



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Hambatan Kapal Container 19430 DWT Menggunakan Metode *Holtrop* Berbasis *Python*

Agus Setiawan¹⁾, Good Rindo²⁾, Samuel³⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}e-mail : agussetiawan@students.undip.ac.id

Abstrak

Hambatan kapal merupakan faktor utama yang mempengaruhi kebutuhan daya mesin, efisiensi bahan bakar, dan performa operasional kapal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hambatan total kapal menggunakan metode *Holtrop-Mennen* yang diimplementasikan dalam bahasa pemrograman *Python*, serta memvalidasi hasilnya melalui perbandingan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Resistance*. Selain itu, dilakukan analisis terhadap pengaruh modifikasi bentuk lambung kapal berupa pelebaran badan terhadap perubahan nilai hambatan total. Perhitungan numerik berbasis *Python* menghasilkan nilai hambatan pada kecepatan operasi 13,63 knot sebesar 326,86 kN, sedangkan hasil dari simulasi *Maxsurf* untuk model *Bare Hull* pada kecepatan yang sama adalah 328,90 kN, dengan rata-rata persentase error hanya 2,93%. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan *Python* memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan layak digunakan sebagai metode estimasi awal. Sementara itu, model lambung yang dimodifikasi menghasilkan hambatan sebesar 353,30 kN, atau sekitar 7,41% lebih tinggi dibandingkan *Bare Hull*, menunjukkan bahwa pelebaran badan kapal berpengaruh signifikan terhadap peningkatan hambatan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa pemrograman *Python* dapat menjadi alternatif yang efisien dan akurat dalam menghitung hambatan total kapal, khususnya pada tahap awal desain. Modifikasi geometri lambung harus dianalisis secara komprehensif, tidak hanya dari aspek hambatan tetapi juga dari sudut pandang stabilitas, konsumsi energi, dan efisiensi operasional.

Kata Kunci : Hambatan, *Python*, *Maxsurf*

1. PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan negara kepulauan, maka fungsi angkutan laut sangat berperan penting dalam sektor pembangunan. Sebagai negara kepulauan yang mempunyai luas sekitar 1,5 juta km² dengan wilayah laut empat kali luas daratan [1]. Transportasi merupakan punggung perekonomian nasional salah satunya yaitu transportasi laut, tanpa adanya transportasi laut akan menghambat kebutuhan atau sector ekonomi di antara pulau ke pulau.

Theonov S Nainggolan melakukan penelitian hambatan total dengan kapal Fridsma Hull dengan metode Morphing Mesh. Hasil hambatan dari

simulasi CFD pada kondisi air tenang menunjukkan bahwa pada kecepatan rendah, transisi dan kecepatan tinggi menunjukkan presentase sampai dengan 10%. Nilai trim pada kecepatan rendah, transisi maupun pada kecepatan tinggi menunjukkan hasil presentase sampai dengan 14%. Nilai heave pada kecepatan rendah, transisi maupun pada kecepatan tinggi menunjukkan presentase sampai dengan 19% [2]. Hambatan kapal (*ship resistance*) merupakan salah satu faktor penting dalam perancangan kapal karena secara langsung mempengaruhi kebutuhan daya mesin, efisiensi propulsi, serta konsumsi bahan bakar selama operasi. Perhitungan hambatan yang akurat menjadi kunci dalam menentukan

performa kapal, baik pada tahap desain awal maupun dalam evaluasi kinerja kapal yang sudah beroperasi. Besarnya hambatan akan menentukan besaran daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal pada kecepatan tertentu, sehingga berpengaruh terhadap biaya operasional dan efisiensi energi.

Kapal *container* merupakan salah satu alat transportasi laut yang membantu pengangkutan barang di wilayah Indonesia dan dunia. Perkembangan jasa angkutan *container* tersebut, selain mengalami kenaikan yang signifikan juga diikuti adanya permintaan armada kapal dari kapal general cargo menjadi kapal *container* [3]. Perkembangan teknologi mendorong untuk mengembangkan kapal jenis *container*, khususnya dalam segi ukuran kapal untuk memajukan perdagangan internasional dan perekonomian dunia [4].

