

SIMULASI NUMERIK VARIASI JARAK ANTAR LAMBUNG *HULL ASIMETRIS FLAT SIDE INSIDE* TERHADAP HAMBATAN KAPAL MV KASWARI ELOK 87

Bagus Dwi Hutomo

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: bagusdwi.22015@mhs.unesa.ac.id

Muhamad Syariffuddien Zuhrie

S2 Teknik elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: zuhrie@unesa.ac.id

Abstrak

Hull kapal merupakan komponen utama dalam desain kapal yang sangat memengaruhi performa keseluruhan. Saat suatu benda bergerak di dalam fluida, timbul gaya hambat yang dapat menurunkan efisiensi gerak. Salah satu cara efektif untuk mengurangi hambatan pada kapal katamaran adalah dengan memvariasikan jarak antar lambung agar pola gelombang pada haluan dapat dimanipulasi sehingga hambatan berkurang. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji mengenai pengaruh variasi jarak antar lambung terhadap gaya hambat kapal menggunakan simulasi numerik dengan perangkat lunak Maxsurf Resistance Enterprise V8i pada kapal MV Kaswari Elok 87. Variasi dilakukan pada tiga tipe jarak antar lambung berdasarkan parameter *linear form coefficient* dengan nilai minimum, tengah, dan maksimum, serta diuji pada kecepatan 10 knot, 15 knot, dan 25 knot. Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi jarak antar lambung berpengaruh signifikan terhadap besarnya hambatan (*resistance*) dan koefisien hambat (*coefficient of drag, C_D*). Semakin besar jarak antar lambung, hambatan yang diterima semakin kecil, sehingga nilai *C_D* menurun. Sebaliknya, jarak yang terlalu sempit menimbulkan interferensi gelombang antar lambung yang meningkatkan hambatan dan *C_D*. Berdasarkan analisis, tipe -3 memberikan performa terbaik karena menghasilkan hambatan relatif kecil pada kecepatan 10 knot, 15 knot, dan 25 knot, efektif mencegah interferensi gelombang, serta mengurangi gesekan permukaan lambung. Dengan demikian, tipe -3 dinilai paling optimal untuk mendukung fungsi MV Kaswari Elok 87 sebagai kapal pariwisata yang efisien dan nyaman.

Kata Kunci: Simulasi numerik, jarak antar lambung, *hull asimetris flat side inside*, hambatan kapal

Abstract

*The ship's hull is a key component in the ship's design that greatly affects its overall performance. When an object moves in a fluid, an obstacle force arises that can reduce the efficiency of motion. One effective way to reduce drag on a catamaran is to vary the distance between the hulls so that the wave pattern on the bow can be manipulated so that the drag is reduced. This study aims to examine the effect of variations in distance between hulls on ship drag force using numerical simulation with Maxsurf Resistance Enterprise V8i software on the MV Kaswari Elok 87 ship. Variations were made on three types of distance between hulls based on linear form coefficient parameters with minimum, middle, and maximum values, and tested at speeds of 10 knots, 15 knots, and 25 knots. The simulation results showed that the variation in distance between hulls had a significant effect on the amount of resistance and the coefficient of drag. The greater the distance between the hulls, the smaller the resistance received, so the value decreases. On the other hand, too narrow a distance causes interference of waves between the hulls which increases the resistance and *C_D*. Based on the analysis, the -3 type provides the best performance because it produces relatively small resistance at speeds of 10 knots, 15 knots, and 25 knots, effectively prevents wave interference, and reduces hull surface friction. Thus, the -3 type is considered the most optimal to support the function of MV Kaswari Elok 87 as an efficient and comfortable tourism ship.*

Keywords: Numerical simulation, distance between hulls, *asymmetrical hull flat side inside*, ship resistance

PENDAHULUAN

Pariwisata bahari di Indonesia memiliki potensi besar dalam mendorong pertumbuhan ekonomi nasional sekaligus mendukung pelestarian lingkungan pesisir. Potensi tersebut tidak hanya berorientasi pada aspek ekonomi, tetapi juga berperan penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem laut dan kesejahteraan masyarakat pesisir (Allokendek, 2024). Oleh karena itu, pengembangan wisata bahari yang berkelanjutan menjadi salah satu fokus utama dalam mendukung pertumbuhan sektor maritim Indonesia.

Dalam mendukung aktivitas wisata bahari, keberadaan kapal pariwisata memegang peranan penting. Kapal jenis ini tidak hanya berfungsi sebagai

sarana transportasi laut, tetapi juga menjadi bagian dari daya tarik wisata itu sendiri. Desain kapal pariwisata harus mampu memberikan kenyamanan, keamanan, dan efisiensi bagi pengguna agar dapat meningkatkan pengalaman berwisata (Yuliana, 2018). Seiring meningkatnya kebutuhan wisata laut, diperlukan inovasi desain kapal yang tidak hanya memperhatikan aspek estetika, tetapi juga efisiensi operasional dan ramah lingkungan.

Salah satu aspek utama yang memengaruhi kinerja kapal adalah bentuk lambung (*hull form*). Hambatan yang dialami kapal saat bergerak di air akan memengaruhi konsumsi bahan bakar dan kecepatan pelayaran. Menurut (Molland *et al.* 2017), hambatan

kapal terdiri dari tiga komponen utama, yaitu hambatan gesek (*frictional resistance*), hambatan gelombang (*wave-making resistance*), dan hambatan bentuk (*form resistance*). Desain lambung yang efisien dapat meminimalkan ketiga komponen hambatan tersebut, sehingga meningkatkan efisiensi energi dan performa pelayaran secara keseluruhan.

Dalam beberapa dekade terakhir, berbagai inovasi desain lambung kapal telah dikembangkan untuk mengoptimalkan kinerja hidrodinamis. Salah satu inovasi tersebut adalah penerapan *hull* asimetris, yang berbeda dengan bentuk simetris konvensional. Desain asimetris memungkinkan pengaturan aliran fluida di sekitar lambung menjadi lebih efisien sehingga mampu menekan hambatan total kapal (Ikezoe, 2014). Meski demikian, bentuk yang paling optimal untuk kondisi operasional tertentu masih perlu dikaji lebih lanjut, terutama pada kapal jenis katamaran yang memiliki dua lambung sejajar.

