



Analisa Hambatan Kapal *Bulk Carrier* 19000 DWT Perairan Samarinda–Jakarta Karena Perubahan Dimensi Lambung Kapal

Bagas Cahya Raditya¹⁾, Samuel²⁾, Ahmad Fauzan Zakki³⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

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

*e-mail : bagascahyaraditya@students.undip.ac.id

Abstrak

Hambatan kapal merupakan faktor utama yang mempengaruhi kebutuhan daya mesin, efisiensi bahan bakar, dan performa operasional kapal. Penelitian ini membahas analisa hambatan kapal *bulk carrier* 19000 DWT pada rute pelayaran Samarinda–Jakarta akibat perubahan dimensi lambung kapal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai hambatan total kapal sebelum dan sesudah modifikasi dimensi lambung serta membandingkan hasil perhitungan *excel* metode *holtrop* dengan simulasi menggunakan *software maxsurf resistance*. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan metode empiris *holtrop* dan simulasi berbasis perangkat lunak *maxsurf*. Variasi model lambung yang dianalisis terdiri dari satu model awal (*bare hull*) dan tiga model modifikasi (modifikasi 1, modifikasi 2 dan modifikasi 3) dengan perubahan nilai *length water line* (LWL). Data utama kapal yang digunakan meliputi panjang kapal, lebar kapal, *draft*, koefisien blok dan kecepatan dinas sebesar 14,286 knot. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa nilai hambatan total kapal meningkat seiring bertambahnya kecepatan dan perubahan dimensi lambung kapal. Pada model *bare hull* hambatan total *excel* sebesar 405,11 kN dan hasil *maxsurf* sebesar 427,6 kN pada kecepatan maksimum 14,286 knot. Sementara itu, pada model modifikasi 3 diperoleh hambatan dari perhitungan *excel* sebesar 432,31 kN dan hasil *maxsurf* sebesar 431,0 kN. Perbandingan antara metode *excel* dan *maxsurf* menunjukkan nilai *error* relatif kecil yaitu berkisar antara 0,03% hingga 5,55%. Dengan demikian, metode *holtrop* berbasis *excel* dinilai cukup valid dan mampu memberikan hasil yang mendekati simulasi *maxsurf resistance* dalam analisis hambatan kapal *bulk carrier* 19000 DWT.

Kata Kunci : *Bulk Carrier, Hambatan Kapal, Holtrop, Maxsurf Resistance, Modifikasi Lambung Kapal.*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sangat bergantung pada transportasi laut sebagai tulang punggung distribusi logistik nasional yang dimana mengubungkan daerah yang memiliki potensi ekonomis (*ship follow the trade*) [1]. Rute pelayaran dari pelabuhan Samarinda di Kalimantan Timur menuju ke wilayah Jakarta merupakan salah satu jalur utama dalam distribusi batu bara di negara Indonesia mengingat tingginya kebutuhan pasokan energi dan industri di wilayah Pulau Jawa. [2]. Penggunaan kapal *bulk carrier* untuk mengangkut batu bara pada rute ini menjadi

pilihan utama karena memperhatikan beberapa faktor seperti efisiensi biaya (nilai ekonomis), kapasitas angkut yang besar serta keamanan muatan menjadikan *bulk carrier* ini pilihan yang lebih tepat.

Salah satu yang menjadi tantangan dan juga fokus utama dalam pengoperasian kapal *bulk carrier* adalah hambatan kapal (*ship resistance*) yang sangat memengaruhi terhadap kebutuhan daya mesin dan konsumsi bahan bakar [3]. Hambatan kapal terbagi menjadi beberapa komponen utama seperti adanya hambatan gesek (*frictional resistance*), hambatan gelombang (*wave-making resistance*) dan hambatan akibat

bentuk lambung (*form resistance*) yang semuanya sangat dipengaruhi oleh desain geometrik kapal dan kecepatan pelayaran [4]. Metode empiris seperti *holtrop-mennen* telah digunakan secara luas untuk estimasi awal hambatan kapal terutama dalam tahap desain awal karena mampu memprediksi hambatan berdasarkan parameter utama seperti panjang, lebar, *draft* dan koefisien bentuk lambung [5].

Kondisi perairan Indonesia yang bervariasi, termasuk adanya pasang surut, gelombang lokal, dan perubahan arus, menjadikan studi resistansi kapal pada rute pelayaran domestik seperti Samarinda–Jakarta menjadi hal penting untuk dianalisis spesifik. Serta di sisi lain, produksi dan kebutuhan batubara Indonesia terus meningkat rata-rata di angka 11% untuk memenuhi kebutuhan domestik maupun ekspor, menjadikan salah satu pertimbangan untuk dilakukan analisa hambatan karena perubahan dimensi dari lambung kapal untuk penyesuaian muatan [6].

