



SKRIPSI – ME141501

**PERANCANGAN X-BOW PADA KAPAL FAST SEAGOING
UNTUK ESTIMASI PROPULSI KAPAL DENGAN VARIASI
GELOMBANG**

Ahmad Bagas Faatih Al Hadhdiy

NRP. 0421 15 40000 075

Dosen Pembimbing

Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., MT.

Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BACHELOR THESIS – ME141501

**X-BOW DESIGN ON FAST SEA GOING SHIP FOR
PROPULSION ESTIMASION WITH WAVE VARIATION**

Ahmad Bagas Faatih Al Hadhdiy

NRP. 0421 15 40000 075

Supervisor

Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., MT.

Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN X-BOW PADA KAPAL FAST SEAGOING UNTUK
ESTIMASI PROPULSI KAPAL DENGAN VARIASI GELOMBANG**

SKRIPSI


Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik pada :
Bidang studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

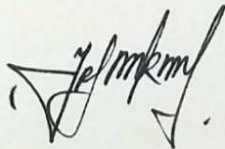
AHMAD BAGAS FAATIH AL HADHDHIY
NRP. 0421 15 40000 075

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi:

Ir. Tony Bambang Musrivadi,
PGD., MT.
NIP. 1959 0410 1987 01 1001

()

Irfan Svarif Arief, S.T., M.T.
NIP. 1969 1225 1997 02 1001

()

SURABAYA
Juli 2019



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN X-BOW PADA KAPAL FAST SEAGOING UNTUK ESTIMASI PROPULSI KAPAL DENGAN VARIASI GELOMBANG

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik pada :
Bidang studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AHMAD BAGAS FAATIH AL HADHDHIY
NRP. 0421 15 40000 075

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:


Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST, MT.
NIP. 1977 0802 2008 01 1007



SURABAYA

Juli 2019



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERANCANGAN X-BOW PADA KAPAL FAST SEAGOING UNTUK ESTIMASI PROPULSI KAPAL DENGAN VARIASI GELOMBANG

Nama Mahasiswa : Ahmad Bagas Faatih Al Hadhdhiy
NRP : 04211540000075
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., MT.
2. Irfan Syarif Arief, ST., MT.

ABSTRAK

Optimasi dengan memodifikasi bentuk *hull* kapal merupakan suatu cara untuk menurunkan nilai tahanan kapal. Penurunan tahanan akan menurunkan energi yang diperlukan untuk kapal melaju. Hal inilah yang melatar-belakangi inovasi dan modifikasi yang dilakukan pada *hull*. Penggunaan bentuk bow *X-Bow* pada *hull* merupakan salah satu upaya dalam mengurangi tahanan kapal. Penelitian kali ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh bentuk bow *X-bow* bila dibandingkan dengan *bulbous bow*, dengan bantuan *Computational Fluid Dynamic*(CFD). Kapal yang digunakan untuk permodelan adalah kapal *Krisso Container Ship*(KCS) dan kapal KCS yang dimodifikasi menggunakan bentuk bow *X-bow*. Modifikasi dilakukan berdasarkan metode yang terdapat pada paten. Pengujian dilakukan pada *calm water*(steady) dan pada perairan bergelombang setinggi 0.04 m(unsteady). Variasi kecepatan dan *Froude Number* pada saat pengujian masing-masing 0.5 m/s(Fn 0.06), 1.25 m/s(Fn 0.15), 2 m/s(Fn 0.23), 2.5 m/s(Fn 0.29), dan 3.25 m/s(Fn 0.38). Hasil Analisa pengujian menunjukkan pengurangan nilai tahanan kapal pada setiap Froude Number dan kecepatan kapal untuk pengujian *calm water* ataupun perairan bergelombang. Penurunan tahanan terbesar pada pengujian *calm water* adalah 16 % pada Fn 0.38, dan penurunan nilai tahanan pada pengujian bergelombang sampai 16 % pada Fn 0.29.

Kata Kunci : **X-Bow, Tahanan Kapal, CFD**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

X-BOW DESIGN ON FAST SEA GOING SHIP FOR PROPULSION ESTIMASION WITH WAVE VARIATION

Name : Ahmad Bagas Faatih Al Hadhdhiy
NRP : 04211540000075
Department : Department of Marine Engineering
Supervisor : 1. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., MT.
2. Irfan Syarif Arief, ST., MT.

ABSTRAK

Optimization by modifying the shape of the ship hull is a way to reduce the value of ship resistance. Decreasing resistance will decrease the energy needed for a ship to move. This is what underlies innovation and modifications made to the hull. The use of X-Bow bow shape in hull is one of the efforts in reducing ship detention. This research was conducted to find out how the effect of the form of X-bow when compared to bulbous bow, with the help of Computational Fluid Dynamic (CFD). The ships used for modeling are Krisso Container Ship (KCS) and modified KCS vessels using bow X-bow. Modifications are made based on the method found in the patent. The test is carried out in calm water (steady) and in wavy waters as high as 0.04 m (unsteady). Variations in speed and Froude Number at the time of testing are 0.5 m / s (Fn 0.06), 1.25 m / s (Fn 0.15), 2 m / s (Fn 0.23), 2.5 m / s (Fn 0.29), and 3.25 m / s (Fn 0.38). The results of the test analysis showed a reduction in the value of vessel resistance in each Froude Number and the speed of the ship for testing calm water or wavy waters. The biggest decrease in resistance to the testing of calm water is 16% at Fn 0.38, and the decrease in the value of the resistance in the test is corrugated to 16% at Fn 0.29.

Kewywords : X-Bow, Ship resistance, CFD

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala ridha dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan Judul : “ PERANCANGAN X-BOW PADA KAPAL FAST SEAGOING UNTUK ESTIMASI PROPULSI KAPAL DENGAN VARIASI GELOMBANG“.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi mata kuliah Skripsi dan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan kali ini, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu terselesaikannya Skripsi ini, karena dalam proses penyusunan dan pengerjaan Skripsi ini, penulis menyadari tanpa bantuan berbagai pihak maka skripsi ini tidak terselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan jalan dan petunjuk dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, dan segenap keluarga yang selalu memberi dukungan dan doa.
3. Bapak Dr. Eng., M. Badrus Zaman, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan dan selaku dosen wali, yang selama ini mendukung dan memberikan ilmu yang bermanfaat.
4. Bapak Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., MT. dan Irfan Syarif Arief, ST. MT.. selaku dosen pembimbing I dan II yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu bagi penulis.
5. Teman-teman seperjuangan ITS-120 di lab MMD yang selalu memberikan dukungan serta semangat kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Teman-teman SALVAGE '15 yang selalu memberikan semangat serta doa dan dukungan.
7. Semua pengurus dan anggota Laboratorium “Marine Manufacture and Design (MMD)” yang telah memberikan semangat dan transfer ilmu selama pengerjaan tugas akhir.
8. Serta semua teman, sahabat dan pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu dalam membantu menyelesaikan skripsi ini.

Dalam pembuatan laporan Skripsi ini penulis menyadari bahwa dalam penyusunan dan analisa masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang sifatnya membangun bagi penulis. Akhir kata, semoga dengan semua ini mendapat berkah dan rahmat Allah SWT sehingga analisa pembuatan design dapat berkembang dan dapat diterapkan untuk industri perkapalan.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
BAB II.....	3
STUDI LITERATUR.....	3
2.1 Optimasi Lambangung Kapal.....	3
2.2 Fast Seagoing Cargo Ship	3
2.3 Krisco Container Ship KCS	4
2.4 Bentuk Bow Kapal	4
2.5 Conventional Bow.....	5
2.6 Bulbous Bow	6
2.7 X Bow	8
2.8 Tahanan Kapal.....	10
2.8.1 Tahanan Gesek	11
2.8.2 Tahanan Gelombang.....	12
2.9 Analisa Numeca Fine Marine Computational Fluid Dynamic.....	14
2.10 Pemodelan Rhinos 3d.....	15
BAB III	17

METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Identifikasi Rumusan Masalah.....	17
3.2 Metode Penelitian Tugas Akhir	17
3.3 Metode Pengumpulan Data	17
3.4 Tahapan Penelitian	17
3.4.1 Perumusan Masalah.....	19
3.4.2 Studi Literatur.....	20
3.4.3 Pengumpulan data.....	20
3.4.4 Pemodelan Objek penelitian.....	20
3.4.5 Simulasi CFD	20
3.4.6 Validasi Hasil Simulasi	20
3.4.7 Analisa Hasil Simulasi.....	20
3.4.8 Kesimpulan dan Saran	20
3.5 Data Kapal Model KCS.....	21
3.6 Pemodelan & Geometri X-Bow	21
3.7 Validasi Ketepatan Software.....	24
3.8 Pengujian Tahanan dengan CFD.....	24
3.8.1 Meshing	25
3.8.2 Simulasi CFD	27
3.9 Validasi Hasil Pengujian	28
3.10 Penambahan Wave Generator pada Pengujian Unsteady	29
3.11 Perhitungan yang Digunakan untuk Menghitung Ct, Cf, Cw dan Tahanan Ekstrapolasi	30
BAB IV	31
ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Hasil Simulasi CFD (<i>Calmwater</i>).....	31
4.2 Analisa Perbandingan Tahanan Kapal Model KCS dan X-Bow pada <i>Calm Water</i>	38
4.3 Analisa Perbandingan Koefisien Tahanan Total dan Koefisien TahananGlombang Kapal Model KCS dan X-Bow pada <i>Calm Water</i>	39

4.4 Ekstrapolasi Tahanan Kapal KCS dan X-Bow	41
4.5 Hasil Simulasi CFD Unsteady Tinggi Gelombang 0.04 m	43
4.6 Analisa Perbandingan Tahanan Kapal Model KCS dan X-Bow dengan Gelombang 0.04 m	46
4.7 Analisa Perbandingan Koeffisien Tahanan Total dan Koefisien Tahana Gelombang Kapal Model KCS dan X-Bow dengan Gelombang 0.04 m..	47
4.8 Ekstrapolasi Tahanan Tahanan Kapal KCS dan X-Bow pada Perairan Bergelombang	49
BAB V	51
KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	52

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Length of Entrance.....	5
Gambar 2.2 Tinggi standar bow.....	5
Gambar 2.3 Conventional bow	6
Gambar 2.4 Gelombang pada <i>Bulbous Bow</i>	7
Gambar 2.5 Efektivitas Bulbous Bow	8
Gambar 2.6 Kapal Bourbon Orca	9
Gambar 2.10 Pengaruh jenis tahanan terhadap jenis kapal.....	10
Gambar 2.11 Drag aliran fluida pada sebua plat.....	11
Gambar 2.21 Aliran fluida pada lambung kapal.	11
Gambar 2.13 pembentukan tahanan gelombang bow wave dan stern wave pada lambung kapal.	12
Gambar 2.14 distribusi perbedaan tekanan pada lambung kapal.....	13
Gambar 2.15 pembentukan gelombang pada lambung kapal	13
Gambar 2.16 Kelvin pattern.....	14
Gambar 2.15 Numeca Fine Marine.....	14
Gambar 2.16 Rhinoceros 3d	15
Gambar 3.1 Model 3d Kapal model KCS.....	21
Gambar 3.2 Penggambaran geometri X-bow secra memanjang(longitudinal)	22
Gambar 3.3 Penggambaran geometri X-bow secra memanjang(longitudinal) dilihat dari halfbreadth.....	22
Gambar 3.4 Penggambaran geometri X-bow secra melintang	23
Gambar 3.5 Hasil modifikasi kapal model KCS menggunakan X-bow	24
Gambar 3.6 Standar ukuran Domain	25
Gambar 3.7 Initial mesh.....	25
Gambar 3.8 Adapt to geometry.....	26
Gambar 3.9 Viscous Layer	26
Gambar 3.10 Proses running dengan Numeca Fine Marine	27
Gambar 3.11 Hasil pengujian(tahanan)	27
Gambar 3.13 Grafik hasil engujian Numeca Fine marine dengan KCS	28
Gambar 3.14 Wave generator	29
gambar 4.1 Hasil simulasi tahanan kapal model KCS Fn 0.06.....	31
gambar 4.2 <i>Free surface</i> tampak atas kapal KCS Fn 0.06.....	32
gambar 4.3 Hasil simulasi tahanan kapal model X-bow Fn0.06	32
gambar 4.4 <i>Free surface</i> tampak atas kapal X-bow Fn 0.06	32
gambar 4.5 Hasil simulasi tahanan kapal model KCS Fn 0.15.....	33

gambar 4.6 <i>Free surface</i> tampak atas kapal X-bow Fn 0.15	33
gambar 4.7 Hasil simulasi tahanan kapal model X-bow Fn 0.15	33
gambar 4.8 <i>Free surface</i> tampak atas kapal model x-boe Fn 0.15	34
gambar 4.9 Hasil simulasi tahanan kapal model KCS Fn 0.23.....	34
gambar 4.10 <i>Free surface</i> tampak atas kapal model KCS Fn 0.23.....	34
gambar 4.11 Hasil simulasi tahanan kapal model X-bow Fn 0.23	35
gambar 4.12 <i>Free surface</i> tampak atas kapal model X-bow Fn 0.23	35
gambar 4.13 Hasil simulasi tahanan kapal model KCS Fn 0.29.....	35
gambar 4.14 <i>Free surface</i> tampak atas kapal model KCS Fn 0.29.....	36
gambar 4.15 Hasil simulasi tahanan kapal model X-bow Fn 0.29	36
gambar 4.16 <i>Free surface</i> tampak atas kapal model X-bo2 Fn 0.29	36
gambar 4.17 Hasil simulasi tahanan kapal model KCS Fn 0.38.....	37
gambar 4.18 <i>Free surface</i> tampak atas kapal model KCS Fn 0.38.....	37
gambar 4.19 Hasil simulasi tahanan kapal model X-bow Fn 0.38	37
gambar 4.20 <i>Free surface</i> tampak atas kapal model X-bow Fn 0.38	38
Gambar 4.21 Grafik perbandingan tahanan kapal pada <i>calm water</i>	39
Gambar 4.22 Grafik perbandingan koefisien total tahanan kapal pada <i>calm water</i>	40
Gambar 4.23 Grafik perbandingan koefisien total tahanan kapal pada <i>calm water</i>	40
Gambar 4.24 Gambar kapal Maersk Cape Town.....	41
Gambar 4.25 Gambar perbandingan tahanan kapal setelah ekstrapolasi.....	42
gambar 4.26 Hasil simulasi <i>unsteady</i> tahanan kapal model KCS Fn 0.06 ...	43
gambar 4.27 Hasil simulasi <i>unsteady</i> tahanan kapal model X-bow Fn 0.06 .	43
gambar 4.28 Hasil simulasi <i>unsteady</i> tahanan kapal model KCS Fn 0.15 ...	44
gambar 4.29 Hasil simulasi <i>unsteady</i> tahanan kapal model X-bow Fn 0.15 .	44
gambar 4.30 Hasil simulasi <i>unsteady</i> tahanan kapal model KCS Fn 0.23 ...	44
gambar 4.31 Hasil simulasi <i>unsteady</i> tahanan kapal model X-bow Fn 0.23 .	44
gambar 4.32 Hasil simulasi <i>unsteady</i> tahanan kapal model KCS Fn 0.29 ...	45
gambar 4.33 Hasil simulasi <i>unsteady</i> tahanan kapal model X-bow Fn 0.29 .	45
gambar 4.34 Hasil simulasi <i>unsteady</i> tahanan kapal model KCS Fn 0.38 ...	45
gambar 4.35 Hasil simulasi <i>unsteady</i> tahanan kapal model X-bow Fn 0.38 .	45
Gambar 4.36 Grafik perbandingan tahanan kapal pada tinggi gelombang 0.04 m	46
Gambar 4.37 Grafik perbandingan koefisien total tahanan kapal pada tinggi gelombang 0.04 m.....	47
Gambar 4.38 Grafik perbandingan koefisien gelombang tahanan kapal pada tinggi gelombang 0.04 m	48

Gambar 4.39 Grafik perbandingan tahanan kapal pada tinggi gelombang 0.04 m setelah ekstrapolasi 49

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Klasifikasi Kapal	4
Tabel 3.1 Tabel dimensi frame dan breadth.....	22
Tabel 3.2 Tabel error validasi <i>software</i>	24
Tabel 3.3 Tabel Validasi Hasil simulasi CFD dan <i>Towing test</i> KCS	28
Tabel 3.4 Input Jumlah Time Step.....	30
Tabel 4.1 Tabel tahanan kapal model KCS dan X-bow.....	38
Tabel 4.2 Tabel reduksi tahanan kapal menggunakan X-bow	39
Tabel 4.3 Tabel reduksi koefisien tahanan kapal menggunakan X-bow pada <i>calm water</i>	41
Tabel 4.4 Tabel reduksi tahanan kapal yang telah di ekstrapolasi (<i>calm water</i>)	42
Tabel 4.5 Tabel nilai tahanan kapal yang telah di ekstrapolasi (<i>calm water</i>)	43
Tabel 4.6 Tabel tahanan kapal model KCS dan X-bow pada gelombang tinggi 0.04 m	46
Tabel 4.7 Tabel reduksi tahanan kapal menggunakan X-bow pada tinggi gelombang 0.04 m.....	47
Tabel 4.8 Tabel reduksi koefisien tahanan kapal menggunakan X-bow pada tinggi gelombang 0.04 m	48
Tabel 4.9 Tabel reduksi tahanan kapal pada tinggi gelombang 0.04 m yang telah di ekstrapolasi.....	49
Tabel 4.10 Tabel nilai tahanan kapal pada tinggi gelombang 0.04 m yang telah di ekstrapolasi.....	50

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Shipping industry merupakan aktivitas bisnis yang sangat berperan dalam mendorong perekonomian negara, dikarenakan untuk menunjang suplai kebutuhan masyarakat pemerintah perlu melakukan ekspor-impor. Shipping industry menyediakan transportasi cargo, baik yang di ekspor ataupun impor, menurut United Nation Conference on Trade and Development, pada tahun 2016 sendiri terdapat sekitar 10.3 miliar tons cargo(semua jenis) yang di pindahkan dengan menggunakan kapal(*sea borne trade*). Data lain yang signifikan menunjukkan pentingnya *shipping industry* dapat dilihat dari akumulasi jumlah ukuran armada kapal yang digunakan pada tahun yang sama dan menurut sumber yang sama, adalah sekitar 1.9 miliar DWT. Pertumbuhan ekonomi, kebutuhan hidup masyarakat yang makin beragam dan peningkatan populasi manusia, akan menyebabkan perdagangan(ekspor-impor) mengalami peningkatan, hal ini tentu dapat menstimulasi peningkatan penggunaan kapal dalam transportasi cargonya, yang saat ini penggunaan kapal sebagai moda transportasi cargo menyuplai 80% dari perdagangan dunia dilihat dari jumlah cargo yang diangkut. Melihat data-data tersebut, dengan banyaknya kebutuhan akan transportasi cargo menggunakan laut tentunya menghadapi beberapa permasalahan yang perlu diatasi.

Permasalahan yang akan dihadapi oleh shipping industry yang diantara lain adalah permasalahan energi dan polusi. Menurut European Energy Agency konsumsi energi kapal-kapal merchant sampai sekitar 1.8 juta Tera joule yang diambil dari hydrocarbon, dengan persediaan energi yang semakin menipis perlu dilakukan penggunaan energi seefisien mungkin. Peningkatan efisiensi energi pada kapal dapat dilakukan pada saat kapal didesain ataupun pada saat operasional.

Pada kapal, Cara paling ampuh dalam mengurangi penggunaan energi adalah melalui optimasi tahanan kapal agar mengurangi tahanan kapal. pengurangan tahanan akan berimbang pada kebutuhan daya yang lebih kecil dan kebutuhan energipun turun. Optimasi tahanan kapal biasanya berfokus dalam mengurangi tahanan gesek dan tahanan gelombang pada lambung kapal. Pengembangan bentuk lambung kapal dan penambahan bulbous bow adalah beberapa cara dalam mengurangi tahanan kapal. Perkembangan terkini yang dilakukan untuk optimasi tahanan kapal adalah penggunaan bentuk bow *X-bow*.

X-bow adalah salah satu pengembangan bentuk bow yang dilakukan oleh Ulstein Group, bentuk bow tersebut diharapkan dapat menurunkan tahanan kapal, terlebih pada laut dengan gelombang yang relatif tinggi.

Pengembangan tersebut banyak diimplementasikan pada kapal-kapal supply di laut utara, penerapan yang masih jarang pada kapal-kapal cargo menimbulkan pertanyaan, apakah X-bow implementatif untuk di terapkan pada kapal cargo dan bagaimana pengaruhnya terhadap tahanan kapal.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik X-bow terhadap tahanan pada kapal *Fast Sea Going*
2. Bagaimana pengaruh X-bow terhadap penurunan tahanan pada perairan bergelombang

1.3 Batasan Masalah

1. Gelombang yang akan diujikan pada penelitian kali ini memiliki periode 1 s dan tinggi 0.04 m(sea state 3 pada *scale up* kapal model)
2. Menggunakan software Numeca fine marine
3. Kapal yang digunakan dalam penelitian adalah kapal model kargo (container dengan model KCS)
4. *Scale up* kapal yang dilakukan untuk menganalisa tahanan yang telah diekstrapolasi menggunakan dimensi dari kapal Maersk Cape Town.

1.4 Tujuan

1. Mengetahui karakteristik x-bow terhadap tahanan pada kapal *Fast Sea Going*
2. Mengetahui bagaimana pengaruh x-bow terhadap penurunan tahanan pada kapal *Fast Sea Going* di perairan bergelombang dan tenang

1.5 Manfaat

1. Menurunkan penggunaan energi bagi kapal-kapal cargo
2. Menurunkan emisi pada kapal-kapal cargo
3. Meningkatkan efisiensi pada kapal-kapal cargo
4. Mengetahui bagaimana pengaruh X-bow pada penurunan tahanan kapal di perairan bergelombang

BAB II

STUDI LITERATUR

2.1 Optimasi Lambangung Kapal

Biaya operasional pada kapal merupakan salah satu hal yang mendasari pengembangan optimasi dan efisiensi energi kapal. Menurut (M. A. Mosaad & H.M. Hassan, 2017). hal ini juga disadari oleh harga minyak yang tidak stabil, dan modifikasi *hull* kapal merupakan satu hal yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada kapal. Metode ini dapat berdampak pada pengurangan penggunaan bahan bakar pada kapal. Inovasi dan optimasi dari bentuk *hull* terkhusus pada bagian bow dari kapal akan berdampak pada tahanan gelombang yang dihasilkan kapal.

Bentuk bow kapal yang secara umum sering dipakai adalah dengan menggunakan *bulbous bow*. Dilacak dari beberapa dekade lalu Wigley pada 1936 meneliti tentang bagaimana suatu benjolan pada bow kapal berpengaruh pada tahanan kapal. Johnson pada tahun 1962 melakukan percobaan terhadap bow konvensional dengan kapal dengan *bulbous bow* yang memiliki dimensi yang berbeda-beda. Bentuk bow terus berkembang setiap tahunnya, peneliti terus berusaha untuk mencari bentuk bow yang ideal dan efektif untuk mengurangi tahanan, dengan memodifikasi bentuk bow yang sudah ada.

Modifikasi bentuk bow kapal dapat dilakukan dengan banyak hal mulai dari memodifikasi bentuk dari bow itu sendiri, atau membuat bentuk bow baru. pengujian dari modifikasi bow tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan pemodelan dengan Computational Fluid Dynamic ataupun dengan towing test. Penelitian tentang hydrodynamic kapal juga dilakukan dengan membandingkan model-model atau hasil penelitian yang sudah ada untuk di aplikasikan pada desain kapal sesuai keperluan kapal yang akan di desain. Optimasi bow pada kapal merupakan suatu yang berpengaruh dalam meningkatkan efisiensi energi pada kapal, terbukti dengan keberlanjutan penelitian tentang bow kapal untuk mengurangi tahanan kapal. Perkembangan bentuk bow terkini adalah Groot Crossbow dan X-bow, keduanya dikembangkan untuk mengatasi tahanan gelombang. X-bow merupakan fokus pada penelitian kali ini, dan akan dibandingkan dengan *bulbous bow* yang mana yang memberikan tahanan lebih rendah.

2.2 Fast Seagoing Cargo Ship

Secara praktis kapal dagang dapat diklasifikasikan menjadi beberapa golongan. Menurut (Apostolos, 2014) klasifikasi tersebut dilakukan berdasarkan beberapa parameter yaitu, koefisien bentuk badan kapal yang meliputi *Prismatic Coefficient (Cp)*, *Block Coefficient (Cb)*, dan *Midship Section Coefficient (Cm)*. Koefisien bentuk badan kapal berkorespondensi dengan *Foude Number (Fn)* yang merupakan perbandingan dari kecepatan

dan dimensi utama dari kapal yang meliputi *Length between perpendicular (Lpp)*, *Draught (T)*, *Breadth (B)*. Kapal dagang diklasifikasikan menjadi *slow seagoing cargo ship*, *fast sea going cargo ship*, kapal feri, *Bulk Carrier*, kapal ikan, dan kapal tanker.

Tabel 2.1 Tabel Klasifikasi Kapal

SHIP TYPE	Cp	Cm	Cb
Fast seagoing cargo ship	0.57-0.65	0.97-0.98	0.56-0.98
Slow seagoing cargo ship	0.66-0.74	0.97-0.995	0.65-.73
Kapal tanker	0.835-0.855	0.993-0.996	0.82-0.88
Kapal feri	0.53-0.62	0.91-0.98	0.5-0.6
Kapal ikan	0.61-0.63	0.87-0.9	0.53-0.6

Klasifikasi kapal digunakan untuk memperkirakan bentuk lambung dan dimensi utama kapal yang akan didesain untuk keperluan tertentu, hal ini dilakukan karena perbedaan kebutuhan desain dan pada golongan kapal yang berbeda memiliki kecenderungan *Froude Number* yang berbeda. Pada penelitian kali ini peneliti menggunakan fast sea going cargo ship. Hal ini dilakukan karena objek penelitian yang digunakan adalah kapal container yang tergolong fast seagoing cargo ship.