Pengujian performa kapal biasanya dilakukan menggunakan *towing tank test*, yang meskipun akurat, membutuhkan biaya dan waktu yang cukup besar. Sebagai alternatif, simulasi numerik menggunakan perangkat lunak seperti Maxsurf Resistance menjadi metode yang efektif dan efisien dalam memprediksi hambatan kapal. Perangkat lunak ini menggunakan pendekatan metode Holtrop untuk memperkirakan hambatan total berdasarkan geometri lambung dan parameter operasi kapal (Dang *et al.*, 2016). Melalui pendekatan ini, berbagai konfigurasi desain dapat diuji secara virtual tanpa memerlukan model fisik, sehingga mempercepat proses analisis dan desain.

Pada kapal katamaran, salah satu parameter penting yang memengaruhi kinerja hidrodinamis adalah jarak antar lambung (*hull spacing*). Menurut (Renilson, 2009), jika jarak antar lambung terlalu sempit, interferensi gelombang dari kedua lambung dapat saling memperkuat dan meningkatkan hambatan gelombang. Sebaliknya, jika jaraknya terlalu lebar, luas permukaan basah (*wetted surface area*) akan bertambah sehingga hambatan gesek meningkat. Oleh karena itu, diperlukan rasio jarak antar lambung terhadap panjang kapal (S/L) yang ideal untuk menghasilkan performa pelayaran yang efisien.

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan yang muncul belum ditemukannya konfigurasi jarak antar lambung yang paling efisien untuk kapal katamaran tipe *hull* asimetris *flat side inside*, khususnya pada kapal pariwisata. Hambatan total yang tinggi dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar, menurunkan efisiensi pelayaran, serta mengurangi kenyamanan penumpang akibat getaran dan respon kapal terhadap gelombang (Molland *et al.*, 2017). Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada kapal niaga atau penelitian, sementara kajian khusus pada kapal pariwisata seperti MV Kaswari Elok 87 masih sangat terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jarak antar lambung terhadap hambatan total dan koefisien *drag* (C_D) pada kapal katamaran MV Kaswari Elok 87. Penelitian dilakukan

menggunakan simulasi numerik berbasis perangkat lunak Maxsurf Resistance dengan tiga variasi rasio $S/L = 0,17, 0,20, \text{ dan } 0,25$. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menentukan konfigurasi jarak antar lambung yang paling optimal dalam menekan hambatan, meningkatkan efisiensi bahan bakar, serta mendukung pengembangan kapal pariwisata yang ramah lingkungan dan berkelanjutan di Indonesia.

METODE

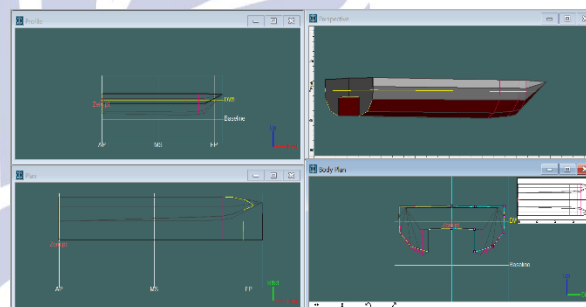
Jenis Penelitian

Penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi jarak antar lambung hambatan dan *coefficient of drag* yang dilakukan menggunakan pendekatan simulasi, dengan menggunakan *software* Maxsurf Resistance.

Objek Penelitian

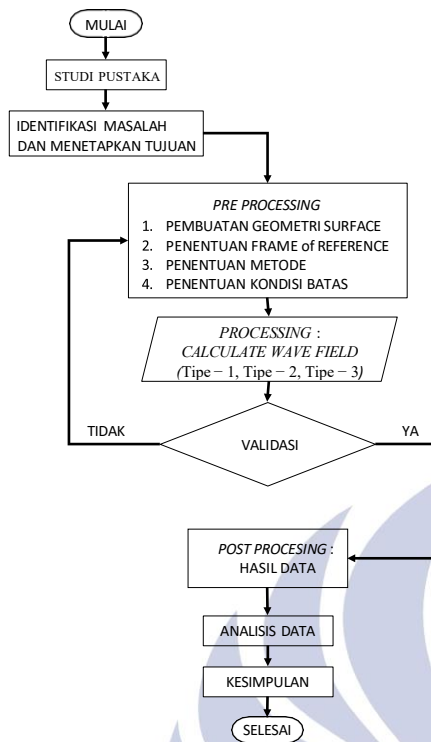
Objek penelitian yang digunakan saat penelitian adalah *hull* MV Kaswari Elok 87 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Type warship	: Cruise Ship
LOA	: 18 meter
Lpp	: 17,5 meter
LWL	: 16 meter
Beam (B)	: 6,8 meter
Draft	: 1,39 meter
V	: 15 knot
Cb	: 0,55



Gambar 1. Objek Penelitian (Data Peneliti)

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Flowchart Penelitian (Data Peneliti)

Variasi jarak antar lambung

Pengambilan angka jarak antar lambung dari referensi (A. F. Zakki, D. Chrismianto, A. Windyandari, dan R. Ilham. 2021) Jarak antara demi hull (S) ditentukan berdasarkan rasio jarak dengan panjang antara tegak lurus (S/Lpp). Beberapa variasi S/Lpp diterapkan, yaitu 0,17, 0,20, 0,25.

