbandingan luasan a dan b	61
Table A.1 Titik Stabilitas antara Kapal Sebenarnya dan Model	66
Table A.2 Beban Tambahan Untuk Proses <i>Inclining Test</i>	68
Tabel A.3 Hasil <i>Inclining Test</i> Model	69
Tabel A.4 KG Rata-Rata Hasil <i>Inclining Test</i>	69
Tabel B.1 Perhitungan Nilai (T) Periode Oleng	70
Tabel C.1 Sudut Oleng Hasil Percobaan Gelombang Tanpa <i>Bilga Keel</i>	71
Tabel C.2 Sudut Oleng Hasil Percobaan Gelombang <i>Bilga Keel</i> 15°	72
Tabel C.3 Sudut Oleng Hasil Percobaan Gelombang <i>Bilga Keel</i> 30°	73
Tabel C.4 Sudut Oleng Hasil Percobaan Gelombang <i>Bilga Keel</i> 45°	74
Tabel D.1 Hasil Perhitungan $N(\varphi_{1r})$ (<i>Bertin's Coefficient</i>)	75
Tabel E.1 Hasil Perhitungan Nilai r (<i>efective wave slope coefficient</i>).....	76
Tabel F.1 Hasil Perhitungan Nilai r (<i>efective wave slope coefficient</i>)	77



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
p dan q	: Koefisien dari polinomial orde 2
T_{wave}	: Periode gelombang
T_{φ}	: Periode Olang
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 model
ω	: Frekuensi gelombang
s	: <i>Wave Steepness</i>
r	: <i>Effective wave slope coefficient</i>
$N\varphi$	: Koefisien Momen Peredam (<i>Bertin's Coefficient</i>)
φ_i	: Sudut kemiringan
$\delta\varphi_i$	: Selisih sudut kemiringan
φ_{mi}	: Rata-rata sudut kemiringan
φ_{1r}	: Regular waves roll-back angle / Sudut Olang
g	: Percepatan gravitasi
OG	: Tinggi G diatas waterline
φ_0	: sudut <i>hell</i> di bawah angin stabil
	: sudut <i>roll</i> / Roll Amplitudo
	: sudut down-flooding (φ_f) atau (φ_c), mana



yang kurang,

- φ_f : 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.
- φ_c : sudut *intercept* kedua antara angin heeling lever l_{w2} dan Kurva GZ.
- a : luasan pada Kurva Kriteria Cuaca yang menggambarkan energi momen oleng akibat angin dan gelombang
- b : luasan pada Kurva Kriteria Cuaca yang menggambarkan energi momen pengembali

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A : <i>Inclining Test</i>	67
Lampiran B : Penentuan Nilai T (Periode Oleng)	70
Lampiran C : Nilai Sudut Oleng (φ_{1r})	71
Lampiran D : Nilai $N(\varphi_{1r})$ (<i>Bertin's Coefficient</i>).....	75
Lampiran E : Nilai r (<i>effective wave slope coefficient</i>)	76
Lampiran F : Nilai r (<i>effective wave slope coefficient</i>)	77
Lampiran G : Penentuan nilai φ_0 , φ_1 , φ_2 , φ_r , l_{w1} dan l_{w2}	78
Lampiran H : Kurva Kriteria Cuaca dengan Nilai s (0.06 dan 0.08)	79
Lampiran I : Gambar Pemasangan <i>Bilge Keel</i> dengan variasi sudut kemiringan yang berbeda beda	82
Lampiran J : Gambar Pengujian pada Gelombang	83



ABSTRAK

MUHAMMAD ANJAS SYAM, *Pengaruh Variasi Sudut Bilge Keel Terhadap Stabilitas Gerak Olang Kapal Ikan Berdasarkan Pengujian Model (Studi Kasus Kapal Kayu Pinisi).*

Dibimbing oleh (**Suandar Baso dan Daeng Paroka**).

