

PENGARUH PERTAMBAHAN PANJANG KAPAL FERRY RO-RO
TERHADAP PERTIMBANGAN KARAKTER HIDRODINAMIKA DAN
ASPEK KAPASITAS MUAT

*THE INFLUENCES OF LENGTHENING OF FERRIES RO-RO TOWARD
THE CONSIDERATION OF HYDRODYNAMICS CHARACTERISTIC AND
LOADING CAPACITY ASPECT*

A. RACHMIANTY AM



PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR

2018

PENGARUH PERTAMBAHAN PANJANG KAPAL FERRY RO-RO
TERHADAP PERTIMBANGAN KARAKTER HIDRODINAMIKA DAN
ASPEK KAPASITAS MUAT

TESIS

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi
Teknik Perkapalan

Disusun dan diajukan oleh:

A. RACHMIANTY AM

kepada

PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR

2018

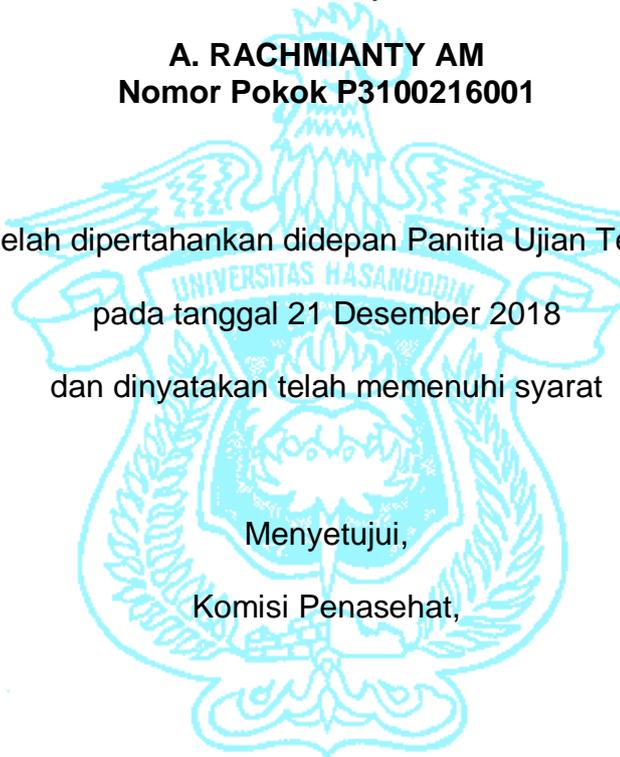
TESIS

PENGARUH PERTAMBAHAN PANJANG KAPAL FERRY RO-RO TERHADAP PERTIMBANGAN KARAKTER HIDRODINAMIKA DAN ASPEK KAPASITAS MUAT

Disusun dan diajukan oleh

A. RACHMIANTY AM
Nomor Pokok P3100216001

Telah dipertahankan didepan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 21 Desember 2018
dan dinyatakan telah memenuhi syarat



Menyetujui,

Komisi Penasehat,

Dr. Ir. Syamsul Asri, MT.
Ketua

Ketua Program Studi
Teknik Perkapalan

Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.
Anggota

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. Misliah Idrus, MS. Tr.

Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ANDI RACHMIANTY
Nomor mahasiswa : P3100216001
Program studi : Teknik Perkapalan

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

Makassar, Desember 2018
Yang menyatakan,

A. RACHMIANTY AM

PRAKATA

Segala puji bagi Allah, Tuhan seluruh alam. Yang Maha Pengasih, Maha Penyayang. Pemilik hari pembalasan. Hanya kepada Engkaulah kami menyembah dan hanya kepada Engkaulah kami mohon pertolongan. *Mudahkanlah urusan kami, Ya Rabb.*

Tulisan ini didasarkan pada peningkatan kapasitas muat kapal Ferry Ro-Ro. Pada penelitian sebelumnya (Asri, 2016) dimana analisis tahanan dilakukan secara numerik diketahui bahwa karena pengaruh luas bidang basah yang lebih kecil, kapal yang lebih pendek memiliki tahanan yang lebih kecil. Namun itu hanya berlaku pada kecepatan yang rendah. Karena tingkat pertambahan tahanannya lebih besar, pada kecepatan tertentu yang lebih tinggi, tahanannya menjadi lebih besar dibanding kapal yang panjang lebih besar waaau lebarnya sama. Untuk membuktikan hasil penelitian ini, maka akan dilakukan uji eksperimen untuk melihat bagaimana pengaruh panjang kapal Ferry Ro-Ro terhadap tahanan kapal dengan lebar dan sarat yang tetap.

Berkat bantuan berbagai pihak, tesis yang mengalami sejumlah kendala ini dapat diselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini penulis menyatakan syukur luar biasa untuk doa dan dukungan Ibunda St Haswah dan suami Sudarsono serta keluarga. Dengan tulus menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya pada Dr.Ir.Syamsul Asri, MT. Dan Dr.Eng. Suandar Baso, ST., MT. yang membimbing penelitian dan penulisan

hingga tuntas. Terima kasih tak terkira untuk Dr. Ir. Hj. Misliah Idrus, MSTR yang menjadi 'ibu kami' dan selalu mengarahkan.

Terima kasih pula untuk Bapak/Ibu Dosen serta para Staff Jurusan Perkapalan yang telah banyak memberi pertolongan. Terima kasih pula kepada adik-adik Program Sarjana Jurusan Perkapalan yang banyak membantu selama pembuatan dan pengujian model di laboratorium. Untuk keluarga Vorecastle 2008, Serta mereka yang tidak tercantum namanya namun telah membantu penulis selama penyelesaian tesis. Tulisan ini penulis persembahkan untuk sahabat-sahabat yang terus mengingatkan dan menantikan rilisnya tesis.

Makassar, Desember 2018

A. RACHMIANTY AM

ABSTRAK

ANDI RACHMIANTY. *Pengaruh Pertambahan Panjang Kapal Ferry Ro-Ro terhadap Pertimbangan Karakter Hidrodinamika dan Aspek Kapasitas Muat.* (dibimbing oleh Syamsul Asri dan Suandar Baso).

Penelitian ini difokuskan pada pengaruh penambahan panjang kapal Feri Ro-Ro terhadap aspek karakter hidrodinamika dan aspek kapasitas muat. Nilai tahanan total kapal didapatkan melalui pengujian model di *towing tank*. Tahanan total (R_T) kemudian dianalisa kedalam tahanan gesek (R_F) dan tahanan sisa (R_R). Terdapat 4 model yang telah dibuat dimana ukuran model berdasarkan pada ukuran empat seri kapal Feri Ro-Ro yaitu B5L10, B5L11, B5L12, dan B5L13. Kecepatan untuk masing-masing model ditentukan dengan pendekatan Froude number (F_n). Penambahan panjang kapal dapat digambarkan dalam parameter non-dimensi oleh rasio panjang kapal dan volume displacement ($L/V^{1/3}$). Kemudian, aspek hidrodinamika dan kapasitas muat dapat digambarkan dalam rasio tahanan kapal dan kapasitas muat (R_T/S_{UK}).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan panjang kapal feri Ro-Ro berdampak pada tahanan total, kecepatan, dan kapasitas muat. Seiring dengan penambahan panjang menunjukkan nilai tahanan total relative sama pada rentang F_n yang kecil. Lebihlanjut, tahanan total meningkat relative kecil untuk setiap pertambahan panjang pada rentang F_n yang sedang. Namun, penambahan panjang menunjukkan penurunan tahanan total secara signifikan pada rentang F_n yang relative tinggi. Berdasarkan pada hubungan antara kecepatan dengan rasio tahanan dan kapasitasmuat, peningkatan kapasitas muat (S_{UK}) juga berdampak pada peningkatan kecepatan. Namun, rasio R_T/S_{UK} meningkat secara signifikan pada F_n relative tinggi. Hal ini mengartikan bahwa kecepatan kapal harus dipertimbangkan secara tepat dengan pertimbangan aspek tahanan kapal dan kapasitas muat. Selain itu, tahanan total berdampak besar pada tahanan gesek dibanding dengan tahanan sisa untuk F_n yang relative kecil namun sebaliknya tahanan sisa sangat dominan dibandingkan dengan tahanan gesek pada F_n relatif tinggi.

ABSTRACT

ANDI RACHMIANTY. The Influences of Lengthening of Ferries Ro-Ro toward the Consideration of Hydrodynamics Characteristic and Loading Capacity Aspect (supervised by SyamsulAsri and Suandar Baso)

This research is focused on the influences of lengthening a Ro-Ro ferry to hydrodynamics characteristic and loading capacity aspects. The total resistances of Ro-Ro ferries are obtained by ship model experiment in towing tank. There are 4 ship models that are made. The lengthening of a Ro-Ro ferry is described into non-dimensional parameter by the ratio of ship length and displacement volume ($L/V^{1/3}$). The hydrodynamics and the loading capacity of carried car aspects could be described into the ratio of resistance and loading capacity of carried car (R_T/S_{UK}).

The research result shows that the lengthening of a Ro-Ro ferry affects on total resistance, speed, and loading capacity of carried car. The lengthening of a Ro-Ro ferry shows that the total resistance is relatively same in the range of small Fn . Moreover, the total resistance increases relatively small for each length increment in the range of medium Fn . However, the total resistance decreases significantly at a relatively high Fn . Based on the relation between speed and the ratio of resistance and loading capacity of carried car, the increase of loading capacity of carried car deals with increasing speed. However, the ratio R_T/S_{UK} significantly increases at a relatively high Fn . This means the ship speed should be considered properly on resistance and loading capacity of carried car. On the other hand, total resistance is affected highly on the friction resistance compared with residual resistance at relatively small Fn whereas the residual resistance is highly at relatively high Fn .

DAFTAR ISI

	halaman
SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xvi
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Penelitian	5
F. Penelitian Terdahulu	6
G. Sitematika Penulisan	7

II.	TINJAUAN PUSTAKA	9
A.	Ferry Ro-Ro	9
B.	Tahanan Kapal	10
C.	Prosedur Pengujian Model	20
D.	<i>Towing Carriage</i> C40E	26
III.	METODE PENELITIAN	32
A.	Rancangan Penelitian	32
B.	Lokasi dan Waktu Penelitian	32
C.	Jenis Data	32
D.	Pembuatan Model	33
E.	Eksperimental Set Up	41
F.	Pelaksanaan Pegujian Model	47
G.	Analisis	47
IV.	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	52
A.	Hasil Penelitian Terdahulu	53
B.	Penyajian Data	56
C.	Pengujian Model	60
D.	Pengaruh Panjang Kapal terhadap Tahanan Total Kapal	68
E.	Pengaruh Rasio Tahanan dan Kapastas Muat terhadap Kecepatan	70
F.	Pengaruh Tahanan Gesek dan Sisa terhadap Tahanan Total	75
V.	PENUTUP	81
A.	Kesimpulan	81

B. Saran	82
C. Ucapan Terima Kasih	83
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	87

DAFTAR TABEL

Nomor		halaman
1.	Nilai displacement dan C_A kapal	18
2.	Tabel kebutuhan model.	33
3.	Perbandingan Berat dan displacement kapal dan model	40
4.	Matriks waktu pegujian	41
5.	Matriks kebutuhan pengujian	43
6.	Jadwal pengujian tiap model.	47
7.	Rerata tingkat pertambahan tahanan kapal sampel sebagai fungsi dari kecepatan.	55
8.	Ukuran utama kapal <i>ferry</i> untuk analisis tahanan	56
9.	Kapasitas Muat Kapal	58
10.	Ukuran utama kapal dan ukuran utama model	58
11.	Kecepatan model.	60
12.	Nilai Tahanan Total Model.	63
13.	Nilai Koefisien Tahanan Total Model.	65
14.	Nilai Koefisien Tahanan Total Kapal.	65
15.	Nilai Perbedaan C_{TM} dan C_{TS} (ΔC_T)	67
16.	Nilai rasio panjang dan volume model.	68
17.	Rasio Tahanan Total Model Dan Satuan Unit Kendaraan.	71
18.	Gradien rasio tahanan total model dan satuan unit kendaraan.	72
19.	Kecepatan model pada nilai rasio R_{TM}/S_{UK} yang sama.	74
20.	Nilai R_{FM} dan persentase kenaikan R_{FM} terhadap kenaikan R_{TM}	76
21.	Nilai R_{RM} dan persentase kenaikan R_{RM} terhadap kenaikan R_{TM}	77

DAFTAR GAMBAR

Nomor		halaman
1.	Kapal Ferry Ro-Ro dengan stern ramp	9
2.	Kapal Ferry Ro-Ro dengan bow dan stern ramp	10
3.	Gaya yang bekerja pada kapal	11
4.	Tahanan total kapal	14
5.	Perhitungan tahanan secara numeric	19
6.	<i>Towing tank</i> Laboratorium Hidrodinamika	20
7.	Diagram pengujian tahanan kapal	23
8.	<i>Arrangement Carriage C40E</i>	28
9.	<i>Guide Wheel dan Rail Arrangement</i>	29
10.	<i>Towing Post</i>	30
11.	Ilustrasi pemasangan <i>dynamometeri</i>	31
12.	Gambar section pada material frame	35
13.	Frame direkatkan pada pola waterline	35
14.	Pemasangan kulit	36
15.	Pemasangan fiber matt	36
16.	Proses dempul model	37
17.	Pemasangan dudukan alat pengujian	37
18.	Pemasangan <i>main deck</i>	38
19.	Hasil Pengecatan model	38
20.	Proses Marking Model	39
21.	Penimbangan dan test draft model.	40
22.	Kerangka alur penelitian	50

23.	Kerangka pikir	51
24.	Body Lines Plan kapal	57
25.	Tata letak kendaraan di atas geladak kendaraan	57
26.	Pengujian model untuk V_M 0,314 m/det	61
27.	Pengujian Model Untuk V_M 0,942 m/det.	61
28.	Pengujian Model Untuk V_M 1,570 m/det.	62
29.	Kurva Hubungan R_{TM} Terhadap V_M	64
30.	Kurva Hubungan Koefisien Tahanan Total Model Terhadap Kecepatan.	66
31.	Kurva Hubungan Koefisien Tahanan Total Kapal Terhadap Kecepatan.	66
32.	Kurva hubungan $L/V^{1/3}$ dan R_{TM}	66
33.	<i>Wave Making Profile</i>	70
34.	Kurva hubungan V_M terhadap $R_{TM/SUK}$	71
35.	Kurva tahanan R_{FM} dan R_{RM} terhadap V_M model B5L10	78
36.	Persentase kenaikan nilai R_{FM} dan R_{RM}	79

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	halaman
1. Tahanan Total Model Hasil Uji Eksperimen	87

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan RI No. PM 104 (2017), tentang Penyelenggaraan Angkutan Penyeberangan, angkutan penyeberangan adalah angkutan yang berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan jaringan jalan dan/atau jaringan jalur kereta api yang dipisahkan oleh perairan untuk mengangkut penumpang dan kendaraan beserta muatannya. Salah satu jenis kapal yang digunakan dalam pelayanan angkutan penyeberangan adalah kapal *Ferry Ro-Ro*. Menurut Peraturan Menteri Perhubungan RI nomor PM 115 (2016) Tentang Tata Cara Pengangkutan Kendaraan di Atas Kapal, kapal *Ferry Ro-Ro* adalah kapal yang memiliki satu atau lebih geladak baik terbuka maupun tertutup yang digunakan untuk mengangkut segala jenis kendaraan sebagai muatan yang dimuat melalui sistem pintu rampa di bagian depan maupun belakang kapal dan dimuat serta dibongkar dari dan ke atas kapal menggunakan kendaraan atau platform yang dilengkapi dengan roda. Menurut International Maritime Organization (IMO, 2014), kapal *Ferry Ro-Ro* adalah sebuah kapal dengan ruang kargo *Ro-Ro* atau ruang kategori khusus yang mengangkut lebih dari dua belas penumpang.

Dalam mendesain kapal *Ferry Ro-Ro*, hal pertama yang diperhatikan adalah ukuran utama kapal. Ukuran utama kapal berkaitan dengan kapasitas muatan kendaraan yang dapat diangkut oleh kapal *Ferry Ro-Ro*. Karena muatan kendaraan ditempatkan secara matriks di geladak utamanya, ukuran panjang dan lebar kapal penyeberangan merupakan faktor penentuan kapasitas muatnya (Asri S, 2016). Ukuran utama kapal juga berkaitan dengan kecepatan kapal. Kecepatan kapal dipengaruhi oleh besar tahanan kapal. Hubungan antara kecepatan dan kapasitas muat kapal berpengaruh pada performance kapal.

Beberapa penelitian terkait ukuran utama kapal seperti perubahan bentuk lambung telah banyak dikaji. Jin-Won Yu dkk (2017) mencoba mengembangkan metode desain pada *gooseneck bulb* kapal *Ferry Passenger* untuk menemukan perubahan nilai tahanan berdasarkan bentuk bulb. Baso S dkk (2015) melakukan penelitian tentang perubahan bagian *bow* dan *stern* kapal *ferry* untuk melihat perubahan nilai tahanan total dan tahanan *added wave* yang dapat dicapai. Menurut Richards John S (2011) penambahan *displacement* pada kapal yang telah ada untuk meningkatkan stabilitas tidak secara otomatis meningkatkan daya kapal. Menurut American Bureau of Shipping (ABS, 2013), peningkatan panjang kapal disertai pengurangan lebar dan menjaga sarat, *displacement*, dan C_b tetap akan meningkatkan efisiensi lambung. Rasio panjang/lebar yang lebih tinggi cenderung akan mengurangi tahanan gelombang kapal sedangkan rasio lebar/sarat yang lebih kecil akan mengurangi luas bidang

basah dan tahanan gesek kapal. Ketika lambung kapal mengalami perubahan nilai hambatan harus sangat diperhatikan.

Berdasarkan hasil perhitungan tahanan secara numerik (Asri, 2016), karena pengaruh luas bidang basahnya yang lebih kecil, kapal yang lebih pendek memiliki tahanan yang lebih kecil. Namun itu hanya berlaku pada kecepatan yang rendah. Karena tingkat penambahan tahanannya lebih besar, pada kecepatan tertentu yang lebih tinggi, tahanannya menjadi lebih besar dibanding kapal yang panjang lebih besar walau lebarnya sama. Untuk membuktikan hasil penelitian ini, maka akan dilakukan uji eksperimen untuk mengetahui bagaimana pengaruh panjang kapal *Ferry Ro-Ro* terhadap tahanan kapal dengan lebar dan sarat yang tetap sehingga dapat diketahui pada tingkat kecepatan berapa rasio tahanan dan kapasitas muat adalah sama pada berbagai panjang kapal. Selain itu juga akan dianalisis jenis tahanan apa yang paling besar mempengaruhi nilai tahanan terhadap penambahan panjang kapal.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh panjang kapal *Ferry Ro-Ro* terhadap tahanan kapal dengan lebar dan sarat yang tetap?
2. Seberapa besar kecepatan kapal berdasarkan rasio tahanan dan kapasitas muat kapal yang sama pada berbagai panjang

kapal *Ferry Ro-Ro*?

3. Seberapa besar komponen tahanan yang paling mempengaruhi nilai tahanan total terhadap penambahan panjang kapal *Ferry Ro-Ro*?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menginterpretasi pengaruh penambahan panjang kapal *Ferry Ro-Ro* terhadap tahanan kapal dengan lebar dan sarat yang tetap.
2. Menentukan besar kecepatan berdasarkan rasio tahanan dan kapasitas muat kapal yang sama pada berbagai panjang kapal.
3. Menentukan komponen tahanan yang paling besar pengaruhnya dalam meningkatkan nilai tahanan terhadap penambahan panjang kapal.

D. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini adalah karakteristik penambahan nilai tahanan total dan nilai tiap jenis tahanan terhadap penambahan panjang kapal dan karakteristik kecepatan terhadap rasio tahanan dan kapasitas muat. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk beberapa hal sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan sebagai bahan informasi pada perencanaan desain kapal untuk kapal baru maupun kapal lama yang perlu dimodifikasi untuk mendapatkan kapasitas muat dan kecepatan kapal maksimal dengan daya yang efisien.
2. Sebagai bahan referensi untuk penelitian mengenai pengaruh ukuran utama dan kecepatan terhadap nilai tahanan kapal *Ferry Ro-Ro*.
3. Sebagai bahan pertimbangan untuk pengembangan regulasi dalam standardisasi penentuan ukuran utama dan kecepatan kapal *Ferry Ro-Ro*.

E. Batasan Masalah

Penelitian yang dilakukan meliputi hal-hal berikut:

1. Pengujian tahanan kapal dilakukan di *Towing tank*, Laboratorium Hidrodinamika, Universitas Hasanuddin.
2. Panjang kapal dipengaruhi oleh penambahan kolom kendaraan di geladak muatan dimana panjang kendaraan 5 meter dan jarak antar muka dan belakang kendaraan adalah 0,3 meter.
3. Ukuran Lebar kapal 17,1 meter dan sarat kapal 3,37 adalah tetap.
4. Kecepatan pengujian adalah 0,314 m/det, 0,628 m/det, 0,942 m/det, 1,256 m/det, 1,569 m/det.

5. Tahanan yang dianalisis adalah tahanan total kapal di bawah permukaan air.

F. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian mengenai kapal *ferry* telah banyak dikaji. Asri (2016) mengkaji model penentuan kapasitas muat, ukuran utama, dan kecepatan maksimum kapal *ferry ro-ro*. Jin-Won Yu dkk (2017) mengembangkan metode desain pada *gooseneck bulb* kapal *ferry passanger* untuk menemukan perubahan nilai tahanan berdasarkan bentuk *bulb* melalui metode numerik. Selain itu Baso S dkk (2015) meneliti tentang desain bentuk lambung kapal *ferry* menggunakan metode Hybrid Scheme dan uji Eksperimen tahanan. Penelitian bertujuan mengetahui nilai tahanan total dan tahanan added wave kapal *ferry* dan karakteristik gerakan kapal sebelum dan sesudah kapal *ferry* dimodifikasi. Perhitungan tahanan menggunakan metode hybrid particle-grid sedangkan analisa gerakan kapal dianalisis melalui hasil eksperimen. Asen Patrik (2011) juga melakukan analisis terhadap aliran air pada lambung kapal cruise *ferry* menggunakan CFD. Analisis dilakukan untuk menentukan tahanan kapal *ferry* untuk *double hull* serta *free surface*.

Selain itu Cepowski T dkk melakukan banyak penelitian terkait kapal *ferry*. Diantaranya adalah *Design guidelines for predicting wave resistance of Ro-Ro ferries at the initial designing stage* (Cepowski T dkk, 2010). Cepowski Memberikan pedoman desain untuk memprediksi

tahanan tambahan gelombang yang digunakan pada tahap awal desain kapal *Ferry Ro-Ro* melalui metode numerik. Dia juga membuat penelitian tentang *application artificial neural networks for predicting wave resistance of Ro-Ro ferry in initial designing stage* (Cepowski, 2011). Tujuannya untuk memperkirakan nilai tahanan *added wave* yang digunakan pada saat mendesain kapal *Ferry Ro-Ro*. perhitungan dilakukan dengan menggunakan software SEAWAY berdasarkan akurasi metode numerik.

G. Sistematika Penulisan

Tesis ini disusun menjadi beberapa bagian untuk mendapatkan alur penulisan yang jelas dan sistematis, yaitu:

1. BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini peneliti menjelaskan latar belakang dilakukannya penelitian tentang pengaruh panjang kapal *Ferry Ro-Ro* terhadap tahanan kapal dengan lebar dan sarat yang tetap berdasarkan tahanan kapal dan kecepatan optimum, rumusan masalah penelitian, manfaat yang ingin dicapai, tujuan dilakukannya penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini peneliti menjelaskan teori tentang kapal *Ferry* dan rumus empiris tahanan kapal. Selain itu pada bab ini juga menjelaskan prosedur pelaksanaan pengujian tahanan di *Towing tank*.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini peneliti menjelaskan rancangan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, jenis data, penyajian data, pembuatan model, *eksperimental set up*, pelaksanaan pengujian model, analisis, kerangka alur penelitian, dan kerangka pikir.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini peneliti menganalisa data hasil eksperimen dan menjelaskan pengaruh panjang kapal terhadap tahanan, penentuan R_f dan R_r , rasio tahanan dan kapasitas muat kapal .

5. BAB V PENUTUP

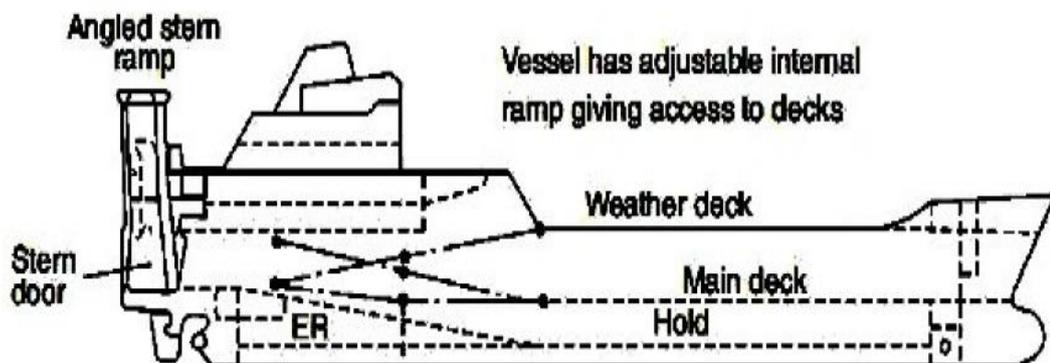
Pada bab ini peneliti merangkum keseluruhan hasil penelitian kedalam sebuah kesimpulan dan memberikan saran yang ditujukan kepada pengguna hasil penelitian.

BAB II

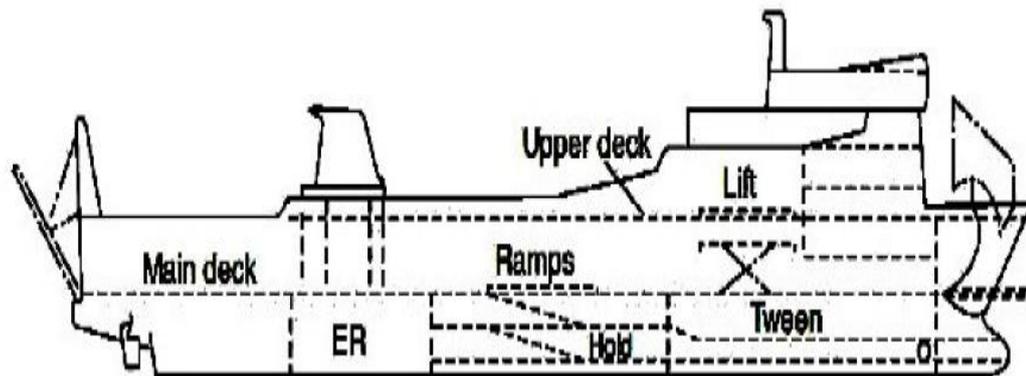
TINJAUAN PUSTAKA

A. *Ferry Ro-Ro*

Kapal *Ferry Ro-Ro* adalah kapal yang dibuat untuk mengangkut muatan beroda seperti mobil, truck, dan lainnya yang masuk dan keluar kapal dengan dikendarai oleh pemilik kendaraan. Kapal *ferry* memiliki *ramp door* yang memungkinkan muatan kendaraan untuk masuk dan keluar dengan penggerakannya sendiri saat kapal di pelabuhan. *Ramp door* kapal *Ferry* ada yang hanya berada dibagian *stern* kapal seperti pada Gambar 1 dan ada juga yang berada di bagian bow dan *stern* kapal seperti pada Gambar 2. (Shama M, 2013). *Ferry Ro-Ro* memiliki fleksibilitas, kemampuan untuk berintegrasi dengan transportasi lain, dan kecepatan operasi sehingga membuatnya sangat populer di banyak rute pelayaran (IMO, 1997).



Gambar 1. Kapal *Ferry Ro-Ro* dengan *stern* ramp (Shama M, 2013)

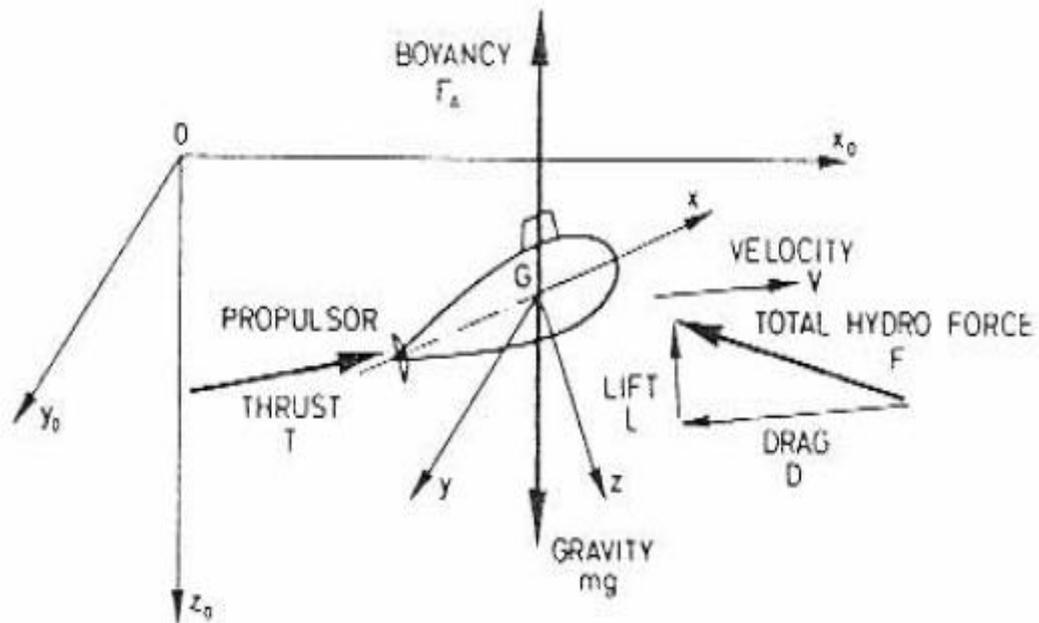


Gambar 2. Kapal *Ferry Ro-Ro* dengan *bow* dan *stern ramp*
(Shama M, 2013)

B. Tahanan Kapal

Chrimianto dkk (2014) menuliskan bahwa dalam merencanakan kapal, faktor umum yang memegang peranan penting adalah hambatan yang akan dialami oleh kapal pada waktu bergerak. Suatu bentuk kapal dengan hambatan kecil adalah tujuan perencanaan kapal. Hal ini berarti pemakaian tenaga mesin penggerak lebih kecil sehingga akan menghemat penggunaan bahan bakar.

Susilo J (2013) menuliskan daya dorong kapal merupakan komponen yang sangat penting yang mana digunakan untuk mengatasi tahanan (*resistance*) atau gaya hambat kapal. Pada kondisi yang sangat-sangat ideal, besarnya gaya dorong yang dibutuhkan mungkin sama besar dengan gaya hambat yang terjadi di kapal. Pada Gambar 3, Harvald (1983) menuliskan setiap kapal dipengaruhi oleh empat gaya yaitu gaya grafitasi, gaya apung, gaya dorong, dan kecepatan.



Gambar 3. Gaya yang bekerja pada kapal (Harvald, 1983)

Gerakan kapal dibebani 4 gaya yang tidak tergantung satu sama lainnya ;

1. Gaya hidrostatis yaitu massa kali percepatan gravitasi bumi (mg).
2. Hambatan hidrostatis (gaya apung) F_{Δ} atau γv . Seperti halnya mg , tekanan atau gaya ini selalu sejajar dengan Z_0 .
3. Resultante gaya hidrodinamik (F) yang didesakkan oleh air pada kapal sebagai akibat gerakan menerjang air tersebut. Gaya F dapat diuraikan dalam 2 (dua) ; komponen gaya angkat (L) dan komponen tahanan (atau *drag*) R (atau D). Dimana L tegak lurus terhadap kecepatan kapal dan R (atau D) sejajar V .

4. Gaya dorong (T), yang di desakkan oleh air pada pendorong kapal, umumnya berlawanan arah dengan R.

Tahanan total kapal terdiri dari beberapa komponen tahanan. Menurut Guldahammer dan Harvald (harvald, 1983), komponen tahanan dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan di bawah ini:

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T S v^2 \quad (1)$$

Dimana:

R_T = Tahanan Total (N)

ρ = Massa jenis fluida (Kg.det²/m)

C_T = Koefisien tahanan total

S = Luas bidang basah (m²)

v = Kecepatan (det/s)

Menurut Yamagata (Takashiro, 1980), tahanan total kapal dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan berikut:

$$EHP = EHP_F + EHP_R + EHP_A$$

$$R_T \times v = v (R_F + R_R + R_A)$$

Sehingga,

$$R_T = R_F + R_R + R_A \quad (2)$$

Dimana:

R_T = Tahanan total (N)

R_F = Tahanan gesek (N)

R_R = Tahanan sisa (N)

R_A = Tahanan Angin (N)

Menurut Holtrop dan Mennen (1987) perhitungan hambatan total dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$R_T = R_F (1+K_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (3)$$

Dimana :

R_F = Tahanan Gesek (N)

$(1+K_1)$ = Faktor bentuk yang menggambarkan tahanan viskositas pada bentuk lambung dalam hubungan dengan R_F . (N)

R_{APP} = Tahanan Bagian Menonjol (N)

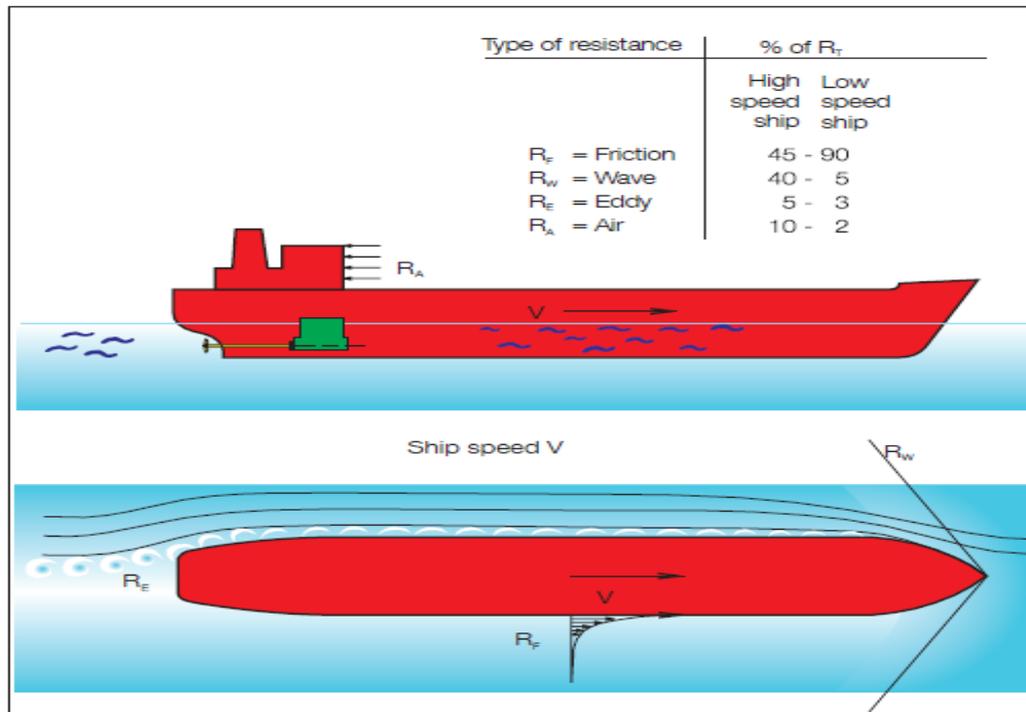
R_W = Tahanan Gelombang (N)

R_B = Tahanan tekanan pada bulbous bow dekat dengan permukaan Air (N)

R_{TR} = Tahanan tekanan bahan pada transom Stern yang terbenam (N)

R_A = Tahanan Korelasi model kapal (N)

Masing- masing komponen tahanan dapat dilihat pada Gambar 4 .
Macam-macam tahanan kapal dapat diuraikan sebagai berikut:



Gambar 4. Tahanan total kapal (Sumber: MAN, 2011).

1. Hambatan gesek (*frictional resistance*)

Tahanan Gesek (*friction resistance*) timbul akibat kapal bergerak melalui fluida yang memiliki viskositas seperti air laut, fluida yang berhubungan langsung dengan permukaan badan kapal yang tercelup sewaktu bergerak akan menimbulkan gesekan sepanjang permukaan tersebut, inilah yang disebut sebagai tahanan gesek. Tahanan gesek terjadi akibat adanya gesekan permukaan badan kapal dengan media yang dilaluinya. Oleh semua fluida yang mempunyai viskositas dan viskositas inilah yang menimbulkan gesekan tersebut. Penting tidaknya gesekan ini dalam suatu situasi fisik tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya (*flow pattern*). Viskositas adalah

ukuran tahanan fluida terhadap gesekan bila fluida tersebut bergerak. Jadi tahanan viskos (R_V) adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh viskos. Tahanan gesek (R_f) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R_F = C_F (1/2 \rho V^2 S) \text{ ..(kg)} \quad (4)$$

$$C_F = 0.075 / (\text{Log } 10R_n - 2)^2$$

$$R_n = V \cdot L_{CL} / \nu$$

Dimana,

R_n = Bilangan *Reynold*

C_F = Koefisien tahanan gesek

V = Kecepatan Kapal (m/det)

L_{CL} = Panjang Garis Air Konstruktif (m)

ν = Viskositas kinematik air laut (m²/det)

ρ = Massa jenis air laut (Kg /m³)

S = Luas permukaan basah lambung kapal (m²)

2. Tahanan Sisa (R_R)

Tahanan sisa didefinisikan sebagai kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari hambatan total (R_T) badan kapal dengan

hambatan gesek (R_F) dari permukaan kapal.

$$R_T = R_F + R_R \quad (5)$$

Hambatan sisa terdiri dari ;

a. Tahanan gelombang (*wave resistance*, R_W)

Tahanan gelombang adalah hambatan yang diakibatkan oleh adanya gerakan kapal pada air sehingga dapat menimbulkan gelombang baik pada saat air tersebut dalam keadaan tenang maupun pada saat air tersebut sedang bergelombang.

b. Faktor bentuk ($1+k_1$)

Tahanan ini erat kaitannya dengan bentuk badan kapal, dimana bentuk lambung kapal yang tercelup di bawah air menimbulkan suatu tahanan karena adanya pengaruh dari bentuk kapal tersebut. $1+k_1$ adalah faktor bentuk yang menggambarkan tahanan viskositas dari lambung yang berhubungan dengan R_F .

c. Tahanan tambahan (*appendage resistance*, R_{APP})

Tahanan ini mencakup tahanan akibat adanya pengaruh kekasaran permukaan kapal atau bagian-bagian tambahan pada lambung kapal. Tahanan tambahan (R_{APP}) dapat meningkat oleh tahanan dari bukaan *tunner bow thruster*.

d. Tahanan *bulbous bow* (*bulbous resistance*, R_B)

Tahanan tambahan yang terjadi oleh adanya *bulbous bow*.

e. Tahanan *transom* (*transom resistance*, R_{TR})

Tahanan tambahan oleh adanya *transom* yang terendam.

f. Tahanan udara (*air resistance*, R_A)

Tahanan udara diartikan sebagai tahanan yang di alami oleh bagian badan kapal utama yang berada diatas air dan bangunan atas (*superstructure*) karena gerakan kapal di udara.

