

**STUDI EKSPERIMEN TAHANAN KAPAL BERBENTUK
HYDROELASTIC BODY MENGGUNAKAN BULBOUS BOW**

SKRIPSI

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Meraih Gelar Strata 1 (S1)

Sarjana Teknik Perkapalan Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



CHRIS JEREMY VERIAN SITORUS

D311 15 005

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA 2019



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Poros Malino KM.6 Bontomarannu Gowa, 92171, Gowa, Sulawesi selatan

LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI

Tugas Akhir diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mengikuti ujian akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

STUDI EKSPERIMEN TAHANAN KAPAL BERBENTUK
HYDROELASTIC BODY MENGGUNAKAN BULBOUS BOW

Disusun Oleh :

CHRIS JEREMY VERIAN SITORUS

D31115005

Gowa, 05 Desember 2019

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen pembimbing 1

Dosen pembimbing 2

Ir. Lukman Bochary, MT
Nip : 195811271988031001

Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT
Nip : 197302062000121002

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT
Nip : 197302062000121002

STUDI EKSPERIMEN TAHANAN KAPAL BERBENTUK HYDROELASTIC BODY MENGGUNAKAN BULBOUS BOW

Chris Jeremy Verian Sitorus, Lukman Bochary, dan Suandar Baso

Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddiin, Gowa
Jl. Poros Malino, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92119

ABSTRAK

Tahanan kapal dan karakteristik *hydroelastic* mempunyai hubungan yang tidak dapat dipisahkan karena pada dasarnya kapal bukanlah *rigid body* tetapi kapal adalah *elastic body*. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian tahanan pada model kapal berbentuk *hydroelastic body* dengan metode eksperimen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan perbandingan nilai tahanan kapal *hydroelastic body* dan *rigid body*. Pada pembuatan model *hydroelastic body* ini, model *rigid body* di bagi menjadi 5 kompartemen dan dihubungkan dengan pegas, fungsi dari pegas ini sebagai media yang memberikan efek elastisitas pada lambung model *hydroelstic body* dengan tetap mempertahankan ukuran utama model. Berdasarkan hasil eksperimen diketahui nilai tahanan kapal *hydroelastic body* lebih besar dibandingkan model kapal *rigid body* dengan presentase perbandingan nilai tahanan model kapal sebesar 40.741 %.

Kata kunci : Tahanan kapal, *hydroelastic body*, eksperimen.

EXPERIMENT STUDY OF SHIP RESISTANCE WITH *HYDROELASTIC BODY FORM USING BULBOUS BOW*

Chris Jeremy Verian Sitorus, Lukman Bochary, and Suandar Baso

Naval Architecture Department

Faculty of Engineering, University of Hasanuddin, Gowa

Jl. Poros Malino, Gowa Regency, South Sulawesi 92119

ABSTRACT

Ship resistance and hydroelastic behavior have an inseparable relationship because, basically the ship is not a *rigid* body but the ship is an elastic body. In this research, a resistance test was conducted on a hydroelastic body model form with experimental methods. The purpose of this research is to determine the comparison of resistance values between ship hydroelastic body and *rigid* body. for making the hydroelastic body model, the *rigid* body model is divided into five compartments and connected with springs, The function of this spring as a medium that gives effect elasticity of the hydroelastic model hull, without change the main dimension of model. The experiment found that the hydroelastic body resistance value of the ship was greater than the *rigid* body model ship with a comparative percentage of the ship model resistance value of 40.741%.

Keywords: Ship resistance, hydroelastic, experiment.

KATA PENGANTAR

Shalom, Damai Sejahtera Bagi Kita Semua. Segala puji dan syukur Kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat dan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul :

“STUDI EKSPERIMEN TAHANAN KAPAL BERBENTUK *HYDROELASTIC BODY* MENGGUNAKAN *BULBOUS BOW*”

Pengerjaan tugas akhir ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini adalah suatu kebanggaan tersendiri, karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewati dengan usaha dan upaya yang sungguh-sungguh.

Dari awal studi menginjakkan kaki di Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin sampai terselesaikannya skripsi ini begitu banyak pihak yang telah membantu penulis, baik bantuan moril maupun bantuan materil. Maka dari itu pada kesempatan ini dengan segenap kerendahan hati penulis mengucapkan ucapan terima kasih utamanya kepada Kedua orang tua tercinta **Ayahanda J.P. Sitorus** dan **Ibunda Norma Nainggolan** yang senantiasa mendoakan demi keselamatan dan kebahagiaann anaknya. Ucapan terima kasihku dan penghargaanku pula kepada :

1. Bapak Ir.Luckman Bochary, MT selaku pembimbing I dan Bapak Dr.Eng. Suandar Baso, ST., MT. selaku pembimbing II.Terima kasih atas segala masukan, dukungan, semangat, nasehat,serta waktu untuk bimbingan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr.Eng. Suandar Baso, ST., MT selaku ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.
3. Ibu Ir. Hj. Rosmani, MT selaku Kepala Labo Hidrodinamika Kapal.
4. Bapak Hamzah, ST., MT. selaku Penasehat Akademik yang selalu membimbing dan memberikan arahan dalam perencanaan mata kuliah.
5. Bapak Prof.Ir. Mansyur Hasbullah,M.Eng, dan Ibu Andi Dian Eka Anggreani, ST., MT. selaku penguji dalam tugas akhir ini.
6. Ibu Uti, Pak Rio, dan Kak yudi selaku staf jurusan perkapalan Fakultas teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
7. Seluruh Dosen Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
8. Kepada saudara-saudara ku Abang Rido,Abang Richard dan adik saya Dito yang telah memberikan doa,dorongan,motivasi dan semangat kepada penulis dalam berbagai hal baik, selama penulis melaksanakan studi dirantau .
9. Kepada saudara-saudara ku PLATFORM 15 Terima kasih atas kenangan-kenangan selama penulis ada diantara kalian.

10. Kepada teman-teman Teknik Perkapalan 2015, terima kasih telah memberi pengalaman tentang persahabatan selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Perkapalan.
11. Kepada teman-teman seperjuangan skripsi hydroelastic team (Hime, Fika, Fadel, Yance). Terima kasih atas kebersamaannya dalam penelitian di towing tank yang selalu banyak canda, tegang, ngegas dan lain-lain yang nantinya akan kita kenang. Dan percayalah bahwa Menjadi S.T.(Sarjana Towing Tank) Tidak mudah teman.
12. Kepada Kak Aqsa Elektro 14 Terima Kasih atas waktu dan pengorbanannya dalam membantu penelitian hydroelastic team.
13. Kepada adik Andi Riswandi Teknik Perkapalan 16 Terima kasih atas waktu, tenaga, dan menjadi bagian dari penelitian kami sehingga penelitian kami dapat terselesaikan.
14. Kakak-kakak Teknik Perkapalan Unhas 2012, 2013 dan 2014 atas segala semangat dan dukungannya selama ini.
15. Kepada saudara-saudara KMKO TEKNIK 2015 terima Kasih karena telah mengajarkanku Berkepanitian dan Boleh bertumbuh dalam Kristus.
16. Kepada Adik-Adik SHIP(Share His Love To People) KMKO Perkapalan 2017 Terima Kasih atas segalanya Sukses Untuk Kita semua
17. Kepada KMKO PERKAPALAN Terkhusus saudara-saudaraku KMKO KAPAL15(Yulius, Juminto, Yance, Yuven, Firman, Ichal, Agung, Esha, Patra, Darmin, Stevan, Afred, Claudia, Riska, Febby, Grace) yang telah mengajarkan

saya untuk tidak menjadi mahasiswa KUPU-KUPU terima kasih atas kebersamaannya Selama ini. INI MHE KELUARGATA

Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa senantiasa memberkati orang-orang yang selalu baik kepada saya .Saya menyadari bahwa didalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, saya memohon maaf dan meminta kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penelitian ini. Akhir kata saya berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti sendiri maupun bagi semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya.

Gowa, 09 Oktober 2019

Penulis

Chris Jeremy Verian Sitorus

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar pengesahan.....	ii
Abstrak.....	iii
Abstract.....	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	viii
Daftar Notasi.....	xi
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar.....	xiv
Daftar Lampiran.....	xvi
Bab I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
Bab II Tinjauan Pustaka.....	6
2.1 Kapal <i>General Cargo</i>	6
2.2 Tahanan Kapal.....	7
2.2.1 Komponen tahanan.....	10
2.3 Hukum Bernouli	15
2.4 <i>Hydroelastic</i>	16

2.5 <i>Hydroelastic Experiments</i>	18
2.6 Elastisitas	21
2.7 Tegangan dan Regangan	21
2.8 <i>Bulbous Bow</i>	24
2.8.1 Bentuk – bentuk <i>Bulbous Bow</i>	27
2.9 Tangki Percobaan (<i>towing tank</i>)	29
Bab III Metodologi Penelitian	30
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	31
3.1.1 Lokasi Penelitian	30
3.1.2 Waktu Penelitian	30
3.2 Jenis Penelitian	31
3.3 Jenis Data dan Teknik Pengambilan Data	31
3.3.1 Jenis Data	31
3.4 Metode Pengolahan Data	32
3.4.1 Data kapal	32
3.5 Pembuatan Model <i>Hydroelastic Body</i>	34
3.6 Persiapan Pengujian	39
3.7 Analisis Data	44
3.8 Penarikan Kesimpulan	44
3.9 Kerangka Pemikiran	45
Bab IV Hasil dan Pembahasan	46
4.1 Perspektif Model Prototype Kapal	46
4.1.1 <i>Rigid Body</i>	46

4.1.2 <i>Hydroelastic Body</i>	46
4.2 Pegujian Tahanan Model	47
4.2.1 Tahanan Model <i>Rigid Body</i>	47
4.2.2 Tahanan Model <i>Hydroelastic Body</i>	50
4.3 Pegujian Elastisitas Spring.....	53
4.4 Perbandingan Nilai Tahanan Model Kapal <i>Hidroelastic Body</i> dan <i>Rigid Body</i>	54
Bab V Penutup	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran	57
Daftar Pustaka.....	58
Lampiran	57

DAFTAR NOTASI

Notasi	Nama	Satuan
DWT	Deadweight tonnage	Ton
RTM	Tahanan total model	N
RFM	Tahanan gesek model	N
f,n	Konstanta fungsi dari panjang dan sifat permukaan	
RRM	Tahanan sisa model	N
CT	Koefisien tahanan total	
CR	Koefisien tahanan sisa	
CF	Koefisien tahanan gesek	
CW	Koefisien tahanan gelombang	
CFO	Koefisien tahanan bentuk	
(1+k)	<i>From factor</i>	
CAA	Tahanan akbat angin (<i>air resistance</i>)	N
P	Tekanan	Pa
P	Massa jenis	Kg/m ³
G	Percepatan gravitasi bumi (0,98)	m/s ²
H	Tinggi tertentu dari garis datar	M
V	Kecepatan sebuah benda	m/s
R	Tahanan kapal	N
P	Tekanan statis fluida	Pa
μ	Viskositas	Pa.s

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Ukuran utama kapal	31
Tabel 2. Ukuran model kapal dengan skala 1:40	31
Tabel 3. Kebutuhan / material pembuatan model	33
Tabel 4. Matriks waktu pengujian	34
Tabel 5. Matriks kebutuhan pengujian	39
Tabel 6. Nilai rata-rata tahanan total model <i>rigid</i> kapal menggunakan <i>bulbous bow</i> tiap kecepatan	48
Tabel 7. Nilai tahanan model <i>hydroelastic body</i> tiap kecepatan	51
Tabel 8. Perbandingan nilai tahanan model kapal <i>hydroelastic</i> dan model kapal <i>rigid</i>	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kapal <i>general cargo</i>	6
Gambar 2. Gaya yang bekerja pada kapal.....	9
Gambar 3. Respon global untuk struktur apung G.....	18
Gambar 4. Interaksi Hydroelastic.....	19
Gambar 5. Tanpa Hydroelastic	21
Gambar 6. Model Kapal Hydroelastic	21
Gambar 7. Potongan Kapal <i>Hydroelastic</i>	21
Gambar 8. Model kapal skala kecil dan penuh	26
Gambar 9. Grafik Pertambahan Panjang Akibat Gaya	27
Gambar 10. Perubahan aliran pada hukum Bernoulli	27
Gambar 11. Perubahan aliran gelombang akibat penggunaan bulbous bow ...	27
Gambar 12. Bentuk <i>Bulbous Bow</i> bentuk titik air terbalik	27
Gambar 13. Bentuk <i>Bulbous bow</i> bentuk titik air bergantung.....	27
Gambar 14. Bentuk <i>Bulbous bow</i> bentuk elips.....	27
Gambar 15. Kolam Uji.....	29
Gambar 16. Alat Penarik Model (<i>carriage</i>).....	29
Gambar 17. <i>Lines Plan</i> KM. Artha Bahari-8 35.....	33
Gambar 18. Model kapal <i>Rigid</i> Menggunakan Bulbous Bow pada Aplikasi maxsurf.....	33
Gambar 19. Sketsa Pembagian Kompartement pada Model.....	35
Gambar 20. Penandaan pada lambung kapal	36
Gambar 21 . Proses pemotongan lambung kapal menjadi 5 kompartemen.....	36

Gambar 22. Proses Pengamplas.....	37
Gambar 23. Pemasangan Spring.....	38
Gambar 24. Kerangka pikir penelitian.....	45
Gambar 25. Model <i>Rigid body</i>	46
Gambar 26. Model <i>hydrelastic body</i>	47
Gambar 26. Tampak atas model <i>hydrelastic body</i>	47
Gambar 27. Grafik tahanan model <i>rigid body</i> pada kecepatan 0,244 m/s	48
Gambar 28. Grafik hubungan antara kecepatan kapal dengan tahanan model kapal	50
Gambar 29. Percobaan 1 Grafik tahanan model <i>hydroelastic</i> kecepatan 0,244 m/s	50
Gambar 30. Percobaan 1 Grafik tahanan model <i>hydroelastic body</i> kecepatan 0,244 m/s	51
Gambar 31. Grafik hubungan antara kecepatan kapal dengan tahanan model <i>hydroelastic body</i>	53
Gambar 32. Grafik tahanan model kapal <i>hydroelastic body</i> dan model kapal <i>rigid body</i>	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Main Parameters of ship-bulb combinations of data collected with

$$C_b = 0,7.$$

Lampiran 2. Penentuan nilai kecepatan kapal model

Lampiran 3. Penentuan nilai tahanan total model *Rigid body* yang menggunakan *bulbousbow* pada tiap variasi kecepatan .

Lampiran 4. Penentuan nilai tahanan total model *Hydroelastic body* yang menggunakan *bulbousbow* pada tiap variasi kecepatan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu aspek yang menjadi bahan pertimbangan dalam mendesain bentuk badan kapal adalah tahanan kapal. Tahanan kapal merupakan ilmu yang mempelajari reaksi fluida akibat gerakan kapal yang melalui fluida tersebut. Dalam istilah hidrodinamika kapal, tahanan/*resistance/drag* adalah besarnya gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan kapal berpengaruh terhadap pertimbangan dalam penentuan daya mesin kapal. Dimana semakin besar tahanan kapal, maka akan semakin besar pula daya mesin induk (main engine) yang dibutuhkan untuk mendorong Kapal . Besarnya Tahanan Kapal sangat dipengaruhi oleh : Kecepatan kapal(v),Disiplamen,dan bentuk lambung kapal.

Tantangan utama dalam mendesain sebuah kapal adalah sulitnya pencapaian efisiensi yang optimum, baik dalam hal ekonomis dan *performance* . Untuk menyesuaikan besar daya mesin dengan kecepatan yang diinginkan, maka harus diketahui besar tahanan pada kapal tersebut. Tahanan kapal dapat diprediksi melalui perhitungan : secara analitis (teoritis),Pengujian model (Eksperimen),dan Perhitungan secara Numerik.

Konsep yang menyatakan bahwa kapal adalah struktur fleksibel yang dapat dimodelkan sebagai balok elastis, pertama kali dirujuk dalam literatur Oleh Inglis Namun,Istilah *hydroelastic* ditemukan pertama kali

oleh Heller dan Abramson. Mereka mendefinisikan *hydroelastic* sebagai padanan dari aeroelastisitas dan menyadari bahwa ada perbedaan interaksi antara gaya hidro-dinamis, inersia, dan elastis yang dialami oleh Kapal. Dengan kata lain, tekanan fluida yang bekerja pada struktur Mengubah keadaan dinamikanya dan, sebaliknya, gerakan dan distorsi struktur mengganggu tekanan di sekitarnya.

Tahanan dan *hydroelastic* mempunyai hubungan yang tidak dapat dipisahkan karena pada dasarnya kapal bukanlah *rigid* body tetap kapal adalah *elastic* body. Adolfo Marón et al. (2014) melakukan penelitian berjudul “*Design of a ship model for hydro-elastic experiments in waves*” Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui Perilaku *hydroelastic* kapal di gelombang, Hasil penelitian menunjukkan bahwa tujuan dari model elastisitas tercapai dengan Baik. Berdasarkan Penelitian yang telah dilakukan oleh (Aji Prayoga,2019) yang berjudul “Komparasi Tahanan Kapal Yang Menggunakan *Bulbous Bow* dengan Tanpa *Bulbous Bow* Melalui Eksperimen”. menyatakan bahwa penggunaan *bulbous bow* terbukti mampu mereduksi hambatan.Nilai tahanan model kapal menggunakan *bulbous bow* lebih kecil dibandingkan tanpa *bulbous bow* dengan persentase perbandingan sebesar 7,094 % pada kondisi kecepatan dinas dan untuk setiap variasi kenaikan kecepatan kapal memiliki nilai rata- rata persentase perbandingan tahanan model kapal sebesar 10,41 %.

Berdasarkan uraian diatas penulis tertarik meneliti hubungan tahanan kapal dengan konsep *hydroelastic* dalam penelitian yang berjudul

“Studi Eksperimen Tahanan Kapal Berbentuk *Hydroelastic Body* Menggunakan *Bulbous Bow*”.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Berapa besaran nilai tahanan kapal *hydroelastic body* dilengkapi dengan *bulbous bow* melalui eksperimen?
2. Bagaimana perbandingan nilai tahanan antara *rigid body* dengan *hydroelastic body* dilengkapi dengan *bulbous bow* melalui eksperimen?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang di berikan dalam penelitian ini adalah :

1. Kapal yang digunakan adalah kapal general kargo.
2. Pengujian dibatasi pada perairan tenang.
3. Pengujian dibatasi pada kecepatan 3,6, 9 dan 12 knot.
4. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika Kapal Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menentukan besaran nilai tahanan kapal *hydroelastic body* melalui eksperimen.
2. Mengetahui perbedaan besaran nilai tahanan kapal *hydroelastic body* dan *rigid body* menggunakan *bulbous bow* melalui eksperimen?

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai informasi untuk mengetahui besarnya nilai tahanan kapal *hydroelastic body*
2. Sebagai informasi untuk mengetahui perbedaan nilai tahanan kapal *hydroelastic body* dan *rigid body* menggunakan *bulbous bow*
3. Sebagai bahan masukan bagi perancang kapal dalam mendesain kapal, kaitannya dengan *hydroelastic body*

1.6 Sistematika Penulisan

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

1. BAB I PENDAHULUAN, dalam bab ini mengemukakan tentang informasi secara keseluruhan dari penelitian ini yang berkenaan dengan Latar belakang judul penelitian yang kemudian diturunkan pada Rumusan masalah, Batasan masalah, Tujuan penelitian, Manfaat penelitian, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini.
2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA, bab ini menguraikan dengan singkat tentang teori-teori yang digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini. Teori-teori tersebut mengenai kapal kargo, tekanan kapal, Hydroelastisitas, dan *towing tank*.
3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN, bab ini dikemukakan mengenai lokasi atau daerah penelitian, waktu penelitian, jenis penelitian, jenis data, teknik dalam pengambilan data, serta kerangka pikir penelitian.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, bab ini berisikan penyajian data yang telah diperoleh, proses pengolahan, hasil pengolahan data serta pembahasan.
5. BAB V PENUTUP, bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran-saran untuk peneliti selanjutnya maupun pihak – pihak yang terkait tentang penelitian ini.
6. DAFTAR PUSTAKA
7. LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal *General Cargo*

Kapal kargo adalah segala jenis kapal yang membawa barang-barang dan muatan dari suatu pelabuhan ke pelabuhan lainnya. (Wikipedia, 2017). Kapal-kapal barang terutama *general cargo* pada umumnya dapat membawa penumpang kelas sampai 12 penumpang dan tetap dinamakan kapal *general kargo* karena digunakan untuk mengangkut barang. Kapal *general kargo* mempunyai kecepatan berkisar antara 8 sampai 25 knot.



Gambar 1. Kapal *General Cargo*

(sumber : www.marinetraffic.com)

Kapal kargo KM. Artha Bahari 8 dengan nomer IMO 9044530 adalah kapal kargo yang dibuat dan berbendera Jepang dengan nama Kian Maru pada tahun 1992 dan berganti bendera Indonesia pada tahun 2013 dengan kecepatan

service 11 knot. Kapal *general cargo* umumnya berukuran sekitar 5.000 sampai 25.000 dwt.

Kapal *general cargo* yang lebih modern dibangun dengan dua *deck*, disebut “*tweendeckers*”, dengan berbagai keunggulannya dibanding tipe *single deck*. Ada juga kapal *general cargo* yang dilengkapi *container fittings* sehingga mampu memuat kontainer atau peti kemas. Untuk kebutuhan bongkar muat, *general cargo ship* dilengkapi *crane* (sekitar 30-40 ton SWL) sehingga mampu menangani bongkar muat kontainer dan jenis *cargo* lainnya.

2.2 Tahanan Kapal

Ketika kapal bergerak pada daerah permukaan bebas dari suatu fluida, maka variasi tekanan di daerah sekitar bodi kapal tersebut akan menghasilkan gelombang pada permukaan fluida. *Energy* dibutuhkan untuk mempertahankan terjadinya gelombang tersebut, sehingga hal ini menjadikannya disebut tahanan (*resistance*). Selain hal itu, terjadi pula gaya-gaya tangensial yang berlawanan arah dengan arah gerak kapal tersebut yang disebabkan oleh faktor viskositas fluida dan gerakan kapal. Berdasarkan kedua hal tahanan tersebut, maka dikenal dengan *wave making resistance* dan *viscous* atau *frictional resistance*. (S.W.Adji, 2009).