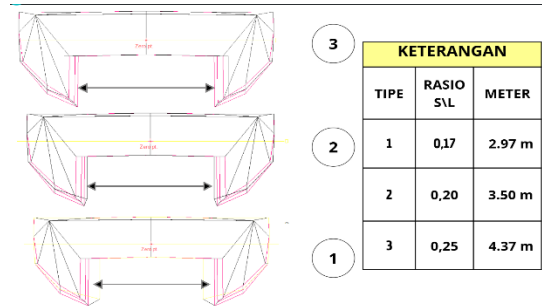
Dengan dasar ini, jarak antar lambung (S) dihitung menggunakan rumus:

$$S = (S/L_{pp}) \times L_{pp}$$

Tabel 1. Nilai Angka Rasio Jarak Antar Lambung Yang Digunakan (Data Peneliti)

	Rasio S/L	Jarak antar lambung
MIN	0,17	2.97 m
MID	0,20	3.50 m
MAX	0,25	4.37 m

- Tipe – 1 (Min)
Rasio $0,17 \times 17,5 = 2,97$ m
- Tipe – 2 (Mid)
Rasio $0,20 \times 17,5 = 3,50$ m
- Tipe – 3 (Max)
Rasio $0,25 \times 17,5 = 4,37$ m



Gambar 3. Variasi Rasio Jarak Antar Lambung (Data Peneliti)

Variabel Penelitian

• Variabel Bebas

Variasi jarak antar lambung yang digunakan adalah :

- ❖ Min = 2.97 m
- ❖ Mid = 3.50 m
- ❖ Max = 4.37 m

• Variabel Terikat

- ❖ Hambatan kapal (*Resistance*).
- ❖ *Coefficient Of Drag* (C_D)

• Variabel Kontrol

- ❖ Dimensi Kapal
LOA : 18 meter
Lpp : 17,5 meter
LWL : 16 meter
B : 6,8 meter
T : 1,39 meter
Cb : 0,55
- ❖ Kecepatan kapal 10 knot, 15 knot, 25 knot

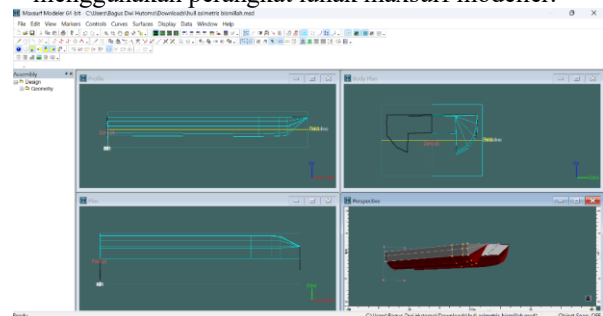
Teknik Pengumpulan Data

Tahap Pre-processing

Tahap awal dalam simulasi numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah tahap pra-pemrosesan (*pre-processing*), yang meliputi pembuatan geometri dan permukaan model, penetapan kerangka acuan (*frame of reference*), pemilihan metode perhitungan, serta penentuan kondisi batas (*boundary condition*).

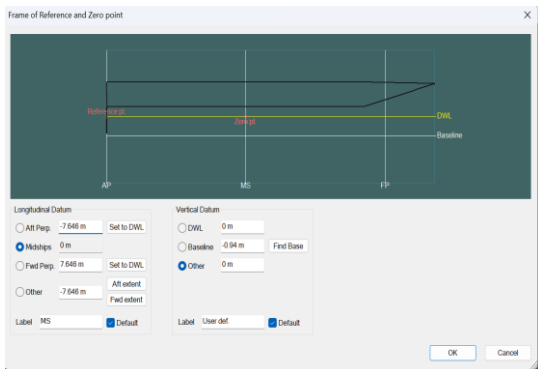
• Pembuatan Geometri dan Surface

Pembuatan bentuk geometri dan *surface* MV Kaswari Elok 87 dengan memberikan variasi pada jarak antar lambung. Proses ini mengacu dari penelitian Defina (Prawoto 2021) dan dilakukan menggunakan perangkat lunak maxsurf modeller.

Gambar 4. Pembuatan Geometri *Hull* (Data Peneliti)

• Penentuan *Frame of Reference*

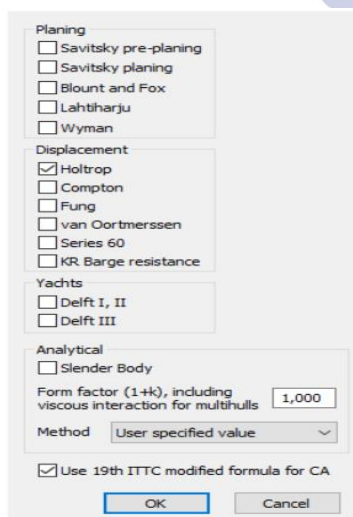
Penentuan *frame of reference* pada desain dilakukan dengan mengatur titik koordinat berdasarkan *Longitudinal Datum*, yang mencakup posisi *Aft Perpendicular* (buritan), *Midship* (tengah kapal), dan *Forward Perpendicular* (haluan). Pada bagian *Vertical Datum*, nilai DWL diatur sesuai dengan tinggi garis air dari rancangan kapal, sedangkan Baseline disesuaikan dengan titik koordinat terendah dari lambung kapal. Setelah pengaturan selesai, desain disimpan dalam bentuk (.msd).



Gambar 5. Penentuan *Frame Of Reference* (Data Peneliti)

• Penyesuaian Metode Komputasi

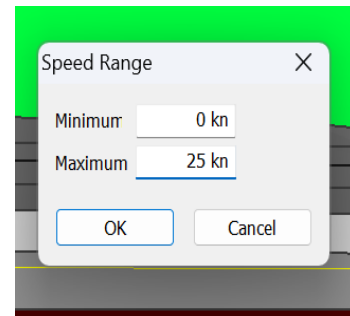
Penyesuaian metode perhitungan dilakukan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Resistance, diawali dengan proses impor file .msd dari Maxsurf Modeller. Selanjutnya, metode komputasi dipilih sesuai dengan rancangan yang akan dianalisis. Jenis perhitungan yang digunakan adalah *Displacement* dengan metode Holtrop, berdasarkan *Standar International Towing Tank Conference (ITTC) 1957*. Metode ini sesuai untuk menghitung tahanan kapal (*resistance*) serta memperkirakan karakteristik propulsi, termasuk efisiensi baling - baling dan daya yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan tertentu (Holtrop, 1984).



Gambar 6. Penentuan Metode Komputasi (Data Peneliti)

• Menentukan Rentang Kecepatan Kapal

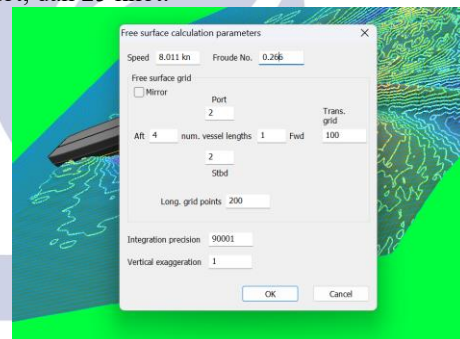
Dalam penentuan rentang kecepatan kapal, digunakan batas kecepatan minimum 0 knot dan kecepatan maksimal 25 knot yang di sesuaikan dengan kecepatan tertinggi MV Kaswari Elok 87.