Menurut ITTC (2008), tujuan pengujian tahanan di *towing tank* adalah untuk memperoleh hubungan antara koefisien tahanan sisa C_R dan *Froude number* Fr model kapal. Berdasarkan metode ITTC 1957, metode ini didasarkan pada asas *Froude* dan garis korelasi model pada tahun 1957. Melalui pengujian pada tangki percobaan maka dapat ditentukan koefisien tahanan total model (C_{TM}) dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2}\rho_M V_M^2 S_M} \quad (6)$$

R_{TM} adalah tahanan model, V_M adalah kecepatan model, S_M adalah permukaan basah model, dan ρ_M adalah massa jenis air di tangki percobaan. Selanjutnya koefisien tahanan sisa untuk model (C_{RM}) tersebut dapat dihitung dengan rumus:

$$C_{RM} = C_{TM} - C_{FM} \quad (7)$$

C_{FM} adalah koefisien tahanan gesek model. Koefisien tahanan sisa kapal (C_{RS}) pada angka *Froude* yang sama seperti angka *Froude* model dan angka *reynold* yang sesuai adalah :

$$C_{RS} = C_{RM} \quad (8)$$

Dengan memakai garis korelasi model-kapal ITTC 1957 sebagai ekstrapolator maka koefisien tahanan total untuk kapal (C_{TS}) yang mulus dapat ditentukan dengan memakai rumus :

$$C_{TS} = C_{FK} + C_{RS} \quad (9)$$

Selanjutnya, koefisien tahanan total kapal (C_{TS}) adalah:

$$C_{TS} = C_{FS} + C_{RM} + C_A \quad (10)$$

C_A adalah koefisien penambahan tahanan untuk korelasi model dan kapal. Koefisien ini juga memperhitungkan pengaruh kekasaran permukaan model. Beberapa tangki percobaan memakai koefisien C_A yang sama untuk semua jenis kapal. Misalnya $C_A = 0,0004$. Tangki percobaan lainnya hanya menganggap bahwa harus disesuaikan dengan jenis dan ukuran kapal. Jika yang dipakai sebagai parameter adalah ukuran kapal maka koefisien penambahan bervariasi seperti pada tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Nilai displacement dan C_A kapal (ITTC, 1957)

<i>Displacement</i> (ton)	C_A
1,000	0.6×10^{-3}
10,000	0.4×10^{-3}
100,000	0
1,000,000	-0.6×10^{-3}

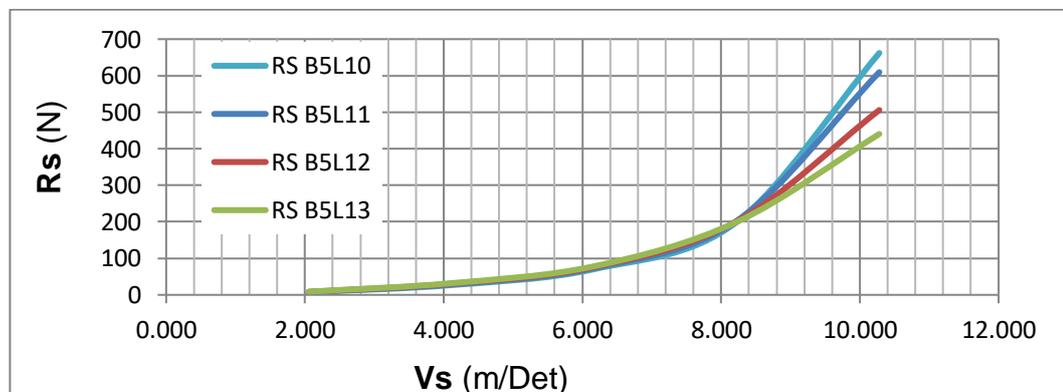
Ekstrapolator yang dipakai dapat mempunyai harga koefisien C_A yang negatif agar memperoleh hasil perkiraan yang berguna. Selanjutnya tahanan kapal (R_S) dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$R_S = \frac{1}{2} \rho_S S_S C_{TS} V_S^2 \quad (11)$$

Dimana,

- ρ = massa jenis air (kg/m^3)
- S = Luas bidang basah (m^2)
- V^2 = Kecepatan kapal (m/det)
- C_T = Koefisien tahanan total

Asri S, (2016) melakukan analisis perhitungan tahanan kapal *Ferry Ro-Ro* untuk beberapa variasi dimensi kapal yang berbeda. Analisis yang dilakukan adalah menilai pengaruh kecepatan kapal terhadap tahanan kapal pada kapal yang memiliki variasi panjang yang berbeda namun dimensi lebar dan saratnya adalah tetap. Kurva tahanan kapal dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Perhitungan tahanan secara numerik (Asri S, 2016)

Berdasarkan hasil perhitungan tahanan secara numerik menunjukkan bahwa kapal yang lebih pendek memiliki tahanan yang lebih kecil karena pengaruh luas bidang basahnya yang lebih kecil. Namun, itu hanya berlaku pada kecepatan yang rendah. Karena tingkat penambahan tahanannya lebih besar, pada kecepatan tertentu yang lebih tinggi, tahanannya menjadi lebih besar dibandingkan kapal yang panjangnya lebih besar walau lebarnya sama.

C. Prosedur Pengujian Model

Perhitungan tahanan kapal dapat dilakukan melalui metode percobaan model fisik kapal. Perkiraan tahanan kapal dilakukan dengan pengujian model di kolam uji (*towing tank*) seperti yang terlihat pada Gambar 6. *Towing tank* adalah sebuah tangki besar yang berukuran persegi panjang berisi air dengan panjang 60 meter, lebar 4 meter, dan kedalaman 3,5 meter. Kolam uji ini dilengkapi dengan penarik model kapal termasuk juga pembangkit gelombang (ombak).



Gambar 6. *Towing tank* Laboratorium Hidrodinamika Departemen Teknik Perkapalan Unhas

1. 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:

$$L_{ratio} = \frac{L_{model}}{L_{ship}} \text{ atau } \frac{L_M}{L_S} = L_r \quad (12)$$

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:

$$\frac{V_M}{\sqrt{gL_M}} = \frac{V_S}{\sqrt{gL_S}} \quad (13)$$

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 $f_i = \rho V^2 l^2$ dan yang bekerja pada viskositas $f_v = \mu V l$, dan memiliki rasio konstan pada semua *homologous points* model dan prototipe, memberikan persamaan berikut:

$$\frac{(f_i)_{\text{model}}}{(f_i)_{\text{prototype}}} = \frac{(f_v)_{\text{model}}}{(f_v)_{\text{prototype}}} \quad (14)$$

Atau

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

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

Dimana:

Re = *Reynold number*, Vl/v

V = Kecepatan

l = Panjang

v = Viskositas kinematis (m^2/det)

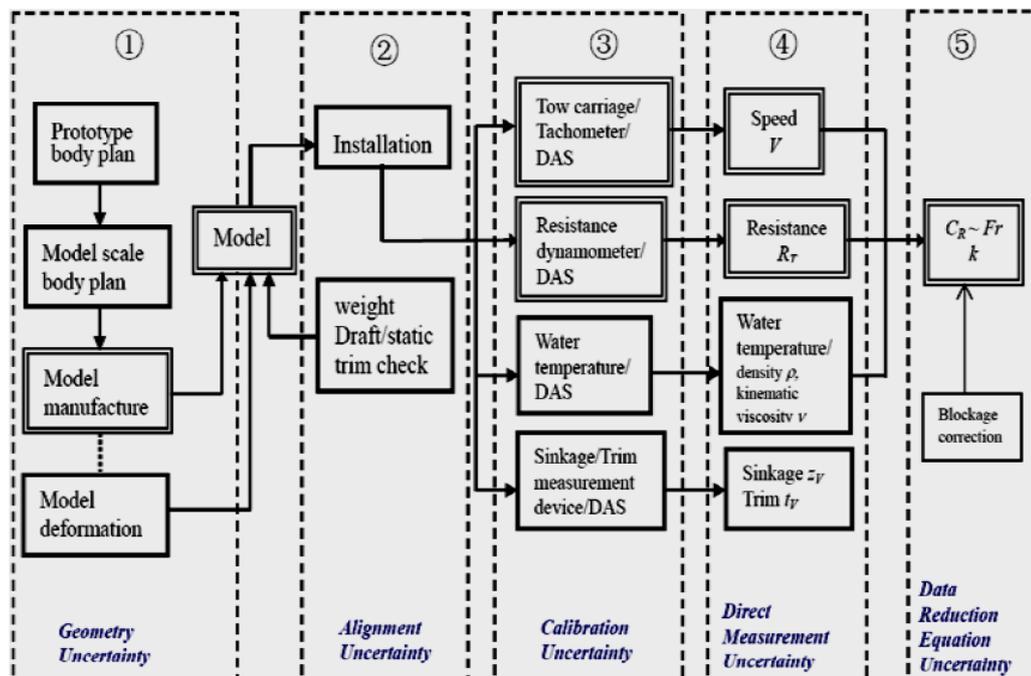
ρ = Massa jenis (kg/m^3)

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

$$B_m < 1/10 B \text{ tangki} \quad (15)$$

2. Prosedur pengujian tahanan

Menurut ITTC (2008) pengujian tahanan umumnya dibedakan dalam lima group seperti yang terlihat pada Gambar 7 di bawah ini:



Gambar 7. Diagram pengujian tahanan kapal (ITTC, 2008)

Setiap blok saling terkait ke blok lainnya. Sistem pengukuran pada pengujian hanya terdapat pada blok 2 hingga blok 4.

a. Geometri

Blok no.1 mencakup model geometri termasuk kesalahan dan deformasi selama pengujian. Dalam pengujian model penguji harus memperhatikan ukuran model yang digunakan. Besarnya ukuran model haruslah sesuai dengan tempat melakukan pengujian model. Sehingga diperlukan penskalaan terhadap ukuran kapal sampel untuk mendapatkan ukuran model.

Dalam penentuan skala model tergantung dari ukuran utama kapal yang sebenarnya, ukuran tangki percobaan, dan kecepatan tarik. Mengingat bahwa permukaan bebas zat cair pada tangki percobaan sangat terbatas, sehingga ombak yang ditimbulkan oleh dinding tangki akibat adanya getaran akan mempengaruhi gerakan model tersebut.

Penentuan permukaan basah pada lambung kapal sangat sulit, bahkan jika tidak ada kesalahan selama pembuatan model, karena efek dari gelombang dan sifat model selama berjalan. Besar area permukaan basah model biasanya diperoleh dari teori perhitungan di *body plan*. Kesalahan yang dihasilkan dari perhitungan tidak termasuk kedalam analisis pengujian dalam prosedur ini.

Hubungan antara tahanan dan bentuk model sangat rumit. Tahanan gesek umumnya diasumsikan sebanding dengan permukaan basah lambung model. Tahanan sisa dipengaruhi bentuk permukaan

waterline, sedangkan faktor bentuk lebih terkait pada bentuk lambung dari luas permukaan lambung.

Secara umum, tidak ada perhitungan untuk hubungan bentuk geometri pada tahanan kapal. Namun kesalahan bentuk geometri bisa berasal dari ukuran atau penskalaan lambung model, ketika model diperbesar atau diperkecil.

b. Pemasangan

Blok no. 2 menguraikan tentang pemasangan model atau pemeriksaan kelurusan, berat, dan kedalaman. Ketidaklurusan model dan *dynamometer* tahanan ke arah gerak *towing carriage*, ketidaklurusan gaya *towing* terhadap sumbu *shaft propeller*, dan lainnya, akan membuat tidak akuratnya pengukuran tahanan kapal, *running sinkage*, dan *trim*. Kesalahan model rancangan akan menghasilkan kesalahan pada luas permukaan basah model.

c. Kalibrasi

Blok no. 3 menunjukkan kalibrasi alat pengukuran yang akan digunakan selama pengujian yang dilakukan oleh laboratorium. Data yang terkait dengan alat atau sistem pengukuran diperoleh dari spesifikasi yang diberikan oleh produsen atau hasil kalibrasi di laboratorium.

d. Pengukuran langsung

Blok no. 4 menunjukkan hal yang berkaitan dengan pengambilan

data selama pengujian. Untuk Sistem Akuisisi Data (DAS), *sampling rate*, panjang sampel data, dan frekuensi *filter low-pass* dapat mempengaruhi nilai hasil pengukuran. Akibat DAS terhadap pengukuran sebaiknya dimasukkan kedalam kalibrasi sistem. Artinya, instrumen dikalibrasi pada sistem akuisisi data untuk pengujian.

e. Pengolahan data

Blok no. 5 menguraikan tentang proses pengolahan data. Pengolahan data dilakukan dengan memasukkan nilai tahanan total hasil pengujian model ke persamaan 6. Selanjutnya dibuat kurva untuk melihat hubungan tahanan kapal terhadap kecepatan. Dimensi *towing tank* cukup besar untuk mencegah efek dinding dan *blockage* selama pengujian model. Koreksi *blockage* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 15.

D. Towing Carriage C40E

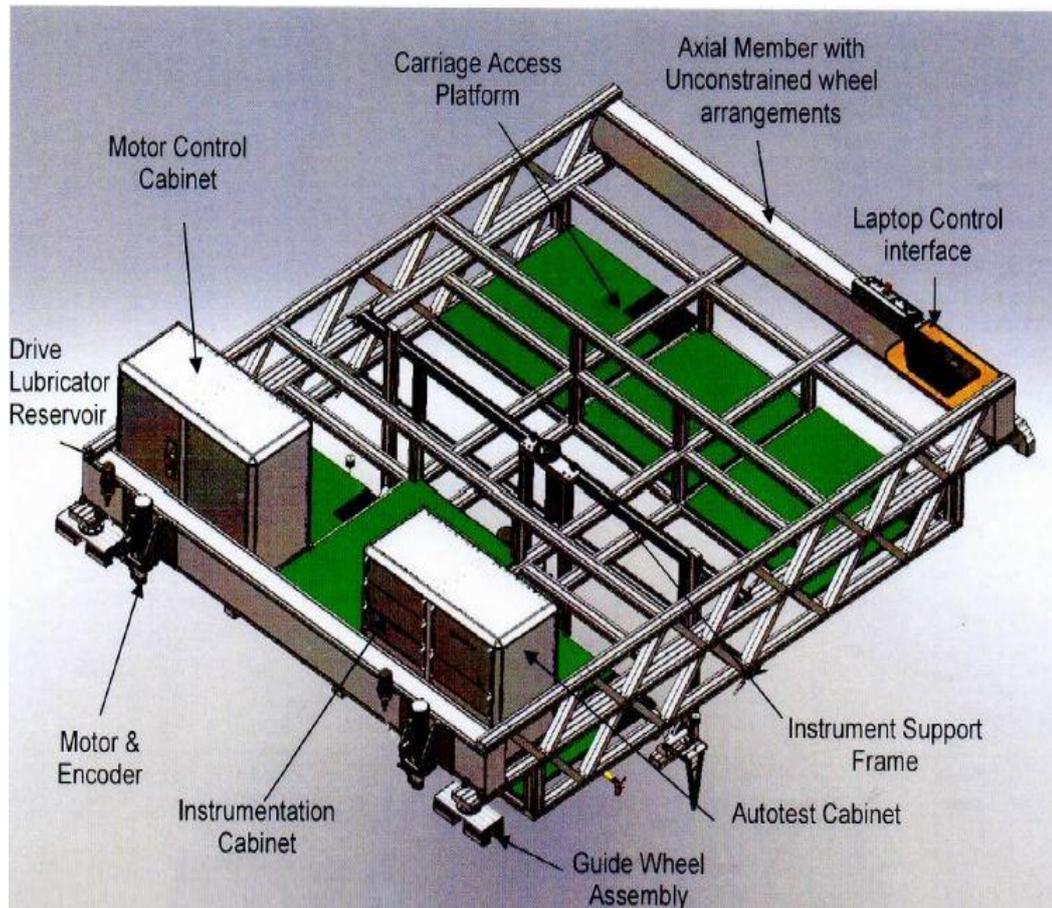
Towing carriage menyediakan perangkat untuk berbagai eksperimen hidrodinamika. Salah satu eksperimen yang dapat dilakukan adalah menarik model untuk mengukur tahanan kapal. Fungsi utama carriage adalah untuk memberikan kecepatan pada model, untuk menjaga kecepatan tetap akurat selama pengujian berlangsung, dan untuk memperlambat kecepatan dan berhenti dengan baik. Nilai kecepatan dan pengereman yang tinggi membuat panjang model yang dapat digunakan untuk eksperimen semakin besar, bergantung pada panjang tangki.

Kualitas *carriage* sangat bergantung pada desain *carriage* dan kualitas rel tempat *carriage* akan berjalan. Stiffnes *carriage* juga penting untuk memastikan getaran tidak terjadi selama operasi dan untuk menahan getaran dan gaya yang dihasilkan dari pengujian. Massa *carriage* sangat penting. *Carriage* yang terlalu ringan membuat *carriage* tidak mampu menahan model yang sedang diuji dengan gelombang yang panjang, sementara *carriage* yang terlalu berat akan sulit untuk dioperasikan pada kecepatan yang telah ditentukan pada jarak pendek.

Beberapa *carriage* didesain untuk digunakan pada tangki seluruh dunia. *Carriage* C40E adalah sebuah *bridge carriage* yang berjalan pada rel dikedua sisi tangki. Tipe *carriage* ini memiliki kekuatan yang jauh lebih baik dari *carriage* yang berjalan pada satu rel dan dapat menahan beban yang lebih besar dari pada *cantilever carriage*.

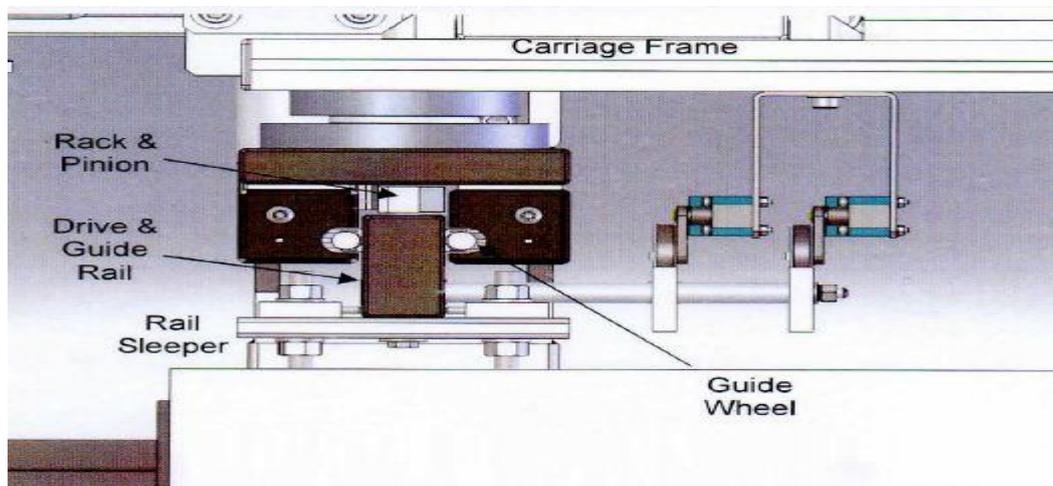
1. C40E Towing Carriage

Carriage C40E memiliki rangka yang ringan, kuat, dan merupakan *unmanned carriage* yang dibuat dari *extruded* aluminium dengan kekuatan maksimum dan berat yang paling ringan. Bentuk dan komponen pada *towing carriage* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. *Arrangement Carriage C40E*

Carriage didukung oleh empat rumah roda. Setiap rumah roda terdapat dua roda seperti yang terlihat pada Gambar 9, dan menunjukkan posisi rumah roda terhadap *carriage*. Setiap rumah roda terdapat dua pasang roda yang mendukung rangka *carriage*. Setiap roda memiliki sebuah cekungan yang terpasang pada dua batang yang terpasang pada rel.



