



JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Pengaruh Penggunaan *Bulbous Bow* Terhadap Hambatan Kapal Container 18900 DWT dengan Metode *Holtrop* Berbasis *Python*

Gamal Ikhsan Rasyid¹⁾, Muhammad Iqbal²⁾, Ahmad Fauzan Zakkī³⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

³⁾e-mail :gamalikhsan@students.undip.ac.id

Abstrak

Hambatan kapal merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi efisiensi operasional, konsumsi bahan bakar, dan daya mesin. Penelitian ini membahas pengaruh penggunaan bulbous bow terhadap hambatan total kapal container 18.900 DWT dengan menggunakan metode Holtrop yang diimplementasikan dalam bahasa pemrograman Python dan dibandingkan dengan perangkat lunak Maxsurf Resistance. Salah satu inovasi desain lambung untuk menekan hambatan adalah penerapan bulbous bow pada bagian bawah haluan kapal. Objek penelitian ini terdiri dari 2 model, yaitu lambung tanpa bulbous bow (model 1) dan lambung dengan bulbous bow (model 2) dengan displacement yang sama, kemudian dilakukan analisis hambatan menggunakan pendekatan numerik berbasis Python dan simulasi Maxsurf Resistance. Validasi hidrostatis menunjukkan deviasi dari kedua model dibawah 5%, sehingga model dianggap layak untuk dianalisis lebih lanjut. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa hambatan total meningkat seiring bertambahnya kecepatan kapal. Pada kecepatan maksimum 13,8 knot di masing-masing perhitungan, didapatkan nilai selisih maksimal antara Python dan Maxsurf yaitu sekitar 6,5% pada model 1 dan 5,4 % pada model 2. Penambahan bulbous bow terbukti menurunkan hambatan pada kecepatan tinggi 12-13,8 knot, sesuai dengan fungsi utamanya sebagai pemecah gelombang. Secara keseluruhan, implementasi metode Holtrop berbasis Python memberikan hasil yang konsisten dan hampir menyerupai dengan perhitungan Maxsurf Resistance dan dapat dijadikan alternatif perhitungan numerik atau perhitungan untuk software open source (tidak berbayar).

Kata Kunci : Hambatan Kapal, Kapal Container, Bulbous Bow, Holtrop, Python

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia memiliki wilayah laut yang strategis dan kaya secara sumber daya. Letak geografis yang berada diantara dua benua dan dua samudera menempatkan Indonesia sebagai perhubungan rute pelayaran internasional serta zona strategis bagi keamanan maritim dan perdagangan global [1]

Transportasi laut memegang peranan penting dalam mendukung perdagangan internasional dan pertumbuhan ekonomi dunia. Lebih dari 80% perdagangan barang internasional diangkut melalui jalur laut, dimana transportasi laut menjadikan sebagai tulang punggung rantai pasar global dan penghubung utama antar negara [2]. s

Keunggulan utama transportasi laut terletak pada efisiensi dalam membawa barang dengan jumlah yang sangat besar tetapi dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan moda transportasi lainnya, seperti udara. Selain itu, sektor ini juga semakin didorong oleh perkembangan teknologi seperti sistem manajemen pelabuhan yang lebih canggih dan penggunaan kapal yang lebih besar dan efisien. [3].

Kapal sebagai alat transportasi laut merupakan salah satu sarana yang sangat penting untuk menunjang perpindahan atau pengiriman barang dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan menempuh jalur laut. Hal ini dapat melancarkan arus barang dan menunjang perkembangan untuk daerah-daerah tertinggal atau berbeda pulau,

sehingga perlu disadari akan pentingnya jasa pelayanan laut sebagai alat transportasi dalam menunjang mobilitas [4].

Kapal *Container* merupakan kapal berjenis kargo yang dirancang khusus untuk mengangkut dan mengirimkan kargo atau barang dalam bentuk beberapa unit *Container* standar. Kapal *Container* ini menjadi tulang punggung perdagangan internasional dikarenakan memiliki kemampuan untuk memindahkan atau mengirimkan barang dalam jumlah yang sangat banyak atau besar dan juga lebih murah dibandingkan dengan transportasi udara. Keunggulan operasional ini menjadikan kapal *Container* kunci dalam rantai pasokan global dan pertumbuhan perdagangan barang jadi [5].

Penggunaan kapal yang lebih besar dapat diartikan untuk pengangkutan volume barang dalam jumlah yang besar, hal ini mempengaruhi biaya operasional pada kapal, biaya operasional kapal menjadi salah satu faktor kunci yang mempengaruhi struktur biaya pengiriman barang, yang pada gilirannya mempengaruhi harga barang sampai ke konsumen akhir [6]. Dalam biaya operasional kapal mencakup berbagai komponen seperti bahan bakar, dan biaya pelabuhan yang dapat berfluktuasi sesuai dengan kondisi pasar dan regulasi. Efisiensi kapal sangat dipengaruhi oleh besarnya hambatan yang dialami kapal selama beroperasi. Hambatan total pada kapal terdiri dari hambatan gesek, hambatan gelombang, dan hambatan residu, yang dimana semua berkontribusi terhadap konsumsi bahan bakar dan performa suatu kapal. Salah satu inovasi desain lambung kapal yang telah terbukti efektif dalam menurunkan hambatan adalah penggunaan bulbous bow, merupakan tonjolan dibagian bawah depan kapal atau haluan yang berfungsi memecahkan aliran air atau gelombang [7].

Faktor lain yang turut andil memengaruhi efektivitas bulbous bow adalah kondisi permukaan pada lambung, bentuk dan dimensi bulbous bow itu sendiri, serta kondisi lapangan saat pengoperasian kapal pada kecepatan dan tinggi gelombang [8].