Gambar 7. Penentuan Rentang Kecepatan (Data Peneliti)

• Menentukan Parameter *Free Surface*

Pada tahap ini dilakukan pengaturan untuk memperoleh kontur kecepatan dan kontur tekanan yang divisualisasikan bersama dengan model kapal yang telah dibuat. Pemilihan nilai variasi parameter disesuaikan dengan kecepatan uji, yaitu 10 knot, 15 knot, dan 25 knot.



Gambar 8. Penentuan Kondisi *Free Surface*

Tahap Processing

Pada tahap ini, seluruh kondisi yang telah ditetapkan sebelumnya digunakan untuk menjalankan proses perhitungan. Diharapkan hasil yang diperoleh sesuai dengan nilai yang diharapkan. Jika hasil perhitungan telah tervalidasi dan menunjukkan kesesuaian, maka proses dapat dilanjutkan ke tahap *post-processing*.

Tahap *Post-Processing*

Pada tahap ini, hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat disajikan baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Data kuantitatif mencakup nilai kecepatan, Froude Number LWL, *Froude Number volume* gaya hambat (menggunakan metode Holtrop), serta daya (berdasarkan metode Holtrop). Sementara itu, data kualitatif ditampilkan dalam bentuk visualisasi kontur tekanan dan kecepatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi Data

Pengujian validasi data dilakukan dengan mengacu pada model kapal serta metode perhitungan dari (Defina prawoto. 2021). Proses pengujian menggunakan perangkat lunak Maxsurf Resistance dengan metode perhitungan Holtrop. Data yang diuji mencakup variasi kecepatan kapal pada 2.5 knot, 3.6 knot, 4.5 knot, 5.4 knot, dan 6.0 knot, sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2. Perbandingan Hasil *Resistance* Analisa Desain Kapal (Data Peneliti)

Holtrop Resist. (kN)			
Speed (knot)	Defina prawoto (2017)	Data Peneliti	Error
2,5	6,6	6,8	3,03%
3,6	12,8	13,1	2,34%
4,5	19,6	20,1	2,55%
5,4	27,7	26,3	5,05%
6,0	33,8	34,6	2,37%

Tabel 3. Perbandingan Hasil Power Analisa Desain Kapal (Data Peneliti)

Holtrop power. (hp)			
Speed (knot)	Defina prawoto (2017)	Data Peneliti	Error
2,5	11.665	11,938	2,34%
3,6	31,663	32,596	2,95%
4,5	60,895	62,290	2,29%
5,4	103,19	105,57	2,31%
6,0	139,95	143,25	2,36%

Hasil Penelitian

• Hambatan Total (*Resistance*)

Hambatan (*resistance*) pada lambung kapal bisa di pengaruhi oleh beberapa hal, seperti bentuk lambung dan jarak antar lambung bawah yang berfungsi untuk memecah gelombang. Selain itu, besarnya hambatan juga ditentukan oleh seberapa banyak gelombang yang mengenai haluan kapal serta gelombang sisa yang muncul. Gelombang sisa tersebut akan bergesekan dengan permukaan lambung dan akhirnya menambah nilai hambatan kapal.

Nilai Hambatan Total (*Resistance*) Pada Kecepatan 10 Knot

Pada gambar di bawah berdasarkan hasil simulasi perhitungan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Resistance dengan metode *Holtrop*, dilakukan analisis terhadap tiga variasi tipe-1, tipe-2, tipe-3 atau konfigurasi jarak antar lambung kapal yang dapat di lihat pada gambar 9. Setiap tipe memiliki jarak antar lambung (*spacing ratio S/Lpp*) yang berbeda, sehingga menghasilkan nilai

hambatan dan daya yang bervariasi pada kecepatan yang sama, yaitu 10 knot.

Dari tabel hasil simulasi numerik terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan kapal, nilai hambatan (*Holtrop Resistance*) dan daya yang dibutuhkan (*Holtrop Power*) juga mengalami peningkatan secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan komponen gelombang (*wave-making resistance*) dan gesekan (*frictional resistance*) yang semakin besar pada kecepatan tinggi.

Pada tipe-1, nilai hambatan total (*Holtrop Resistance*) pada kecepatan 10 knot mencapai 16,7 kN, cukup kecil dibandingkan dengan tipe-2 dengan nilai hambatan 17,5 kN, sementara itu, tipe-3 memiliki nilai hambatan yang efisien dan paling kecil di banding tipe-1 dan tipe-2 dengan nilai 11,1 kN. Perbedaan nilai hambatan pada ketiga tipe tersebut menunjukkan bahwa jarak antar lambung pada kapal katamaran berpengaruh langsung terhadap karakteristik hidrodinamika kapal.

Secara umum, hasil simulasi memperlihatkan bahwa konfigurasi dengan jarak antar lambung lebih lebar tipe-3 cenderung menghasilkan hambatan pada kecepatan 10 knot yang lebih rendah, karena efek *interferensi* gelombang antar lambung menjadi lebih kecil dan sebaliknya, jarak antar lambung yang sempit dan sedang pada tipe-1 dan tipe-2 menyebabkan peningkatan interaksi gelombang pada tengah lambung, sehingga nilai hambatannya menjadi lebih besar.