Gambar 9. *Guide Wheel dan Rail Arrangement*

Carriage beroperasi tanpa operator di atasnya, sehingga *carriage* dikontrol oleh Omron PLC, *Supervisory Control*, dan *data Acquisition System*, yang digunakan untuk membuat program pengujian yang akan dijalankan oleh *carriage*. PLC dan sistem kontrol motornya dipasang pada *platform* yang terpasang pada salah satu *main axial members*. PLC akan memberikan perintah ke *motor controller*, yang akan menyuplai tenaga ke motor yang terpasang pada *carriage*. Motor akan menggerakkan *carriage* melalui *pinion wheel* yang berhubungan dengan gantungan yang terpasang pada rel *carriage*.

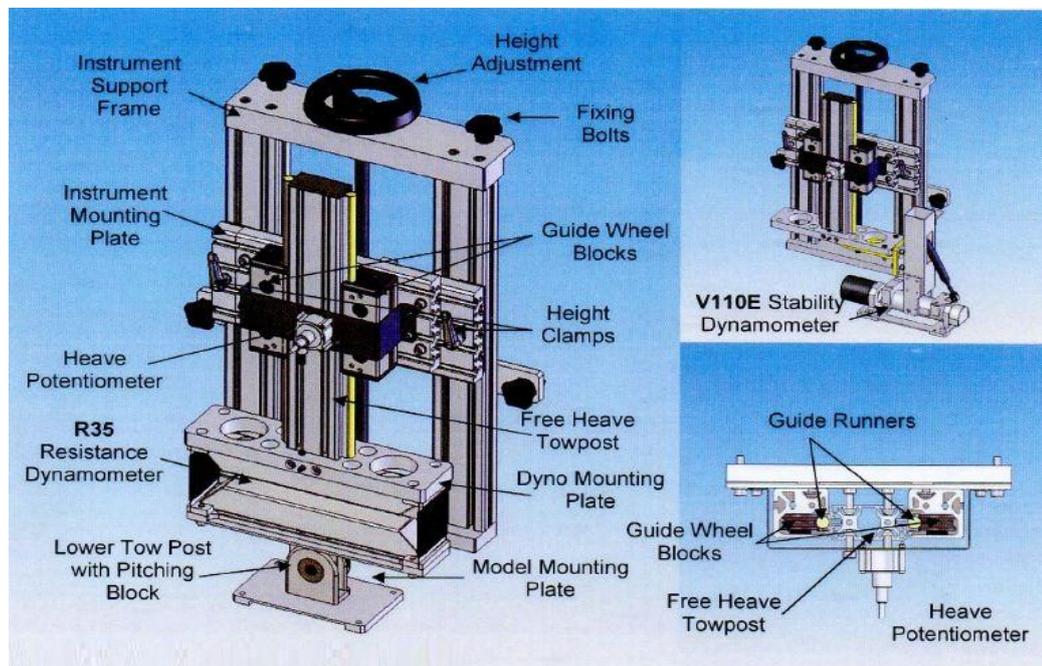
2. Rel Tangki

Rel tangki terbuat dari *extruded aluminium* yang memiliki kekuatan yang tinggi untuk menopang *carriage*, tetapi ringan untuk instalasinya. Di permukaan aluminium terdapat sejumlah celah. Dua sisi celah digunakan

untuk menempatkan dua batang yang terbuat dari *stainless steel* dan satu batang pada setiap sisi rel. Batang ini dipasang menggunakan penjepit khusus yang menguncinya ke dalam celah. Rel biasa terpasang pada bagian atas sisi pada tinggi yang sama dengan bagian atas *guide rail*. Rel ini tidak membutuhkan *guide rods* atau *rack*, serupa dengan roda konvensional yang berjalan di atas permukaan rel.

3. Free Heave tow post

Tow post dapat dilihat pada Gambar 10. *Tow post* terdiri dari *spacer blok*, *guide blok*, *upper heave element* (terdapat *flange* yang berhubungan dengan *resistance dynamometer* atau *stability dynamometer*) dan *low towpost element* dengan *pitching block* untuk membuat model memiliki trim yang normal ketika ditarik.



Gambar 10. Towing Post

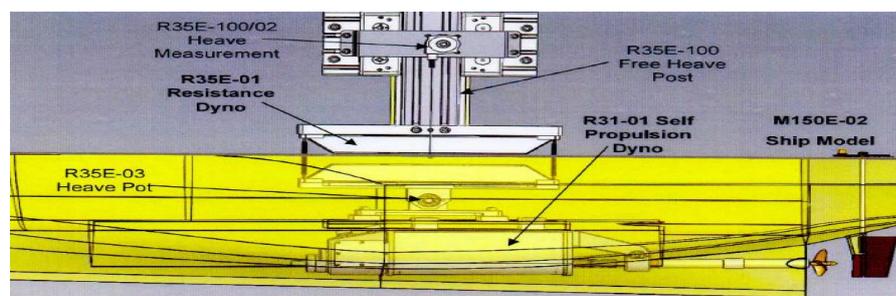
Di bawah *towing post* terpasang sebuah blok untuk menempatkan *dynamometer*. Di bawah *dynamometer* terdapat *lower tow post* yang digunakan untuk menempatkan model. pada *lower tow post* terdapat *bearing block* yang membuat model memiliki pergerakan yang bebas saat *pitching* dimana terdapat potensiometer untuk mengukur sudut *trim/pitch* di air tenang maupun gelombang.

4. *Dynamometers*

Carriage C40E dapat dihubungkan dengan beberapa macam *dynamometer* yaitu sebagai berikut.

- a. R35E *resistance dynamometer*.
- b. R300E *ship model balance / stability dynamometer*
- c. R75E atau R31 *self propulsion dynamometer*.
- d. H75E *open water propeller dynamometer*.
- e. N10E *wake rake*.
- f. V110E *stability dynamometer*.

Ilustrasi pemasangan beberapa macam *dynamometer* pada model dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Ilustrasi pemasangan *dynamometer*

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini termasuk penelitian kuantitatif yaitu dengan melakukan pengujian model di *towing tank* untuk mengetahui kapasitas muat yang optimum berdasarkan tahanan kapal yang rendah dan kecepatan yang optimum.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin Makassar. Penelitian dilaksanakan selama \pm 11 bulan terhitung mulai dari bulan Februari 2018.

C. Jenis Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dan data primer. Data sekunder berupa data ukuran kapal ferry ro-ro, data *lines plan*, dan data hasil perhitungan tahanan dari penelitian Asri S (2016). Data primer berupa data ukuran utama model kapal dan data tahanan kapal yang telah diukur di Laboratorium Hidrodinamika Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

D. Pembuatan Model

Model dibuat di Laboratorium Hidrodinamika Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Beberapa kebutuhan yang diperlukan selama pembuatan model dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Tabel kebutuhan model.

No	Komponen	Satuan	Jumlah
Bahan			
1	Resin butek	Kg	2
2	Tripleks	Lembar	3
3	Lem korea	Botol	30
4	Katalis	Botol	1
5	Lem fox putih	Botol	1
6	Lemlilin	Batang	10
7	Dempul	Kaleng	1
8	Thinner	kg	6
Bahan			
9	epoxy	kg	2
10	Cat putih	Kg	1
11	Cat kuning	Kg	1
12	Mat 300	Kg	4
Peralatan			
13	Cutter	Buah	5
14	Mata cutter	<i>Pack</i>	2
15	Spidol	Buah	3
16	Kuas	Buah	6
17	Amplas	Meter	2
18	Mata Gerinda Potong	Buah	1

No	Komponen	Satuan	Jumlah
Peralatan			
19	Mata Gerinda Amplas	Buah	1
20	Penggaris	Buah	1
21	Meteran	Buah	1
22	Gunting	Buah	3
23	Pisaudempul	<i>Pack</i>	1
24	Pensil	Buah	2
25	Spidol	Buah	1
26	Tembakan lemlilin	Set	1
27	Kuas	Buah	5
28	Baskom	Buah	2
29	Selang	Meter	2
30	Timbangan Digital	Kg	1
31	Pemberat	Kg	10

Pembuatan model dilakukan dengan beberapa tahap sebagai berikut:

1. Gambar model dibagi menjadi beberapa section. Section yang telah dibagi dipisah-pisahkan sehingga dapat dibentuk menjadi sebuah *frame*. Section diberikan ketebalan agar menjadi pola untuk *frame*.
2. Gambar section diprint dan ditempel ke material yang akan dijadikan *frame*.



Gambar 12. Gambar section pada material *frame*

3. Section akan membentuk pola yang kemudian dipotong sehingga membentuk *frame*.
4. *Frame* yang sudah jadi direkatkan pada pola waterline model secara terbalik sehingga deck model berada di bawah.



Gambar 13. *Frame* direkatkan pada pola waterline

5. *Frame* yang sudah terpasang secara keseluruhan selanjutnya dapat dipasang kulit membentuk pola dari susunan *frame* tersebut.



Gambar 14. Pemasangan kulit

6. Setelah itu, pemasangan fiber matt pada lambung luar dan dalam kapal agar lebih kuat.



Gambar 15. Pemasangan fiber matt

7. Hasil pemasangan fiber matt pada lambung sisi luar model akan membuat permukaannya tidak rata sehingga permukaan diratakan dengan menggunakan amplas.
8. Permukaan yang masih kurang rata akan ditambahkan dempul guna menghasilkan permukaan yang rata kemudian dihaluskan kembali dengan diampelas.



Gambar 16. Proses dempul model

9. Langkah selanjutnya adalah pemasanganudukan alat pengujian pada lambung model bagaian dalam.



Gambar 17. Pemasanganudukan alat pengujian

10. Pemasangan *main deck* sebagian.



Gambar 18. Pemasangan *main deck*

11. Selanjutnya dapat dilakukan proses pengecatan model.



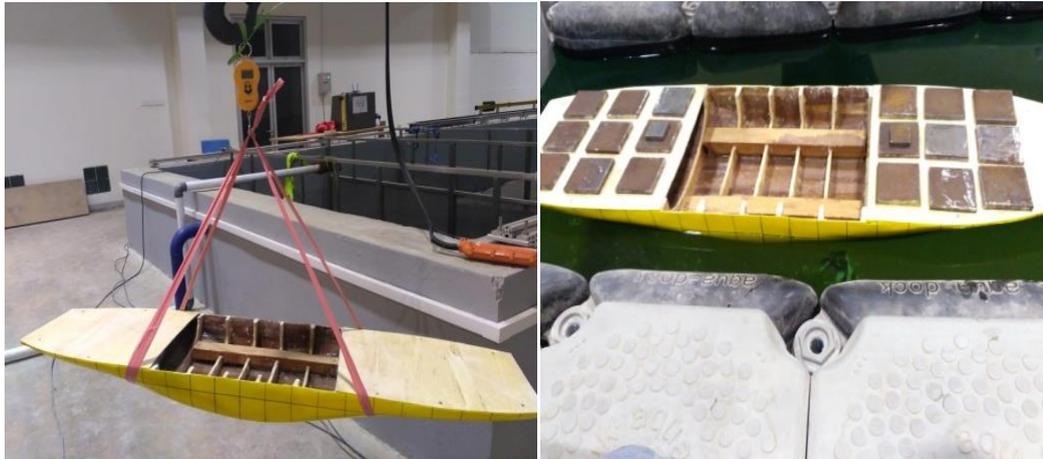
Gambar 19. Hasil Pengecatan Model

12. Setelah proses pengecatan selesai barulah langkah marking dimulai.



Gambar 20. Proses Marking Model

13. Model yang selesai dimarking kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat kosong model. Kemudian dilakukan tes *draft* di *towing tank*. Test *draft* ini dilakukan dengan menambahkan pemberat pada model hingga kapal mencapai full *draft*. Setelah mencapai full *draft*, total berat dari pemberat ditimbang. Berat kosong model dijumlahkan dengan berat total pemberat merupakan total *displacement* model. Data hasil pengukuran berat model dan pemberat dapat dilihat pada Tabel 7.



Gambar 21. Penimbangan dan test *draft* model.

14. Selanjutnya dilakukan koreksi *displacement*. Koreksi *displacement* dilakukan dengan membandingkan *displacement* model dan *displacement* kapal. Hasil pengukuran berat model dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Perbandingan Berat dan *displacement* kapal dan model.

Jenis Ukuran	Total displacement (kg)			
	B5L10	B5L11	B5L12	B5L13
Berat kosong model	6,12	6,56	7,03	7,64
Berat total Pemberat	14,79	16,77	17,61	20,51
<i>Displacement</i> model	24,70	26,40	29,70	32,20
<i>Displacement</i> kapal	20,91	23,33	24,63	28,14
Selisih	3,80	3,07	5,07	4,06

Displacement model yang lebih kecil atau besar akan dikontrol dengan mengurangi atau menambahkan pemberat sehingga *displacement* model rancangan sama dengan *displacement* kapal.

E. Eksperimental Set Up

Sebelum melakukan pengujian kapal, terdapat beberapa hal yang harus dipersiapkan. Hal yang harus dipersiapkan diantaranya adalah matriks waktu pengujian, matriks kebutuhan pengujian, dan SOP pengujian. Masing-masing hal tersebut akan dibahas berikut ini:

1. Matriks waktu pengujian

Matriks waktu pengujian diperlukan untuk mengetahui berapa lama tiap tahapan pengujian dilakukan. Matriks waktu pengujian secara rinci disajikan pada tabel 4

Tabel 4. Matriks waktu pengujian

No	Tahapan Pengujian	Waktu
Persiapan		
1	Menyambung semua kabel power peralatan monitor <i>towing carriage</i>	60 detik
2	Menyalakan saklar pada sumber listrik.	10 detik
3	Mengaktifkan power pada monitor <i>towing carriage</i> .	10 detik
4	Mengaktifkan power pada <i>towing carriage</i> .	10 detik
5	Merestet monitor <i>towing carriage</i> .	5 detik

No	Tahapan Pengujian	Waktu
Persiapan		
1	Menyambung semua kabel power peralatan monitor <i>towing carriage</i>	60 detik
2	Menyalakan saklar pada sumber listrik.	10 detik
3	Mengaktifkan power pada monitor <i>towing carriage</i> .	10 detik
4	Mengaktifkan power pada <i>towing carriage</i> .	10 detik
5	Merest monitor <i>towing carriage</i> .	5 detik
6	Menyambungkan semua sambungkan kabel dari monitor <i>towing carriage</i> ke computer kemudian nyalakan komputer.	5 detik
7	Membuka file C40E yang ada pada desktop computer (berupa file excel).	30 detik
8	Memasang alat heave tow post pada <i>carriage</i> .	10 menit
9	Memasang alat R35E <i>Pitch Transducer and Mounting Foot Assembly</i> .	5 menit
10	Memasang alat <i>R35 Resistance Dynamometer</i>	10 menit
11	Memasang Model	15 menit
12	Memasang bracket <i>carriage</i> haluan dan buritan.	5 menit
13	Memasang soket <i>R35 resistance dynamometer</i> , <i>heave tow post</i> , dan R35E pitch pada panel mesin <i>carriage</i> .	5 menit
Pengujian		
14	Pengujian model B5L10	4 jam
15	Pengujian model B5L11	4 jam
16	Pengujian model B5L12	4 jam
17	Pengujian model B5L13	4 jam

2. Matriks kebutuhan pengujian

Matriks kebutuhan pengujian merupakan rincian kebutuhan yang diperlukan selama pengujian. Matriks kebutuhan pengujian secara rinci dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Matriks kebutuhan pengujian

No	Nama Barang	Jumlah
Model		
1	Model B5L10	1
2	Model B5L11	1
3	Model B5L12	1
4	Model B5L13	1
Peralatan		
5	<i>Dynamometer</i>	1
6	Komputer	1
7	<i>Towing carriage</i>	1
8	Monitor <i>towing carriage</i>	1
9	Termometer	1
10	R35E <i>pitch transducer and mounting foot assembly</i>	1
11	<i>Crane</i>	1
12	<i>Towing tank</i>	1

3. SOP Pengujian

Sebelum melakukan pengujian tahanan kapal di *towing tank* perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pastikan jumlah air di *towing tank* cukup untuk melakukan pengujian. Kondisi kolam bersih dan tidak ada kotoran yang dapat mempengaruhi hasil pengujian.
2. *Dynamometer* telah terkalibrasi dan kondisi baik.
3. *Towing carriage* dalam kondisi baik dan semua baut-baut lengkap.
4. Monitor *towing carriage* dan komputer dalam kondisi baik dan siap digunakan.
5. Ukur suhu air *towing tank*.

Setelah melakukan langkah-langkah persiapan selanjutnya dilakukan pengukuran tahanan kapal melalui prosedur pengujian sebagai berikut:

1. Nyalakan semua peralatan *towing tank*. Peralatan *towing carriage* dapat dinyalakan dengan cara berikut:
 - a) Sambungkan semua kabel power peralatan monitor *towing carriage*.
 - b) Nyalakan saklar pada sumber listrik.
 - c) Putar catu power pada monitor *towing carriage*, pastikan lampu indikator power menyala.
 - d) Putar catu power pada *towing carriage*.
 - e) Tekan tombol reset pada monitor *towing carriage*, dan tunggu sampai indikator power pada mesin *carriage* menyala.

- f) Pastikan tombol *emergency* dalam keadaan aktif.
 - g) Nyalakan komputer dan pastikan semua sambungkan kabel dari monitor *towing carriage* tersambung ke komputer.
 - h) Buka file C40E yang ada pada desktop komputer (berupa file excel).
 - i) Peralatan *towing carriage* siap untuk digunakan.
2. Pasang alat *heave tow post* pada *carriage* sebagai penghubung antara model dengan *carriage*.
 3. Pasang alat R35E *pitch transducer and mounting foot assembly*, sebagai penghubung antara model dengan R35 *resistance dynamometer*.
 4. Pasang alat R35 *resistance dynamometer* di atas R35E.
 5. Untuk memasang model pada *carriage*, maka *carriage* harus dimajukan dengan cara pilih menu JOG pada *home monitor cussions* lalu tekan dan tahan *forward fast* sampai *carriage* maju pada posisi yang cukup untuk menempatkan model ke dalam kolam.
 6. Masukkan model yang telah dipasangi alat R35 dan R35E ke dalam kolam dengan menggunakan *crane*. Pastikan model dalam posisi sarat yang diinginkan dengan memballast model.
 7. Mundurkan kembali *carriage* dengan cara pilih menu JOG pada *home monitor cussions* lalu tekan dan tahan *reverse fast* agar kembali pada posisi awalnya.

8. Untuk memasang model pada *carriage*, proses pemasangannya adalah memasang R35 *resistance dynamometer* dengan *heave tow post* dengan cara diertatkan oleh baut.
9. Pasang *bracket carriage* pada model di haluan dan buritan dengan cara diertatkan oleh baut.
10. Selanjutnya adalah memasang soket R35 *resistance dynamometer*, *heave tow post*, dan R35E *pitch* pada panel mesin *carriage*.
11. Untuk melakukan proses *running* uji model masukkan data jarak, kecepatan, dan percepatan pada menu *home* di *monitor cussions*.
12. Pilih menu *logging* kemudian pilih item yang telah dipasang pada *carriage* dan model.
13. Kemudian tekan *star logging*, lalu pilih *back* untuk kembali pada menu *home*.
14. Setelah itu tekan *start* pada menu *home* sehingga *carriage* akan bergerak maju dengan jarak dan kecepatan yang telah ditentukan.
15. Setelah *carriage* berhenti, kembali ke menu *logging* dan pilih *stop logging* lalu pilih *back* untuk kembali kemenu *home*.
16. Kemudian pilih *homing* pada menu *home* agar *carriage* kembali ke posisi semula.