Dalam perkembangan terbaru, metode *Holtrop-Mennen* digunakan untuk perhitungan numerik yang diimplementasikan pada *Matlab* atau pemrograman *Python* untuk menghitung hambatan kapal. Hasil dari perhitungan tersebut divalidasi menggunakan perangkat lunak seperti *Maxsurf Resistance*, dan didapatkan hasil perbedaan nilai hambatan yang relatif kecil atau mendekati. Hasil ini membuktikan bahwa implementasi metode *Holtrop-Mennen* dengan menggunakan bahasa pemrograman dapat menjadi solusi pengganti dalam menggunakan *Software Commercial* (berbayar) menjadi *Software Open Source* (tidak berbayar) dalam desain kapal [9].

Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengkomparasikan hasil nilai perhitungan hambatan kapal *Container* 18.900 DWT dengan 2 konfigurasi haluan; (1) lambung tanpa bulbous bow, dan (2) lambung dengan bulbous bow, menggunakan 2 jenis perhitungan yaitu perhitungan numerik yang diimplementasikan dalam bentuk *script Python* dan software *Maxsurf Resistance* yang demikian keduanya menggunakan metode yang sama yaitu *Holtrop-Mennen*.

2. METODE

2.1. Objek penelitian

Dalam proses pengerjaan analisa hambatan ini, penulis membutuhkan berbagai macam data dan beberapa saran untuk dianalisis lebih lanjut. Terdapat 2 data yang akan diinput, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data Primer merupakan pokok yang diperlukan dalam proses pengerjaan analisa hambatan kapal. Data primer berupa data ukuran utama kapal KCS dan kapal container 18900 DWT.

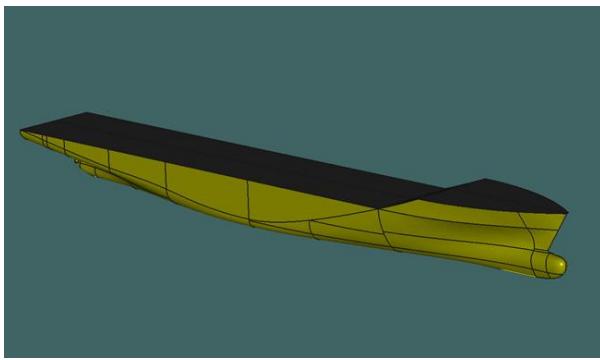
2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang digunakan dalam pengerjaan analisa hambatan ini. Data sekunder dibutuhkan karena pada umumnya dapat membantu menyelesaikan permasalahan yang terjadi selama pengerjaan analisa hambatan ini. Data sekunder meliputi data dari buku dan jurnal pendukung yang diperoleh dari literatur yang ada. Beberapa literatur dan sumber informasi yang dibutuhkan diperoleh dari berbagai buku, artikel, jurnal, dan internet.

Model kapal KCS digunakan untuk mencari dan menentukan validasi persentase deviasi metode pada penelitian ini. Berikut data ukuran utama kapal KCS dapat dilihat pada tabel 1.

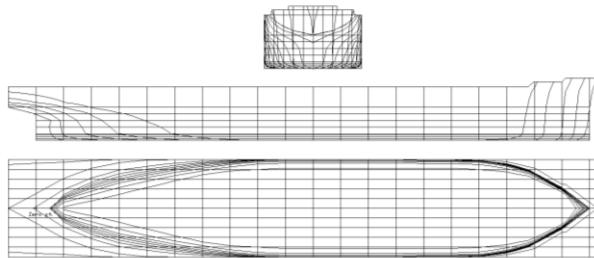
Tabel 1. Data ukuran utama KCS

<i>Main Particulars</i>	<i>Model Scale</i>
<i>Length of Waterline</i>	7,357 m
<i>Beam of Waterline</i>	1,02 m
<i>Depth</i>	0,6013 m
<i>Draft</i>	0,342 m
<i>Cb</i>	0,641
<i>Displacement</i>	1,69 Ton
<i>Volume Displacement</i>	1,649 m ³
<i>Wetted Surface Area</i>	5,987 m ²



Gambar 1. Model tiga dimensi kapal KCS

Model 1 adalah model dengan ukuran asli kapal, untuk pembuatan model dilakukan pada software *Auto Cad* lalu dipindahkan ke *Maxsurf Modeler*. *Linesplan* kapal dapat dilihat pada gambar 2.



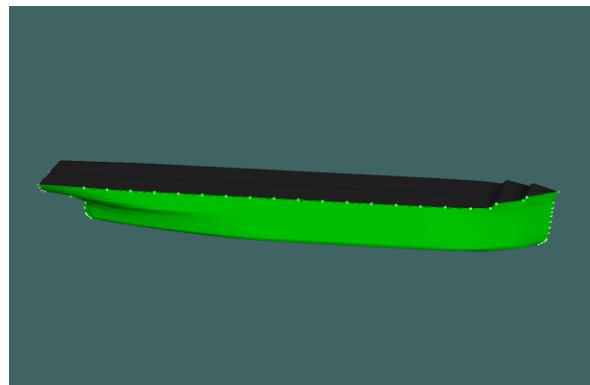
Gambar 2. *Linesplan* Model Kapal Container 18900 DWT.

Data ukuran utama kapal *container* 18900 DWT dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Data Ukuran Utama Kapal Model 1

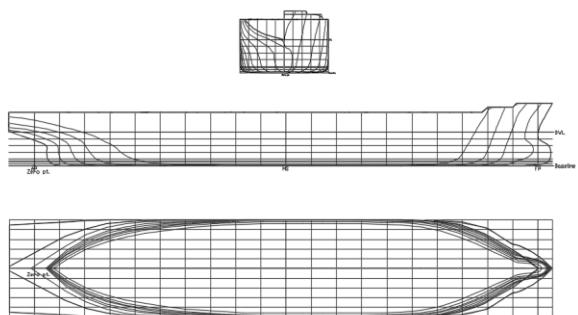
Main Dimension	
Length Waterline (m)	162,44
Breadth (m)	27,22
Heigth (m)	14,01
Draft (m)	9,37
Speed (Knot)	13,8
Coefficient Block	0,75
Dead Weigth Tonnage (ton)	18900

Dari data dan *linesplan* diatas di lakukan pemodelan 3D pada software *Maxsurf Modeler* dan hasil model 3D kapal *container* 18900 DWT dapat dilihat pada gambar 3.