Viskositas menyebabkan perubahan aliran di sekitar lambung kapal, yang secara perlahan akan menaikkan tekanan hingga daerah ujung akhir dari lambung kapal. Akibat kondisi ini, sering pula dikenal dengan sebutan *viscous pressure*

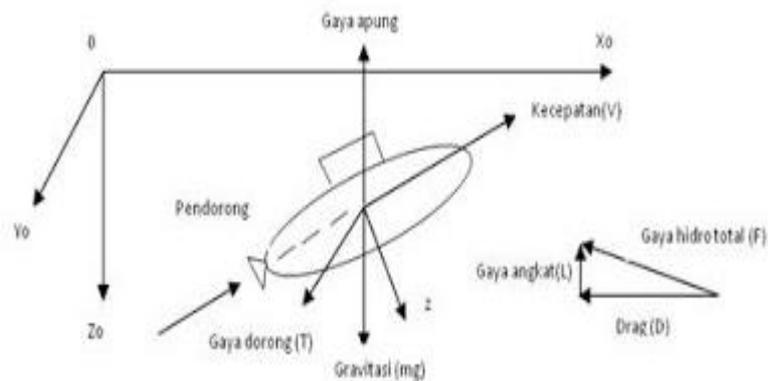
resistance, atau, *form resistance* tergantung bentuk lambung kapal. (S.W.Adji, 2009).

Bentuk aliran *streamline* di sekitar lambung kapal akan menghasilkan variasi kecepatan aliran, yang disebabkan oleh variasi local pada *frictional resistance*-nya. Yaitu, bila lambung kapal tiba-tiba secara *sectional* berubah bentuk, sehingga aliran fluida tidak mampu mengikuti garisnya dan aliran akan patah. Hal ini sering terjadi pada daerah *transom stern*. Di daerah patahan tersebut, muncul *eddies current* (arus pusaran) yang akan menyerap energi dan hal ini pun menjadikannya suatu tahanan. Dan dikarenka variasi aliran dan arus pusaran adalah dihasilkan oleh bentuk lambung kapal (*ship form*), maka tahanan ini sering dikaitkan terhadap *form resistance*. (S.W.Adji, 2009).

Kapal memiliki sejumlah bentuk tonjolan-tonjolan (*appendages*). Masing-masing memiliki karakteristik *dimensional* sendiri, sehingga ada baiknya menjadikannya suatu tahanan tersendiri (terpisah dengan tahanan di lambung utama kapal). Pengelompokan dari tahanan tersebut akan membentuk tahanan yang dikenal dengan *appendage resistance*. (S.W.Adji, 2009).

Tahanan (*resistance*) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal, namun berlawanan arah. Tahanan di pengaruhi oleh kecepatan, displasemen dan bentuk lambung kapal. Adanya tahanan ini menyebabkan kecepatan operasi kapal menurun. Sedangkan suatu tahanan kapal ini adalah sama

dengan suatu gaya dan karena dihasilkan oleh air, maka ini disebut gaya *hidrodinamika*. Gaya hidrodinamika ini semata-mata disebabkan oleh gerakan relatif kapal terhadap air. Gerakan kapal di fluida bekerja seperti sistem sumbu orthogonal yaitu 3 (tiga) buah sumbu x, y, dan z, ditempatkan sedemikian rupa, pusat sumbu berimpit dengan titik berat kapal. Bidang x, dan y satu bidang dengan permukaan bumi (sejajar). (Hasbullah.M dkk., 2016)



Gambar 2. Gaya yang Bekerja Pada Kapal

Gerakan kapal dibebani 4 (empat) gaya yang tidak tergantung satu sama lainnya :

1. Gaya hidrostatis yaitu massa kali percepatan gravitasi bumi (mg).
2. Hambatan hidrostatis (gaya apung) F_A 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. (Bockhary dkk., 2016)

Gaya-gaya tersebut diatas timbul akibat adanya ;

1. Kecepatan kapal (V), relatif terhadap air dan udara atau yang dilintasi oleh kapal tersebut.
2. Gaya gravitasi bumi yang bekerja baik pada kapal maupun pada air yang dibebani oleh kapal itu
3. Aksi yang dilakukan pendorong kapal (*Propeller*).

Pada dasarnya tahanan kapal dibagi menjadi dua, yaitu tahanan yang terjadi diatas permukaan cairan dan tahanan yang terjadi dibawah permukaan cairan. Tahanan yang terjadi diatas permukaan cairan adalah tahanan yang bekerja pada bagian kapal yang kelihatan diatas permukaan cairan, tahanan ini dipengaruhi oleh adanya udara/angin sehingga biasa disebut tahanan udara/angin. (Bockhary dkk., 2016)

2.2.1 Komponen Tahanan

Pada dasarnya tahanan kapal dibagi menjadi dua yaitu tahanan yang berada di atas permukaan air dan tahanan yang berasal dari bawah permukaan air. Tahanan yang di atas permukaan air adalah yang bekerja pada bagian badan kapal yang kelihatan di atas permukaan air, disini pengaruh adanya udara yang mengakibatkan timbulnya hambatan. (Bockhary dkk., 2016)

Komponen tahanan yang bekerja pada kapal dalam gerakan mengapung di air adalah :

A. Tahanan gesek (*Friction 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. Semua fluida 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 (RV) adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh viskos. Tahanan gesek ini dipengaruhi oleh beberapa hal, sebagai berikut :

- Angka Renold (*Renold's number, Rn*)

$$Rn = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad (1)$$

- Koefisien gesek (*friction coefficient, Cf*)

$$Cf = \frac{0,75}{(\log Rn - 2,0)^2} \quad (2)$$

- Rasio kecepatan dan panjang kapal (*speed length ratio, Slr*)

$$Slr = \frac{Vs}{\sqrt{L}} \quad (3)$$

Dimana L adalah panjang antara garis tegak kapal (*length between perpendiculars*).

B. Tahanan sisa (*Residual Resistante*)

Tahanan sisa didefenisikan sebagai kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari hambatan total badan kapal dengan hambatan gesek dari permukaan kapal. Hambatan sisa terdiri dari :

1. Tahanan gelombang (*Wake Resistance*)

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.

2. Tahanan udara (*Air Resistance*)

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. Tahanan ini tergantung pada kecepatan kapal dan luas serta bentuk bangunan atas tersebut. Jika angin bertiup maka tahanan tersebut juga akan tergantung pada kecepatan angin dan arah relatif angin terhadap kapal.

3. Tahanan bentuk

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.

4. Tahanan Pola Gelombang, RWP (*Wave Pattern Resistance*)

Tahanan pola gelombang adalah komponen tahanan yang disimpulkan dari hasil pengukuran elevasi gelombang yang jauh dari model kapal; dalam hal ini medan kecepatan bawah permukaan (*subsurface velocity field*), yang berarti

momentum fluida, dianggap dapat dikaitkan dengan pola gelombang dengan memakai teori linier. Tahanan yang disimpulkan demikian itu tidak termasuk tahanan pemecahan gelombang (*wave breaking resistance*).

5. Tahanan Tekanan, RP (*Pressure Resistance*)

Tahanan tekanan adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegralakan tegangan normal keseluruhan permukaan kapal menurut arah gerakan kapal.

6 Tahanan Tekanan Viskos, RPV (*Viskos Pressure Resistance*)

Tahanan tekanan viskos adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegalkan komponen tegangan normal akibat viskositas dan turbulensi. Kuantitas ini tidak dapat diukur langsung, kecuali untuk benda yang terbenam seluruhnya, dalam hal ini sama dengan tahanan tekanan.

7 Tahanan tambahan (*Added Resistance*)

Tahanan ini mencakup tahanan untuk korelasi model kapal. Hal ini akibat adanya pengaruh kekasaran permukaan kapal, mengingat bahwa permukaan kapal tidak akan pernah semulus permukaan model. Tahanan tambahan juga termasuk tahanan udara, anggota badan kapal dan kemudi.

Komponen Tahanan tambahan terdiri dari :

- a. Tahanan anggota badan (*Appendages Resistance*), yaitu tahanan dari bos poros, penyangga poros, lunas bilga, daun kemudi dan sebagainya.
- b. Tahanan kekasaran yaitu terjadi akibat kekasaran dari korosi air, pengotoran pada badan kapal, dan tumbuhan laut.
- c. Hambatan kemudi (*Steering Resistance*), yaitu akibat pemakaian kemudi mengakibatkan timbulnya hambatan kemudi.

Lingkungan juga berpengaruh pada tahanan. Bila kapal bergerak di air yang terbatas, dinding pembatas air tersebut akan cukup dekat untuk mempengaruhi tahanan kapal. Terbatas disini diartikan sebagai dekatnya jarak

antara dinding pembatas air itu sendiri dalam arah horizontal. Kedangkalan air juga mempunyai pengaruh pada tahanan, yang disebut pengaruh air dangkal (*Shallow Water Effect*). Bila membandingkan karakteristik untuk kerja kapal umumnya karakteristik di daerah perairan yang mempunyai panjang, lebar dan kedalaman yang terbatas. Selain itu, jika berada di jalur perairan samudera bebas (*sea way*), tahanan kapal akan mengalami perubahan yang berupa :

1. Adanya Tahanan Tambahan (*Added Resistance*) akibat angin yang bertiup pada bagian superstructure, RAA.
2. Tahanan menjadi lebih besar akibat gerakan kapal.
3. Adanya tahanan tambahan akibat refleksi gelombang pada badan kapal.
4. Tahanan menjadi lebih besar karena sudut hanyut (*drift angle*) yang ditimbulkan oleh baik angin dan gelombang maupun gerakan daun kemudi.

Kenaikan tahanan rata-rata digelombang, RAW, diartikan sebagai kenaikan tahanan rata-rata di angin dan gelombang dibandingkan terhadap tahanan di air tenang pada kecepatan rata-rata yang sama.

Berdasarkan buku *resistance and propulsion of ship* (halaman 117), tahanan total yang terjadi pada sebuah kapal dapat dihitung dengan memakai rumus:

$$R_T = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_T \text{ (kg)} \quad (4)$$

Dimana :

- R_T = tahanan total kapal (kg)
- C_T = koefisien tahanan total
- ρ_f = massa jenis fluida (kg/m^3)
- V = kecepatan kapal (m/s)
- S = luas bidang basah (m^2).

Koefisien tahanan total sebuah kapal dapat diuraikan sebagai berikut ;

$$C_T = C_F + C_R + C_A \quad (5)$$

Dimana :

C_T = koefisien tahanan total

C_F = koefisien tahanan gesek

C_R = koefisien tahanan sisa

C_A = koefisien tahanan tambahan.

2.3 Hukum bernoulli

Salah satu hukum dasar dalam menyelesaikan persoalan fluida bergerak adalah hukum bernoulli. Hukum bernoulli sebenarnya adalah hukum tentang energi mekanik yang diterapkan pada fluida bergerak sehingga keluar persamaan yang bentuknya khas. Hukum bernoulli menyatakan bahwa kenaikan fluida akan menyebabkan penurunan tekanan fluida secara bersamaan atau penurunan energi potensial fluida tersebut atau dengan kata lain tekanan akan menurun jika kecepatan aliran meningkat. (Mikrajuddin A, 2016)

Hukum Bernoulli dapat diaplikasikan pada berbagai jenis aliran fluida dengan beberapa asumsi, diantaranya adalah:

- 1) Fluida tidak dapat dimampatkan (incompressible).
- 2) Fluida tidak memiliki viskositas (inviscid).
- 3) Aliran Fluida tidak berubah terhadap waktu (steady).
- 4) Aliran fluida laminar (bersifat tetap, tidak ada pusaran).
- 5) Tidak ada kehilangan energi akibat gesekan antara fluida dan dinding.
- 6) Tidak ada kehilangan energi akibat turbulen.

- 7) Tidak ada energi panas yang ditransfer pada fluida baik sebagai keuntungan ataupun kerugian panas.

Persamaan Bernoulli berhubungan dengan tekanan, kecepatan, dan ketinggian aliran fluida yang bermassa jenis. Persamaan ini berasal dari keseimbangan energi mekanik (energi kinetik dan energi potensial) dan tekanan.

$$\text{Tekanan} + E_{\text{kinetik}} + E_{\text{potensial}} = \text{konstan} \quad (6)$$

Dalam bentuk lain, persamaan Bernoulli diatas dapat dituliskan menjadi:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (7)$$

dimana:

- P = tekanan (Pascal)
- ρ = massa jenis fluida (kg/m³)
- v = kecepatan fluida (m/s)
- g = percepatan gravitasi (g = 9,8 m/s²)
- h = ketinggian (m)

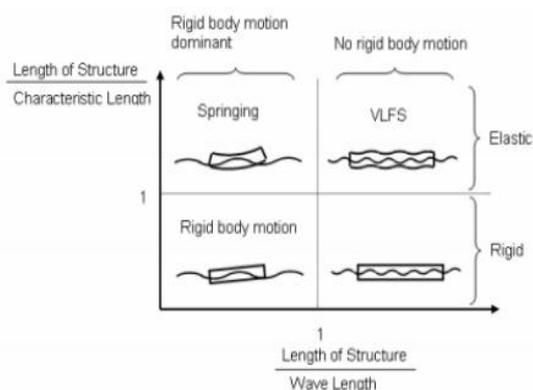
2.4 Hydroelastic

Sifat Kapal sebagai benda tegar yang merespons gelombang, sebagian besar menerapkan pendekatan Biasa, yakni bahwa proses desain harus dibagi menjadi prosedur berbeda antara hidrodinamika dan analisis semu-statis. Namun, menurut metode benda tegar, gerakan benda menyatakan bahwa struktur tidak mengalami tegangan atau tekanan. Konsep-konsep seperti Perubahan Bentuk, getaran/vibrasi, frekuensi, kelelahan, dll. tidak tercakup oleh teori benda tegar karena itu penting bagi Teknik Perkapalan untuk menilai respons dari struktur

kapal dengan menggambarkan perilaku keseluruhannya, dari sudut pandang dinamika berdasarkan penggabungan teori Struktur dan hidrodinamika.

Fakta bahwa struktur benda yang mengapung adalah fleksibel/Lentur mungkin telah diterima secara intuitif sejak zaman kuno. Di literatur teknik, gagasan bahwa kapal itu benar-benar struktur yang fleksibel dan dapat dimodelkan sebagai balok elastis diajukan dalam sebuah makalah oleh Inglis pada tahun 1929. Meskipun pada upaya awal tersebut, *hydroelastic* Sebagai benda Mengapung adalah Teori yang relatif baru. Istilah ini muncul untuk pertama kalinya dalam literatur teknis pada tahun 1959 tentang teori aeroelastisitas pada pesawat terbang.

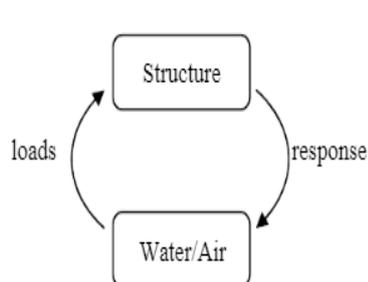
Heller dan Abramson mengusulkan definisi *hydroelastic* itu berkaitan dengan fenomena yang melibatkan interaksi timbal balik antara Inersia, gaya hidrodinamika dan elastisitas. Dari definisi tersebut didapatkan perbedaan signifikan antara dua bidang yang berbeda sehubungan dengan efek permukaan bebas, sifat fluida, pengaruh kavitasi dan kecepatan relatif antara kapal dan fluida. (Suzuki et. al., 2006).



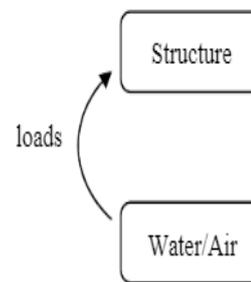
Gambar 3. Respon global untuk struktur apung.

hydroelastic dapat didefinisikan dengan cara yang sangat sederhana. *hydroelastic* adalah interaksi antara Fluida dan struktur. Ketika Tekanan air bekerja pada struktur dan struktur mengalami perubahan bentuk. Pada saat yang sama kecepatan deformasi struktural mempengaruhi tekanan di dalam air. Interaksi ini ditunjukkan pada (Gambar 4).

Jika tidak ada *hydroelastic* (Gambar 5) masalahnya diselesaikan dalam pendekatan dua langkah. Pertama, beban hidrodinamik ditentukan dengan asumsi bahwa struktur yang melewati air adalah kaku . Kemudian, beban ini diterapkan ke struktur untuk menemukan respons struktural. Jadi tidak ada interaksi antara respons struktural dan perilaku air. (Suzuki et. al., 2006)



Gambar 4. Interaksi *hydroelastic*



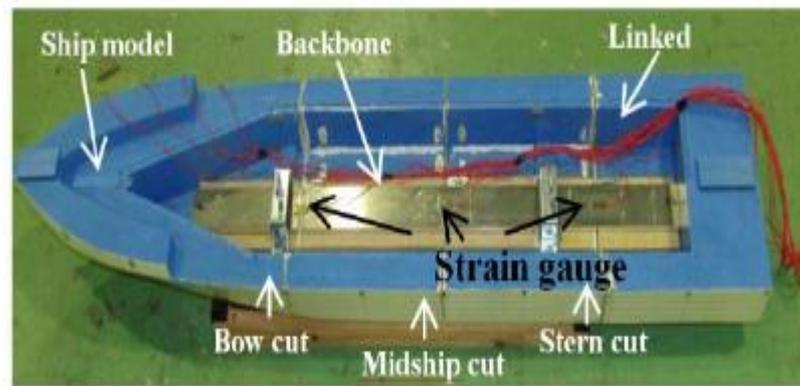
Gambar 5. Tanpa *hydroelastic*

2.6 *Hydroelastic Experiments*

Beberapa Eksperimen yang telah banyak dilakukan dan diteliti Oleh beberapa ahli dibawah Ini :

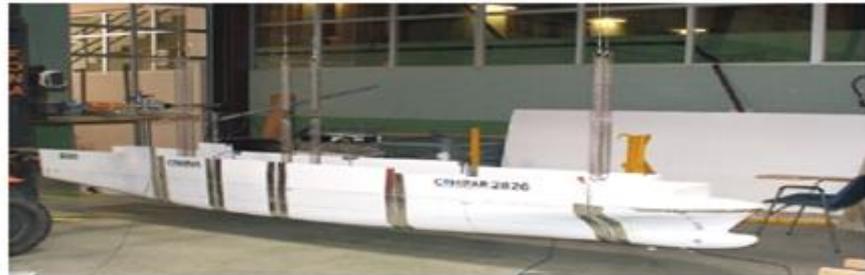
- a. (Suandar Baso, 2014) Menyelidiki hubungan antara *elastic motion* dan dampak tekanan yang disebabkan oleh *slamming* pada percobaan

dropping test untuk *elastic body*. Diasumsikan bahwa *impact load* dan regangan disebabkan oleh *slamming* yang diperoleh dari *elastic body* dengan sudut *deadrise* ke permukaan air yang tenang.



Gambar 6. Model Kapal *Hydroelastic*

- b. (Adolfo Marón,2014) Penelitian ini dilbuat model *hydroelastic* pada sebuah kapal kontainer dengan skala model 1:80. Panjang kapal 333.44 m dengan panjang model kapal 4.168. Pada Penelitian ini lambung kapal tersebut di cutting menjadi 6 kompartemen kemudian disatukan kembali dengan *flexible beam* dan *connecting rod* Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui Internal loads kapal tersebut pada kondisi air bergelombang dengan konsep *hydroelastic*.



Gambar 7. Potongan Kapal *Hydroelastic*

- c. (JIAO Jialong ,2017) Pada Penelitian Ini mau menunjukkan cara-cara pengujian kapal *hydroelastic*. Hal yang penting dari penelitian tidak hanya perilaku *hydroelastic* kapal, tetapi termasuk slamming, springing, pressure ,dan load predictions dapat dilacak. Pada Penelitian ini dilakukan uji coba di tangki percobaan skala kecil tidak hanya itu tetapi model kapal dibuat dalam skala besar/penuh dan di uji pada kondisi/Lingkungan yang sebenarnya. Uji coba kapal skala penuh adalah metode yang paling realistis untuk mendapatkan perilaku kapal secara real.



Gambar 8 . Model kapal skala kecil dan penuh

2.6 Elastisitas

Setiap benda akan mengalami perubahan ketika sebuah gaya diberikan padanya. Salah satu bentuk perubahan tersebut adalah perubahan panjang. Sifat benda dimana benda tersebut akan kembali ke bentuk semula ketika gaya yang bekerja pada benda itu dihilangkan disebut sifat elastisitas benda. Elastisitas adalah kemampuan benda untuk kembali ke bentuk awalnya segera setelah gaya yang bekerja pada benda tersebut dihilangkan (Giancolli, 1998:299). Sifat elastik panjang suatu benda diketahui dari besar konstanta elastisitas panjang bahan yang biasa disebut modulus Young.

2.7 Tegangan dan Regangan

Tegangan tarik menyatakan kekuatan dari gaya yang menyebabkan penarikan sebuah kawat yang biasanya dinyatakan dalam bentuk gaya per satuan luas (Sears dan Zemansky, 2004:335)

$$\sigma = \frac{\text{gaya}}{\text{luas}} = \frac{F}{A}, \quad (8)$$

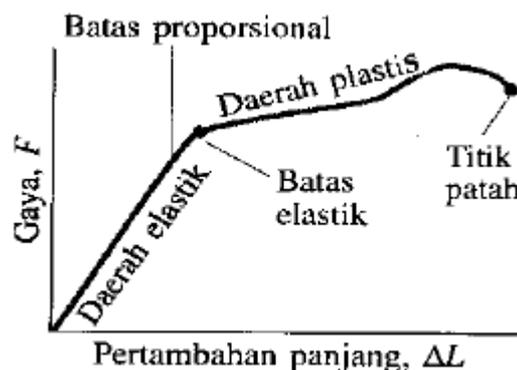
dengan F adalah gaya yang diberikan pada kawat. Dengan penampang kawat berbentuk lingkaran, maka luas penampang kawat dapat dinyatakan dalam diameter,

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad (9)$$

Berbagai percobaan pada pertambahan panjang kawat EL kecil menunjukkan bahwa pertambahan panjang kawat sebanding dengan berat atau gaya yang diberikan pada kawat tersebut,

$$F = k \Delta L \quad (10)$$

dengan k adalah konstanta. Persamaan (3) disebut hukum Hooke. Persamaan tersebut ternyata berlaku untuk semua materi padat, tetapi hanya sampai batas tertentu, karena jika gaya yang bekerja terlalu besar, logam meregang terlalu besar dan akhirnya patah. Gambar 1 menunjukkan grafik yang khas pertambahan panjang terhadap gaya yang diberikan pada logam sampai suatu titik yang disebut batas proporsional. Batas proporsional merupakan batas perubahan kemiringan pada grafik F terhadap EL , dan disebut juga batas linier. Pada daerah elastik, grafiknya berupa garis lurus. Setelah melewati batas linier ini grafik menyimpang dari garis lurus. Besar pertambahan panjang EL tidak hanya bergantung pada gaya yang diberikan padanya, tetapi juga pada bentuk benda dan ukurannya.



