

**PREDIKSI PENGARUH *ROLL DECAY* AKIBAT
PERUBAHAN SARAT PADA KAPAL *FERRY RO-RO* 500 GT
SELAYAR MELALUI PENGUJIAN MODEL**

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



CHANDRA BASONGAN

D311 16 014

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

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

Judul Skripsi :

“ PREDIKSI PENGARUH ROLL DECAY AKIBAT PERUBAHAN SARAT PADA KAPAL FERRY RO-RO 500 GT SELAYAR MELALUI PENGUJIAN MODEL ”

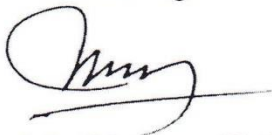
Disusun Oleh :

**CHANDRA BASONGAN
D311 16 014**

Gowa, Juni 2021

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I



Prof. Ir. Mansyur Hasbullah, M.Eng
Nip. 19490814 197903 1 002

Pembimbing II




Ir. Lukman Bochary, MT.
Nip. 19581127 198803 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin




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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Chandra Basongan

NIM : D311 16 014

Program Studi : Teknik Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Prediksi Pengaruh *Roll Decay* Akibat Perubahan Sarat Pada Kapal *Ferry Ro-Ro* 500
GT Selayar Melalui Pengujian Model

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

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

Gowa, 11 Juni 2021

Yang menyatakan



Chandra Basongan

ABSTRAK

Chandra Basongan, Prediksi Pengaruh *Roll Decay* Akibat Perubahan Sarat Pada Kapal *Ferry Ro-Ro* 500 GT Selayar Melalui Pengujian Model. Dibimbing oleh (**Mansyur Hasbullah dan Lukman Bochary**).

Kapal *ferry ro-ro* salasatu kapal yang digunakan di indonesia sebagai jalur transportasi untuk memperlancar perekonomian antar pulau, oleh karena itu untuk menjamin keamanan dan keselamatan kapal *ferry ro-ro* saat beroperasi maka pada penelitian ini di fokuskan untuk mengetahui berapa besaran waktu dan momen pengembali maksimum yang dibutuhkan pada setiap kemiringan dan perubahan sarat model kapal melalui pengujian model di *towing tank* pada kondisi air tenang. Adapun hasil yang diperoleh setiap perubahan sarat model yaitu pada sarat model 7,130 cm dengan sudut kemiringan awal 4 derajat , 7 derajat, 11 derajat dan 15 derajat dihasilkan besar waktu tiap kemiringan yaitu 8,3 detik, 10,9 detik, 11,2 detik dan 11,9 detik, dan dari tiap kemiringan dihasilkan momen pengembali maksimum yaitu 11,374 kg. cm, 20,631 kg. cm, 26, 280 kg. cm, dan 34,087 kg. cm. Pada sarat model 7,653 cm dengan sudut kemiringan awal 3 derajat , 7 derajat, 10 derajat dan 13 derajat dihasilkan besar waktu tiap kemiringan yaitu 8,8 detik, 11,6 detik, 12 detik dan 13,1 detik, dan dari tiap kemiringan dihasilkan momen pengembali maksimum yaitu 9,716 kg. cm, 17,508 kg. cm, 20,972 kg. cm, dan 24,034 kg. cm. Pada sarat model 8,673 cm dengan sudut kemiringan awal 3 derajat , 5 derajat, 8 derajat dan 10 derajat dihasilkan besar waktu tiap kemiringan yaitu 13,2 detik, 16,7 detik, 18 detik dan 18,6 detik, dan dari tiap kemiringan dihasilkan momen pengembali maksimum yaitu 8,803 kg. cm, 15,742 kg. cm, 17, 250 kg. cm, dan 20,624 kg. cm. Dan pada sarat model 10,503 cm dengan sudut kemiringan awal 1 derajat , 3 derajat, 4 derajat dan 5 derajat dihasilkan besar waktu tiap kemiringan yaitu 15,2 detik, 18,4 detik, 20,5 detik dan 20,8 detik, dan dari tiap kemiringan dihasilkan momen pengembali maksimum yaitu 2,475 kg. cm, 8,090 kg. cm, 11,491 kg. cm dan 14,380 kg. cm.

Kata kunci : *ferry ro-ro, inclining, roll decay*, momen pengembali,eksperimen.

ABSTRACT

Chandra Basongan, Predicting the Effect of Roll Decay Due to Draught Changes on the Ro-Ro Ferry 500 GT Ship Selayar through Model Testing. Supervised by **(Mansyur Hasbullah and Lukman Bochary)**.

Ro-ro ferry is one of the ships used in Indonesia as transportation route to facilitate the inter-island economy, there fore, to ensure the safety and security of the ro-ro ferry while operating, this research is focused on finding out the amount of time and the maximum restoring moment that required for heeling condition and draught change of the ship model through model testing in a towing tank in calm water conditions. The results obtained for each draught change in the model draught are 7,130 cm with an initial heeling degree of 4 degree, 7 degree, 11 degree and 15 degree the resulting time for each heel are 8,3 seconds, 10,9 seconds, 11,2 seconds and 11,9 seconds, and from heeling condition the maximum restoring moment are 11,374 kg. cm, 20,631 kg. cm, 26,280 kg.cm, and 34,087 kg. cm. On a model draught of 7,653 cm with initial heeling degree of 3 degree, 7 degree, 10 degree and 13 degree, the resulting time for each heel are 8,8 seconds, 11,6 seconds, 12 seconds and 13,1 seconds, and from each heel the maximum restoring moment are 9,716 kg.cm, 17,508 kg.cm, 20,972 kg.cm, and 24,034 kg.cm. On a model draught of 8,673 cm with initial heeling degree of 3 degree, 5 degree, 8 degree and 10 degree, the resulting time for each heel are 13,2 seconds, 16,7 seconds, 18 seconds and 18,6 seconds, and from each heel the maximum restoring moment are 8,803 kg.cm, 15,742 kg. cm, 17,250 kg. cm, and 20,624 kg. cm. And on a model draught of 10,503 cm with initial heeling degree of 1 degree, 3 degree, 4 degree and 5 degree, the resulting time for each heel are 15,2 seconds, 18,4 seconds, 20,5 seconds and 20,8 seconds, and from each heel there storing moment are 2,475 kg. cm, 8,090 kg. cm, 11,491 kg. cm and 14,380 kg. cm.