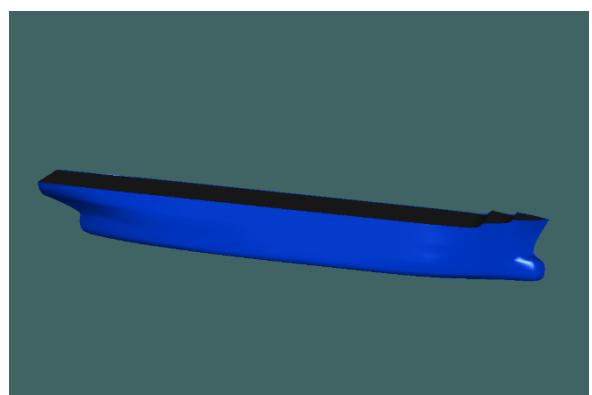
Gambar 3. Model 1 3D Lambung Kapal Sebelum Penambahan *Bulbous Bow*

Model 2 pada kapal *container* 18900 DWT merupakan model perubahan pada model 1 dimana dilakukan penambahan bentuk dibagian bawah depan kapal pada model 1, namun ukuran utama tetap sama seperti model 1. Perubahan dilakukan dengan menambahkan *Bulbous Bow* pada bagian bawah depan kapal. Berikut perubahan yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. *Linesplan* Model 2 Kapal Container 18900 DWT.

Dari data dan *linesplan* diatas di lakukan pemodelan 3D pada software *Maxsurf Modeler* dan hasil model 3D kapal *container* 18900 DWT model 2 dapat dilihat pada gambar 5.



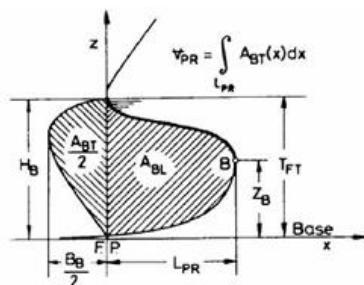
Gambar 5. Model 2 3D Lambung Kapal Sesudah Penambahan *Bulbous Bow*

2.2. Penambahan *Bulbous Bow*

Pemakaian *Bulbous Bow* pada kapal akan sangat berpengaruh terhadap aliran air di bagian depan lambung kapal. Penjelasan tentang efek aliran air yang terjadi di sekitar kapal adalah air yang dipaksakan mengalir diatas *Bulbous Bow* sehingga dapat memecah gelombang air yang menahan didepannya [10]. Penambahan *Bulbous Bow* dilakukan pada model 2 lambung kapal *container* 18900 DWT dengan merubah dimensi seperti panjang, lebar, dan tinggi dibagian bawah depan lambung kapal, yang dimana sebelumnya tidak menggunakan *Bulbous Bow* dan di model 2 kapal ini menggunakan *Bulbous Bow*, tanpa merubah *displacement* kapal pada model 1 atau model asli yang digunakan untuk data utama.

Menurut kracht dalam penelitiannya *Bulbous Bow* dibagi menjadi 3 bentuk, yaitu bentuk delta (*A-Type*) bentuk ini sesuai dengan kapal yang berlayar pada daerah yang kurang menghadapi hembusan gelombang atau gelombang kecil. Bentuk Elips (*O-Type*) bentuk ini lebih banyak digunakan pada lambung kapal yang berbentuk "U" atau kapal uang gemuk. Bentuk Nabla (*V-Type*) bentuk ini cocok untuk kapal yang menghadapi gelombang laut bebas atau gelombang besar. Bentuk Nabla (*V-Type*) ini sering digunakan oleh kapal cepat yang lambungnya berbentuk "V".

Penambahan *Bulbous Bow* pada model 2 kapal tentu menggunakan teori Kracht yang digunakan untuk menentukan nilai linear dan non-linear pada pengukuran *Bulbous Bow* [11].



Gambar 6. Parameter *Bulbous Bow*

Parameter linear merupakan nilai untuk menentukan perubahan ukuran yang direkomendasikan oleh teori tersebut, berikut tabel nilai koefisien linear pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai Khusus Koefisien Linear

Koefisien	Minimal	Maximal
C_{BB}	0,17	0,2
C_{LPR}	0,018	0,031
C_{ZB}	0,26	0,55

Parameter non-linear merupakan nilai untuk menentukan perubahan ukuran yang meliputi luas penampang melintang, area *Bulbous Bow*, volume *Bulbous Bow*, berikut tabel nilai koefisien non-linear pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai Khusus Koefisien non-Linear

Koefisien	Minimal	Maximal
C_{ABT}	0,068	0,146
C_{ABL}	0,064	0,122
C_{VPR}	0,0011	0,00272

2.3. Teknik Pengolahan Data

Proses penelitian dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu:

Pertama, pembuatan model 1 (*non-bulbous bow*) kapal dari *lines plan* menjadi model tiga dimensi

Kedua, melakukan perubahan yaitu menambahkan *bulbous bow* di bagian depan bawah kapal pada model 1 (*non-bulbous bow*) yang akhirnya tercipta model 2 (*bulbous bow*).

Ketiga menganalisis nilai hambatan kapal pada kedua model tersebut dan membandingkan hasil dari kedua nilai hambatan pada 2 model tersebut menggunakan perhitungan numerik berbasis *Python* dan *software Maxsurf Resistance*.