Melihat begitu pentingnya kapal *container* terhadap perkembangan ekonomi perdagangan dunia maka diperlukan kapal *container* dengan kualitas yang baik demi kesuksesan dalam perjalanan dalam perdagangan. Salah satu nya dengan banyaknya riset dan penelitian tentang kapal *container* untuk mendapatkan kapal *container* dengan performa yang maksimal. Hambatan kapal timbul disaat kapal bergerak dipermukaan air yang mempunyai kekentalan dan kerapatan masa, serta adanya kondisi fisik permukaan air tersebut seperti adanya kondisi gelombang ataupun air dalam keadaan tenang, dsb. Hambatan kapal merupakan gaya yang timbul karena pertemuan antara badan kapal yang tercelup air dengan gaya-gaya air yang bekerja pada elemen permukaan luasan basah pada kapal tersebut [5].

Menerapkan metode *Holtrop-Mennen* menggunakan pemrograman *Matlab* untuk menghitung hambatan kapal *offshore supply vessel* model *bare hull*. Hasilnya divalidasi dengan perangkat lunak komersial *Maxsurf Resistance*, dan diperoleh perbedaan nilai hambatan yang relatif kecil. Temuan ini membuktikan bahwa implementasi metode *Holtrop-Mennen* dalam bahasa pemrograman dapat menjadi alternatif perhitungan yang efisien dan akurat, sekaligus memberikan fleksibilitas untuk penyesuaian parameter sesuai kebutuhan desain[6]

Menunjukkan bahwa penerapan metode *Holtrop-Mennen* dengan pendekatan komputasi mampu memberikan estimasi hambatan yang mendekati hasil pengujian eksperimental. Hasil tersebut memperkuat validitas metode ini pada berbagai tipe kapal, sekaligus menunjukkan potensinya untuk dikombinasikan dengan analisis variasi bentuk lambung[7]. Seiring dengan

kemajuan teknologi, penggunaan bahasa pemrograman Python memberikan kemudahan dan keterbukaan dalam menciptakan alat untuk menghitung hambatan kapal. Penerapan metode *Holtrop-Mennen* dalam Python memungkinkan adanya penyesuaian dan integrasi dengan sistem lainnya, serta meningkatkan keterbukaan dalam proses perhitungan. Namun, penting untuk mengevaluasi seberapa tepat dan konsisten hasil yang diperoleh dari perhitungan antara aplikasi Python dan *Maxsurf*. Kondisi ini menimbulkan pertanyaan sejauh mana hasil perhitungan dari kedua metode tersebut konsisten. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan untuk membandingkan hasil perhitungan hambatan kapal dengan metode *Holtrop-Mennen* yang diimplementasikan dalam Python dan *Maxsurf*. Melalui perbandingan ini diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai kesesuaian hasil kedua *platform*.

2. Metode Pengumpulan Data

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis membutuhkan berbagai macam data dan masukan untuk dianalisis lebih lanjut. Data-data input tersebut dibedakan menjadi dua macam, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data Primer adalah input pokok yang diperlukan dalam penyusunan tugas akhir ini. Data primer berupa data ukuran utama dilihat pada tabel 3.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang dibutuhkan dalam penyusunan tugas akhir ini. Data sekunder dibutuhkan, karena pada umumnya dapat membantu menyelesaikan permasalahan yang terjadi selama penyusunan Tugas Akhir. 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.

Tabel 1. *Range Variabel* (Cp, L/B, B/T) menurut Jenis Kapal.

Tipe Kapal	Maks Fn	Cp	
		min	max
<i>Bulk Carrier,</i> <i>Tanker</i>	0,24	0,73	0,85
<i>Trawler, Tugs,</i> <i>Coaster</i>	0,38	0,55	0,65
<i>Container,</i> <i>Destroyer types</i>	0,45	0,55	0,67
<i>Cargo liners</i>	0,30	0,56	0,75

<i>Rol on-Roll off, car ferries</i>	0,35	0,55	0,67
-------------------------------------	------	------	------

Berdasarkan tabel 1. untuk yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan berdasarkan baris Ketiga pada tabel tersebut, karna kapal yang digunakan adalah kapal *container*.

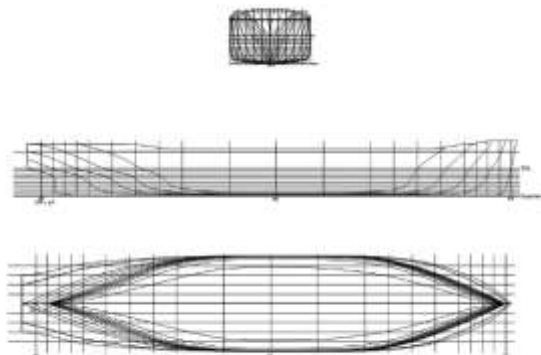
Tabel 2. *Range Variabel (Cp, L/B, B/T) menurut Jenis Kapal.*

Tipe Kapal	L/B		B/T	
	min	max	min	max
<i>Bulk Carier, Tanker</i>	5,10	7,10	2,40	3,20
<i>Trawler, Tugs, Coaster</i>	3,90	6,30	2,10	3,00
<i>Container, Destroyer types</i>	6,00	9,50	3,00	4,00
<i>Cargo liners</i>	5,30	8,00	2,40	4,00
<i>Rol on-Roll off, car ferries</i>	5,30	8,00	3,20	4,00

Berdasarkan tabel 2. untuk yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan baris Ketiga pada tabel tersebut karna kapal yang digunakan adalah kapal *container*.