Oleh karena itu, penting dilakukan analisis hambatan secara spesifik pada kapal bulk carrier muatan batu bara yang beroperasi di rute Samarinda–Jakarta karena karakteristik perairan Indonesia yang kompleks dan bervariasi dapat mempengaruhi performa kapal secara signifikan. Hasil dari analisis ini diharapkan mampu memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan desain kapal yang lebih optimal, khususnya dalam aspek performa dan efisiensi operasional. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam proses perencanaan operasi kapal agar dapat berjalan lebih efektif dan ekonomis sesuai dengan kebutuhan pelayaran.

Penulisan penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil perhitungan hambatan kapal *bulk carrier* sebelum dilakukan modifikasi (*bare hull*) dan setelah dilakukan modifikasi perubahan dimensi lambung kapal, menggunakan metode Holtrop antara perhitungan berbasis *excel* dengan perhitungan berbasis simulasi dengan bantuan *software maxsurf*. Melalui perbandingan ini diharapkan dapat diperoleh pemahaman akan hasil yang valid mengenai kesesuaian hasil antar kedua *platform*.

2. METODE

2.1 Objek Penelitian

Dalam proses penyusunan penelitian ini, penulis memerlukan berbagai jenis data serta informasi pendukung yang relevan guna menunjang kelancaran penelitian dan memperoleh hasil analisis yang akurat. Data dan informasi tersebut digunakan sebagai dasar dalam melakukan

pengolahan, pengkajian, serta evaluasi terhadap permasalahan yang dibahas pada penelitian kali ini.

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kapal *bulk carrier*. Kapal *bulk carrier* adalah kapal niaga yang secara khusus dirancang untuk mengangkut muatan curah (*bulk cargo*) seperti batu bara, bijih besi, gandum, dan bahan tambang lainnya dalam jumlah besar tanpa menggunakan container [7].

Data dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder

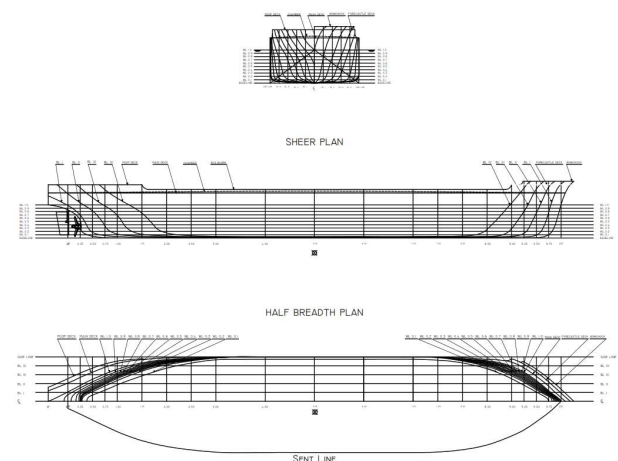
1) Data Primer

Data Primer adalah *input* pokok yang diperlukan dalam penyusunan penelitian ini yang diperoleh dari tugas rancang. Data primer berupa data ukuran utama dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1 Ukuran Utama Bulk Carrier 1900 DWT

<i>Main Dimension</i>	
<i>Length Between Perpendicular (m)</i>	145,01
<i>Length Waterline (m)</i>	150,81
<i>Breadth (m)</i>	26,07
<i>Height (m)</i>	13,23
<i>Draft (m)</i>	9,71
<i>Speed</i>	14,286
<i>Coefficient block</i>	0,78
<i>Dead Weight Tonnage (ton)</i>	19000

Gambar *lines plan* bulk carrier 1900 DWT dapat dilihat sebagai berikut:



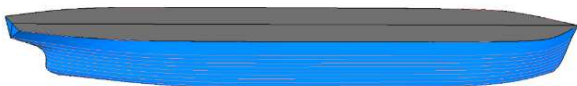
Gambar 1 Lines Plan Bulk Carrier 1900 DWT

2) Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang memiliki peranan penting dalam proses penyusunan penelitian ini. Keberadaan data sekunder diperlukan untuk melengkapi data utama serta membantu penulis dalam memahami dan menyelesaikan berbagai permasalahan yang muncul selama proses penelitian dan penyusunan berlangsung. Selain itu, data sekunder juga digunakan sebagai bahan referensi dan

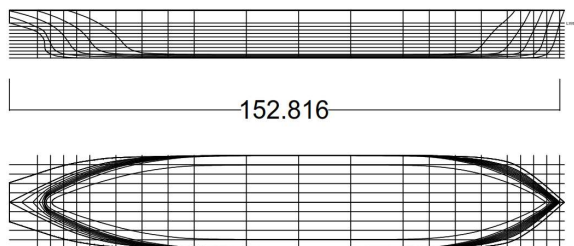
pembandingan guna memperkuat hasil analisis yang dilakukan. Sumber-sumber tersebut meliputi buku referensi, artikel ilmiah, jurnal penelitian, laporan terdahulu, serta berbagai informasi pendukung yang berasal dari internet.