Keempat, membuat kesimpulan berdasarkan hasil yang diperoleh dari hasil analisa nilai hambatan

2.4. Holtrop

Metode Holtrop merupakan metode empiris yang digunakan untuk memperkirakan hambatan total kapal. Hambatan total (RT) kapal dipecah menjadi beberapa komponen, yaitu: Hambatan gesekan (RF): Hambatan yang timbul akibat gesekan antara lambung kapal dan air. Hambatan Tambahan (RAPP): Hambatan yang dihasilkan oleh tambahan pada bentuk kapal. Hambatan gelombang (Rw): Hambatan yang timbul akibat pembentukan gelombang air oleh kapal saat bergerak. Hambatan bulbous bow (RB): Hambatan akibat penambahan bulbous bow. Hambatan Transom (RTR): Hambatan yang diakibatkan oleh bagian transom. (RA): Hambatan akibat koefisien bentuk kapal [12]. Rumus umum yang digunakan adalah:

$$RT = RF(1+k_1) + R_{APP} + R_w + R_B + R_{TR} + R_A \quad (1)$$

Perhitungan tiap komponen hambatan menggunakan metode Holtrop melibatkan beberapa parameter penting seperti koefisien gesekan (C_f), koefisien residu, serta pengaruh

kecepatan dan bentuk kapal. Koefisien gesekan dihitung menggunakan persamaan ITTC [13]:

$$C_f = 0,075 / (\log(Re) - 2)^{-2} \quad (2)$$

Di mana Re adalah bilangan *Reynolds* yang dihitung berdasarkan kecepatan kapal, panjang kapal, dan viskositas kinematik air.

2.5. Komponen Hambatan Kapal

Hambatan total kapal mempunyai dua nilai komponen utama yaitu Hambatan Gesek (R_f) dan Hambatan Tekanan (R_p). Hambatan Tekanan merupakan hambatan yang muncul akibat perubahan aliran air disekitar kapal, terutama dibagian haluan dan buritan, yang menyebabkan perbedaan tekanan antara depan dan belakang kapal [14]. Hambatan Tekanan dibagi menjadi dua komponen yaitu Hambatan Tekanan Gelombang (R_w) dan Hambatan Tekanan Viskos (R_{vp}). Perhitungan nilai R_{vp} menggunakan persamaan berikut [15]:

$$R_{vp} = R_v - R_f \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemodelan 3 Dimensi Kapal

Proses permodelan 3 dimensi model 1 (*non-Bulbous Bow*) dan model 2 (*Bulbous Bow*) kapal dilakukan dengan bantuan *software Maxsurf Modeler*. Dalam proses ini, ukuran utama kapal dan *linesplan* berfungsi sebagai acuan dalam pembuatan model. *Length between PerPendicular* (LPP) merupakan jarak panjang antara garis vertikal yang berpotongan dengan buritan dan haluan. Dalam proses *fairing* model kapal, *lines plan* dibutuhkan agar model yang dihasilkan semakin mirip atau mendekati bentuk aslinya. *Lines plan* digunakan sebagai latar belakang dalam proses permodelan, sehingga memudahkan dalam membuat kesesuaian yang diinginkan.

Setelah model yang dihasilkan dirasa sudah cukup mirip dengan *linesplan*, langkah selanjutnya adalah membandingkan model asli kapal dengan model yang dihasilkan oleh *Maxsurf Modeler*. Selain menyamakan bentuk model, analisis perbandingan dalam aspek hidrostatik juga penting dilakukan untuk memastikan bahwa sifat hidrostatik model dan kapal berada dalam batas yang wajar. Dalam penelitian ini, peneliti menetapkan batas koreksi maksimal untuk perbandingan hidrostatik sebesar $\pm 5\%$. Nilai $\pm 5\%$ dipilih berdasarkan penelitian sebelumnya yang menyatakan toleransi tersebut masih dianggap baik

atau cukup. Dengan demikian, perbandingan antara data hidrostatik kapal dan model 3D dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Selanjutnya menetukan validasi untuk deviasi persentase hasil hambatan total. Kapal KCS digunakan untuk menghitung validasi deviasi persentase yang dimana akan menjadi batasan perhitungan analitik Python dan Maxsurf Resistance. Kapal KCS dihitung dalam ukuran skala. Berikut hasil hambatan total dari kapal KCS bisa dilihat pada tabel 5.

Table 5. Perbandingan Hasil Maxsurf dan Python

	Maxsurf (kN)	Python (kN)	Selisih
RT	0,1177	0,1092	7,2 %

Untuk model 2 kapal, proses permodelan *lines plan* sama dengan model 1 akan tetapi terdapat proses penambahan dibagian depan bawah kapal yang menggunakan teori Kracht untuk menentukan nilai *Bulbous Bow* tersebut menggunakan yang terdapat pada tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Perbandingan Hidrostatik Kapal dan Model 3D *non-Bulbous Bow*

Parameter	Python	Maxsurf	Koreksi
WSA	5985,629	6047,116	-1,01%
Cp	0,762	0,763	-0,1%
Cm	0,99	0,989	0,1%
Cb	0,75	0,75	0%

Tabel 7. Perbandingan Hidrostatik Kapal dan Model 3D *Bulbous Bow*

Parameter	Python	Maxsurf	Koreksi
WSA	6057,717	6048,045	0,15%
Cp	0,766	0,767	-0,1%
Cm	0,99	0,984	0,6%
Cb	0,75	0,75	0%

Dari data perbandingan hidrostatik pada tabel 4 dan 5 menunjukan nilai koreksi hidrostatik kapal dan model 3D masih dalam batas toleransi, dengan perbedaan tertinggi terdapat pada WSA (*non-Bulbous Bow*) dan Cm (*Bulbous Bow*) dengan perbedaan nilai sebesar 1,01 dan 0,6 %. Dari data ini menunjukkan bahwa kapal lolos uji validasi yang dilakukan oleh penulis.

3.2. Analisa Hambatan Kapal

Dalam penelitian ini, analisa hambatan kapal yang dilakukan dengan 1 metode dengan 2 jenis perhitungan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *Holtrop*, dengan

membandingkan atau mengkomparasikan hasil perhitungan analitik hambatan berbasis Python dengan perhitungan software *Maxsurf Resistance*. Penelitian ini menggunakan kapal *container* sebagai objek penelitiannya.