Keywords: ro-ro ferry, inclining, roll decay, restoring moment, experiment.

KATA PENGANTAR

Salam sejahtera bagi kita semua,segalah puji dan syukur kepada Tuhan yang Maha Esa oleh karena anugerah dan penyertaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal dengan judul:

PREDIKSI PENGARUH *ROLL DECAY* AKIBAT PERUBAHAN SARAT PADA *KAPAL FERRY RO-RO* 500 GT SELAYAR MELALUI PENGUJIAN MODEL

Proposal penelitian ini merupakan salasatu persyaratan mahasiswa untuk mengajukan tugas akhir sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis mengucapkan Terimakasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam bentuk doa maupun materi sehingga didalam penyusunan proposal ini dapat berjalan dengan baik sesuai yang diharapkan. Melalui lembar ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta Ayahanda Lapinan Basongan dan Ibunda Ester salama, atas segala motivasi, kesabaran,pengorbanan, semangat, materi dan dukungan doanya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.
2. Bapak Prof. Ir. Mansyur Hasbullah, M Eng selaku pembimbing I ,Bapak Ir. Lukman Bochary, MT selaku pembimbing II dan Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT. yang telah banyak memberikan bimbingan dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT selaku ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Ibu Ir Hj. Rosmani, MT selaku Kepala Labo Hidrodinamika Kapal dan selaku Penasehat Akademik yang selalu membimbing dan memberikan arahan dalam perencanaan mata kuliah.

5. Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT dan Ibu Andi Dian Eka Aggriani, ST., MT selaku penguji dalam tugas akhir ini.
6. Ibu Uti, Pak Rio, dan Kak yudi selaku staf jurusan perkapalan Fakultas teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
7. Kak Akbar Asis, ST., MT yang sudah membantu dan memberikan saran dan masukan dalam mengerjakan tugas akhir ini.
8. Seluruh Dosen Teknik perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kesabaran, kebaikan dan kemurahan hatinya.
9. Kak Ardedi Yusuf, ST yang juga membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Kepada sodara seperjuangan (Risqulla, Riky, Annas, Ilo) yang selalu bersama-sama dalam menyelesaikan tugas ini, yakinlah perjuangan yang sungguh-sungguh akan ada hasilnya.
11. Kepada yang tersayang Dian Barung, terimakasih atas segala doa dan dukungannya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
12. Kepada teman-teman CRUIZER 2016, yang telah memberikan tentang arti kekeluargaan di perkapalan.
13. Kepada teman-teman TEKNIK 2016 yang selalu mengajarkan tentang pentingnya kebersamaan dan kekeluargaan didalam pelayanan.
14. Kepada KMKO 2016 Teknik yang sudah mengajarkan cara berkepanitian dan boleh bertumbuh dalam kristus.
15. Kepada BECOME ONE Perkapalan 2016 Terimakasih atas segala dukungannya selama ini.
16. Teman KKN Bone (Ciko, Erli, Becce, Ayyum, Ayu,dan Putra).
17. Keluarga to'angka yang memberi banyak pelajaran tentang selalu sabar dalam menjalani hidup.
18. Ikatan alumni SMAN 3 Tana Toraja yang selalu mengajarkan pentingnya kebersamaan.

Akhir kata, penulis menyadari segala kekurangannya didalam menyusun tugas akhir ini, maka dengan hal itu penulis berharap kritikan dan saran yang membangun untuk kesempurnaannya dan semoga skripsi ini boleh menjadi sumber pengetahuan untuk pembacanya terutama menyangkut tentang bidang perkapalan. Sekian dan Terima kasih.

Makassar, 16 Januari 2021

Penyusun

viii

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBARAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kapal <i>Ferry</i>	5

2.2 Jenis-jenis kapal Feri.....	5
2.3 Gerak Kapal	9
2.4 Stabilitas Kapal	11
2.5 <i>Inclining test</i>	13
2.6 <i>Roll decay test</i>	15
2.7 Perbandingan model.....	19
2.7 Pembuatan model.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	23
3.1.1 Lokasi Penelitian.....	23
3.1.2 Waktu Penelitian	23
3.2 Jenis Data dan Cara Pengambilan Data	23
3.2.1 Data sekunder.....	23
3.2.2 Data primer	23
3.3 Metode Pengolahan Data	23
3.3.1 Pemodelan kapal Feri ro-ro 500 GT Selayar	23
3.3.2 Pembuatan model Kapal Feri ro-ro 500 GT Selayar.....	24
3.3.3 Persiapan pengujian model kapal feri ro-ro 500 GT Selayar.....	31
3.3.3.1 Matriks dan waktu pengujian.....	31

3.3.3.2 Matriks kebutuhan pengujian.....	32
3.3.3.3 Prosedur pengujian.....	33
3.3.4 Pelaksanaan pengujian model	34
3.3.5 Metode Analisa Data.....	34
3.3.6 Kerangka Pemikiran.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 <i>Inclining test</i>	36
4.2 <i>Roll decay test</i>	36
4.2.1 <i>Roll Decay test</i> model kapal pada sarat 7,130 cm.....	37
4.2.2 <i>Roll Decay test</i> model kapal pada sarat 7,653 cm.....	38
4.2.3 <i>Roll Decay test</i> model kapal pada sarat 8,673 cm.....	39
4.2.4 <i>Roll Decay test</i> model kapal pada sarat 10,503 cm	40
4.3 Momen pengembali (<i>Righting moment</i>).....	41
4.3.1 Momen pengembali maksimum model kapal pada sarat 7,130 cm	41
4.3.2 Momen pengembali maksimum model kapal pada sarat 7,653 cm	42
4.3.3 Momen pengembali maksimum model kapal pada sarat 8,673 cm	43
4.3.4 Momen pengembali maksimum model kapal pada sarat 10,503 cm	44
BAB V PENUTUP	46
5.1 Kesimpulan	46