Gambar 9. Grafik Pertambahan Panjang Akibat Gaya (Giancoli,1998)

Percobaan menggunakan kawat baja halus dan besi menunjukkan bahwa molekul-molekul pada kawat bergeser satu sama lain segera setelah beban melampaui batas elastik, dan bahan berubah menjadi plastis (Nelkom dan Parker, 1987:135). Ketika pertambahan panjang masih berada pada batas elastik, yaitu ketika hukum

Hooke masih berlaku, atom yang mengalami sedikit pergeseran akan kembali ke posisi semula jika gaya yang diberikan dihilangkan. Regangan tarik (ε) adalah perubahan relatif panjang sebuah kawat yang mengalami tegangan tarik.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (11)$$

Hubungan antara tegangan dan regangan merupakan bentuk kesebandingan satu sama lain,

$$\sigma = E\varepsilon \quad (12)$$

dengan σ adalah tegangan, konstanta kesebandingan E adalah modulus Young, dan ε adalah regangan. Dari persamaan (1), (4) dan (5) diperoleh

$$\frac{F}{A} = E \frac{\Delta L}{L_0} \quad (13)$$

Dimana :

- F = Gaya (N)
- A = Luas (m^2)
- L_0 = Panjang awal (m)
- ΔL = Perubahan Panjang (m)
- σ = Tegangan (N/m^2)
- d = diameter (m)
- k = Konstanta Pegas
- ε = Regangan
- E = Modulus elastisitas young

2.8 Bulbous Bow

Bulbous bow adalah suatu bentuk konstruksi haluan yang berbentuk bulat telur yang ditempatkan pada linggi haluan bagian depan. Perbandingan model dalam percobaan menunjukkan bahwa sebuah kapal yang dilengkapi dengan *Bulbous bow* dapat membutuhkan sedikit daya dorong dan memiliki tahanan yang jauh lebih baik *performancenya* dari kapal yang tanpa menggunakan Bulbous Bow. (Harnita, 2011)

Bulbous bow biasanya dipasang sebagai fungsi utama dari alat ini adalah mengurangi hambatan kapal pada saat eksplotasi atau operasi sebuah kapal. Sebagian besar hambatan pada kapal diakibatkan oleh keberadaan bagian kapal yang mengalami kontak langsung dengan fluida. Fluida yang dilalui kapal membentuk pola gelombang akibat dari gerakan badan kapal yang pada akhirnya menimbulkan gesekan dengan lambung kapal, prinsip kerja dari *bulbous bow* adalah dengan mereduksi energi gelombang atau menginterferensi gelombang kapal yang datang dari haluan, sehingga gelombang yang datang akan kehilangan tenaga karena interferensi gelombang dari *bulbous bow*, dan pada akhirnya energi gelombang di sekitar lambung kapal akan berkurang, dengan demikian hambatan total kapal dapat diminimalisir. Keuntungan lain dari pemasangan *bulbous bow* yaitu memperbaiki trim kapal, akibat aliran fluida yang menekan bagian *bulb* dihaluan kapal. tekanan fluida yang mengalir dibagian atas *bulb* memberikan tekanan ke arah bawah dan menahan bagian haluan kapal mengangkat ke atas.

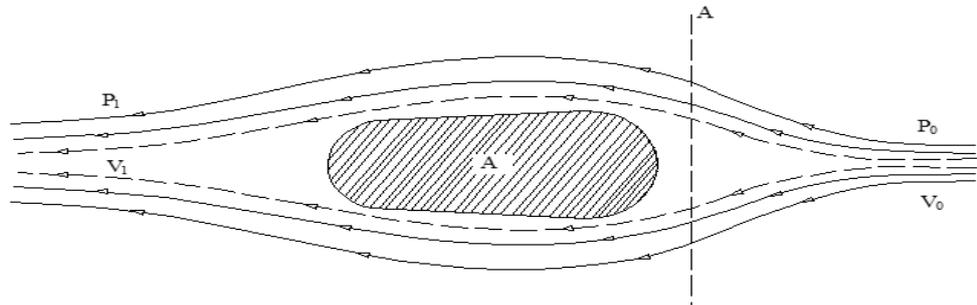
Bulbous bow pertama kali diperkenalkan pada tahun 1912 oleh angkatan laut Amerika Serikat, yang diperkenalkan oleh David Taylor. Namun hingga tahun 1950 tidak memperlihatkan perkembangan yang berarti. Bahkan pada batas waktu tersebut tidak pernah dijumpai pemakaiannya pada kapal-kapal barang. Berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh Wigley bahwa *Bulbous bow* ini cocok dan memberikan keuntungan bilamana:

1. Perbandingan antara kecepatan dan akar panjang berkisar antara 0,80 - 1,90
2. Posisi dari *bulbous* dan proyeksi ujungnya lebih panjang dari garis tegak depan
3. Bagian atas dari *bulbous bow* tidak boleh mendekati permukaan air. Namun dari penelitian-penelitian lebih lanjut tepatnya pada tahun 1956 yang dikembangkan dari Grena bahwa ternyata untuk kapal yang mempunyai harga froude 0.17 – 0.23 dapat dipakai *bulbous bow*.

Problem lain yang timbul pada kapal berkecepatan tinggi yang menggunakan *bulbous* adalah terjadinya kavitasi pada permukaan *bulbous bow* yang menghasilkan erosi dan kebisingan. Teori dasar dari sistem penggunaan *bulbous bow* adalah merupakan aplikasi dari asas Bernoulli. Dari hasil penyelidikannya menunjukkan adanya perubahan kecepatan dan tekanan cairan. Misalnya suatu cairan melewati suatu benda A misalnya (Gambar 2.2), bila cairan mengalir dengan kecepatan V_0 dan tekanan P_0 maka sampai pada batas A – A terjadi pembelokan. Ternyata kecepatan P_1 bertambah besar akibat adanya penyempitan permukaan cairan disisi benda A. Sesuai dengan asas Bernoulli

dengan membesarnya harga dari P_1 maka akan diikuti dengan penurunan harga dari V_1 . (Harnita, 2011)

$$P_0 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_0^2 = P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_1^2 \quad (14)$$



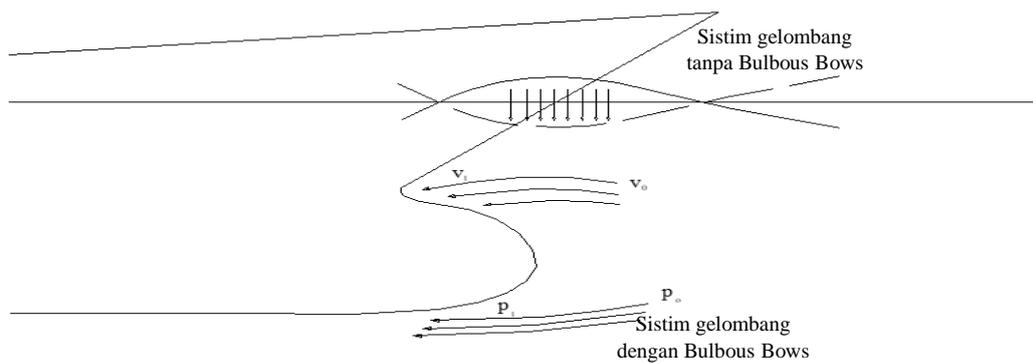
Gambar 10. Perubahan aliran pada hokum Bernoulli

Dimana :

P_0 = tekanan zat cair sebelum melewati benda A

P = viskositas zat cair

V_0 = kecepatan zat cair sebelum melewati benda A



Gambar 11. Perubahan aliran gelombang akibat penggunaan *bulbous bow*

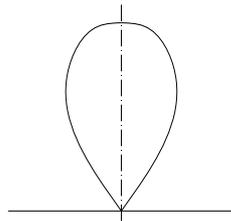
2.8.1 Bentuk – bentuk *Bulbous Bows*

Pemilihan bentuk untuk suatu kapal tergantung dari beberapa faktor, antar lain:

- Kondisi perairan
- Lebar kapal, panjang kapal, kelangsingan kapal.

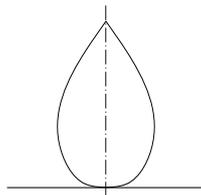
membagi bentuk *Bulbous Bow* yang berpengaruh terhadap *Horse Power* yaitu:

1. Bentuk titik air terbalik ; Bentuk ini sangat cocok untuk kapal-kapal yang bergelombang. Bentuk ini sering dikombinasikan pada kapal-kapal yang bergading “V” yang digunakan pada kapal-kapal berkecepatan tinggi.



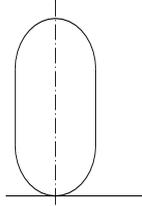
Gambar 12. Bentuk *Bulbous Bow* bentuk titik air terbalik

2. Bentuk titik air bergantung; Bentuk ini, sesuai dengan kapal-kapal yang berlayar pada daerah yang kurang menghadapi hempasan gelombang yang besar.



Gambar 13. Bentuk *Bulbous bow* bentuk titik air bergantung

3. Bentuk Elips; Bentuk Bulbous yang ketiga ini lebih banyak digunakan pada kapal-kapal yang bentuk gadingnya “U” atau kapal-kapal yang berukuran gemuk.



Gambar 14. Bentuk *Bulbous bow* bentuk elips

2.9 Tangki Percobaan (*Towing Tank*)

Towing tank adalah tanki percobaan yang berisikan air tawar (tidak digunakan air asin dengan alasan kerusakan alat / model), berbentuk persegi panjang. *Towing tank* umumnya digunakan untuk mengetes tahanan dengan menggunakan model yang bergerak dalam tanki pada kecepatan tertentu sepanjang tanki. Ada beberapa tipe *towing tank* yang biasa digunakan dalam percobaan model, yakni sebagai berikut : (Djabbar, 2011)

1. *Towing tank* dengan beban atau gravitasi

Tangki ini dilengkapi dengan tali (senar) yang mengelilingi rol atau katrol, masing-masing saling berlawanan pada ujung katrol. Salah satu katrol bertindak sebagai pengemudi dan lainnya sebagai pengikat atau pengantar.

Katrol pengemudi ini mempunyai poros pada axisnya, proyeksi, proyeksi dari poros pada kedua sisinya. Salah satu sisi poros menahan tali pengikat sistem pemberat dan yang lainnya menahan bobot lawan. Tahanan dapat diketahui dengan menggunakan sistem pembebanan dengan memakai gaya pemberat melalui katrol, dimana pembebanan pada piringan bobot mula lebih berat dari bobot lawan.

Apabila model yang ditarik bergerak pada kecepatan konstan dibawah gaya ini, maka gaya tersebut sama dengan tahanan total model pada kecepatan tersebut.

2. Towing tank dengan kereta penarik

Model dikemudikan oleh mesin dan dilengkapi dengan penarik yang berlawanan arah dengan model yang berada dibawahnya. Kereta penarik tersebut membawa alat yang dapat mengukur dan mencatat kecepatan pelayaran dan tahanan model yang bergerak di air.

Tipe semacam inilah yang akan digunakan dalam eksperimen tahanan yang terdapat di Laboratorium Hidrodinamika Kapal Departemen Perkapalam Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Berikut beberapa gambar tangki percobaan, termasuk alat penarik model :



Gambar 15. Kolam Uji



Gambar 16. Alat Penarik Model (*carriage*)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1 Lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika Kapal Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan ± 6 (enam) bulan terhitung mulai bulan bulan Mei 2019.

3.2 Jenis Penelitian

Jenis Penelitian ini berbasis Eksperimen, yaitu melakukan perbandingan Tahanan kapal pada model *rigid body* dan *hydroelastic body* kapal di kondisi air tenang yang dilakukan pada tangki percobaan.

3.3 Jenis Data dan Teknik Pengambilan Data

3.3.1 Jenis Data

- a. Data sekunder merupakan data yang diperoleh melalui bahan-bahan tertulis dari sumber data yang erat kaitannya dengan penelitian ini. Data sekunder dari penelitian ini yaitu:

1. Data ukuran utama kapal *General Cargo* KM.ARTHA BAHARI-8

2. Gambar *lines plan* kapal *General Cargo* KM.ARTHA BAHARI-8

- b. Data primer merupakan data yang diperoleh dari hasil percobaan model di laboratorium yaitu nilai tahanan pada setiap variasi kecepatan yang berbeda.

3.4 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan bantuan beberapa komponen – komponen fasilitas *towing tank* yang tersedia di laboratorium hidrodinamika kapal fakultas teknik Univeristas Hasanuddin. untuk melakukan proses eksperimen Tahanan Kapal. Untuk mengolah data tahap- tahap pengolahan yang digunakan sebagai berikut :

3.4.1 Studi Pustaka

Pada tahap ini, penulis mengumpulkan daftar referensi dari semua jenis referensi yang terkait dengan permasalahan yang diteliti seperti buku, jurnal, artikel, disertasi, tesis, skripsi, dan karya ilmiah lainnya.

3.4.2 Data Kapal

Data kapal disini yang dimaksud berupa data sekunder (data tidak langsung) seperti data kapal, gambar *lines plan*, dan sebagainya. Setelah data sekunder kapal terkumpul, kemudian data akan diverifikasi untuk persiapan pembuatan model. Kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *General Cargo*. Penelitian ini merupakan lanjutan penelitian sebelumnya.

Data Umum :

- a. Nama kapal = KM. Artha Bahari-8
- b. Tipe kapal = *General Cargo*
- c. No. IMO = 9044530

- d. *Gross Tonnage* = 499 GT
- e. *Flag* = Indonesia
- f. Jenis material kapal = Baja (*Steel*)

1. Ukuran Utama Kapal

Tabel 1. Ukuran utama kapal

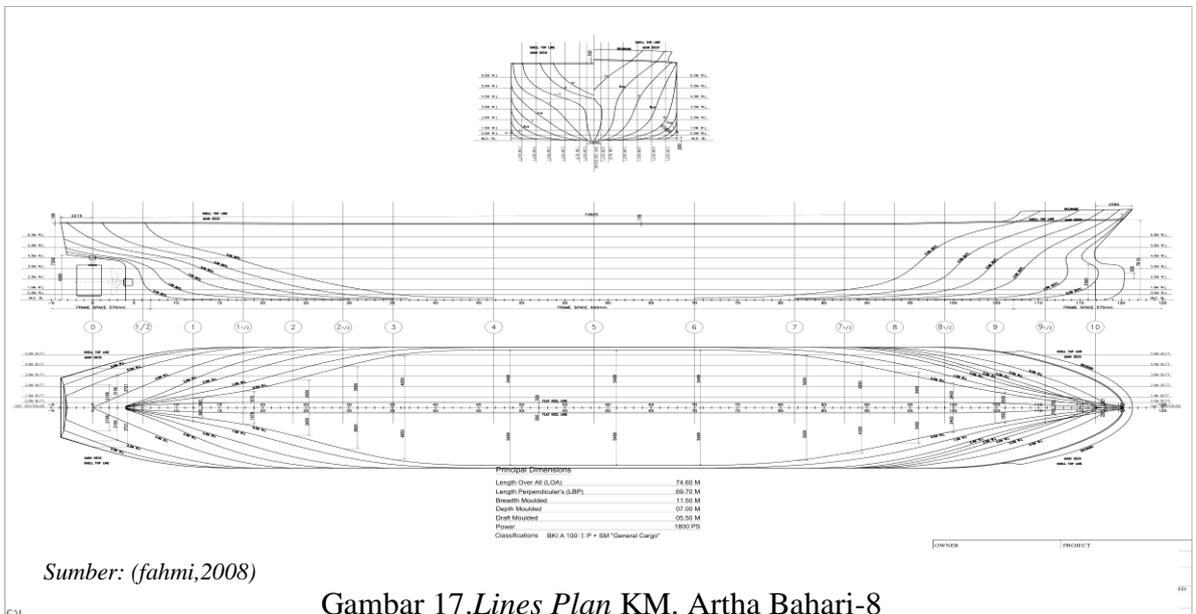
No	Ukuran Utama	Nilai	Satuan
1	Lenght Over All (L_{oa})	73,3	M
2	Lenght Between Perpendicular (L_{bp})	70,1	M
3	Lenght Water Line (L_{wl})	72,1	M
4	Breadht (B)	11,5	M
5	Draught (D)	7,0	M
6	Draft (d)	5,5	M
7	Velocity (V)	11,0	knot
8	Displacement (Δ)	3400	T
9	Wetted Surface Area	1312.83	m ²

Adapun ukuran model pada skala 1:40 ditampilkan pada Tabel 2 berikut ini.

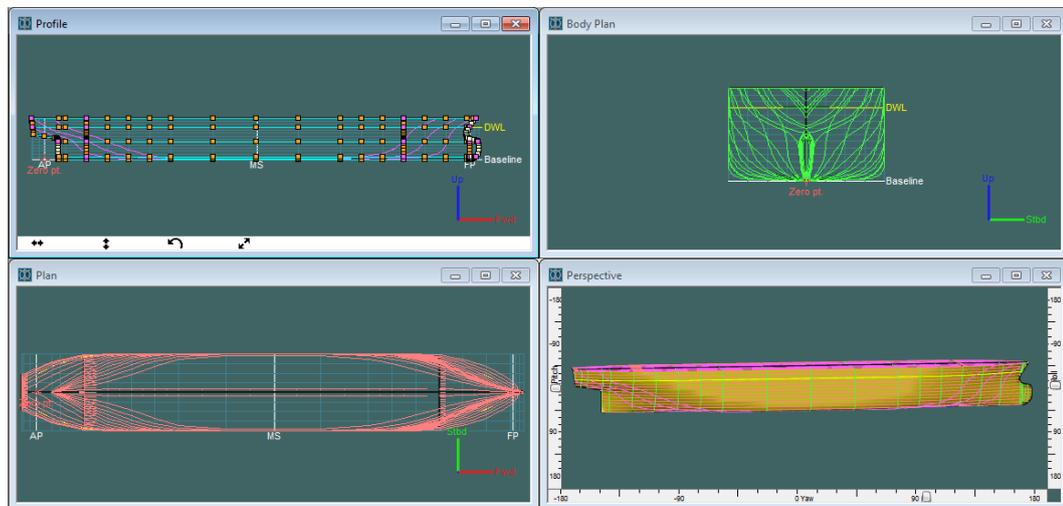
Tabel 2. Ukuran model kapal dengan skala 1:40

No	Ukuran utama	Model Kapal		Satuan
		<i>Bulbous bow</i>	Tanpa <i>Bulbous Bow</i>	
1	Lenght Over All (Loa)	1,83	1,83	m
2	Lenght Between Perpendicular (Lbp)	1,75	1,75	m
3	Lenght Water Line (Lwl)	1,80	1,80	m
4	Breadht (B)	0,29	0,29	m
5	Draught (D)	0,18	0,18	m
6	Draft (d)	0,14	0,14	m
7	Velocity (V)	1,74	1,74	knot
8	Displacement (Δ)	0,0529	0,0514	t
9	Wetted Surface Area	0,817	0,805	m ²

2. Rencana Garis Air (*Lines Plan*)



Gambar 17. *Lines Plan* KM. Artha Bahari-8



Gambar 18. Model kapal *Rigid* Menggunakan *Bulbous Bow* pada aplikasi maxsurf

3.5 Pembuatan Model *Hydroelastic Body*

Model dibuat di Laboratorium Hidrodinamika Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Beberapa kebutuhan yang diperlukan selama pembuatan model dapat dilihat pada tabel 3.

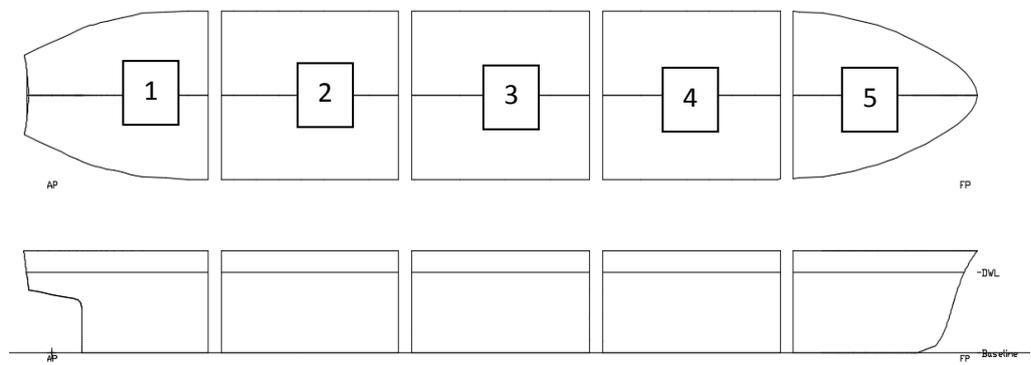
Tabel 3. Kebutuhan / material pembuatan model.