3.3. Data Parameter Input Python

Perhitungan hambatan total kapal *container* 18900 DWT dilakukan secara numerik menggunakan *scrip Python* yang ditulis berdasarkan metode *Holtrop*. Perhitungan ini bertujuan untuk menjalankan estimasi model hambatan kapal secara fleksibel dan cepat melalui pendekatan numerik yang dijalankan atau dihitung di *software Visual Studio Code* (VS Code) dengan bahasa pemrograman *Python* untuk menghitung hambatan kapal dengan metode *Holtrop*. Penting untuk menginput data yang akan digunakan dalam menghitung hambatan kapal dengan metode *Holtrop*, data yang perlu diinput pada *Visual Studio Code* adalah data ukuran utama dari kapal dan rumus *Holtrop* untuk mencari hambatan kapal itu sendiri. Berikut data utama input perhitungan dengan pemrograman *Python* dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Parameter input *Python*

Parameter	Keterangan	Nilai
Lpp	Length of PerPendicular (m)	154,71
Lwl	Length at Waterline (m)	162,45
B	Beam at Waterline (m)	27,22
T	Draft (m)	9,37
Cb	Block Coefficient	0,75
Cp	Prismatic Coefficient	0,762
Cm	Midship Coefficient	0,989
V	Speed in Knots	13,8
Disp	Displacement	32052
V Disp	Volume Displacement	31271
LCB (Non-Bulbous Bow)	Longitudinal Center of Buoyancy	-0,562
LCB (Bulbous Bow)	Longitudinal Center of Buoyancy	-1,698
WSA (Non-Bulbous Bow)	Wetted Surface Area (m ²)	5985,629
WSA (Bulbous Bow)	Wetted Surface Area (m ²)	6057,716

Berikut adalah tahapan perhitungan numerik dan penjelasan dari *scrip Python* yang digunakan, langkah pertama input *Import math*, kemudian masukkan kode penetapan konstanta fisika seperti;

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \text{ (percepatan gravitasi)}$$

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3 \text{ (densitas air laut)}$$

$$\nu = 1,19 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (viskositas kinematik)}$$

Selanjutnya hambatan total dihitung menggunakan rumus:

$$RT = RF(1+k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (4)$$

Dimana:

$$RT = \text{Hambatan Total}$$

$$RF = \text{Hambatan Gesek}$$

$$R_{APP} = \text{Hambatan Tambahan}$$

$$R_W = \text{Hambatan Gelombang}$$

$$1+K1 = \text{form factor} \sim \text{mewakili pengaruh bentuk badan kapal terhadap viskositas total}$$

$$R_B = \text{Hambatan Bulbous Bow}$$

$$R_{TR} = \text{Hambatan Transom}$$

$$R_A = \text{Hambatan korelasi model}$$

3.4. Analisa Hambatan Kapal pada Perhitungan Python

Dalam pengerajan analisa hambatan ini, analisa hambatan yang dilakukan menggunakan 1 metode dengan 2 jenis model lambung kapal. Metode yang digunakan yaitu menggunakan metode *Holtrop-Mennen*. Dengan membandingkan perhitungan hambatan numerik berbasis *Python* dengan *software Maxsurf Resistance* pada model 3D 1 dan 2. Model 1 (non-*Bulbous Bow*) adalah model asli dari kapal dan model 2 (*Bulbous Bow*) adalah model yang sudah dilakukan perubahan pada bagian depan bawah kapal yaitu dengan menambahkan *Bulbous Bow* dari model 1.

Setelah kedua model siap, selanjutnya perhitungan dilakukan pada beberapa kecepatan kapal. *Scrip Python* akan mengeluarkan hasil perhitungan yang dapat dilihat pada tabel 9.

Berdasarkan hasil perhitungan hambatan total kapal dari kedua tabel diatas yang dilakukan dengan kode pemrograman *Python* berdasarkan metode *Holtrop*, hasil simulasi dari tabel diatas menunjukan bahwa perbandingan nilai hambatan total dari model 1 dan model 2 didapatkan nilai selisih maksimum 2%.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Numerik Model 1 dan Model 2 Berbasis *Python*.

Vs (Knot)	RT Python Model 1 (kN)	RT Python Model 2 (kN)	RSME (%)
1	2,44	2,49	2,05 %
2	8,92	9,10	2,02 %
3	19,07	19,45	1,99 %
4	32,72	33,40	2,08 %
5	49,77	50,80	2,07 %
6	70,13	71,63	2,14 %
7	93,75	95,78	2,17 %
8	120,64	123,25	2,16 %
9	150,94	154,12	2,11 %
10	185,14	188,69	1,92 %
11	224,29	227,66	1,50 %
12	270,23	272,23	0,74 %
13	325,72	324,23	-0,46 %
13,8	379,47	372,80	-1,76 %

3.5. Analisa Hambatan Kapal pada *Maxsurf Resistance*

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan *Python* selanjutnya akan dilakukan perhitungan menggunakan *Software Maxsurf Resistance*. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Hambatan Total Model 1 dan Model 2 pada *Maxsurf*

Vs (Knot)	RT Maxsurf Model 1 (kN)	RT Maxsurf Model 2 (kN)	RSME (%)
1	2,60	2,60	0,00 %
2	9,40	9,40	0,00 %
3	20,10	20,30	1,00 %
4	34,50	34,90	1,16 %
5	52,60	53,10	0,95 %
6	74,20	75,00	1,08 %
7	99,30	100,40	1,11 %
8	128,00	129,30	1,02 %
9	160,20	161,90	1,06 %
10	196,70	198,40	0,86 %
11	238,30	239,50	0,50 %
12	286,90	286,60	-0,10 %
13	345,40	341,60	-1,10 %
13,8	401,80	393,03	-2,18 %

Berdasarkan hasil perhitungan hambatan total kapal dari kedua tabel diatas yang dilakukan dengan perhitungan *Software Maxsurf Resistance* menggunakan metode holtrop, menunjukkan hasil simulasi nilai data dari tabel diatas bahwa

perbandingan nilai hambatan total dari model 1 dan model 2 didapatkan nilai dengan selisih maksimum 2,2%, dengan rincian hasil nilai hambatan total yang didapat dari kecepatan 3 Knot hingga 11 Knot masih berada diatas nilai model 1 sehingga penggunaan bulbous bow belum terlalu efektif, dan pada kecepatan 12 Knot hingga kecepatan maksimum (13,8 Knot) penggunaan bulbous bow sudah mulai efektif.