5.2 Saran	48
5.3 Manfaat Penelitian	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kapal Feri Ujung Ganda	6
Gambar 2.2. Kapal <i>Feri Hydrofil</i>	6
Gambar 2.3. Kapal Feri <i>Hovercraft</i>	7
Gambar 2.4. Kapal Feri Catamaran	7
Gambar 2.5. <i>Cable Ferry</i>	8
Gambar 2.6. Kapal Feri Ro-ro	8
Gambar 2.7. <i>Train Ferry</i>	9
Gambar 2.8 : Enam derajat kebebasan gerak kapal	9
Gambar 2.9 Diagram stabilitas kapal	11
Gambar 2.10 <i>Time tarce uji roll decay</i>	16
Gambar 3.1 <i>Lines Plan</i> Feri Ro-ro 500 GT Selayar	25
Gambar 3.2 Ilustrasi model kapal ferry ro-ro 500 GT Selayar	25
Gambar 3.3 <i>Section</i> model yang dipertebal	27
Gambar 3.4 <i>Section</i> pada material model	27
Gambar 3.5 Proses pemotongan bahan	28
Gambar 3.6 <i>Frame</i> direkatkan pada <i>water line</i>	28
Gambar 3.7 Proses pemasangan kulit model	28
Gambar 3.8 Hasil pemasangan kulit model	29
Gambar 3.9 Pemasangan resin <i>fiber matt</i> pada lambung bagian dalam model	29
Gambar 3.10 Penambahan dempul dan mengaluskan lambung model.	29

Gambar 3.11 Pengecatan model.....	30
Gambar 3.12 pembuatan sarat model kapal	30
Gambar 3.13 Pembuatan tempat peletakan beban tambahan pada model	30
Gambar 3.14 proses penimbangan model kapal kosong.....	31
Gambar 4.1 Grafik hasil <i>roll decay test</i> model kapal pada sarat 7,130 cm	37
Gambar 4.2 Grafik hasil <i>roll decay test</i> model pada sarat 7,653 cm	38
Gambar 4.3 Grafik hasil <i>Roll decay test</i> model kapal pada sarat 8,673 cm....	39
Gambar 4.4 Grafik hasil <i>Roll decay test</i> model kapal pada sarat 10,503 cm..	40
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara sudut kemiringan dengan momen Pengembali model pada sarat 7,130 cm.....	42
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara sudut kemiringan dengan momen pengembali model pada sarat 7,653 cm.	43
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara sudut kemiringan dengan momen Pengembali model pada sarat 8,673 cm.....	44
Gambar 4.8 Grafik hubungan antara sudut kemiringan dengan momen Pengembali model pada sarat 10,503 cm.....	45

DAFTAR NOTASI

Notasi	Nama
DWT	Deadweight Tonnage (ton)
G	Titik Berat Kapal
B	Titik Tekan Apung
M	Titik Metasentris
G	Percepatan Gravitasi Bumi (m/s^2)
θ	Sudut Olang
GZ	Lengan Penegak Kapal (m)
MP	Momen Pengembali (ton.m)
D	Tinggi kapal (m)
V	Kecepatan kapal (knot)
Δ	Displacement
C_b	Koefisien bentuk kapal
C_p	Koefisien perisematik kapal
L_{WL}	<i>Lenght water line (m)</i>
L_{oa}	<i>Lenght Over All (m)</i>
L_{bp}	<i>Lenght Between Perpendicular (m)</i>
ρ	Massa Jenis Air tawar (Kg/m^3)
Fr	Angka froude
ν	Viskositas kinematis fluida (m^2/dt)
Rn	Angka reynold

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran utama kapal	24
Tabel 3.2 Ukuran model kapal feri ro-ro 500 GT	
Selayar dengan skala 1:30.....	24
Tabel 3.3 Kebutuhan / material pembuatan model	26
Tabel 3.4 Matriks waktu pengujian.....	31
Tabel 3.5 Matriks kebutuhan pengujian.....	32
Tabel 3.6 Pelaksanaan pengujian	34
Tabel 4.1 Hasil <i>Inclining test</i> model kapal	36
Tabel A.1 Titik stabilitas antara kapal sebenarnya dengan model kapal pada sarat 7,130 cm	51
Tabel A.2 Titik stabilitas antara kapal sebenarnya dengan model kapal pada sarat 7,653 cm	51
Tabel A.3 Titik stabilitas antara kapal sebenarnya dengan model kapal pada sarat 8,673 cm	51
Tabel A.4 Titik stabilitas antara kapal sebenarnya dengan model kapal pada sarat 10,503 cm	51
Tabel B.1 Hasil percobaan <i>roll decay</i> pada sarat 7,130 cm.....	55
Tabel B.2 Hasil percobaan <i>roll decay</i> pada sarat 7,653 cm.....	60

Tabel B.3 Hasil percobaan <i>roll decay</i> pada sarat 8,673 cm.....	65
Tabel B.4 Hasil percobaan <i>roll decay</i> pada sarat 10,503 cm.....	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A : <i>Inclining Test</i>	51
Lampiran B. <i>Roll decay test</i>	54
Lampiran C. Momen pengembali maksimum (<i>Righting moment</i>)	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Transportasi merupakan salah satu sarana untuk memperlancar roda perekonomian, memperkokoh persatuan dan kesatuan bangsa, dalam rangka memantapkan perwujudan wawasan nusantara meningkatkan serta mendukung pertahanan dan keamanan Negara yang selanjutnya dapat mempererat hubungan antar bangsa. Pentingnya transportasi itu tercermin pada penyelenggaraannya yang mempengaruhi semua aspek kehidupan Bangsa dan Negara serta semakin meningkatnya kebutuhan jasa transportasi bagi mobilitas orang dan barang dalam negeri maupun luar negeri. Disamping itu, bagi pertumbuhan daerah yang memiliki potensi sumber daya alam yang besar tetapi belum berkembang, dalam upaya peningkatan dan pemerataan pembangunan serta hasil-hasilnya.