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop P Resist.	Holtrop P Power
1	0.000	0.000	0.000	—	—
2	0.250	0.010	0.022	0.0	0.002
3	0.500	0.020	0.043	0.0	0.016
4	0.750	0.030	0.065	0.1	0.051
5	1.000	0.040	0.087	0.1	0.114
6	1.250	0.050	0.108	0.2	0.216
7	1.500	0.060	0.130	0.3	0.362
8	1.750	0.070	0.152	0.4	0.561
9	2.000	0.081	0.173	0.5	0.821
10	2.250	0.091	0.195	0.6	1.148
11	2.500	0.101	0.217	0.8	1.549
12	2.750	0.111	0.238	0.9	2.033
13	3.000	0.121	0.260	1.1	2.606
14	3.250	0.131	0.282	1.2	3.275
15	3.500	0.141	0.303	1.4	4.047
16	3.750	0.151	0.325	1.6	4.928
17	4.000	0.161	0.347	1.8	5.927
18	4.250	0.171	0.368	2.0	7.051
19	4.500	0.181	0.390	2.3	8.308
20	4.750	0.191	0.411	2.5	9.708
21	5.000	0.201	0.433	2.8	11.264
22	5.250	0.211	0.455	3.0	12.990
23	5.500	0.221	0.476	3.3	14.905
24	5.750	0.232	0.498	3.7	17.035
25	6.000	0.242	0.520	4.0	19.396
26	6.250	0.252	0.541	4.3	22.029
27	6.500	0.262	0.563	4.7	25.037
28	6.750	0.272	0.585	5.2	28.473
29	7.000	0.282	0.606	5.7	32.234
30	7.250	0.292	0.628	6.2	36.242
31	7.500	0.302	0.650	6.7	40.714
32	7.750	0.312	0.671	7.3	46.114
33	8.000	0.322	0.693	8.2	53.012
34	8.250	0.332	0.715	9.2	61.863
35	8.500	0.342	0.736	10.5	72.619
36	8.750	0.352	0.758	11.9	84.456
37	9.000	0.362	0.780	13.2	96.131
38	9.250	0.372	0.801	14.2	106.79
39	9.500	0.383	0.823	15.1	116.43
40	9.750	0.393	0.845	15.9	125.77
41	10.000	0.403	0.866	16.7	135.76

a)

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop p Resist.	Holtrop p Power
1	0.000	0.000	0.000	—	—
2	0.250	0.010	0.022	0.0	0.002
3	0.500	0.020	0.044	0.0	0.017
4	0.750	0.030	0.066	0.1	0.053
5	1.000	0.040	0.088	0.1	0.119
6	1.250	0.050	0.110	0.2	0.225
7	1.500	0.060	0.132	0.3	0.377
8	1.750	0.070	0.154	0.4	0.585
9	2.000	0.081	0.176	0.5	0.855
10	2.250	0.091	0.198	0.7	1.196
11	2.500	0.101	0.220	0.8	1.615
12	2.750	0.111	0.242	0.9	2.119
13	3.000	0.121	0.263	1.1	2.715
14	3.250	0.131	0.285	1.3	3.412
15	3.500	0.141	0.307	1.5	4.215
16	3.750	0.151	0.329	1.7	5.133
17	4.000	0.161	0.351	1.9	6.173
18	4.250	0.171	0.373	2.1	7.343
19	4.500	0.181	0.395	2.4	8.652
20	4.750	0.191	0.417	2.6	10.110
21	5.000	0.201	0.439	2.9	11.730
22	5.250	0.211	0.461	3.2	13.526
23	5.500	0.221	0.483	3.5	15.517
24	5.750	0.232	0.505	3.8	17.732
25	6.000	0.242	0.527	4.1	20.190
26	6.250	0.252	0.549	4.5	22.912
27	6.500	0.262	0.571	4.9	26.001
28	6.750	0.272	0.593	5.4	29.568
29	7.000	0.282	0.615	5.9	33.542
30	7.250	0.292	0.637	6.4	37.747
31	7.500	0.302	0.659	6.9	42.270
32	7.750	0.312	0.681	7.6	47.549
33	8.000	0.322	0.703	8.3	54.198
34	8.250	0.332	0.725	9.4	62.834
35	8.500	0.342	0.747	10.7	73.730
36	8.750	0.352	0.768	12.2	86.367
37	9.000	0.362	0.790	13.6	99.435
38	9.250	0.372	0.812	14.9	111.59
39	9.500	0.383	0.834	15.9	122.33
40	9.750	0.393	0.856	16.7	132.09
41	10.000	0.403	0.878	17.5	141.75

b)

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop p Resist.	Holtrop p Power
1	0.000	0.000	0.000	—	—
2	0.250	0.010	0.023	0.0	0.002
3	0.500	0.020	0.045	0.0	0.011
4	0.750	0.030	0.068	0.1	0.035
5	1.000	0.040	0.090	0.1	0.080
6	1.250	0.050	0.113	0.1	0.150
7	1.500	0.060	0.135	0.2	0.253
8	1.750	0.070	0.158	0.3	0.392
9	2.000	0.081	0.181	0.4	0.574
10	2.250	0.091	0.203	0.4	0.803
11	2.500	0.101	0.226	0.5	1.084
12	2.750	0.111	0.248	0.6	1.424
13	3.000	0.121	0.271	0.7	1.826
14	3.250	0.131	0.294	0.9	2.295
15	3.500	0.141	0.316	1.0	2.837
16	3.750	0.151	0.339	1.1	3.456
17	4.000	0.161	0.361	1.3	4.157
18	4.250	0.171	0.384	1.4	4.947
19	4.500	0.181	0.406	1.6	5.830
20	4.750	0.191	0.429	1.8	6.814
21	5.000	0.201	0.452	1.9	7.906
22	5.250	0.211	0.474	2.1	9.117
23	5.500	0.221	0.497	2.3	10.459
24	5.750	0.232	0.519	2.6	11.946
25	6.000	0.242	0.542	2.8	13.606
26	6.250	0.252	0.565	3.0	15.468
27	6.500	0.262	0.587	3.3	17.538
28	6.750	0.272	0.610	3.6	19.811
29	7.000	0.282	0.632	3.9	22.348
30	7.250	0.292	0.655	4.3	25.298
31	7.500	0.302	0.677	4.7	28.668
32	7.750	0.312	0.700	5.3	33.221
33	8.000	0.322	0.723	5.9	38.342
34	8.250	0.332	0.745	6.6	43.961
35	8.500	0.342	0.768	7.2	49.703
36	8.750	0.352	0.790	7.8	55.351
37	9.000	0.362	0.813	8.3	60.979
38	9.250	0.372	0.836	8.9	66.889
39	9.500	0.383	0.858	9.5	73.493
40	9.750	0.393	0.881	10.3	81.248
41	10.000	0.403	0.903	11.1	89.812

c)