No	Komponen	Satuan	Jumlah
1	Resin butek	Kg	3
2	Tripleks	Lembar	2
3	Lem korea	Botol	20
4	Katalis	Botol	1
5	Lem fox putih	Botol	1
6	Lem lilin	Batang	5
7	Dempul	Kaleng	2
8	Thinner	kg	4
9	Epoxy	kg	2
10	Cat dasar (abu-abu)	Kg	1
11	Cat kuning	Kg	1
12	Mat 300	Kg	1
13	Lakban Kedap	Buah	2
14	Cutter	Buah	2
15	Mata cutter	<i>Pack</i>	1
16	Spidol	Buah	2
17	Kuas	Buah	2
18	Amplas	Meter	1
19	Mata Gerinda Potong	Buah	1

20	Mata Gerinda Amplas	Buah	1
21	Penggaris	Buah	1
22	Meteran	Buah	1
23	Gunting	Buah	2
24	Pisaudempul	Pack	1
24	Pensil	Buah	2
25	Gergaji besi	Buah	1
26	Tembakan lem lilin	Set	1
27	Waterpas	Buah	1
28	Timbangan Digital	Buah	1
29	Spring	Buah	20

Pembuatan lambung model *rigid body* menjadi model *hydroelastic body* dilakukan dengan beberapa tahap sebagai berikut:

1. Model *Rigid body* dihitung panjangnya kemudian di bagi 5 kompartement yang sama panjang untuk pembagian tiap-tiap kompartement. Kompartemen L kompartemen (1, 2, 3 dan 4) = 38.175 cm dan L kompartemen 5 = 30.20 cm



Gambar 19. Sketsa Pembagian Kompartement pada Model

2. *Marking* pada Lambung model *rigid body* ditandai dengan garis sebagai acuan untuk bagian-bagian lambung model *rigid body* yang akan dibagi, serta sebagai acuan saat model akan dipotong.



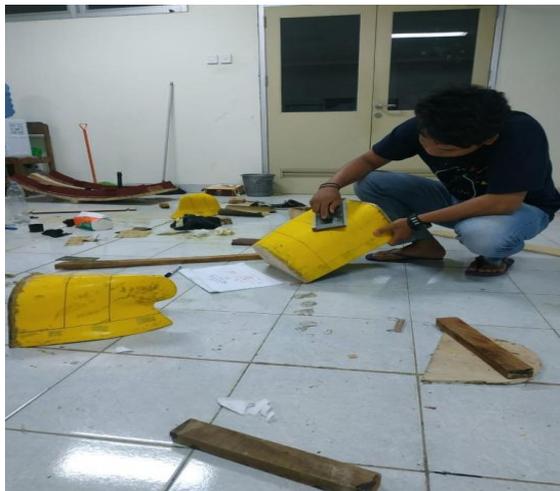
Gambar 20. Penandaan pada lambung kapal

3. Setelah *marking*, lambung model *rigid body* siap untuk dibagi menjadi 5 kompartemen dengan cara *dicutting* menggunakan alat gerinda mengikuti alur *marking* yang sudah ditentukan sebelumnya



Gambar 21. Proses pemotongan lambung kapal menjadi 5 kompartemen

4. Gambar section dibagi menjadi beberapa sekat. Gambar *section* diprint pada jarak tiap-tiap kompartement sebagai pola yang akan digunakan untuk menjadi sekat pada tiap-tiap kompartement tersebut.
5. Potong pola sekat yang telah ditempelkan pada papan triplex. Setelah sekat dibentuk sesuai dengan frame model yang terpotong.
6. Kemudian sekat tersebut ditempelkan pada kompartement dengan cara disambungkan dengan lem resin dan mat 300.
7. Dempul sisi bagian sambungan antara kompartement dengan sekat agar sambungan kompartement dengan sekat kedap dan mulus.
8. Permukaan yang masih kurang rata akan ditambahkan dempul guna menghasilkan permukaan yang rata kemudian dihaluskan kembali dengan diamplas.



Gambar 22. Proses Pengamplasan

9. Apabila permukaan kompartement telah halus maka, selanjutnya dilakukan proses pengecatan model. Pengecatan model yang dilakukan dengan tiga lapisan. Lapisan pertama dengan menggunakan warna cat

dasar (abu-abu), kemudian lapisan kedua dengan cat warna kuning, selanjutnya lapisan ketiga dengan cat bening (*clear*).

10. Potong *spring* yang telah ada sepanjang 3 cm, dimana untuk jarak satu kompartement dengan kompartement yang lain sebesar 1 cm.
11. Memasang *spring* sebagai sambungan antar kompartement, fungsi pegas ini sebagai media yang memberikan efek elastisitas pada lambung model hydroelastic. Sebelumnya *spring* telah dihitung konstanta pegasnya terlebih dahulu. Pada pengujian ini menggunakan pegas tekan sebanyak 5 buah dan dipasangkan pada sekat kompartemen, adapun gambarnya sebagai berikut :



Gambar 23. Pemasangan Spring

12. Menempelkan lakban kedap pada tiap sisi sambungan antar kompartement agar bagian sambungan tiap – tiap kompartement yang dihubungkan dengan *spring* tersebut tetap kedap, adapun gambarnya sebagai berikut :

13. Pastikan semua kompartement – kompartement tersebut tersambung dan terhubung dengan *spring* serta sisi – sisi lambungnya telah ditempelkan lakban kedap.
14. Pemasangan *main deck* model. Pemasangan *main deck* ini hanya dipasang sebagian pada model kapal. *Main deck* dipasang hanya pada bagian buritan dan haluan model. Pemasangan *main deck* ini bertujuan agar pada saat model ditarik oleh alat uji di *towing tank*, air tidak langsung masuk ke dalam model
15. Model 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 sama dengan total displacement model.

3.6 Persiapan Pengujian

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:

3.6.1 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	Mereset 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 R35 <i>resistance dynamometer, heave tow post</i> , dan R35E pitch pada panel mesin <i>carriage</i> .	5 menit
Pengujian		
14	Pengujian model Hydroelastic (M1)	2 jam

3.6.2 Matriks kebutuhan pengujian

Matriks kebutuhan pengujian merupakan rincian kebutuhan yang diperlukan selama pengujian. Matriks kebutuhan pengujian secara rinci dapat dilihat pada table di bawah ini :

Tabel 5. Matriks kebutuhan pengujian

No	Nama Barang	Jumlah
Model		
1	Model Hydroelastic Menggunakan Bulbous Bo(M1)	1
Peralatan		

2	<i>Dynamometer</i>	1
3	Komputer	1
4	<i>Towing carriage</i>	1
5	Monitor <i>towing carriage</i>	1
6	Termometer	1
7	R35E <i>pitch transducer and mounting foot assembly</i>	1
8	<i>Crane</i>	1
9	<i>Towing tank</i>	1

3.6.3 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 sambungan 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 cushions* 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 cussons* 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 diertakan oleh baut.
9. Pasang *bracket carriage* pada model di haluan dan buritan dengan cara diertakan 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 yaitu 30m. Data kecepatan yaitu 0,244 m/s (3knot), 0,488 m/s (6knot), 0,732m/s (9knot), 0,976 m/s (12knot). Dan data percepatan yang dimasukkan yaitu $0,2\text{m/s}^2$ untuk tiap kecepatan model pada menu *home* di *monitor cussons*.
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.

3.7. Analisis data

Setelah pengujian model, dilakukan analisis data dengan tahapan sebagai berikut.

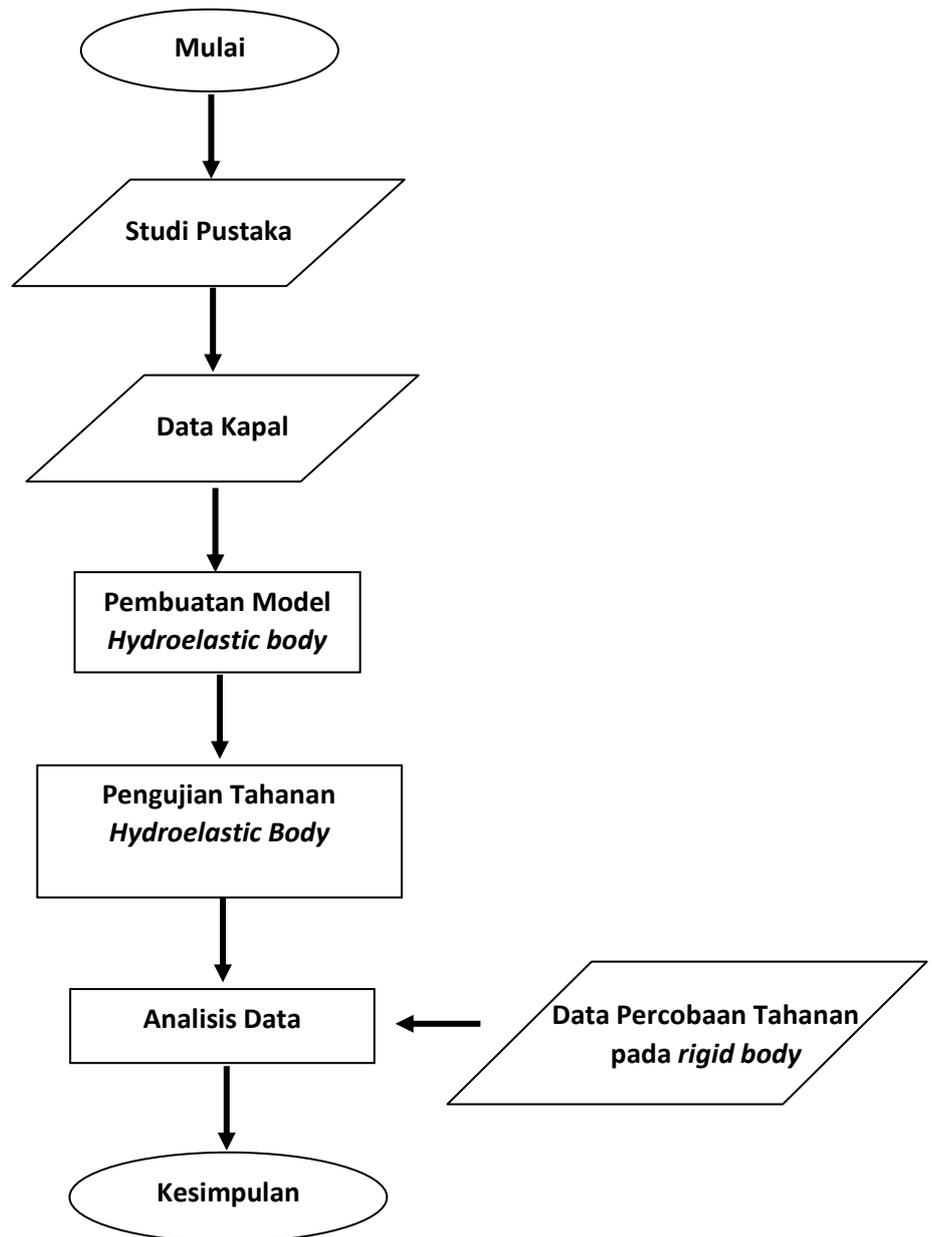
1. Hasil dari pengujian model di *towing tank* adalah tahanan total model (R_T) terhadap waktu (s). Nilai tahanan total model kemudian dibuat menjadi grafik tahanan total terhadap nilai peningkatan kecepatan model. Hal ini dilakukan untuk melihat bagaimana pengaruh tahanan terhadap kecepatan model. Hal tersebut dilakukan pada kedua model, baik model *rigid body* maupun model *hydroelastic body*.
2. Selanjutnya akan dihitung persentase perbandingan nilai tahanan model *rigid body* dengan model *hydroelastic body* pada tiap kecepatan. Hasil perhitungan tersebut akan memperlihatkan nilai persentase perbandingan tahanan yang paling besar.

3.8. Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini, dilakukan penarikan kesimpulan terhadap hasil analisis yang dilakukan dan sekaligus menjawab rumusan masalah yang telah disusun sebelumnya.

3. 9. Kerangka Pemikiran

Berikut di gambarkan alur penelitian secara singkat sebagaimana dibawah ini:



Gambar 24. Kerangka pikir penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perspektif model prototype kapal

4.1.1 *Rigid Body*

Model *rigid body* yaitu model kapal yang kaku yang diasumsikan tidak memiliki elastisitas. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika Kapal Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa. Dalam pengujian ini, model yang diuji yang menggunakan bulbous bow pada kondisi air Tenang. Berikut gambar perspektif model *rigid body* kapal :



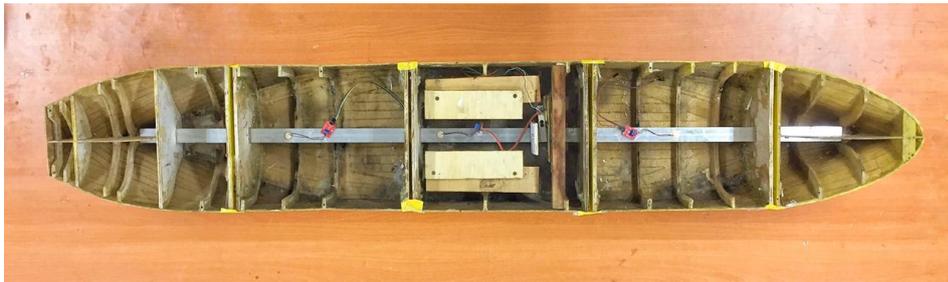
Gambar 25. Model *rigid body*

4.1.2 *Hydroelastic body*

Model *hydroelastic body* yaitu model kapal dari *rigid body* diubah menjadi model *hydroelastic body* dengan membagi kapal menjadi 5 kompartemen yang kemudian disambung lagi tetapi ditambahkan per kawat di antara kompartemen-kompartemen yang disambung. Hal ini dimaksudkan agar kapal mempunyai elastisitas yang lebih besar. Model ini dilakukan Pengujian Nilai Tahanan untuk mengetahui pengaruh *hydroelastic* terhadap tahanan kapal.



Gambar 26. Model *hydroelastic body*



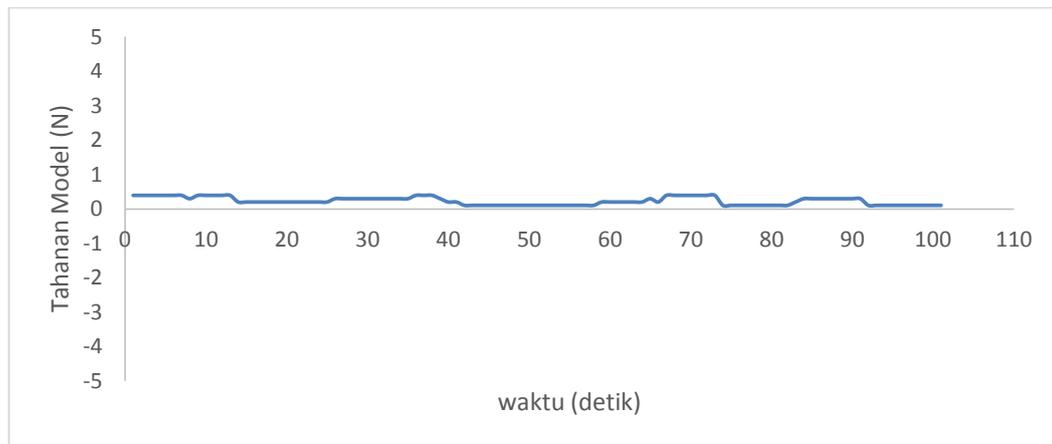
Gambar 27. Tampak atas model *hydroelastic body*

4.1 Pengujian Tahanan Model Kapal

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika Kapal Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa. Dalam pengujian ini, model yang diuji yaitu *rigid body* dan *hydroelastic body*

4.1.1. Tahanan Model *Rigid Body*

Kecepatan yang digunakan dalam pengujian tahanan untuk model *rigid body* yang menggunakan *bulbous bow* terdiri dari kecepatan 0.244 m/s, 0.488 m/s, 0.732 m/s, dan 0,976 m/s. Adapun salah satu hasil pengujian tahanan model untuk kecepatan 0.244 m/s dapat dilihat pada Gambar 31, Selanjutnya hasil pengujian lainnya terdapat pada Lampiran 3.



Sumber: Aji Prayoga, 2019

Gambar 28. Grafik tahanan model *rigid body* pada kecepatan 0,244 m/s

Berdasarkan Gambar 28 dalam satu kecepatan model dilakukan 2 (dua) kali percobaan penarikan model. Data yang dikeluarkan oleh alat pengujian berupa nilai Tahanan total (N) terhadap waktu (detik). Untuk memperoleh nilai tahanan total model dalam satu kecepatan, maka data yang dikeluarkan alat pengujian kemudian dirata-ratakan sampai dihasilkan satu nilai tahanan total model. Untuk memperoleh nilai tahanan total model yang lebih baik, yaitu dengan merata-ratakan lagi nilai rata-rata tahanan total model pada percobaan 1 dan percobaan 2, sehingga diperoleh satu nilai rata-rata tahanan total model kapal pada satu kecepatan.

Untuk penentuan nilai tahanan total *rigid body* yang menggunakan *bulbousbow* pada tiap variasi kecepatan akan ditampilkan secara lengkap pada Lampiran 3.

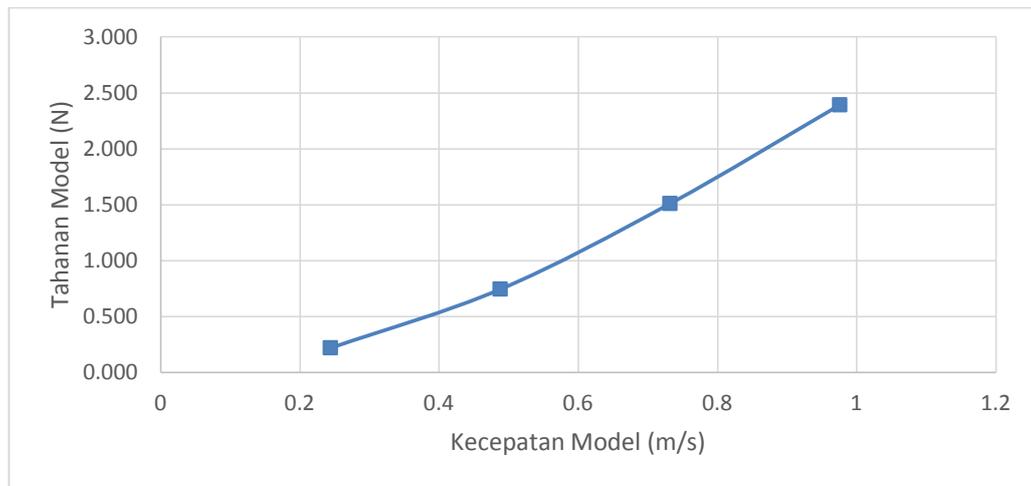
Adapun nilai rata-rata tahanan total model *rigid body* kapal yang menggunakan *bulbous bow* pada tiap kecepatan sebagaimana ditunjukkan data keseluruhan pada Lampiran 2 ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai rata-rata tahanan total model *rigid body* kapal menggunakan *bulbous bow* tiap kecepatan

Kecepatan Model (m/s)	Tahanan Model (N)	Koefisien Tahanan (CT)
0,244	0,220	0.00896
0,488	0,746	0.00759
0,732	1,511	0.00676
0,976	2,393	0.00609

Sumber: Aji Prayoga, 2019

Berdasarkan Tabel 6 diketahui bahwa tahanan model *rigid body* kapal menggunakan *bulbous bow* mengalami peningkatan seiring bertambahnya nilai kecepatan. Hal ini sesuai dengan teori yang diketahui bahwa tahanan kapal berbanding lurus dengan nilai kuadrat kecepatan kapal, sehingga semakin besar nilai kecepatan maka nilai tahanan akan semakin besar pula. Berikut ini grafik hubungan antara kecepatan model dengan tahanan model kapal yang menggunakan *bulbous bow* pada setiap kenaikan kecepatan :



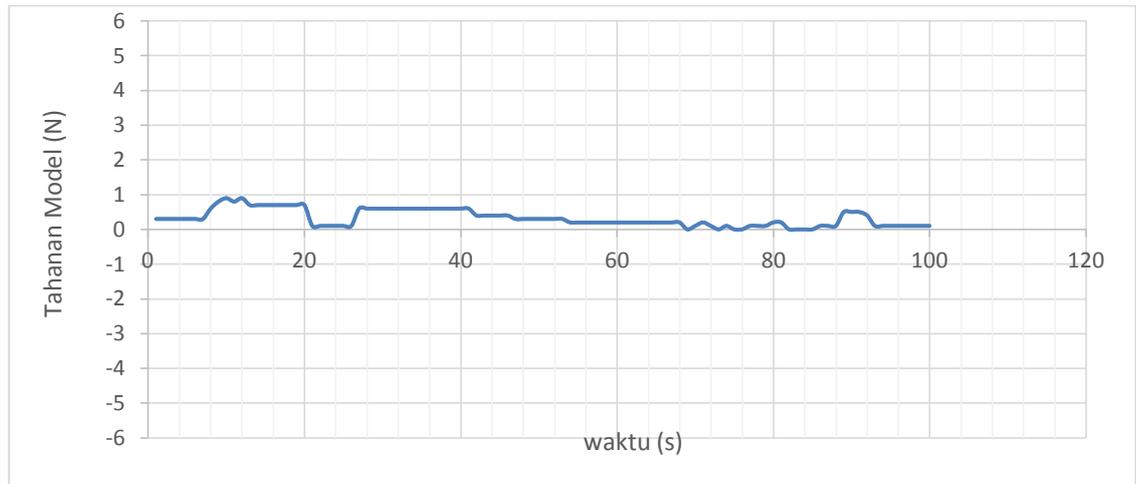
Sumber: Aji Prayoga, 2019

Gambar 29. Grafik hubungan antara kecepatan kapal dengan tahanan model kapal

Pada tabel 6 diketahui pula nilai koefisien tahanan model *rigid body* mengalami penurunan seiring bertambahnya kecepatan. Hal ini sesuai dengan teori yang diketahui bahwa nilai koefisien tahanan berbanding terbalik dengan kuadrat kecepatan kapal, sehingga semakin besar nilai kecepatan maka koefisien tahanan yang dihasilkan semakin kecil. Penurunan nilai koefisien tahanan relatif sama terjadi pada kecepatan 0,732 m/s sampai 0,976 m/s dengan nilai penurunan sebesar 0,00067

4.1.2. Tahanan Model *Hydroelastic Body*

Pengujian tahanan model *hydroelastic body* dimulai dari kecepatan yang lebih rendah ke kecepatan yang lebih tinggi. Adapun hasil pengujian tahanan model kecepatan 0,244 m/s dapat dilihat pada gambar 30.