17. Lalu klik *import* data pada file excel C40E pada komputer sehingga didapatkan hasil berupa nilai tahanan model kapal yang telah diuji di *towing tank* laboratorium.

4 Pelaksanaan Pengujian Model

Pengujian dilakukan di *Towing Tank* Laboratorium Hidrodinamika Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Jadwal pengujian tiap model dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Jadwal pengujian tiap model.

Seri Model	Jadwal Pengujian
B5L10	30 Oktober 2018
B5L11	31 Oktober 2018
B5L12	1 November 2018
B5L13	14 November 2018

5 Analisis

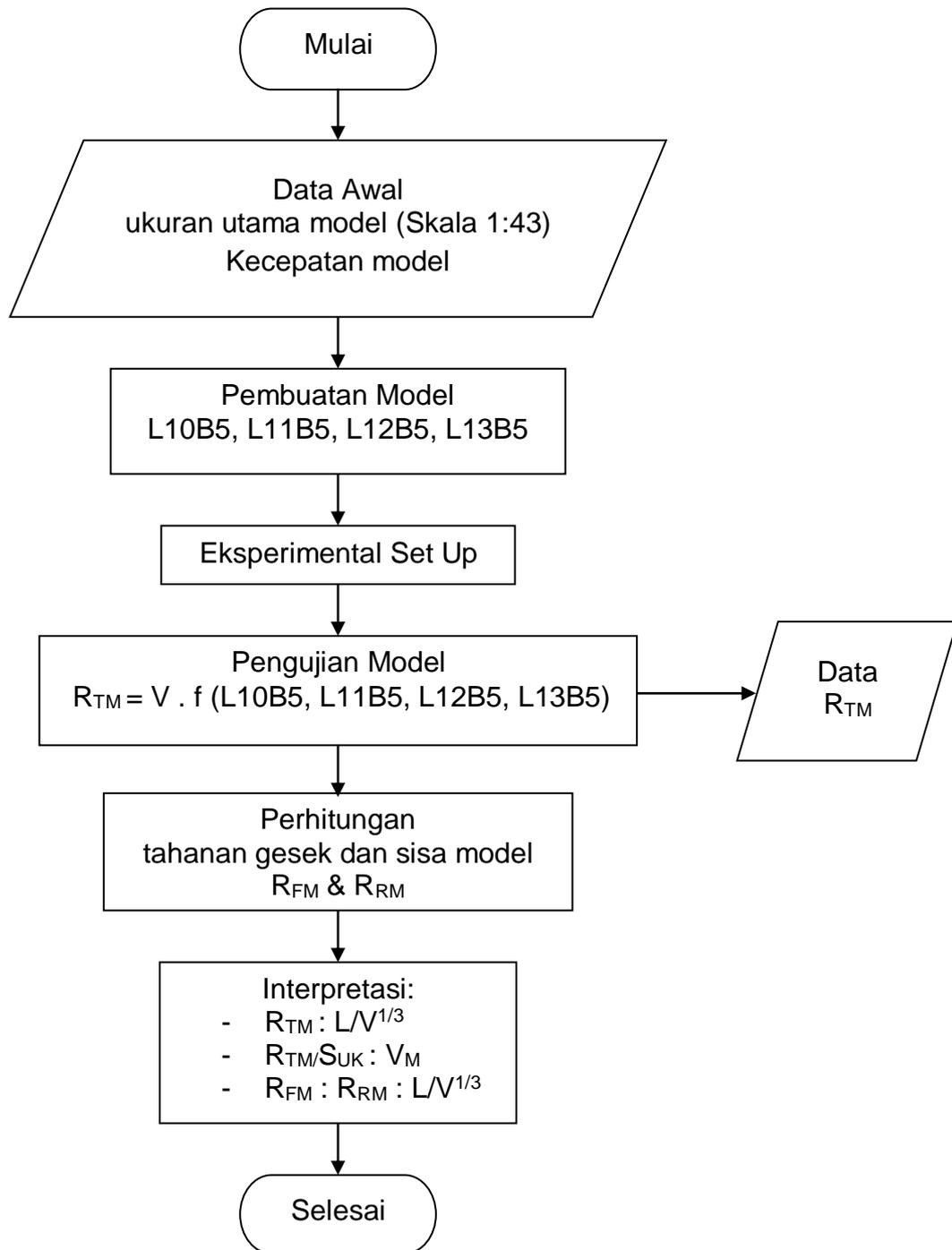
Hasil dari pengujian model di *towing tank* adalah tahanan total model (R_{TM}). Nilai R_{TM} dimasukkan ke persamaan 6 kemudian dihitung untuk mendapatkan nilai koefisien tahanan total model (C_{TM}). Hasil perhitungan nilai C_{TM} dibuat menjadi grafik terhadap nilai peningkatan kecepatan. Hal ini dilakukan untuk melihat bagaimana pengaruh tahanan terhadap kecepatan model. Grafik yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan grafik hubungan tahanan dan kecepatan pada

penelitian terdahulu kemudian. Kedua kurva tersebut kemudian dibandingkan apakah memiliki bentuk tendensi yang sama. Selanjutnya pembahasan dilanjutkan pada analisis pengaruh tahanan terhadap rasio panjang dan volume model ($L/V^{1/3}$). Rasio $L/V^{1/3}$ dibuat sebagai *nondimensi parameter*.

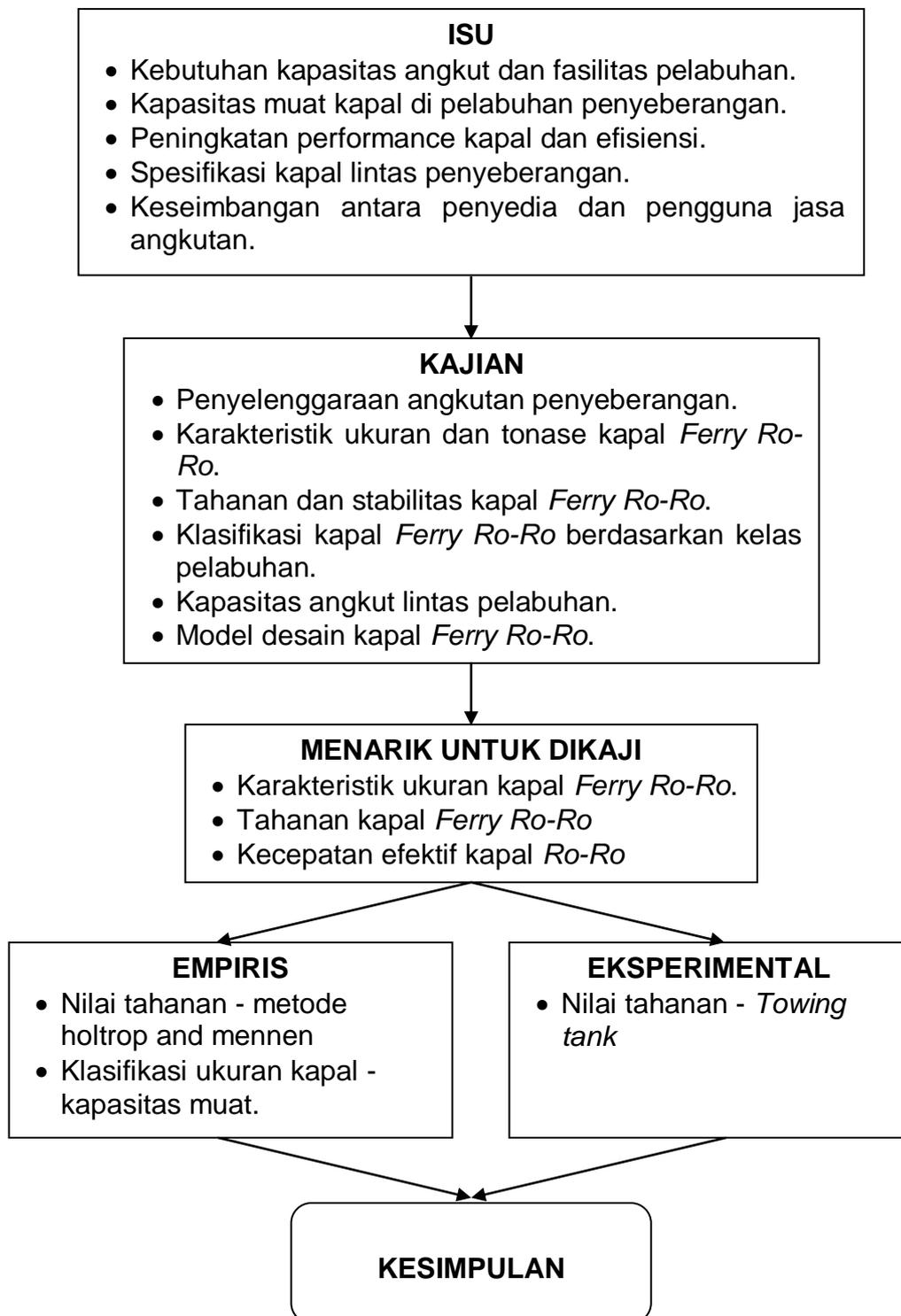
Selanjutnya dilakukan interpretasi mengenai pengaruh rasio tahanan (R_{TM}) dan kapasitas muat kapal (S_{UK}) terhadap kecepatan. Kapasitas muat dibuat dalam Satuan Unit Kendaraan (S_{UK}) yang merupakan satuan kendaraan yang dimuat kapal penyeberangan. Melalui kurva yang dihasilkan akan dinilai bagaimana pengaruh rasio R_{TM}/S_{UK} terhadap kecepatan. Selanjutnya, setiap kurva garis hubungan antara rasio R_{TM}/S_{UK} terhadap kecepatan dibuat persamaan matematika. Persamaan matematika ini akan kemudian diperoleh dari hasil trendline kurva dari program microsoft excel. Persamaan matematika ini akan diterima jika nilai uji korelasi ditunjukkan dengan $R^2 > 90\%$. Persamaan ini kemudian digunakan untuk menghitung nilai kecepatan dari nilai rasio R_{TM}/S_{UK} yang sama pada berbagai variasi panjang kapal.

Selanjutnya akan dinilai pengaruh tahanan gesek (R_{FM}) dan tahanan sisa terhadap tahanan total. Nilai tahanan gesek (R_{FM}) akan dihitung dengan menggunakan persamaan 4 dan tahanan sisa model (R_{RM}) akan dikalkulasikan menggunakan persamaan 5. Hasil perhitungan R_{FM} dan R_{RM} akan dibuat dalam bentuk tabel dan grafik untuk melihat tendensi kurva antara pengaruh R_{FM} dan R_{RM} terhadap kecepatan (V_M).

Selanjutnya akan dihitung berapa persen pengaruh masing-masing dari R_{FM} dan R_{RM} terhadap tahanan total. Hasil perhitungan tersebut akan memperlihatkan komponen tahanan yang mana yang berpengaruh pada kenaikan nilai tahanan total kapal.



Gambar 22. Kerangka alur penelitian



Gambar 23. Kerangka pikir

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini beberapa hasil penelitian terkait dengan pengaruh pertambahan panjang terhadap tahanan kapal ferry ro-ro dimana variabel lebar dan sarat kapal dikondisikan tetap. Diawali dengan pembahasan dari hasil penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Asri (2016), dimana beberapa tahanan kapal telah diprediksi dengan menggunakan program aplikasi yang dapat dinyatakan juga sebagai hasil numerik. Prediksi tahanan ini dengan mempertimbangkan pertambahan dimensi kapal yakni panjang, lebar, dan sarat.

Variabel penambahan mencakup semua aspek dimensi kapal. Hal ini telah dijelaskan lebih singkat pada Subbab A. Selanjutnya, berangkat dari hasil penelitian terdahulu tersebut, penelitian yang sekarang ini dilanjutkan dengan mencoba memvalidasi hasil penelitian terdahulu dengan hasil penelitian yang sekarang ini berdasarkan pada nilai tahanan kapal dari hasil eksperimen atau pengujian model di *towing tank*. Namun pada penelitian ini, prediksi tahanan melalui pengujian model ini terfokus hanya pada satu variabel penambahan dimensi yakni pertambahan panjang kapal. Hal ini juga telah dijelaskan alasan pemilihan satu variabel penambahan panjang pada Subbab A.

Hasil pengujian model dan pembahasannya telah lebih detail dijelaskan pada Subbab B. Disini, selain data pengujian yang telah

didapatkan, karakteristik interaksi lambung kapal dengan air dapat dilihat dengan berbagai peningkatan kecepatan model (V_M) melalui gambar-gambar. Sebagaimana penjelasan sebelumnya, hasil pengujian model yang didapatkan lebih lanjut diolah dan dibahas untuk menghasilkan interpretasi atas karakteristik pengaruh panjang kapal terhadap nilai tahanan kapal. Adapun hasil interpretasi yang didapatkan yakni pengaruh pertambahan panjang kapal terhadap tahanan dimana variabel dimensi lebar dan sarat kapal tetap. Hal ini dijelaskan secara detail pada Subbab C. Pengaruh rasio tahanan total dan kapasitas muat kapal dijelaskan secara terinci pada Subbab D. Selanjutnya, pengaruh komponen tahanan gesek dan tahanan sisa terhadap tahanan total kapal dibahas secara detail pada Subbab E.

A. Hasil Penelitian Terdahulu

Pada penelitian terdahulu, berdasarkan penelitian Asri (2016), ada 50 variasi ukuran kapal sampel yang didesain untuk keperluan analisis tahanan. Ukuran kapal sampel terdiri dari 17 macam ukuran panjang dan 5 macam ukuran lebar. Koefisien blok (C_b) kapal dibuat 5 macam yaitu mulai dari 0,55 sampai 0,65 dengan interval kenaikan 0,02. Dengan lebar, sarat, dan koefisien blok yang sama, kapal yang lebih panjang memiliki luas bidang basah yang lebih besar. Semakin besar luas bidang basah kapal maka tahanan kapal juga semakin besar.

Berdasarkan hasil penelitian Asri (2016), tahanan kapal dihitung

dengan menggunakan program aplikasi dengan pendekatan metode Holtrop dan Mennen. Pada kecepatan rendah tingkat penambahan tahanan lebih besar sedangkan pada kecepatan tinggi tingkat penambahan tahanan lebih kecil. Sebagai contoh, penambahan tahanan kapal seri B2L5 dari kecepatan 0.5 knot ke kecepatan 1 knot adalah dari 44 newton menjadi 159 newton (meningkat sebesar 260,55%). Pertambahan tahanannya dari kecepatan 1 knot ke kecepatan 1.5 knot adalah 159 newton menjadi 337 newton (meningkat sebesar 112,47%). Selanjutnya, peningkatan tahanan kapal seri B2L5 dari kecepatan 17,5 knot ke 18 knot hanya sebesar 8.06%, yakni dari 193275 newton menjadi 208847 newton (Asri, 2016, 212).

Menurut Asri (2016) karena luas bidang basah yang lebih kecil, kapal yang lebih pendek memiliki tahanan yang lebih kecil. Namun itu hanya berlaku pada kecepatan yang lebih rendah. Karena tingkat pertambahan tahanannya yang lebih besar, pada kecepatan tertentu yang lebih tinggi, tahanannya menjadi lebih besar dibanding kapal yang panjangnya lebih besar walau lebarnya sama. Tabel 7 memperlihatkan rata-rata tingkat pertambahan tahanan kapal sampel sebagai fungsi dari kecepatan. Tahanan kapal dihitung dari kecepatan 0,5 knot hingga 18 knot dengan interval 0,5 knot.

Tabel 7. Rerata tingkat pertambahan tahanan kapal sampel sebagai fungsi dari kecepatan (sumber: Asri, 2016).

Kode	Seri Panjang			Seri Lebar					
	LBP (m)	LWL (m)		B2	B3	B4	B5	B6	
				B (m)	9,000	11,700	14,400	17,100	19,800
				H (m)	2,700	3,510	4,118	15,076	6,607
				T (m)	1,800	2,340	2,678	3,366	4,627
CB	0,550	0,550	0,550	0,550	0,550				
L5	29,111	30,276	Rerata tingkat pertambahan tahanan dari kecepatan 0,5 knot hingga 18 knot (%); interval kecepatan 0,5 knot.	31,45					
L6	35,000	36,400		30,73	31,09				
L7	40,889	42,524		29,94	30,75				
L8	46,778	48,649		28,49	30,24	30,26			
L9	52,667	54,773		27,88	29,40	29,81	29,85		
L10	58,556	60,898		27,44	28,53	28,86	29,13		
L11	64,444	67,022			27,94	28,23	28,54	28,91	
L12	70,333	73,147			27,55	27,81	28,25	28,52	
L13	76,222	79,271			27,31	27,54	27,83	28,22	
L14	82,111	85,396			27,13	27,38	27,62	27,97	
L15	88,000	91,520				27,24	27,46	27,78	
L16	93,889	97,644				27,13	27,35	27,64	
L17	99,778	103,769				27,05	27,23	27,46	
L18	105,667	109,893					27,12	27,30	
L19	111,556	116,018					27,02	27,15	
L20	117,444	122,142					26,93	27,02	
L21	123,333	128,267						26,90	
L22	129,222	134,391						26,80	

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya oleh Asri (2016) maka dilakukan uji Eksperimen untuk melihat kesesuaian nilai tahanan dari hasil perhitungan numerik dan hasil uji eksperimen. Terdapat empat kapal yang

digunakan sebagai sampel dalam pengujian ini yaitu B5L10, B5L11 B5L12, dan B5L13. Keempat kapal ini merupakan representasi dari penambahan ukuran panjang kapal. Keempat kapal ini dipilih karena memiliki ukuran *draft* yang cukup besar sehingga diharapkan tidak mengakibatkan bangkitan gelombang di haluan yang akan naik ke *main deck*. Kapal ini selanjutnya dibuat model dengan skala 1:43 dengan cara seperti yang dijelaskan pada subbab III.E.

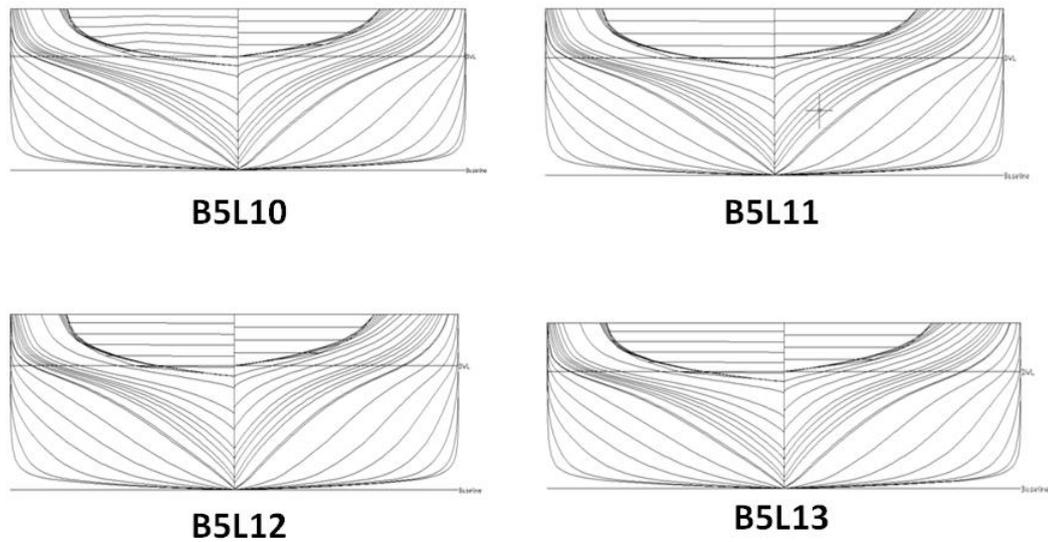
Pengujian dilakukan dengan mengikuti prosedur yang telah dijelaskan sebelumnya pada subbab III.F. Setelah dilakukan uji eksperimen maka dihasilkan data seperti yang dijelaskan pada subbab B di Bab IV ini.