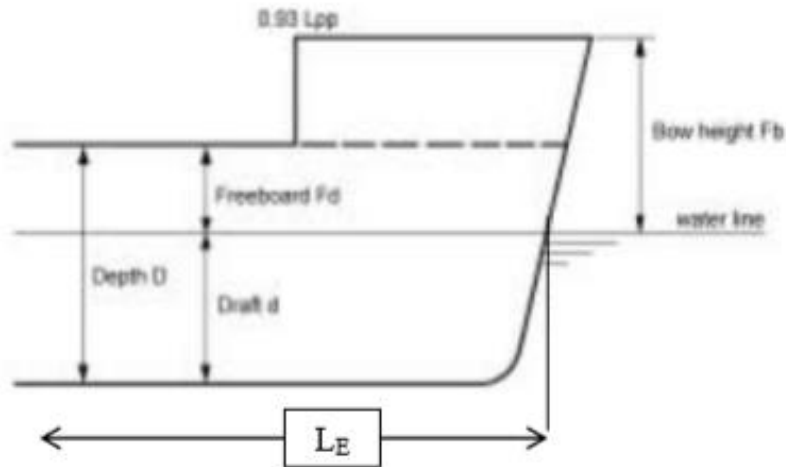
2.3 Krisco Container Ship KCS

Kapal model KCS adalah model kapal container yang dikembangkan oleh Krisco dan digunakan sebagai referensi desain kapal container. Kapal model KCS didesain dengan bulbous bow sehingga dirasa cocok untuk diaplikasikan sebagai pembanding dengan remodelnya yang menggunakan bentuk bow *X-bow*. Pengujian tahanan kapal KCS dengan skala sudah pernah dilakukan oleh (Marcu, Oana dan Jagite George, 2012), Kapal KCS yang didesain oleh *Maritime and Ocean Engineering Research Institute* diujikan menggunakan bantuan CFD dan juga tes Tarik. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa uji tahanan kapal model KCS dapat dilakukan dengan menggunakan CFD setelah di validasi dengan pengujian Tarik.

2.4 Bentuk Bow Kapal

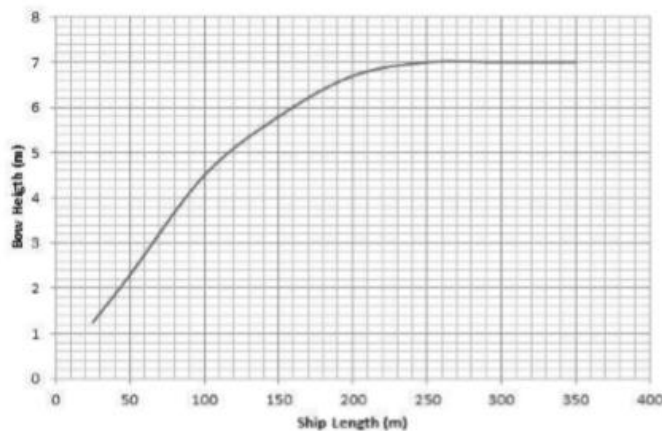
Bentuk bow kapal merupakan salah satu faktor yang menentukan bagaimana besar dan kecil tahanan kapal yang dihasilkan oleh kapal. Menurut (Hassan, Mohamed, 2017) bow adalah bagian depan dari kapal, didesain untuk mengurangi tahanan kapal dengan memotong air ketika kapal melaju. Bentuk bow pada kapal dapat berbentuk V ataupun U hal ini bergantung pada jarak *load waterline* pada *draught* yang telah ditentukan dan juga tinggi *forecastle*. Dinyatakan pada *International Convention on Load lines* tahun 1966 bahwa

tinggi dari bow bergantung pada *Length of Entrance*(L_E) dan formula alsen. Hal tersebut sesuai dengan gambar 2.1 dan 2.2.



Gambar 2.1 Length of Entrance

(Sumber : Hassan, Mohamed, 2017, X-bow Design for Ship Energy Saving bow)



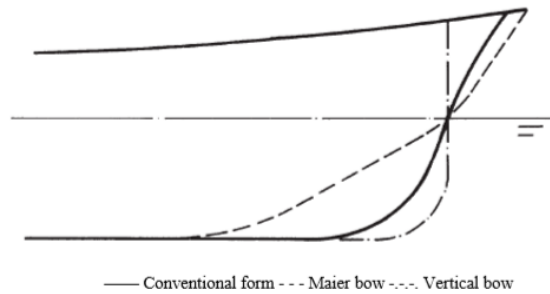
Gambar 2.2 Tinggi standar bow

(Sumber : Hassan, Mohamed, 2017, X-bow Design for Ship Energy Saving bow)

Bentuk bow bermacam-macam seiring perkembangan jaman. Bulbous bow disesuaikan dengan kebutuhan desain kapal, biasanya berhubungan dengan bagaimana kecepatan kapal yang akan di desain. Pengembangan bentuk bos kapal juga dilakukan untuk meningkatkan efisiensi energi.

2.5 Conventional Bow

Bow kapal normal memiliki bentuk yang beragam beberapa diantaranya adalah vertical bow dengan bentuk vertical pada bagian depan tanpa sudut. *Conventional rack bow*, dan Maier bow.



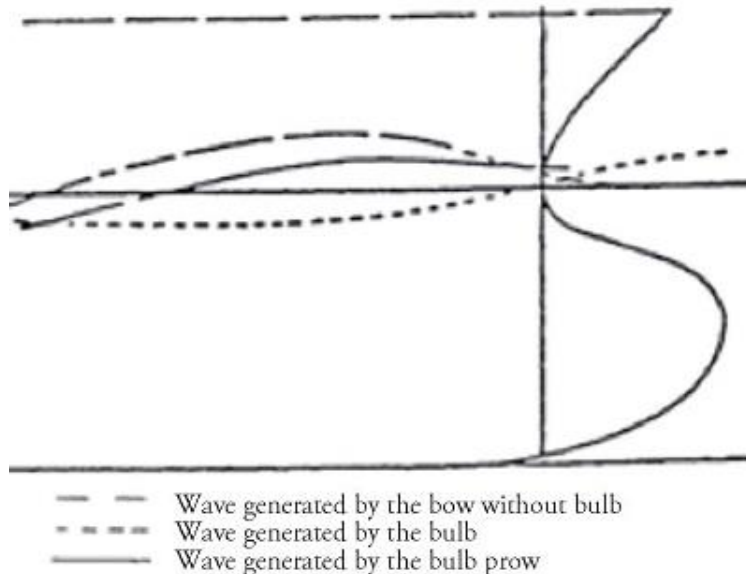
Gambar 2.3 Conventional bow

(Sumber : Hassan, Mohamed, 2017, X-bow Design for Ship Energy Saving bow)

Bentuk bow konvensional pada kapal-kapal cargo sudah lama ditinggalkan seiring dengan perkembangan bentuk bow lain dan penambahan bulbous bow. Meskipun begitu untuk kapal-kapal cepat bow jenis ini masih sering digunakan dikarenakan nilai tahanan yang lebih rendah dibandingkan apabila menggunakan bulbous bow.

2.6 Bulbous Bow

Benjolan pada bagian bow kapal disebut bulbous bow. Benjolan tersebut digunakan pada kapal dengan tujuan mengurangi tahanan kapal. (Hamdan Nuruddin, Iwan Mustaffa Kamal, Muhammad Nasuha Mansor and Nik Muhammad Hafidz, 2017) menjelaskan bahwa bulbous bow berpengaruh terhadap pengurangan tahanan kapal pada kapal container. Dinyatakan oleh (Kratch, 1970) bahwa bulbous bow bekerja dengan cara mempercepat aliran fluida yang berada di atas benjolan bulbous bow. Bertambahnya kecepatan aliran fluida menyebabkan tekanan fluida menurun dan terjadi perbedaan tekanan. Air pada dasarnya merupakan suatu fluida yang *Incompressible* maka dari itu reaksi air apabila terjadi perbedaan tekanan adalah membentuk gelombang. Pada ujung depan bow kapal juga terdapat perbedaan tekanan sehingga terbentuk gelombang (penyebab *wave making resistance*). Gelombang yang dibentuk oleh bulbous bow kemudian akan bertemu dengan gelombang pada bow kapal secara *Interphase* yang berarti tidak dalam satu fase yang sama dan memungkinkan untuk mengurangi gelombang yang ditimbulkan oleh *hull* kapal, maka tahanan gelombang dapat dikurangi. Hal ini merupakan penjelasan yang sama dengan yang dikemukakan oleh (Li. Chao, Wang. Yongsheng dan Chen. Jihua, 2016) bahwa kondisi superposisi dari gelombang yang diciptakan bulbous bow dan bagian depan bow kapal dapat saling bertabrakan dan mengurangi tahanan kapal akibat pembentukan gelombang.



Gambar 2.4 Gelombang pada *Bulbous Bow*

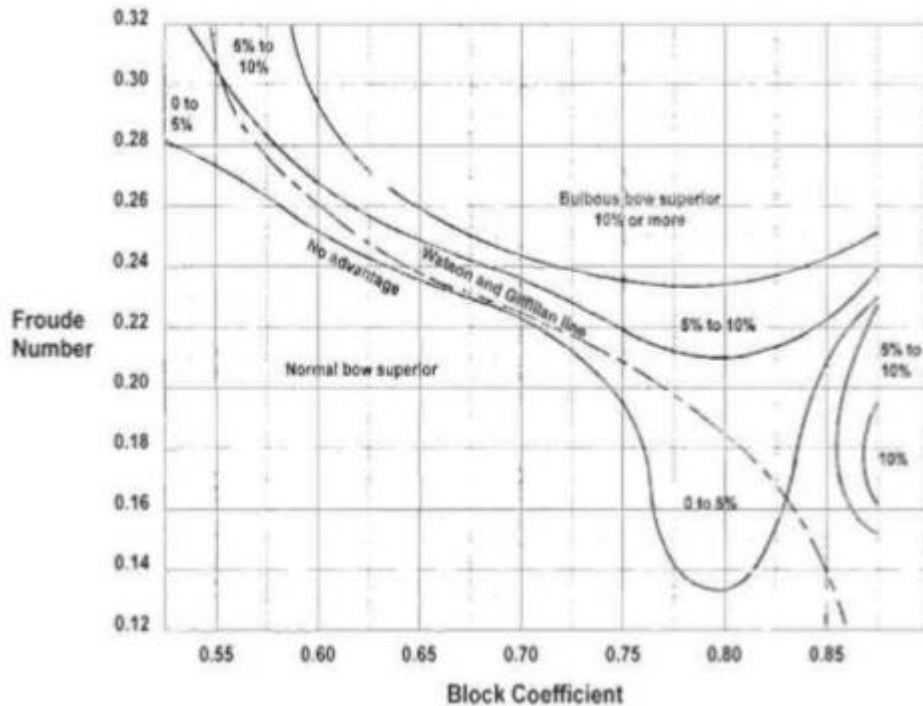
(sumber : Luis Leal , Edison Flores, David Fuentes, Bharat Verma, 2018., Hydrodynamic study of the influence of bulbous bow design for an Offshore Patrol Vessel using Computational Fluid Dynamics)

Penelitian tentang *bulbous bow* dalam mengurangi tahanan kapal telah dilakukan sejak beberapa decade lalu. (Menurut Johnson,1968) Bahwa *effective horse power* dari mesin dapat dikurnagi sebesar 4%-20% apabila menggunakan *bulbous bow*. Beberapa tahun berikutnya penggunaan bulbous bow terus berkembang dan telah diteliti menggunakan banyak jenis kapal. Pada kapal cepat dengan C_b 0.37 telah diteliti oleh (Kyriaziz, Georgios,1988) dari penellitian tersebut ditemukan bahwa pengurangan tahanan kapal maximal sebesar 10%. Menurut (Saral. Dursun, Aydin. Muhsin, Kose. Ercan, 2018). Jika digunakan pada kapal ikan dengan C_b 0.405-0.495 penurunan rata-rata tahanan kapal menggunakan bulbous bow sebesar 10-13%. Hal ini lah yang menjadikan bulbous bow sering diaplikasikan pada banyak kapal.

Walaupun dapat memberikan pengurangan tahanan seperti yang telah dijelaskan, menurut (Hassan, Mohamed, 2017, *bulbous bow* tidak dapat bekerja secara efektif mengurangi tahanan pada kapal pada semua karakteristik kapal. *Bulbous bow* hanya dapat bekerja pada kapal dengan dimensi, kecepatan dan koefisien blok(C_b) tertentu. Faktor yang paling mempengaruhi efektivitas bulbous bow adalah kecepatan kapal atau *Froude number* kapal, hal ini dikarenakan cara kerja *bulbous bow* itu sendiri. *Bulbous bow* mempercepat aliran fluida sehingga mdapat memberikan perbedaan tekanan dan membentuk gelombang, apabila kecepatan kapal tidak cukup

maka gelombang tidak akan terbentuk dengan sempurna dan bahkan akan menambah tahanan kapal.

Pernyataan diatas juga didukung oleh pernyataan, teori dan penelitian berikut ini. (Hassan, Mohamed, 2017) menyatakan bahwa *bulbous bow* tidak akan bekerja mengurangi tahanan kapal pada kapal dengan Panjang kurang dari 15 meter, bekerja effective pada froude number 0.238 – 0.563. Effect dari bulbous bow pada setiap koefisien block kapal juga dinyatakan dalam gambar 2.5 oleh (Watson, dan Gilfillan, 1998).



Gambar 2.5 Efektivitas Bulbous Bow

Gambar diagram diatas memperlihatkan efektivitas dari bulbous bow apa bila dibandingkan dengan bow konvensional. Pada sumber lain mengatakan bahwa bulbous bow akan efektif digunakan pada Fn 0.15 sampai 0.2 hal tersebut disebutkan menurut (Sharma, 2008). Maka dari itu bisa disimpulkan bulbous bow dapat efektif mengurangi tahanan pada kondisi tertentu, tergantung dari *Froude number* kapal dan juga desain *hull* kapal.

2.7 X Bow

X-Bow adalah inovasi bentuk bow yang dikembangkan oleh Ulstein group perusahaan yang berasal dari Norwegia, X-bow di ciptakan untuk meningkatkan efisiensi energi kapal dengancara mengurangi tahanan gelombang yang berkerja pada kapal. Terdapat sekitar lebih dari 100 kapal yang mengimplementasikan X-bow, dan semua kapal yang menggunakan X-

bow adalah kapal *supply*. Pemakaian X-bow pada kapal *supply offshore* terkhusus di laut utara dinilai sangat menguntungkan. Laut utara memiliki *sea state* yang lebih tinggi dari laut lain, ini berarti kondisi di laut utara cenderung lebih keras dengan angin dan gelombang yang lebih tinggi. Gelombang yang tinggi merupakan salah satu penyebab tahanan tambahan yang besar bagi kapal dan kebutuhan untuk energi pun bertambah. Implementasi X-bow dikatakan sangat baik karena kemampuannya untuk membelah dan memotong air laut dengan lebih baik dan sudut masuk yang lebih kecil. Kemampuan X-bow dalam menahan gerak pitch juga memberikan efisiensi pada tahanan tambahan akibat gelombang dan berpengaruh terhadap kenyamanan kru kapal.



Gambar 2.6 Kapal Bourbon Orca

Secara praktis desain X-bow dilakukan dengan pemindahan volume lambung kapal pada bagian bow yang berada di bawah sarat air menuju ke bagian bow yang berada di atas sarat air. Pemindahan volume tersebut menyebabkan struktur bow yang lebih lancip dan ramping di bagian depan di bawah sarat air sehingga memberikan sudut masuk yang lebih kecil. Dengan metode tersebut, tahanan tambahan akibat dorongan air keatas pada bow pun berkurang hal ini juga mempengaruhi penurunan tahanan kapal bila menggunakan X-Bow.

Menurut (Hassan, Mohammed, 2017), X-bow dapat menurunkan tahanan sebesar 27 % tergantung dari kecepatan kapal dan froude number dari kapal yang diujikan, semakin besar F_n yang diujikan semakin besar pula reduksi tahanan kapal. Keuntungan lain dari X-bow selain dapat mengurangi tahanan gelombang pada kapal adalah mengurangi beban struktur pada bagian depan kapal dikarenakan air yang terpotong dengan lebih baik. Reduksi suara

dan getaran akibat slaming, hal ini juga dapat mengurangi beban struktur pada bagian depan kapal.

2.8 Tahanan Kapal

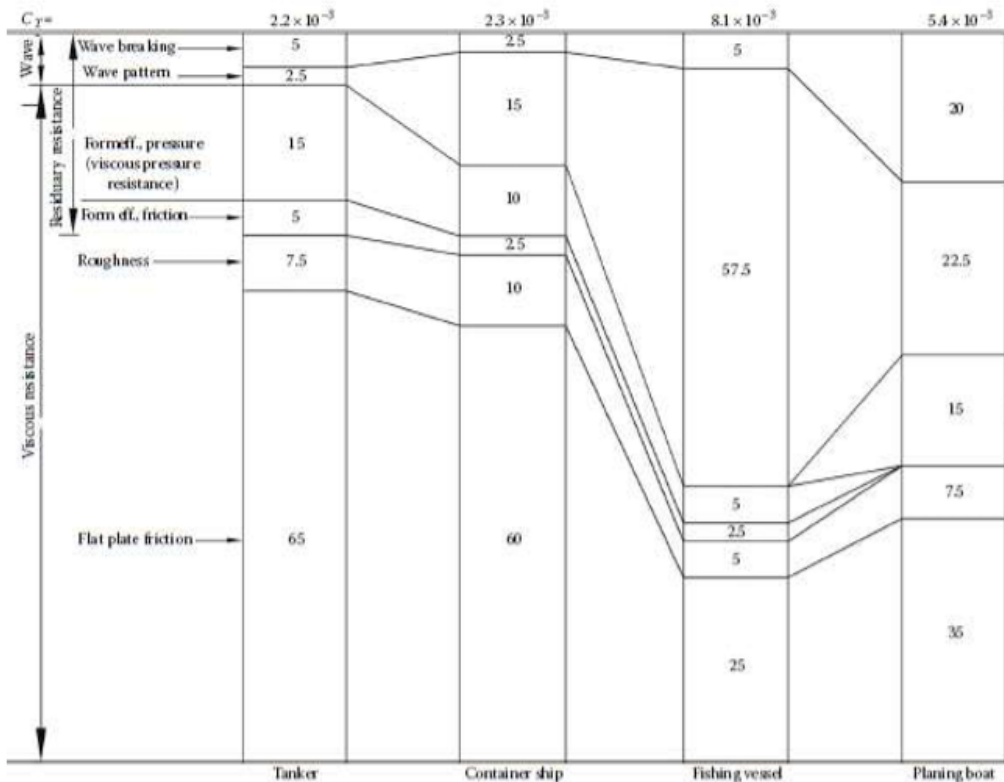
Menurut (Hassan, Mohamed, 2017)Tahanan adalah gaya yang berlawanan dari arah laju kapal. Tahanan pada kapal dapat dikategorikan menjadi tahanan gesek/*viscous resistance* , tahanan gelombang dan juga tahanan tambahan. Tahan kapal dapat kita ketahui melalui persamaan.

$$RT = 0.5 \rho V^2 S C_T$$

Persamaan diatas merupakan persamaan untuk menghitung tahanan kapal yang tercantum pada ITTC. Dari persamaan kapal tersebut dapat kita ketahui tahanan kapal dipengaruhi oleh densitas air laut, kecepatan kapal, luas permukaan basah dan juga C_t atau koefisien tahanan total kapal. C_t adalah koefisien tahanan kapal yang dipengaruhi oleh Koefisien tahanan lain dan juga fungsi dari *Froude number*, *Reynold number*.

$$C_T f(F_n, R_n) = C_V f(R_n) + C_W f(F_n)$$

Setiap kapal memiliki karakteristik tahanan yang berbeda-beda bergantung daripada dimensi kapal dan jugakecepatan kapal. Gambar 2.9 menunjukkan persentase jenis tahanan yang bekerja pada setiap jenis kapal.



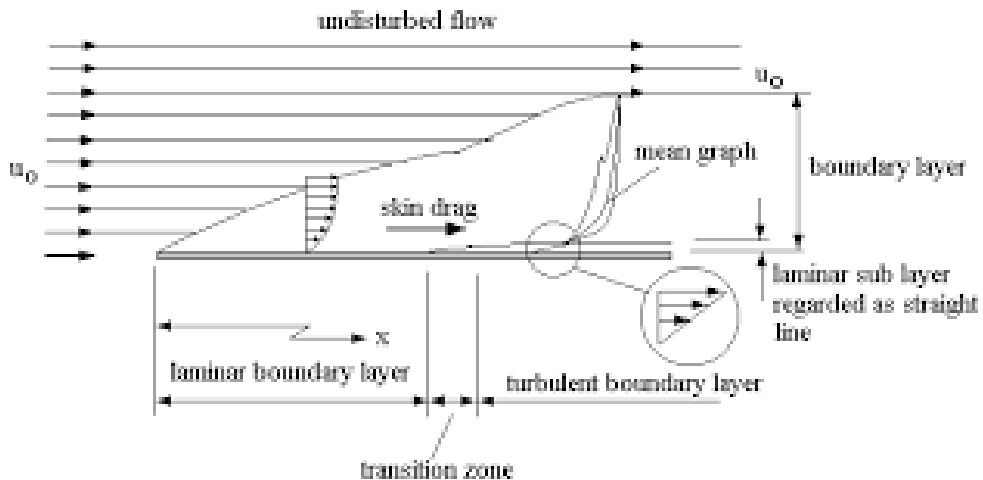
Gambar 2.10 Pengaruh jenis tahanan terhadap jenis kapal

(Sumber : Hassan, Mohamed, 2017, X-bow Design for Ship Energy Saving bow.)

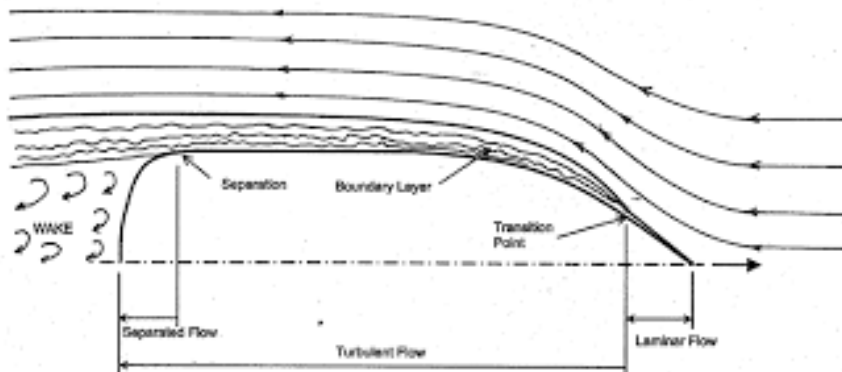
Secara praktis tahanan kapal menurut (Havelock, 1909) dapat di bagi-bagi lagi menjadi beberapa jenis tahanan seperti tahanan gesek, dan tahanan gelombang penjumlahan tahanan tersebut merupakan tahanan total kapal.

2.8.1 Tahanan Gesek

Tahanan gesek merupakan tahanan kapal yang disebabkan oleh pengaruh viscositas fluida yang bersentuhan dengan lambung kapal. Fluida dengan viscositas tertentu akan mendapatkan gaya cohesi dan adhesi ketika berentuhan dengan lambung kapal. hal ini akan menimbulkan drag pada kapal ketika kapal melaju.



Gambar 2.11 Drag aliran fluida pada sebuah plat



Gambar 2.21 Aliran fluida pada lambung kapal.

Reynold number merupakan suatu hal yang sangat mempengaruhi tahanan gesek pada kapal. Reynold number adalah suatu nilai yang memperlihatkan bagaimana aliran dari suatu fluida. Aliran fluida digolongkan menjadi aliran laminar pada saat Reynold number kurang dari 5×10^5 dan digolongkan menjadi aliran turbulents apabila memiliki

Reynold number lebih dari 1×10^6 . Reynold number dapat dihasilkan dari persamaan berikut.

$$Rn = V \cdot L \frac{1}{\gamma}$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa Reynold number dipengaruhi oleh kecepatan kapal(V), Panjang kapal(L), dan viskositas dari fluida (γ).

Menurut (Hassan, Mohamed,2017) perhitungan tahanan kapal dapat dilakukan dengan menggunakan metode william Froude dengan persamaan.