Siregar (1995) menjelaskan bahwa transportasi merupakan suatu pelayanan yang dirancang untuk melayani masyarakat dengan menghubungkan lokasi-lokasi yang banyak dan tak menentu jumlahnya, dimana aktivitas-aktivitas itu berada. Dengan demikian, lokasi-lokasi tersebut bukan merupakan suatu yang berdiri sendiri, namun merupakan bagian dari sosial ekonomi yang mengarah pada suatu daerah, wilayah dan atau suatu bangsa.

Negara Indonesia merupakan salasatu negara di dunia yang memiliki banyak pulau, oleh karena itu untuk bisa menghubungkan pulau-pulau yang ada, Indonesia memerlukan sebuah transportasi laut. Kapal feri ro-ro merupakan jenis kapal penyeberangan antar pulau yang juga digunakan di Indonesia karena disamping mampu menampung jumlah penumpang yang cukup banyak juga dapat digunakan untuk mengangkut kendaraan seperti mobil, truk dan bus. Indonesia memiliki populasi kapal feri ro-ro cukup signifikan yaitu sekitat 5% dari jumlah total 8.192 yang teregister di Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) sampai tahun 2012.

Dengan banyaknya popuasi kapal tersebut, maka peluang terjadinya kecelakaan juga semakin tinggi.

Dari data yang diperoleh dari Komite Nasional keselamatan Tansportasi (KNKT) menunjukkan bahwa, selama periode 2003-2016 telah terjadi 43 kecelakaan kapal di perairan Indonesia yang diakibatkan oleh tenggelam/terbalik 37%, kebakaran/meledak 35% dan tubrukan 28%. Dari total kecelakaan tersebut jumlah kecelakaan kapal feri ro-ro sebesar 36% sebagian diakibatkan oleh kegagalan stabilitas.

Kasus yang terjadi pada KM. Pemudi Tahun 2013 yang bertolak dari dermaga berlian utara pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, Jawa timur menuju Nabire, Papua. Pada tanggal 3 juli 2013 tepatnya dilaut Banda, kapal ini mengalami kemiringan sebesar 5 derajat, yang diakibatkan karena masuknya air kedalam tangki ballas sempat dilakukan tindakan mengatasi kemiringan kapal tersebut dengan membuang air ballast dari tangki ballast, namun keadaan tidak bisa dikendalikan sehingga kapal tidak bisa tegak kembali keposisi semula mengakibatkan kapal ini tenggelam di laut Banda.

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

Dari penjelasan diatas maka perlu adanya kajian penelitian tentang *roll decay* model kapal Ferry Ro-ro 500 GT, untuk mengetahui berapa besaran waktu yang dibutuhkan model kapal untuk kembali keposisi semula dan momen pengembali maksimum pada setiap perubahan sarat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. Berapa besaran waktu yang dibutuhkan model kapal tegak kembali keposisi semula akibat perubahan sarat dari berbagai sudut kemiringan?
- b. Berapa besar momen pengembali maksimum tiap perubahan sarat dari berbagai sudut kemiringan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Data kapal yang digunakan adalah data kapal feri ro-ro 500 GT Selayar.
- b. Perhitungan *roll decay* pada kondisi air tenang (*still water*).
- c. Suhu air pada tempat pengujian di abaikan.
- d. Gerak yang dilakukan dalam percobaan ini hanya gerak *rolling* saja.
- e. Penelitian ini dilakukan pada empat perubahan sarat model yaitu 7,130 cm, 7,653 cm, 8,673 cm dan 10,503 cm.
- f. Lokasi penelitian dilakukan di laboratorium Hidrodinamika Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

- a. Mengetahui besaran waktu yang dibutuhkan model kapal tegak kembali keposisi semula akibat perubahan sarat dari berbagai sudut kemiringan.
- b. Menentukan besar momen pengembali maksimum tiap perubahan sarat dari berbagai sudut kemiringan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian bab ini berisi tentang latar belakang, Rumusan masalah penelitian, batasan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang penjelasan kapal feri serta penjelasan materi-materi yang menjadi petunjuk dalam melakukan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan lokasi atau tempat dilaksanakannya penelitian, jenis penelitian, data penelitian, waktu dilaksanakannya penelitian, teknik yang digunakan dalam pengambilan data serta kerangka pola pikir dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang data yang diperoleh dari hasil penelitian, pengolahan dan hasil pengolahan data penelitian.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisikan kesimpulan yang didapatkan dari penelitian serta saran-saran untuk kelanjutan penelitian ini.

DATAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Ferry

Kapal feri atau kapal penyeberangan adalah sebuah kapal transportasi jarak dekat. Feri mempunyai peranan penting dalam sistem pengangkutan bagi banyak kota pesisir pantai, membuat transit langsung antar kedua tujuan dengan biaya lebih kecil dibandingkan jembatan atau terowong.

Kapal feri adalah kapal yang memenuhi syarat-syarat pelayaran di laut dan dipakai untuk menyelenggarakan perhubungan tetap; misalnya antar pulau. Kapal feri terutama digunakan untuk sarana penyeberangan, termasuk menyeberangkan kendaraan darat. Perhubungan dengan kapal feri cukup berperan di Indonesia; antara lain penyeberangan di Selat Sunda antara Merak (Pulau Jawa) dengan Tanjung Karang (Pulau Sumatera); penyeberangan dari Surabaya ke Madura, dari Banyuwangi ke Bali, dan sebagainya. Kapal Feri ini memiliki banyak jenis dan model untuk mendukung fungsi dan kegunaannya sebagai kapal penyeberangan, tergantung dengan jarak perjalanan, kapasitas kapal, kecepatan yang diperlukan, hingga keadaan air yang akan dilalui.