Kapal kayu tradisional adalah kapal yang pada umumnya dibangun secara tradisional berdasarkan pengalaman pembuatnya tanpa dasar proses desain sebagaimana halnya kapal-kapal modern. Kapal ini biasa digunakan sebagai kapal penangkap ikan, kapal penumpang dan kapal barang khususnya di Indonesia. di bidang perikanan, peranan kapal kayu tradisional masih penting karena modal pembuatan kapal modern yang relatif mahal. Untuk menunjang hasil perikanan di laut dibutuhkan kapal yang handal dalam aspek keselamatan para nelayan di atas kapal. Salah satu parameter penting yang berhubungan dengan masalah keselamatan kapal dalam pelayaran adalah stabilitas. Salah satu upaya untuk memperbaiki stabilitas kapal adalah penambahan *bilge keel*. Pemasangan *bilge keel* umumnya dipasang pada sudut 45° , namun hal ini menjadi sebuah pertanyaan, mengapa pemasangan hanya pada sudut 45° . Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan *bilge keel* terhadap stabilitas gerak olang kapal dengan variasi sudut kemiringan yang berbeda (15° , 30° dan 45°) serta mengetahui penempatan sudut terbaik ditinjau dari segi stabilitasnya menurut standar kriteria cuaca. Penelitian ini dilakukan dengan metode pengujian model dan dianalisis menggunakan formula yang diberikan oleh *International Maritime Organization*. Adapun hasil yang diperoleh bahwa penambahan dan perubahan posisi sudut *bilge keel* memberikan stabilitas gerak olang yang berbeda-beda, posisi pemasangan sudut *bilge keel* 15° adalah posisi terbaik dalam meredam gerak olang kapal. Respon gerak olang dan sudut olang yang dihasilkan akan semakin kecil dengan adanya penambahan dan mengecilnya posisi sudut kemiringan dari *bilge keel* pada kapal. Sudut olang maksimum untuk setiap posisi sudut kemiringan *bilge keel* pada variasi gelombang terjadi pada frekuensi gelombang sama dengan frekuensi natural atau $(\omega/\omega_0) = 1$, dimana sudut olang terbesar berada pada kapal tanpa penggunaan *bilge keel*, dan sudut olang terkecil berada pada posisi sudut *bilge keel* 15° . Nilai faktor k untuk variasi sudut kemiringan *bilge keel* akan semakin besar dengan bertambah besarnya sudut dari posisi *bilge keel*. Berdasarkan perhitungan dan perbandingan luasan a dan b pada standar kriteria cuaca International Maritime Organization (IMO) dimana luasan $b/a \geq 1$ dapat dilihat bahwa kondisi *bilge keel* dengan sudut 15° merupakan penempatan sudut terbaik dan efektif dimana pada kondisi ini nilai yang dihasilkan dari perbandingan luasan b/a memiliki nilai tertinggi dari setiap kondisi yang telah memenuhi standar kriteria International Maritime Organization (IMO).



Kata Kunci : Stabilitas, Respon Gerak Olang, *Bilge Keel*, Sudut, Kriteria Cuaca

ABSTRACT

MUHAMMAD ANJAS SYAM, *Effect of Bilge Keel Angle Variation on Stability of Fishing Vessels Based on Model Testing (Case Study of Pinisi Wooden Ship).*

Supervised by (**Suandar Baso and Daeng Paroka**).

Traditional wooden ships are ships that are generally built traditionally based on the experience of the builder without the basis for the design process as is the case with modern ships. These ships are commonly used as fishing vessels, passenger ships and cargo ships, especially in Indonesia. In the fishing sector, the role of traditional wooden ships is still important because of the relatively expensive capital to build modern ships. To support fishery products at sea, a reliable ship is needed in the safety aspects of the fishermen on board. One of the important parameters related to ship safety issues during shipping is stability. One of the efforts to improve ship stability is the addition of a *bilge keel*. Installation of *bilge keel* is generally installed at an angle of 45° , but it is becoming a question, why the installation is only at an angle of 45° . Therefore, the aim of this study was to determine the effect of using a *bilge keel* on the stability of the ship's tilt motion with different tilt angle variations (15° , 30° and 45°) and to determine the best angle placement in terms of stability according to standard weather criteria. This research was conducted by using the model testing method and analyzed using the formula provided by the *International Maritime Organization*. The results found that the addition and change of angle position *bilge keel* provides stability wobbling motion of different, mounting position angle *bilge keel* of 15° is the best position in dampening the ship roll motion. The response of the shaking motion and the resulting tilt angle will be smaller with the addition and decrease of the tilt angle position of the *bilge keel* on the ship. The maximum tilt angle for each position of the tilt angle *bilge keel* in the wave variation occurs at the wave frequency equal to the natural frequency or $(\omega / \omega_0) = 1$, where the largest tilt angle is on the ship without the use of a *bilge keel*, and the smallest tilt angle is in the angular position *bilge keel* 15° . The value of the k factor for variations in the angle of the *bilge keel* will increase with the increase in the angle of the position *bilge keel*. Based on the calculations and comparisons of areas a and b on the standard weather criteria of the International Maritime Organization (IMO) where the area of $b / a \geq 1$, it can be seen that the *bilge keel* with an angle of 15° is the best and effective angle placement where in this condition the value is generated from the comparison. the area of b / a has the highest value of each condition that meets the International Maritime Organization (IMO) weather criteria.