2.1 Model 1 Kapal Container 19430 DWT

Model 1 adalah model dengan ukuran asli kapal, pemodelan dilakukan pada *software Maxsurf Modeler*. *Linesplan* kapal model 1 dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. *Linesplan Model 1* Kapal Container 19430 DWT.

Data ukuran utama kapal *container* 19430 DWT model 1 dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Data Ukuran Utama Kapal Model 1

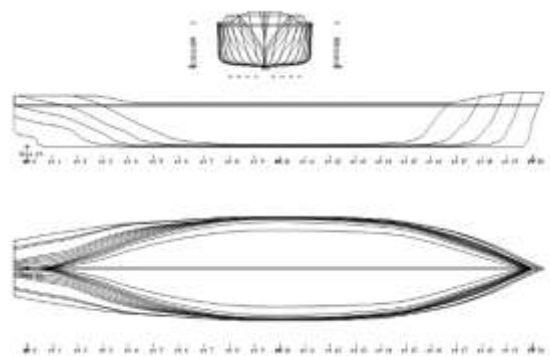
Main Dimension	
<i>Length Waterline (m)</i>	177,19
<i>Breadth (m)</i>	29,22
<i>Height (m)</i>	13,57
<i>Draft (m)</i>	8,57
<i>Speed</i>	13,63
<i>Coefisien Block</i>	0,61
<i>Dead Weight Tonnage (ton)</i>	19430

Dari data dan *linesplan* diatas di lakukan pemodelan 3D pada *software Maxsurf Modeler* dan hasil model 3D kapal *container* 19430 DWT model 1 dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. *Bare Hull* Kapal Kontainer 2.2 Model 2 Kapal Container 19430 DWT

Model 2 pada kapal *container* 19430 DWT ini merupakan model perubahan pada model 1 dimana perubahan dilakukan pada ukuran utama kapal. Perubahan dilakukan dengan menambah lebar kapal dan merubahan Panjang kapal. Berikut perubahan yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. *Linesplan Model 2* Kapal Container 19430 DWT.

Data perubahan ukuran utama kapal *container* 19430 DWT model 2 dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Data Ukuran Utama Kapal Model 2

Main Dimension	
<i>Length Waterline (m)</i>	174,88
<i>Breadth (m)</i>	31,24
<i>Height (m)</i>	13,57
<i>Draft (m)</i>	8,57
<i>Speed</i>	13,63
<i>Coefisien Block</i>	0,60
<i>Dead Weight Tonnage (ton)</i>	19430

Dari data dan *linesplan* diatas di lakukan pemodelan 3D pada *software Maxsurf Modeler* dan hasil model 3D kapal *container* 19430 DWT model 2 dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Modifikasi Kapal Konatainer

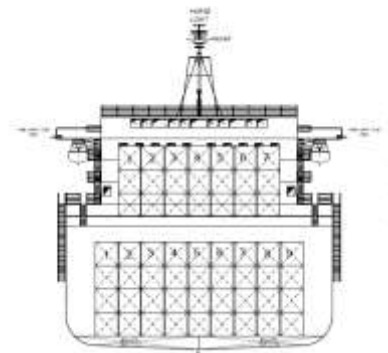
2.3 Simulasi Perubahan susunan Container

Perubahan dilakukan pada Model 2 lambung kapal *container* 19430 DWT dengan merubah lebar dan Panjang kapal, perubahan dilakukan pada lebar kapal dengan menambah satu susunan *container*, yang mana sebelum perubahan kapal mampu membawa 9 susunan baris *container* dengan kapasitas 40 Ft dan 20 Ft pada ruang muat dalam kapal dan 7 susunan dideck luar kapal. Setelah perubahan lebar kapal bisa membawa 10 susunan baris *container* diruang muat dalam kapal, dan 8 baris susunan *container* secara horizontal dideck luar kapal. Dan untuk posisi memanjang tetap sama dengan 15 susunan *container* secara memanjang kedepan dengan komposisi ruang muat depan kemudi diisi container kapasitas 40 Ft dan sisanya dengan kapasitas 20 Ft.