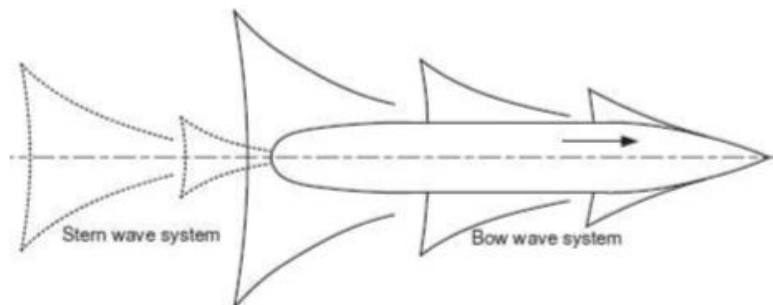
$$RF = f * S * V_n = 0.5 \rho V^2 S CF$$

Sesuai persamaan tersebut tahanan gesek juga dipengaruhi oleh densitas dari fluida(ρ) kecepatan kapal(V), luas permukaan basah dari kapal(S), dan juga koefisien tahanan gesek. Koefisien tahanan gesek didapatkan dari banyak metode salah satunya adalah dengan menggunakan metode Huge yang tercantum pada ITTC-57.

$$CF,ITTC = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2}$$

2.8.2 Tahanan Gelombang

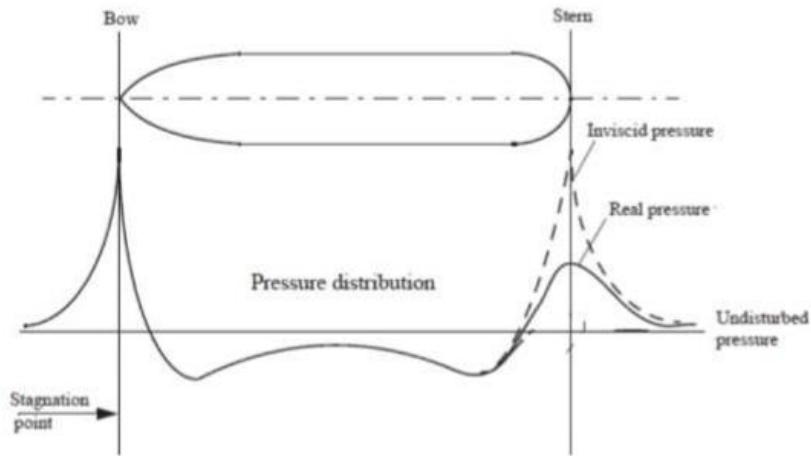
Tahan gelombang merupakan tahanan kapal yang diakibatkan oleh energi yang hilang dikarenakan pembentukan gelombang oleh lambung kapal. Menurut (Kratch, 1970) Ketika kapal melaju maka akan terdapat aliran fluida disekitar lambung kapal pada sarat air. Aliran fluida pada kapal menyebabkan tekanan fluida berubah, hal ini dikarenakan perubahan kecepatan aliran fluida. Lambung kapal memiliki bentuk streamline dan lengkungan-lengkungan yang menyebabkan kecepatan aliran fluida pun berubah-ubah, dengan begitu timbul perbedaan tekanan pada fluida di sarat air. Air merupakan fluida yang *incrompressible* cara air untuk mengatasi perbedaan tekanan tersebut adalah dengan membentuk gelombang dan terciptalah tahanan gelombang pada lambung kapal.



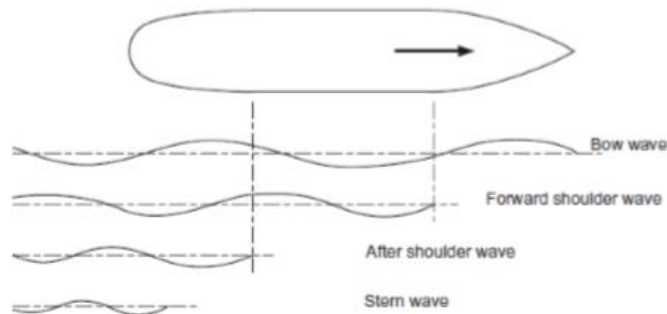
Gambar 2.13 pembentukan tahanan gelombang bow wave dan stern wave pada lambung kapal.

(Sumber : Hassan, Mohamed, 2017, X-bow Design for Ship Energy Saving bow.)

Gelombang yang terbentuk pada saat kapal melaju tidak hanya dihasilkan dari bow saja, akan tetapi dapat dihasilkan oleh seluruh lambung kapal dikarenakan perbedaan tekanan tidak terjadi dalam satu titik. Itulah yang menyebabkan terjadinya *Stern wave* dan *Bow wave*. distribusi tekanan pada kapal dapat dilihat dari gambar 2.14. Gelombang yang dihasilkan oleh lambung kapal juga dapat berinterfase dan bertindak saling meniadakan.



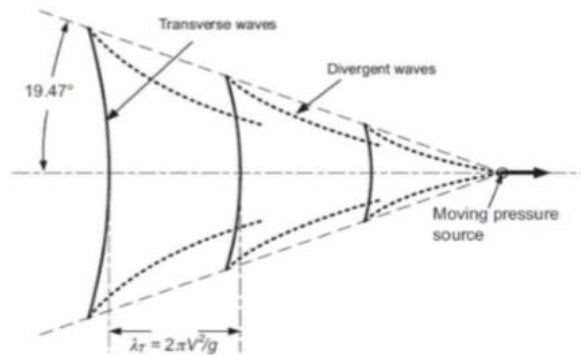
Gambar 2.14 distribusi perbedaan tekanan pada lambung kapal
(Sumber : Hassan, Mohamed, 2017, X-bow Design for Ship Energy Saving bow.)



Gambar 2.15 pembentukan gelombang pada lambung kapal
(Sumber : Hassan, Mohamed, 2017, X-bow Design for Ship Energy Saving bow.)

Gambar 2.15 memperlihatkan bagaimana terbentuknya gelombang pada setiap permukaan lambung kapal. Pembentukan gelombang ini juga dapat meniadakan satu sama lain. Tekanan dan gelombang yang paling besar dihasilkan oleh lambung kapal pada bagian bow. Aliran fluida pada bagian ujung bow kapal memiliki kecepatan yang paling rendah, hal ini juga disebut dengan *Stagnation Point*, titik dimana kecepatan aliran fluida sebanding dengan nol. Tekanan paling besar dihasilkan pada kecepatan fluida yang lebih

Hal tersebut sesuai dengan asas Bernoulli. Gelombang yang terbentuk kapal akan mengikuti suatu pola tertentu. Pola tersebut dinamakan Kelvin Pattern.



Gambar 2.16 Kelvin pattern

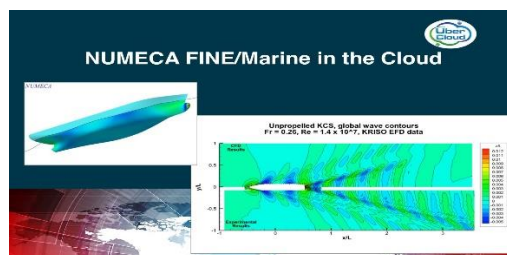
(Sumber : Hassan, Mohamed, 2017, X-bow Design for Ship Energy Saving bow.)

2.9 Analisa Numeca Fine Marine Computational Fluid Dynamic

Pemodelan yang dilakukan pada penelitian kali ini menggunakan Analisa Computational Dynamic. Menurut (R. Ragoth Singh, M. Nataraj, 2016) CFD atau Computational Fluid Dynamic. CFD adalah sebuah metodologi numerik dengan bantuan computer yang dapat digunakan untuk menganalisa suatu aliran, fenomena dan reaksi yang terjadi pada fluida.

Penggunaan CFD pada pengujian tahanan kapal telah dilakukan dari beberapa tahun lalu. CFD dilakukan dikarenakan keterbatasan kondisi finansial dan waktu yang diperlukan untuk uji Tarik tahanan kapal pada *towing tank*. Menurut (Yasser, Ahmed, 2015). Penggunaan CFD dalam uji tahanan kapal sudah cukup valid. Pada jurnal tersebut disebutkan perbandingan error antara uji tahanan dengan CFD dan tes Tarik hanya memiliki error kurang dari 6%.

Aplikasi CFD yang digunakan pada penelitian kali ini adalah Numeca Fine Marine. Numeca fine marine dapat meberikan fitur-fitur penunjang untuk permodelan tahan yang akan dilakukan pada X-bow di penelitian kali ini.



Gambar 2.15 Numeca Fine Marine

2.10 Pemodelan Rhinos 3d

Model bow kapal akan didesain dengan menggunakan aplikasi Rhinoceros 3d . Rhinoceros 3d adalah software computer 3d yang dikembangkan oleh Mcneel & Associates . Geometri yang digunakan pada aplikasi Rhinoceros 3d menggunakan basis model matematika NURBS(Non-Uniform Rational Base Spilines) untuk membuat kurva dan *free surface*.



Gambar 2.16 Rhinoceros 3d

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Sebuah penelitian membutuhkan metodologi sebagai acuan. Secara umum, metodologi penelitian berisikan tentang tahapan, langkah-langkah dan proses mengenai kegiatan yang harus dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian tersebut. Berikut merupakan paparan mengenai metodologi penelitian tugas akhir ini.

3.1 Identifikasi Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dijawab pada penelitian ini adalah mengenai karakteristik dan pengaruh tahanan kapal yang menggunakan bentuk bow X-bow pada kondisi perairan yang bergelombang. Untuk itu diperlukan analisa dengan cara membandingkan tahanan model kapal tanpa X-bow, yang dalam hal ini adalah kapal model kcs, dengan tahanan kapal dengan kapal yang dimodifikasi dengan X-bow. Karenanya dibutuhkan data tahanan kapal. Data tersebut didapatkan dengan cara simulasi kapal model kcs dan kapal model yang telah termodifikasi menggunakan x-bow dengan software CFD.

3.2 Metode Penelitian Tugas Akhir

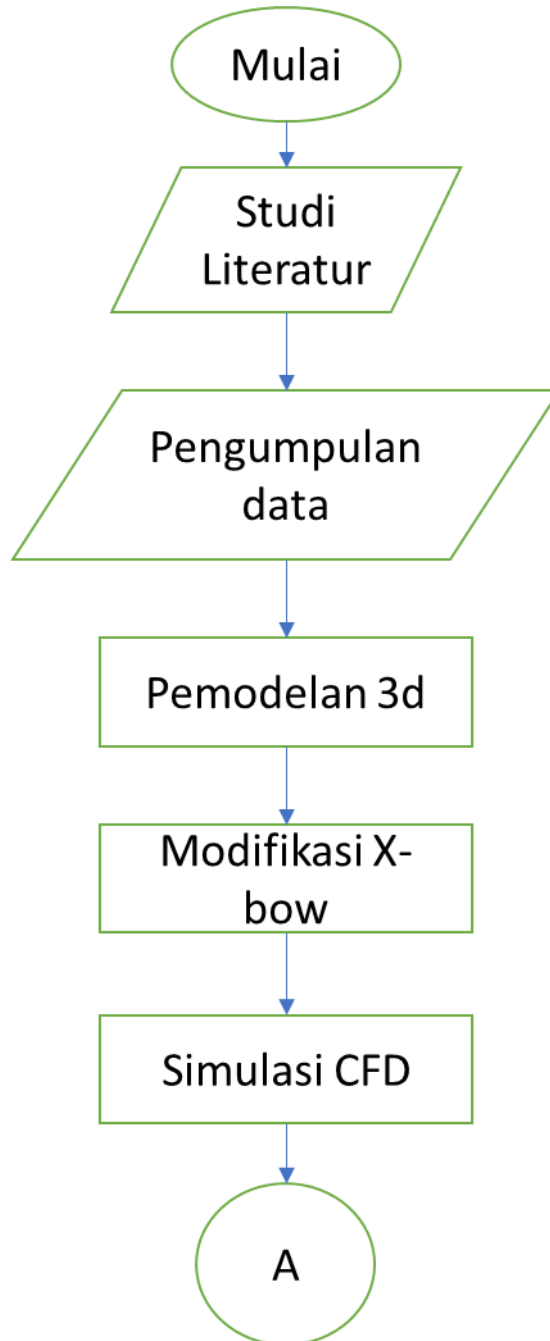
Metode penelitian yang digunakan adalah metode gabungan(*mixed method*). Metode pertama yang digunakan adalah metode teori dasar. Penulis menggunakan metode ini pada tahap perancangan model kapal yang menggunakan X-bow. Modifikasi model kapal dilakukan berdasarkan suatu acuan geometri yang terdapat pada paten. Metode kedua yang digunakan adalah metode komparasi, yaitu dengan membandingkan suatu data untuk mendapatkan kesimpulan. Untuk mencapai tujuan dan menjawab permasalahan penelitian dibutuhkan perbandingan data antara hasil simulasi CFD kapal model tanpa X-bow(KCS) dan dengan X-bow.

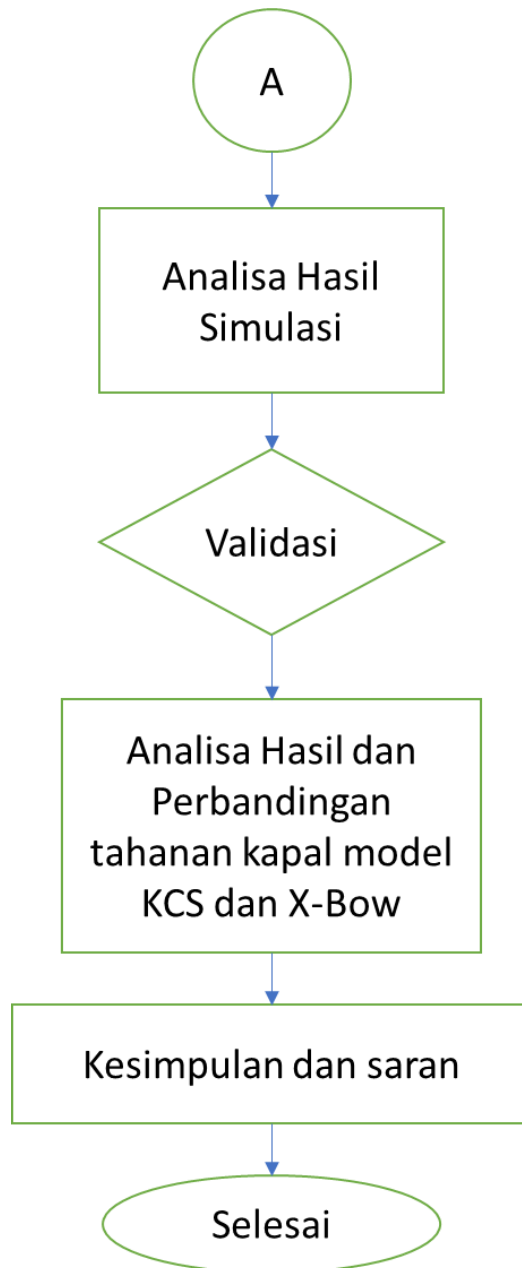
3.3 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan merupakan data sekunder, yang mana data tersebut secara tidak langsung diberikan oleh pemilik data. Data yang dimaksudkan adalah data kapal KCS yang terdapat pada *software* maxsurf, dan data geometri perancangan X-bow.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahap penelitian merupakan langkah-langkah kegiatan yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Berikut merupakan began alur tahapan penelitian :





3.4.1 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dilakukan untuk mengetahui suatu pokok masalah yang harus dijawab dan diselesaikan. Perumusan masalah dapat dilakukan berdasarkan pengamatan, pengalaman dan aspek lain. Masalah yang akan dijawab harus dapat berguna untuk tujuan penelitian. Permasalahan pada penelitian ini mengenai karakteristik dan pengaruh

tahanan kapal yang menggunakan bentuk bow X-bow pada kondisi perairan yang bergelombang.

3.4.2 Studi Literatur

Setiap penelitian harus melalui serangkaian studi literatur, yang dilakukan untuk mendapatkan informasi berupa teori penunjang, dan perkembangan penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian ini. Studi literatur yang dilakukan pada penelitian ini meliputi perkembangan bentuk bow kapal, geometri x-bow, teori-teori mengenai tahanan kapal dan lain-lain.

3.4.3 Pengumpulan data

Data yang perlu didapat dalam penelitian ini adalah data utama kapal model KCS dan model 3d kapal KCS.

3.4.4 Pemodelan Objek penelitian

Seperti yang telah disebutkan dalam metode penulisan tugas akhir, dibutuhkan model 3d kapal yang selanjutnya akan dimodifikasi menggunakan X-bow. Pemodelan dan modifikasi dilakukan dengan menggunakan *software* maxsurf. Modifikasi model kapal dengan X-bow dilakukan sesuai tujuan acuan geometri yang telah ada.

3.4.5 Simulasi CFD

Simulasi CFD dilakukan untuk memperoleh hasil atau data tahanan kapal model dan kapal yang telah di modifikasi menggunakan X-bow untuk selanjutnya dikomparasikan dan di analisa.

3.4.6 Validasi Hasil Simulasi

Validasi pada penelitian kali ini dilakukan dengan tujuan. Tujuan yang pertama adalah untuk memvalidasi hasil simulasi pada *software* terhadap model, hal ini meliputi perubahan data tahanan terhadap perubahan *cell* pada *software*. Kedua adalah untuk memvalidasi model dan hasil tahanan terhadap penelitian sebelumnya (hasil test).

3.4.7 Analisa Hasil Simulasi

Data yang didapatkan dari hasil simulasi akan dibandingkan untuk menjawab permasalahan penelitian. Data tersebut dapat berupa nilai tahanan dan data visual interaksi kapal dengan air.

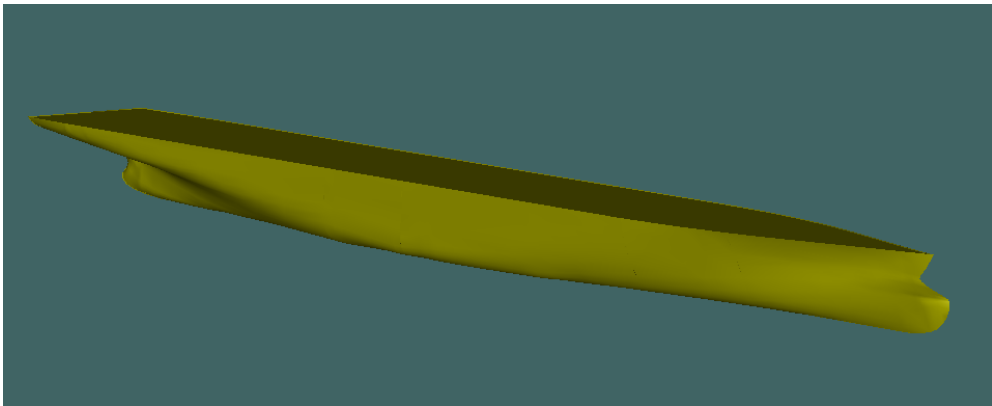
3.4.8 Kesimpulan dan Saran

Setelah didapat hasil Analisa dilakukan pengambilan kesimpulan yang berkesesuaian dengan tujuan penelitian. Hal-hal yang dirasa dapat meningkatkan pemahaman, optimasi tahanan dan lain-lain dapat dijadikan saran untuk dilakukan penelitian yang lebih lanjut.

3.5 Data Kapal Model KCS

Model kapal dasar yang akan dibandingkan dengan model modifikasi X-bow adalah kapal model KCS, yang didapatkan dari *software* maxsurf. Data dimensi utama kapal model KCS yang terdapat pada maxsurf adalah sebagai berikut :

Lpp	: 7.262 m
<i>Breadth</i>	: 1.019 m
<i>Draught</i>	: 0.331 m
CB	: 0.651
Wetted Surface Area	: 8.957 m ²



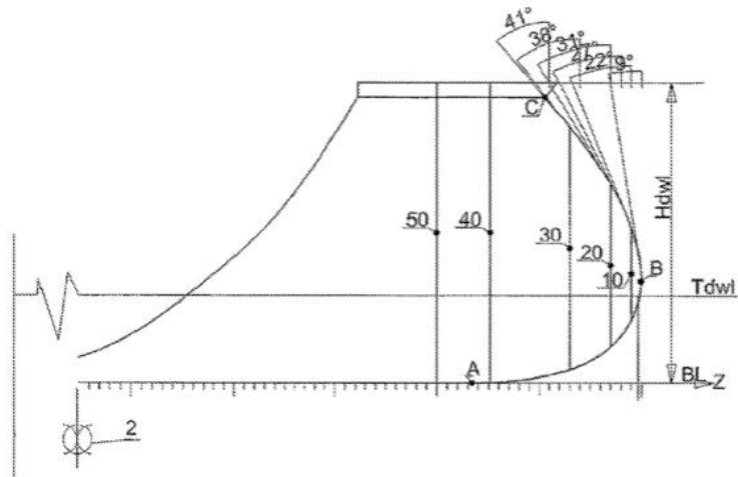
Gambar 3.1 Model 3d Kapal model KCS

3.6 Pemodelan & Geometri X-Bow

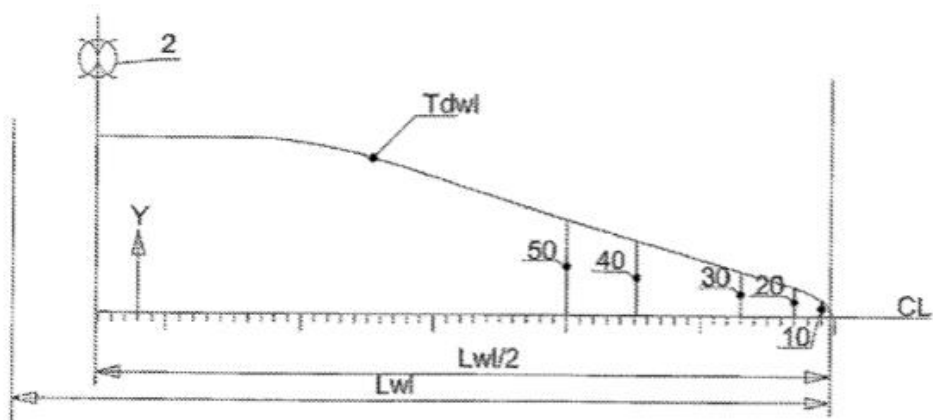
Permodelan X-bow dilakukan dengan panduan dari geometri X-bow yang terdapat pada paten Ulstein Group *Arrangement for a Vessel of the Displacement Type*[18]. Tertera pada paper *Foreship Arrangement for a Vessel of the Displacement Type* desain dari bentuk bow dapat di perlihat dengan beberapa poin berikut ini :

- Panjang kapal keseluruhan (Loa) dibagi dengan skala k dengan jarak setiap k adalah $L_{wl}/110$, pada penelitian kali ini nilai k adalah 0.0661 m
- Terdapat tiga titik utama untuk menggambar penampang memanjang dari X-bow yaitu titik A, B dan C.
- Titik A berada pada skala nomor 17 dari *foreship*, titik B berada pada garis air atau pada *main deck*, dan titik C berada pada ketinggian *Accommodation deck*.

- Pada gambar 2.7 dapat dilihat bahwa dilakukan pembagian nomor frame yang jarak satu sama lainnya berbeda dengan sudut lengkung masing-masing pada profil memanjangnya.



Gambar 3.2 Penggambaran geometri X-bow secra memanjang(longitudinal)
(Sumber : Kamsvag, Øyvind Gjerde, 2010, Arrangement for a Vessel of the Displacement Type.)



Gambar 3.3 Penggambaran geometri X-bow secra memanjang(longitudinal) dilihat dari halfbreadth
(Sumber : Kamsvag, Øyvind Gjerde, 2010, Arrangement for a Vessel of the Displacement Type.)

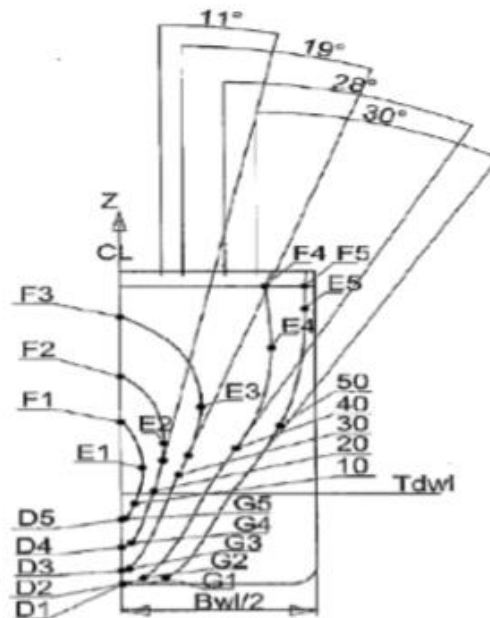
- Jarak dari setiap frame dan *breadth* terdapat pada table dibawah

Tabel 3.1 Tabel dimensi frame dan breadth

(sumber : Hassan, Mohamed, 2017, *X-bow Design for Ship Energy Saving bow*)

Frame Number	Distance from Maximum point of fore portion	Maximum width of frame
10	1.1k	0.1111B
20	3k	0.1777B
30	7.0k	0.2666B
40	14.8k	0.4444B
50	20k	0.5333B

- Penampang melintang pada X-bow didesain pada setiap frame dengan dimensi yang berbeda, tergantung yang telah ditetapkan pada dimensi memanjang dan dengan sudut yang berbeda-beda seperti yang tertera pada gambar 2.8.



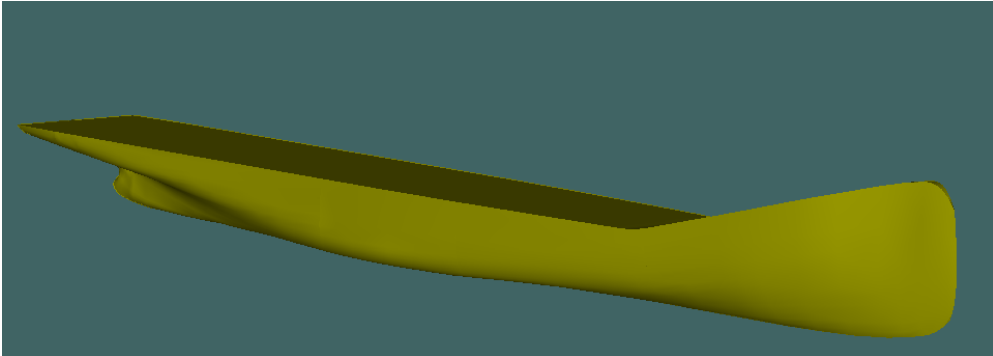
Gambar 3.4 Penggambaran geometri X-bow secara melintang

(Sumber : Kamsvag, Øyvind Gjerde, 2010, Arrangement for a Vessel of the Displacement Type.)