Keywords : Stability, Motion Response, *Bilge Keel*, Angle, Weather Criteria



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal kayu tradisional adalah kapal yang pada umumnya dibangun secara tradisional berdasarkan pengalaman pembuatnya tanpa dasar proses desain sebagaimana halnya kapal-kapal modern. Kapal ini biasa digunakan sebagai kapal penangkap ikan, kapal penumpang dan kapal barang khususnya di Indonesia. Dibidang transportasi, kebanyakan kapal tradisional mengalami penurunan karena peranannya digantikan oleh kapal modern seperti kapal ferry dan super jet. Namun di bidang perikanan, peranan kapal kayu tradisional masih penting karena modal pembuatan kapal modern yang relatif mahal.

Usaha perikanan di laut menjadi tulang punggung perekonomian bagi Indonesia. Untuk menunjang hasil perikanan di laut dibutuhkan kapal yang handal dalam aspek keselamatan para nelayan di atas kapal. Berdasarkan beberapa riwayat kapal ikan sering mengalami kecelakaan saat berlayar khususnya di laut yang memiliki gelombang yang besar dan ketika menghadapi cuaca yang ekstrim. Oleh sebab itu, untuk mendukung kesuksesan operasional, kapal penangkap ikan harus memiliki kemampuan olah gerak yang baik.

Salah satu parameter penting yang berhubungan dengan masalah keselamatan kapal dalam pelayaran adalah stabilitas. Ada beberapa gerakan yang terjadi di kapal (ship motion) yang diakibatkan adanya gaya dari luar maupun dari dalam kapal itu sendiri. Gerakan itu antara lain, surging, swaying, heaving rolling, pitching dan yawing. Gerakan yang difokuskan pada penelitian ini adalah gerak oleng atau rolling motion, sering juga disebut

bagai stabilitas melintang dari kapal. Gerakan ini sangat beresiko terhadap keselamatan kapal. Jika sebuah kapal tidak memiliki stabilitas yang baik, dapat membuat kapal terbalik atau tenggelam.



Kualitas stabilitas sebuah kapal dapat dilihat dari besarnya rolling duration yang terjadi pada saat kapal melakukan gerakan rolling, rolling duration semakin besar maka stabilitas kapal semakin rendah. Salah satu upaya untuk memperbaiki stabilitas kapal adalah penambahan *bilge keel*. *Bilge keel* adalah sistem stabilitas kapal secara pasif paling sederhana yang dipasang pada bilga kapal disepanjang lambung untuk mengurangi kecenderungan terhadap rolling. Untuk kapal baja, penggunaan *bilge keel* telah banyak diterapkan, namun untuk Kapal Kayu Tradisional, masih relatif kurang.

Pemasangan *bilge keel* umumnya dipasang pada sudut 45° , namun hal ini menjadi sebuah pertanyaan, mengapa pemasangan hanya pada sudut 45° . Oleh karena itu, dilakukan penelitian dengan mengkaji variasi sudut *bilge keel* yang berbeda dan bagaimana pengaruhnya terhadap stabilitas gerak oleng kapal. Penambahan dan pemasangan *bilge keel* dengan sudut yang bervariasi akan menjadi kajian utama dalam penelitian ini. Oleh karena permasalahan yang ada, sehingga penelitian ini difokuskan pada “**Pengaruh Variasi Sudut Bilge Keel Terhadap Stabilitas Gerak Oleng Kapal Ikan Berdasarkan Pengujian Model**”

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *bilge keel* terhadap stabilitas gerak oleng kapal dengan variasi sudut kemiringan yang berbeda ?
2. Bagaimana penempatan sudut terbaik ditinjau dari segi stabilitasnya menurut standar kriteria cuaca *International Maritime Organization* (IMO) ?



1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui pengaruh penggunaan *bilge keel* terhadap stabilitas gerak oleng kapal dengan variasi sudut kemiringan yang berbeda.
2. Mengetahui penempatan sudut terbaik ditinjau dari segi stabilitasnya menurut standar kriteria cuaca *International Maritime Organization* (IMO).