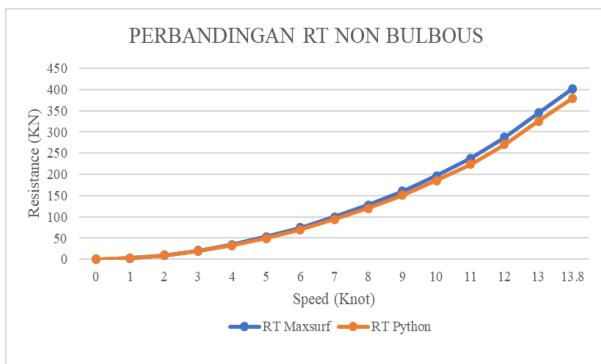
3.6. Perbandingan Perhitungan Hambatan Total *Python* dan *Maxsurf Resistance*

Setelah dilakukan analisa pada masing-masing model berdasarkan perhitungan menggunakan perhitungan Numerik Hambatan berbasis *Python* dan *software Maxsurf Resistance*, berikutnya analisis dilakukan dengan membandingkan hasil nilai hambatan antar kedua software berdasarkan kecepatan disajikan dalam tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan Hitungan Hambatan Total *Python* dan *Maxsurf* model 1 *non-Bulbous Bow*

VS (Knot)	RT Python Model 1 (kN)	RT Maxsurf Model 1 (kN)	RSME (%)
1	2,44	2,60	6,56 %
2	8,92	9,40	5,38 %
3	19,07	20,10	5,40 %
4	32,72	34,50	5,44 %
5	49,77	52,60	5,69 %
6	70,13	74,20	5,80 %
7	93,75	99,30	5,92 %
8	120,64	128,00	6,10 %
9	150,64	160,20	6,13 %
10	185,14	196,70	6,24 %
11	224,29	238,30	6,25 %
12	270,23	286,90	6,17 %
13	325,72	345,40	6,04 %
13,8	379,47	401,80	5,88 %

Dari data tabel 11 tersebut disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 7 untuk melihat perbandingan hambatan total dari perhitungan numerik berbasis python dan *Maxsurf Resistance* pada model 1.



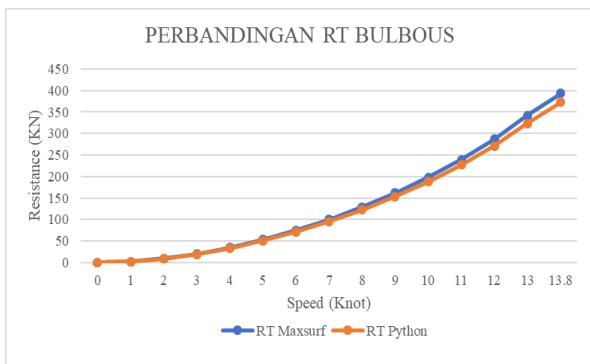
Gambar 7. Grafik Perbandingan Hambatan Total Python dengan *Maxsurf* Model 1

Berikut hasil perbandingan nilai hambatan total kapal pada model 2, dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Perbandingan Hitungan Hambatan Total Python dan *Maxsurf* model 2 *Bulbous Bow*

Vs (Knot)	RT Python Model 2 (kN)	RT Maxsurf Model 2 (kN)	RSME (%)
1	2,49	2,60	4,43 %
2	9,10	9,40	3,30 %
3	19,45	20,30	4,37 %
4	33,40	34,90	4,49 %
5	50,80	53,10	4,53 %
6	71,63	75,00	4,70 %
7	95,78	100,40	4,82 %
8	123,25	129,30	4,91 %
9	154,12	161,90	5,05 %
10	188,69	198,40	5,15 %
11	227,66	239,50	5,20 %
12	272,23	286,60	5,28 %
13	324,23	341,60	5,36 %
13.8	372,80	393,03	5,43 %

Dari data tabel 12 tersebut disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 8 untuk melihat perbandingan hambatan total dari perhitungan numerik berbasis python dan *Maxsurf Resistance* pada model 2.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Hambatan Total Python dengan *Maxsurf* Model 2

Dari table dan grafik masing-masing diatas dapat dilihat hambatan total kapal dari 2 perhitungan yang berbeda. Dalam perhitungan numerik berbasis *Python* dan *software Maxsurf Resistance* model 1 (*non-bulbous bow*). Pada perhitungan numerik *Python* memiliki nilai hambatan total pada kecepatan maksimal (13,8 knot) sebesar 379,47 kN, sedangkan pada perhitungan *software Maxsurf Resistance* nilai hambatan pada kecepatan maksimal (13,8 knot) sebesar 401,76 kN. Kemudian pada model 2 (*bulbous bow*), pada perhitungan numerik *Python* memiliki nilai hambatan total pada kecepatan maksimal (13,8 knot) sebesar 372,80 kN dan pada perhitungan *software Maxsurf Resistance* nilai hambatan total pada kecepatan maksimal (13,8 knot) sebesar 393,03 kN.