Gambar 9. Analisis Hambatan (Resistance) Variasi Jarak Antar Lambung Pada Kecepatan 10 Knot a) Tipe-1, b) Tipe-2, c) Tipe-3 (Data Peneliti)

Nilai Hambatan Total (Resistance) Pada Kecepatan 15 Knot

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop p Resist.	Holtrop p Power
1	0.000	0.000	0.000	—	—
2	0.375	0.015	0.032	0.0	0.007
3	0.750	0.030	0.065	0.1	0.051
4	1.125	0.045	0.097	0.2	0.160
5	1.500	0.060	0.130	0.3	0.362
6	1.875	0.076	0.162	0.4	0.683
7	2.250	0.091	0.195	0.6	1.148
8	2.625	0.106	0.227	0.8	1.781
9	3.000	0.121	0.260	1.1	2.606
10	3.375	0.136	0.292	1.3	3.647
11	3.750	0.151	0.325	1.6	4.928
12	4.125	0.166	0.357	1.9	6.473
13	4.500	0.181	0.390	2.3	8.308
14	4.875	0.196	0.422	2.6	10.466
15	5.250	0.211	0.455	3.0	12.990
16	5.625	0.227	0.487	3.5	15.942
17	6.000	0.242	0.520	4.0	19.396
18	6.375	0.257	0.552	4.5	23.480
19	6.750	0.272	0.585	5.2	28.473
20	7.125	0.287	0.617	5.9	34.201
21	7.500	0.302	0.650	6.7	40.714
22	7.875	0.317	0.682	7.7	49.341
23	8.250	0.332	0.715	9.2	61.863
24	8.625	0.347	0.747	11.2	78.480
25	9.000	0.362	0.780	13.2	96.131
26	9.375	0.378	0.812	14.7	111.70
27	9.750	0.393	0.845	15.9	125.77
28	10.125	0.408	0.877	17.2	141.07
29	10.500	0.423	0.910	18.5	157.68
30	10.875	0.438	0.942	19.9	175.30
31	11.250	0.453	0.975	21.2	193.96
32	11.625	0.468	1.007	22.6	213.68
33	12.000	0.483	1.040	24.1	234.47
34	12.375	0.498	1.072	25.5	256.36
35	12.750	0.513	1.104	27.0	279.36
36	13.125	0.529	1.137	28.5	303.50
37	13.500	0.544	1.169	30.0	328.80
38	13.875	0.559	1.202	32.5	366.13
39	14.250	0.574	1.234	35.7	413.26
40	14.625	0.589	1.267	38.9	461.59
41	15.000	0.604	1.299	41.9	510.19

a)

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kn)	Holtrop Power (hp)
1	0.000	0.000	0.000	—	—
2	0.375	0.015	0.033	0.0	0.007
3	0.750	0.030	0.066	0.1	0.053
4	1.125	0.045	0.099	0.2	0.167
5	1.500	0.060	0.132	0.3	0.377
6	1.875	0.076	0.165	0.5	0.712
7	2.250	0.091	0.198	0.7	1.196
8	2.625	0.106	0.231	0.9	1.856
9	3.000	0.121	0.263	1.1	2.715
10	3.375	0.136	0.296	1.4	3.800
11	3.750	0.151	0.329	1.7	5.133
12	4.125	0.166	0.362	2.0	6.742
13	4.500	0.181	0.395	2.4	8.652
14	4.875	0.196	0.428	2.8	10.899
15	5.250	0.211	0.461	3.2	13.526
16	5.625	0.227	0.494	3.6	16.595
17	6.000	0.242	0.527	4.1	20.190
18	6.375	0.257	0.560	4.7	24.402
19	6.750	0.272	0.593	5.4	29.568
20	7.125	0.287	0.626	6.2	35.620
21	7.500	0.302	0.659	6.9	42.270
22	7.875	0.317	0.692	7.9	50.661
23	8.250	0.332	0.725	9.4	62.834
24	8.625	0.347	0.757	11.4	79.900
25	9.000	0.362	0.790	13.6	99.435
26	9.375	0.378	0.823	15.4	117.13
27	9.750	0.393	0.856	16.7	132.09
28	10.125	0.408	0.889	17.8	146.65
29	10.500	0.423	0.922	19.0	161.95
30	10.875	0.438	0.955	20.2	178.17
31	11.250	0.453	0.988	21.4	195.32
32	11.625	0.468	1.021	22.6	213.43
33	12.000	0.483	1.054	23.9	232.52
34	12.375	0.498	1.087	25.2	252.61
35	12.750	0.513	1.120	26.5	273.72
36	13.125	0.529	1.153	27.8	295.87
37	13.500	0.544	1.186	29.1	319.08
38	13.875	0.559	1.219	31.5	354.55
39	14.250	0.574	1.251	34.6	400.44
40	14.625	0.589	1.284	37.7	448.08
41	15.000	0.604	1.317	40.8	496.48

b)

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (hp)
1	0.000	0.000	0.000	--	--
2	0.375	0.015	0.034	0.0	0.005
3	0.750	0.030	0.068	0.1	0.035
4	1.125	0.045	0.102	0.1	0.111
5	1.500	0.060	0.135	0.2	0.253
6	1.875	0.076	0.169	0.3	0.477
7	2.250	0.091	0.203	0.4	0.803
8	2.625	0.106	0.237	0.6	1.247
9	3.000	0.121	0.271	0.7	1.826
10	3.375	0.136	0.305	0.9	2.556
11	3.750	0.151	0.339	1.1	3.456
12	4.125	0.166	0.373	1.4	4.541
13	4.500	0.181	0.406	1.6	5.830
14	4.875	0.196	0.440	1.9	7.346
15	5.250	0.211	0.474	2.1	9.117
16	5.625	0.227	0.508	2.4	11.183
17	6.000	0.242	0.542	2.8	13.606
18	6.375	0.257	0.576	3.2	16.478
19	6.750	0.272	0.610	3.6	19.811
20	7.125	0.287	0.644	4.1	23.759
21	7.500	0.302	0.677	4.7	28.868
22	7.875	0.317	0.711	5.6	35.697
23	8.250	0.332	0.745	6.6	43.961
24	8.625	0.347	0.779	7.5	52.541
25	9.000	0.362	0.813	8.3	60.979
26	9.375	0.378	0.847	9.2	70.077
27	9.750	0.393	0.881	10.3	81.248
28	10.125	0.408	0.915	11.4	93.361
29	10.500	0.423	0.948	12.3	104.45
30	10.875	0.438	0.982	13.2	116.24
31	11.250	0.453	1.016	14.1	128.73
32	11.625	0.468	1.050	15.0	141.95
33	12.000	0.483	1.084	16.0	155.89
34	12.375	0.498	1.118	17.0	170.58
35	12.750	0.513	1.152	18.0	186.04
36	13.125	0.529	1.186	19.0	202.27
37	13.500	0.544	1.219	20.0	219.29
38	13.875	0.559	1.253	21.4	240.86
39	14.250	0.574	1.287	23.0	265.50
40	14.625	0.589	1.321	24.4	290.16
41	15.000	0.604	1.355	25.8	314.67