Sumber: Hasil olah data

Gambar 30. Percobaan 1 Grafik tahanan model *hydroelastic body* kecepatan 0,244 m/s

Berdasarkan Gambar 30 dalam satu kecepatan model dilakukan dua kali Percobaan penarikan model. Data yang dikeluarkan oleh alat pengujian berupa nilai Tahanan total (N) terhadap waktu (s). Untuk memperoleh nilai tahanan total model dalam satu kecepatan, maka data yang dikeluarkan alat pengujian kemudian dirata-ratakan sampai dihasilkan satu nilai tahanan total model. Untuk memperoleh nilai tahanan total model yang lebih baik, yaitu dengan merata-ratakan lagi nilai rata-rata tahanan total model pada percobaan 1 dan percobaan 2, sehingga diperoleh satu nilai rata-rata tahanan total model kapal pada satu kecepatan.

Untuk penentuan nilai tahanan total model kapal *hydroelastic body* pada tiap variasi kecepatan akan ditampilkan secara lengkap pada Lampiran 4

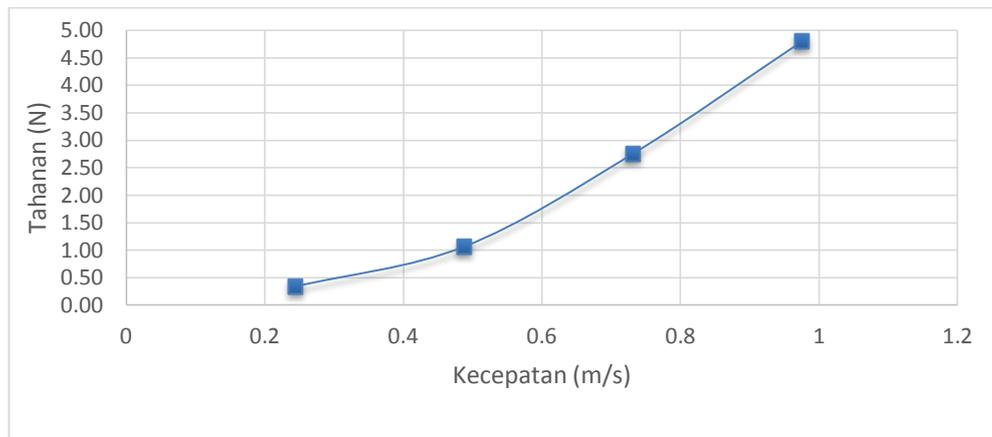
Adapun nilai tahanan total model *hydroelastic body* pada tiap kecepatan (berdasarkan Lampiran 4) ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai tahanan model *hydroelastic body* tiap kecepatan

Kecepatan Model (m/s)	Tahanan Model (N)
0.244	0.335
0,488	1.062
0,732	2.753
0,976	4.798

Sumber: Hasil olah data

Berdasarkan Tabel 7 diketahui bahwa tahanan model kapal *hydroelastic body* mengalami peningkatan nilai tahanan seiring bertambahnya kecepatan. Hal ini sesuai dengan teori yang diketahui bahwa tahanan kapal berbanding lurus dengan nilai kuadrat kecepatan kapal, sehingga semakin besar nilai kecepatan maka nilai tahanan akan semakin besar pula. Berikut ini grafik hubungan antara kecepatan model dengan tahanan model kapal *hydroelastic body* pada setiap kenaikan kecepatan :



Sumber: Hasil olah data

Gambar 31. Grafik hubungan antara kecepatan kapal dengan tahanan model *hydroelastic body*

Pada tabel 7 diketahui pula nilai koefisien tahanan model kapal *hydroelastic body* mengalami penurunan seiring bertambahnya kecepatan. Hal ini sesuai dengan teori yang diketahui bahwa nilai koefisien tahanan berbanding terbalik dengan kuadrat kecepatan kapal, sehingga semakin besar nilai kecepatan maka koefisien tahanan yang dihasilkan semakin kecil. Penurunan nilai koefisien tahanan relatif sama terjadi pada kecepatan 0,488 m/s sampai 0,976 m/s dengan nilai penurunan sebesar 0,001

4.2 Pengujian Elastisitas Spring

Agar mengetahui elastisitas model *hydroelastic body* yang akan diuji maka terlebih dahulu menghitung elastisitas spring yang digunakan pada pengujian model *hydroelastic body*. Pengujian elastisitas spring menggunakan alat yaitu timbangan digital, penggaris, dan beban.

Berikut perhitungan tegangan spring:

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{0,025 \text{ m}}{0,03 \text{ m}} = 0,83$$

Berikut perhitungan regangan spring:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{53,9 \text{ N}}{21,98 \text{ mm}^2} = 2,45 \text{ N/mm}^2$$

Berikut perhitungan elastisitas spring:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{e} = \frac{2,45 \text{ N/mm}^2}{0,83} = 2,952 \text{ N/mm}$$

4.2 Perbandingan Nilai Tahanan Model *Hydroelastic Body* dan *Rigid Body*

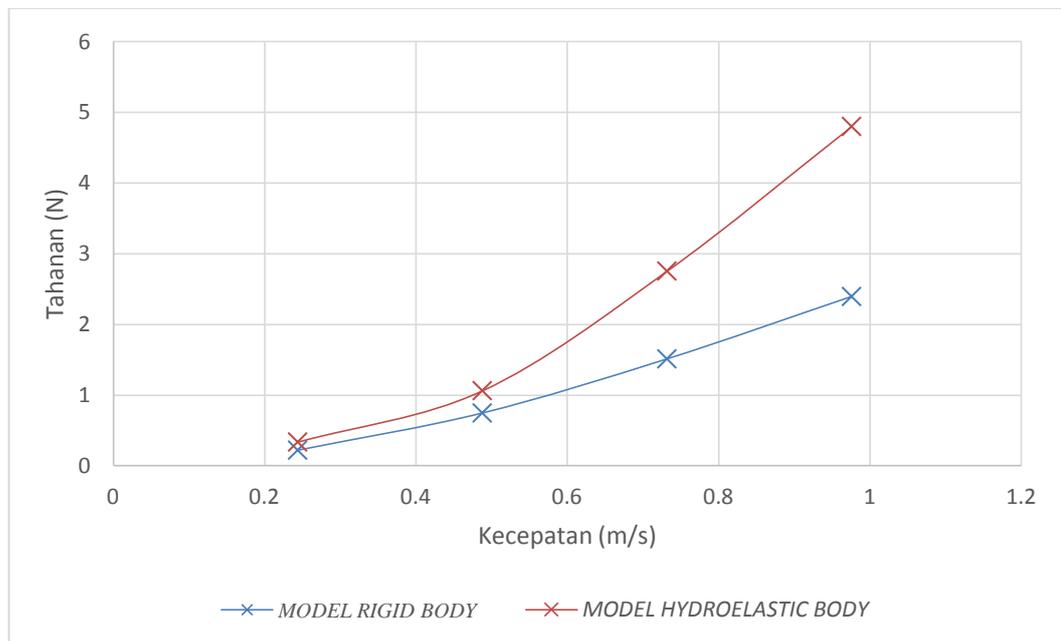
Perbandingan nilai tahanan model kapal *hydroelastic body* dan model kapal *rigid body* pada setiap variasi kecepatan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 8. Perbandingan nilai tahanan model kapal *hydroelastic body* dan model kapal *rigid body*

No	Froud number	Kecepatan (m/s)	Tahanan model kapal (N)		Persentase
			<i>Model Rigid</i>	<i>Model Hydroelastic</i>	
1	0,058	0.244	0.220	0.335	34.328
2	0,116	0.488	0.746	1.062	29.722
3	0,174	0.732	1.511	2.753	45.144
4	0,232	0.976	2.393	4.798	50.125
Rata - rata					40.741

Berdasarkan Tabel 8 diketahui bahwa nilai tahanan model kapal *rigid body* lebih kecil dibandingkan tahanan model kapal *hydroelastic body*. Faktor yang membuat nilai tahanan *hydroelastic body* besar karena kondisi atau perilaku *hydroelastic*

itu sendiri. Ketika aliran fluida melewati model *hydroelastic body*, tekanan fluida bekerja pada model. Kemudian model *hydroelastic body* mengalami *tension and compression*. Pada saat yang sama kecepatan struktural(model) mempengaruhi tekanan pada fluida. Gerakan model *hydroelastic body* menimbulkan gelombang yang mempengaruhi nilai tahanan kapal karena adanya interaksi timbal balik antara model dan fluida. Terdapat perbedaan signifikan pada hasil eksperimen tahanan model *solid body* dan *hydroelastic body*. Adapun rata – rata persentase perbandingan tahanan pada setiap kenaikan kecepatan yaitu sebesar 40.741%. Berikut ini grafik hubungan antara kecepatan model dengan tahanan model kapal *solid body* dan *hydroelastic body* pada setiap kenaikan kecepatan.



Sumber: Hasil olah data

Gambar 32. Grafik tahanan model kapal *hydroelastic body* dan model kapal *rigid body*

Berdasarkan gambar 32 diketahui bahwa nilai tahanan *rigid body* kapal lebih kecil dibandingkan model *hydroelastic body*, dengan persentase perbandingan nilai tahanan pada kecepatan 0,244 m/s sebesar 34,328 %, pada kecepatan 0,488 m/s sebesar 29.722%, pada kecepatan 0,732 m/s sebesar 45.144%, dan pada kecepatan 0,976 m/s sebesar 50.125%.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil olah data dan perhitungan tahanan kapal menggunakan metode eksperimen, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Sifat *hydroelastic body* mempengaruhi nilai tahanan. Hasil eksperimen Tahanan membuktikan bahwa nilai tahanan *hydroelastic body* lebih besar dibandingkan tahanan *rigid body*.
2. Presentase rata-rata perbandingan nilai tahanan *rigid body* dan *hydroelastic body* sebesar 40.741%..

5.2 Saran

1. Untuk penelitian tahanan kapal *hydroelastic body* selanjutnya dengan objek yang sama disarankan tidak hanya dilakukan pada kondisi air tenang (*calm water*), namun dilakukan juga pada kondisi bergelombang dan mempertimbangkan komponen tahanan tambahan (*appendages*).
2. Akurasi bentuk model sebaiknya ditingkatkan. Hal ini terkait dengan hasil penelitian yang lebih akurat.
3. Perlunya referensi penelitian yang banyak terkait hubungan *hydroelastic* dan tahanan .

DAFTAR PUSTAKA

- Adolfo, M.; Geert, K. "Design of a ship model for hydro-elastic experiments in waves". *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.* 2014, 6, 1130–1147.
- Baso, Suandar. "A Hybrid Particle-Grid Scheme for Computing Hydroelastic Behaviors Caused by Slamming". *Journal of Shipping and Ocean Engineering* . 2014,4, 15-26.
- Bockhary, Rosmani, dan Suandar Baso, 2016. "Pengaruh Rasio Lebar (B) dan Sarat (T) Terhadap Tahanan Kapal", Program Studi Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Finn, Tobias. *Master's Thesis "Hydroelasticity of a large floating wind turbine platform"*. Sweden : KTH Royal Institute Of Technology
- Farionto F Lage, A.H.Muhammad, A.Muhiddin Rauf, Anugerah Renaldy, 2010 "Pengaruh Bulbous Bow Terhadap Pengurangan Tahanan Kapal Kayu Tradisional", Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Harnita, 2011. "Studi Pengaruh Bentuk Bulbous Bow Terhadap Tahanan Kapal Layar Motor Tradisional Melalui Uji Model", Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Jiao, Jialong. 2017. *Model testing for ship hydroelasticity: A review and future trends*. China: Harbin Engineering University.
- Martini, Dwi. 2009. *Penentuan Modulus Young Kawat Besi dengan Percobaan Regangan*, Yogyakarta: Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta.
- Prayoga, Aji. 2019. *Komparasi Tahanan Kapal Yang Menggunakan Bulbous Bow dengan Tanpa Bulbous Bow Melalui Eksperimen*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- S.W.Adji, 2009 "Modul I Introduction to Ship Resistance", Departemen of Marine Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- S.W.Adji, 2009 "Modul II Komponen Tahanan Kapal", Departemen of Marine Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Andre Guntur Silaen, 2008. “Analisa Hambatan Kapal Trimaran Pengangkut Ikan”, Program Studi Teknik Perkapalan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

Hasbullah Mansyur, LK2P UNHAS, 2018 “Teori dan perhitungan tahanan total kapal” Univerisitas Hasanuddin, Makassar.

Mitsui Eng and Ship Building co,ltd “Ship Design”

Scheenluth H, 1987 “Ship Design for efficiency and economy

LAMPIRAN - LAMPIRAN

Lampiran 1.

Main Parameters of ship-bulb combinations of data collected with $C_b = 0,7$

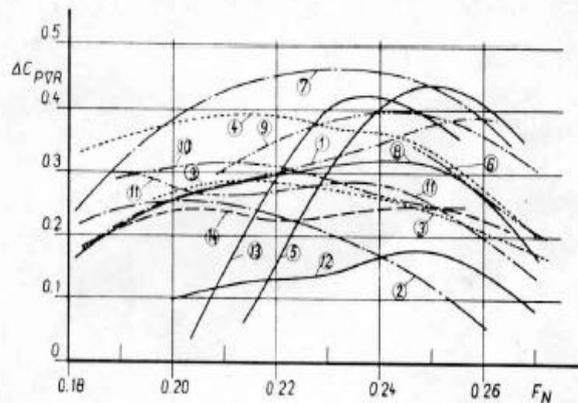


Fig. 14 Residual power reduction coefficient of 14 ship-bulb combinations as a function of Froude number. Basic diagram for Figs. 15-20 (for main parameters, see Table 2). Curve parameter is the bulb form

Table 2 Main parameters of ship-bulb combinations of the data collected with $C_b = 0.7$ (see Fig. 14)

Model	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
without bulb	C_b	0.6846	0.689	0.6891	0.6918	0.6924	0.6963	0.6967	0.6970	0.7004	0.7033	0.7145	0.7227	0.7266
	C_{wl}	0.6173	0.8389		0.7931	0.7762			0.8058			0.8449	0.7994	
	C_M	0.9829	0.9868	0.8785	0.9938	0.9845	0.9916	0.9733	0.9733	0.9868	0.9920	0.9829	0.9949	0.9845
	C_{pe}	0.6865		0.7211	0.6919	0.6994	0.7148	0.7234	0.7234	0.6703	0.6452	0.6662	0.6985	0.6994
	L_{bl}/B	7.5489	6.088	5.293	6.4997	6.0061	5.702	6.094	6.094	7.2094	7.315	8.171	6.744	6.7170
	BIT	2.1539	3.006	3.153	2.8285	3.0402	2.972	3.114	3.114	2.2975	2.491	2.168	2.3259	3.0402
with bulb	L_f/B	3.774	3.044	2.0472	2.880	2.4561	2.855	2.978	2.478	3.1634	2.907	3.501	2.9250	2.4561
	C_b	0.6846		0.6935	0.6977	0.7069	0.7026	0.7055	0.7028	0.7062	0.7047	0.7070	0.7194	0.7373
	L_f/B	3.774		2.244	3.4639	2.6587	3.063	3.240	3.197	3.4162	3.1100	3.673	3.4639	2.6587
	C_{LPR}	0.0370	0.0299	0.0433	0.0329	0.0330	0.0363	0.0440	0.0368	0.0381	0.0257	0.0258	0.0329	0.0296
	C_{BB}	0.1554	0.0640	0.1762	0.1621	0.1798	0.1717	0.2091	0.1746	0.1538	0.1463	0.1351	0.1821	0.1798
	C_{ZB}	0.6377	0.6500	0.5612	0.6730	0.9333	0.9338	0.5587	0.5852	0.5810	0.6309	0.4267	0.5530	0.9333
	C_{ABT}	0.1008	0.0465	0.1103	0.1056	0.1090	0.1035	0.1367	0.1061	0.1032	0.0956	0.0802	0.0879	0.1090
	C_{ABk}	0.1829	0.1258	0.1266	0.1498	0.1516	0.1237	0.1696	0.1284	0.1832	0.1096	0.1268	0.1230	0.1516
	$\%C_{YPR}$	0.3356	0.1350	0.4015	0.3929	0.3806	0.2871	0.5078	0.3618	0.3720	0.2746	0.4819	0.3118	0.3096
	$\%C_{Ytot}$	1.2026	0.3782	0.6466	0.8712	0.3713	0.9071	1.2547	0.6462	1.3183	0.6207	0.5177	0.6936	2.0363
$\%C_{stot}$	3.0572	1.4159	2.1905	3.0228	2.8112	3.0283	3.0692	2.4268	2.5054	2.3123	1.8757	2.6458	2.4545	

Design of Bulbous Bows

205

Sumber : Alferd M. Kracht, desain of bulbous bows

Main Parameters of ship-bulb combinations of data collected with $C_b = 0,7$

Lampiran 2.

Penentuan nilai kecepatan tahanan model kapal

A. Untuk kecepatan kapal 3 knot atau 0,244 m/s

3		Knot	
	1.5432 m/s		$F_{rm} = \frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}}$
$F_{rs} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}}$	707.2225 m/s		
	26.59366 m/s		
		$L_m =$	1.8023 m
$F_{rs} = F_{rm}$	0.058029	$g =$	9.81 m/s ²
Sehingga kecepatan dalam m/s jika fr disamakan (berdasarkan hukum kesamaan kinematis)			
	$V_m = \sqrt{g \cdot L_m} \times F_{rm}$		
V_m (m/s) =		0.244001344	

B. Untuk kecepatan kapal 3 knot atau 0,244 m/s

6		Knot	
	3.0864 m/s		$F_{rm} = \frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}}$
$F_{rs} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}}$	707.2225 m/s		
	26.59366 m/s		
		$L_m =$	1.8023 m
$F_{rs} = F_{rm}$	0.116058	$g =$	9.81 m/s ²
Sehingga kecepatan dalam m/s jika fr disamakan (berdasarkan hukum kesamaan kinematis)			
	$V_m = \sqrt{g \cdot L_m} \times F_{rm}$		
V_m (m/s) =		0.488002689	

C. Untuk kecepatan kapal 9 Knot atau 0,732 m/s

9	Knot			
$Frs = \frac{V_s}{\sqrt{gL_s}}$	4.6296 m/s			$Frm = \frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}}$
	707.2225 m/s			
	26.59366 m/s			
			Lm =	1.8023 m
Frs = Frm	0.174087		g =	9.81 m/s ²
Sehingga kecepatan dalam m/s jika fr disamakan (berdasarkan hukum kesamaan kinematis)				
$V_m = \sqrt{g \cdot L_m} \times Frm$				
Vm (m/s) = 0.732004033				

D. Untuk kecepatan kapal 11 Knot atau 0,976 m/s

12	Knot			
$Frs = \frac{V_s}{\sqrt{gL_s}}$	6.1728 m/s			$Frm = \frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}}$
	707.2225 m/s			
	26.59366 m/s			
			Lm =	1.8023 m
Frs = Frm	0.232116		g =	9.81 m/s ²
Sehingga kecepatan dalam m/s jika fr disamakan (berdasarkan hukum kesamaan kinematis)				
$V_m = \sqrt{g \cdot L_m} \times Frm$				
Vm (m/s) = 0.976005377				

Lampiran 3

Penentuan nilai tahanan total model *Rigid body* yang menggunakan *bulbousbow* pada tiap variasi kecepatan

PERCOBAAN 1		
Waktu (s)	Tahanan (kg)	Tahanan(N)
1	0.04	0.4
2	0.04	0.4
3	0.04	0.4
4	0.04	0.4
5	0.04	0.4
6	0.04	0.4
7	0.04	0.4
8	0.06	0.3
9	0.08	0.4
10	0.09	0.4
11	0.08	0.4
12	0.07	0.4
13	0.06	0.4
14	0.06	0.2
15	0.06	0.2
16	0.06	0.2
17	0.07	0.2
18	0.08	0.2
19	0.09	0.2
20	0.1	0.2
21	0.1	0.2
22	0.11	0.2

PERCOBAAN 2		
Waktu (s)	Tahanan (kg)	Tahanan(N)
1	0.01	0.1
2	0.02	0.2
3	0.03	0.3
4	0.03	0.3
5	0.03	0.3
6	0.03	0.3
7	0.03	0.3
8	0.03	0.3
9	0.03	0.3
10	0.03	0.3
11	0.03	0.3
12	0.03	0.1
13	0.03	0.3
14	0.03	0.3
15	0.03	0.3
16	0.03	0.2
17	0.03	0.2
18	0.03	0.2
19	0.03	0.2
20	0.03	0.2
21	0.03	0.2
22	0.02	0.2

23	0.11	0.2
24	0.11	0.2
25	0.11	0.2
26	0.11	0.3
27	0.11	0.3
28	0.09	0.3
29	0.07	0.3
30	0.06	0.3
31	0.06	0.3
32	0.06	0.3
33	0.06	0.3
34	0.06	0.3
35	0.06	0.3
36	0.06	0.4
37	0.05	0.4
38	0.04	0.4
39	0.03	0.3
40	0.02	0.2
41	0.02	0.2
42	0.01	0.1
43	0.01	0.1
44	0.01	0.1
45	0.01	0.1
46	0.01	0.1
47	0.01	0.1
48	0.01	0.1
49	0.01	0.1