Modifikasi dilakukan dengan software maxsurf. Kapal yang dimodifikasi menggunakan acuan geometri diatas adalah kapal KCS yang telah digambarkan pada gambar 3.1. Berikut adalah dimensi data kapal yang telah termodifikasi menggunakan X-bow :

Lwl : 7.274 m

Breadth : 1.019 m
Draught : 0.331 m
 CB : 0.651
 Wetted Surface Area : 8.472 m²



Gambar 3.5 Hasil modifikasi kapal model KCS menggunakan X-bow

3.7 Validasi Ketepatan Software

Validasi ketepatan *software* dilakukan untuk mengetahui kondisi pengujian pada *software*, hal ini meliputi jumlah *cell* dan *number of refinement* pada *software*. Pada pengujian *software* dilakukan simulasi dengan jumlah *cell* 1,703,601 dan 2,101,000 *cell* dan hasil dari kedua simulasi menunjukkan error kurang dari 5 %, pengukuran dilakukan dengan simulasi pada kapal model KCS dengan kecepatan 2 m/s. Didapat dari perhitungan pada table berikut. :

Tabel 3.2 Tabel error validasi *software*

Number of cell	resultan result	error
1703601	32.2	1%
2101000	31.9	1%
2231233	31.7	2%
2312020	32.1	0%

Maka pada simulasi CFD digunakan pengaturan sebagai berikut :

Jumlah *Cell* : 1703601
Number of refinement : 8 (global)

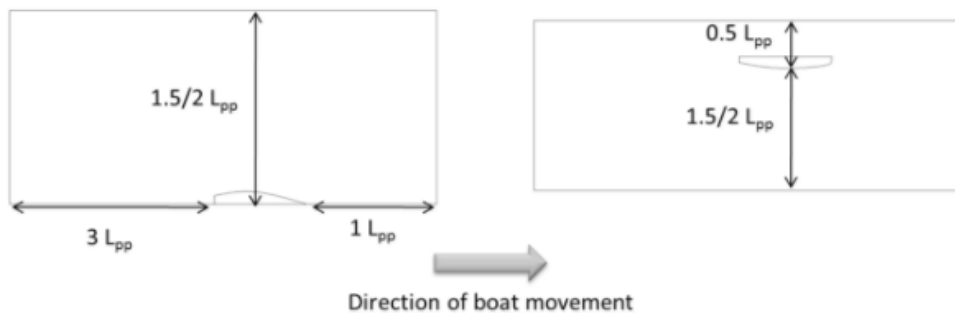
3.8 Pengujian Tahanan dengan CFD

Analisa tahanan kapal model KCS dan kapal model X-bow dilakukan dengan menggunakan *software* CFD Numeca Fine marine. Pengujian dilakukan dengan 2 model kapal, 6 variasi kecepatan dan *Froude numbe*

masing masing 0.5(Fn 0.06), 1.25(Fn 0.15), 2(Fn 0.23), 2.5(Fn 0.29), dan 3.25(Fn 0.38), simulasi dilakukan pada kondisi *calm water*(*steady*) dan juga perairan bergelombang dengan tinggi gelombang 0.04 dan 0.08 m (*unsteady*)

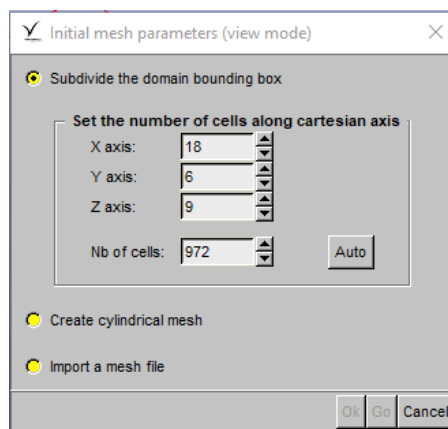
3.8.1 Meshing

Meshing dilakukan untuk menentukan jumlah cell yang digunakan. Pada tahap ini pada geometri permodelan akan dilakukan pembagian detail dari bentuk geometri menjadi elemen-elemen dan node-node. Setiap elemen(*cell*) tersebut akan menjadi acuan perhitungan bagi *software* CFD. *Meshing* dilakukan dalam beberapa tahapan yang pertama adalah pembuatan *domain*. *Domain* adalah suatu ruang yang digunakan oleh *software* untuk mengobservasi dan menganalisa objek. *Domain* memiliki ukuran seperti yang tertera pada gambar 3.6.



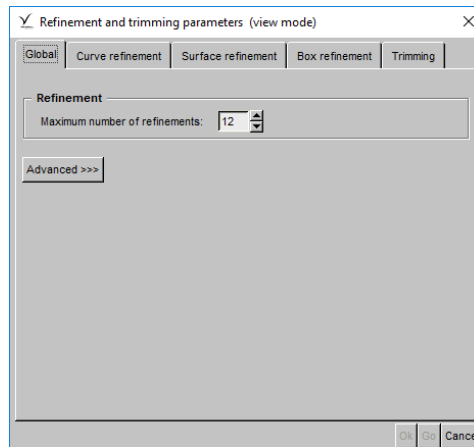
Gambar 3.6 Standar ukuran Domain

Selanjutnya proses *meshing* dilanjutkan pada tahapan *initial mesh* untuk membagi geometri *domain* menjadi *cell* berbentuk kotak.



Gambar 3.7 Initial mesh

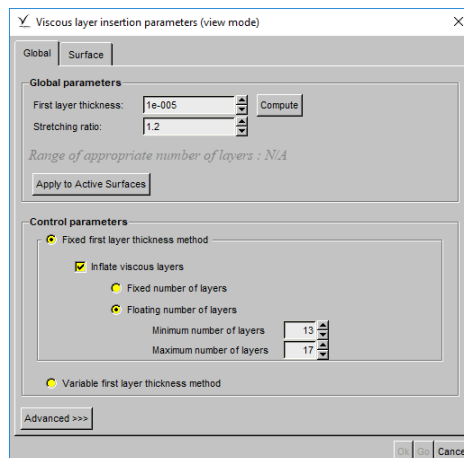
Tahap ketiga adalah tahap *adapt to geometri*, pada tahap ini dilakukan penghalusan dan pendetailan *cell*. *Cell* yang saling bertindih dan berada diluar *domain* dihapus pada tahap ini.



Gambar 3.8 Adapt to geometry

Pada tahap *Snap to geometry* dilakukan proyeksi *mesh* yang didapat dari hasil *mesh* pada tahap sebelumnya terhadap bentuk geometri yang ada pada domain secara otomatis.

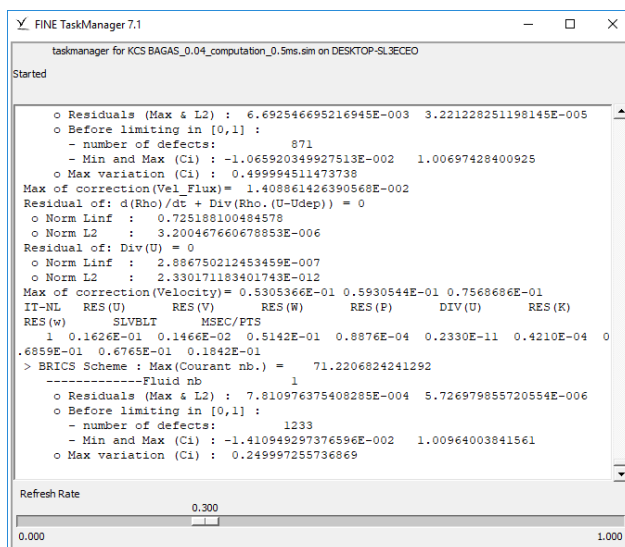
Selanjutnya adalah tahap *optimize* dimana *cell-cell* yang memiliki kecacatan seperti *concave cell*, *negative cell*, dan *twisted cell* di hapus dan diperbaiki. Tahapan yang terakhir adalah tahap *viscous layer* dimana dilakukan penebalan dan penyisipan *cell* pada area *viscous layer* dari model uji(kapal) sehingga akan didapat data yang lebih valid.



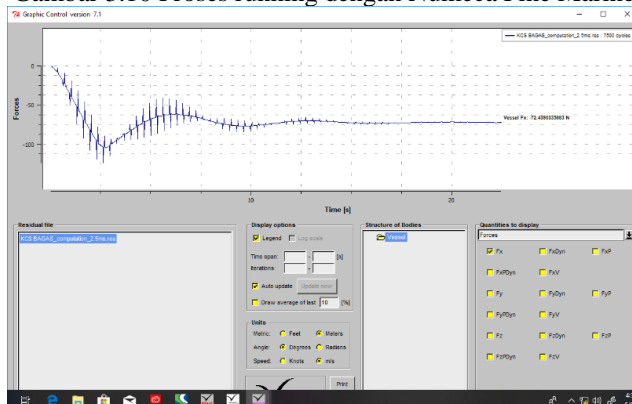
Gambar 3.9 Viscous Layer

3.8.2 Simulasi CFD

Setelah *meshing* dilakukan akan dilanjutkan dengan simulasi CFD atau *running*. CFD akan mensimulasikan interaksi dari kapal dengan air dengan metode numerik. Pengujian pada *calm water* dilakukan pada *seady state* dan pada perairan bergelombang dilakukan dengan *unsteady state* untuk menghasilkan hasil pengujian yang lebih akurat. Simulasi dilakukan pada 2 model kapal (X-bow dan KCS) dengan 6 varisasi kecepatan dan *froude number*, dan pada kondisi *calm water*, serta kondisi perairan bergelombang setinggi 0,04 m dan 0,08 m. Tinggi gelombang di *setting* pada menu *wave generator* ketika akan disimulasikan. Data utama yang ingin diperoleh dari simulasi CFD adalah data tahanan kapal. Data tahanan yang didapat akan di kali 2 dikarenakan kapal diuji dengan pengaturan *halfbody*.



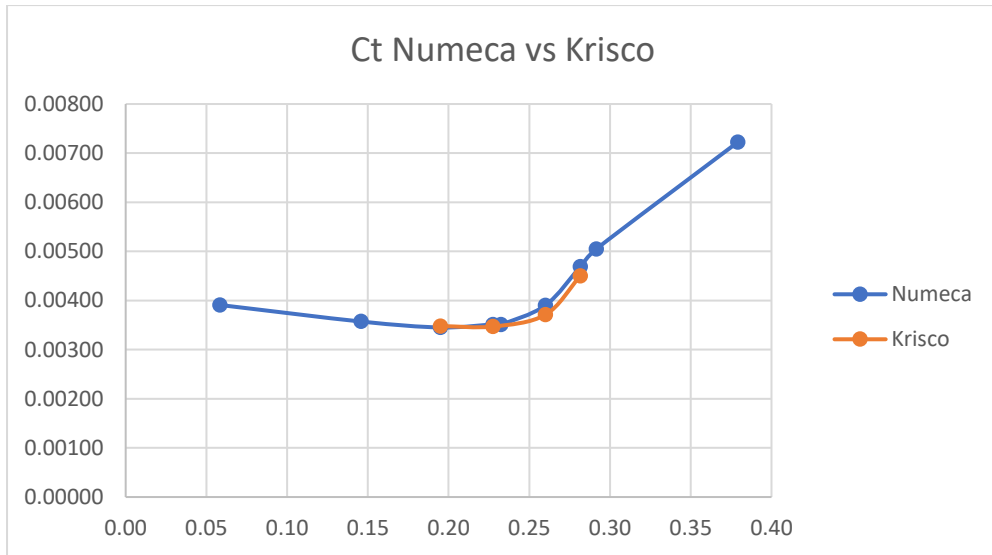
Gambar 3.10 Proses running dengan Numeca Fine Marine



Gambar 3.11 Hasil pengujian(tahanan)

3.9 Validasi Hasil Pengujian

Setelah didapatkan data dari simulasi CFD data tahanan diperhitungkan koefisien tahanan totalnya untuk dibandingkan dengan data yang didapat dari penelitian sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk memvalidasi model pengujian dan hasil pengujian. Perbandingan data dilakukan pada hasil pengujian tahanan kapal model KCS.



Gambar 3.13 Grafik hasil engujian Numeca Fine marine dengan KCS

Selanjutnya nilai error dapat dilihat pada table 3.3.

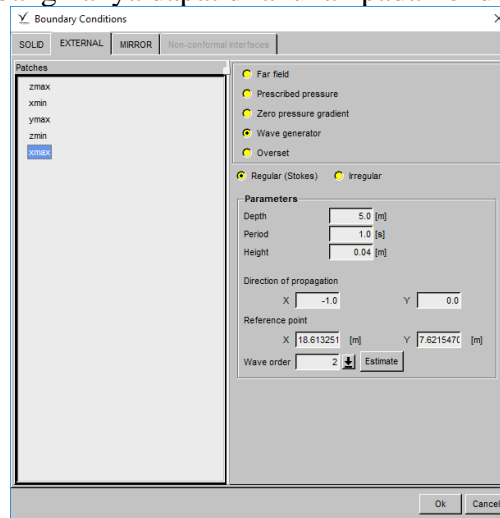
Tabel 3.3 Tabel Validasi Hasil simulasi CFD dan *Towing test* KCS

Fn	Ct(kriso)	Ct(Numeca)	Error
0.06	-	0.00391	-
0.15	-	0.00357	-
0.1949	0.00348	0.00345	1%
0.2274	0.00347	0.00351	-1%
0.23	-	0.00351	-
0.2599	0.00371	0.00390	-5%
0.2816	0.00450	0.00469	-4%
0.29	-	0.00505	-
0.38	-	0.00722	-

Dapat dilihat dari grafik tersebut hasil pengujian dengan data penelitian sebelumnya memiliki *error* yang dapat ditoleran, yaitu kurang dari 5 %.

3.10 Penambahan Wave Generator pada Pengujian Unsteady

Penelitian kali ini juga bertujuan untuk membandingkan tahanan kapal model KCS dan kapal model yang telah dimodifikasi menggunakan X-Bow pada perairan bergelombang. Gelombang yang akan diujikan pada model dibuat dengan pengaturan CFD *unsteady*, dikarenakan pengujian dan *input* pengaturan gelombang hanya dapat dilakukan pada kondisi *unsteady*.



Gambar 3.14 Wave generator

Pengaturan gelombang dilakukan pada fitur *wave generator*, seperti yang terdapat pada gambar 3.14. tinggi gelombang diatur setinggi 0.04 m (1.3m, sea state 3 pada *scale up*). Periode gelombang di set 1 s, periode ini diskalakan dengan dari periode asli pada sea state 3 (3.5 – 4.5 s) dengan menggunakan metode stroghel.

$$\frac{T_m}{T_p} = \frac{L_m}{L_p} \times \frac{V_p}{V_m}$$

Selain input tinggi dan periode, hal yang perlu diperhatikan adalah time step pengujian, pada pengujian dengan wave perlu dilakukan penambahan time step pada beberapa variasi Fn hal ini diperlukan agar memastikan gelombang dapat melewati kapal ketika simulasi CFD. Hal-hal yang harus diperhatikan adalah *celerity* dari gelombang lama time step, jumlah time step dan gelombang ke kapal yang diujikan.

$$C = 3.13\sqrt{g \cdot h}$$

Dari persamaan diatas kita dapat kita ketahui kecepatan gelombang (*celerity*) dan dikalikan dengan dengan lama pengujian agar diketahui jarak yang ditempuh oleh gelombang selama pengujian. Lama pengujian didapat dari

perkalian time step dan juga lama time step. Pada pengujian kali ini jarak minimal yang harus ditempuh oleh gelombang adalah 20 m agar gelombang bisa melewati kapal sebelum simulasi selesai. Tabel 3.4 menunjukkan input jumlah time step minimum pada setiap variasi Froude Number

Tabel 3.4 Input Jumlah Time Step

Fn	time step
0.06	1500
0.15	1500
0.23	2000
0.29	2500
0.38	3200

3.11 Perhitungan yang Digunakan untuk Menghitung C_t , C_f , C_w dan Tahanan Ekstrapolasi

Penelitian kali ini membutuhkan perhitungan-perhitungan dalam pelaksanaannya, perhitungan tersebut dilakukan dengan formula-formula yang bertujuan untuk menganalisa hasil penelitian. Rumus yang digunakan berasal dari ITTC[14]. Berikut rumus-rumus yang digunakan :

Rumus Tahanan total

$$RT = 0.5 \rho V^2 S C_T$$

Rumus Koefisien tahanan gesek

$$C_f = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2}$$

Rumus *Reynold Number*

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

Rumus *Froude Number*

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$

Rumus Ekstrapolasi Tahanan kapal

$$C_w = C_{tm} - C_{fm} S_m/S_{0m} - C_{aam} - C_{appm}$$

$$C_{ts} = C_w - C_{fs} S_m/S_{0m} - C_{aam} - C_{appm} + C_A$$

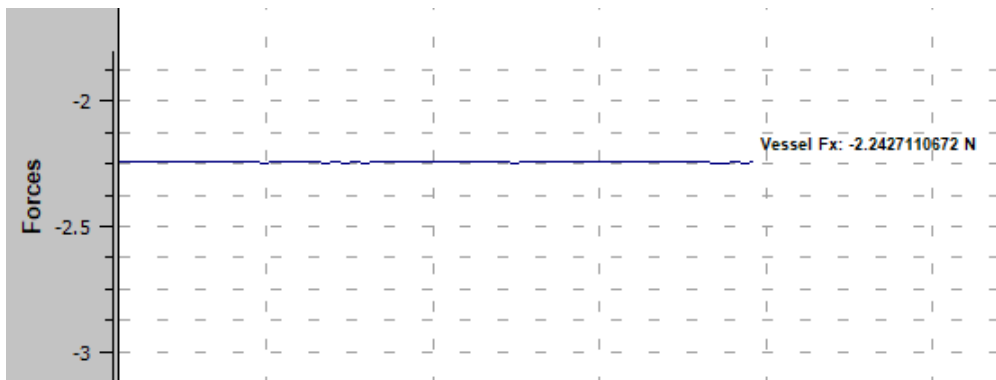
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Simulasi CFD akan menghasilkan data tahanan dan karakteristik interaksi lambung kapal dengan air. Pada bab ini akan dibahas dan analisa hasil simulasi yang dilakukan tersebut. Analisa dan pembahasan dilakukan untuk menjawab rumusan masalah pada penelitian kali ini. Inti bahasan pada bab ini adalah komparasi antara bentuk bow terhadap tahanan.

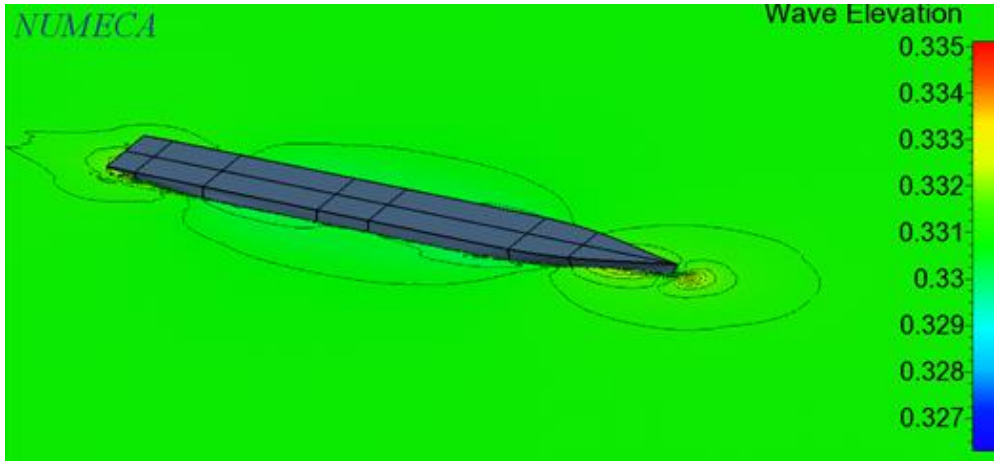
4.1 Hasil Simulasi CFD (*Calmwater*)

Hasil simulasi CFD yang didapat adalah data-data seperti nilai tahanan(*halfbody*), *wave elevation*, dan *free surface*. Nilai tahanan sebagai data utama yang didapat akan dikalikan 2 dikarenakan simulasi dilakukan dalam pengaturan *halfbody* seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Hasil pengujian berupa data visual juga didapat agar menjadi data pendukung yang dapat menggambarkan dan menjelaskan fenomena yang terjadi pada hasil pengujian. Berikut merupakan data hasil simulasi tahanan kapal dan data visual interaksi lambung kapal dengan air yang ditunjukkan

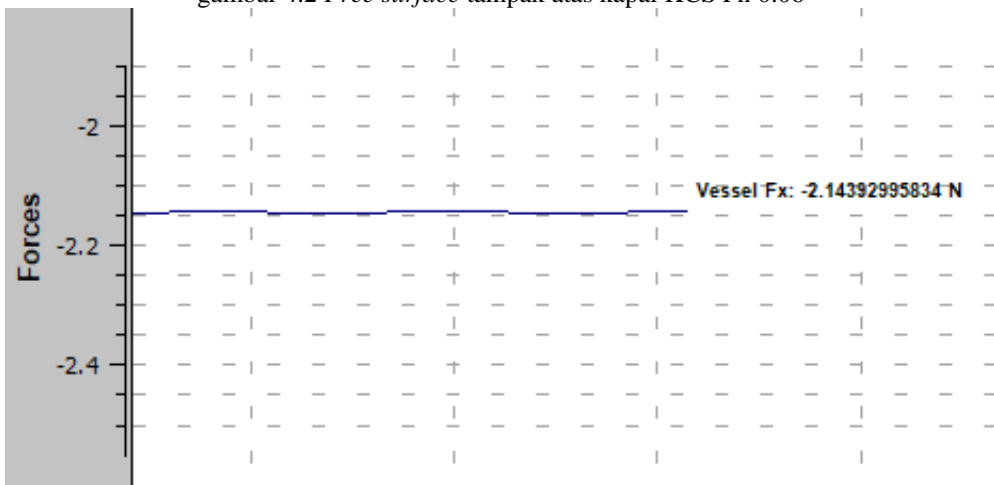
a. Kecepatan 0.5 m/s Froude Number 0.06



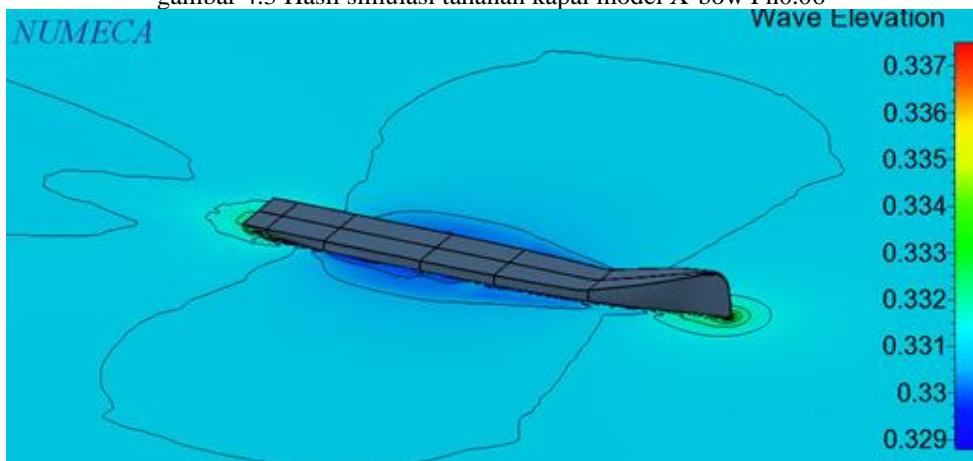
gambar 4.1 Hasil simulasi tahanan kapal model KCS Fn 0.06



gambar 4.2 *Free surface* tampak atas kapal KCS Fn 0.06

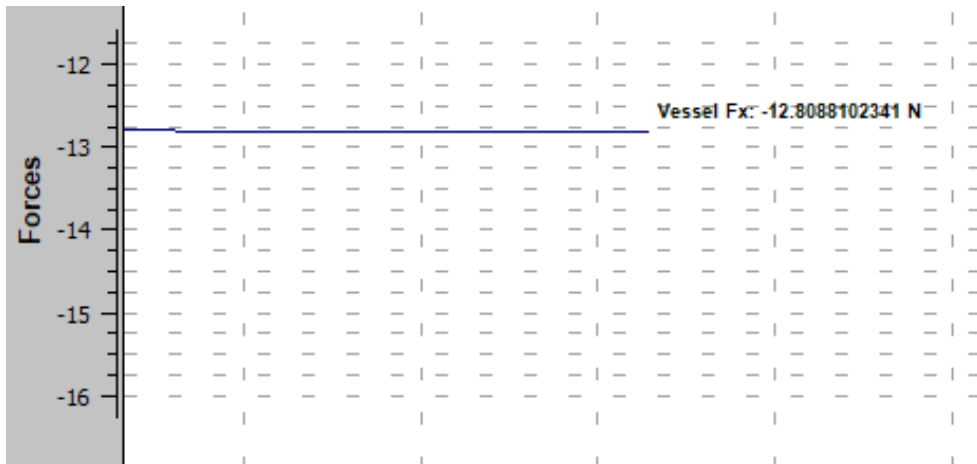


gambar 4.3 Hasil simulasi tahanan kapal model X-bow Fn0.06

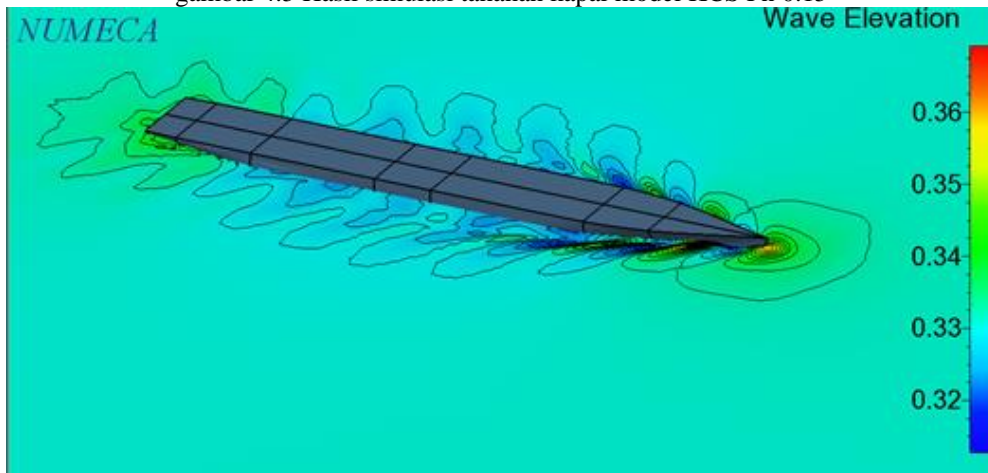


gambar 4.4 *Free surface* tampak atas kapal X-bow Fn 0.06

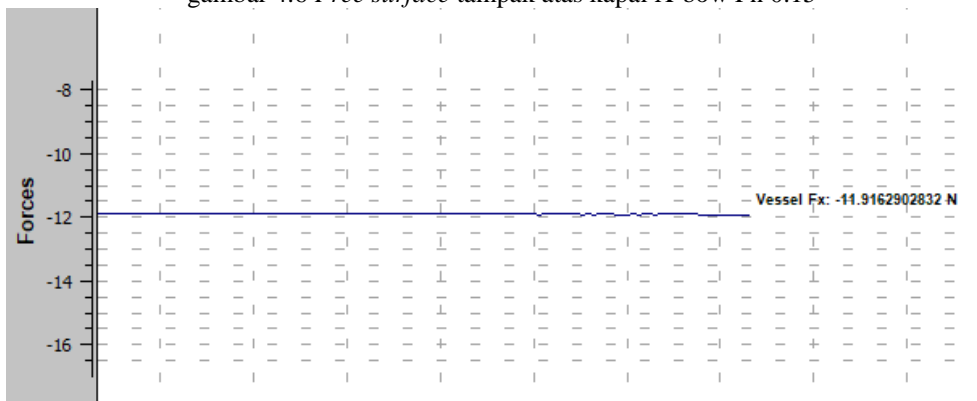
b. Kecepatan 1.25 m/s Froude Number 0.15