Dari data ukuran utama dan linesplan yang didapatkan pada data primer kemudian dilakukan pemodelan 3D pada *software maxsurf modeller*. Adapun parameter tetap yang ditentukan yaitu untuk B (*breadth*), T (*draught*), H (*height*), Vs (kecepatan dinas), dan parameter peubah yaitu perubahan dimensi panjang kapal.

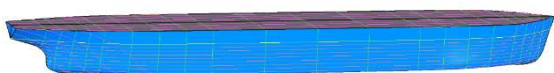


Gambar 2 Model 3D Kapal *Bulk Carrier* 19000 DWT

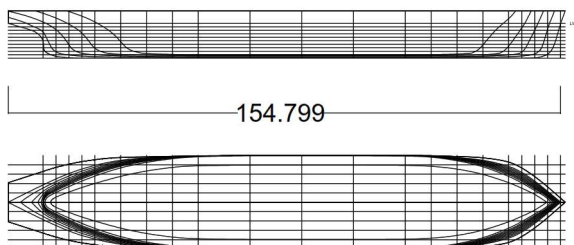
Kemudian dilakukan modifikasi panjang kapal dengan bantuan *maxsurf modeller* dengan menghasilkan 3 variasi lambung modifikasi yang dapat dilihat pada lampiran gambar berikut :



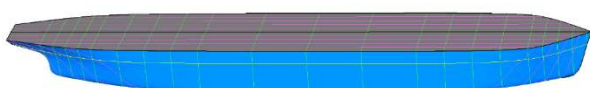
Gambar 3 *Linesplan Bulk Carrier* Modifikasi 1



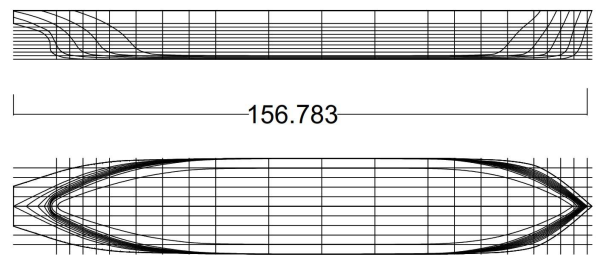
Gambar 4 Model 3D *Bulk Carrier* Modifikasi 1



Gambar 5 *Linesplan Bulk Carrier* Modifikasi 2



Gambar 6 Model 3D *Bulk Carrier* Modifikasi 2



Gambar 7 *Linesplan Bulk Carrier* Modifikasi 3



Gambar 8 Model 3D *Bulk Carrier* Modifikasi 3

2.2 Teknik Pengelohan Data

Tahapan penelitian yang diterapkan dalam penulisan ini terdiri atas beberapa langkah sebagai berikut :

Pertama, pembuatan model *bare hull* kapal dari *linesplan* menjadi model tiga dimensi dengan bantuan *maxsurf modeller*.

Kedua, melakukan variasi penambahan modifikasi berupa perubahan dimensi panjang kapal yang akhirnya tercipta model lambung modifikasi 1, modifikasi 2, dan modifikasi 3.

Ketiga menganalisis nilai hambatan kapal pada *bare hull* dan 3 lambung hasil modikasi serta membandingkan hasil dari keempat nilai hambatan total pada model tersebut menggunakan perhitungan berbasis *excel* dan *software maxsurf resistance*.

Keempat, melakukan validasi dan pembuatan kesimpulan berdasarkan hasil yang diperoleh dari hasil analisa nilai hambatan.

2.3 Holtrop

Metode *holtrop* adalah salah satu metode yang sering digunakan untuk memperkirakan tahanan total (RT) kapal, terutama pada kapal-kapal *displacement*. Dalam penerapannya, metode *holtrop* membagi hambatan total kapal menjadi beberapa komponen utama agar proses analisis dapat dilakukan secara lebih rinci dan sistematis. yaitu Hambatan gesekan (R_F) merupakan hambatan yang timbul akibat gesekan antara lambung kapal dan air. Hambatan tambahan (R_{APP}) merupakan hambatan yang dihasilkan oleh tambahan pada bentuk kapal. Hambatan gelombang (R_W) merupakan hambatan yang timbul akibat pembentukan gelombang air oleh kapal saat

bergerak. Hambatan *bulbous bow* (R_B) merupakan hambatan akibat penambahan *bulbous bow*. Hambatan *transom* (R_{TR}) merupakan hambatan yang diakibatkan oleh bagian *transom*. (R_A) merupakan hambatan akibat koefisien bentuk kapal [8]. Rumus umum yang digunakan adalah :

$$R_T = R_F(1+k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (1)$$

Dimana,

- R_T = Hambatan Total
- R_F = Hambatan Gesek
- R_{APP} = Hambatan Tambahan
- R_W = Hambatan Gelombang
- $1+k_1$ = *form factor* ~ mewakili pengaruh bentuk badan kapal terhadap viskositas total
- R_B = Hambatan *Bulbous Bow*
- R_{TR} = Hambatan *Transom*
- R_A = Hambatan korelasi model

Perhitungan setiap komponen hambatan dengan metode *holtrop* mempertimbangkan sejumlah parameter utama, antara lain koefisien gesekan (C_f), koefisien hambatan residu, serta pengaruh karakteristik bentuk dan kecepatan kapal. Nilai koefisien gesekan diperoleh menggunakan persamaan ITTC [9].