Dari perhitungan keduanya menunjukkan nilai hambatan total yang relatif mendekat pada kecepatan (1 – 13,8 knot) dengan perhitungan numerik *Python*. Dan nilai kurva yang dihasilkan dari gambar 6 dan 7 relatif sama atau mendekati dari hasil *software Maxsurf Resistance* pada tingkat kenaikan nilai hambatan total berdasarkan pada kecepatan yang sudah di analisa. Kemudian untuk nilai selisih yang didapatkan pada masing-masing perhitungan dan masing-masing model, pada model 1 mendapatkan nilai selisih maksimum 6,5%, dan pada model 2 mendapatkan nilai selisih maksimum 5,4%.

Berikut data perbandingan parameter hasil dari perhitungan numerik *Python* dan *Maxsurf Resistance* dapat dilihat pada tabel 13 dan 14.

Tabel 13. Perbandingan Parameter Hasil *Python* dan *Maxsurf Resistance* Model 1 (*non-bulbous bow*)

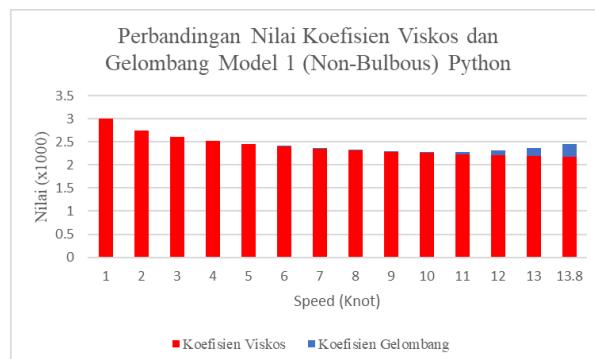
Parameter	Python	Maxsurf	Koreksi (%)
WSA	5985,629	6047,116	1,02%
1+K	1,264	1,256	-0,65%
RT	379,47	401,80	5.88%
PE	2693,971	2852,2	5.87%

Tabel 14. Perbandingan Parameter Hasil *Python* dan *Maxsurf Resistance Model 2* (bulbous bow)

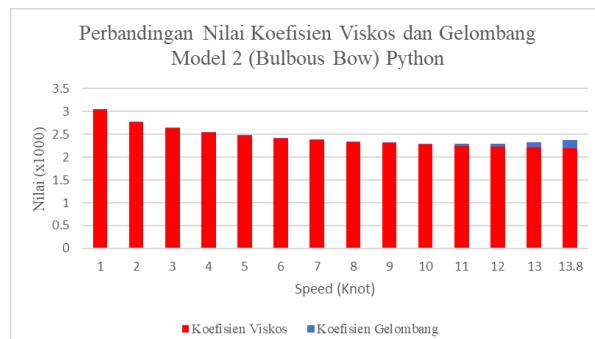
Parameter	Python	Maxsurf	Koreksi (%)
WSA	6057,717	6048,045	-0,15%
1+K	1.274	1,263	-0,82%
RT	372,80	393,03	5,43%
PE	2646,663	2790,282	5,42%

3.7. Perbandingan Nilai Koefisien Viskos dan Gelombang

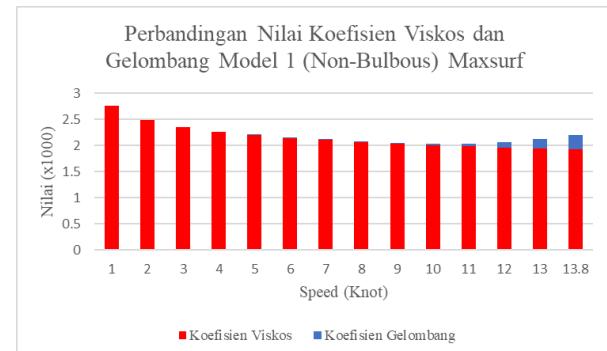
Setelah dilakukan perhitungan pada nilai hambatan kapal, kemudian dilakukan perhitungan pada nilai koefisien. Berikut perbandingan nilai koefisien viskos dan gelombang dari model 1 dan 2 yang telah hitung, data nilai koefisien viskos dan gelombang bisa dilihat pada gambar 9 – 12.



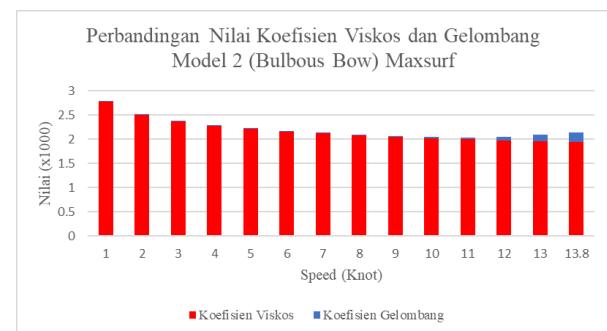
Gambar 9. Perbandingan Nilai Koefisien Viskos dan Gelombang model 1 (Non-Bulbous Bow) *Maxsurf*.



Gambar 10. Perbandingan Nilai Koefisien Viskos dan Gelombang model 1 (Non-Bulbous Bow) *Python*.



Gambar 11. Perbandingan Nilai Koefisien Viskos dan gelombang model 2 (Bulbous Bow) *Maxsurf*.



Gambar 12. Perbandingan Nilai Koefisien Viskos dan gelombang model 2 (Bulbous Bow) *Python*.

Berikut data perbandingan hasil koefisien viskos dan gelombang dari perhitungan numerik *Python* dan *Maxsurf Resistance* pada kecepatan maksimal (13.8 knot) dapat dilihat pada tabel 15.