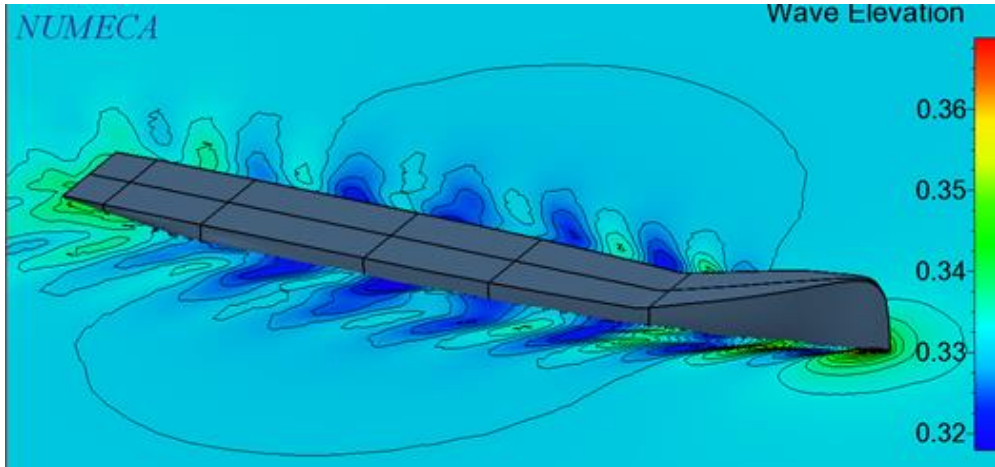
gambar 4.5 Hasil simulasi tahanan kapal model KCS Fn 0.15



gambar 4.6 *Free surface* tampak atas kapal X-bow Fn 0.15

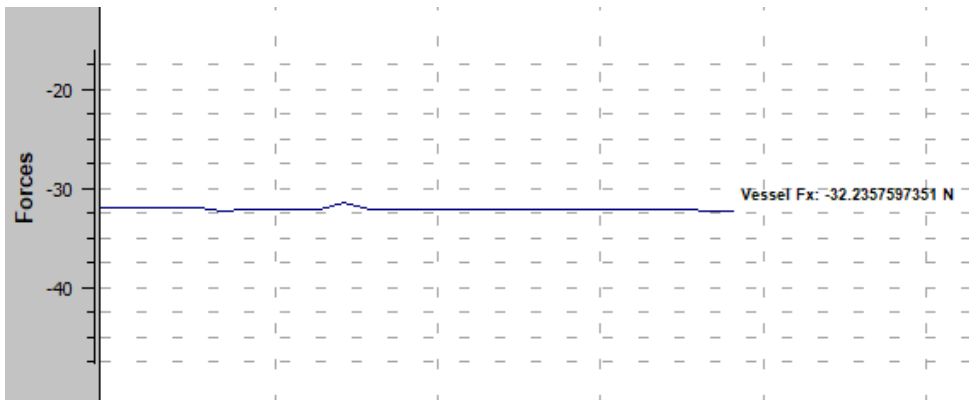


gambar 4.7 Hasil simulasi tahanan kapal model X-bow Fn 0.15

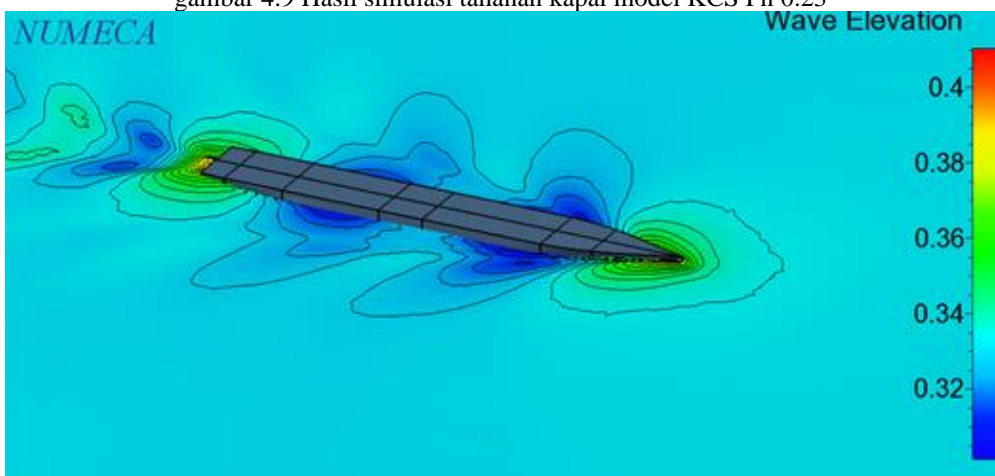


gambar 4.8 *Free surface* tampak atas kapal model x-boe Fn 0.15

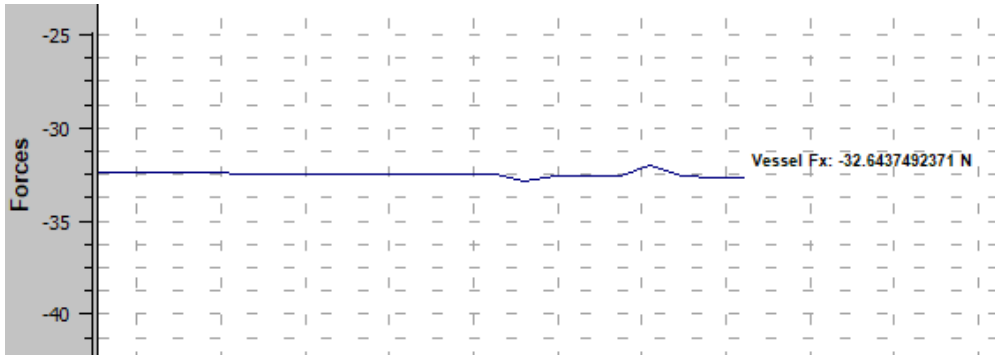
c. Kecepatan 2 m/s Froude Number 0.23



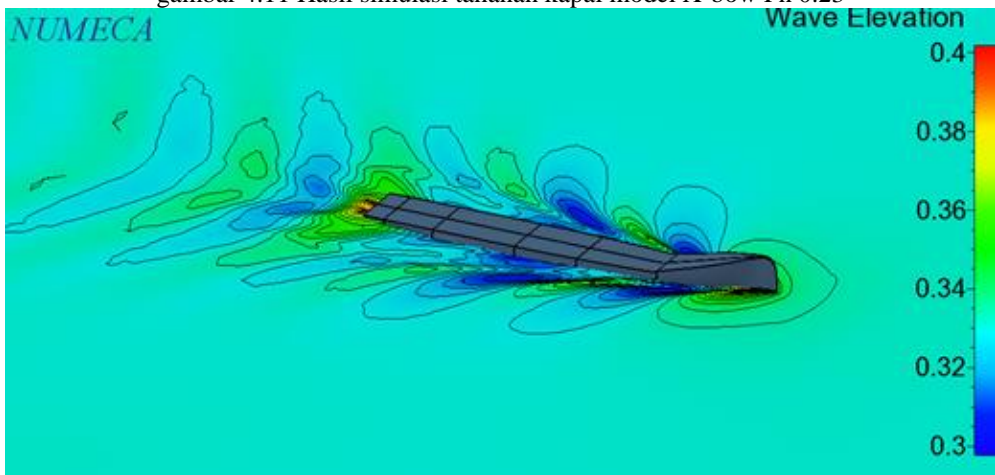
gambar 4.9 Hasil simulasi tahanan kapal model KCS Fn 0.23



gambar 4.10 *Free surface* tampak atas kapal model KCS Fn 0.23

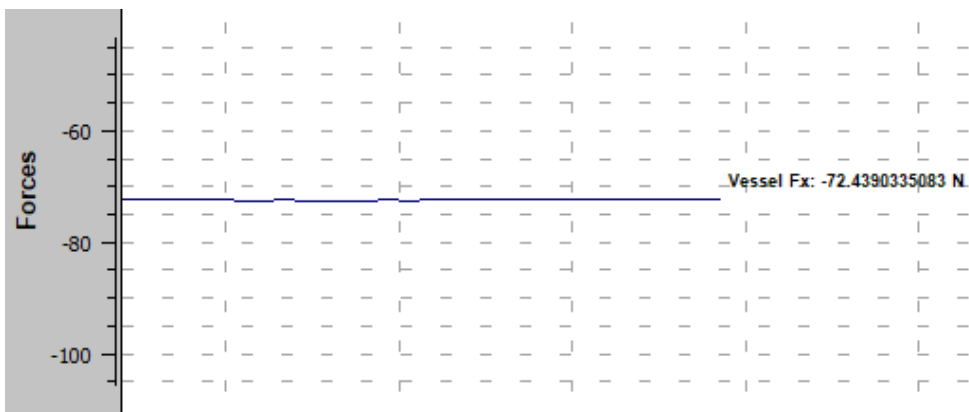


gambar 4.11 Hasil simulasi tahanan kapal model X-bow Fn 0.23

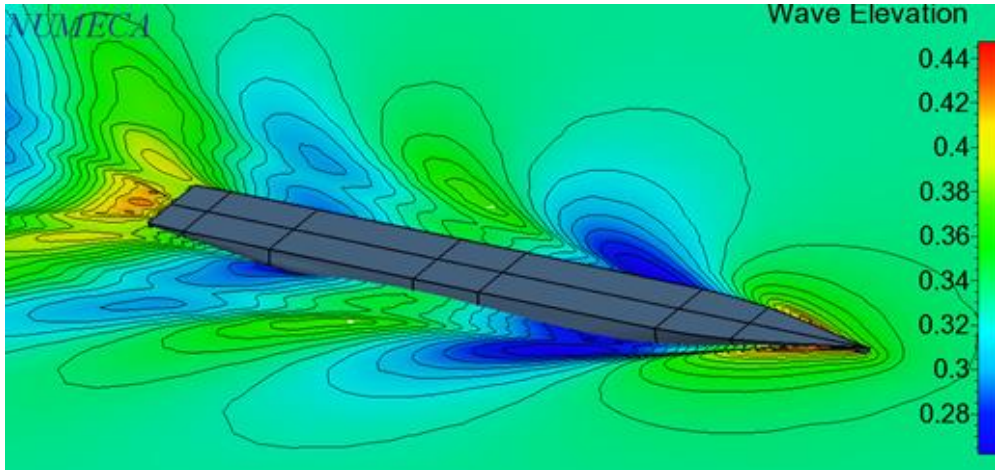


gambar 4.12 *Free surface* tampak atas kapal model X-bow Fn 0.23

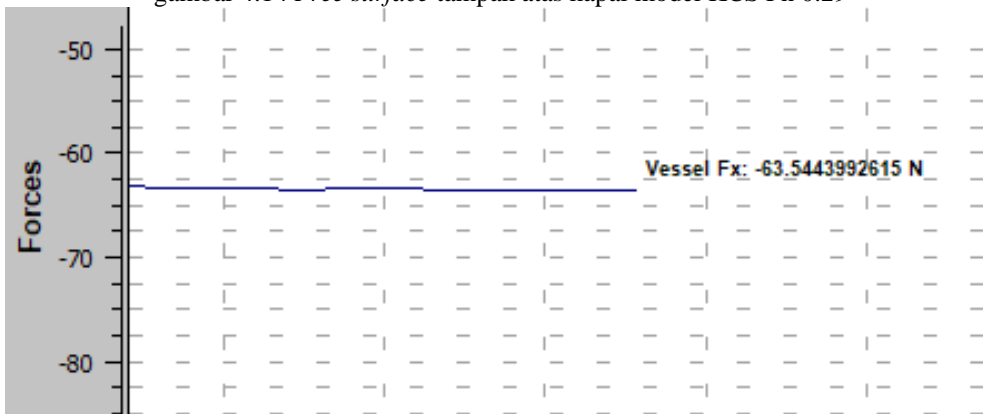
d. Kecepatan 2.5 m/s Froude Number 0.29



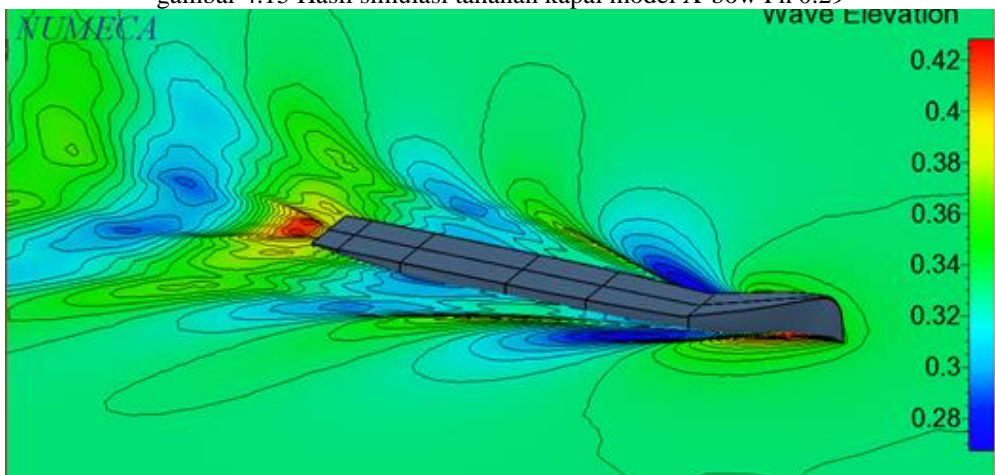
gambar 4.13 Hasil simulasi tahanan kapal model KCS Fn 0.29



gambar 4.14 *Free surface* tampak atas kapal model KCS Fn 0.29

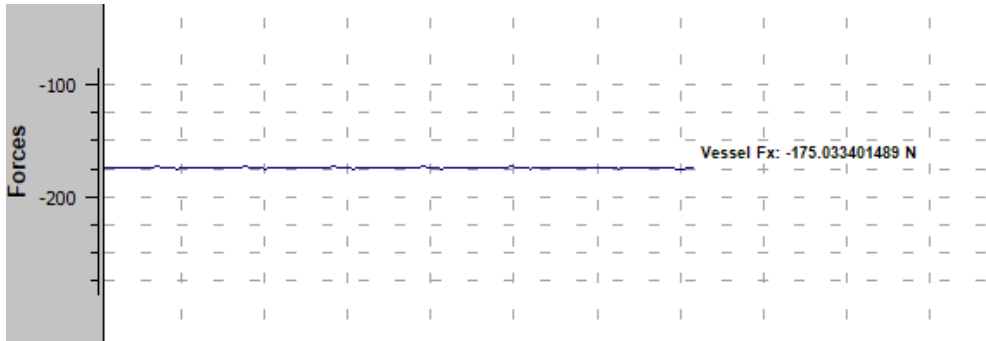


gambar 4.15 Hasil simulasi tahanan kapal model X-bow Fn 0.29

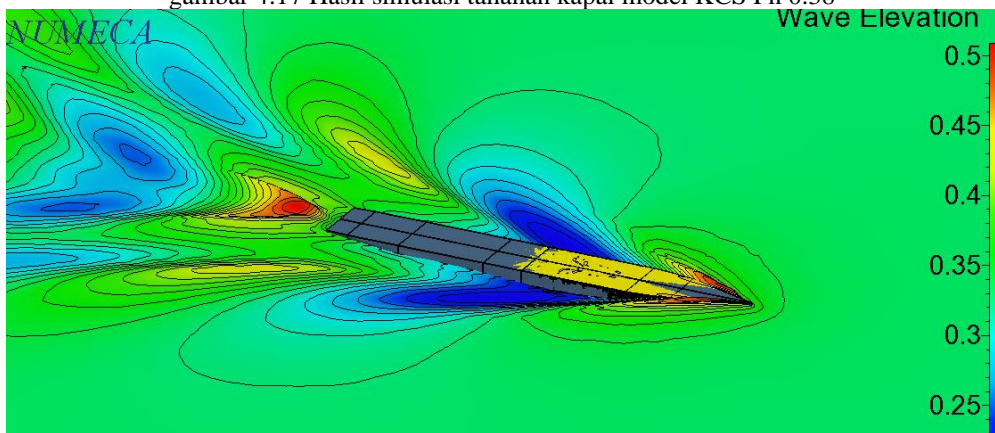


gambar 4.16 *Free surface* tampak atas kapal model X-bo2 Fn 0.29

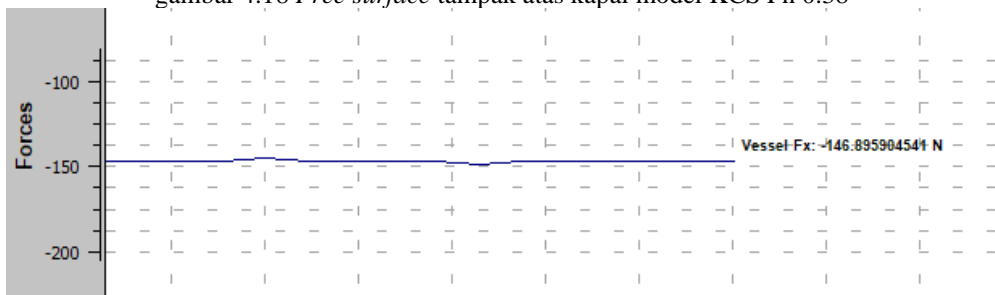
e. Kecepatan 3.25 m/s Froude number 0.38



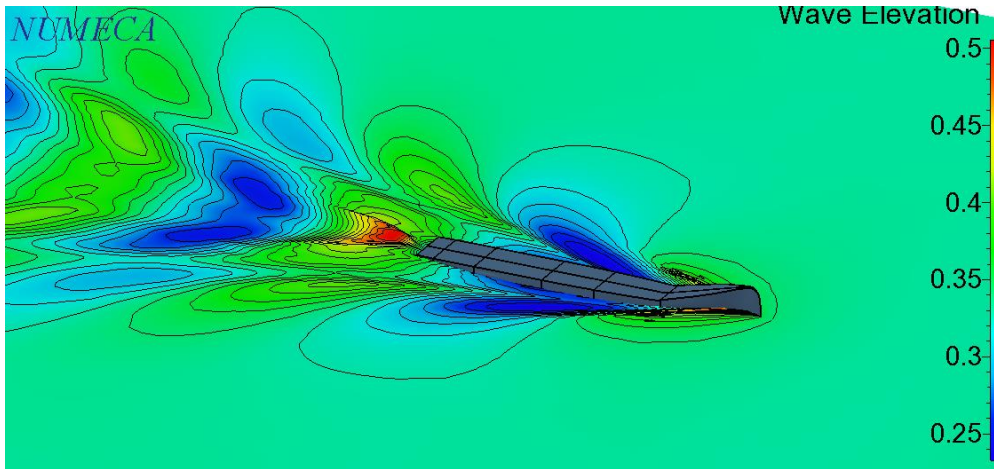
gambar 4.17 Hasil simulasi tahanan kapal model KCS Fn 0.38



gambar 4.18 *Free surface* tampak atas kapal model KCS Fn 0.38



gambar 4.19 Hasil simulasi tahanan kapal model X-bow Fn 0.38



gambar 4.20 *Free surface* tampak atas kapal model X-bow F_n 0.38

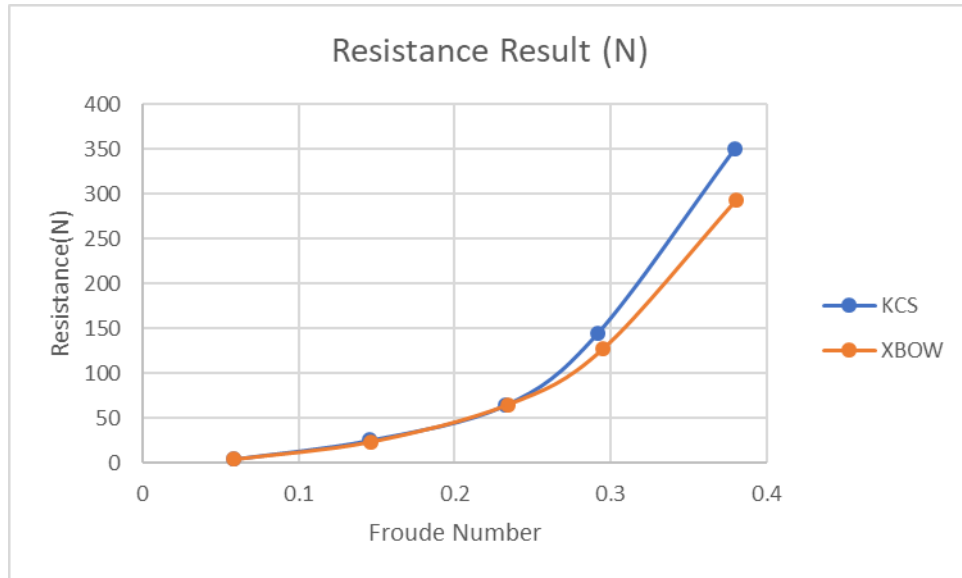
4.2 Analisa Perbandingan Tahanan Kapal Model KCS dan X-Bow pada *Calm Water*

Data yang didapatkan dari simulasi CFD dapat memberikan gambaran terkait pengaruh bentuk bow terhadap tahanan dan interaksinya dengan air.

Tabel 4.1 Tabel tahanan kapal model KCS dan X-bow

v	F_n	$R_t(\text{KCS})$	$R_t(\text{X-bow})$
0.5	0.06	4.485422	4.28786
1.25	0.15	25.61762	23.83258
2	0.23	64.47132	63.2875
2.5	0.29	144.8781	127.0888
3.25	0.38	350.0668	293.7918

table 4.1 menunjukkan tahanan kapal model KCS dan X-Bow pada setiap kecepatan, data tahanan pada table ini dikalikan 2 dikarenakan pengujian dilakukan pda kondisi *halfbody*. Terdapat perbedaan tahanan antara kapal model KCS dan kapal model X-Bow yang akan dijelaskan menggunakan grafik dan juga table selanjutnya.



Gambar 4.21 Grafik perbandingan tahanan kapal pada *calm water*

Gambar 4.21 menggambarkan kurva tahanan pada kapal model KCS dan kapal model X-bow. Dari grafik tersebut terlihat bahwa terdapat penurunan tahanan kapal yang signifikan pada Froude number 0.3 keatas. Perbandingan reduksi tahanan kapal dapat kita lihat pada table 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Tabel reduksi tahanan kapal menggunakan X-bow

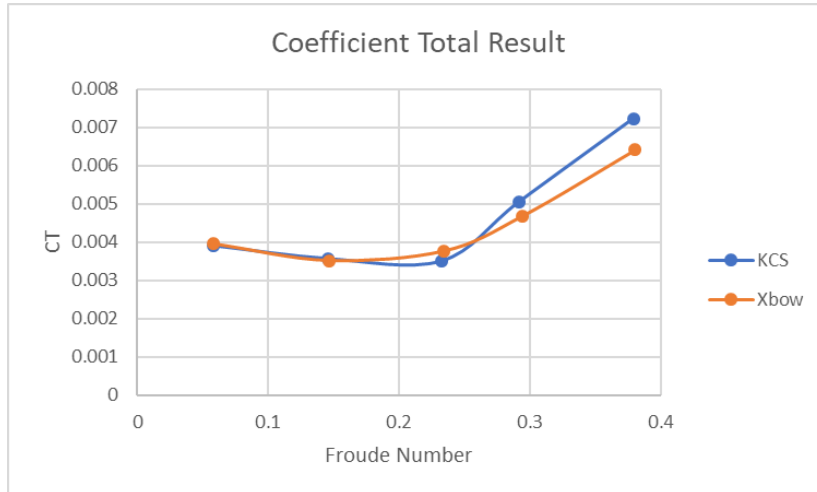
v	Fn	Rt
0.5	0.06	4%
1.25	0.15	7%
2	0.23	2%
2.5	0.29	12%
3.25	0.38	16%

Dari grafik dan table 4.2, kapal model dengan bentuk X-Bow menghasilkan nilai tahanan kapal yang lebih kecil dibandingkan kapal model KCS pada setiap Froude Number dan kecepatan kapal.