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. Stabilitas gerak *rolling* hanya dihitung pada kondisi muatan penuh.
2. Gerak yang diperhitungkan dalam percobaan hanya menggunakan satu derajat kebebasan yaitu gerak *rolling* kapal.
3. Kapal memiliki 4 kondisi yaitu kapal tanpa *bilga keel*, kapal dengan *bilge keel* sudut 15°, 30° dan 45°.
4. *Bilge Keel* yang digunakan dalam percobaan hanya menggunakan satu jenis ukuran yaitu panjang 19 cm dan lebar 1.25 cm yang merupakan hasil dari skala ukuran asli *bilge keel* yang terdapat pada kapal.
5. Percobaan hanya dilakukan pada kondisi air tenang dan gelombang beraturan.
6. Percobaan dilakukan di Towing Tank, Labo Hidrodinamika, Departemen Teknik Perkapalan dan Wave Basin Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.



1.5 Manfaat Penelitian

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

1. Pengkayaan IPTEKS di bidang dinamika kapal;
2. Dijadikan sebagai media bahan ajar terkait dengan materi stabilitas gerak oleng kapal.
3. Sebagai informasi bagi pihak terkait yang akan menggunakan *bilge keel* pada kapal; dan
4. Sebagai dasar bagi penelitian lanjutan di bidang terkait.

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 penggunaan *bilge keel* terhadap stabilitas gerak oleng kapal dengan variasi sudut kemiringan yang berbeda serta mengetahui empatan sudut terbaik ditinjau dari segi stabilitasnya menurut standar eria cuaca *International Maritime Organization* (IMO)



BAB V PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

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

LAMPIRAN



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Kayu Tradisional

Kapal kayu adalah kapal yang keseluruhannya terbuat dari kayu dan dilengkapi dengan alat penggerak (motor) dan alat penggerak layar. Kapal kayu secara khusus mempunyai tiga fungsi utama yaitu sebagai kapal barang, sebagai kapal ikan, dan sebagai kapal pesiar (beranggotakan 8 orang). Kapal kayu merupakan salah satu jenis kapal yang kebanyakan dibuat secara tradisional dengan rata-rata koefisien blok (C_b) ≤ 0.50

Tipe Kapal Kayu :

- Kapal Phinisi merupakan kapal layar tradisional yang berasal dari Suku Bugis di Sulawesi Selatan. Kapal pinisi dalam proses pembuatannya masih menggunakan cara yang tradisional.
- Lambo atau Lamba merupakan Phinisi dengan modern yang sudah dilengkapi dengan motor diesel (mesin)
- Palari yang merupakan bentuk awal Phinisi dengan ukuran lebih kecil dari Lambo
- Dan lain sebagainya

2.2 Kapal Perikanan

Kapal perikanan adalah kapal, perahu atau alat apung lain yang digunakan untuk melakukan penangkapan ikan, mendukung operasi penangkapan ikan, pembudidayaan ikan, pengangkutan ikan, pengolahan ikan, pelatihan perikanan dan penelitian/eksplorasi perikanan (Pamungkas, 2013)

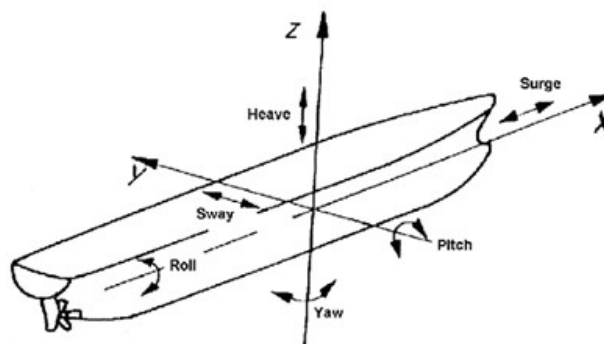
Definisi kapal perikanan tersebut mengandung pengertian bahwa kapal perikanan Indonesia dapat dibedakan menjadi 7 berdasarkan kategori, yaitu :