2.2 Jenis-jenis kapal Feri

1) Kapal feri ujung ganda

Kapal Feri ujung ganda ini memiliki bagian depan dan belakang yang dapat di tukar, sehingga kapal Feri jenis yang satu ini dapat berlayar bolak balik tanpa harus memutar terlebih dahulu. Hal ini karena kapal Feri ujung ganda ini memang memiliki dua kemudi yang berada di bagian depan dan belakang. Jenis kapal Feri ujung ganda yang satu ini banyak sekali digunakan di negara Amerika. Hanya saja kapal Feri ujung ganda ini hanya digunakan untuk mengangkut orang saja.



Gambar 2.1. Kapal Feri Ujung Ganda
(Sumber: www.infopelaut.com)

2) Kapal *Ferry Hydrofoil*

Jenis kedua dari kapal Feri adalah hydrofoil feri yang memiliki bentuk kapal yang cukup unik. Hal ini dikarenakan kapal feri jenis hydrofoil ini tampak memiliki kaki. Selain itu juga jenis kapal feri hydrofoil ini memiliki draft kedalaman yang pendek sehingga menyebabkan kapal feri hydrofoil terlihat seperti melayang diatas air saat berlayar. Kapal feri hydrofoil ini sebagian besar digunakan di daerah – daerah yang berada di negara Eropa misalnya seperti Polandia, Russia, Hungaria, Yunani dan sebagainya. Sedangkan di wilayah asia sendiri, kapal Ferry jenis ini hanya dapat ditemukan di negara Hongkong, Macau, dan juga Jepang.



Gambar 2.2. Kapal *Ferry Hydrofil*
(Sumber: www.kabarpenumpang.com)

3) Kapal *ferry Hovercraft*

Jenis kapal Feri ketiga yaitu *hovercraft*. Dinamakan *hovercraft* karena memang bentuk kapal feri ini mirip sekali dengan *hovercraft boat* namun dengan ukuran yang lebih besar. Kapal jenis *hovercraft* ini sangat populer sekali di Inggris dan banyak digunakan untuk mengangkut kendaraan darat seperti mobil, truk dan lain sebagainya.



Gambar 2.3. Kapal *Ferry Hovercraft*

(Sumber: www.lalaukan.com)

4) Kapal feri Catamaran

Jenis kapal Feri yang selanjutnya ialah catamaran. Jenis kapal feri yang satu ini termasuk dalam kategori kapal feri dengan kecepatan yang tinggi. Jenis kapal feri catamaran ini memiliki dua lambung. Kapal feri jenis ini sangat populer sekali dan banyak dioperasikan di negara Inggris dan juga India.



Gambar 2.4. Kapal Feri Catamaran

(Sumber: www.Kabarpenumpang.com)

5) Cable Feri

Jenis kapal feri ini digerakan oleh kedua kabel yang disambungkan pada kedua sisi. kapal ini biasanya digunakan pada sungai berarus laju jarak pendek.



Gambar 2.5. *Cable Ferry*

(Sumber: www.kabarpenumpang.com)

6) Kapal feri Ro-ro

Kapal feri ro-ro adalah kapal yang bisa memuat kendaraan yang berjalan masuk ke dalam kapal dengan penggerakannya sendiri dan bisa keluar dengan sendiri juga, sehingga disebut sebagai kapal *roll on - roll off* atau disingkat *ro-ro*. Oleh karena itu, kapal ini dilengkapi dengan pintu rampa yang dihubungkan dengan moveble bridge atau dermaga apung ke dermaga.



Gambar 2.6. Kapal Feri Ro-ro

(Sumber: www.kabarpenumpang.com)

7) Train Feri

Jenis kapal feri ini dilengkapi dengan rel kereta api yang berfungsi mengangkut kereta api.

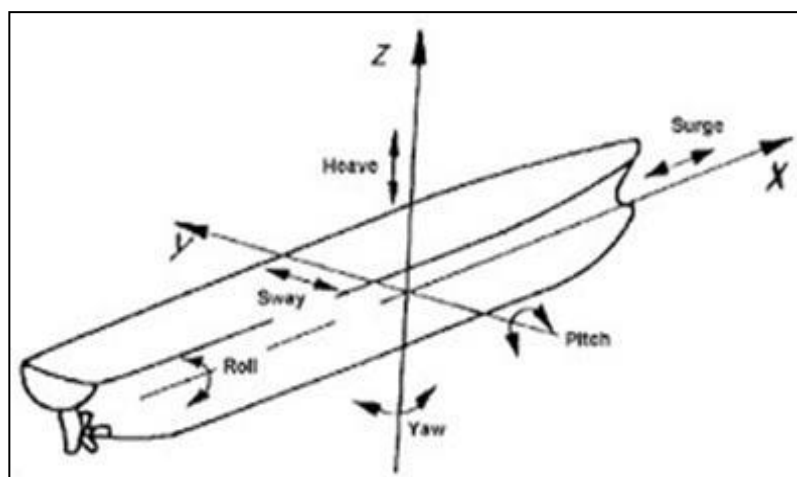


Gambar 2.7. *Train Ferry*

(Sumber: www.lalaukan.com)

2.3 Gerak Kapal

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



Gambar 2.8 : Enam derajat kebebasan gerak kapal

- a. *Surge* adalah salah satu gerak translasi kapal dimana kapal mengalami perpindahan pada sumbu x (berpindah arah sumbu x), pada gerak ini tidak terjadi perubahan massa kapal dan titik *bouyancy* sehingga tidak ada gaya pengembali.
- b. *Sway* adalah salah satu gerak translasi kapal yang mengalami perpindahan pada sumbu y (berpindah ke samping), pada gerak ini titik berat kapal tidak berubah atau tetap sehingga tidak terjadi perubahan massa kapal dan titik *bouyancy* juga tidak berpindah dan tidak ada gaya pengembali.
- c. *Yaw* adalah salah satu gerak rotasi kapal yang bergerak berputar pada sumbu z sehingga jika diamati dari atas maka dapat dilihat kapal bergerak berputar.
- d. *Heave* adalah gerakan naik dan turun kapal secara vertikal.
- e. *Roll* adalah gerak oleng yang merupakan gerak rotasi kapal pada sumbu x.
- f. *Pitch* adalah gerakan anguler yang memutar kedepan dan belakang terhadap sumbu transversal kapal, sepanjang sumbu y.