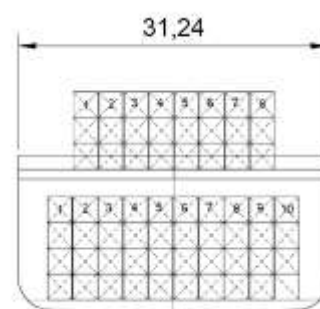
Tabel 5. Data Perubahan Bentuk Lambung

	Awal	Perubahan
LPP(m)	172,07	170,40
LWL(m)	177,23	174,88
B (m)	29,22	31,24

Berikut gambaran susunan kontainer yang mengalami perubahan dapat dilihat pada gambar 5, 6 dan 7.



Gambar 5. Susunan Awal Kontainer



Gambar 6. Susunan Kontainer Modifikasi



Gambar 7. Susunan Kontainer tampak Samping

Perubahan bentuk lambung hanya dilakukan pada lebar kapal dengan menambah satu susunan *container* secara melebar. Dimana untuk panjang ruang muat tetap sama dengan model awal. Pengurangan 2 meter akan dilakukan pada bagian kamar mesin karena masih mendapatkan persenan dari LPP (*Length Between Perpendiculars*) untuk pengurangan pada ruangan tersebut.

2.4 Teknik Pengelohan Data

Pengolahan data yang sudah didapat, penelitian ini dilakukan dengan perhitungan numerik berbasis *Python* dan simulasi pada *software Maxsurf Resistance* untuk menganalisis hambatan kapal *container*. Berikut tahapan yang dilakukan:

Metode *Holtrop* merupakan metode empiris yang digunakan untuk memperkirakan hambatan total kapal. Hambatan total (RT) kapal dipecah menjadi beberapa komponen, yaitu : Hambatan

gesekan (R_f): Hambatan yang timbul akibat gesekan antara lambung kapal dan air. Hambatan residu (R_r): Hambatan tambahan selain hambatan gesekan, seperti hambatan akibat bentuk kapal. Hambatan gelombang (R_w): Hambatan yang timbul akibat pembentukan gelombang air oleh kapal saat bergerak. Hambatan viskosa (R_{visc}): Hambatan akibat viskositas air. Rumus umum yang digunakan adalah:

$$RT = R_f + R_r + R_w + R_{visc} \quad (1)$$

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:

$$C_f = 0.075 / (\log(Re) - 2)^{-2} \quad (2)$$

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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemodelan 3 Dimensi Kapal

Proses permodelan tiga dimensi kapal dilakukan dengan bantuan *software Maxsurf Modeler*. Selama tahapan ini, ukuran utama kapal dan *linesplan* berfungsi sebagai acuan dalam pembuatan model. Jarak panjang antara garis vertikal yang berpotongan dengan buritan dan haluan didefinisikan menggunakan LPP. Untuk proses *fairing*, *linesplan* sangat krusial agar model yang dihasilkan semakin mendekati bentuk aslinya. *Linesplan* digunakan sebagai latar belakang dalam proses permodelan, sehingga memudahkan dalam mencapai kesesuaian yang diinginkan.

Setelah model yang dihasilkan dinilai cukup mirip dengan *linesplan*, langkah selanjutnya adalah membandingkan *linesplan* asli kapal dengan *linesplan* yang dihasilkan oleh *Maxsurf Modeler*. Selain itu, 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 ini dipilih berdasarkan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa toleransi tersebut masih dianggap baik. Dengan demikian, perbandingan antara data hidrostatik kapal dan model 3D dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Tabel 6. Perbandingan Hidrostatik Kapal dan Model 3D

	Kapal	Maxsurf	Koreksi
WSA	5718,59	5673,67	1%
Cb	0,635	0,611	4%
Cp	0,676	0,659	2%
Cm	0,954	0,927	3%

Dari data perbandingan hidrostatik pada tabel di atas menunjukkan nilai koreksi hidrostatik kapal dan model 3D masih dalam batas toleransi, dengan perbedaan tertinggi terdapat pada Cb dengan perbedaan nilai sebesar 4%. Dari data ini menunjukkan bahwa kapal lolos uji validasi yang dilakukan oleh penulis.