Tabel 15. Perbandingan Parameter Hasil *Python* dan *Maxsurf Resistance Model 1* dan *2*

Parameter	Python	Maxsurf	Koreksi (%)
Model 1 (CV)	2,180227	1,929683	-11,49 %
Model 2 (CV)	2,19440	1,940846	-11,55 %
Model 1 (CW)	0,27274	0,275844	1,14 %
Model 2 (CW)	0,183768	0,200118	8,9 %

3.8. Perbandingan Nilai Komponen Hambatan Model 1 dan Model 2

Pada analisis ini, nilai hambatan gesek (R_f), hambatan gelombang (R_w), hambatan bulbous bow (R_b), hambatan tekanan viskos (R_{vp}), hambatan viskos (R_{vis}), dan hambatan hambatan tekanan (R_p) dibandingkan dari model 1 dengan model 2. Berikut hasil data perbandingan nilai komponen hambatan antara model 1 dan model 2 pada kecepatan maksimal (13.8 Knot) yang

dihitung menggunakan perhitungan numerik *Python* dapat dilihat pada tabel 16.

Tabel 16. Perbandingan Komponen Hambatan Model 1 dan Model 2

Parameter	Model 1	Model 2	Koreksi (%)
R _f	237.526	240.387	1,20 %
R _w	42.149	28.058	-33,43 %
R _b	0	1.145	-
R _{vp}	99.795	103.217	3,43 %
R _{vis}	337.321	343.604	1,86 %
R _p	141.945	131.276	-7,52 %

4. KESIMPULAN

Perbandingan nilai antara model 1 (non-Bulbous Bow) dan model 2 (Bulbous Bow) menunjukkan bahwa modifikasi bentuk lambung kapal berdampak pada hasil hambatan total, khususnya pada kecepatan tinggi (12-13.8 Knot). Hal ini terjadi akibat pengaruh Bulbous Bow sebagai pemecah gelombang yang memengaruhi gaya gesek kapal terhadap air. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan Bulbous Bow efektif digunakan pada kapal container 18900 DWT, dimana penerapannya mampu menghasilkan pengurangan hambatan total dan peningkatan efisiensi operasional.

Perbandingan nilai antara model 1 (non-Bulbous Bow) dan model 2 (Bulbous Bow) dalam hal ini perhitungan analitik menggunakan kode pemrograman Python dengan metode Holtrop. Pada model 1 (non-Bulbous Bow) dan model 2 (Bulbous Bow) menunjukkan hasil tren nilai hambatan yang mirip.

Perbandingan nilai hambatan komponen antara model 1 (non-Bulbous Bow) dan model 2 (Bulbous Bow) pada perhitungan analitik Python menunjukkan beberapa komponen hambatan seperti hambatan gesek (R_f), hambatan tekanan viskos (R_{vp}), dan hambatan viskos (R_{vis}) memiliki peningkatan kecil pada model 2. Peningkatan tersebut disebabkan oleh bertambahnya volume dan luar permukaan basah akibat penambahan Bulbous Bow. Meskipun demikian, peningkatan tersebut tidak memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap hambatan total.

Secara keseluruhan, penggunaan perhitungan analitik berbasis Python cukup efektif untuk mengevaluasi performa hidrodinamika kapal, serta mampu mengidentifikasi dampak perubahan desain lambung terhadap karakteristik hambatan dan menjadi solusi lain dengan menggunakan

software open source (tidak berbayar) untuk menghitung nilai hambatan pada kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. M. Dewi, dan W. Arif, “*Indonesian Maritime Geopolitics in the Middle of Global Power Competition*”, *IMJ*, Vol. 3, no. 2, hlm. 6, Mar. 2025.
- [2] United Nation Conference on Trade and Development (UNCTAD), “*Review of Maritime Transport 2022*”, UNCTAD, 2022.
- [3] T. Notteboom, and J. Rodrigue, “*The future of containerization: perspectives from maritime and inland freight distribution*”. Vol. 74, no. 1, hlm. 7-22, 2009.
- [4] T. I. E. Wahyuni, Sahabuddin, I. Jaya, B. N. Senitriany, “Analisis perkembangan transportasi laut dalam wilayah Sulawesi untuk mendukung tol laut”, *Jurnal Venus*, Vol. 07, no. 13, Maret, 2019.
- [5] United Nation Conference on Trade and Development (UNCTAD), “*Review of Maritime Transport: Navigating maritime chokepoint 2024*”, UNCTAD, 2024.
- [6] T. C. Lirn, S. S. Shen, and P. H. Tseng, “*Maritime Transport and Logistics: A comprehensive review*”, *Maritime Economics and Logistics*, Vol. 17, no.2, hlm. 163-182, 2015.
- [7] X. Yin, L. Huang, Y. Lu, J. Zou, and L. Wan, “*Experimental investigation on resistance reduction for multiple service conditions of container ship bulbous bow optimization*”, *Journal of Coastal Research*, Vol. 37, no. 3, hlm. 634-643, 2021.
- [8] R. Ravenna, at al., “*CFD analysis of the effect of heterogeneous hull roughness on ship resistance*”, *Ocean Engineering*, Vol. 258, 2022.
- [9] E. A. Augustine, O. S. Dare, O. E. Ediba, “*Bare hull ship resistance computation of an offshore supply vessel using the Holtrop and Mennen method: A MATLAB implementation*”, *International journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*, Vol 3, hlm. 678-683, 2021.
- [10] A. P. P. Adi dan A. A. Amiadji, “Analisa Penerapan Bulbous Bow pada Kapal Katamaran Untuk Meningkatkan

- Efisiensi Pemakaian Bahan Bakar," Jurnal Teknik ITS, Vol. 3, no. 1, hlm. G13-G18, 2014.
- [11] A. M. Kracht, "*Design of Bulbous Bow*," SNAME, vol. 86, hlm. 197- 217, 1978.
 - [12] M. G. Holtrop J, "*An Approximate Power Prediction Method*". hlm. 106-170, 1982.
 - [13] ITTC - International Towing Tank Conference, Recommended Procedures and Guidelines 7.5-02-02-01: Resistance Test, revision 03, 26th ITTC Resistance Committee, Approved September 2011.
 - [14] A.F. Molland, S. R. Turnock, and D. A. Hudson, "Ship Resistance and Propulsion," Sh. Resist. Propuls., 2011.
 - [15] D. Principles, Ships Marine Structures. Boca Raton: CRC Press, 2016.