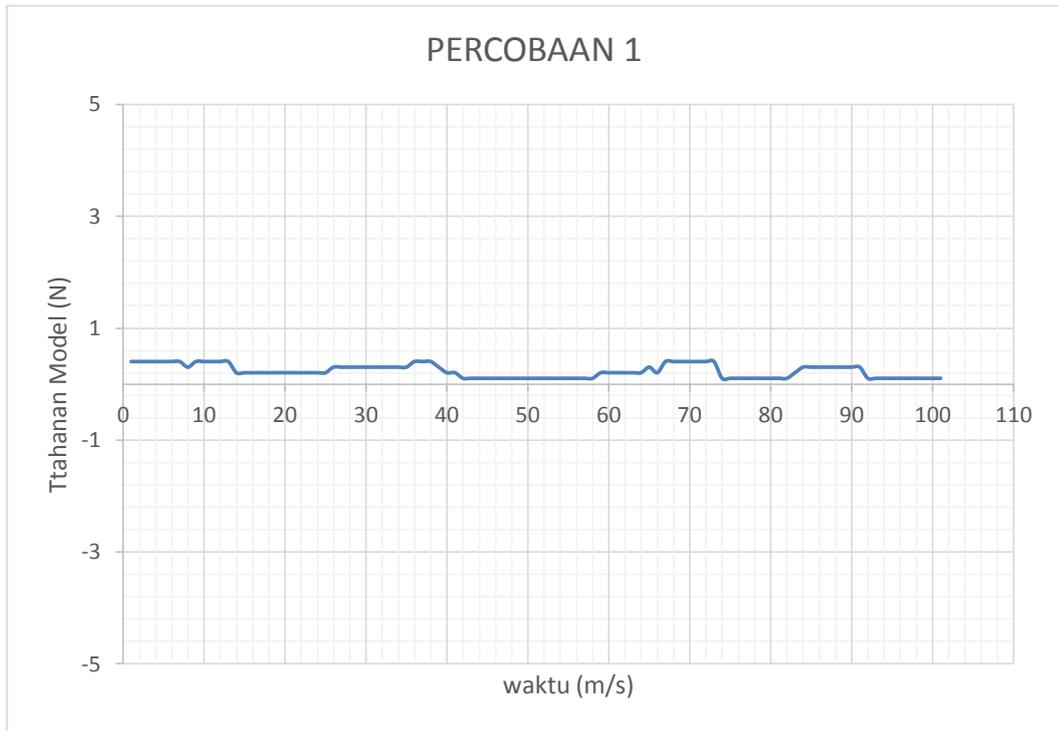
23	0.01	0.1
24	0.01	0.1
25	0.01	0.1
26	0.01	0.1
27	0.01	0.1
28	0.01	0.1
29	0.01	0.2
30	0.01	0.2
31	0.01	0.2
32	0.01	0.2
33	0.01	0.2
34	0.01	0.2
35	0.01	0.2
36	0.01	0.1
37	0.01	0.1
38	0.01	0.1
39	0.01	0.1
40	0.01	0.1
41	0.01	0.1
42	0	0.2
43	0	0.2
44	0	0.2
45	0	0.2
46	0	0.2
47	0	0.2
48	0	0.2
49	0.01	0.1

50	0.01	0.1
51	0.01	0.1
52	0.01	0.1
53	0.01	0.1
54	0.01	0.1
55	0.01	0.1
56	0.01	0.1
57	0.01	0.1
58	0.01	0.1
59	0	0.2
60	0	0.2
61	0	0.2
62	0	0.2
63	0	0.2
64	0	0.2
65	0	0.3
66	0	0.2
67	0	0.4
68	0	0.4
69	0	0.4
70	0	0.4
71	0	0.4
72	0	0.4
73	0	0.4
74	0	0.1
75	0	0.1
76	0	0.1

50	0.02	0.2
51	0.03	0.3
52	0.03	0.3
53	0.03	0.3
54	0.03	0.3
55	0.03	0.3
56	0.03	0.3
57	0.03	0.3
58	0.03	0.3
59	0.03	0.3
60	0.03	0.1
61	0.03	0.2
62	0.03	0.2
63	0.03	0.2
64	0.04	0.2
65	0.07	0.2
66	0.09	0.3
67	0.1	0.3
68	0.1	0.3
69	0.09	0.2
70	0.08	0.2
71	0.07	0.2
72	0.07	0.2
73	0.07	0.2
74	0.07	0.2
75	0.09	0.3
76	0.11	0.3

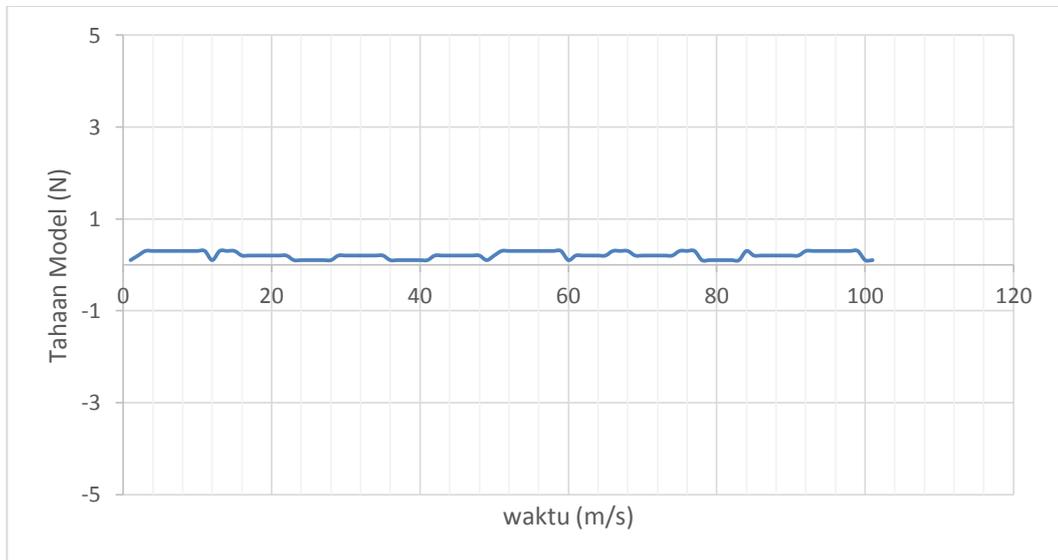
77	0	0.1
78	0.01	0.1
79	0.01	0.1
80	0.01	0.1
81	0.01	0.1
82	0.01	0.1
83	0.02	0.2
84	0.03	0.3
85	0.03	0.3
86	0.03	0.3
87	0.03	0.3
88	0.03	0.3
89	0.03	0.3
90	0.03	0.3
91	0.03	0.3
92	0.03	0.1
93	0.03	0.1
94	0.05	0.1
95	0.07	0.1
96	0.08	0.1
97	0.08	0.1
98	0.08	0.1
99	0.08	0.1
100	0.08	0.1

77	0.12	0.3
78	0.12	0.1
79	0.12	0.1
80	0.12	0.1
81	0.12	0.1
82	0.12	0.1
83	0.12	0.1
84	0.11	0.3
85	0.09	0.2
86	0.07	0.2
87	0.06	0.2
88	0.06	0.2
89	0.06	0.2
90	0.06	0.2
91	0.06	0.2
92	0.06	0.3
93	0.06	0.3
94	0.06	0.3
95	0.04	0.3
96	0.02	0.3
97	0.01	0.3
98	0.01	0.3
99	0.02	0.3
100	0.03	0.1



Grafik Percobaan 1 kecepatan 0,244 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 1 nilai rata-rata tahanan model sebesar 0,2287 N



Grafik Percobaan 2 kecepatan 0,244 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 2 nilai rata-rata tahanan model sebesar 0,2118 N. Sehingga nilai rata-rata tahanan total model pada percobaan 1 dan percobaan 2 kecepatan 0,244 m/s adalah **0,220 N**.

PERCOBAAN 1		
waktu	data (kg)	data(N) g
1	0.11	1.1
2	0.12	1.2
3	0.12	1.2
4	0.12	1.2
5	0.13	1.3
6	0.13	1.3
7	0.13	1.3
8	0.13	1.3
9	0.13	1.3
10	0.12	1.2
11	0.09	0.9
12	0.07	0.7
13	0.06	0.6
14	0.06	0.6
15	0.06	0.6
16	0.06	0.6
17	0.05	0.5
18	0.04	0.4
19	0.03	0.3
20	0.02	0.2
21	0.02	0.2
22	0.02	0.2
23	0.01	0.1
24	0.01	0.1

PERCOBAAN 2		
waktu	data (kg)	data(N) g
1	0.14	0
2	0.14	1.4
3	0.14	1.4
4	0.14	1.4
5	0.14	1.4
6	0.14	1.4
7	0.14	1.4
8	0.14	1.4
9	0.14	1.4
10	0.12	1.2
11	0.09	0.9
12	0.06	0.6
13	0.06	0.6
14	0.06	0.6
15	0.06	0.6
16	0.06	0.6
17	0.07	0.7
18	0.08	0.8
19	0.07	0.7
20	0.05	0.5
21	0.04	0.4
22	0.03	0.3
23	0.03	0.3
24	0.04	0.4

25	0.01	0.1
26	0.01	0.1
27	0.01	0.1
28	0.01	0.1
29	0.03	0.3
30	0.05	0.5
31	0.07	0.7
32	0.07	0.7
33	0.07	0.7
34	0.07	0.7
35	0.07	0.7
36	0.08	0.8
37	0.08	0.8
38	0.08	0.8
39	0.08	0.8
40	0.08	0.8
41	0.08	0.8
42	0.08	0.8
43	0.08	0.8
44	0.08	0.8
45	0.08	0.8
46	0.08	0.8
47	0.08	0.8
48	0.07	0.7
49	0.05	0.5
50	0.03	0.3
51	0.02	0.2

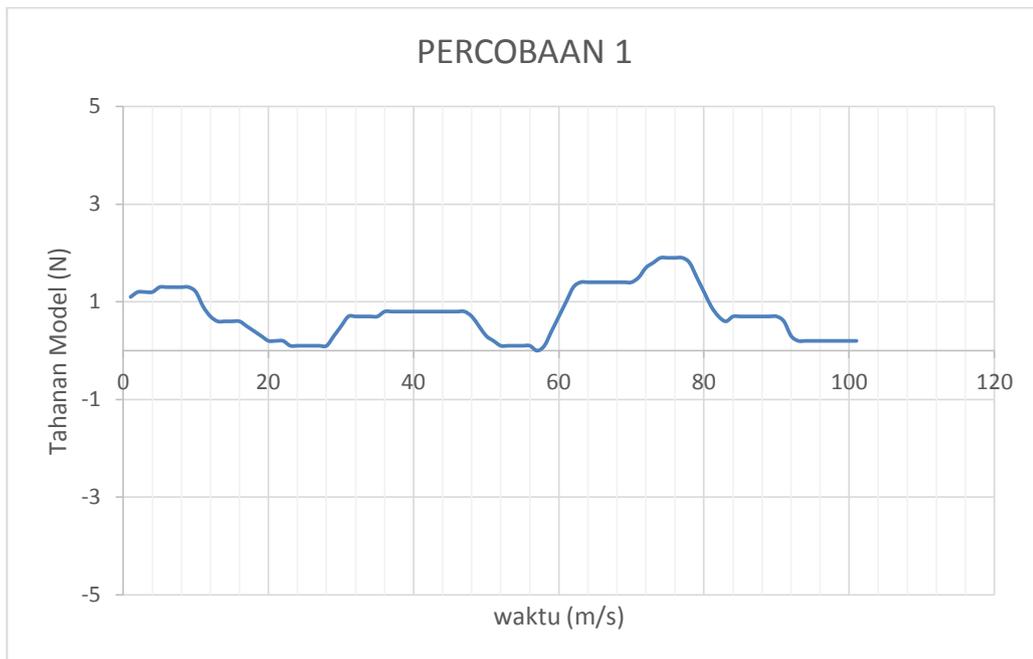
25	0.05	0.5
26	0.06	0.6
27	0.07	0.7
28	0.07	0.7
29	0.07	0.7
30	0.07	0.7
31	0.07	0.7
32	0.07	0.7
33	0.07	0.7
34	0.07	0.7
35	0.07	0.7
36	0.06	0.6
37	0.05	0.5
38	0.04	0.4
39	0.04	0.4
40	0.04	0.4
41	0.04	0.4
42	0.04	0.4
43	0.06	0.6
44	0.08	0.8
45	0.07	0.7
46	0.06	0.6
47	0.05	0.5
48	0.05	0.5
49	0.05	0.5
50	0.05	0.5
51	0.05	0.5

52	0.01	0.1
53	0.01	0.1
54	0.01	0.1
55	0.01	0.1
56	0.01	0.1
57	0	0
58	0.01	0.1
59	0.04	0.4
60	0.07	0.7
61	0.1	1
62	0.13	1.3
63	0.14	1.4
64	0.14	1.4
65	0.14	1.4
66	0.14	1.4
67	0.14	1.4
68	0.14	1.4
69	0.14	1.4
70	0.14	1.4
71	0.15	1.5
72	0.17	1.7
73	0.18	1.8
74	0.19	1.9
75	0.19	1.9
76	0.19	1.9
77	0.19	1.9
78	0.18	1.8

52	0.06	0.6
53	0.08	0.8
54	0.1	1
55	0.11	1.1
56	0.11	1.1
57	0.11	1.1
58	0.11	1.1
59	0.11	1.1
60	0.12	1.2
61	0.12	1.2
62	0.13	1.3
63	0.11	1.1
64	0.09	0.9
65	0.09	0.9
66	0.09	0.9
67	0.09	0.9
68	0.09	0.9
69	0.09	0.9
70	0.09	0.9
71	0.09	0.9
72	0.08	0.8
73	0.05	0.5
74	0.03	0.3
75	0.03	0.3
76	0.03	0.3
77	0.03	0.3
78	0.03	0.3

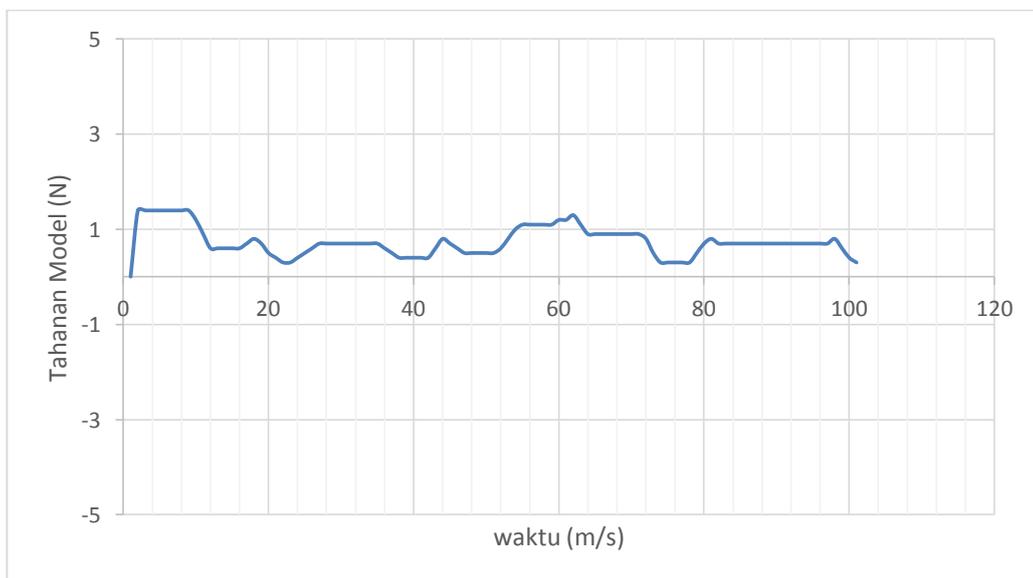
79	0.15	1.5
80	0.12	1.2
81	0.09	0.9
82	0.07	0.7
83	0.06	0.6
84	0.07	0.7
85	0.07	0.7
86	0.07	0.7
87	0.07	0.7
88	0.07	0.7
89	0.07	0.7
90	0.07	0.7
91	0.06	0.6
92	0.03	0.3
93	0.02	0.2
94	0.02	0.2
95	0.02	0.2
96	0.02	0.2
97	0.02	0.2
98	0.02	0.2
99	0.02	0.2
100	0.02	0.2

79	0.05	0.5
80	0.07	0.7
81	0.08	0.8
82	0.07	0.7
83	0.07	0.7
84	0.07	0.7
85	0.07	0.7
86	0.07	0.7
87	0.07	0.7
88	0.07	0.7
89	0.07	0.7
90	0.07	0.7
91	0.07	0.7
92	0.07	0.7
93	0.07	0.7
94	0.07	0.7
95	0.07	0.7
96	0.07	0.7
97	0.07	0.7
98	0.08	0.8
99`	0.06	0.6
100	0.04	0.4



Grafik Percobaan 1 kecepatan 0,488 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 1 nilai rata-rata tahanan model sebesar 0,7574 N



Grafik Percobaan 2 kecepatan 0,488 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 2 nilai rata-rata tahanan model sebesar 0,7336 N. Sehingga nilai rata-rata tahanan total model pada percobaan 1 dan percobaan 2 kecepatan 0,488 m/s adalah **0,7456 N**.

PERCOBAAN 1		
waktu	data (kg)	data(N) g
1	0.08	0
2	0.08	0.8
3	0.08	0.8
4	0.07	0.7
5	0.07	0.7
6	0.07	0.7
7	0.07	0.7
8	0.07	0.7
9	0.07	0.7
10	0.06	0.6
11	0.07	0.7
12	0.08	0.8
13	0.11	1.1
14	0.12	1.2
15	0.13	1.3
16	0.15	1.5
17	0.18	1.8
18	0.18	1.8
19	0.18	1.8
20	0.18	1.8
21	0.18	1.8
22	0.18	1.8
23	0.18	1.8
24	0.18	1.8
25	0.18	1.8
26	0.19	1.9
27	0.22	2.2
28	0.22	2.2
29	0.22	2.2
30	0.22	2.2
31	0.22	2.2
32	0.2	2
33	0.17	1.7
34	0.14	1.4
35	0.1	1
36	0.08	0.8
37	0.06	0.6
38	0.09	0.9

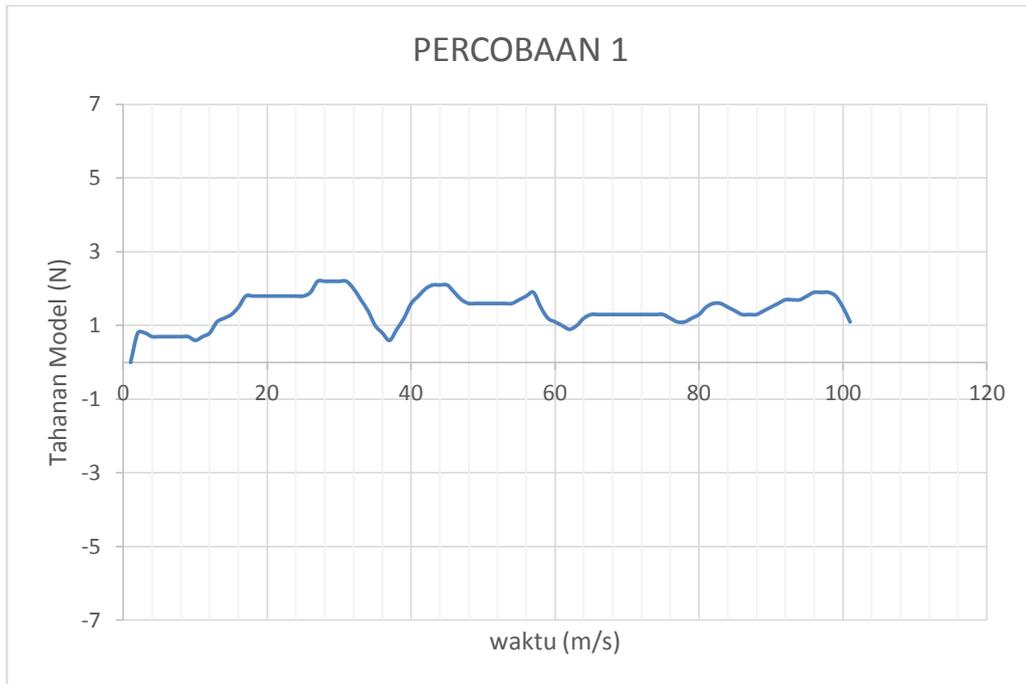
PERCOBAAN 2		
waktu	data (kg)	data(N) g
1	0.1	0
2	0.09	0.9
3	0.08	0.8
4	0.08	0.8
5	0.08	0.8
6	0.08	0.8
7	0.08	0.8
8	0.08	0.8
9	0.08	0.8
10	0.08	0.8
11	0.08	0.8
12	0.09	0.9
13	0.11	1.1
14	0.13	1.3
15	0.15	1.5
16	0.17	1.7
17	0.2	2
18	0.2	2
19	0.2	2
20	0.2	2
21	0.2	2
22	0.2	2
23	0.2	2
24	0.2	2
25	0.2	2
26	0.2	2
27	0.22	2.2
28	0.25	2.5
29	0.26	2.6
30	0.27	2.7
31	0.26	2.6
32	0.24	2.4
33	0.21	2.1
34	0.18	1.8
35	0.15	1.5
36	0.12	1.2
37	0.09	0.9
38	0.08	0.8

39	0.12	1.2
40	0.16	1.6
41	0.18	1.8
42	0.2	2
43	0.21	2.1
44	0.21	2.1
45	0.21	2.1
46	0.19	1.9
47	0.17	1.7
48	0.16	1.6
49	0.16	1.6
50	0.16	1.6
51	0.16	1.6
52	0.16	1.6
53	0.16	1.6
54	0.16	1.6
55	0.17	1.7
56	0.18	1.8
57	0.19	1.9
58	0.15	1.5
59	0.12	1.2
60	0.11	1.1
61	0.1	1
62	0.09	0.9
63	0.1	1
64	0.12	1.2
65	0.13	1.3
66	0.13	1.3
67	0.13	1.3
68	0.13	1.3
69	0.13	1.3
70	0.13	1.3
71	0.13	1.3
72	0.13	1.3
73	0.13	1.3
74	0.13	1.3
75	0.13	1.3
76	0.12	1.2
77	0.11	1.1
78	0.11	1.1

39	0.11	1.1
40	0.15	1.5
41	0.18	1.8
42	0.21	2.1
43	0.23	2.3
44	0.23	2.3
45	0.23	2.3
46	0.23	2.3
47	0.21	2.1
48	0.19	1.9
49	0.17	1.7
50	0.16	1.6
51	0.16	1.6
52	0.16	1.6
53	0.17	1.7
54	0.18	1.8
55	0.2	2
56	0.21	2.1
57	0.21	2.1
58	0.2	2
59	0.17	1.7
60	0.14	1.4
61	0.1	1
62	0.08	0.8
63	0.07	0.7
64	0.1	1
65	0.13	1.3
66	0.15	1.5
67	0.15	1.5
68	0.15	1.5
69	0.15	1.5
70	0.15	1.5
71	0.15	1.5
72	0.15	1.5
73	0.15	1.5
74	0.14	1.4
75	0.12	1.2
76	0.11	1.1
77	0.11	1.1
78	0.11	1.1

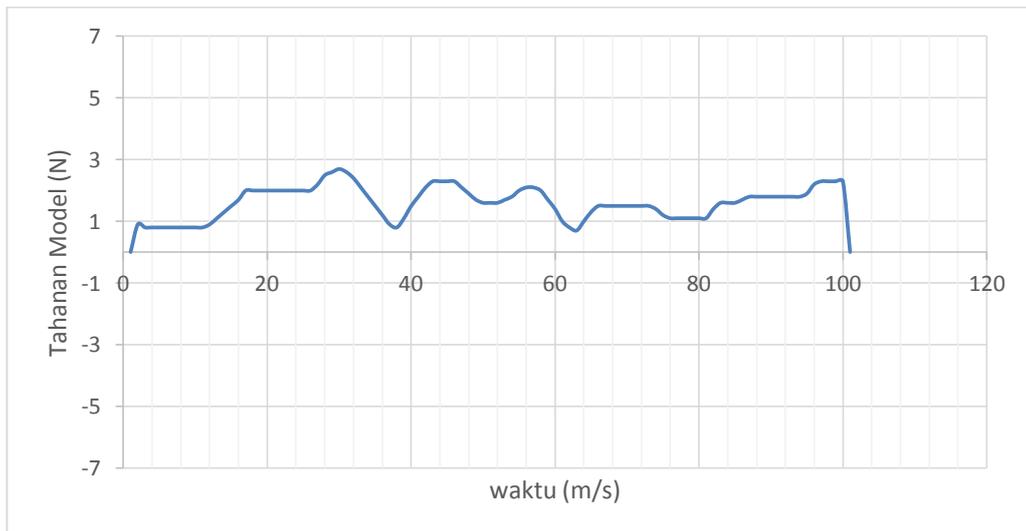
79	0.12	1.2
80	0.13	1.3
81	0.15	1.5
82	0.16	1.6
83	0.16	1.6
84	0.15	1.5
85	0.14	1.4
86	0.13	1.3
87	0.13	1.3
88	0.13	1.3
89	0.14	1.4
90	0.15	1.5
91	0.16	1.6
92	0.17	1.7
93	0.17	1.7
94	0.17	1.7
95	0.18	1.8
96	0.19	1.9
97	0.19	1.9
98	0.19	1.9
99	0.18	1.8
100	0.15	1.5

79	0.11	1.1
80	0.11	1.1
81	0.11	1.1
82	0.14	1.4
83	0.16	1.6
84	0.16	1.6
85	0.16	1.6
86	0.17	1.7
87	0.18	1.8
88	0.18	1.8
89	0.18	1.8
90	0.18	1.8
91	0.18	1.8
92	0.18	1.8
93	0.18	1.8
94	0.18	1.8
95	0.19	1.9
96	0.22	2.2
97	0.23	2.3
98	0.23	2.3
99	0.23	2.3
100	0.23	2.3



Grafik Percobaan 1 kecepatan 0,736 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 1 nilai rata-rata tahanan model sebesar 1,4326 N



Grafik Percobaan 2 kecepatan 0,736 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 2 nilai rata-rata tahanan model sebesar 1,5891 N. Sehingga nilai rata-rata tahanan total model pada percobaan 1 dan percobaan 2 kecepatan 0,736 m/s adalah **1,511 N**.