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

Dimana Re merupakan bilangan *reynolds* yang dihitung berdasarkan kecepatan kapal, panjang kapal, serta viskositas kinematik fluida air.

2.4 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 [10]. 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 [11]:

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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan 3 Dimensi Kapal

Model 3D kapal dibuat berdasarkan data *lines plan* dan *offset table* yang telah diperoleh sebelumnya. Proses pemodelan tersebut dilakukan

menggunakan *software maxsurf modeler* untuk menghasilkan bentuk lambung kapal secara tiga dimensi sesuai dengan ukuran dan karakteristik kapal yang direncanakan.

Verifikasi model dilakukan dengan membandingkan setiap aspek ukuran utama kapal antara sumber acuan dengan hasil pembuatan model 3D. Perbedaan tertinggi berada pada nilai *displacement* dengan perbedaan sebesar 1,25%, dengan nilai perbedaan kurang dari 5% sehingga dapat dinyatakan bahwa model 3D sudah sesuai dengan data acuan dan dapat dilakukan analisis.

Tabel 2 Perbandingan Nilai Ukuran Utama terhadap model 1

N 0	Dimensi	Nilai Acuan	Nilai Model 1	Per- bedaan (%)
1	<i>Length Water Line</i> (LWL)	150,81	152,816	1,33%
2	<i>Beam</i> (B) on WL	26,07	26,07	0%
3	<i>Wetted area</i> (WSA)	5312,61	5366,88	1,02%
4	<i>Displacement</i> (Δ)	30416,69	30374,47	0,14%

Hasil perbandingan ukuran utama antara nilai acuan dan model 1 menunjukkan bahwa beberapa dimensi mengalami perubahan, meskipun selisihnya masih relatif kecil. Pada nilai *length water line* (LWL), terjadi peningkatan dari 150,81 m menjadi 152,816 m dengan perbedaan sebesar 1,33%. Sementara itu, nilai *Beam* (B) on WL tidak mengalami perubahan, sehingga nilai perbedaannya sebesar 0%.

Selain itu, nilai *Wetted Surface Area* (WSA) mengalami peningkatan dari 5312,61m² menjadi 5366,88m² dengan selisih sebesar 1,02%. Pada *displacement* kapal juga terjadi sedikit perubahan dari 30416,69-ton menjadi 30374,47-ton dengan perbedaan sebesar 0,14%. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa model 1 masih memiliki karakteristik ukuran utama yang cukup mendekati nilai acuan kapal awal.

Tabel 3 Perbandingan Nilai Ukuran Utama terhadap model 2

N 0	Dimensi	Nilai Acuan	Nilai Model 2	Per- bedaan (%)
1	<i>Length Water Line</i> (LWL)	150,81	154,799	2,64%
2	<i>Beam</i> (B) on WL	26,07	26,07	0%
3	<i>Wetted area</i> (WSA)	5412,61	5436,628	0,44%
4	<i>Displacement</i> (Δ)	30416,69	30407,11	0,03%

Hasil perbandingan ukuran utama antara nilai acuan dan model 2 menunjukkan adanya beberapa perubahan pada dimensi kapal namun selisih yang terjadi masih relatif kecil. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa model 2 masih memiliki ukuran utama yang cukup mendekati nilai acuan kapal awal meskipun telah dilakukan modifikasi pada dimensi lambung.

Tabel 4 Perbandingan Nilai Ukuran Utama terhadap model 3

N 0	Dimensi	Nilai Acuan	Nilai Model 3	Per- bedaan (%)
1	<i>Length Water Line (LWL)</i>	150,81	156,783	3,96%
2	<i>Beam (B) on WL</i>	26,07	26,07	0%
3	<i>Wetted area (WSA)</i>	5412,61	5506,296	1,73%
4	<i>Displacement (Δ)</i>	30416,69	30796,83	1,25%

Hasil perbandingan ukuran utama antara nilai acuan dan model 3 menunjukkan adanya perubahan pada beberapa dimensi kapal setelah dilakukan modifikasi. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa model 3 memiliki perubahan ukuran utama yang lebih besar dibandingkan model sebelumnya namun nilainya masih cukup mendekati nilai acuan kapal awal.

Nilai *Wetted Surface Area (WSA)* juga mengalami perubahan pada setiap model. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa perubahan dimensi dan bentuk lambung kapal memberikan pengaruh terhadap karakteristik hidrostatis kapal yang dianalisis.

3.2 Analisa Hambatan Kapal

Dalam penelitian ini, perhitungan hambatan kapal dilakukan menggunakan satu metode analisis, yang selanjutnya diterapkan dalam dua jenis perhitungan untuk mengevaluasi karakteristik hambatan yang dihasilkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode Holtrop, dengan membandingkan atau mengkomparasikan hasil perhitungan hambatan berbasis excel dengan perhitungan *software maxsurf resistance*. Proses komparasi tersebut bertujuan untuk menilai konsistensi dan keandalan hasil perhitungan yang diperoleh. Penelitian ini menggunakan kapal *bulk carrier* sebagai objek penelitiannya.