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

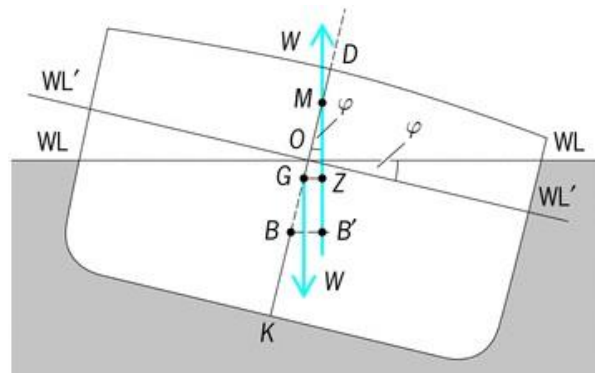
Berbeda dengan gerak *heave*, *roll* dan *pitch*, gerak *surge*, *sway* dan *yaw* tidak disertai dengan gaya dan momen pengembali pada penelitian stabilitas gerak oleng yang paling dominan gerak yang terjadi pada saat gelombang samping adalah gerak rolling jadi gerak rolling menjadi titik fokus .

2.4 Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal merupakan sifat atau kecenderungan dari sebuah kapal untuk kembali kepada kedudukan semula setelah mendapat senget (kemiringan) yang disebabkan oleh gaya-gaya dari luar (Rubianto, 1996). Sama dengan pendapat Wakidjo (1972), bahwa stabilitas merupakan kemampuan sebuah kapal untuk menegak kembali sewaktu kapal menyenget oleh karena kapal mendapatkan pengaruh luar, misalnya angin, ombak dan sebagainya.

Secara umum hal-hal yang mempengaruhi keseimbangan kapal dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok besar yaitu :

- a. Faktor internal yaitu tata letak barang/*cargo*, bentuk ukuran kapal, kebocoran karena kandas atau tubrukan.
- b. Faktor eksternal yaitu berupa angin, ombak, arus dan badai.



Gambar 2.9 Diagram stabilitas kapal

Momen pengembali adalah momen yang akan mengembalikan kapal ke kedudukannya semula setelah kapal miring karena gaya-gaya dari luar dan gaya-gaya tersebut tidak bekerja lagi. Pada waktu kapal miring, maka titik B pindah ke B₁, sehingga garis gaya berat bekerja ke bawah melalui G dan gaya keatas melalui B₁. Titik M merupakan busur dari gaya-gaya tersebut. Bila dari titik G ditarik garis tegak lurus ke B₁M maka berhimpit dengan sebuah titik Z. Garis GZ inilah yang disebut dengan lengan pengembali (*righting arms*). Seberapa besar kemampuan

kapal tersebut untuk kembali diperlukan momen pengembali (*righting moment*). Pada waktu kapal dalam keadaan senget maka displasemennya tidak berubah, yang berubah hanyalah faktor dari momen penegaknya.

Pada gambar 2.9 diatas dapat dilihat bahwa segitiga GMZ dapat berlaku formula sebagai berikut:

$$\frac{GZ}{GM} = \sin \theta, \text{ Jadi } GZ = GM \sin \theta \dots\dots\dots (1)$$

untuk sudut senget θ tertentu, maka nilai GZ tergantung dari nilai GM (jarak antara titik G dan titik M). Besarnya nilai GM sesuatu kapal dapat dipergunakan sebagai ukuran untuk menilai besarnya stabilitas kapal tersebut, sebab menurut persamaan :

$$M_p = W \times GZ \dots\dots\dots (2)$$

maka momen penegak (M_p) sesuatu kapal dengan berat benaman tertentu adalah semata-mata tergantung dari nilai GZ saja. Selanjutnya, persamaan :

$$GZ = GM \sin \theta \dots\dots\dots (3)$$

maka untuk sudut senget tertentu, nilai GZ hanya semata-mata tergantung dari nilai GM. Jadi kesimpulan adalah besar-kecilnya stabilitas sesuatu kapal tergantung pada besar-kecilnya momen penegak yang dimilikinya, sedangkan besar kecilnya momen penegak yang dimilikinya itu tergantung pada besar kecilnya lengan penegak yang dimilikinya. Selanjutnya besar kecilnya lengan penegak yang dimilikinya itu tergantung pada besar kecilnya nilai GM (tinggi metasentris). Oleh karena itu sangat jelas bahwa besar kecilnya tinggi metasentris sesuatu kapal dapat dipergunakan ukuran untuk menilai besar kecilnya stabilitas kapal tersebut. Tinggi metasentris (GM) hanya dapat dipergunakan sebagai ukuran atas besar kecilnya stabilitas untuk sudut-sudut senget yang kecil-kecil saja, sedangkan untuk sudut-sudut senget yang besar,

tinggi metacentrum itu tidak dapat dipergunakan sebagai ukuran atas besar kecilnya stabilitas sesuatu kapal. Mengapa demikian, hal ini dikarenakan apabila kapal menyenget dengan sudut senget yang besar, kedudukan metacentrum (M) tidak lagi tetap berada di tempatnya yang semula, sehingga nilai tinggi metacentrumnya (GM) tidak lagi tetap besarnya, oleh karena itu, rumus $M_p = W \times GM \sin \theta$ tidak berlaku lagi untuk sudut-sudut senget yang besar

2.5 *Inclining test*

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

- a. Gambar rencana umum.
- b. Kapasitas tangki.
- c. Kurva hidrostatis.
- d. Lokasi tanda sarat (*draf 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 (G_{Mo}) paling sedikit adalah 0,20 m.