4.3 Analisa Perbandingan Koefisien Tahanan Total dan Koefisien Tahanan Glombang Kapal Model KCS dan X-Bow pada Calm Water

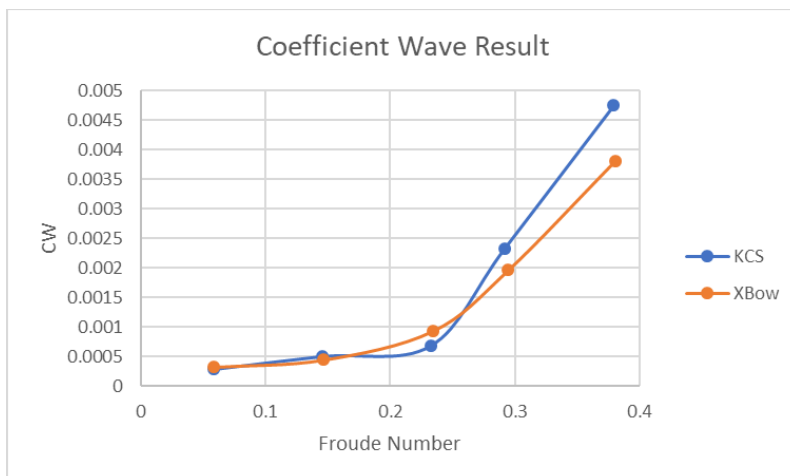
Koefisien tahanan kapal merupakan salah satu factor yang paling menentukan nilai tahanan dari kapal. Semakin besar koefisien tahanan kapal maka semakin besar pula nilai tahanan yang akan dihasilkan oleh kapal. Terdapat dua koefisien tahanan kapal yang diperhitungkan dan dibandingkan

pada penelitian kali ini, yaitu C_t dan C_w . Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus yang terdapat pada ITTC 1995. Nilai koefisien tahanan tersebut nantinya akan digunakan untuk ekstrapolasi tahanan kapal, sesuai metode ITTC.



Gambar 4.22 Grafik perbandingan koefisien total tahanan kapal pada calm water

Koefisien tahanan total kapal model pada F_n 0.06 sampai 0.15 cenderung menurun. Lalu pada F_n 0.23 sampai seterusnya terus menanjak. Dilihat dari gambar 4.22 dan 4.23 koefisien tahanan kapal KCS lebih besar dari pada kapal X-Bow pada F_n 0.15, 0.29, dan 0.38.



Gambar 4.23 Grafik perbandingan koefisien total tahanan kapal pada *calm water*

Koefisien tahanan kapal model KCS pada F_n 0.06 dan 0.23 lebih kecil dari kapal model X-bow, masing-masing sebesar 1 % dan 4 % (C_t) lalu 13 %

dan 19 %(C_w). Pada F_n 0.23 koefisien tahanan kapal model KCS lebih rendah dari pada kapal model X-bow. Hal ini disebabkan dikarenakan pada F_n tersebut efek *bulbous bow* kapal model KCS bekerja sehingga tahanannya berkurang dan mempengaruhi koefisien tahanan gelombang. Naik-turunnya perbedaan koefisien tahanan kapal dipengaruhi oleh nilai tahanan kapal yang berbeda dan juga *wet surface area* yang berbeda antara kapal model KCS dan X-Bow. Dari grafik dan table 4.2 dibawah dapat dilihat perbandingan pengurangan tahanan dan koefisien tahanan kapal.

Tabel 4.3 Tabel reduksi koefisien tahanan kapal menggunakan X-bow pada *calm water*

v	F_n	R_t	C_t	C_f	C_w
0.5	0.06	4%	-1%	0%	-13%
1.25	0.15	7%	2%	0%	12%
2	0.23	2%	-4%	0%	-19%
2.5	0.29	12%	7%	0%	16%
3.25	0.38	16%	11%	-6%	20%

4.4 Ekstrapolasi Tahanan Kapal KCS dan X-Bow

Ekstrapolasi dilakukan untuk mengetahui bagaimana nilai tahanan yang akan diterima oleh kapal. Nilai tahanan tersebut di ekstrapolasi kan berdasarkan hasil simulasi CFD dari kapal model KCS dan X-Bow. Kapal yang digunakan untuk ekstrapolasi adalah Maersk Cape Town. Kapal model yang telah di uji di scale up sesuai skala kapal model dan Maersk Cape Town. Berikut merupakan data kapal Maersk Cape Town :



Gambar 4.24 Gambar kapal Maersk Cape Town

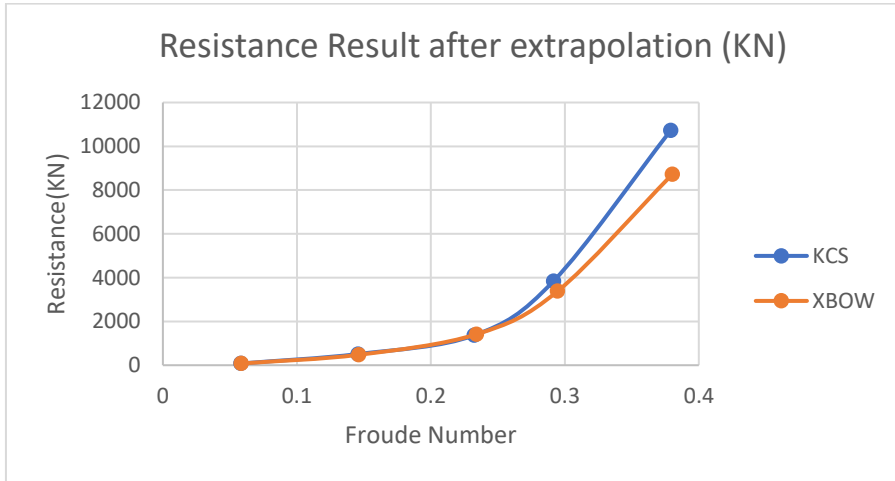
Skala : 33.242
 Lpp : 249.12m
 Breadth : 37.4 m

Deadweight : 61614 Ton

CB : 0.651

Wetted Surface Area : 9897.9 m²

Wetted Surface Area(X-bow) : 9491 m²



Gambar 4.25 Gambar perbandingan tahanan kapal setelah ekstrapolasi

Sama halnya dengan reduksi tahanan pada kapal model, dilihat dari gambar 4.25 tahanan yang akan diterima oleh kapal asli yang telah di scale up lebih kecil apabila menggunakan bentuk bow X-bow. Semua tahanan pada setiap Froude number dapat direduksi menggunakan X-bow kecuali pada Froude number 0.23, tahanan bila menggunakan X-bow naik sebesar 3 %. Hal ini disebabkan oleh nilai dari koefisien tahanan kapal yang didapat dari perhitungan dan simulasi (C_t) pada F_n 0.23 lebih besar pada kapal yang dimodifikasi menggunakan X-bow. Selain itu luas permukaan basah kapal X-bow juga berbeda. Pada table 4.4 tertera bagaimana reduksi tahanan kapal yang telah di ekstrapolasi dalam bentuk persentasi.

Tabel 4.4 Tabel reduksi tahanan kapal yang telah di ekstrapolasi (*calm water*)

v	F_n	Rt
0.5	0.06	2%
1.25	0.15	7%
2	0.23	-3%
2.5	0.29	12%
3.25	0.38	19%

Tabel 4.5 akan menunjukkan nilai tahanan yang telah di ekstrapolasi ke kapal asli. Pada Tabel dibawah ini satuan tahanan yang digunakan adalah *Kilonewton*.

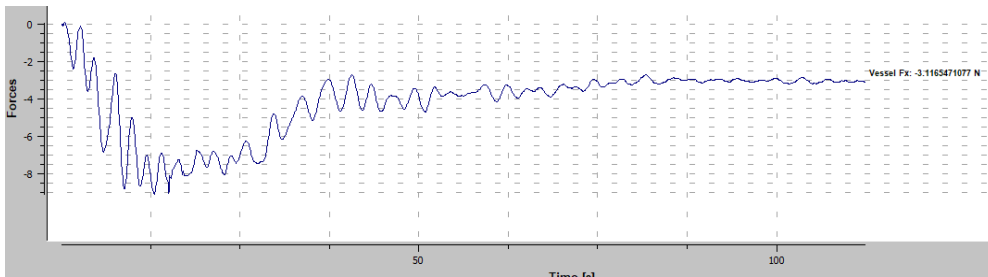
Tabel 4.5 Tabel nilai tahanan kapal yang telah di ekstrapolasi (*calm water*)

v	Fn	Rt(KCS)	Rt(X-bow)
0.5	0.06	79.7989003	78.52109318
1.25	0.15	511.938586	478.2777329
2	0.23	1367.39098	1413.998929
2.5	0.29	3844.41997	3380.270316
3.25	0.38	10728.8916	8726.231677

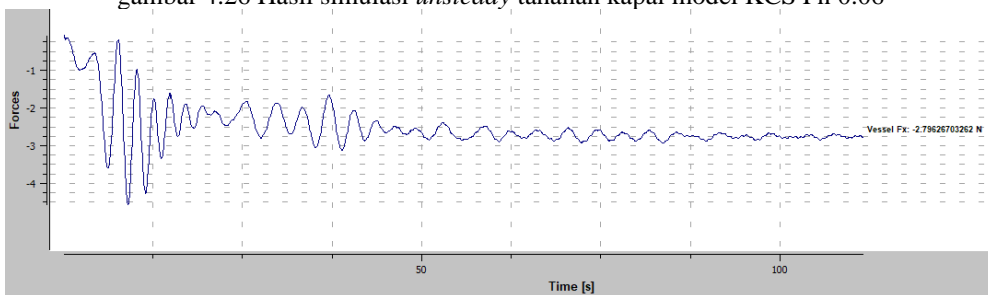
4.5 Hasil Simulasi CFD Unsteady Tinggi Gelombang 0.04 m

Pengujian juga dilakukan dalam keadaan perairan bergelombang. Untuk melakukan pengujian tersebut, pengujian menggunakan *software* dilakukan secara *unsteady*. *Setting* dapat diatur pada menu *general parameter*. Setelah mengatur setting unsteady dilakukan penginputan gelombang meliputi arah, tinggi gelombang setinggi 0.04 m dan periode gelombang, seperti yang telah dijelaskan pada bab 3. Sama halnya dengan pengujian pada *calm water*, model diujikan adalah *half body* maka hasil nilai tahanan yang terdapat pada gambar-gambar di bawah dikalikan 2.

a. Kecepatan 0.5 m/s Froude Number 0.06

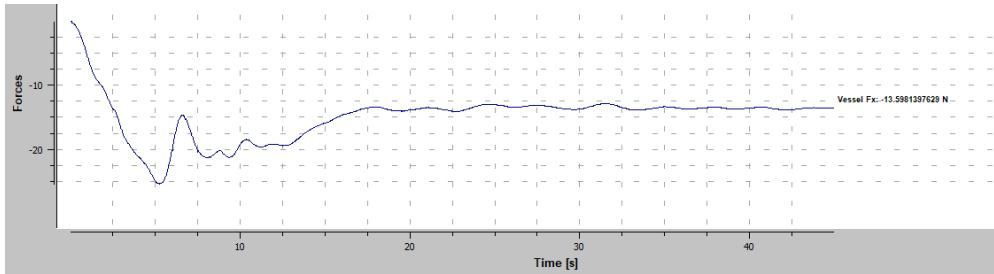


gambar 4.26 Hasil simulasi *unsteady* tahanan kapal model KCS Fn 0.06

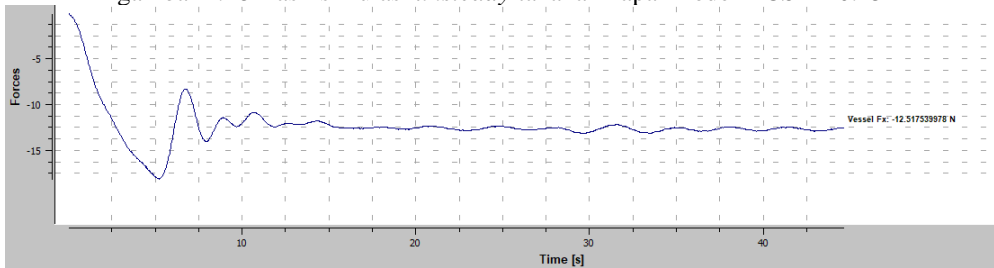


gambar 4.27 Hasil simulasi *unsteady* tahanan kapal model X-bow Fn 0.06

b. Kecepatan 1.25 m/s Froude Number 0.15

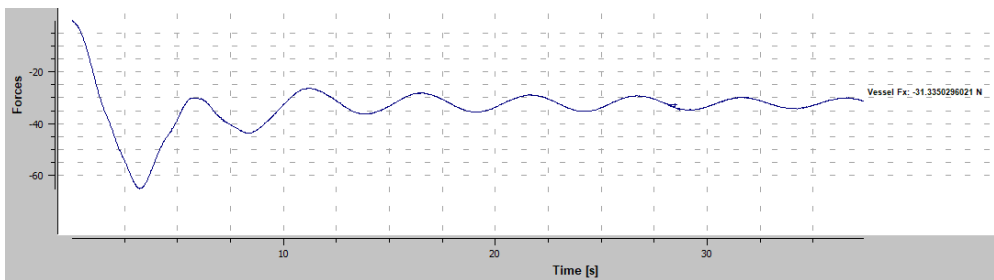


gambar 4.28 Hasil simulasi *unsteady* tahanan kapal model KCS Fn 0.15

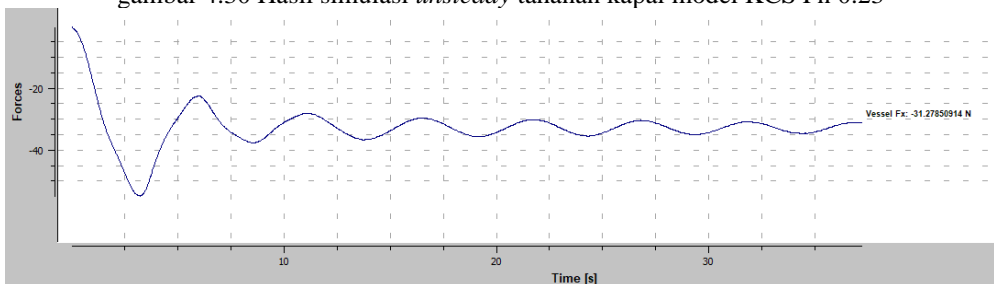


gambar 4.29 Hasil simulasi *unsteady* tahanan kapal model X-bow Fn 0.15

c. Kecepatan 2 m/s Froude Number 0.23

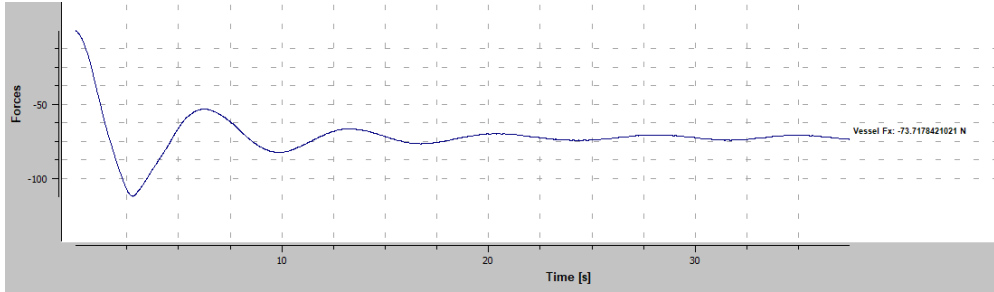


gambar 4.30 Hasil simulasi *unsteady* tahanan kapal model KCS Fn 0.23

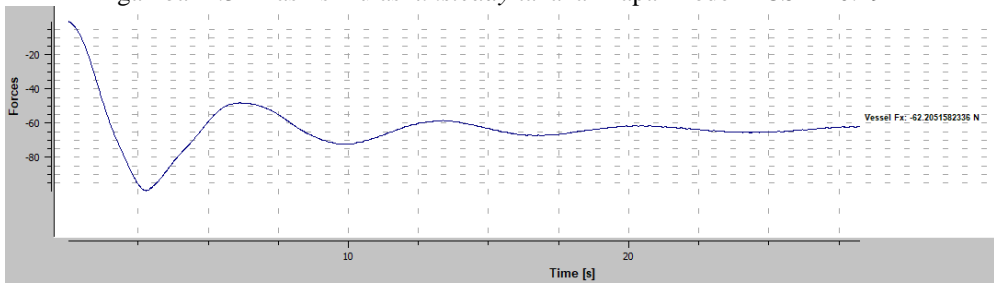


gambar 4.31 Hasil simulasi *unsteady* tahanan kapal model X-bow Fn 0.23

d. Kecepatan 2.5 m/s Froude Number 0.29

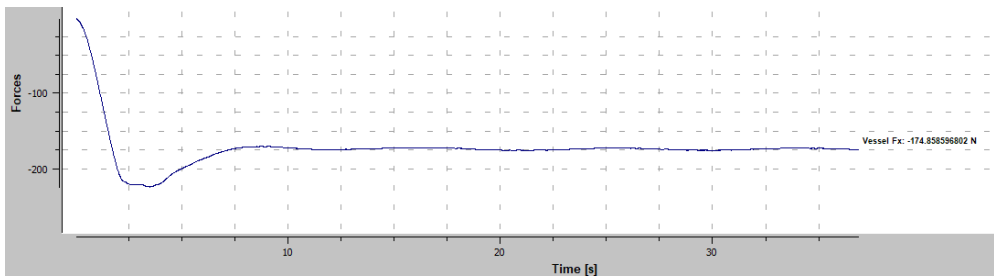


gambar 4.32 Hasil simulasi *unsteady* tahanan kapal model KCS Fn 0.29

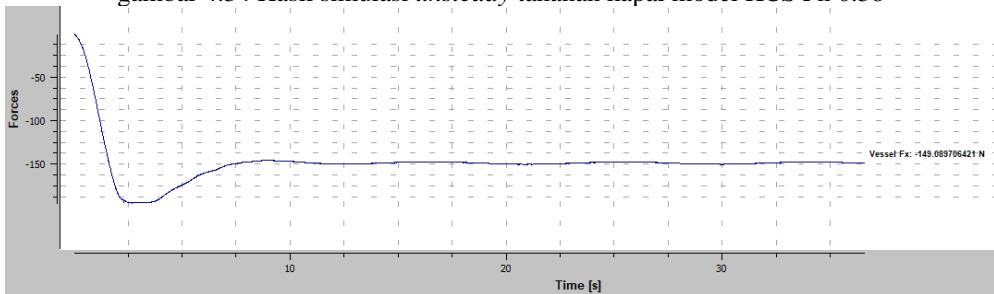


gambar 4.33 Hasil simulasi *unsteady* tahanan kapal model X-bow Fn 0.29

e. Kecepatan 3.25 m/s Froude number 0.38



gambar 4.34 Hasil simulasi *unsteady* tahanan kapal model KCS Fn 0.38



gambar 4.35 Hasil simulasi *unsteady* tahanan kapal model X-bow Fn 0.38

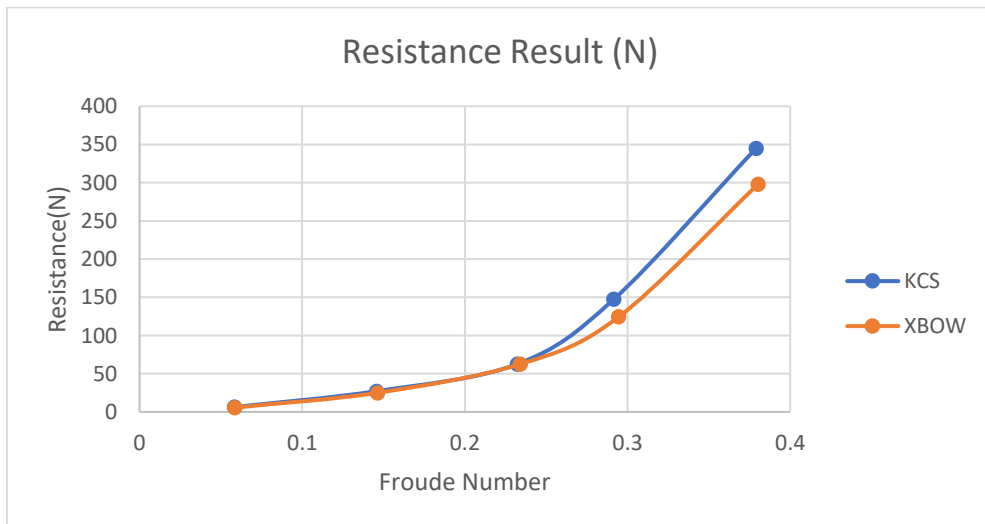
4.6 Analisa Perbandingan Tahanan Kapal Model KCS dan X-Bow dengan Gelombang 0.04 m

Dari data tahanan kapal yang didapatkan, kita dapat mengetahui bagaimana pengaruh perbedaan bentuk bow kapal model terhadap nilai tahanan. Nilai tahanan yang telah dikalikan 2 terdapat pada table 4.6 dimana dapat kita lihat terjadi pengurangan nilai tahanan pada setiap *Froude Number* atau kecepatan kapal apabila menggunakan bentuk bow X-bow.

Tabel 4.6 Tabel tahanan kapal model KCS dan X-bow pada gelombang tinggi 0.04 m

v	Fn	Rt(KCS)	Rt(X-bow)
0.5	0.06	6.333094	5.592534
1.25	0.15	27.19628	25.03508
2	0.23	62.67006	62.55702
2.5	0.29	147.4357	124.4103
3.25	0.38	345.0234	298.1794

Data yang didapatkan pada pengujian tahanan kapal dengan tinggi gelombang 0.04 m memiliki kesamaan dengan data tahanan kapal pada *calm water*. Keduanya sama-sama menunjukkan bahwa terjadi penurunan tahanan kapal bila menggunakan bentuk bow X-bow. Pada gambar 4.36 grafik menunjukkan terdapat perbedaan nilai tahanan yang signifikan pada Fn 0.29 dan seterusnya.



Gambar 4.36 Grafik perbandingan tahanan kapal pada tinggi gelombang 0.04 m

Dari grafik dan table 4.7, kapal model dengan bentuk bow X-Bow menghasilkan nilai tahanan kapal yang lebih kecil dibandingkan kapal model KCS pada setiap *Froude Number* dan kecepatan kapal. Ditunjukkan oleh table

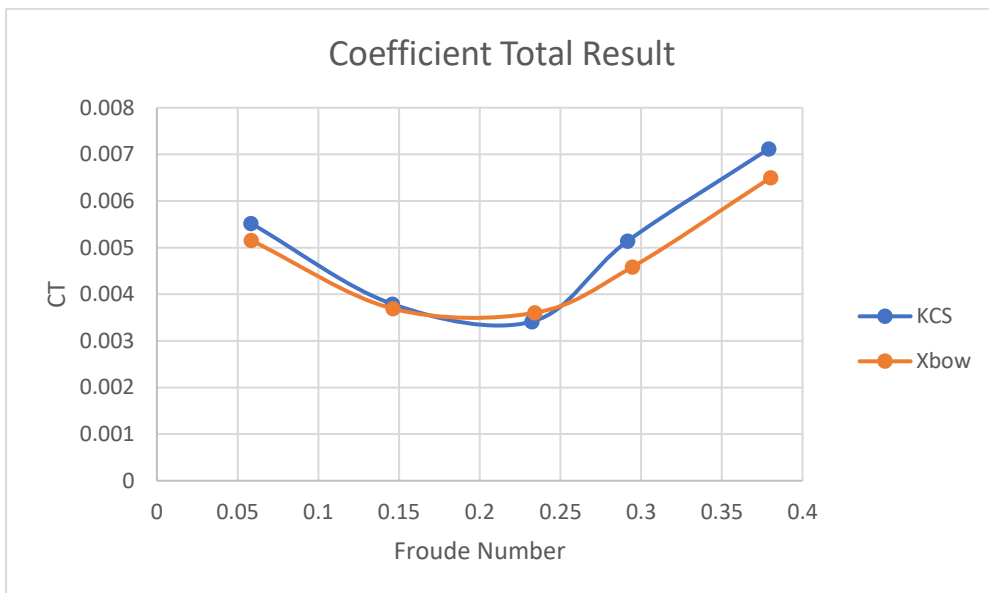
4.6, tahanan kapal model X-bow dan KCS pada F_n 0.23 nyaris tidak memiliki perbedaan sehingga reduksi tahananannya 0%, akan tetapi tetap terjadi pengurangan nilai tahanan.