B. Penyajian Data

Penelitian ini menggunakan empat kapal *ferry* yang memiliki empat variasi ukuran panjang sedangkan ukuran lebar, tinggi dan sarat adalah tetap. Ukuran kapal dapat dilihat pada Tabel 8. Adapun *body lines plan* untuk masing-masing seri kapal dapat dilihat pada Gambar 24.

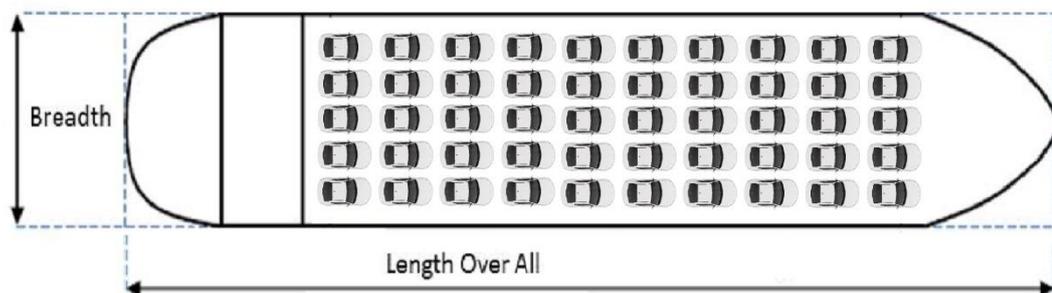
Tabel 8. Ukuran utama kapal *ferry* untuk analisis tahanan (Asri, 2016)

Ukuran Kapal	Ukuran Kapal (m)			
	B5L10	B5L11	B5L12	B5L13
Lbp	58,56	64,44	70,33	76,22
B	17,10	17,10	17,10	17,10
H	5,08	5,08	5,08	5,08
T	3,37	3,37	3,37	3,37



Gambar 24. Body Lines Plan kapal

Ukuran kendaraan di atas geladak kendaraan adalah sama yaitu kendaraan golongan IV yang memiliki panjang 5 meter dan lebar 2,1 meter. Penambahan panjang kapal dipengaruhi oleh penambahan deretan kolom kendaraan. Kode L10 pada seri model B5L10 berarti terdapat 10 kolom deret kendaraan dan kode B5 pada seri model B5L10 berarti terdapat 5 baris kendaraan. Ilustrasi tata letak kendaraan di geladak kendaraan kapal ferry ro-ro dapat di lihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Tata letak kendaraan di atas geladak kendaraan.

Jumlah muatan kendaraan di atas kapal ferry ro-ro dibuat dalam Satuan Unit Kendaraan (S_{UK}). Jumlah muatan kendaraan untuk masing-masing kapal dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Kapasitas Muat Kapal

Kapasitas Muat (S_{UK})			
B5L10	B5L11	B5L12	B5L13
50	55	60	65

Model dibuat sebanyak empat buah yaitu B5L10, B5L11, B5L12, dan B5L13. Ukuran utama model diperoleh dari hasil pengskalaan (λ) berdasarkan pada kesamaan geometri dengan menggunakan persamaan 12. Hasil perhitungan ukuran utama model dengan skala 1:43 dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Ukuran utama kapal dan ukuran utama model.

Item Ukuran	Ukuran Seri Kapal (m)			
	B5L10	B5L11	B5L12	B5L13
λ	1 : 43	1 : 43	1 : 43	1 : 43
LBP_M	1,36	1,50	1,64	1,77
B_M	0,398	0,398	0,398	0,398
H_M	0,118	0,118	0,118	0,118
T_M	0,078	0,078	0,078	0,078

Lebar model harus disesuaikan dengan lebar tangki *towing tank* untuk menghindari *blockage effect*. Oleh karena itu lebar model harus dikoreksi dengan menggunakan persamaan 15.

$$B_m < \frac{1}{10} B \text{ tangki}$$

Diketahui :

$$B_m = 0,342 \text{ m}$$

$$B \text{ tangki} = 4 \text{ m}$$

$$= \frac{1}{10} \times 4$$

$$= 0,4 \text{ m} < 0,342 \text{ m}$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan persamaan 15 diketahui lebar model lebih kecil dari hasil perhitungan koreksi *blockage effect*. Hal ini berarti bahwa lebar model tidak menimbulkan *blockage effect* dan dapat digunakan untuk pengujian model di *towing tank*.

Pengujian tahanan dilakukan pada lima variasi kecepatan mulai dari kecepatan 1 knot hingga 20 knot dengan interval 4 knot. Lima variasi kecepatan ini dipilih agar pengujian yang dilakukan tidak terlalu banyak tetapi tetap mampu membentuk kurva hubungan peningkatan nilai tahanan dan kecepatan pada setiap tipe kapal. Pengskalaan kecepatan kapal dibuat berdasarkan kesamaan kinematis dengan menggunakan

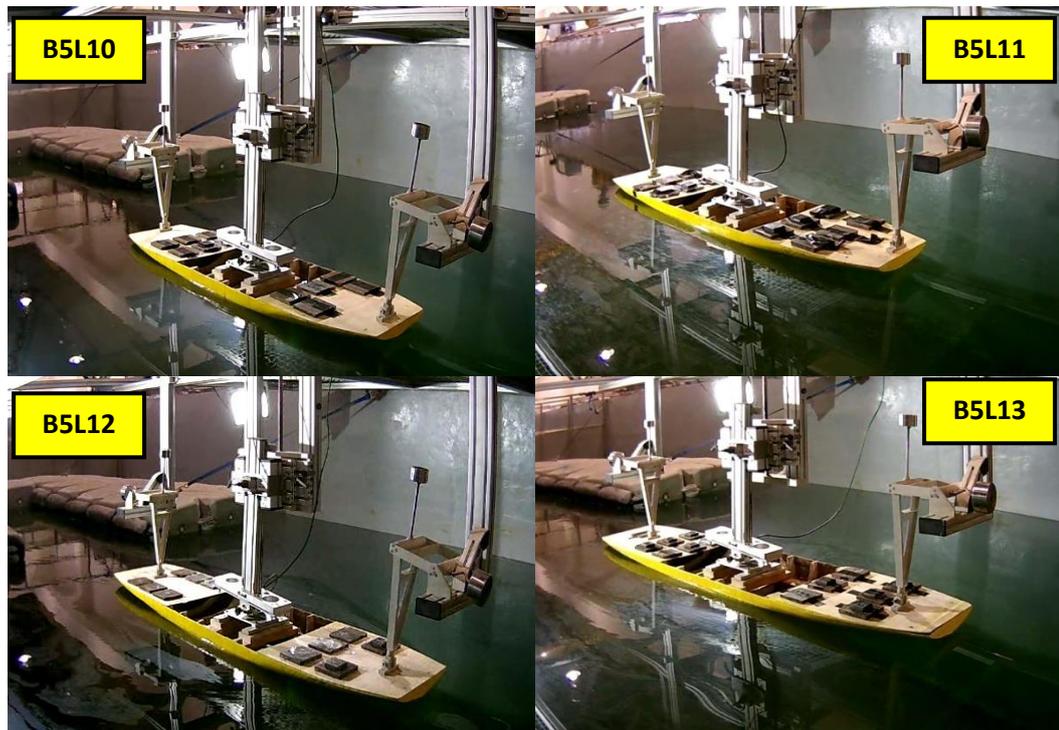
persamaan 13. Kecepatan model saat pengujian dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Kecepatan model.

Kecepatan Kapal Vs (Knot)	Kecepatan Model Vm (Knot)	Kecepatan Model Vm (m/det)
4	0,61	0,314
8	1,22	0,628
12	1,83	0,942
16	2,44	1,256
20	3,05	1,570

C. Pengujian Model

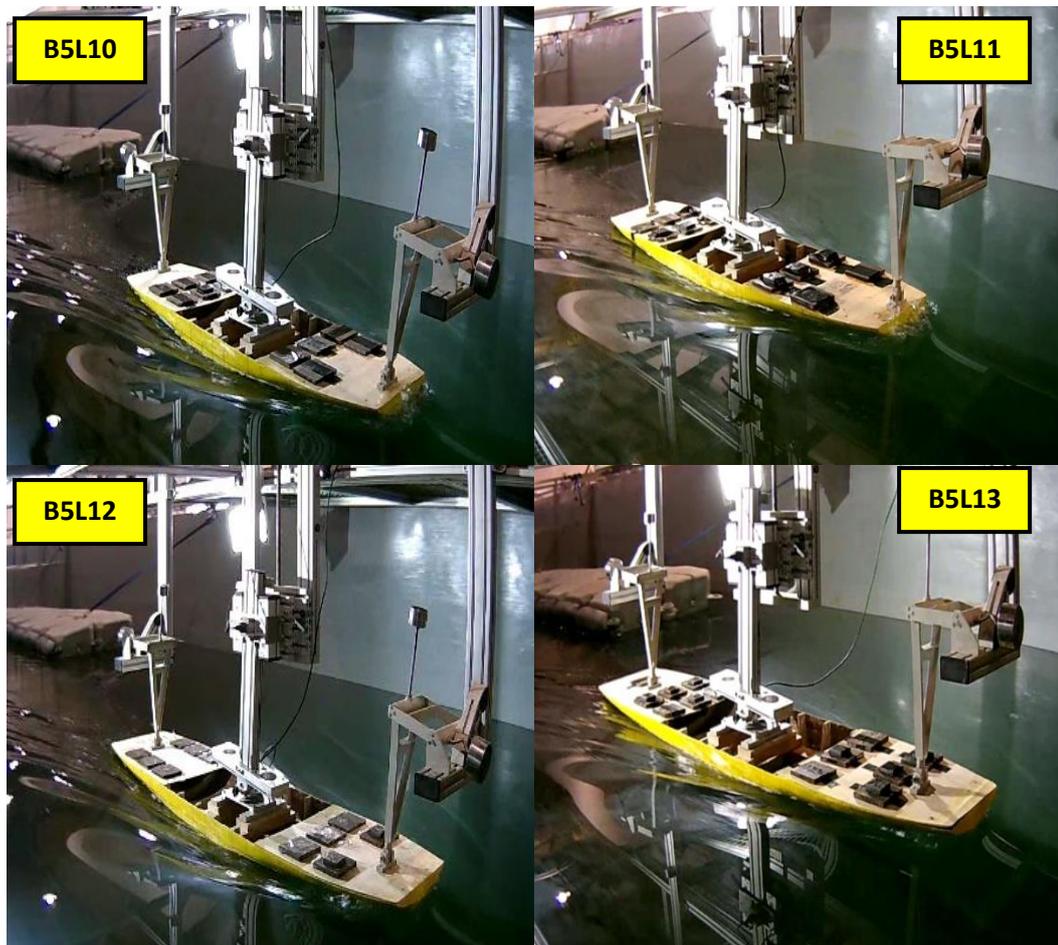
Pengujian model dilakukan di *towing tank* Laboratorium Hidrodinamika Departemen Perkapalan Universitas Hasanuddin. Pengujian dilakukan pada beberapa tingkat kecepatan. Pengujian model dimulai dari kecepatan (Vm) 0,314 m/det, 0,628 m/det, 0,942 m/det, 1,256 m/det, dan 1,570 m/det. Frekuensi pengujian tahanan dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap kecepatan. Proses pengujian dapat dilihat dari potongan gambar yang diperoleh dari video yang didokumentasikan saat pengujian seperti yang terlihat pada Gambar 26, Gambar 27, dan Gambar 28.



Gambar 26. Pengujian model untuk V_M 0,314 m/det.



Gambar 27. Pengujian model untuk V_M 0,942 m/det.



Gambar 28. Pengujian model untuk V_M 1,570 m/det.

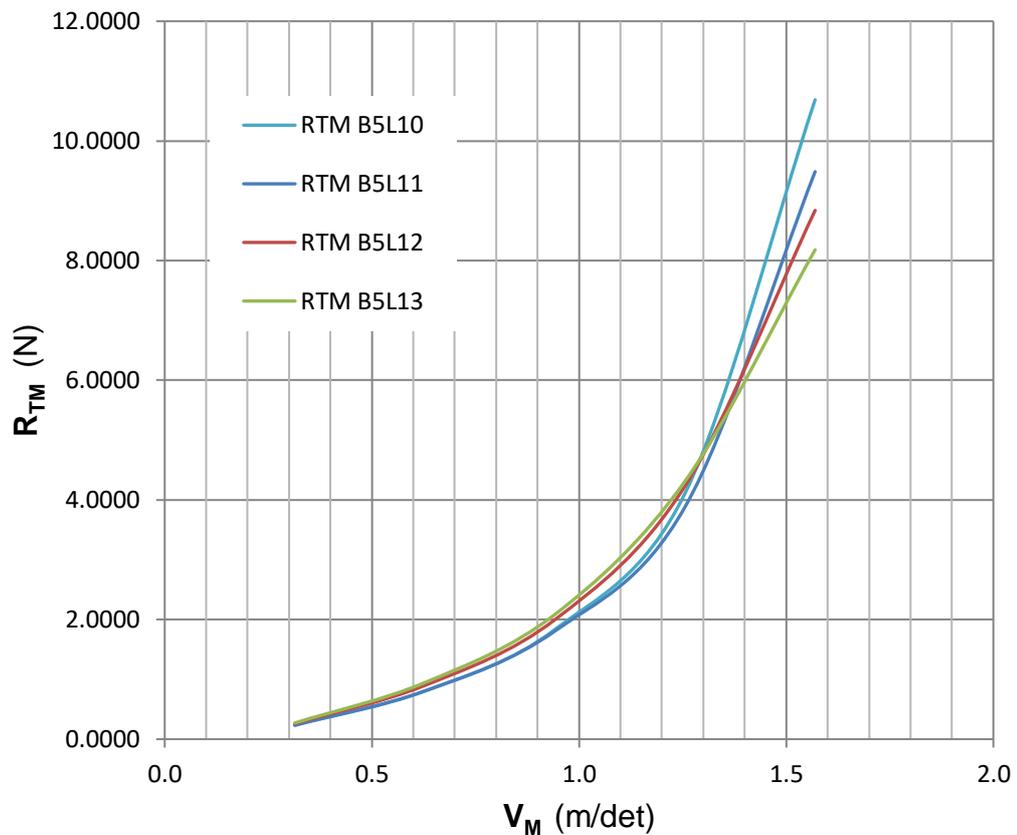
Gambar 26, Gambar 27, dan Gambar 28 memperlihatkan pola aliran sepanjang model untuk setiap ukuran panjang dan peningkatan kecepatan. Pola aliran yang terbentuk terlihat hampir sama untuk semua geometri model. Hal ini menunjukkan karakter bentuk dan dimensi kapal relatif sama. Beberapa data hasil pengujian disajikan pada Lampiran 1. Hasil dari pengujian tahanan di *towing tank* adalah nilai tahanan total model (R_{TM}). Nilai R_{TM} ini dirata-ratakan pada tiap kecepatan model yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Nilai Tahanan Total Model (R_{TM})

V_m (m/det)	R_{TM} Model (N)			
	B5L10	B5L11	B5L12	B5L13
0,314	0,231	0,232	0,257	0,270
0,628	0,803	0,806	0,898	0,945
0,942	1,833	1,807	1,997	2,084
1,256	4,109	3,881	4,232	4,311
1,570	10,687	9,485	8,838	8,179

Data hasil pengujian seperti yang tertera pada Tabel 12 menunjukkan kenaikan nilai tahanan terhadap kenaikan kecepatan. Nilai tahanan terkecil adalah 0,231 N dan nilai tahanan terbesar adalah 10,867 N. Kedua nilai tahanan terkecil dan terbesar berada pada model terkecil yang yaitu B5L10.

Hubungan pengaruh R_{TM} terhadap V_M lebih jelas dapat dilihat dari kurva pada Gambar 29. Pada Gambar 29 terlihat nilai tahanan model meningkat seiring peningkatan kecepatan untuk semua panjang model. Pada panjang model B5L10 yaitu kapal yang paling pendek menunjukkan nilai tahanan lebih besar dari seri model yang lain pada kecepatan di atas 1,3 m/det. Untuk seri model B5L10, kecepatan sebaiknya tidak melebihi 1,3 m/det karena nilai tahanannya jauh lebih besar dibanding dengan seri model lainnya pada kecepatan di atas 1,3 m/det.



Gambar 29. Kurva hubungan R_{TM} terhadap V_M

Hasil eksperimen yang telah didapatkan tersebut dibandingkan dengan hasil berdasarkan program aplikasi (Asri, 2016). Dalam rangka membandingkan hasil tahanan tersebut, perbandingan nilai berdasarkan nilai nondimensi atau koefisien tahanan total. Koefisien tahanan total model didapatkan dengan menggunakan persamaan 6. Adapun nilai koefisien tahanan total model dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Nilai koefisien tahanan total model (C_{TM})

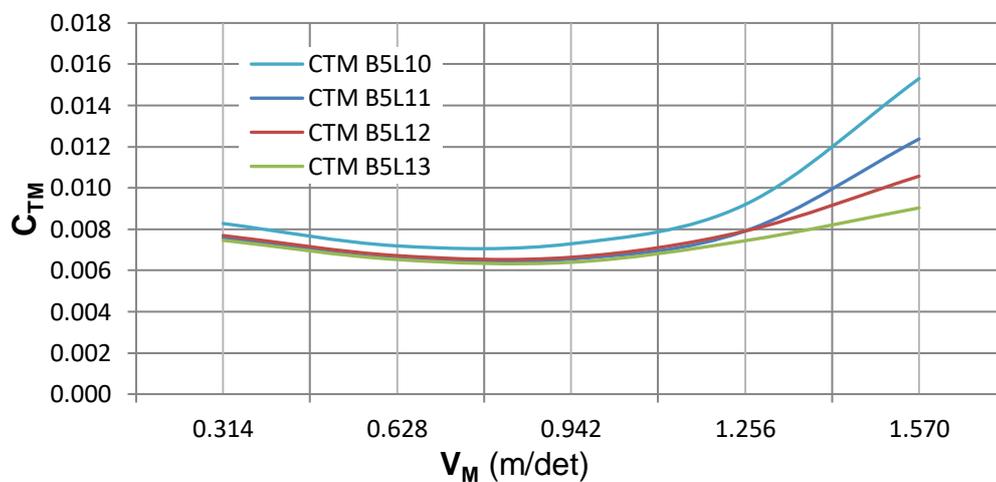
Vm (m/det)	C_{TM} (N)			
	B5L10	B5L11	B5L12	B5L13
0,314	0,00827	0,00757	0,00769	0,00746
0,628	0,00719	0,00657	0,00672	0,00653
0,942	0,00729	0,00655	0,00664	0,00639
1,256	0,00919	0,00791	0,00791	0,00744
1,570	0,01530	0,01237	0,01057	0,00903

Tabel 13 memperlihatkan nilai koefisien tahanan total yang hampir sama pada masing-masing kecepatan untuk semua seri model. Nilai koefisien tahanan terkecil berada pada seri model B5L13 kecepatan 0,314 dimana nilainya adalah 0,00746. Sedangkan nilai koefisien tahanan terbesar berada pada seri model B5L10 kecepatan 1,570 m/det dimana nilainya adalah 0,0153. Perbandingan nilai koefisien tahanan berdasarkan uji Eksperimen dan program aplikasi selanjutnya akan dibandingkan. Nilai koefisien tahanan berdasarkan program aplikasi disajikan pada Tabel 14.