3.3 Perhitungan Hambatan Metode Holtrop Berbasis Excel

Dalam penelitian ini, perhitungan hambatan total kapal *bulk carrier* dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *microsoft excel* dengan mengacu

pada metode empiris *holtrop & mennen*. Pendekatan ini digunakan untuk memperoleh estimasi hambatan kapal secara efisien, fleksibel, dan sistematis melalui perhitungan berbasis *spreadsheet*. Seluruh tahapan perhitungan disusun berdasarkan formulasi standar metode *holtrop* yang diimplementasikan ke dalam lembar kerja *excel*, sehingga proses analisis dapat dilakukan secara terstruktur.

Penggunaan *excel* dalam perhitungan ini memberikan keuntungan dalam hal kemudahan modifikasi parameter dan visualisasi hasil perhitungan, seperti grafik hubungan antara kecepatan kapal dengan hambatan total sehingga mempermudah interpretasi hasil perhitungan. Dengan keunggulan tersebut, metode ini layak digunakan sebagai pendekatan yang efektif dan efisien dalam analisis awal performa hidrodinamika, terutama pada kajian hambatan kapal. Pada perhitungan berbasis *microsoft excel*, tahap awal yang dilakukan adalah memasukkan data geometri utama kapal sebagai parameter input. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses perhitungan hambatan kapal.

Tabel 5 Parameter Input Data Geometri Kapal

Parameter	Bare Hull	Modifikasi		
		1	2	3
(LWL)	150,81 m	152,816 m	154,799 m	156,783 m
(B) on WL	26,07 m	26,07 m	26,07 m	26,07 m
T	9,71 m	9,71 m	9,71 m	9,71 m
Cb	0,78	0,766	0,757	0,757
Cp	0,79	0,775	0,77	0,76
Cm	0,99	0,99	0,99	0,99
<i>Displacement Volume</i>	30416,69	30374,47	30407,11	30796,83
<i>Displacement LCB from midship</i>	29674,82	29633,63	29665,48	30045,69
<i>Wetted area (WSA)</i>	5412,61	5366,88	5436,628	5506,296

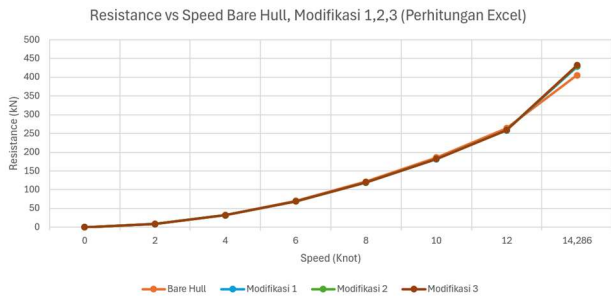
Perhitungan dilakukan pada beberapa kecepatan kapal yaitu dari 0 hingga 14,286 knot yang dimana merupakan kecepatan maksimal. Hasil perhitungan dari excel disajikan dalam tabel 6 berikut ini.

Tabel 6 Hambatan Total Bare Hull dan Modifikasi 1,2,3 (Perhitungan Excel)

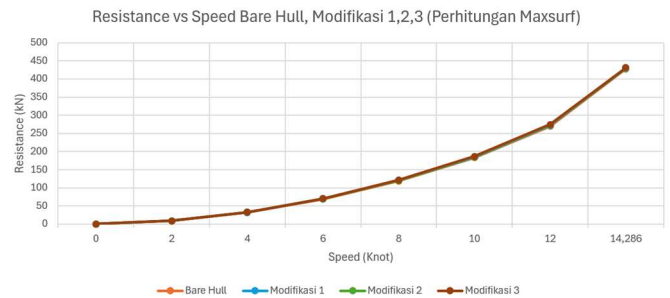
Vs (knot)	Bare Hull (kN)	Modifikasi		
		1 (kN)	2 (kN)	3 (kN)
0	0	0	0	0
2	8,88	8,69	8,70	8,72
4	32,78	32,07	32,14	32,19
6	70,52	69,02	69,17	69,28
8	121,58	119,0	119,27	119,46
10	185,80	181,85	182,26	182,54
12	264,33	258,27	258,70	258,98
14,286	405,11	428,19	429,95	432,31

Tabel 7 Hambatan Total Bare Hull dan Modifikasi 1,2,3 (Perhitungan Maxsurf)

Vs (knot)	Bare Hull (kN)	Modifikasi		
		1 (kN)	2 (kN)	3 (kN)
0	0	0	0	0
2	8,7	8,7	8,8	8,9
4	31,9	32,2	32,5	32,7
6	68,7	69,2	69,8	70,3
8	118,4	119,4	120,3	121,3
10	182,5	183,9	185,3	186,8
12	269,4	271,2	272,9	274,7
14,286	427,6	428,7	429,8	431,0