3.2. Perhitungan Hambatan Berbasis Python

Sebelum perhitungan dilakukan, data geometri utama kapal perlu disiapkan. Data utama untuk input parameter perhitungan dengan pemrograman *python* dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Parameter input *Python*

Parameter	Keterangan	Nilai
Lpp	Length Of Perpendicular (m)	172,07
Lwl	Length at Waterline (m)	177,19
B	Beam at Waterline (m)	29,22
T	Draft (m)	8,57
Cp	Prismatic Coefficient	0,65
V	Speed in knots	13,63
Cb	Block Coefficient	0,61
Cm	Midship Coefficient	0,98
LCB	Length Coefficient Block	3,048
WSA	Wetted Surface Area (m ²)	5718.593

Perhitungan hambatan total kapal *container 19430 DWT* dilakukan secara numerik menggunakan *skrip Python* yang ditulis berdasarkan metode empiris *Holtrop-Mennen*. Perhitungan ini bertujuan untuk memodelkan estimasi hambatan kapal secara lebih fleksibel dan cepat melalui pendekatan numerik yang dapat dijalankan di platform *Google Colaboratory (Google Colab)*. Dalam implementasinya, program menerima masukan berupa data ukuran utama kapal dan karakteristik bentuk lambung sebagai input parameter, lalu menghitung seluruh komponen hambatan yang terdiri dari hambatan gesek (R_f), hambatan gelombang (R_w), serta menghitung hambatan total (R_t) dan daya efektif

(PE).

Berikut ini adalah rincian tahapan perhitungan dan penjelasan dari kode *Python* yang digunakan:

Pertama, kode menetapkan konstanta fisika seperti :

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

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

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

Hambatan total dihitung dengan rumus :

$$RT = \frac{0,5 \times \rho \times V^2 \times Stot \times (Cf + FF) + CA}{Rw} \quad (3)$$

Python akan mengeluarkan output seperti tabel 8 berikut.

Tabel 8. Output Perhitungan *Python*

Parameter	Hasil
Froude Number	0,1682
1 + k	1,2274
Total Resistance (kN)	326,86
Effective Power (kW)	2291,92
CT	0,00226
CW	0,000090
CF	0,0015

Setelah dilakukan perhitungan pada beberapa kecepatan dinas kapal berikut ditampilkan pada tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan Numerik Berbasis *Python*

Speed	<i>Python</i>
0	0
2	9,07
4	33,42
6	71,89
8	123,88
10	189,07
12	267,12
13,63	326,86

3.3. Analisa Hambatan Kapal pada *Maxsurf*

Dalam penelitian ini, analisa hambatan yang dilakukan dengan 1 metode dengan 2 jenis model lambung kapal pada *Maxsurf Resistance*. Metode yang digunakan yaitu menggunakan metode *Holtrop*. Dengan membandingkan perhitungan Hambatan numerik berbasis *python* dengan model 1 dan model 2 3D lambung kapal dengan *software Maxsurf Resistance*. Model 1 adalah *Bare Hull* dan modifikasi setelah dilakukan perubahan pada lebar (B) dan panjang kapal.

Setelah kedua model siap selanjutnya akan dilakukan perhitungan dengan beberapa variasi kecepatan menggunakan bantuan *software maxsurf resistance* pada masing-masing model 3D lambung kapal *container 19430 DWT*. Pada perhitungan hambatan model 1 lambung kapal didapat hasil pada tabel 10.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Hambatan Total *Bare Hull* pada *Maxsurf*

Vs(Knot)	<i>Bare Hull</i> (kn)
0	0
2	8,70
4	32,20
6	69,20
8	119,40
10	182,80
12	262,50
13,63	328,90

Berikutnya perhitungan hambatan pada lambung modifikasi setelah dilakukan perubahan lebar (B) dan Panjang (LWL) kapal, hasil dari perhitungan *Maxsurf Resistance* dapat dilihat dari tabel 11.

Tabel 11. Hasil Perhitungan hambatan Modifikasi pada *Maxsurf*

Vs(Knot)	Modifikasi (kn)
0	0
2	9,40
4	34,60
6	74,40
8	128,20
10	196,30
12	281,80
13,63	353,30

3.4. Perbandingan Hambatan *Python* dan *Maxsurf Resistance*

Perbedaan hambatan total (RT) *Python* dan *maxsurf* pada perhitungan nya meskipun memakai metode yang sama. meskipun perhitungan hambatan total kapal (RT) dengan metode *Holtrop–Mennen* dilakukan menggunakan *Python* dan perangkat lunak *Maxsurf*, hasil yang diperoleh menunjukkan adanya selisih nilai. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain perbedaan tingkat presisi dan pembulatan angka pada tiap tahap perhitungan, perbedaan metode penentuan parameter geometris kapal, serta kemungkinan perbedaan versi persamaan *Holtrop–Mennen* yang digunakan. *Maxsurf* menghitung parameter seperti luas permukaan basah (WSA), *form factor*, dan kecepatan *Froude* langsung dari

model 3D dengan pembulatan internal, sedangkan *Python* menggunakan data masukan manual dengan presisi penuh. Perbedaan kecil pada parameter-parameter tersebut dapat menghasilkan variasi nilai RT meskipun metode yang digunakan sama.