- Kapal penangkap ikan, adalah kapal yang secara khusus dipergunakan untuk menangkap ikan termasuk menampung, menyimpan, mendinginkan, atau mengawetkan.
- Kapal pengangkut ikan, adalah kapal yang secara khusus dipergunakan untuk mengangkut ikan termasuk memuat, menampung, menyimpan, mendinginkan atau mengawetkan.
- Kapal pengolah ikan, adalah kapal yang secara khusus dipergunakan untuk mengangkut ikan termasuk memuat, menampung, menyimpan, mendinginkan atau mengawetkan ikan hasil olahan.
- Kapal latih perikanan, adalah kapal yang secara khusus dipergunakan untuk praktek kelautan, yang meliputi navigasi, penangkapan ikan, penanganan hasil ikan tangkapan, dan lain-lain.
- Kapal penelitian/eksplorasi perikanan, adalah kapal yang secara khusus dipergunakan untuk kegiatan penelitian, termasuk pendugaan sediaan sumberdaya ikan, oseanografi, dan lain sebagainya.
- Kapal pendukung operasi penangkapan ikan dan/atau pembudidayaan ikan.

2.3 Gerakan Kapal

Sebuah kapal yang bergerak di laut bebas hampir selalu mengalami gerakan osilasi. Gerakan osilasi yang dialami kapal diperlihatkan pada Gambar 2.1 yang mana memperlihatkan 6 jenis gerakan yang mana terdiri dari 3 gerakan dilatasi dan 3 gerakan rotasi terhadap sumbu x, y, z.



Gambar 2.1 Jenis-Jenis Gerakan Kapal

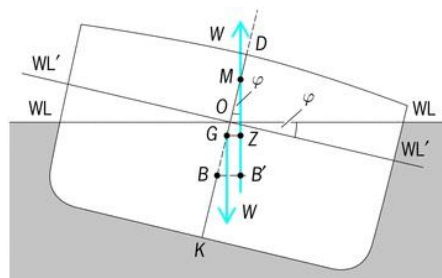
Mengacu pada Gambar 2.1 terdapat gerakan *surging* yaitu gerak osilasi maju mundurnya kapal, gerakan *swaying* yaitu gerak osilasi kesamping kiri dan kanan kapal, gerakan *heaving* yaitu gerak osilasi naik turun kapal, gerakan *rolling* yaitu gerak osilasi angular badan kapal terhadap sumbu *longitudinal* kapal dari sisi kiri ke kanan, gerakan *pitching* yaitu gerak osilasi angular pada sumbu melintang kapal (gerak angguk), gerakan *yawing* yaitu gerak osilasi angular badan kapal terhadap sumbu tegaknya. Pada Gambar 2.1 terlihat bahwa gerakan *rolling* merupakan gerak osilasi angular badan kapal terhadap sumbu longitudinal.

2.4 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 ($\gamma \cdot V$) ketika kapal dalam keadaan tegak (sudut inklinasi dalam limit mendekati nol) dengan vektor gaya tekan keatas ketika kapal mengalami kemiringan).



Gambar 2.2 Titik G, B dan M pada saat kapal oleng

Stabilitas kapal dikategorikan menjadi stabilitas statis dan stabilitas dinamis. Stabilitas statis adalah kondisi kestabilan kapal yang dihitung pada kondisi air tenang dan tidak ada gangguan terhadap kapal. Parameter dari stabilitas statis adalah lengan stabilitas yang menjadi parameter evaluasi stabilitas kapal berdasarkan kriteria stabilitas. Stabilitas dinamis adalah kondisi kestabilan kapal dengan mempertimbangkan gaya dan momen pengganggu yang ditimbulkan oleh lingkungan seperti gelombang dan angin. Oleh karena itu stabilitas dinamis lebih menitikberatkan perhatian pada stabilitas gerak kapal akibat gaya dan momen pengganggu. Akan tetapi pada penelitian ini akan diprediksi stabilitas dinamis kapal akibat gelombang dan bervariasi tinggi dan frekuensi gelombang.

2.5 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 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 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:

$$\frac{Ak \times 100}{Lwl \times B} \dots\dots\dots (1)$$

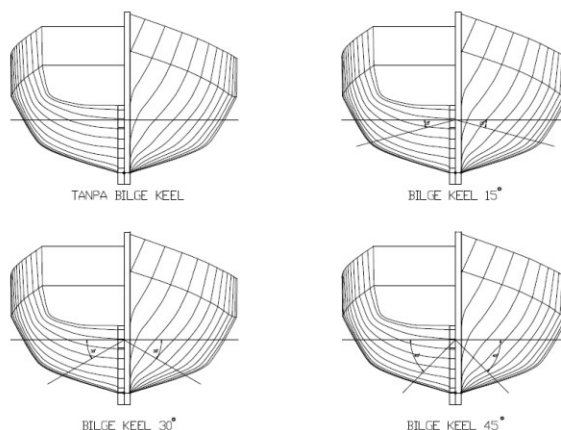
Dimana :