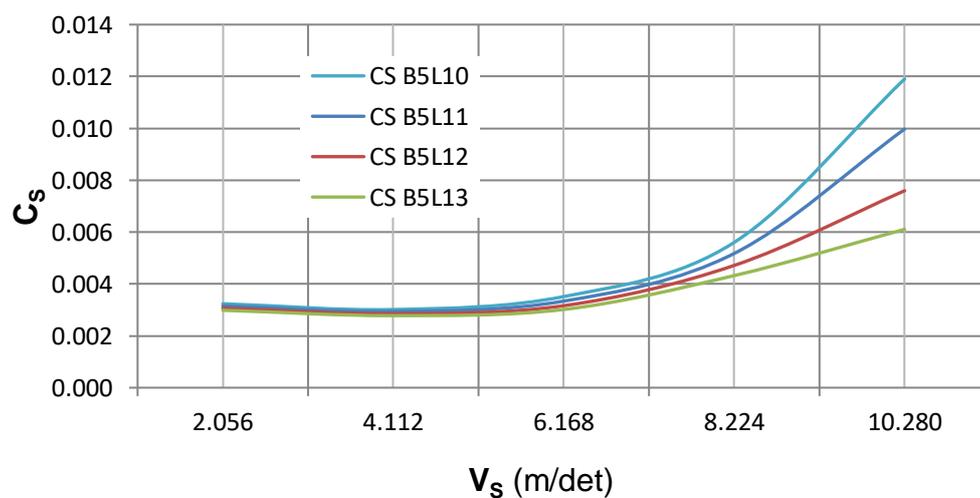
Tabel 14. Nilai koefisien tahanan total kapal (C_{TS})

Vm (m/det)	C_{TS} (N)			
	B5L10	B5L11	B5L12	B5L13
2,056	0,00324	0,00315	0,00306	0,00298
4,112	0,00301	0,00293	0,00285	0,00278
6,168	0,00351	0,00334	0,00316	0,00302
8,224	0,00560	0,00518	0,00471	0,00432
10,280	0,01190	0,00997	0,00760	0,00611

Perbedaan nilai koefisien tahanan total berdasarkan hasil uji eksperimen dan program aplikasi dapat lebih jelas terlihat saat membandingkan kurva pada Gambar 30 dan Gambar 31. Gambar 30 adalah kurva nilai koefisien tahanan dari hasil uji eksperimen. Gambar 31 adalah kurva nilai koefisien tahanan dari hasil program aplikasi.



Gambar 30. Kurva hubungan koefisien tahanan total model sebagai fungsi dari kecepatan.



Gambar 31. Kurva hubungan koefisien tahanan total kapal sebagai fungsi dari kecepatan.

Gambar 30 dan Gambar 31 mendeskripsikan tendensi kurva yang sama untuk masing-masing seri model. Hal ini menandakan bahwa hasil eksperimen dan hasil perhitungan tahanan melalui program aplikasi telah sesuai. Namun, besaran nilai koefisien cukup berbeda. Dari kedua gambar tersebut memperlihatkan nilai koefisien tahanan total model berdasarkan hasil pengujian lebih besar dibandingkan dengan koefisien tahanan total kapal berdasarkan hasil program aplikasi. Perbedaan besaran nilai koefisien tahanan total (ΔC_T) antara hasil eksperimen dan perhitungan melalui program aplikasi disajikan Tabel 15.

Tabel 15. Nilai perbedaan C_{TM} dan C_{TS} (ΔC_T)

B5L10		B5L11		B5L12		B5L13	
Fn	% ΔC_T						
0,086	155,57	0,082	140,23	0,078	150,96	0,075	149,95
0,172	138,57	0,164	124,08	0,157	135,50	0,150	134,98
0,258	107,56	0,245	96,22	0,235	109,90	0,226	112,01
0,344	64,11	0,327	52,85	0,313	67,78	0,301	72,13
0,429	28,56	0,409	24,07	0,391	39,19	0,376	47,94

Tabel 15 menunjukkan bahwa semakin besar nilai Froude number nilai perbedaan ΔC_T semakin kecil untuk semua seri model. Rentang perbedaan nilai ΔC_T berada pada 28,56% sampai dengan 155,57%. Pada kecepatan rendah properti fisik yang diakibatkan oleh interaksi kapal dengan air cenderung sangat kecil. Hal ini tidak dapat dikalkulasi menggunakan program aplikasi. Properti fisik yang dimaksud adalah

density, *viscosity*, dan *surface tension*. Selain itu, jarak antara grid yang digunakan pada program aplikasi juga dapat berdampak pada hasil komputasi. Semakin besar jarak antara grid maka properti fisik yang kecil semakin tidak dapat dikalkulasi.

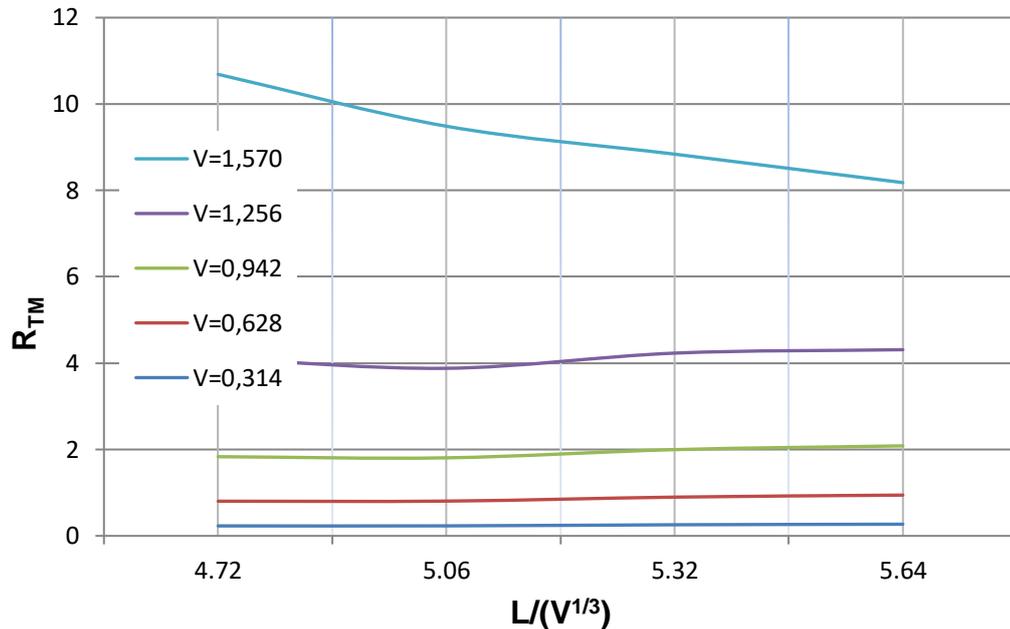
D. Pengaruh Panjang Kapal terhadap Tahanan Total Kapal

Pada subbab ini pengaruh rasio panjang dan volume model ($L/V^{1/3}$) terhadap tahanan dianalisa dan dibahas. Rasio $L/V^{1/3}$ dibuat sebagai *nondimensi* parameter. Nilai rasio panjang dan volume model ($L/V^{1/3}$) pada masing-masing seri model dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Nilai rasio panjang dan volume model.

Ukuran Model	Model B5L10	Model B5L11	Model B5L12	Model B5L13
Lbp (m)	1,36	1,50	1,64	1,77
V (m ³)	0,024	0,026	0,029	0,031
$L/V^{1/3}$	4,72	5,06	5,32	5,64

Berdasarkan nilai tahanan total yang terdapat pada Tabel 12 dan Tabel 16 kurva hubungan antara rasio panjang dan volume model ($L/V^{1/3}$) terhadap tahanan dapat digambarkan sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 32.

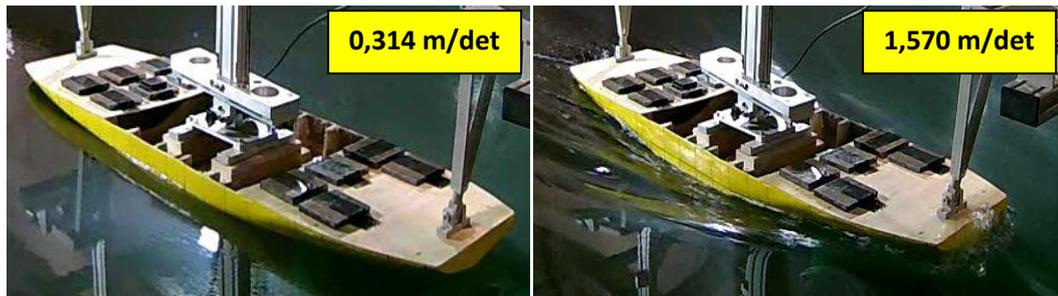


Gambar 32. Kurva hubungan $L/V^{1/3}$ dan R_{TM}

Pada Gambar 32 seiring kenaikan rasio $L/V^{1/3}$ nilai tahanan relatif sama pada kecepatan 0,314 m/det dan demikian halnya juga pada kecepatan 0,628 m/det. Selanjutnya pada kecepatan 0,942 m/det, perbedaan besaran nilai tahanan relatif kecil untuk setiap kenaikan rasio $L/V^{1/3}$ dan demikian halnya dengan pengaruh kenaikan rasio $L/V^{1/3}$ pada, kecepatan 1,256 m/det. Lain halnya pada kecepatan 1,57 m/det, peningkatan rasio $L/V^{1/3}$ sangat berdampak pada besaran nilai tahanan dimana tahanan signifikan menurun.

Pada *Froude number* yang relatif tinggi untuk ukuran kapal yang kecil cenderung nilai tahanan total meningkat besar. Hal ini dipengaruhi oleh panjang kapal dimana *wave making resistance* yang dihasilkan oleh interaksi antara kapal dengan air pada kecepatan tinggi cenderung tinggi.

Variabel yang mempengaruhi wave making adalah kecepatan yang tinggi dan bentuk badan kapal terutama pada bagian haluan. Perbedaan wave making kapal jelas terlihat pada Gambar 33.



Gambar 33. *Wave Making Profile*

Terlihat pada kecepatan rendah yaitu 0,314 m/det *wave making* yang dihasilkan cenderung kecil sedangkan pada kecepatan tinggi yaitu 1,570 m/det *wave making* yang dihasilkan cenderung lebih besar. Dapat diartikan bahwa panjang kapal tidak proporsional dengan *wave making* yang dihasilkan akibat kecepatan tinggi. Hal ini juga diperkuat pada hasil yang ditunjukkan pada Gambar (tahanan gesek dan sisa) dimana komposisi tahanan sisa jauh lebih besar dibandingkan tahanan gesek pada kecepatan tinggi.

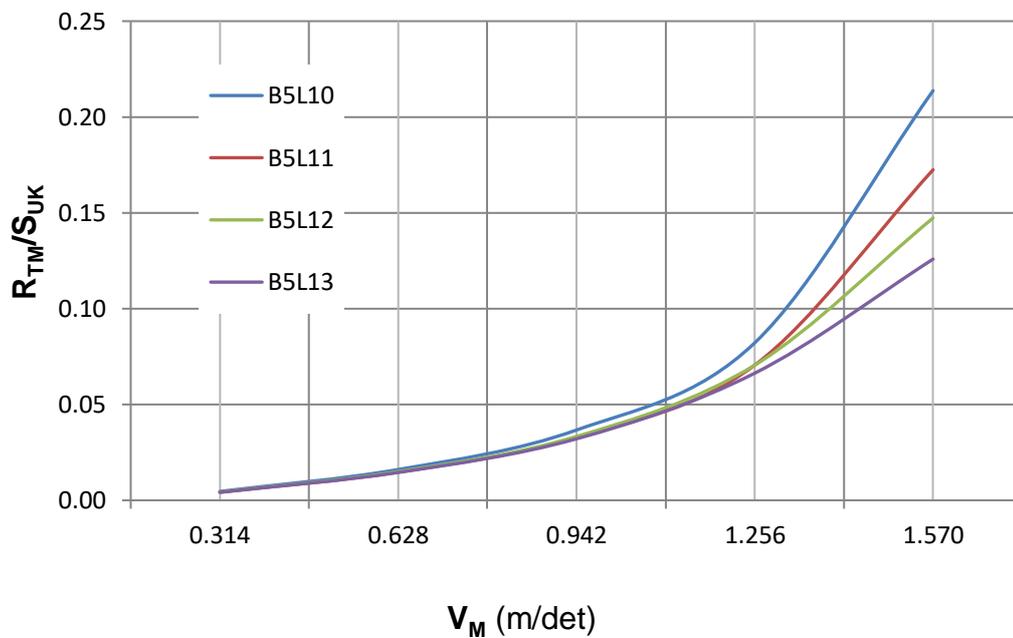
E. Pengaruh Kecepatan Terhadap Rasio Tahanan dan Kapasitas Muat

Pada subbab ini hubungan antara kecepatan terhadap rasio tahanan dan kapasitas muat dianalisis dan dijelaskan. Kapasitas muat dibuat dalam Satuan Unit Kendaraan (S_{UK}) yang merupakan satuan kendaraan yang dimuat kapal penyeberangan. Nilai rasio R_{TM}/S_{UK} untuk

setiap kenaikan kecepatan disajikan pada Tabel 17. Lebih jelas hubungan pengaruh kecepatan terhadap pengaruh rasio R_{TM}/S_{UK} dapat dilihat melalui kurva pada Gambar 34.

Tabel 17. Rasio tahanan total model dan satuan unit kendaraan (R_{TM}/S_{UK})

V_M (m/det)	R_{TM}/S_{UK}			
	B5L10 (N)	B5L11 (N)	B5L12 (N)	B5L13 (N)
	50 S_{UK}	55 S_{UK}	60 S_{UK}	65 S_{UK}
0,314	0,0046	0,0042	0,0043	0,0042
0,628	0,0161	0,0146	0,0150	0,0145
0,942	0,0367	0,0329	0,0333	0,0321
1,256	0,0822	0,0706	0,0705	0,0663
1,570	0,2137	0,1725	0,1473	0,1258



Gambar 34. Kurva hubungan V_M terhadap R_{TM}/S_{UK}

Berdasarkan Gambar 34, diketahui bahwa nilai rasio R_{TM}/S_{UK} semakin meningkat seiring dengan penambahan kecepatan model untuk setiap seri model. Pada kecepatan 0,314 m/det hingga kecepatan 1,099 m/det bentuk kurva cenderung linier. Hal ini terjadi karena kecepatan kapal proporsional terhadap ukuran kapal. Namun pada kecepatan 1,099 m/det hingga kecepatan 1,570 m/det bentuk kurva cenderung eksponensial. Hal ini terjadi karena kecepatan sudah tidak proporsional terhadap ukuran kapal. Nilai gradien peningkatan rasio R_{TM}/S_{UK} untuk setiap kenaikan kecepatan dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18. Gradien rasio tahanan total model dan satuan unit kendaraan

Interval V_M (m/det)	Gradien Rasio R_{TM}/S_{UK}			
	B5L10 (N)	B5L11 (N)	B5L12 (N)	B5L13 (N)
	50 S_{UK}	55 S_{UK}	60 S_{UK}	65 S_{UK}
0,314 - 0,628	0,0114	0,0104	0,0107	0,0104
0,628 - 0,942	0,0206	0,0182	0,0183	0,0175
0,942 - 1,256	0,0455	0,0377	0,0372	0,0343
1,256 - 1,570	0,1316	0,1019	0,0768	0,0595

Berdasarkan Tabel 18 terlihat bahwa pada kenaikan kecepatan dari 1,256 m/det ke kecepatan 1,570 m/det terjadi kenaikan nilai rasio R_{TM}/S_{UK} yang signifikan. Artinya kapal tidak efisien untuk dioperasikan pada kecepatan tersebut karena menghasilkan nilai tahanan yang cukup besar dengan angkutan kapasitas muatan yang sama.

Selanjutnya kurva rasio $R_{TM/SUK}$ terhadap V_M sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 34 dapat digunakan untuk menentukan kecepatan yang sesuai dengan rasio $R_{TM/SUK}$ yang sama untuk setiap penambahan panjang kapal. Penentuan kecepatan tersebut sesuai dengan rasio $R_{TM/SUK}$ yang sama yang dianalisis mulai dari rasio $R_{TM/SUK}$ 0,03 sampai dengan 0,07 dengan interval kenaikan 0,01. Nilai rasio $R_{TM/SUK}$ ditentukan berdasarkan pada nilai rasio $R_{TM/SUK}$ pada kecepatan yang nilai gradiennya tidak signifikan tinggi.

Nilai kecepatan untuk masing-masing seri model dapat dikalkulasikan dengan menggunakan persamaan matematika. Dari kurva yang sebagaimana disajikan pada Gambar 34, dapat diperoleh persamaan matematika dengan menggunakan trendline program excel. Persamaan matematika yang diperoleh adalah persamaan eksponensial sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 16, 17, 18, dan 19. Nilai korelasi R^2 dari persamaan-persamaan tersebut menunjukkan angka di atas 90%. Hal ini menandakan bahwa persamaan-persamaan tersebut memiliki korelasi yang tinggi dalam artian persamaan-persamaan ini akurat dan dapat digunakan.

Persamaan-persamaan eksponensial tersebut eksponennya (pangkatnya) mengandung variabel (peubah) x yang merupakan nilai dari kecepatan sedangkan variabel y merupakan nilai dari rasio $R_{TM/SUK}$. Persamaan 16 digunakan untuk menghitung nilai kecepatan seri model B5L10. Persamaan 17 digunakan untuk menghitung nilai kecepatan seri

model B5L11. Persamaan 18 digunakan untuk menghitung nilai kecepatan seri model B5L12. Persamaan 19 digunakan untuk menghitung nilai kecepatan seri model B5L13.

$$y = 0,002e^{2,962x} \text{ dan } R^2 = 0,993 \quad (16)$$

$$y = 0,002e^{2,863x} \text{ dan } R^2 = 0,991 \quad (17)$$

$$y = 0,002e^{2,746x} \text{ dan } R^2 = 0,986 \quad (18)$$

$$y = 0,002e^{2,655x} \text{ dan } R^2 = 0,980 \quad (19)$$

Hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan-persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 19. Kecepatan model pada nilai rasio R_{TM}/S_{UK} yang sama.

R_{TM}/S_{UK}	Kecepatan Model (m/det)			
	B5L10	B5L11	B5L12	B5L13
0,03	0,9143	0,9459	0,9862	1,0200
0,04	1,0114	1,0464	1,0909	1,1283
0,05	1,0867	1,1243	1,1722	1,2124
0,06	1,1483	1,1880	1,2386	1,2811
0,07	1,2003	1,2418	1,2947	1,3391

Tabel 19 menunjukkan bahwa pada nilai rasio R_{TM}/S_{UK} yang sama terdapat beberapa kecepatan yang sesuai berdasarkan perbedaan panjang kapal. Peningkatan kecepatan yang secara signifikan meningkat ditunjukkan pada $R_{TM}/S_{UK} > 0,05$ artinya nilai kecepatan pada R_{TM}/S_{UK} yang lebih besar dari 0,05 tidak efektif untuk digunakan karena nilai tahanan tidak proporsional terhadap kecepatan yang ingin dicapai.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa kecepatan yang efektif untuk masing-masing panjang kapal yakni 1,0867 m/det untuk B5L10, 1,1243 m/det untuk B5L11, 1,1722 m/det untuk B5L12, dan 1,2124 m/det untuk B5L13. Kecepatan-kecepatan tersebut juga dapat disesuaikan dengan ukuran aktual kapal atau ukuran kapal sebenarnya menjadi 13,85 knot untuk B5L10, 14,33 knot untuk B5L11, 14,94 knot untuk B5L12, dan 15,45 knot untuk B5L13.