Pelaksanaan pengujian sebagai berikut:

1. Pengukuran sarat air dan massa jenis air
 - ✓ Sarat air/lambung timbul harus diukur di haluan, buritan dan tengah kapal dari tanda sarat (*draft mark*) pada kedua sisi. Apabila lambung timbul tidak diukur dari tepat atas garis geladak pada sisi kapal dari geladak lambung timbul atau pada gading yang sarna lokasinya dengan tanda sarat, maka lokasi dan data vertikalnya harus dinyatakan.
 - ✓ Sarat air/lambung timbul harus diukur di haluan, buritan dan tengah kapal dari tanda sarat (*draft mark*) pada kedua sisi. Apabila lambung

timbul tidak diukur dari tepi atas garis geladak pada sisi kapal dari geladak lam bung timbul atau pada gading yang sama lokasinya dengan tanda sarat, maka lokasi dan data vertikalnya harus dinyatakan.

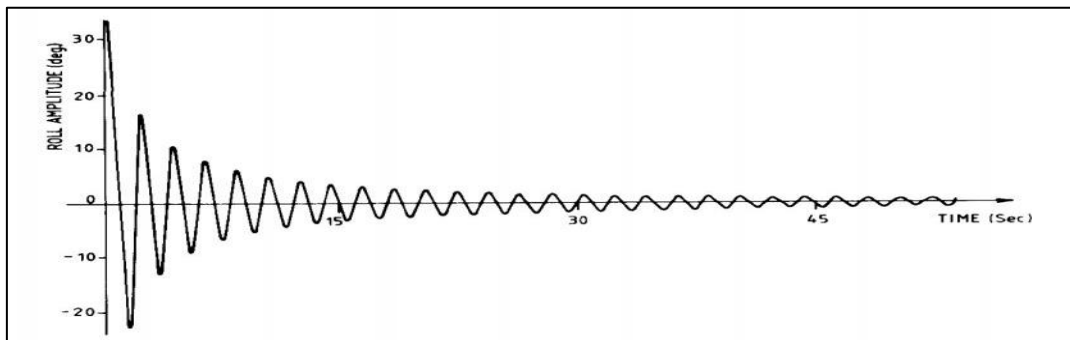
- ✓ Untuk memeriksa ketepatan pengukuran sarat air, dianjurkan untuk menggambar 2 garis air berdasarkan pembacaan sarat air dan dengan yang diukur berdasarkan lambung timbul. Bila pengukuran tepat, maka kedua garis air akan berhimpit. Dalam hal kedua garis air tidak berhimpit, maka pengukuran tambahan harus dilakukan.
 - ✓ Sejumlah contoh air yang memadai harus diambil pada lokasi dan kedalaman yang sesuai untuk memperoleh hasil pemeriksaan massa jenis air yang tepat.
2. Pemindahan beban opengujian
- ✓ 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.
 - ✓ Perhitungan tinggi metasentra.

2.6 *Roll Decay Test*

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

- a. Pertama-tama model kapal diberi sudut kemiringan awal.

- b. Kemudian dilepaskan untuk gerak oleng sampai kapal diam seperti semula.
- c. Sudut oleng pada setiap satuan waktu direkam atau dicatat sehingga akan diperoleh besar penurunan sudut oleng persatuan waktu. Karena tidak ada gaya luar yang bekerja, maka penurunan sudut oleng tersebut murni disebabkan oleh redaman kapal.



Gambar 2.10 Grafik gerak oleng tanpa momen eksitasi

Karena besarnya momen redaman dapat dihitung dari penurunan amplitudo gerak oleng pada *roll decay*. Penurunan gerak oleng dapat diestimasi dari data *free-decay test*. Menganalisa grafik yang didapat dari *roll decay test*. Pada kurva *roll decay test*, sumbu x adalah sudut oleng dan sumbu y adalah besaran waktu (detik).

Jadi dapat disimpulkan setiap satuan pertambahan waktu sudut oleng cenderung kecil atau bisa dikatakan dalam keadaan diam. Dari grafik *roll decay test* didapatkan periode gerak oleng tersebut dapat ditentukan dari frekuensi natural (ω). Dan penentuan *cubic restoring moment* (ϵ) dapat dari lengan stabilitas dengan menentukan koefisien-koefisien momen pengembali dengan penyelesaian persamaan polinomial, sehingga fungsi damping dapat diselesaikan sebagai berikut : (J.B. Roberts 1985)

$$m = \frac{\epsilon^2 \phi_0^2}{2(1 + \epsilon^2 \phi_0^2)} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

m : Jacobian Parameter

ε^2 : kubic momen pengembali , $\varepsilon^2 = \frac{a_2}{\omega_0^2}$

Persamaan moment pengembali untuk mengestimasi momen damping dari *free decay test*

$$GZ(\phi) = a_1 \phi + a_2 \phi^3 \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

a1 : Koefisien pengembali a1 sama dengan MG kapal

a2 : Koefisien pengembali a2

Jika persamaan persamaan diatas di nondimensional maka masing-masing koefisien dibagi inersia maka a1 akan sama dengan frekuensi natural dan a2 akan sama dengan kubic momen pengembali, sehingga fungsi damping didapatkan dari:

$$Q(V) = \frac{L(V)}{2 \omega_0 \cdot V} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