Ak = luas *Bilga keel* (m²)

Lwl = panjang garis air kapal (m)

B = Lebar kapal (m)

Variasi pemasangan *bilge keel* dengan sudut kemiringan yang berbeda-beda, Kapal memiliki 4 kondisi yaitu kapal tanpa *bilge keel*, kapal dengan *bilge keel* sudut 15°, 30° dan 45°. Sudut pemasangan *bilge keel* diukur dari perpotongan *Centre Line* Kapal dan *Water Line* Kapal.



Gambar 2.3 Variasi pemasangan sudut kemiringan *bilge keel*

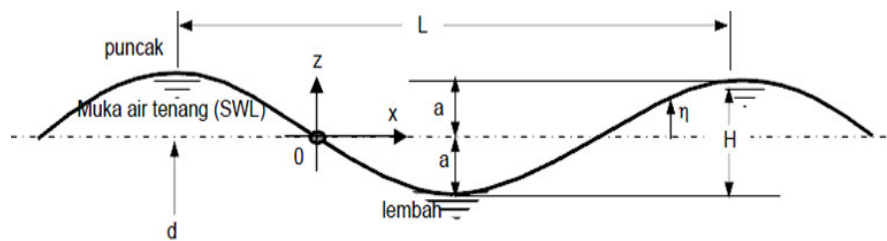
2.6 Teori Gelombang Reguler

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 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 reguler yang memiliki tinggi dan periode yang relative konstan dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Definisi dari gelombang reguler

Dimana :

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

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

Panjang gelombang (λ) : jarak mendatar dari puncak ke puncak atau lembah ke lembah

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

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

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

$$\lambda = \text{Panjang Gelombang} : \lambda = \frac{2\pi \cdot g}{\omega^2} \dots\dots\dots(3)$$

$$\omega = \text{Frekuensi gelombang} : \omega = \frac{2\pi}{T} \dots\dots\dots(4)$$

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

$$s = \text{Kelandaian gelombang} : s = \frac{H}{\lambda} \dots\dots\dots(6)$$

$$A = \text{Amplitudo gelombang} : A = \frac{H}{2} \dots\dots\dots(7)$$

Arah rambat gelombang terhadap gerak kapal dibedakan menjadi 3 yaitu sebagai berikut :

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

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. *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 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.

2.7 *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 (GM_0) paling sedikit adalah 0,20 m.



Pelaksanaan pengujian sebagai berikut

1. Pengukuran Sarat Air dan Massa Jenis Air

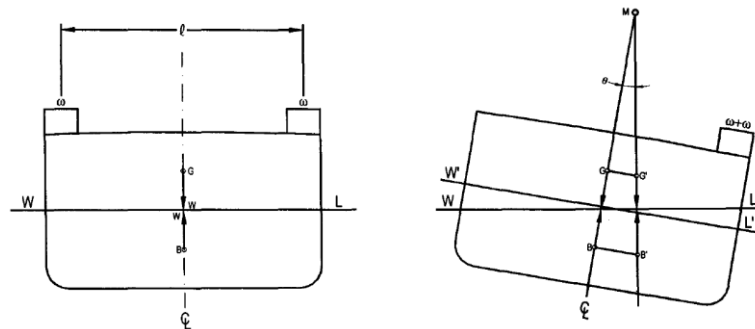
- Sarat air/lambung timbul harus diukur di haluan, buritan dan tengah kapal dari tanda sarat (draft mark) pada kedua sisi. Apabila lambung timbul tidak diukur dari tepat atas garis geladak pada sisi kapal dari geladak lam bung timbul atau pada gading yang sarna lokasinya dengan tanda sarat, maka lokasi 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 lam bung 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 pemeriksaa 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 2.5 Perpindahan Titik Pusat Gravitasi GG'

Jarak perpindahan titik pusat gravitasi GG' dihasilkan akibat adanya pergeseran beban uji. akan diperoleh dengan rumus rumus berikut (8) dan selanjutnya nilai GMo dapat diperoleh melalui rumus berikutnya (9).