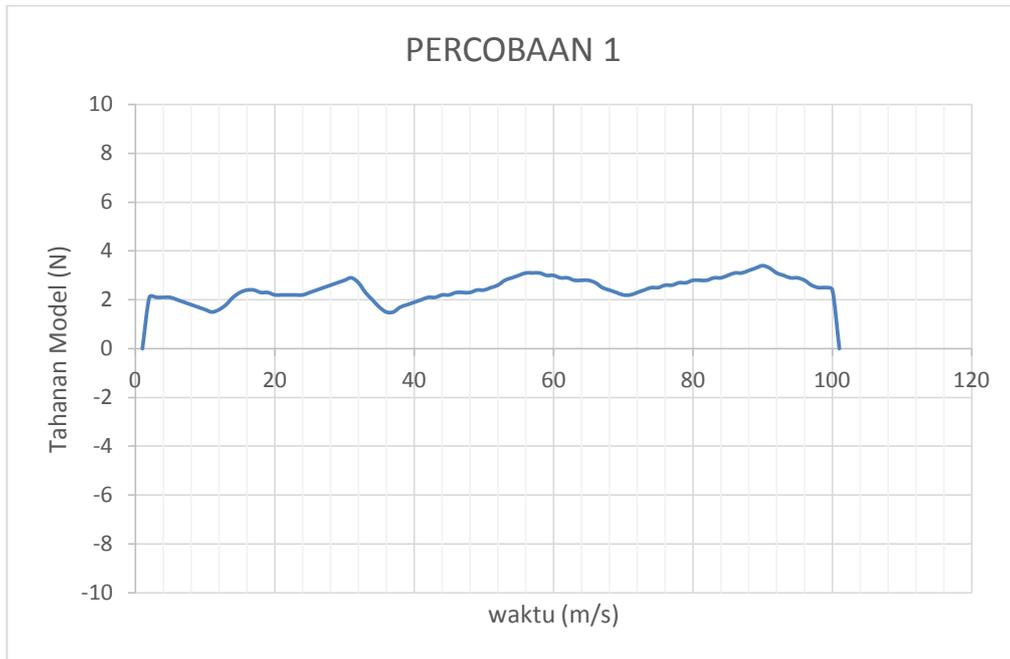
PERXOBAAN 1			PERCOBAAN 2		
waktu	data (kg)	data(N)	waktu	data (kg)	data(N)
1	0.2	0	1	0.14	0
2	0.21	2.1	2	0.16	1.6
3	0.21	2.1	3	0.18	1.8
4	0.21	2.1	4	0.2	2
5	0.21	2.1	5	0.23	2.3
6	0.2	2	6	0.24	2.4
7	0.19	1.9	7	0.23	2.3
8	0.18	1.8	8	0.23	2.3
9	0.17	1.7	9	0.23	2.3
10	0.16	1.6	10	0.23	2.3
11	0.15	1.5	11	0.23	2.3
12	0.16	1.6	12	0.24	2.4
13	0.18	1.8	13	0.25	2.5
14	0.21	2.1	14	0.26	2.6
15	0.23	2.3	15	0.26	2.6
16	0.24	2.4	16	0.26	2.6
17	0.24	2.4	17	0.26	2.6
18	0.23	2.3	18	0.26	2.6
19	0.23	2.3	19	0.26	2.6
20	0.22	2.2	20	0.27	2.7
21	0.22	2.2	21	0.27	2.7
22	0.22	2.2	22	0.27	2.7
23	0.22	2.2	23	0.26	2.6
24	0.22	2.2	24	0.25	2.5
25	0.23	2.3	25	0.24	2.4
26	0.24	2.4	26	0.23	2.3
27	0.25	2.5	27	0.24	2.4
28	0.26	2.6	28	0.24	2.4
29	0.27	2.7	29	0.23	2.3
30	0.28	2.8	30	0.23	2.3
31	0.29	2.9	31	0.24	2.4
32	0.27	2.7	32	0.24	2.4
33	0.23	2.3	33	0.24	2.4
34	0.2	2	34	0.24	2.4
35	0.17	1.7	35	0.23	2.3
36	0.15	1.5	36	0.24	2.4
37	0.15	1.5	37	0.26	2.6
38	0.17	1.7	38	0.29	2.9
39	0.18	1.8	39	0.31	3.1

40	0.19	1.9
41	0.2	2
42	0.21	2.1
43	0.21	2.1
44	0.22	2.2
45	0.22	2.2
46	0.23	2.3
47	0.23	2.3
48	0.23	2.3
49	0.24	2.4
50	0.24	2.4
51	0.25	2.5
52	0.26	2.6
53	0.28	2.8
54	0.29	2.9
55	0.3	3
56	0.31	3.1
57	0.31	3.1
58	0.31	3.1
59	0.3	3
60	0.3	3
61	0.29	2.9
62	0.29	2.9
63	0.28	2.8
64	0.28	2.8
65	0.28	2.8
66	0.27	2.7
67	0.25	2.5
68	0.24	2.4
69	0.23	2.3
70	0.22	2.2
71	0.22	2.2
72	0.23	2.3
73	0.24	2.4
74	0.25	2.5
75	0.25	2.5
76	0.26	2.6
77	0.26	2.6
78	0.27	2.7
79	0.27	2.7

40	0.32	3.2
41	0.31	3.1
42	0.29	2.9
43	0.27	2.7
44	0.26	2.6
45	0.25	2.5
46	0.23	2.3
47	0.22	2.2
48	0.21	2.1
49	0.2	2
50	0.2	2
51	0.2	2
52	0.22	2.2
53	0.24	2.4
54	0.27	2.7
55	0.3	3
56	0.3	3
57	0.28	2.8
58	0.26	2.6
59	0.24	2.4
60	0.24	2.4
61	0.24	2.4
62	0.25	2.5
63	0.26	2.6
64	0.27	2.7
65	0.28	2.8
66	0.29	2.9
67	0.3	3
68	0.31	3.1
69	0.31	3.1
70	0.31	3.1
71	0.3	3
72	0.27	2.7
73	0.25	2.5
74	0.22	2.2
75	0.21	2.1
76	0.2	2
77	0.21	2.1
78	0.22	2.2
79	0.22	2.2

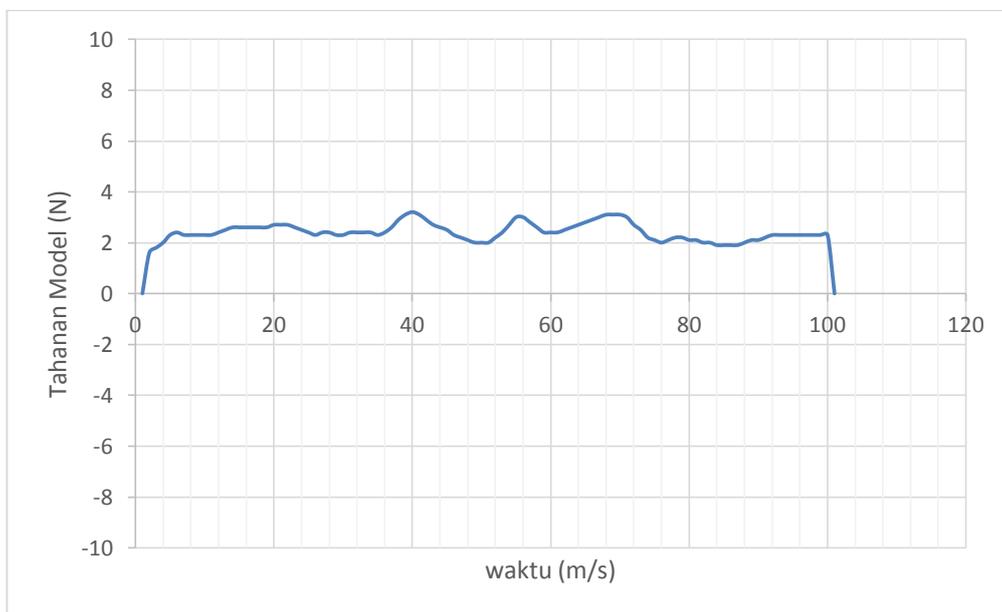
80	0.28	2.8
81	0.28	2.8
82	0.28	2.8
83	0.29	2.9
84	0.29	2.9
85	0.3	3
86	0.31	3.1
87	0.31	3.1
88	0.32	3.2
89	0.33	3.3
90	0.34	3.4
91	0.33	3.3
92	0.31	3.1
93	0.3	3
94	0.29	2.9
95	0.29	2.9
96	0.28	2.8
97	0.26	2.6
98	0.25	2.5
99	0.25	2.5
100	0.24	2.4

80	0.21	2.1
81	0.21	2.1
82	0.2	2
83	0.2	2
84	0.19	1.9
85	0.19	1.9
86	0.19	1.9
87	0.19	1.9
88	0.2	2
89	0.21	2.1
90	0.21	2.1
91	0.22	2.2
92	0.23	2.3
93	0.23	2.3
94	0.23	2.3
95	0.23	2.3
96	0.23	2.3
97	0.23	2.3
98	0.23	2.3
99	0.23	2.3
100	0.23	2.3



Grafik Percobaan 1 kecepatan 0,976 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 1 nilai rata-rata tahanan model sebesar 2,4148 N



Grafik Percobaan 2 kecepatan 0,976 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 2 nilai rata-rata tahanan model sebesar 2,3712 N. Sehingga nilai rata-rata tahanan total model pada percobaan 1 dan percobaan 2 kecepatan 0,976 m/s adalah **2,393 N**.

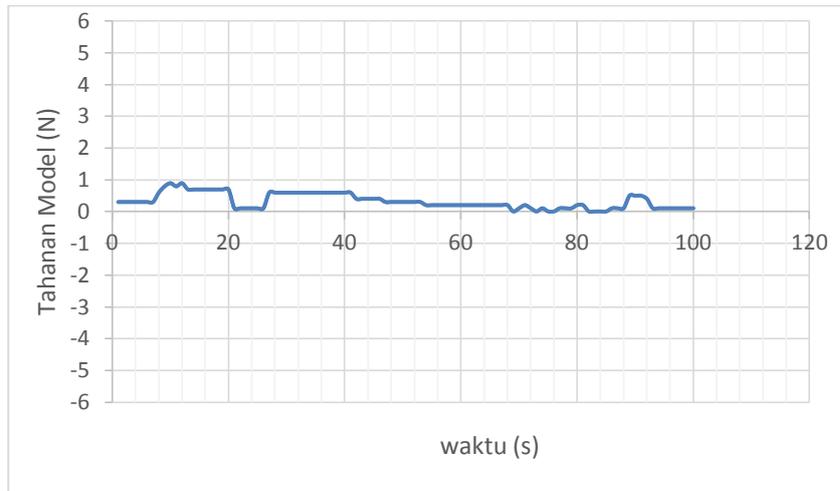
Lampiran 4

Penentuan nilai tahanan total model *Hydroelastic body* yang menggunakan *bulbousbow* pada tiap variasi kecepatan

TIME	3 KNOT			
	Percobaan 1		Percobaan 2	
	Kg	N	Kg	N
1	0.03	0.3	0.02	0.2
2	0.03	0.3	0.02	0.2
3	0.03	0.3	0.02	0.2
4	0.03	0.3	0.02	0.2
5	0.03	0.3	0.02	0.2
6	0.03	0.3	0.04	0.4
7	0.03	0.3	0.04	0.4
8	0.06	0.6	0.04	0.4
9	0.08	0.8	0.04	0.4
10	0.09	0.9	0.04	0.4
11	0.08	0.8	0.04	0.4
12	0.09	0.9	0.04	0.4
13	0.07	0.7	0.05	0.5
14	0.07	0.7	0.05	0.5
15	0.07	0.7	0.09	0.9
16	0.07	0.7	0.09	0.9
17	0.07	0.7	0.09	0.9
18	0.07	0.7	0.09	0.9
19	0.07	0.7	0.06	0.6
20	0.07	0.7	0.06	0.6
21	0.01	0.1	0.06	0.6
22	0.01	0.1	0.06	0.6
23	0.01	0.1	0.01	0.1
24	0.01	0.1	0.01	0.1
25	0.01	0.1	0.01	0.1
26	0.01	0.1	0.01	0.1
27	0.06	0.6	0	0
28	0.06	0.6	0	0
29	0.06	0.6	0	0
30	0.06	0.6	0.02	0.2
31	0.06	0.6	0.02	0.2
32	0.06	0.6	0.02	0.2
33	0.06	0.6	0.02	0.2
34	0.06	0.6	0.02	0.2

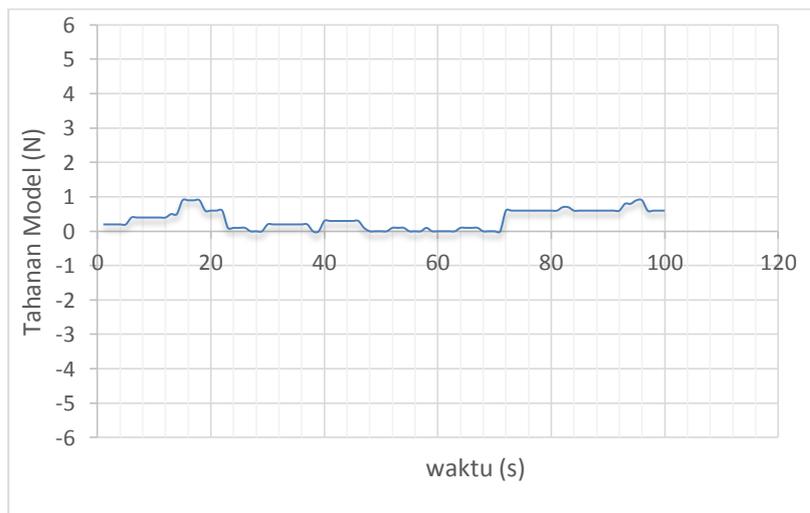
35	0.06	0.6	0.02	0.2
36	0.06	0.6	0.02	0.2
37	0.06	0.6	0.02	0.2
38	0.06	0.6	0	0
39	0.06	0.6	0	0
40	0.06	0.6	0.03	0.3
41	0.06	0.6	0.03	0.3
42	0.04	0.4	0.03	0.3
43	0.04	0.4	0.03	0.3
44	0.04	0.4	0.03	0.3
45	0.04	0.4	0.03	0.3
46	0.04	0.4	0.03	0.3
47	0.03	0.3	0.01	0.1
48	0.03	0.3	0	0
49	0.03	0.3	0	0
50	0.03	0.3	0	0
51	0.03	0.3	0	0
52	0.03	0.3	0.01	0.1
53	0.03	0.3	0.01	0.1
54	0.02	0.2	0.01	0.1
55	0.02	0.2	0	0
56	0.02	0.2	0	0
57	0.02	0.2	0	0
58	0.02	0.2	0.01	0.1
59	0.02	0.2	0	0
60	0.02	0.2	0	0
61	0.02	0.2	0	0
62	0.02	0.2	0	0
63	0.02	0.2	0	0
64	0.02	0.2	0.01	0.1
65	0.02	0.2	0.01	0.1
66	0.02	0.2	0.01	0.1
67	0.02	0.2	0.01	0.1
68	0.02	0.2	0	0
69	0	0	0	0
70	0.01	0.1	0	0
71	0.02	0.2	0	0
72	0.01	0.1	0.06	0.6
73	0	0	0.06	0.6
74	0.01	0.1	0.06	0.6
75	0	0	0.06	0.6

76	0	0	0.06	0.6
77	0.01	0.1	0.06	0.6
78	0.01	0.1	0.06	0.6
79	0.01	0.1	0.06	0.6
80	0.02	0.2	0.06	0.6
81	0.02	0.2	0.06	0.6
82	0	0	0.07	0.7
83	0	0	0.07	0.7
84	0	0	0.06	0.6
85	0	0	0.06	0.6
86	0.01	0.1	0.06	0.6
87	0.01	0.1	0.06	0.6
88	0.01	0.1	0.06	0.6
89	0.05	0.5	0.06	0.6
90	0.05	0.5	0.06	0.6
91	0.05	0.5	0.06	0.6
92	0.04	0.4	0.06	0.6
93	0.01	0.1	0.08	0.8
94	0.01	0.1	0.08	0.8
95	0.01	0.1	0.09	0.9
96	0.01	0.1	0.09	0.9
97	0.01	0.1	0.06	0.6
98	0.01	0.1	0.06	0.6
99	0.01	0.1	0.06	0.6
100	0.01	0.1	0.06	0.6
	RT 1 =	0.326	RT 2 =	0.344



Grafik Percobaan 1 kecepatan 0,244 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 1 nilai rata-rata tahanan model sebesar 0,326 N



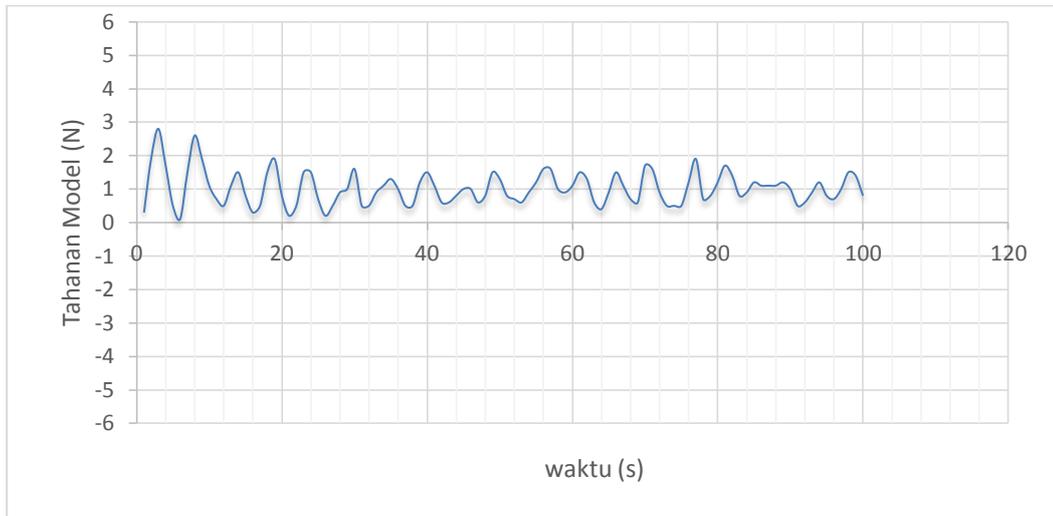
Grafik Percobaan 2 kecepatan 0,244 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 2 nilai rata-rata tahanan model sebesar 0,344 N. Sehingga nilai rata-rata tahanan total model pada percobaan 1 dan percobaan 2 kecepatan 0,244 m/s adalah **0,355 N**.