c)

Gambar 10. Analisis Hambatan (*Resistance*) Variasi Jarak Antar Lambung Pada Kecepatan 15 Knot a) Tipe-1, b) Tipe-2, c) Tipe-3 (Data Peneliti)

Pada gambar di atas besar hambatan kapal pada kecepatan operasi 15 knot. Simulasi ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Resistance dengan metode Holtrop, di mana masing-masing konfigurasi lambung tipe-1, tipe-2, dan tipe-3. Setiap tipe mewakili perbedaan jarak antar sumbu lambung (S/Lpp), yang memengaruhi pola aliran fluida dan interaksi gelombang di *hull* kapal.

Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 10 terlihat bahwa peningkatan kecepatan menyebabkan kenaikan signifikan pada nilai hambatan (Holtrop Resistance) dan daya yang dibutuhkan (Holtrop Power) untuk menggerakkan kapal. Fenomena ini disebabkan oleh peningkatan gaya hambat akibat pembentukan gelombang (*wave-making resistance*) dan hambatan gesekan (*frictional resistance*) yang semakin besar pada kecepatan tinggi.

Pada tipe-1, nilai hambatan paling besar dengan nilai 41,9 kN, kemudian nilai hambatan pada tipe-2 memiliki nilai hambatan sedikit lebih rendah, yaitu 40,8 kN. Sementara itu, tipe-3 menunjukkan hasil paling efisien dengan nilai hambatan paling kecil dengan nilai 25,8 kN.

Perbedaan ini menunjukkan bahwa jarak antar lambung berperan penting terhadap efisiensi hidrodinamik kapal. Jarak antar lambung yang lebih lebar mengurangi efek interferensi gelombang antara dua lambung pada kecepatan 15 knot,

sehingga menghasilkan gaya hambat yang lebih kecil.

Nilai Hambatan Total (*Resistance*) Pada Kecepatan 25 Knot

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (hp)
1	0.000	0.000	0.000	--	--
2	0.625	0.025	0.054	0.1	0.030
3	1.250	0.050	0.108	0.2	0.216
4	1.875	0.076	0.162	0.4	0.683
5	2.500	0.101	0.217	0.8	1.549
6	3.125	0.126	0.271	1.2	2.928
7	3.750	0.151	0.325	1.6	4.928
8	4.375	0.176	0.379	2.2	7.662
9	5.000	0.201	0.433	2.8	11.264
10	5.625	0.227	0.487	3.5	15.942
11	6.250	0.252	0.541	4.3	22.029
12	6.875	0.277	0.596	5.4	30.323
13	7.500	0.302	0.650	6.7	40.714
14	8.125	0.327	0.704	8.7	57.179
15	8.750	0.352	0.758	11.9	84.456
16	9.375	0.378	0.812	14.7	111.70
17	10.000	0.403	0.866	16.7	135.76
18	10.625	0.428	0.920	19.0	163.44
19	11.250	0.453	0.975	21.2	193.96
20	11.875	0.478	1.029	23.6	227.42
21	12.500	0.503	1.083	26.0	263.90
22	13.125	0.529	1.137	28.5	303.50
23	13.750	0.554	1.191	31.4	350.87
24	14.375	0.579	1.245	36.8	429.29
25	15.000	0.604	1.299	41.9	510.19
26	15.625	0.629	1.354	46.5	589.90
27	16.250	0.654	1.408	50.5	666.66
28	16.875	0.680	1.462	54.1	740.28
29	17.500	0.705	1.516	57.1	811.58
30	18.125	0.730	1.570	59.9	881.80
31	18.750	0.755	1.624	62.6	952.24
32	19.375	0.780	1.678	65.1	1024.0
33	20.000	0.805	1.733	67.7	1098.1
34	20.625	0.831	1.787	70.2	1175.3
35	21.250	0.856	1.841	72.8	1256.1
36	21.875	0.881	1.895	75.5	1341.1
37	22.500	0.906	1.949	78.3	1430.4
38	23.125	0.931	2.003	81.2	1524.4
39	23.750	0.956	2.057	84.2	1623.3
40	24.375	0.982	2.111	87.3	1727.2
41	25.000	1.007	2.166	90.5	1836.3

a)