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

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

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

Dimana:

GG' = jarak perpindahan titik pusat gravitasi (m)

GMo = tinggi metasentra (m)

W = displasmen kapal (ton)

l = jarak perpindahan beban uji (m)

θ = sudut kemiringan kapal (derajat)

w = berat beban uji.(ton)

2.8 Percobaan Pada Gelombang Beraturan

Percobaan pada gelombang beraturan adalah salah satu standar prosedur untuk menentukan sudut roll-back gelombang beraturan yang dinyatakan dengan 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}).

2.8.1 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 ϕ_m di dapatkan dari

$$N_i = N(\phi_{mi}) = \frac{\delta\phi_i}{(\phi_{mi})^2} \dots\dots\dots(13)$$

Namun sebelumnya menentukan Bertin's Coefficient, terlebih dahulu mencari nilai koefisien a dan b pada kurva polinomial orde 2, hasil dari persamaan 10 dan 11 dibuat kurva ϕ_{mi} terhadap $\delta\phi_i$ dan dikeluarkan nilai tredline polinomial orde 2, dari tredline tersebut di dapatkan nilai koefisien a sama dengan nilai koefisien x dan koefisien b sama dengan nilai koefisien x^2

Diketahui bahwa persamaan polinomial orde dua sebagai berikut :

$$\delta\phi = b\phi_m^2 + a\phi_m \dots\dots\dots(14)$$

$$N_i = N(\phi_{mi}) = \frac{\delta\phi_i}{(\phi_{mi})^2} = \frac{a}{\phi_m} + b \dots\dots\dots(15)$$

2 Tahap Kedua

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



2.8.2.1 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 :

$$r = \frac{g \cdot T_{wave,r}^2 \cdot \phi_r^2 \cdot N(\phi_r)}{180\pi^2 \cdot H_r} \dots\dots\dots(16)$$

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 :

$$s = \frac{2\pi \cdot H}{(g \cdot T_{wave}^2)} \dots\dots\dots(17)$$

2.8.2.2 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. Dinamometer dapat menghitung momen yang terhubung dengan centre of gravity antara model dan kereta. Dinamometer harus di desain pada batas interaksi antara gaya yang terdeteksi termasuk 2% dari resultan gaya. Koefisien r kemudian ditentukan dengan rumus :

$$r = \frac{M_{exc}}{\Delta \cdot GM \cdot \pi \cdot s} \dots\dots\dots(18)$$

2.8.3 Tahap Ketiga

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



Tabel 2.2 Tabel *Wave Steepness Factor*

Ship Roll Period $T_{\phi}(s)$	Wave Steepness $s = H/\lambda$
<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

Dengan menggunakan kurva untuk $N(\varphi)$ 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 :

$$\varphi_{1r} = \sqrt{\frac{90 \pi r s}{N(\varphi_{1r})}} \text{ (derajat)} \dots \dots \dots (19)$$

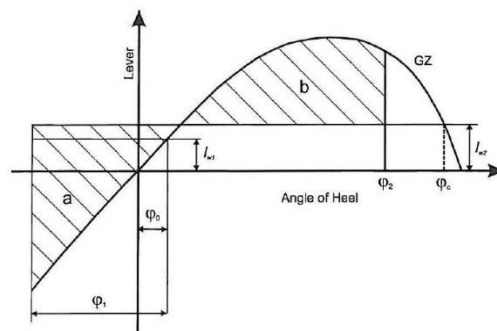
Rumus φ_{1r} ini termasuk keduanya sisi kanan dan kiri, perhitungan itu seharusnya dilakukan dengan prosedur dibawah ini :

1. φ_{1r} pada dasarnya diasumsikan 20°
2. Sisi kanan rumus tersebut dihitung
3. Penentuan φ_{1r} disubtitusikan ke dalam sisi kanan rumus
4. Ketika nilai φ_{1r} bertemu dengan nilai yang pasti, seharusnya diperlihatkan sebagai nilai akhir.



2.9 Kriteria Cuaca berdarakan IMO

2.9.1 Severe wind and rolling criterion (weather criterion) adalah kemampuan kapal menahan hembusan angin dan gelombang dari samping dan energi momen pengembali secara bersamaan dengan parameter perbandingan antara energi momen pengembali dengan energi momen oleng. Energi momen pengembali dapat diestimasi dari luasan yang dibatasi oleh kurva lengan stabilitas sampai dengan sudut kemiringan dimana lengan stabilitas telah mencapai angle vanishing stability atau sudut dimana bukaan yang ada di geladak utama sudah menyentuh permukaan air (downflooding angle) atau sudut 50 derajat, diambil nilai terkecil. Energi momen oleng akibat angin dan gelombang adalah luasan yang dibatasi oleh kurva lengan stabilitas sampai pada sudut kemiringan dalam arah berlawanan yang disebabkan oleh angin dan gelombang bekerja secara bersamaan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.6. Luasan “b” pada Gambar 2.6 adalah energi momen pengembali sedangkan luasan “a” adalah energi momen oleng akibat angin dan gelombang. Dengan demikian maka kriteria cuaca dapat akan terpenuhi jika b/a lebih besar atau sama dengan satu.