Tabel 4.7 Tabel reduksi tahanan kapal menggunakan X-bow pada tinggi gelombang 0.04 m

v	F_n	Rt
0.5	0.06	12%
1.25	0.15	8%
2	0.23	0%
2.5	0.29	16%
3.25	0.38	14%

4.7 Analisa Perbandingan Koefisien Tahanan Total dan Koefisien Tahana Gelombang Kapal Model KCS dan X-Bow dengan Gelombang 0.04 m

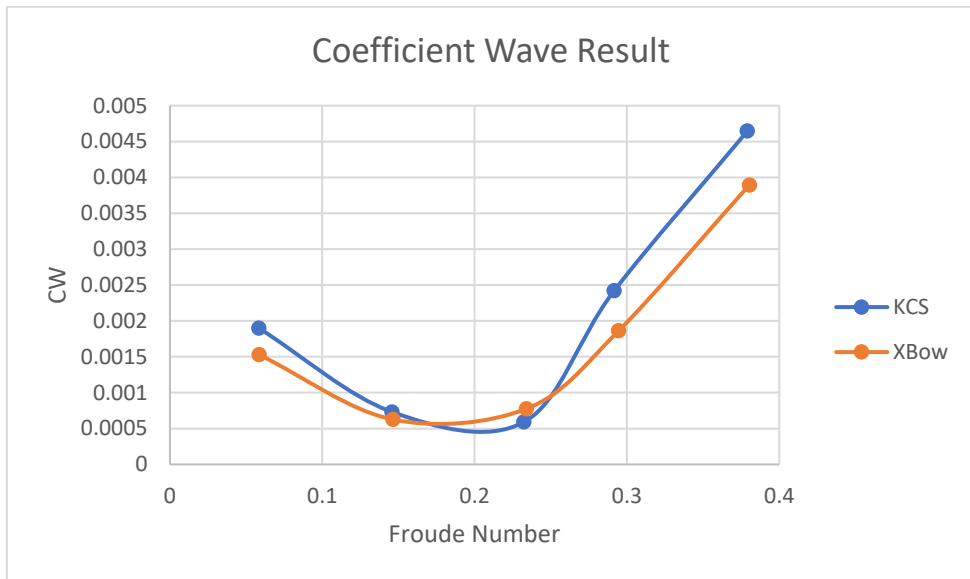
Berikut merupakan gambar hasil perhitungan koefisien tahanan kapal yang diujikan pada tinggi gelombang 0.04 m. Metode yang dilakukan untuk mendapatkan nilai koefisien tahanan kali ini sama dengan metode yang digunakan untuk mencari nilai koefisien tahanan pada *calm water*.



Gambar 4.37 Grafik perbandingan koefisien total tahanan kapal pada tinggi gelombang 0.04 m

Dilihat dari gambar 4.37 Koefisien tahanan total kapal model pada F_n 0.06 sampai 0.23 cenderung menurun. Lalu pada F_n 0.23 sampai seterusnya terus

menanjak. Dilihat dari gambar 4.37 dan 4.38 koefisien tahanan total dan gelombang kapal KCS lebih besar dari pada kapal X-Bow pada semua nilai *Froude Number* kecuali pada nilai *Froude Number* 0.23.



Gambar 4.38 Grafik perbandingan koefisien gelombang tahanan kapal pada tinggi gelombang 0.04 m

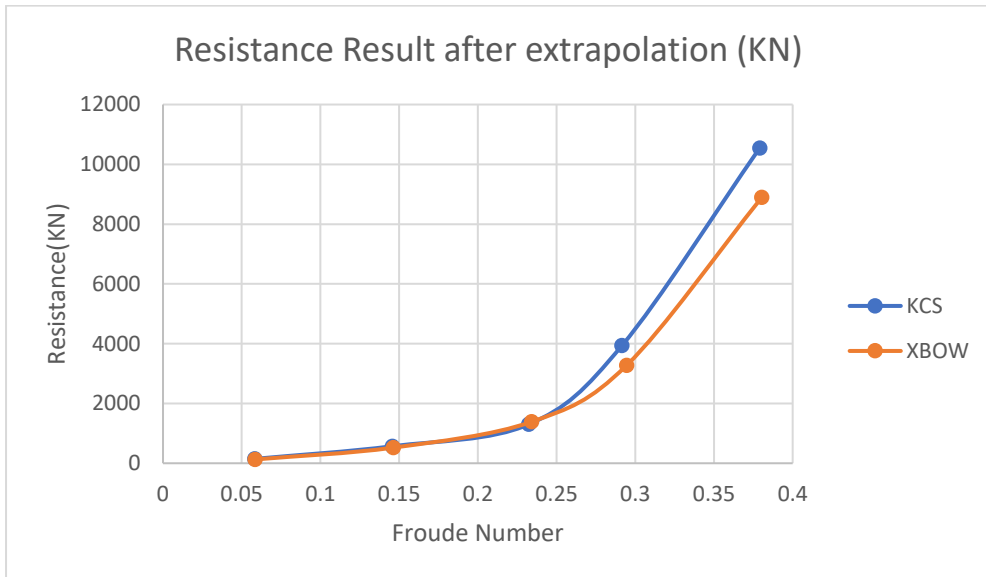
Grafik pada gambar 4.38 memperlihatkan kita bahwa, pada Fn 0.23 koefisien tahanan kapal model KCS lebih rendah dari pada kapal model X-bow, dengan nilai reduksi koefisien tahanan masing-masing lebih besar 6%(Ct) dan 31%(Cw). Hal ini disebabkan dikarenakan pada Fn tersebut efek bulbous bow kapal model KCS bekerja sehingga tahanannya berkurang maka dari itu perhitungan menghasilkan nilai koefisien tahanan yang demikian. Naik-turunnya perbedaan koefisien tahanan kapal dipengaruhi oleh nilai tahanan kapal yang berbeda dan juga *wet surface area* yang berbeda antara kapal model KCS dan X-Bow. Dari grafik dan table 4.8 dibawah dapat dilihat perbandingan pengurangan tahanan dan koefisien tahanan kapal.

Tabel 4.8 Tabel reduksi koefisien tahanan kapal menggunakan X-bow pada tinggi gelombang 0.04 m

v	Fn	Rt	Ct	Cf	Cw
0.5	0.06	12%	7%	0%	20%
1.25	0.15	8%	3%	0%	14%
2	0.23	0%	-6%	0%	-31%
2.5	0.29	16%	11%	0%	23%
3.25	0.38	14%	9%	-6%	16%

4.8 Ekstrapolasi Tahanan Kapal KCS dan X-Bow pada Perairan Bergelombang

Ekstrapolasi nilai tahanan kapal dilakukan dengan metode dan dimensi kapal asli yang sama dengan pengujian sebelumnya (*calm water*). Akan tetapi kali ini ekstrapolasi dilakukan menggunakan nilai koefisien tahanan pada pengujian *unsteady* dengan tinggi gelombang 0.04 m yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya. Bila di *scale up* tinggi gelombang akan adalah sebesar 1.329 m sesuai dengan skala.



Gambar 4.39 Grafik perbandingan tahanan kapal pada tinggi gelombang 0.04 m setelah ekstrapolasi

Sama seperti hasil ekstrapolasi sebelumnya nilai tahanan dengan menggunakan bentuk bow X-bow lebih kecil, kecuali pada Fn 0.23 yang nilai tahananya bila menggunakan X-bow naik sebesar 3 %.. Hal ini disebabkan oleh nilai dari koefisien tahanan kapal yang didapat dari perhitungan dan simulasi (C_t) pada Fn 0.23 lebih besar pada kapal yang dimodifikasi menggunakan X-bow. Selain itu luas permukaan basah kapal X-bow juga berbeda. Pada table 4.8 tertera bagaimana reduksi tahanan kapal yang telah di ekstrapolasi dalam bentuk persentasi.

Tabel 4.9 Tabel reduksi tahanan kapal pada tinggi gelombang 0.04 m yang telah di ekstrapolasi

v	Fn	Rt
0.5	0.06	14%
1.25	0.15	8%
2	0.23	-7%
2.5	0.29	17%
3.25	0.38	16%

Tabel 4.10 akan menunjukkan nilai tahanan yang telah di ekstrapolasi ke kapal asli. Pada Tabel dibawah ini satuan tahanan yang digunakan adalah *Kilonewton*.

Tabel 4.10 Tabel nilai tahanan kapal pada tinggi gelombang 0.04 m yang telah di ekstrapolasi

v	Fn	Rt(KCS)	Rt(X-bow)
0.5	0.06	147.592201	127.3847125
1.25	0.15	569.873398	523.323865
2	0.23	1301.79836	1386.63577
2.5	0.29	3938.27488	3278.563715
3.25	0.38	10543.819	8890.581057

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan bentuk bow X-bow pada kapal KCS yang diuji di keadaan *calm water* akan memberikan penurunan nilai tahanan kapal pada setiap nilai Fn. Penurunan terbesar terjadi pada Fn 0.38 sebesar 16%.
2. Kapal yang menggunakan bentuk bow X-bow juga dapat menghasilkan nilai tahanan yang lebih kecil pada perairan gelombang sekalipun (gelombang dengan tinggi 0.04 m). Penurunan tahanan kapal paling besar terjadi pada Fn 0.29 sebesar 16%.

5.2 Saran

Adapun penelitian ini tidak lepas dari kesalahan-kesalahan, oleh karena itu berikut saran untuk penelitian ini:

1. Perlu dilakukan lebih banyak pengujian dengan variasi tinggi gelombang, sehingga dapat di proyeksikan bagaimana pengaruh tahanan kapal dengan menggunakan bentuk bow X-bow pada setiap level *sea state*.
2. Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh bentuk bow X-bow terhadap stabilitas statis dan dinamis dari kapal. Serta analisa ataupun perancangan X-bow dengan payload (container ataupun cargo) sebagai acuan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

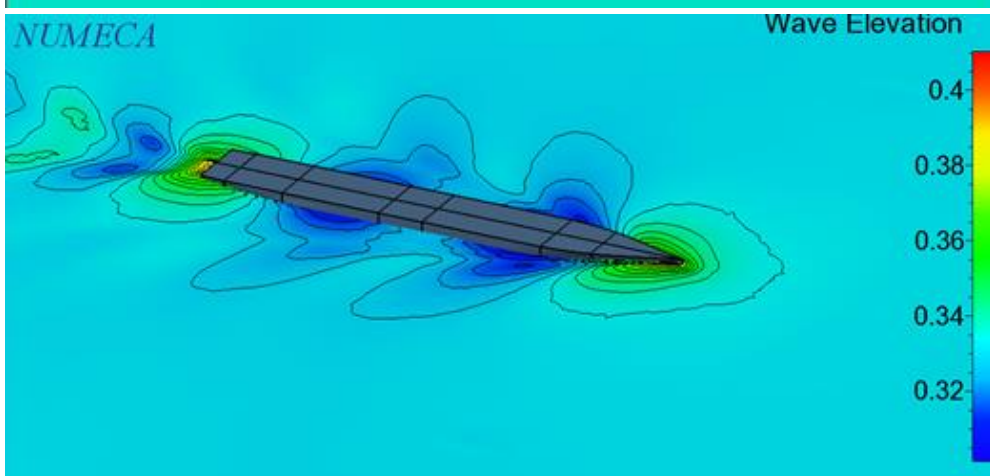
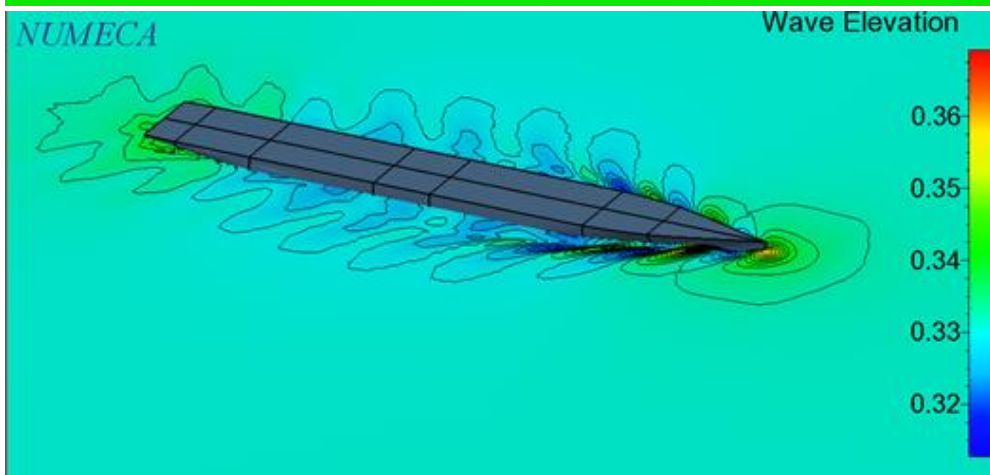
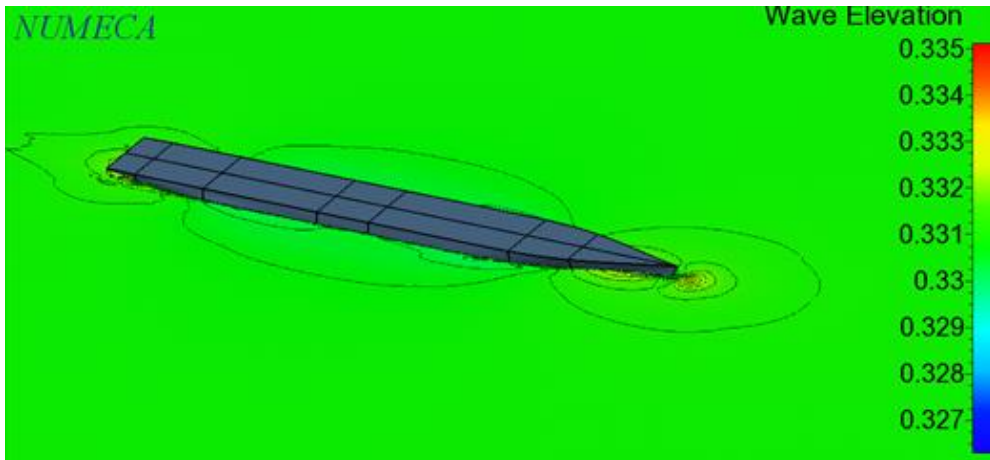
DAFTAR PUSTAKA

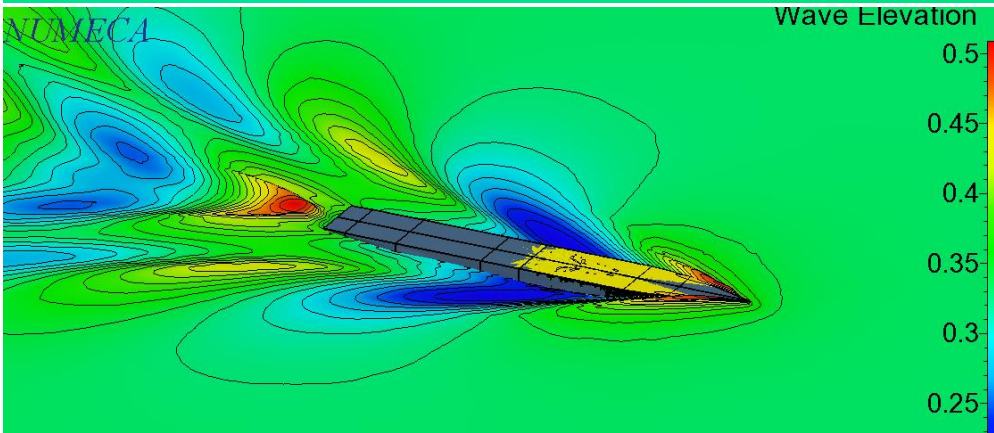
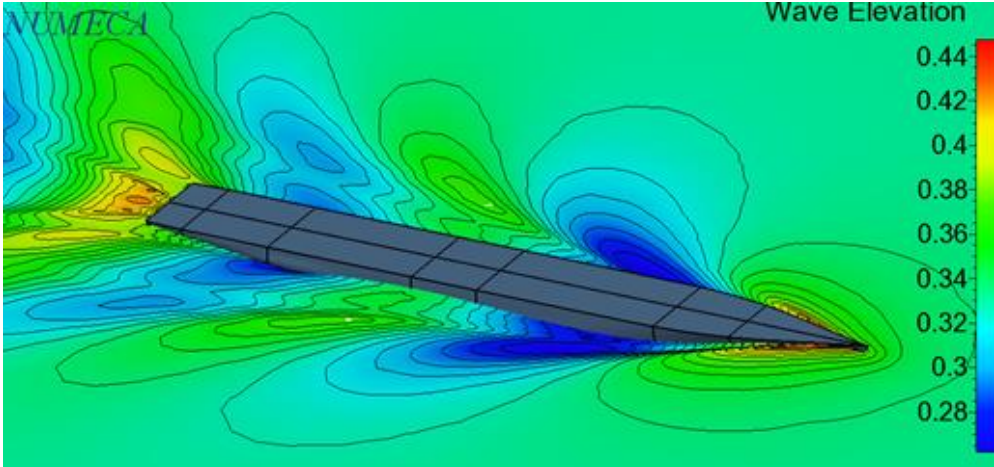
- [1] Apostolos, 2014 “Methodologies of Preliminary Design”.
- [2] D.G.M Watson, 1998, “Practical ship design”, Vol 1.
- [3] European Energy Agency
- [4] Hamdan Nuruddin, Iwan Mustaffa Kamal, Muhammad Nasuha Mansor and Nik Muhammad Hafidz, 2017, “Investigation on the Effect of Bulbous Bow Shape to the Wave Making Resistance of an Ultra Large Container Carrier (ULCC)”.
- [5] Hassan, Mohamed, 2017, “X-bow Design for Ship Energy Saving bow”.
- [6] Havelock, 1909, “The Wave Making Resistance of Ships : a Theoretical Analysis”
- [7] International Convention on Load lines
- [8] International Towing Tank Convention
- [9] Johnson, 1968, “Tests with Bulbous Bow on Trawlers”
- [10] Kratch, 1970 “Design of Bulbous Bow”
- [11] Kyriaziz, Georgios, 1998, “Bulbous Bow design Optimisation for Fast Ship”.
- [12] Luis Leal , Edison Flores, David Fuentes, Bharat Verma, 2018, “Hydrodynamic study of the influence of bulbous bow design for an Offshore Patrol Vessel using Computational Fluid Dynamics”.
- [13] Li. Chao, Wang. Yongsheng dan Chen. Jihua, 2016 “Study on the shape parameters of bulbous bow of tuna longline fishing vessel”.
- [14] M. A. Mosaad, H.M. Hassan, 2017, “Hydrodynamic and Geometrical Bow Shape for Energy Efficient Ship”.
- [15] Marcu,Oana dan Jagite George, 2012, “Model Scale Resistance Computation For The Kriso Container Ship”.
- [16] Øyvind Gjerde Kamsvåg, Ulstein Group, 2011, “Arrangement for a Vessel of the Displacement Type”.
- [17] R. Ragoth Singh, M. Nataraj, 2014, "Design and analysis of pump impeller using SWFS," *World Journal of Modelling and Simulation*, vol. 10, no. 1, pp. 152-160.

- [18] Saral. Dursun, Aydin. Muhsin, Kose. Ercan, 2018 “A Systematic Investigation of the Effect of Various Bulbous Bow on Resistance of Fishin Boat”.
- [19] Sharma, 2008 “Practical Hydrodynamics Design of bulbous Bow for Ship”.
- [20] United Nation Conference on Trade and Development
- [21] Yasser, Ahmed, 2015, “determining Ship Resistance using Computational Fluid Dynamics”.

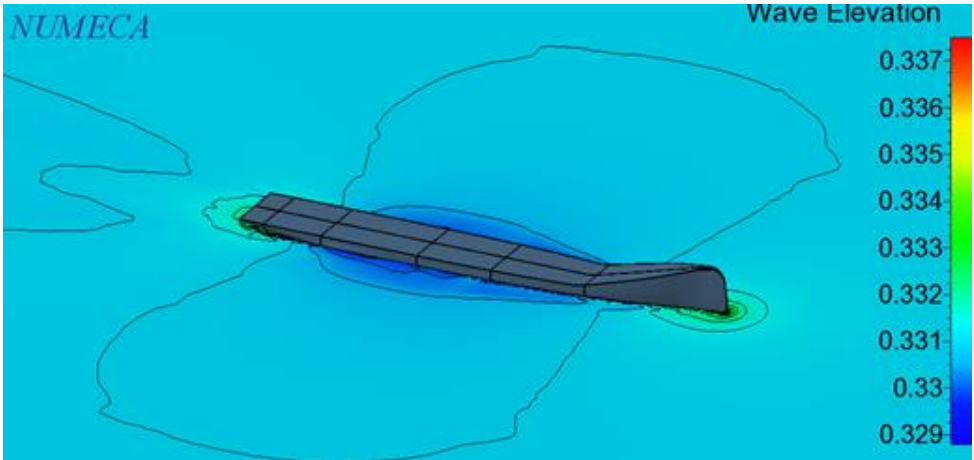
LAMPIRAN

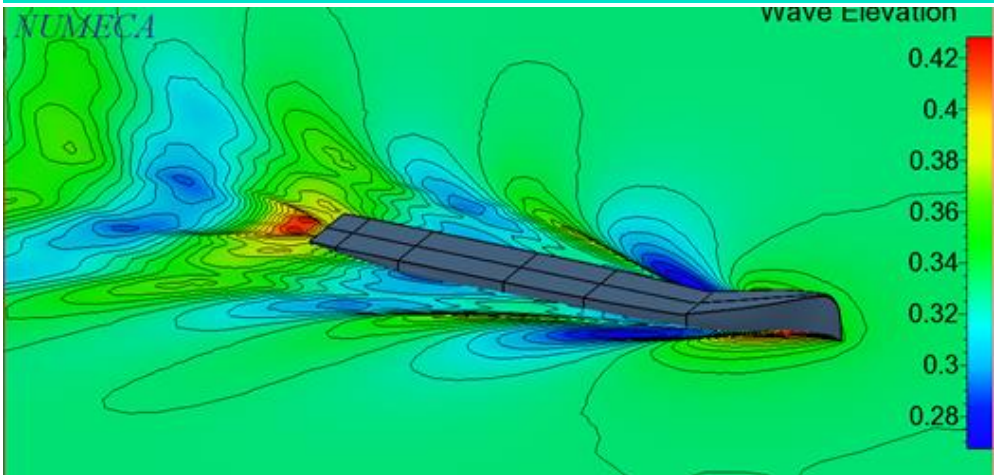
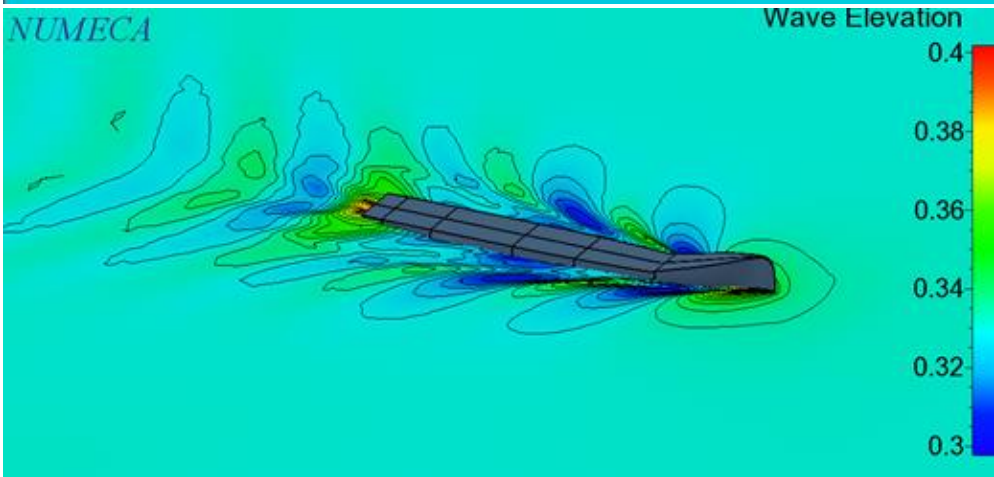
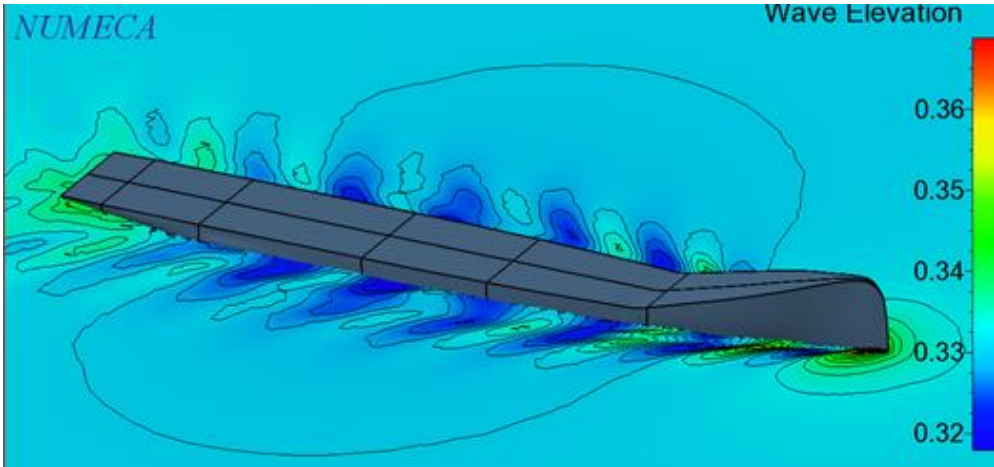
Free Surface KCS fn 0.06-0.38