F. Pengaruh Tahanan Gesek dan Sisa Terhadap Tahanan Total

Pada Subbab ini, pengaruh tahanan gesek (R_{FM}) dan tahanan sisa (R_{RM}) terhadap tahanan total dianalisa dan dibahas. Hal ini dilakukan dalam rangka menginterpretasi besaran pengaruh untuk masing-masing komponen tahanan. Selain itu, dari kedua komponen tersebut dapat dilihat seberapa besar pengaruh bentuk dan dimensi panjang terhadap tahanan total.

Nilai tahanan gesek (R_{FM}) dan tahanan sisa (R_{RM}) didapatkan dengan menggunakan persamaan 3 dan persamaan 4. Hasil perhitungan tahanan gesek (R_{FM}) dapat dilihat pada Tabel 20. Selain itu, pada Tabel 20 juga dapat dilihat besar persentase kenaikan nilai tahanan gesek model (R_{FM}) terhadap kenaikan nilai tahanan total model (R_{TM}) untuk setiap kenaikan kecepatan.

Tabel 20. Nilai R_{FM} dan persentase kenaikan R_{FM} terhadap kenaikan R_{TM} .

V_M (m/det)	R_{FM} B5L10		R_{FM} B5L11		R_{FM} B5L12		R_{FM} B5L13	
	(N)	%	(N)	%	(N)	%	(N)	%
0,314	0,16	71,14	0,18	76,12	0,19	73,24	0,20	74,08
0,628	0,56	69,13	0,60	74,20	0,64	70,98	0,68	71,77
0,942	1,15	57,45	1,24	63,74	1,33	62,09	1,41	63,85
1,256	1,93	34,07	2,08	40,33	2,22	40,05	2,36	42,86
1,570	2,87	14,44	3,10	18,29	3,31	23,82	3,53	30,24

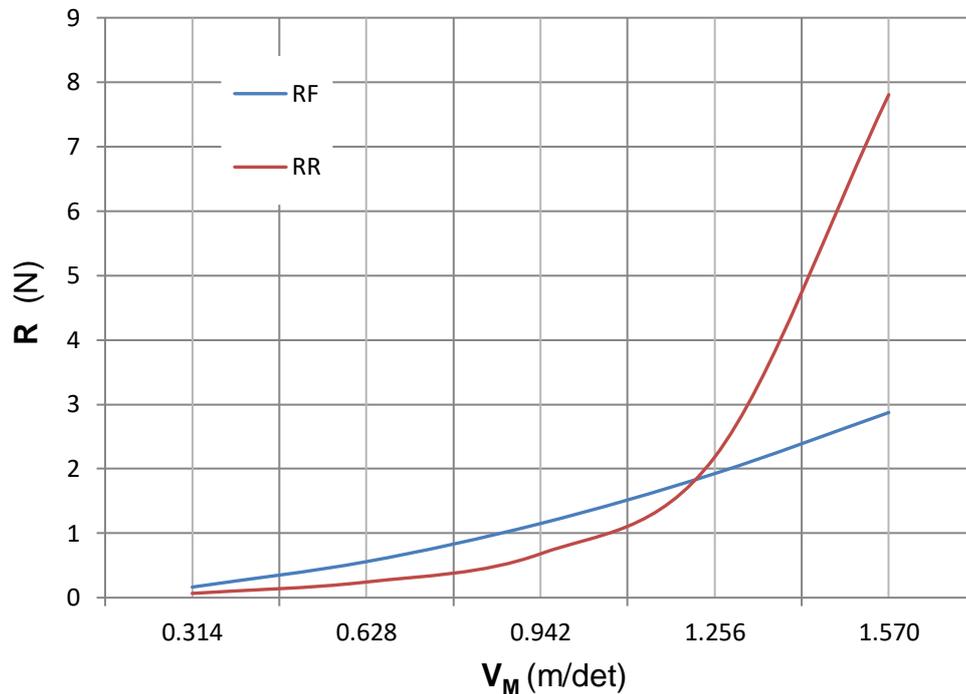
Tabel 20 menunjukkan bahwa untuk setiap seri model, semakin besar kecepatan nilai tahanan gesek juga semakin besar namun kenaikan nilai R_{FM} tidak signifikan. Untuk persentase kenaikan nilai R_{FM} dari kenaikan nilai R_{TM} pada kecepatan yang lebih rendah yaitu 0,314 m/det kenaikan nilai tahanan gesek sangat besar. Namun pada kecepatan yang lebih tinggi yaitu 1,570 m/det kenaikan nilai R_{FM} jauh lebih rendah. Selanjutnya nilai tahanan sisa (R_{RM}) dapat dilihat pada Tabel 21. Selain itu, pada Tabel 21 juga dapat dilihat besar persentase kenaikan nilai tahanan sisa model (R_{RM}) terhadap kenaikan nilai tahanan total model (R_{TM}) untuk setiap kenaikan kecepatan.

Tabel 21. Nilai R_{RM} dan persentase kenaikan R_{RM} terhadap kenaikan R_{TM}

V_M (m/det)	R_{RM} B5L10		R_{RM} B5L11		R_{RM} B5L12		R_{RM} B5L13	
	(N)	%	(N)	%	(N)	%	(N)	%
0,314	0,07	28,86	0,06	23,84	0,07	26,72	0,07	25,88
0,628	0,24	30,87	0,20	25,80	0,25	29,02	0,26	28,23
0,942	0,68	42,55	0,57	36,26	0,67	37,91	0,67	36,15
1,256	2,18	65,93	1,80	59,67	2,01	59,95	1,94	57,14
1,570	7,81	85,55	6,38	81,71	5,52	76,18	4,64	69,76

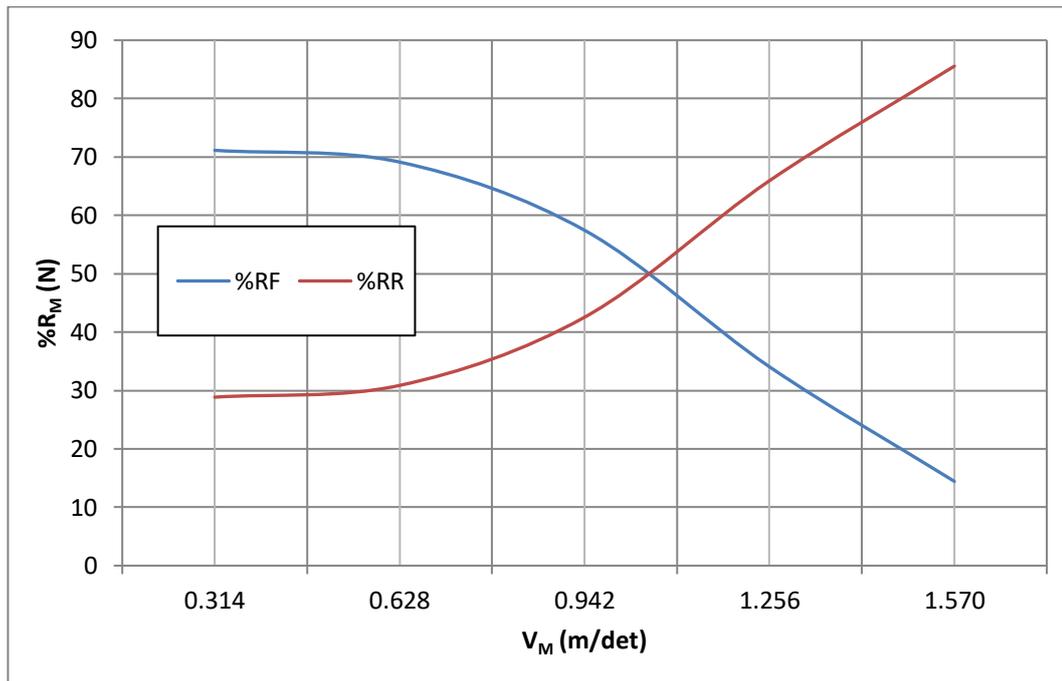
Tabel 21 menunjukkan bahwa untuk setiap seri model, semakin besar kecepatan nilai tahanan sisa juga semakin besar. Namun, nilai kenaikan tahanan sisa meningkat secara signifikan. Untuk persentase kenaikan nilai R_{RM} dari kenaikan nilai nilai R_{TM} , pada kecepatan yang lebih rendah yaitu 0,314 m/det kenaikan nilai tahanan gesek juga lebih rendah dari kenaikan nilai R_{FM} . Namun pada kecepatan yang lebih tinggi yaitu 1,570 m/det kenaikan nilai R_{RM} jauh lebih tinggi dari kenaikan nilai R_{FM} .

Hasil perhitungan R_{FM} dan R_{RM} dapat digambarkan dalam sebuah kurva hubungan tahanan gesek dan tahanan sisa dengan kenaikan kecepatan. Salah satu contoh kurva hubungan tahanan gesek dan tahanan sisa untuk seri model B5L10 dapat dilihat pada Gambar 35.



Gambar 35. Kurva tahanan R_{FM} dan R_{RM} terhadap V_M model B5L10

Gambar 35 menunjukkan kurva tahanan gesek cenderung linear sedangkan kurva tahanan sisa cenderung eksponensial. Bentuk kurva tahanan gesek yang cenderung linear dipengaruhi oleh body kapal yang tetap yang bergesekan dengan aliran disekitarnya. Sedangkan bentuk kurva tahanan sisa yang cenderung eksponensial terutama pada kecepatan 1,256 m/det hingga 1,570 m/det dimana kenaikan nilai tahanan sisa sangat signifikan terjadi karena dipengaruhi oleh adanya *wavebreaker*. Untuk melihat persentase kenaikan nilai R_{FM} dan R_{RM} dari nilai R_{TM} untuk setiap kenaikan kecepatan dapat dilihat pada Gambar 36.



Gambar 36. Persentase kenaikan nilai R_{FM} dan R_{RM} model B5L10

Gambar 36 menunjukkan persentase nilai kurva hubungan $\%R_{RM}$ terhadap V_M untuk model B5L10 dimana pada kecepatan yang lebih rendah yaitu 0,314 m/det nilainya lebih rendah yaitu 28,86 %. Sedangkan pada kecepatan yang lebih tinggi yaitu 1,570 m/det nilainya signifikan meningkat yaitu 85,55%. Hal tersebut terjadi karena adanya gelombang kapal dimana tinggi dan panjang gelombang bergantung pada kuadrat kecepatan sehingga semakin tinggi kecepatan maka gelombang yang dihasilkan semakin tinggi dan panjang. Selain itu mulai dari kecepatan 0,942 m/det terjadi kenaikan selisih persentase nilai R_{TM} yang signifikan. Hal ini terjadi karena nilai *Froude number*-nya lebih besar dari 0,25 sesuai dengan buku *Practical Ship Hydrodynamics* (Volker Bertram, 2000) yang

mengatakan bahwa pada Froude number sekitar 0,25 mulai terjadi *wavebreaking*.

Hal ini berbeda dengan kurva persentase nilai R_{FM} dari nilai R_{TM} pada kecepatan yang lebih rendah yaitu 0,314 m/det cenderung tinggi yaitu 71,14%. Sedangkan pada kecepatan yang lebih tinggi yaitu 1,570 m/det persentase nilai R_{FM} dari R_{TM} menurun secara signifikan yaitu 14,44%. Ini terjadi karena persentase kenaikan nilai R_{TM} didominasi oleh nilai tahanan akibat wavebreaker sedangkan nilai R_{FM} cenderung linear.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Pertambahan panjang kapal sangat berpengaruh terhadap tahanan kapal Ferry Ro-Ro dimana dimensi lebar dan sarat yang tetap. Pada kecepatan rendah hingga kecepatan sedang, nilai tahanan yang relatif konstan untuk pertambahan panjang kapal. Namun pada kecepatan tinggi, pertambahan panjang memiliki tahanan sisa lebih kecil pada kecepatan yang tetap.
2. Kecepatan yang efektif untuk masing-masing panjang kapal berada pada kisaran rasio R_{TM}/S_{UK} 0,05 dimana pada ukuran kapal B5L10 memiliki kecepatan 13,85 knot, B5L11 dengan kecepatan 14,33 knot, B5L12 dengan kecepatan 14,94 knot, dan B5L13 dengan kecepatan 15,45 knot untuk.
3. Pada kecepatan rendah yaitu 0,314 m/det komponen tahanan yang paling berpengaruh pada tahanan total adalah tahanan gesek sedangkan pada kecepatan tinggi yaitu 1,570 m/det adalah tahanan sisa. Ini dipengaruhi oleh nilai *Froude number*-nya dimana pada *Froude number* sekitar 0,25 mulai terjadi *wavebreaking*.

B. Saran

1. Akurasi bentuk model sebaiknya ditingkatkan. Hal ini terkait dengan hasil penelitian yang lebih akurat.
2. Pada aspek hidrodinamika kapal perubahan dimensi kapal juga sebaiknya mempertimbangkan aspek stabilitas dan gerak kapal.
3. Pada aspek *arrangement* kapal penambahan dimensi kapal sebaiknya mempertimbangkan analisa pembagian kompartemen kedap di atas kapal (*subdivision compartment*).

C. UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah SWT. Tuhan semesta alam yang tak pernah henti melimpahkan karunia, ridho, dan nikmat-Nya kepada para makhluk yang hidup dan mati atas kehendak-Nya. Tak lupa sholawat teriring salam semoga tercurah kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW. beserta keluarga dan para sahabatnya, yang telah menjadi suri tauladan yang baik bagi umat Muslim di seluruh dunia.

Setelah berhasil menyelesaikan penelitian ini, peneliti bermaksud untuk mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang selama ini telah memberi bantuan tenaga, waktu, dan pikiran untuk membuat empat model *ferry ro-ro* selama 9 bulan. Mereka adalah mahasiswa program sarjana Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang terdiri dari beberapa angkatan sebagai berikut:

1. Angkatan 2013 yaitu Ardyan Safiu
2. Angkatan 2014 yaitu Sahuddin dan Muhammad Hosni Mubarak
3. Angkatan 2015 yaitu Ardedi Yusuf, Bayu Anggara.
4. Angkatan 2016 yaitu Abdul Wahid Hasim, Muhammad Riky

Adhitama, Muhammad Taslim, dan Adi Rais Saputera.

Akhirnya, penulis hanya bisa mengucapkan terimakasih atas bantuan mereka dan semoga Allah membalas kebaikan mereka. Semoga Allah permudah langkah mereka untuk terus melangkah menjadi manusia yang bermanfaat. Penulis memohon maaf apabila ada kekuarangan pada

penelitian ini dan semoga penelitian ini bisa bermanfaat bagi para pembaca. Sekian, semoga Allah senantiasa mempermudah langkah kita untuk terus berkarya dan bermanfaat. Aamiin.

Makassar, 17 Desember 2018

Andi Rachmianty

DAFTAR PUSTAKA

- ABS, 2013. *Ship Energy Efficiency Measures*. Houston, USA.
- Asen Patrik. 2014. *Analysis of the Flow Around a Cruise Ferry Hull by the Means of Computational Fluid Dynamics*. Espoo. Aalto University School Engineering.
- Asri S, 2016. *Model Desain Kapal Peyeberangan Berdasarkan Permintaan Jasa Angkutan dan Fasilitas Pelabuhan*. Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Baso S, Suwedy W, Rosmani, Bochary L, Ardianti A. 2015. *A Practical Hull Form Design of Ferry Using Hybrid Scheme Method and Performing Experiment*. Makassar. David Publishing.
- Bhavaraju, Revathi, Ramesh. 2013. *Comparative Study For Resistance Of A Bulk Carrier Using CFD*. Altair Technology Conference. India.
- Chrismianto Deddy, Trimulyono Andi, Hidayat Nurul M, 2014. *Analisa Pengaruh Modifikasi Bentuk Haluan Kapal Terhadap Hambatan Total Dengan Menggunakan CFD*. Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Cussons, 2011. *Educational Marine Hydrodynamics*. Britania Raya. Manchester
- Dariasnyah, 2017. *Bentuk Kasko dan Pengaruhnya Terhadap Kaspasitas Volume Ruang Muat dan Tahanan Kasko*. Albacore. Program Studi Teknolog Perikanan laut. Institute Pertanian Bogor.
- Diesel MAN, 2011. *Basic Principles of Ship Propulsion*. Copenhagen, Denmark.
- Dwitara Ibram, Santoso Agoes, Amiadji, 2013. *Analisa Aliran dan Tekanan pada Perubahan Bentuk Skeg Kapal Tongkang dengan Pendekatan CFD*. Institute Teknologi Sepuluh Nopember.
- Harvald SV. AA., 1983. *Resistance and Propulsion of Ships*. Departement of Ocean Engineering. The Technical University of Denmark, Lyngby.
- Holtrop J. and Menned G. G. J., 1987. *An approximate power prediction method*. Netherlands.
- ITTC, 1957, *Proceedings of the 8th ITTC*, Madrid, Spain, Canal de Experiencisas Hidrodinamicas, El Pardo, Madrid.
- ITTC, 2008. *Guidelines for Uncertainty Analysis in Resistance Towing Tank Test*. Procedure 7.5-02-02-02, Revision 01. Madrid.

- Republik Indonesia, 2017. Penyelenggaraan Angkutan Penyeberangan. Menteri Perhubungan. Jakarta.
- Repubik Indonesia, 2016. Tata Cara Pengangkutan Kendaraan di Atas Kapal. Menteri Perhubungan. Jakarta.
- Richards John S, Reinholz Oliver. (2011). Hydrodynamic Trends in Ferry Design. Honolulu, Hawaii, USA. 11th International Conference onFast Sea Transportation.
- Ririmasse, 2014. Analisa Perubahan Bentuk Kapal Terhadap Kecepatan Transportasi Kapal Laut Akibat Perubahan Ukuran Pokok. Jurnal Teknologi. Voume 11 Nomor 2.
- Shama M, 2013. *Buckling of Ship Structure*. Naval Architecture & Marine Engineering Alexandria University, Egypt.
- IMO, 2014. *The Safety Of Life at Sea*. International Maritime Organization. London
- Susilo Joko, Santoso Agoes, Musyriadi. 2013. *Simulasi Penggunaan Fin Undership Terhadap Tahanan dan Gaya Dorong Kapal dengan Metode Analisa CFD*. Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Surabaya
- Won Yu Jin, Gill Lee Young. (2015). Hull form design for the fore-body of medium-sized passenger ship with gooseneck bulb. Korea. Elsevier.
- Zohuri B, (2015). *Dimensional Analysis and Self-Similarity Methods for Engineers and Scientists*. Springer International Publishing. Switzerland.

Lampiran 1. Tahanan Total Hasil Uji Eksperimen

Model = B5L10

V = 0,314 m/det

Posisi (m)	Durasi (detik)	R_{TM} (N)
15,00	47,771	0,231000002
15,01	47,803	0,230999999
15,02	47,834	0,230999999
15,03	47,866	0,231000002
15,04	47,898	0,231000000
15,05	47,930	0,230999999
15,06	47,962	0,230999999
15,07	47,994	0,231000000
15,08	48,025	0,231000002
15,09	48,057	0,230999999
15,10	48,089	0,231000002
15,11	48,121	0,231000000
15,12	48,153	0,230999998
15,13	48,185	0,231000000
15,14	48,217	0,231000002
15,15	48,248	0,230999999
15,16	48,280	0,230999999
15,17	48,312	0,231000002
15,18	48,344	0,230999998
15,19	48,376	0,231000002
15,21	48,408	0,231000000
15,22	48,439	0,230999998
15,23	48,471	0,231000000