TIME	6 KNOT			
	Percobaan 1		Percobaan 2	
	<i>Kg</i>	N	<i>Kg</i>	N
1	0.03	0.3	0.11	1.1
2	0.19	1.9	0.05	0.5
3	0.28	2.8	0.05	0.5
4	0.17	1.7	0.06	0.6
5	0.05	0.5	0.13	1.3
6	0.01	0.1	0.12	1.2
7	0.15	1.5	0.08	0.8
8	0.26	2.6	0.15	1.5
9	0.19	1.9	0.11	1.1
10	0.11	1.1	0.07	0.7
11	0.07	0.7	0.14	1.4
12	0.05	0.5	0.17	1.7
13	0.11	1.1	0.09	0.9
14	0.15	1.5	0.02	0.2
15	0.08	0.8	0.15	1.5
16	0.03	0.3	0.22	2.2
17	0.05	0.5	0.12	1.2
18	0.15	1.5	0.04	0.4
19	0.19	1.9	0.11	1.1
20	0.08	0.8	0.14	1.4
21	0.02	0.2	0.11	1.1
22	0.05	0.5	0.16	1.6
23	0.15	1.5	0.11	1.1
24	0.15	1.5	0.09	0.9
25	0.07	0.7	0.07	0.7
26	0.02	0.2	0.08	0.8
27	0.05	0.5	0.16	1.6
28	0.09	0.9	0.18	1.8
29	0.1	1	0.12	1.2
30	0.16	1.6	0.1	1
31	0.05	0.5	0.09	0.9
32	0.05	0.5	0.15	1.5
33	0.09	0.9	0.12	1.2
34	0.11	1.1	0.09	0.9
35	0.13	1.3	0.13	1.3
36	0.1	1	0.12	1.2
37	0.05	0.5	0.06	0.6
38	0.05	0.5	0.19	1.9

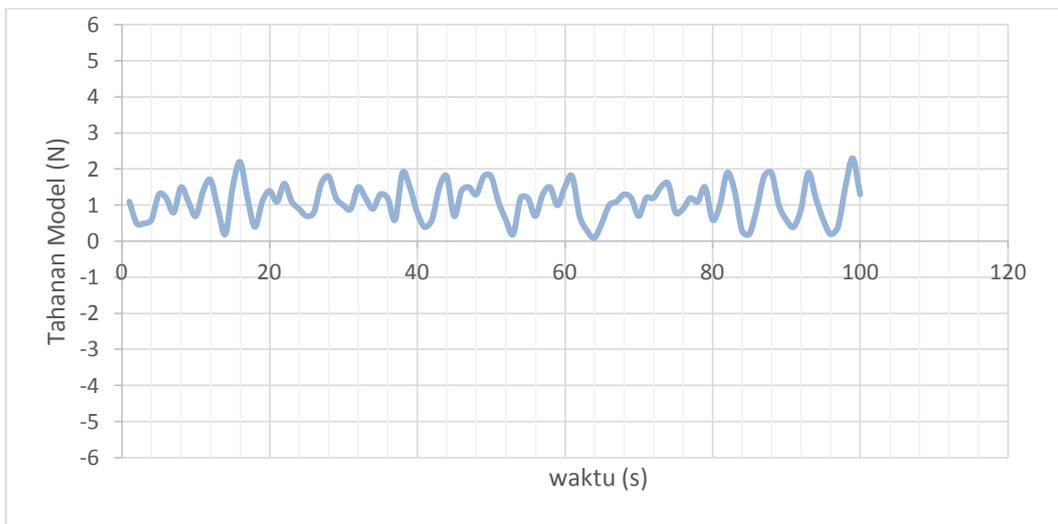
39	0.12	1.2	0.15	1.5
40	0.15	1.5	0.08	0.8
41	0.11	1.1	0.04	0.4
42	0.06	0.6	0.06	0.6
43	0.06	0.6	0.15	1.5
44	0.08	0.8	0.18	1.8
45	0.1	1	0.07	0.7
46	0.1	1	0.14	1.4
47	0.06	0.6	0.15	1.5
48	0.08	0.8	0.13	1.3
49	0.15	1.5	0.18	1.8
50	0.13	1.3	0.18	1.8
51	0.08	0.8	0.11	1.1
52	0.07	0.7	0.06	0.6
53	0.06	0.6	0.02	0.2
54	0.09	0.9	0.12	1.2
55	0.12	1.2	0.12	1.2
56	0.16	1.6	0.07	0.7
57	0.16	1.6	0.13	1.3
58	0.1	1	0.15	1.5
59	0.09	0.9	0.1	1
60	0.11	1.1	0.15	1.5
61	0.15	1.5	0.18	1.8
62	0.13	1.3	0.07	0.7
63	0.06	0.6	0.03	0.3
64	0.04	0.4	0.01	0.1
65	0.09	0.9	0.05	0.5
66	0.15	1.5	0.1	1
67	0.11	1.1	0.11	1.1
68	0.07	0.7	0.13	1.3
69	0.06	0.6	0.12	1.2
70	0.17	1.7	0.07	0.7
71	0.16	1.6	0.12	1.2
72	0.09	0.9	0.12	1.2
73	0.05	0.5	0.15	1.5
74	0.05	0.5	0.16	1.6
75	0.05	0.5	0.08	0.8
76	0.12	1.2	0.09	0.9
77	0.19	1.9	0.12	1.2
78	0.07	0.7	0.11	1.1
79	0.08	0.8	0.15	1.5

80	0.12	1.2	0.06	0.6
81	0.17	1.7	0.1	1
82	0.14	1.4	0.19	1.9
83	0.08	0.8	0.14	1.4
84	0.09	0.9	0.03	0.3
85	0.12	1.2	0.02	0.2
86	0.11	1.1	0.09	0.9
87	0.11	1.1	0.18	1.8
88	0.11	1.1	0.19	1.9
89	0.12	1.2	0.1	1
90	0.1	1	0.06	0.6
91	0.05	0.5	0.04	0.4
92	0.06	0.6	0.09	0.9
93	0.09	0.9	0.19	1.9
94	0.12	1.2	0.12	1.2
95	0.08	0.8	0.06	0.6
96	0.07	0.7	0.02	0.2
97	0.1	1	0.04	0.4
98	0.15	1.5	0.15	1.5
99	0.14	1.4	0.23	2.3
100	0.08	0.8	0.13	1.3
	RT 1 =	1.023	RT 2 =	1.100



Grafik Percobaan 1 kecepatan 0,488 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 1 nilai rata-rata tahanan model sebesar 1.023 N



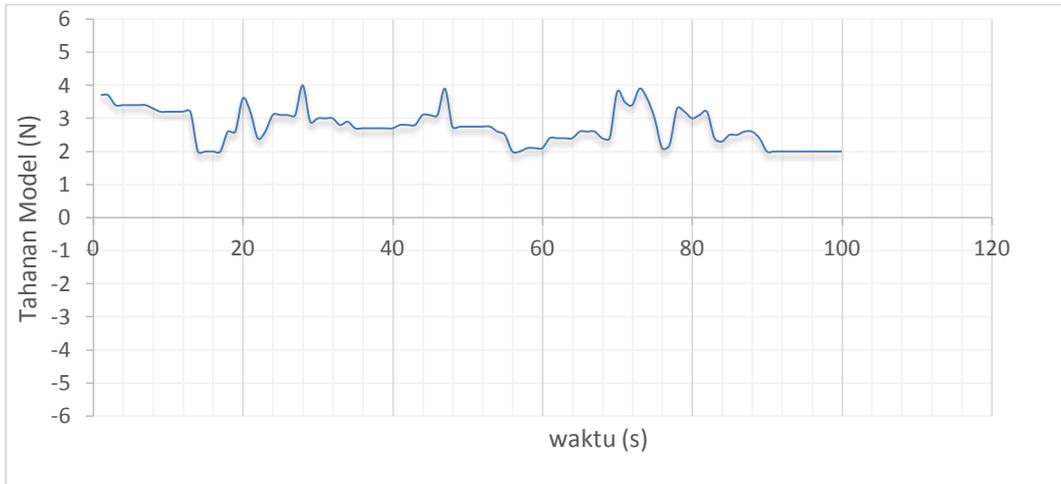
Grafik Percobaan 2 kecepatan 0,488 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 2 nilai rata-rata tahanan model sebesar 1.100 N. Sehingga nilai rata-rata tahanan total model pada percobaan 1 dan percobaan 2 kecepatan 0,488 m/s adalah **1.062 N**.

TIME	9 KNOT			
	Percobaan 1		Percobaan 2	
	Kg	N	Kg	N
1	0.37	3.7	0.35	3.5
2	0.37	3.7	0.35	3.5
3	0.34	3.4	0.35	3.5
4	0.34	3.4	0.35	3.5
5	0.34	3.4	0.37	3.7
6	0.34	3.4	0.37	3.7
7	0.34	3.4	0.37	3.7
8	0.33	3.3	0.30	3
9	0.32	3.2	0.30	3
10	0.32	3.2	0.30	3
11	0.32	3.2	0.30	3
12	0.32	3.2	0.30	3
13	0.32	3.2	0.30	3
14	0.2	2	0.30	3
15	0.2	2	0.22	2.2
16	0.2	2	0.22	2.2
17	0.2	2	0.22	2.2
18	0.26	2.6	0.22	2.2
19	0.26	2.6	0.22	2.2
20	0.36	3.6	0.22	2.2
21	0.32	3.2	0.22	2.2
22	0.24	2.4	0.27	2.7
23	0.26	2.6	0.27	2.7
24	0.31	3.1	0.29	2.9
25	0.31	3.1	0.25	2.5
26	0.31	3.1	0.23	2.3
27	0.31	3.1	0.3	3
28	0.4	4	0.27	2.7
29	0.29	2.9	0.17	2.8
30	0.3	3	0.2	2.6
31	0.3	3	0.22	2.2
32	0.3	3	0.25	2.5
33	0.28	2.8	0.24	2.4
34	0.29	2.9	0.25	2.5
35	0.27	2.7	0.31	3.1
36	0.27	2.7	0.28	2.8
37	0.27	2.7	0.28	2.8
38	0.27	2.7	0.28	2.8

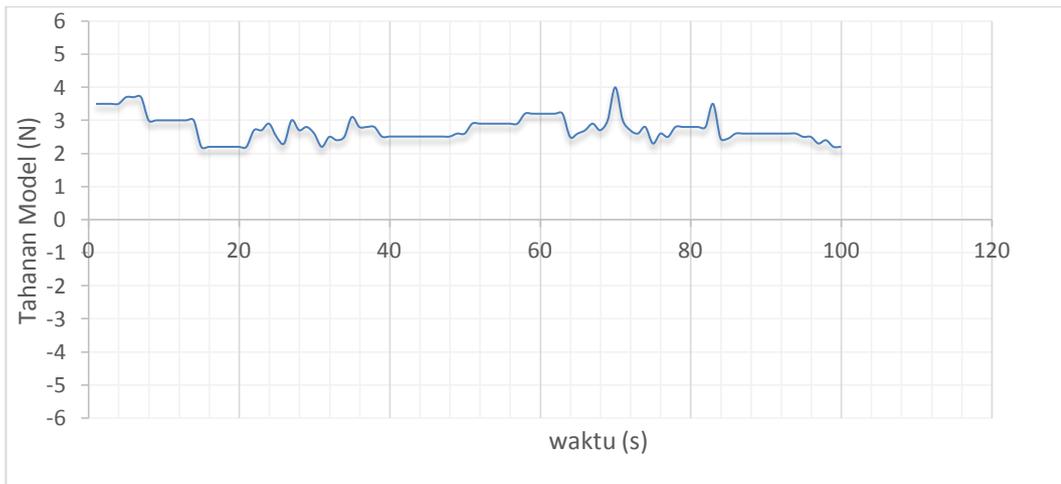
39	0.27	2.7	0.25	2.51
40	0.27	2.7	0.25	2.51
41	0.28	2.8	0.25	2.51
42	0.28	2.8	0.25	2.51
43	0.28	2.8	0.25	2.51
44	0.31	3.1	0.25	2.51
45	0.31	3.1	0.25	2.51
46	0.31	3.1	0.25	2.51
47	0.39	3.9	0.25	2.51
48	0.28	2.75	0.25	2.51
49	0.28	2.75	0.26	2.6
50	0.28	2.75	0.26	2.6
51	0.28	2.75	0.29	2.9
52	0.28	2.75	0.29	2.9
53	0.28	2.75	0.29	2.9
54	0.26	2.6	0.29	2.9
55	0.25	2.5	0.29	2.9
56	0.2	2	0.29	2.9
57	0.2	2	0.29	2.9
58	0.21	2.1	0.32	3.2
59	0.21	2.1	0.32	3.2
60	0.21	2.1	0.32	3.2
61	0.24	2.4	0.32	3.2
62	0.24	2.4	0.32	3.2
63	0.24	2.4	0.32	3.2
64	0.24	2.4	0.25	2.5
65	0.26	2.6	0.26	2.6
66	0.26	2.6	0.27	2.7
67	0.26	2.6	0.29	2.9
68	0.24	2.4	0.27	2.7
69	0.24	2.4	0.3	3
70	0.38	3.8	0.4	4
71	0.35	3.5	0.3	3
72	0.34	3.4	0.27	2.7
73	0.39	3.9	0.26	2.6
74	0.36	3.6	0.28	2.8
75	0.3	3	0.23	2.3
76	0.21	2.1	0.26	2.6
77	0.22	2.2	0.25	2.5
78	0.33	3.3	0.28	2.8
79	0.32	3.2	0.28	2.8

80	0.3	3	0.28	2.8
81	0.31	3.1	0.28	2.8
82	0.32	3.2	0.28	2.8
83	0.24	2.4	0.35	3.5
84	0.23	2.3	0.25	2.45
85	0.25	2.5	0.25	2.45
86	0.25	2.5	0.26	2.6
87	0.26	2.6	0.26	2.6
88	0.26	2.6	0.26	2.6
89	0.24	2.4	0.26	2.6
90	0.20	2	0.26	2.6
91	0.20	2	0.26	2.6
92	0.20	2	0.26	2.6
93	0.20	2	0.26	2.6
94	0.20	2	0.26	2.6
95	0.20	2	0.25	2.5
96	0.20	2	0.25	2.5
97	0.20	2	0.23	2.3
98	0.20	2	0.24	2.4
99	0.20	2	0.22	2.2
100	0.20	2	0.22	2.2
	RT 1 =	2.752	RT 2 =	2.754



Grafik Percobaan 1 kecepatan 0,732 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 1 nilai rata-rata tahanan model sebesar 2.752 N



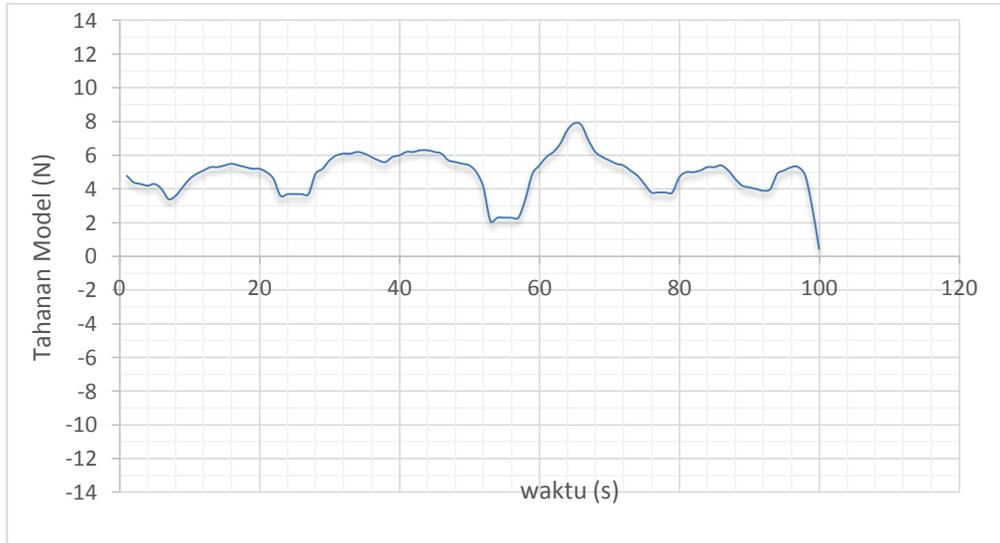
Grafik Percobaan 2 kecepatan 0,732 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 2 nilai rata-rata tahanan model sebesar 2.754 N. Sehingga nilai rata-rata tahanan total model pada percobaan 1 dan percobaan 2 kecepatan 0,732 m/s adalah **2.753 N**.

TIME	12 KNOT			
	Percobaan 1		Percobaan 2	
	<i>Kg</i>	N	<i>Kg</i>	N
1	0.48	4.8	0.39	3.9
2	0.44	4.4	0.36	3.6
3	0.43	4.3	0.37	3.7
4	0.42	4.2	0.41	4.1
5	0.43	4.3	0.45	4.5
6	0.4	4	0.49	4.9
7	0.34	3.4	0.51	5.1
8	0.36	3.6	0.51	5.1
9	0.41	4.1	0.53	5.3
10	0.46	4.6	0.55	5.5
11	0.49	4.9	0.57	5.7
12	0.51	5.1	0.56	5.6
13	0.53	5.3	0.56	5.6
14	0.53	5.3	0.56	5.6
15	0.54	5.4	0.55	5.5
16	0.55	5.5	0.51	5.1
17	0.54	5.4	0.45	4.5
18	0.53	5.3	0.42	4.2
19	0.52	5.2	0.39	3.9
20	0.52	5.2	0.36	3.6
21	0.5	5	0.34	3.4
22	0.46	4.6	0.39	3.9
23	0.36	3.6	0.46	4.6
24	0.37	3.7	0.5	5
25	0.37	3.7	0.56	5.6
26	0.37	3.7	0.57	5.7
27	0.37	3.7	0.59	5.9
28	0.49	4.9	0.58	5.8
29	0.52	5.2	0.55	5.5
30	0.57	5.7	0.54	5.4
31	0.6	6	0.51	5.1
32	0.61	6.1	0.48	4.8
33	0.61	6.1	0.5	5
34	0.62	6.2	0.54	5.4
35	0.61	6.1	0.58	5.8
36	0.59	5.9	0.63	6.3
37	0.57	5.7	0.65	6.5
38	0.56	5.6	0.66	6.6

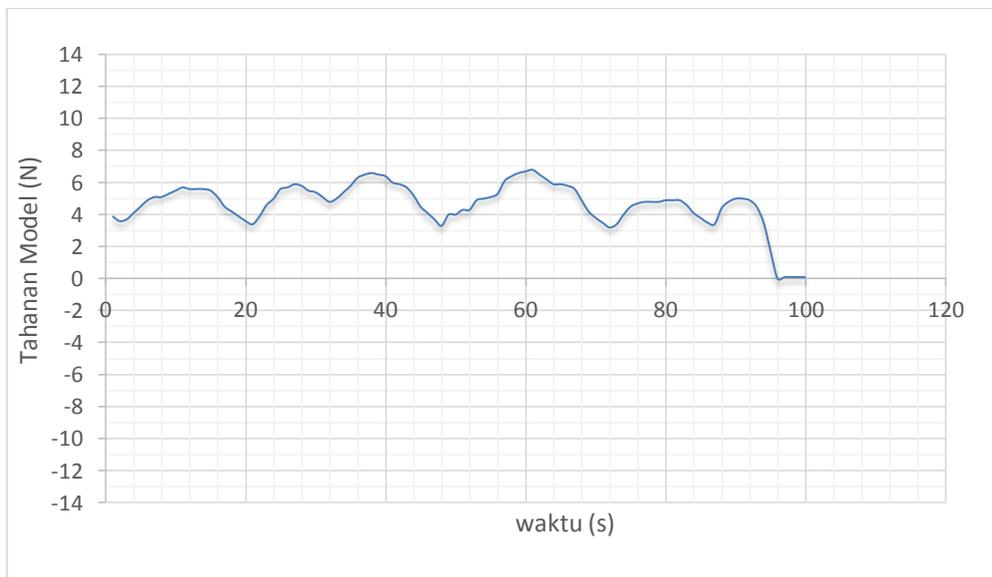
39	0.59	5.9	0.65	6.5
40	0.6	6	0.64	6.4
41	0.62	6.2	0.6	6
42	0.62	6.2	0.59	5.9
43	0.63	6.3	0.57	5.7
44	0.63	6.3	0.52	5.2
45	0.62	6.2	0.45	4.5
46	0.61	6.1	0.41	4.1
47	0.57	5.7	0.37	3.7
48	0.56	5.6	0.33	3.3
49	0.55	5.5	0.4	4
50	0.54	5.4	0.4	4
51	0.5	5	0.43	4.3
52	0.41	4.1	0.43	4.3
53	0.21	2.1	0.49	4.9
54	0.23	2.3	0.5	5
55	0.23	2.3	0.51	5.1
56	0.23	2.3	0.53	5.3
57	0.23	2.3	0.61	6.1
58	0.34	3.4	0.64	6.4
59	0.49	4.9	0.66	6.6
60	0.54	5.4	0.67	6.7
61	0.59	5.9	0.68	6.8
62	0.62	6.2	0.65	6.5
63	0.67	6.7	0.62	6.2
64	0.75	7.5	0.59	5.9
65	0.79	7.9	0.59	5.9
66	0.78	7.8	0.58	5.8
67	0.69	6.9	0.56	5.6
68	0.62	6.2	0.49	4.9
69	0.59	5.9	0.42	4.2
70	0.57	5.7	0.38	3.8
71	0.55	5.5	0.35	3.5
72	0.54	5.4	0.32	3.2
73	0.51	5.1	0.34	3.4
74	0.48	4.8	0.4	4
75	0.43	4.3	0.45	4.5
76	0.38	3.8	0.47	4.7
77	0.38	3.8	0.48	4.8
78	0.38	3.8	0.48	4.8
79	0.38	3.8	0.48	4.8

80	0.47	4.7	0.49	4.9
81	0.5	5	0.49	4.9
82	0.5	5	0.49	4.9
83	0.51	5.1	0.46	4.6
84	0.53	5.3	0.41	4.1
85	0.53	5.3	0.38	3.8
86	0.54	5.4	0.35	3.5
87	0.51	5.1	0.34	3.4
88	0.46	4.6	0.44	4.4
89	0.42	4.2	0.48	4.8
90	0.41	4.1	0.5	5
91	0.4	4	0.5	5
92	0.39	3.9	0.49	4.9
93	0.4	4	0.45	4.5
94	0.49	4.9	0.35	3.5
95	0.51	5.1	0.17	1.7
96	0.53	5.3	0	0
97	0.53	5.3	0.01	0.1
98	0.48	4.8	0.01	0.1
99	0.29	2.9	0.01	0.1
100	0.04	0.4	0.01	0.1
	RT 1 =	4.927	RT 2 =	4.669



Grafik Percobaan 1 kecepatan 0,976 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 1 nilai rata-rata tahanan model sebesar 4.927 N



Grafik Percobaan 2 kecepatan 0,976 m/s

Berdasarkan grafik percobaan 2 nilai rata-rata tahanan model sebesar 4.669 N. Sehingga nilai rata-rata tahanan total model pada percobaan 1 dan percobaan 2 kecepatan 0,976 m/s adalah **4.798 N**.