Berikut perbandingan hasil perhitungan hambatan total (RT) berbasis *Python* dan *maxsurf resistance*. hasil dari kedua perhitungan dapat dilihat pada tabel 12:

Tabel 12. Perhitungan *Python* dan *Maxsurf*

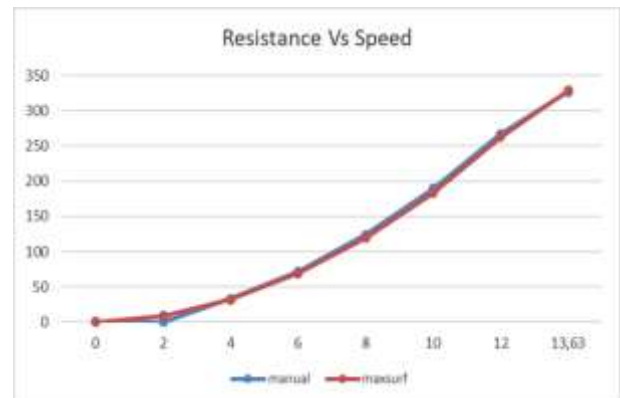
Vs (knot)	<i>Python</i> (kn)	<i>Maxsurf</i> (kn)	Error (%)
0.00	0,00	0,00	—
2.00	9,07	8,70	4,25
4.00	33,42	32,20	3,79
6.00	71,89	69,20	3,89
8.00	123,88	119,40	3,75
10.00	189,07	182,80	3,43
12.00	267,12	262,50	1,76
13.63	326,86	328,90	0,62

Dari tabel 12 nilai hambatan total dari kedua metode menunjukkan tren peningkatan yang konsisten terhadap kecepatan kapal (Vs). Pada kecepatan 2 knot, hambatan yang dihitung dengan *Python* sebesar 9,07 kN, sedangkan hasil dari *Maxsurf* adalah 8,70 kN, dengan persentase *error* sebesar 4,25%. Selisih ini masih relatif kecil dan menunjukkan bahwa perhitungan *Python* cukup mendekati hasil referensi bahkan pada kecepatan rendah. Seiring dengan peningkatan kecepatan kapal, selisih antara kedua metode cenderung menurun. Pada 8 knot, hambatan *Python* sebesar 123,88 kN hanya berselisih sekitar 5,28 kN dari *Maxsurf* 119,40 kN, menghasilkan *error* 3,75%.

Pada kecepatan 12 knot, *error* mulai menurun lebih signifikan, yakni hanya 1,76%, dengan nilai hambatan *Python* sebesar 267,12 kN dan *Maxsurf* sebesar 262,50 kN. Puncaknya terjadi pada kecepatan tertinggi yang dianalisis, yaitu 13,63 knot, di mana perhitungan *Python* memberikan hambatan sebesar 326,86 kN, sedangkan *Maxsurf* sebesar 328,90 kN. Pada titik ini, selisihnya hanya 3,76 kN atau sekitar 0,62%, yang menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi. Maka presentase *error* dapat di hitung:

$$\text{Error RT (\%)} = \left| \frac{326,86 - 328,90}{328,90} \right| \times 100 = 0,62\%$$

Dari tabel 10 diatas, akan disajikan pada grafik gambar 11 untuk melihat perbedaan antara kedua perhitungan .



Grafik 1. Hambatan *Python* dan *Bare Hull Maxsurf*

. Grafik di atas menunjukkan perbandingan nilai hambatan total kapal terhadap kecepatan (dalam satuan knot) antara hasil perhitungan menggunakan program *Python* dan perhitungan *Maxsurf*. Terlihat bahwa tren kenaikan hambatan total bersifat *non-linear*, di mana nilai hambatan meningkat tajam seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal. Pada kecepatan rendah (0–4 knot), perbedaan antara kedua metode sangat kecil dan nyaris tidak terlihat. Seiring bertambahnya kecepatan, khususnya di atas 8 knot, nilai hambatan meningkat secara signifikan, namun hasil *Python* tetap mengikuti kurva *Maxsurf* dengan sangat baik.