Gambar 9 Grafik Perbandingan RT Perhitungan Excel Kapal Bare Hull, Modifikasi 1,2 dan 3



Gambar 10 Grafik Perbandingan RT Perhitungan Maxsurf Kapal Bare Hull, Modifikasi 1,2 dan 3

Sehingga didapatkan hasil dari perhitungan *excel* pada kecepatan maksimal untuk *bare hull* mendapatkan nilai hambatan sebesar 405,11 kN, modifikasi 1 sebesar 428,19 kN, modifikasi 2 sebesar 429,95 dan modifikasi 3 sebesar 432,31 kN. Dapat ditarik kesimpulan untuk perubahan panjang dari 150,81 menjadi 156,83 dapat meningkatkan hambatan sebesar 6,71%, untuk perhitungan dengan *excel*.

3.4 Analisa Hambatan Kapal dengan Software Maxsurf

Bare hull merupakan model awal sebelum dilakukan perubahan sedangkan pada model lambung modifikasi dilakukan perubahan pada dimensi panjang kapal. Keempat model tersebut kemudian dianalisis menggunakan *software Maxsurf Resistance* dengan beberapa variasi kecepatan. Hasil perhitungan sebelum dan sesudah perubahan dimensi kapal nantinya dibandingkan untuk melihat pengaruh perubahan dimensi terhadap nilai hambatan kapal.

Setelah perhitungan hambatan total berbasis *excel* selesai dilakukan, tahap berikutnya yaitu melakukan analisis menggunakan *software Maxsurf Resistance* dengan metode Holtrop. Perhitungan dilakukan pada variasi kecepatan 0–14,286 knot dimana 14,286 knot merupakan kecepatan maksimum kapal *Bulk Carrier* 19000 DWT.

Dari hasil tabel 7 dan gambar 10 tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi kecepatan kapal, maka nilai hambatan total yang diterima kapal juga semakin besar. Selanjutnya, dilakukan perhitungan yang sama pada lambung modifikasi 1 setelah dilakukan perubahan pada dimensi panjang kapal menggunakan *software Maxsurf Resistance*.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan dimensi pada model modifikasi 1 memberikan pengaruh terhadap nilai hambatan kapal, meskipun kenaikannya tidak terlalu jauh dibandingkan model sebelum modifikasi yaitu dari 427,6 kN menjadi 429,3 kN. Kemudian, perhitungan hambatan juga dilakukan pada model lambung modifikasi lainnya yaitu modifikasi 2 untuk melihat pengaruh perubahan dimensi kapal terhadap nilai hambatan total yang dihasilkan.

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa model modifikasi 2 menghasilkan nilai hambatan yang sedikit lebih besar dibandingkan model sebelumnya pada beberapa variasi kecepatan dan mendapatkan hasil 429,8 kN pada kecepatan maksimal.

Model modifikasi 3 menunjukkan peningkatan nilai hambatan total pada setiap kenaikan kecepatan kapal. Jika dibandingkan dengan model sebelumnya, nilai hambatan pada model 3 cenderung lebih besar yaitu sebesar 431 kN sehingga dapat dilihat bahwa perubahan dimensi pada model ini memberikan pengaruh terhadap peningkatan hambatan kapal.

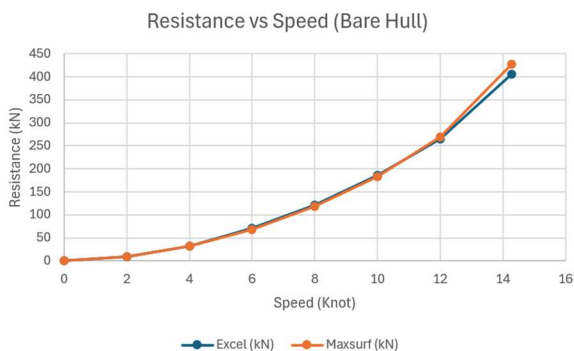
Dapat ditarik kesimpulan untuk perubahan panjang dari 150,81 menjadi 156,83 dapat meningkatkan hambatan sebesar 0,8 % untuk perhitungan dengan *maxsurf*.

3.5 Perbandingan Hambatan Berbasis Excel dan Maxsurf

Meskipun perhitungan hambatan total kapal (RT) dengan metode *Holtrop-Mennen* dilakukan dengan menggunakan excel 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 *froude number* langsung dari model 3D dengan pembulatan internal, sedangkan excel menggunakan data inputan manual.