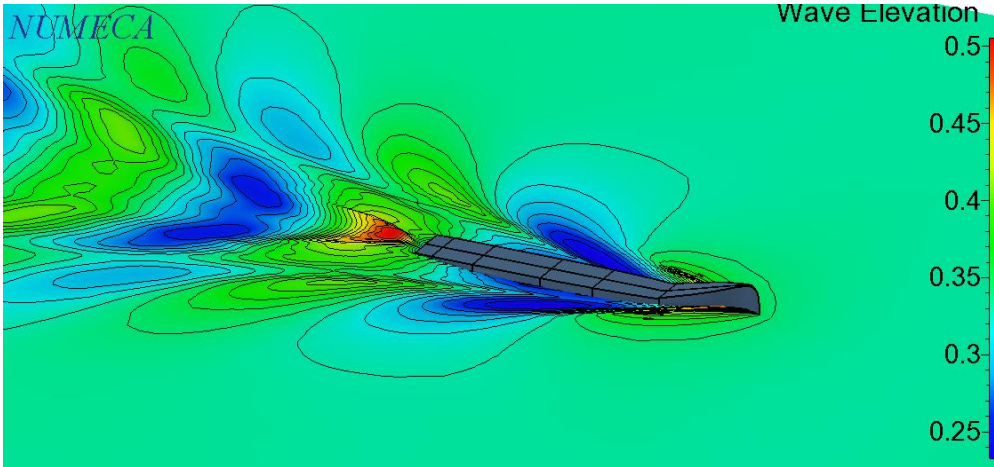




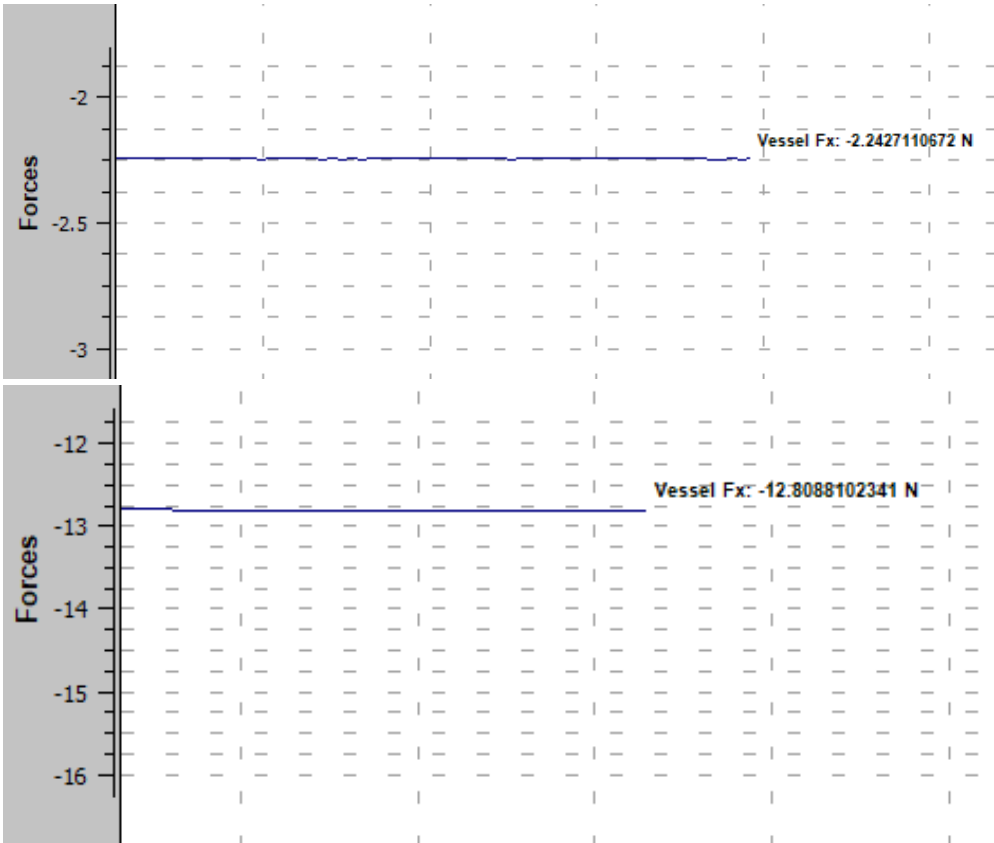
Free Surface X-Bow fn 0.06-0.38

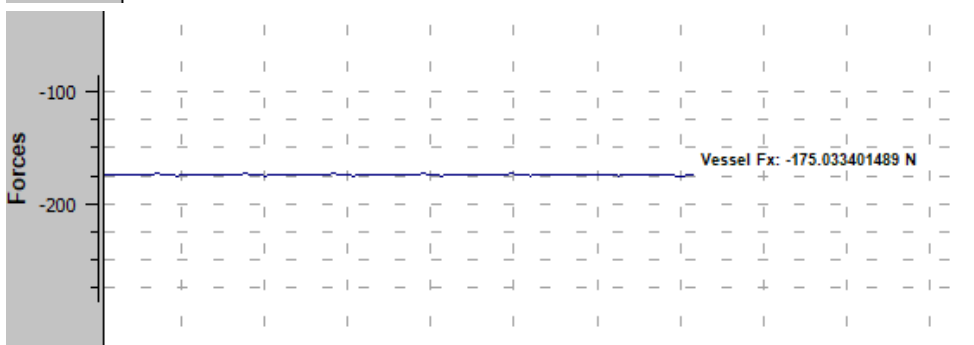
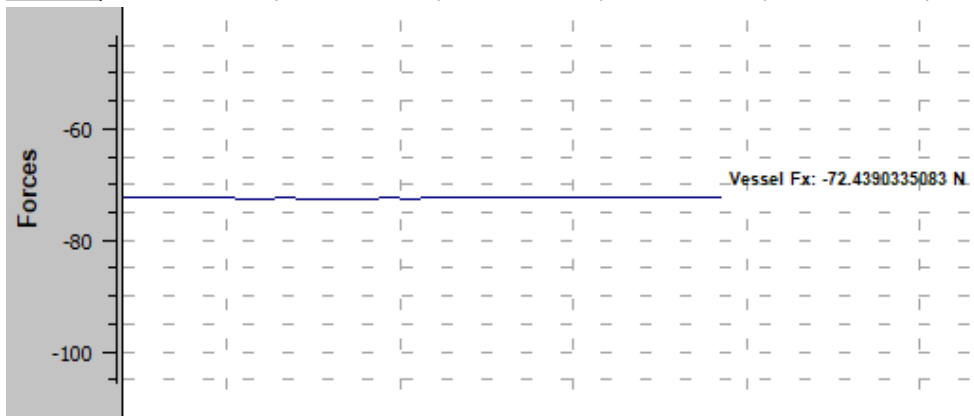
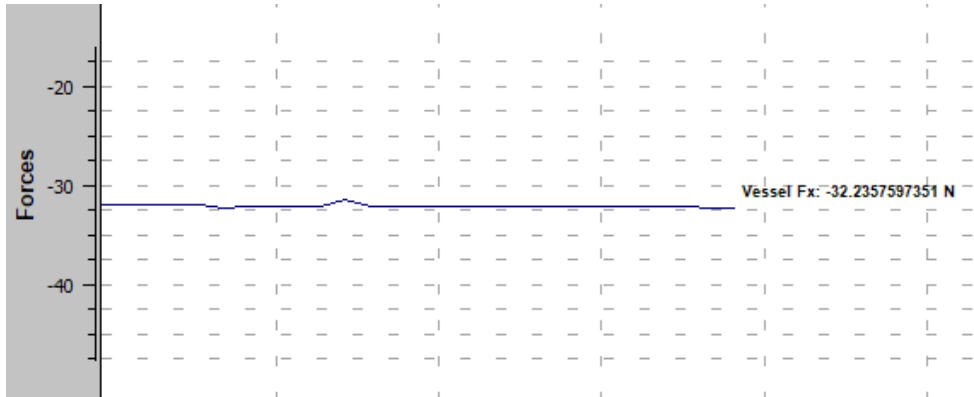




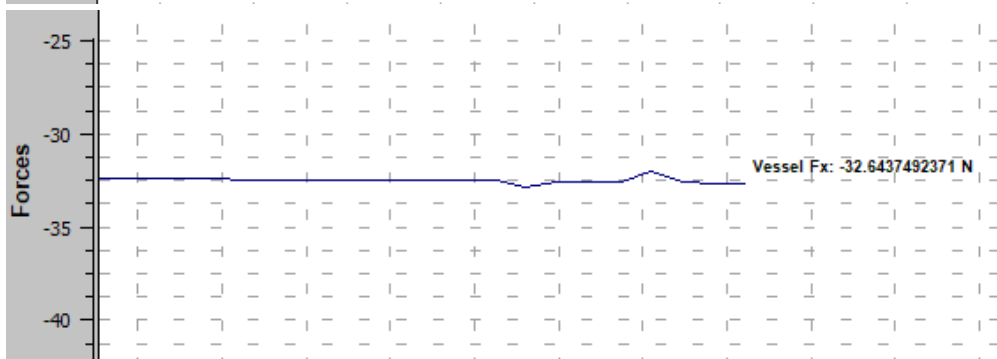
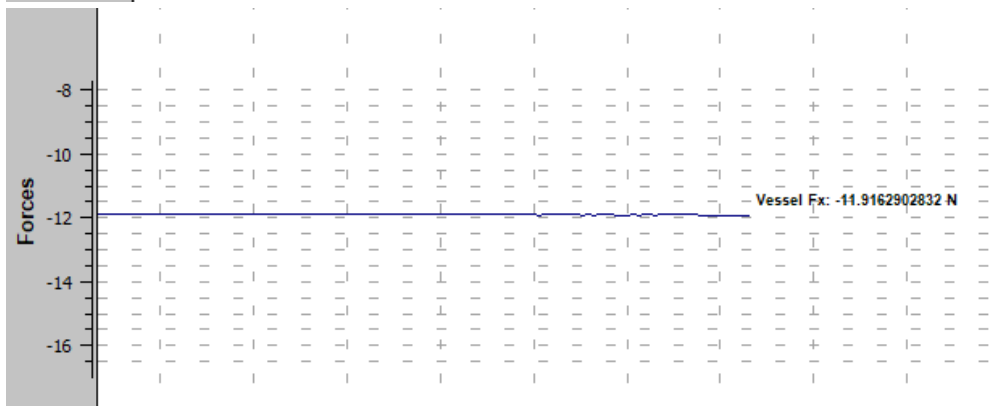
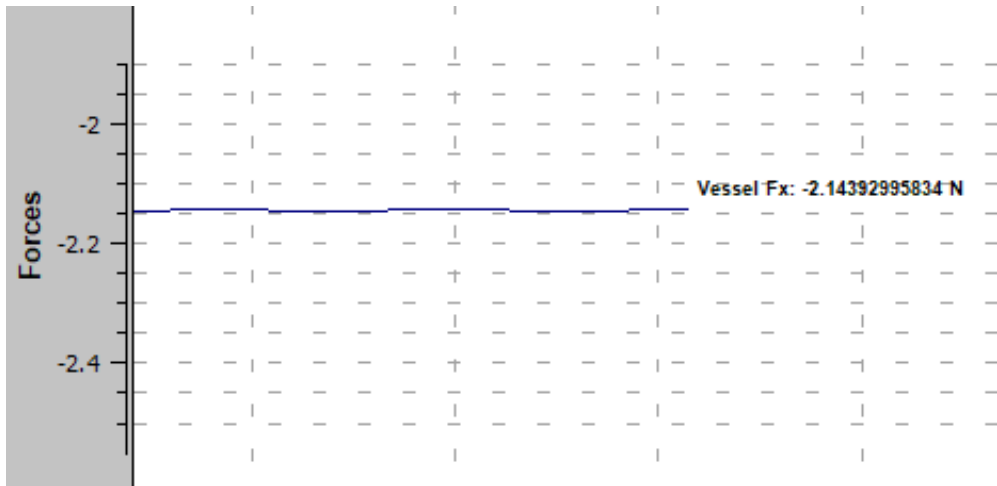


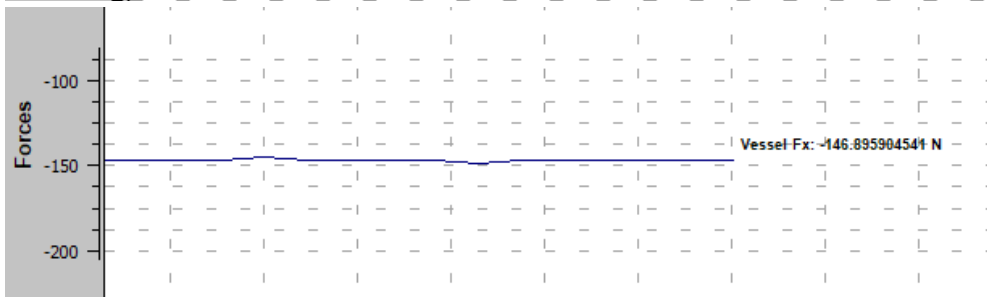
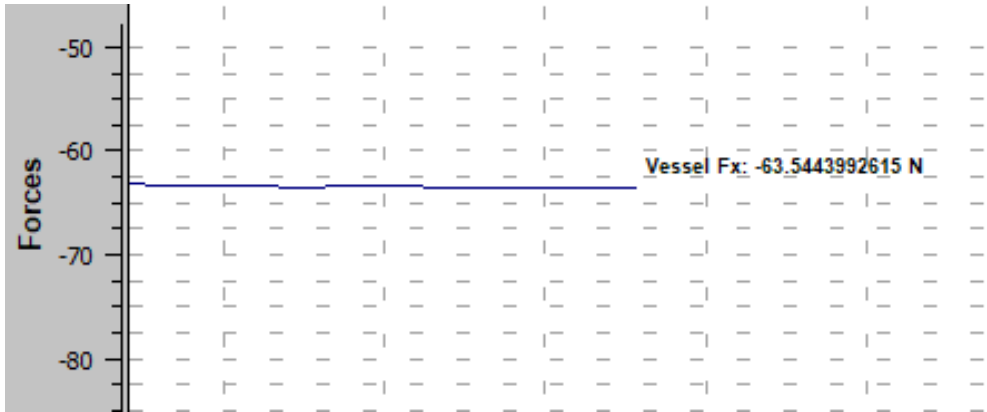
Record Tahanan KCS fn 0.06=0.38



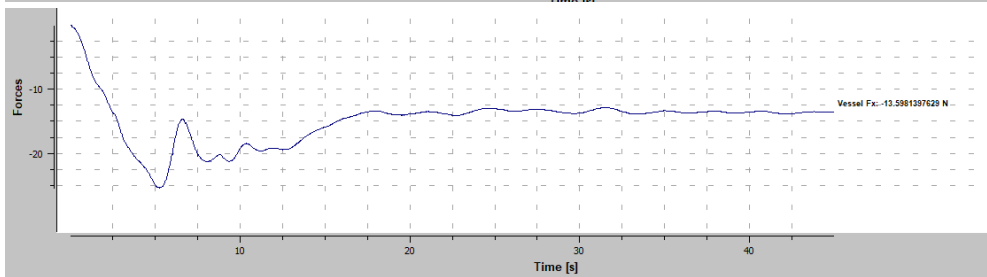
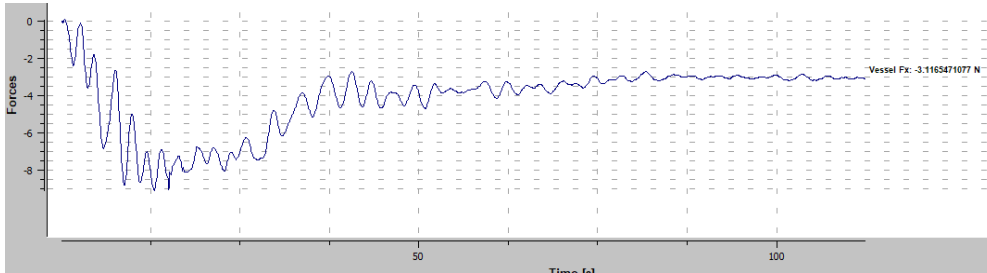


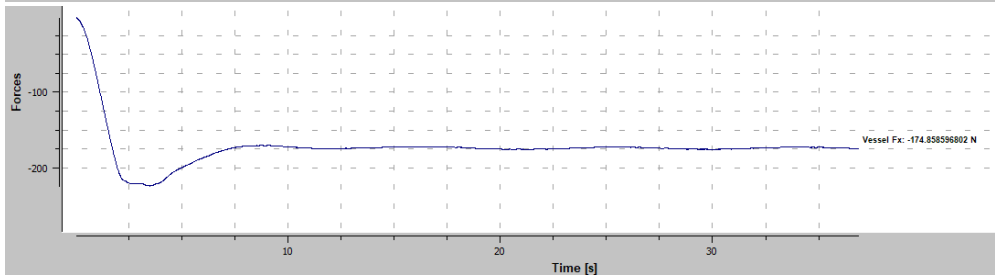
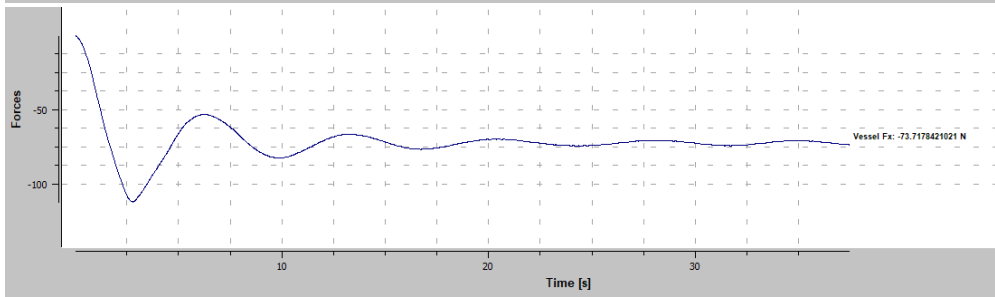
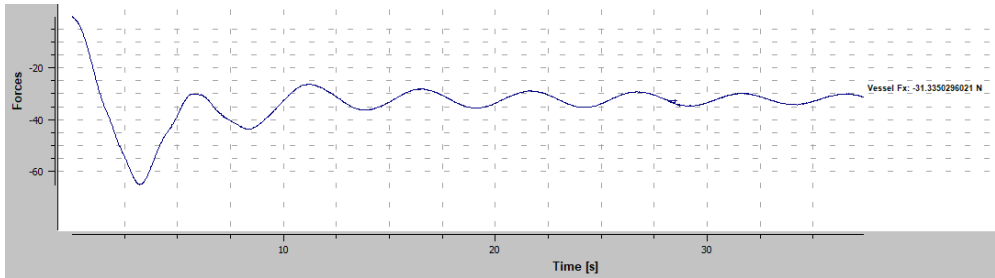
Record Tahanan X-bow fn 0.06-0.38



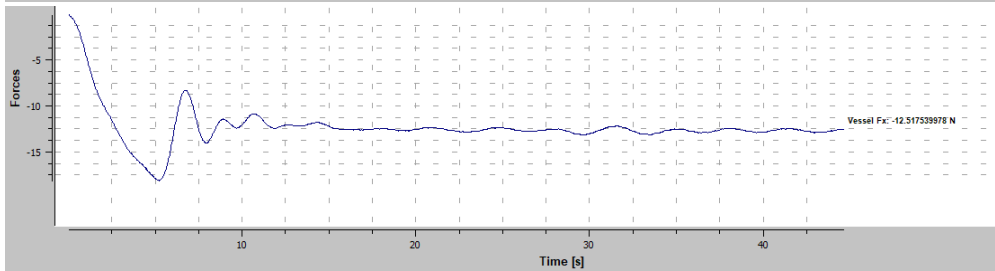
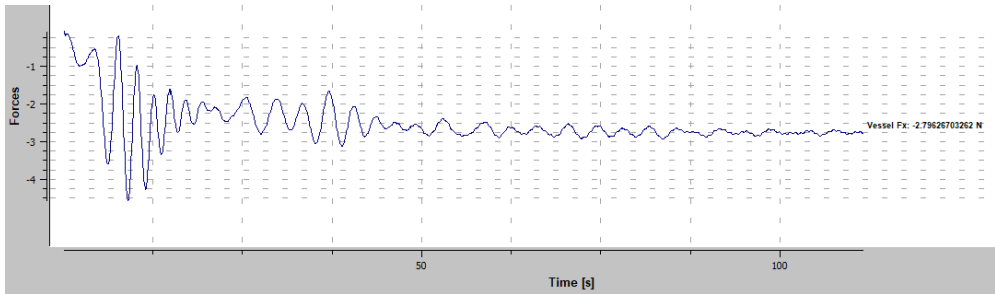


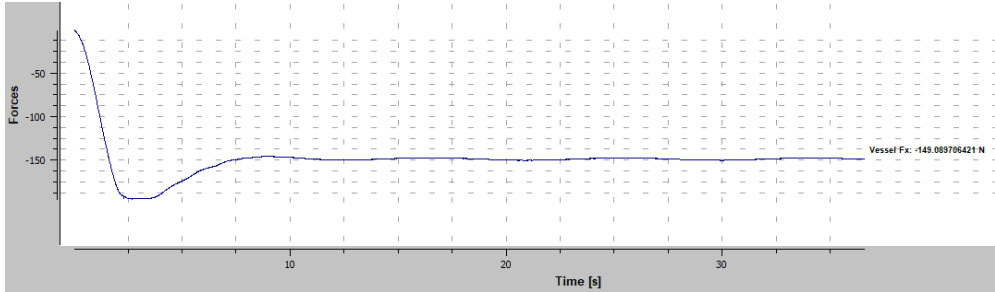
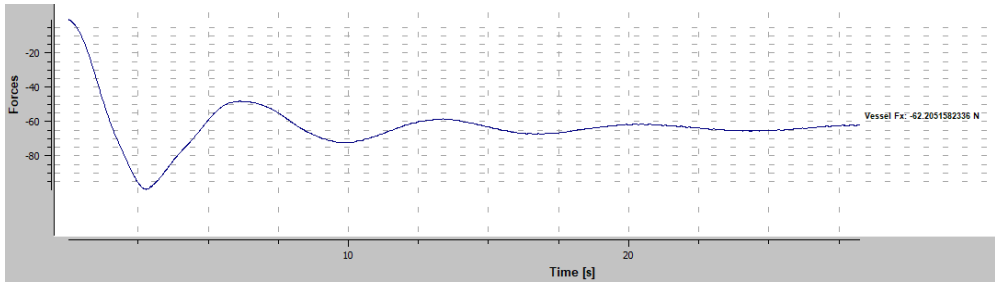
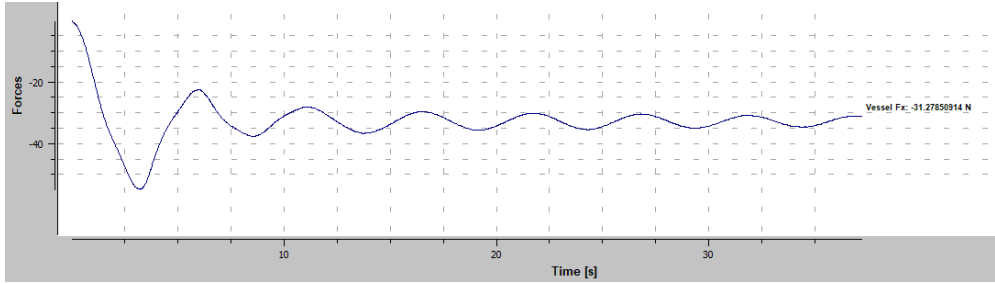
Record Tahanan dengan Gelombang KCS fn 0.06-0.38



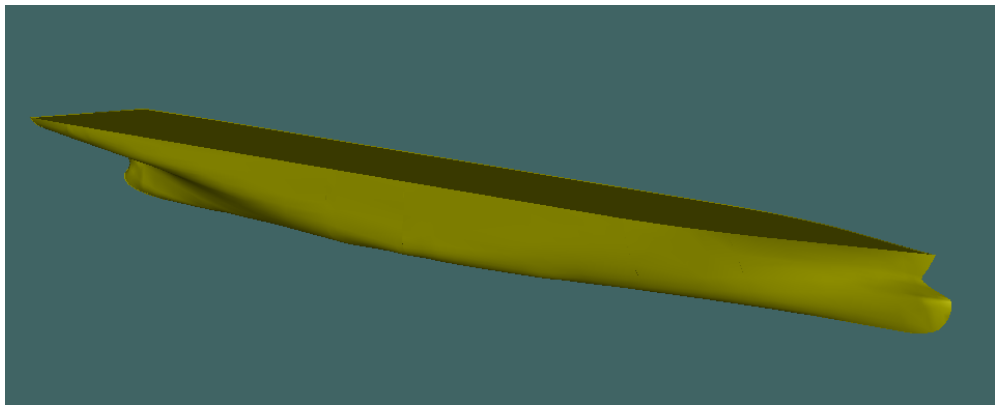


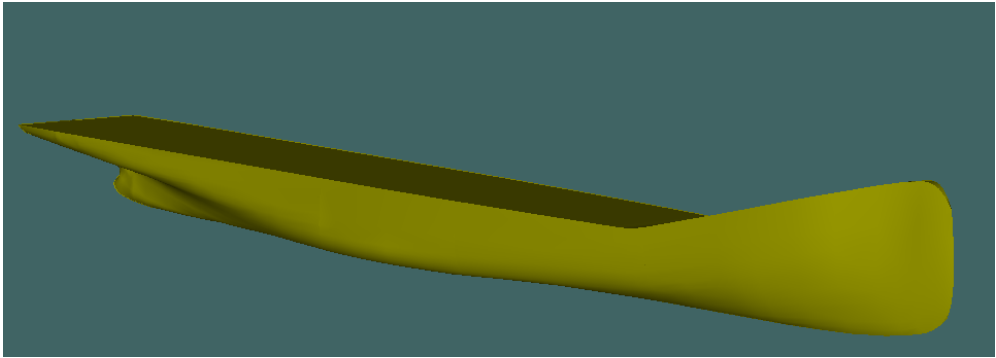
Record Tahanan dengan Gelombang X-bow fn 0.06-0.38





Maxsurf Render of KCS and X-bow model





BIODATA PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 11 Februari 1999. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh Pendidikan formal di SD Patra Mandiri III Palembang, SMP Negeri 1 Palembang, dan SMA Plus Negeri 17 Palembang. Penulis melanjutkan Pendidikannya kejenjang S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada 2015, dan mengambil Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember, dan terdaftar dengan NRP 04211540000075. Selama masa studi penulis aktif dalam keorganisasian mahasiswa di tingkat himpunan, pelatihan-pelatihan penunjang seperti maxsurf dan lain-lain. Penulis mengambil tugas akhir di bidang Marine Manufacturing Design (MMD).