Gambar 2.6 Severe Wind And Rolling

Dimana sudut pada gambar 2.6 didefinisikan sebagai berikut:

φ_0 = sudut kemiringan akibat momen angin stabil

φ_1 = sudut roll angin dan gelombang bekerja bersamaan.

φ_2 = sudut down-flooding (φ_r) atau 50° atau φ_c , mana yang kurang,

Dimana:

φ_r = sudut kemiringan dimana bukaan di geladak sudah menyentuh permukaan air, superstruktur atau geladak yang tidak kedap cuaca. Dalam menerapkan kriteria ini, bukaan kecil yang mana progresif penggenangan tidak dapat terjadi tidak perlu dianggap terbuka.

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

2.9.2 Angin *heeling levers* l_{w1} dan l_{w2} , sebagaimana dimaksud dalam gambar 2.6 adalah nilai konstan pada semua sudut kemiringan dan harus dihitung sebagai berikut:

$$l_{w1} = \frac{P \times A \times Z}{1000 \times g \times \Delta} \text{ (m) dan } \dots\dots\dots (20)$$

$$l_{w2} = 1.5 \times l_{w1} \text{ (m) } \dots\dots\dots (21)$$

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 (m²)

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

Δ = displacement (t)

g = percepatan gravitasi 9,81 m/s²

2.9.3 Sarana alternatif untuk deternlining tuas heeling angin (l_{w1}) dapat diterima, untuk kepuasan Administrasi, setara dengan perhitungan. 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.

- 2.9.4 Untuk menghitung nilai "angle of roll to windward due to wave action" dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\varphi_1 = C k x_1 x_2 \sqrt{rs} \dots \dots \dots (22)$$

Keterangan :

k adalah fungsi dari luas bilga keel, x_1 adalah fungsi dari lebar/sarat, dan x_2 adalah fungsi dari koefisien blok. C adalah nilai konstan, dengan nilai 109 di pilih untuk level keamanan yang disediakan oleh metode Japan.

Tabel 2.3 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)

Tabel 2.4 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)



Tabel 2.5 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)

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)

Nilai “*angle of roll to windward due to wave action*” φ_1 didefinisikan menurut kriteria cuaca sebagai berikut

$$\varphi_1 = 0.7 \times \varphi_{1r} \dots\dots\dots(23)$$

Dimana φ_{1r} adalah “*regular waves roll-back angle*” bahwa resonansi *Roll Amplitude* di gelombang beraturan (heading 90°) memiliki kelandaian yang didefinisikan dalam bagian berikut. Faktor reduksi 0,7 memperhitungkan sifat laut yang sebenarnya tidak teratur.



2.10 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:

$$L_{\text{ratio}} = \frac{L_{\text{model}}}{L_{\text{ship}}} \text{ atau } \frac{L_M}{L_S} = L_r \dots\dots\dots (24)$$

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:

$$\frac{V_M}{\sqrt{gL_M}} = \frac{V_S}{\sqrt{gL_S}} \dots\dots\dots (25)$$

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 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,

$$f_i = \rho V^2 l^2 \dots\dots\dots(26)$$

dan yang bekerja pada viskositas,

$$f_v = \mu V l \dots\dots\dots(27)$$

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

$$\frac{(f_i)_{\text{model}}}{(f_i)_{\text{prototype}}} = \frac{(f_v)_{\text{model}}}{(f_v)_{\text{prototype}}} \dots\dots\dots(28)$$

Atau

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

$$(Re)_{\text{model}} = (Re)_{\text{prototype}} \dots\dots\dots(29)$$

Dimana:

Re = *Reynold number*, Vl/ν

V = Kecepatan

l = Panjang

ν = 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 Froude, penentuan lebar model (B_m) adalah sebagai berikut:

$$B_m < 1/10 B \text{ tangki} \dots\dots\dots(30)$$