Tabel 8 Perbandingan Nilai Hambatan Excel dan Maxsurf Resistance Kapal *Bare Hull*

Vs (Knot)	Excel (kN)	Maxsurf (kN)	Perbandingan (%)
0	0	0	0
2	8,88	8,7	2,03
4	32,78	31,9	2,68
6	70,52	68,7	2,58
8	121,58	118,4	2,62
10	185,80	182,5	1,78
12	264,33	269,4	1,92
14,286	405,11	427,6	5,55



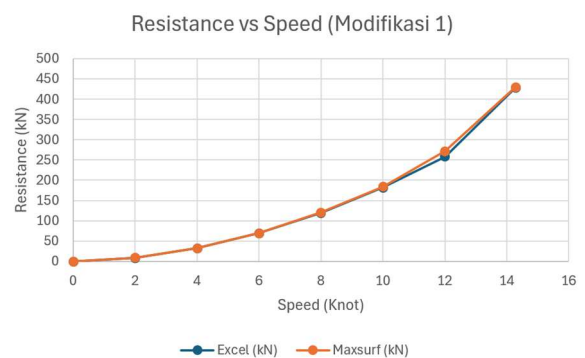
Gambar 9 Grafik Perbandingan Hambatan Excel dan Maxsurf *Bare Hull*

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai hambatan yang dihitung pada excel memiliki hasil yang cukup mendekati perhitungan menggunakan *software* Maxsurf Resistance sehingga perhitungan dengan excel yang digunakan masih dapat

dianggap valid untuk menganalisis hambatan kapal.

Tabel 9 Perbandingan Nilai Hambatan Excel dan Maxsurf Resistance Kapal Modifikasi 1

Vs (Knot)	Excel (kN)	Maxsurf (kN)	Perbandingan (%)
0	0	0	0
2	8,69	8,8	1,27
4	32,07	32,3	0,72
6	69,02	69,3	0,41
8	119,0	120,6	1,34
10	181,85	184,2	1,29
12	258,27	271,6	5,16
14,286	428,19	429,3	0,26

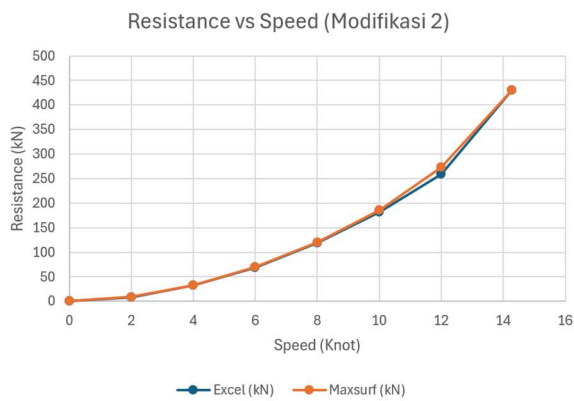


Gambar 10 Grafik Perbandingan Hambatan Excel dan Maxsurf Kapal Modifikasi 1

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa hasil perhitungan excel pada model modifikasi 1 masih cukup mendekati hasil simulasi *software* Maxsurf.

Tabel 10 Perbandingan Nilai Hambatan Excel dan Maxsurf Resistance Kapal Modifikasi 2

Vs (Knot)	Excel (kN)	Maxsurf (kN)	Perbandingan (%)
0	0	0	0
2	8,70	8,8	1,15
4	32,14	32,5	1,12
6	69,17	69,8	0,91
8	119,27	120,3	0,86
10	182,26	185,3	1,67
12	258,70	272,9	5,49
14,286	429,95	429,8	0,03

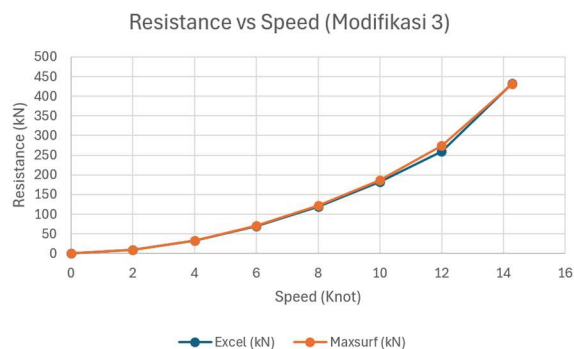


Gambar 11 Grafik Perbandingan Hambatan *Excel* dan *Maxsurf* Kapal Modifikasi 2

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa hasil perhitungan *excel* pada model modifikasi 2 memiliki hasil yang cukup mendekati simulasi *software maxsurf resistance* sehingga perhitungan yang dilakukan masih dapat dianggap sesuai.

Tabel 11 Perbandingan Nilai Hambatan *Excel* dan *Maxsurf Resistance* Kapal Modifikasi 3

Vs (Knot)	Excel (kN)	Maxsurf (kN)	Perbandingan (%)
0	0	0	0
2	8,72	8,9	2,06
4	32,19	32,7	1,58
6	69,28	70,3	1,47
8	119,46	121,3	1,54
10	182,54	186,8	2,33
12	258,98	274,7	6,07
14,286	432,31	431,0	0,30