Q(V) : fungsi damping

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

ω_0 : frekuensi natural

V : total energi *rolling respon*

Rata-rata kehilangan energi di setiap siklus

$$\frac{d}{dt} V(t) = -L(V) \dots\dots\dots (7)$$

Fungsi V

$$A(V) = 1 + 0.375 \text{ m} \dots\dots\dots (8)$$

$$B(V) = 1.200 + (1 + 0.450 \text{ m}) \dots\dots\dots (9)$$

Fungsi V

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

Sehingga fungsi damping sebagai berikut :

$$Q(V) = b_1^* A(V) + b_1^* D(V) \dots\dots\dots (10)$$

$$b_1^* = \frac{\beta b_1}{2\omega_0},$$

$$\beta b_1 = b_1^* 2\omega_0$$

$$b_2^* = \frac{\beta b_2}{2}, \quad \beta b_2 = b_2^* 2$$

Untuk menghitung rata-rata

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

Sehingga persamaan untuk b_1^* dan b_2^*

$$b_1^* = \frac{S_3 S_4 - S_2 S_5}{S_1 S_3 - S_2^2} \dots\dots\dots (11)$$

$$b_2^* = \frac{S_1 S_5 - S_2 S_4}{S_1 S_3 - S_2^2} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana :

$$S_1 = \sum_{i=1}^N A^2(V_i)$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^N A(V_i) D(V_i)$$

$$S_3 = \sum_{i=1}^N D^2(V_i)$$

$$S_4 = \sum_{i=1}^N A(V_i) \widehat{Q}(V_i)$$

$$S_5 = \sum_{i=1}^N D(V_i) \widehat{Q}(V_i)$$

2.7 Perbandingan model

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

1. Kesamaan geometris

Kesamaan geometris merupakan hal yang sangat sulit untuk dipenuhi mengingat bahwa dalam pelayaran kapal dilaut, permukaan air laut dianggap luas tak berhingga dan kedalaman yang tak berhingga pula sementara ukuran kolam terbatas dengan ukuran model kapal harus kecil, sebanding dengan ukuran kolam atau lainnya. Demikian pula tekanan permukaan pada tangki percobaan yang dianggap sama dengan tekanan atmosfer, yang seharusnya tekanan tersebut harus diturunkan. Kondisi geometris yang dapat terpenuhi

dalam suatu percobaan model hanya kesamaan geometris dimensi – dimensi linier model. Hubungan antara kapal dan model dinyatakan dengan λ dimana :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana:

- λ = Skala perbandingan
- L_s = Panjang kapal (m)
- L_m = Panjang model (m)
- B_s = Lebar kapal (m)
- B_m = Lebar model (m)
- T_s = Larat kapal (m)
- T_m = Larat model (m)

Kesamaan geometris juga menunjukkan hubungan antara model dan tangki percobaan. Percobaan dari berbagai referensi :

1. TOOD :
 - $L_m < T$ tangki
 - $L_m < \frac{1}{2} B$ tangki
2. HARVALD:
 - $B_m < 1/10 B$ tangki
 - $T_m < 1/10 T$ tangki
3. UNIVERSITY OF NEW CASTLE :
 - $L_m < \frac{1}{2} b$ tangki
 - $B_m < 1/15 B$ tangki
 - $Ao_m < 0,4 Ao$ tangki

2. Kesamaan Kinematis

Kesamaan kinematis merujuk pada persamaan gerakan. Karena gerakan dideskripsikan oleh jarak dan waktu, itu menunjukkan kesamaan panjang (kesamaan geometri) dan kesamaan interval waktu. Jika panjang model dan

prototipe memiliki rasio tetap kecepatannya harus memiliki rasio tetap terhadap interval waktu. Kesamaan kinematis dapat diketahui melalui persamaan berikut:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} \dots\dots\dots (14)$$

Dimana:

- Fr = Angka Froude
- L_s = Panjang kapal (m)
- L_m = Panjang model (m)
- V_s = Kecepatan kapal (m/dt)
- V_m = Kecepatan model (m/dt)
- g = Percepatan gravitasi (9,81 m/dt²)

3. Kesamaan Dinamis

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

$$Rn = \frac{V \cdot L}{\nu} \dots\dots\dots (15)$$

Atau :

$$\frac{V_m \cdot L_m}{\nu} = \frac{V_s \cdot L_s}{\nu} \dots\dots\dots (16)$$

Dimana :

- Rn = Angka reynold
- L_s = Panjang kapal (m)
- L_m = Panjang model (m)
- V_s = Kecepatan kapal (m/dt)

- V_m = Kecepatan model (m/dt)
- ν = Viskositas kinematis fluida (m^2/dt)
= $1,1883 \times 10^{-6}$ (m^2/dt)
- g = Percepatan gravitasi ($9,81 m/dt^2$)

Dengan demikian jika diinginkan tercapainya kesamaan dinamis disamping kesamaan geometris dan kesamaan kinematis, maka angka Reynold untuk model harus sama dengan angka skala penuh. Berdasarkan ukuran model yang digunakan towing tank dibagi atas :

1. Ukuran kecil (A) memakai model berukuran ± 1 m
2. Ukuran sedang (B) memakai model berukuran ± 6 m
3. Ukuran besar (C) memakai model berukuran ± 12 m

2.8 Pembuatan model

Berikut ini dijelaskan prosedur pembuatan model kapal :

- 1) Membuat gambar rencana garis sesuai skala yang telah ditentukan.
- 2) Masing-masing penampang gading pada gambar rencana garis atau body plane digambarkan secara terpisah untuk selanjutnya di fungsikan sebagai patron/mal dan gading-gading model.
- 3) Letakkanlah masing-masing penampang gading berdasarkan jarak gading diatas pelat lunas sesuai dengan nomor gading-gading, dan biarkan sampai kering agar posisi gading tidak bergeser.
- 4) Lekatkan lembaran kulit model mengelilingi tepi luar gading-gading.
- 5) Dempul permukaan kulit model secara merata lalu gosok dengan amplas halus untuk memperoleh permukaan yang rata dan halus.
- 6) Cat permukaan kulit model dengan menggunakan cat minyak untuk menjaga kekedapan kulit