Berikut data perbandingan parameter hasil dari *python* dan *Maxsurf* dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13. Perbandingan Parameter Hasil *Python* dan *Maxsurf*

Parame ter	<i>Python</i>	<i>Maxsurf</i>	Selisih (%)
WSA	5718,5933	5653,35	1,15
1 + K	1,227	1,193	2,85
RT	326,86	328,9	-0,62
PE	2291,92	2306,15	-0,62
Cf	0,0015	0,0015	0,00
Cw	0,00009	0,00008	8,30
Ct	0,0022	0,0023	-1,74

3.5 Perbandingan Hambatan *Bare Hull* dan Modifikasi

Berikutnya akan dilakukan perbandingan hambatan yang dihasilkan oleh kedua model, dimana perbandingan ini diharap bisa menjadi bahan pertimbangan untuk pemilik kapal untuk analisa selanjutnya, pada perbandingan ini dimana

Bare hull adalah model asli dari *linesplan* dan modifikasi adalah model hasil komperasi perubahan pada lebar kapal dimana perubahan ini diharap menjadi pertimbangan untuk melakukan analisa pengaruh perubahan lambung terhadap hidrodinamika kapal. Berikut hasil dan perbandingan antara kedua model yang di sajikan pada tabel 14.

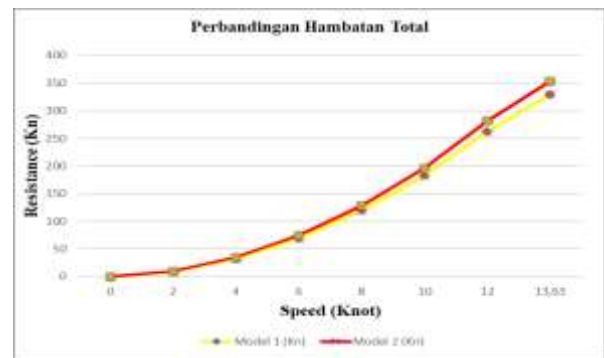
Tabel 14. Perbandingan Hambatan *Bare Hull* dan Modifikasi

Vs (knot)	<i>Bare Hull</i> (kn)	Modifikasi (kn)	Error (%)
0	0,00	0,00	0,00
2	8,70	9,40	8,05
4	32,20	34,60	7,45
6	69,20	74,40	7,52
8	119,40	128,20	7,37
10	182,80	196,30	7,37
12	262,50	281,80	7,37
13.63	328,90	353,30	7,41

Selain membandingkan hasil perhitungan *Python* dengan *Maxsurf*, dilakukan juga perbandingan antara *Bare Hull* dan modifikasi untuk mengevaluasi pengaruh perubahan pada lambung pada hambatan kapal. Secara umum, nilai hambatan dari lambung modifikasi cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan lambung *Bare Hull* di seluruh rentang kecepatan. Sebagai contoh, pada kecepatan 2 knot, lambung *Bare Hull* memberikan hambatan sebesar 8,70 kN, sedangkan pada lambung modifikasi memberikan 9,40 kN, menghasilkan persentase *error* sebesar 8,05%. Selisih ini relatif konsisten di seluruh kecepatan.

Pada kecepatan 6 knot, *Bare Hull* mencatat hambatan sebesar 69,20 kN, sementara lambung modifikasi menunjukkan 74,40 kN, dengan *error* sebesar 7,52%. Selanjutnya, pada kecepatan 10 knot, *Bare Hull* menghasilkan hambatan 182,80 kN, sedangkan lambung modifikasi mencapai 196,30 kN, dengan *error* 7,37%. Pola ini berlanjut hingga kecepatan maksimum yang dianalisis, yaitu 13,63 knot, di mana *Bare Hull* memberikan 328,90 kN dan lambung modifikasi 353,30 kN, dengan selisih sebesar 24,4 kN atau 7,41%. Secara keseluruhan, rata-rata selisih antara lambung *Bare Hull* dan modifikasi adalah sekitar 7,36%. Hal ini menunjukkan bahwa lambung modifikasi menghasilkan estimasi hambatan yang secara konsisten lebih besar, namun tetap berada dalam batas kesalahan yang wajar.

$$\text{Error RT (\%)} = \left| \frac{353,30 - 328,90}{328,90} \right| \times 100 = 7,41\%$$



Grafik 2. Perbandingan Hambatan *Bare Hull* dan Modifikasi

Grafik memperlihatkan perbandingan hambatan total antara *Bare Hull* dan modifikasi. Secara umum, kedua model menunjukkan tren peningkatan hambatan seiring bertambahnya kecepatan kapal, dengan nilai yang relatif berdekatan. Namun, terlihat bahwa lambung modifikasi menghasilkan hambatan total yang sedikit lebih tinggi dibandingkan *Bare hull*, terutama pada kecepatan menengah hingga tinggi (di atas 6 knot).