Gambar 12 Grafik Perbandingan Hambatan *Excel* dan *Maxsurf* Kapal Modifikasi 3

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa hasil perhitungan *excel* pada model modifikasi 3 masih cukup mendekati hasil simulasi menggunakan *software maxsurf resistance* sehingga hasil perhitungan yang diperoleh dapat digunakan sebagai acuan dalam analisis hambatan kapal. Presentase *error* dapat di hitung:

$$Error RT (\%) = \left| \frac{432,31 - 431,0}{431,0} \right| \times 100 = 0,30\%$$

Secara umum, hasil perhitungan berbasis *excel* dan simulasi *maxsurf* menunjukkan kesesuaian yang cukup baik, dengan perbedaan nilai hambatan total sekitar 2%-5% pada kecepatan dinas maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa rumus Holtrop yang diimplementasikan dalam perhitungan dengan bantuan *excel* dan dikomparasikan dengan *maxsurf resistance* mampu merepresentasikan perilaku hambatan kapal dengan akurasi yang baik

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian hambatan kapal *bulk carrier* 19000 DWT menggunakan metode Holtrop berbasis *excel* menghasilkan nilai hambatan total (R_T) yang meningkat secara konsisten seiring bertambahnya kecepatan kapal. Pada kecepatan maksimum 14,286 knot, hambatan total mencapai 405,11 kN untuk model awal (sebelum modifikasi). Untuk model modifikasi, nilai hambatan pada kecepatan maksimum adalah 428,19 kN (modifikasi 1), 429,95 kN (modifikasi 2), dan 432,31 kN (modifikasi 3), menunjukkan bahwa penambahan panjang LWL pada setiap variasi modifikasi turut meningkatkan nilai hambatan kapal.

Berdasarkan hasil penelitian hambatan menggunakan *Maxsurf Resistance* dengan metode Holtrop menghasilkan nilai yang sangat mendekati hasil *excel*. Pada kecepatan maksimum 14,286 knot diperoleh nilai 427,6 kN. Untuk model modifikasi pada kecepatan yang sama, hambatan masing-masing adalah 428,7 kN (modifikasi 1), 429,8 kN (modifikasi 2), dan 431,0 kN (modifikasi 3). Lambung modifikasi secara keseluruhan menghasilkan hambatan yang lebih tinggi dibandingkan hambatan sebelum modifikasi, dengan hambatan modifikasi tertinggi mencapai 431,0 kN pada kecepatan 14,286 knot.

Secara keseluruhan, penggunaan perhitungan hambatan berbasis *excel* cukup efektif untuk mengevaluasi performa hidrodinamika kapal, serta mampu mengidentifikasi dampak perubahan dimensi lambung terhadap karakteristik hambatan dan menjadi solusi lain *software open source* (tidak berbayar) untuk menghitung nilai hambatan pada kapal, dengan selisih antara hasil *excel* dan *maxsurf* berada dalam rentang yang sangat kecil, yaitu antara 0,03% hingga 5,55%, sehingga kedua metode dapat dianggap saling valid dan konsisten.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Ridwan and S. Hartini, "Analisis Sistem Transportasi Laut Indonesia," *J. Reg. City Plan.*, vol. 8, no. 3, pp. 49–59, 2017
- [2] T. Suseno, "Analisis Pola Distribusi Logistik Dan Infrastruktur Batubara Untuk Pltu Skala Kecil," *Tekno. Miner. dan Batubara*, vol. 13, no. 1, pp. 53–72, 2022
- [3] F. Nurudin and H. Hasanudin, "Desain Kapal Bulk Carrier Guna Pemenuhan Kebutuhan Batubara PLTU Sudimoro Pacitan," *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 1, 2020, doi: 10.12962/j23373539.v9i1.51448.
- [4] F. Zhou, M. Zhong, X. Zhou, B. Zheng, J. Ji and J. Huang, "Experimental study on resistance of sea-river bulk carriers model," 2017 4th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), Banff, AB, Canada, 2017, pp. 911-916, doi: 10.1109/ICTIS.2017.8047877
- [5] D. Purnamasari, I. K. A. P. Utama, and K. Suastika, "Benchmark Study of Ship Model Resistance Test," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 874, no. January, pp. 114–120, 2018, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.874.114.
- [6] H. Haryadi and M. Suciyananti, "Analisis Perkiraan Kebutuhan Batubara Untuk Industri Domestik Tahun 2020-2035 Dalam Mendukung Kebijakan Domestic Market Obligation Dan Kebijakan Energi Nasional," *J. Tekno. Miner. dan Batubara*, vol. 14, no. 1, p. 59, 2018, doi: 10.30556/jtmb.vol14.no1.2018.192.
- [7] Ebrahimi, A., & Khabir, M. (2015). Investigation on Resistance of a Bulk Carrier Vessel Using CFD Method by VOF model.
- [8] M. G. Holtrop J, "An Approximate Power Prediction Method". hlm. 106-170, 1982.
- [9] 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
- [10] A.F. Molland, S. R. Turnock, and D. A. Hudson, "Ship Resistance and Propulsion," *Sh. Resist. Propuls.*, 2011.
- [11] D. Principles, Ships Marine Structures. Boca Raton: CRC Press, 2016.