Kendati demikian, peningkatan hambatan ini masih dalam batas wajar dan menunjukkan bahwa modifikasi desain melalui pelebaran lambung memiliki efek langsung terhadap performa hidrodinamika kapal. Oleh karena itu, keputusan untuk memperlebar lambung perlu diimbangi dengan pertimbangan efisiensi energi dan kebutuhan stabilitas kapal.

4. KESIMPULAN

1. Nilai hambatan kapal yang diperoleh dari perhitungan *Python* menunjukkan tren yang konsisten terhadap peningkatan kecepatan kapal, dengan nilai hambatan pada kecepatan operasi (13,63 knot) sebesar 329,98 kN.
2. Hasil dari *Bare Hull (Maxsurf)* menunjukkan nilai hambatan yang sangat mendekati hasil perhitungan *Python*. Pada kecepatan 13,63 knot, nilai hambatan *Bare Hull* adalah 328,90 kN.
3. Lambung modifikasi (*Maxsurf*) menghasilkan nilai hambatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *Bare Hull* di seluruh rentang kecepatan. Pada kecepatan 13,63 knot, hambatan modifikasi mencapai 353,30 kN.

4. Perbandingan hambatan total pada perhitungan python dan maxsurf, pada kecepatan maksimal 13,63 knot hambatan *Bare Hull (Maxsurf)* bernilai 328,90 kN, sedangkan pada perhitungan *python* nilai hambatan pada kecepatan maksimal 326,86 kN Dimana nilai error 0,62 %. Hal ini membuktikan bahwa perhitungan *Python* cukup akurat dan dapat diandalkan sebagai pendekatan awal dalam estimasi hambatan total kapal.
5. Perbandingan hambatan total pada lambung *Bare Hull* dan modifikasi pada kecepatan maksimal 13,63 knot hambatan lambung modifikasi 7,41% lebih tinggi dibandingkan *Bare Hull*. Rata-rata selisih antara modifikasi dan *Bare Hull* berada pada angka 7,36%, yang masih dalam batas yang wajar untuk perbedaan model simulasi.

Using Holtrop Method On A Vessel With DWT 12,335 Ton,” *Marit. Park J. Marit. Technol. Soc.*, vol. 1, no. October 2022, hal. 84–89, 2022, doi: 10.62012/mp.v1i3.21950.

DAFTAR PUSTAKA

- 1] Andrew Pradana Putra, Mey Krisselni Sitompul, Tri Mardalena, dan Romadani, “Analisis Keterkaitan Transportasi Laut Dengan Pelabuhan Kargo Teluk Dalam Untuk Menunjang Kegiatan Perekonomian Masyarakat Penyalai Kecamatan Kuala Kampar Provinsi Riau,” *J. Jalasena*, vol. 3, no. 2, hal. 57–71, 2022, doi: 10.51742/jalasena.v3i2.544.
- [2] T. S. Nainggolan *et al.*, “Prediksi Komponen Hambatan Total Kapal Fridsma Hull Menggunakan Metode Morphing Mesh,” *J. INOVTEK POLBENG*, vol. 11, no. 2, hal. 92–97, 2021.
- [3] W. Hadi, “Analisis Kebutuhan Armada Kapal Kontainer,” *J. Logistik D III Transp. UNJ*, vol. II, no. 1, hal. 37–44, 2009.
- [4] W. A. Aziz Abdurrohman, Andi Trimulyono, “Analisa Hambatan Angin Dan Stabilitas Kapal Super Container 18.000 Teus (Malacca-Max),” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 1, hal. 91–100, 2019.
- [5] Iskendar, “Komponen Gaya Hambatan Kapal Cepat,” *J. Sains dan Teknol. Indones.*, vol. 8, no. 2, hal. 92–96, 2006.
- [6] E. Ada Augustine, O. Samuel Dare, O. Emmanuel Ediba, C. Author, dan E. Ada Augustine, “Bare hull ship resistance computation of an offshore supply vessel using the Holtrop and menenn method: A MATLAB implementation,” *Int. J. Adv. Eng. Manag.*, vol. 3, no. 10, hal. 2395–5252, 2021, doi: 10.35629/5252-0310678683.
- [7] I. J. Caecielia dan N. D. Tuharea, “Analisis of Hull Shape Art, Speed, Resistance, Power