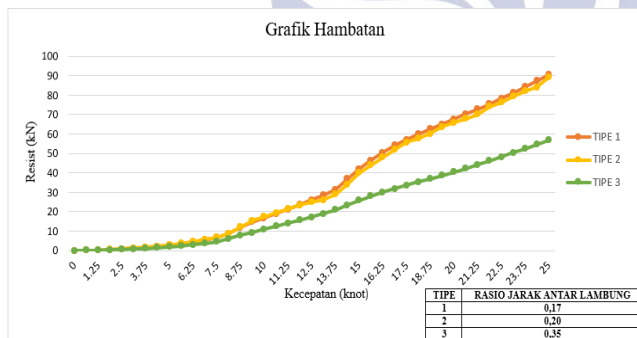
	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (hp)
1	0.000	0.000	0.000	--	--
2	0.625	0.025	0.065	0.1	0.032
3	1.250	0.050	0.110	0.2	0.225
4	1.875	0.076	0.165	0.5	0.712
5	2.500	0.101	0.220	0.8	1.615
6	3.125	0.126	0.274	1.2	3.051
7	3.750	0.151	0.329	1.7	5.133
8	4.375	0.176	0.384	2.2	7.980
9	5.000	0.201	0.439	2.9	11.730
10	5.625	0.227	0.494	3.6	16.595
11	6.250	0.252	0.549	4.5	22.912
12	6.875	0.277	0.604	5.6	31.517
13	7.500	0.302	0.659	6.9	42.270
14	8.125	0.327	0.714	8.8	58.237
15	8.750	0.352	0.768	12.2	86.367
16	9.375	0.378	0.823	15.4	117.13
17	10.000	0.403	0.878	17.5	141.75
18	10.625	0.428	0.933	19.4	167.26
19	11.250	0.453	0.988	21.4	195.32
20	11.875	0.478	1.043	23.5	226.05
21	12.500	0.503	1.098	25.6	259.53
22	13.125	0.529	1.153	27.8	295.87
23	13.750	0.554	1.208	30.4	339.81
24	14.375	0.579	1.262	35.7	416.18
25	15.000	0.604	1.317	40.8	496.48
26	15.625	0.629	1.372	45.5	576.76
27	16.250	0.654	1.427	49.6	654.75
28	16.875	0.680	1.482	53.3	729.82
29	17.500	0.705	1.537	56.5	802.50
30	18.125	0.730	1.592	59.4	873.88
31	18.750	0.755	1.647	62.1	945.21
32	19.375	0.780	1.702	64.7	1017.6
33	20.000	0.805	1.756	67.3	1092.2
34	20.625	0.831	1.811	69.9	1169.7
35	21.250	0.856	1.866	72.5	1250.7
36	21.875	0.881	1.921	75.2	1335.7
37	22.500	0.906	1.976	78.0	1425.0
38	23.125	0.931	2.031	80.9	1519.0
39	23.750	0.956	2.086	83.9	1617.9
40	24.375	0.982	2.141	87.0	1721.8
41	25.000	1.007	2.196	90.2	1830.8

b)

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (hp)
1	0.000	0.000	0.000	—	—
2	0.625	0.025	0.056	0.0	0.021
3	1.250	0.050	0.113	0.1	0.150
4	1.875	0.076	0.169	0.3	0.477
5	2.500	0.101	0.226	0.5	1.084
6	3.125	0.126	0.282	0.8	2.051
7	3.750	0.151	0.339	1.1	3.456
8	4.375	0.176	0.395	1.5	5.376
9	5.000	0.201	0.452	1.9	7.906
10	5.625	0.227	0.508	2.4	11.183
11	6.250	0.252	0.565	3.0	15.468
12	6.875	0.277	0.621	3.8	21.039
13	7.500	0.302	0.677	4.7	28.868
14	8.125	0.327	0.734	6.2	41.114
15	8.750	0.352	0.790	7.8	55.351
16	9.375	0.378	0.847	9.2	70.077
17	10.000	0.403	0.903	11.1	89.812
18	10.625	0.428	0.960	12.6	108.31
19	11.250	0.453	1.016	14.1	128.73
20	11.875	0.478	1.073	15.7	151.16
21	12.500	0.503	1.129	17.3	175.65
22	13.125	0.529	1.186	19.0	202.27
23	13.750	0.554	1.242	20.9	232.69
24	14.375	0.579	1.299	23.5	273.73
25	15.000	0.604	1.355	25.8	314.67
26	15.625	0.629	1.411	28.0	355.08
27	16.250	0.654	1.468	30.0	395.17
28	16.875	0.680	1.524	31.8	435.43
29	17.500	0.705	1.581	33.5	476.42
30	18.125	0.730	1.637	35.3	518.72
31	18.750	0.755	1.694	37.0	562.77
32	19.375	0.780	1.750	38.7	608.97
33	20.000	0.805	1.807	40.5	657.60
34	20.625	0.831	1.863	42.3	708.90
35	21.250	0.856	1.920	44.2	763.06
36	21.875	0.881	1.976	46.2	820.22
37	22.500	0.906	2.032	48.2	880.50
38	23.125	0.931	2.089	50.3	944.00
39	23.750	0.956	2.145	52.4	1010.8
40	24.375	0.982	2.202	54.6	1080.9
41	25.000	1.007	2.258	56.9	1154.6

c)

Gambar 11. Analisis Hambatan (Resistance) Variasi Jarak Antar Lambung Pada Kecepatan 25 Knot a) Tipe-1, b) Tipe-2, c) Tipe-3 (Data Peneliti)



Gambar 12. Grafik hambatan total Variasi Jarak Antar Lambung Tipe-1, Tipe-2, Dan Tipe-3 (Data Peneliti)

Simulasi pada kecepatan 25 knot dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak antar lambung terhadap nilai hambatan total pada kondisi kecepatan tertinggi. Analisis ini menggunakan perangkat lunak Maxsurf Resistance dengan metode perhitungan Holtrop, yang diterapkan pada tiga variasi konfigurasi kapal, yaitu tipe-1, tipe-2, dan tipe-3. Setiap tipe memiliki perbedaan pada rasio jarak antar sumbu lambung (S/L_{pp}), yang menjadi faktor utama dalam perubahan karakteristik hidrodinamik kapal.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kenaikan kecepatan hingga 25 knot menghasilkan peningkatan hambatan yang sangat signifikan dibandingkan dengan kondisi sebelumnya (10 dan 15 knot). Hal ini sesuai dengan karakteristik fluida di mana peningkatan kecepatan aliran

menyebabkan bertambahnya gaya gesek (*frictional resistance*) dan pembentukan gelombang (*wave-making resistance*) secara eksponensial.

Dari hasil simulasi, diketahui bahwa pada tipe-1, nilai hambatan mencapai 90,5 kN dengan kebutuhan daya sebesar. Untuk tipe-2, hambatan total sedikit lebih kecil, yaitu 89,2 kN. Sedangkan tipe-3 menghasilkan nilai hambatan paling rendah, yaitu 56,9 kN. Hasil ini memperlihatkan bahwa semakin besar jarak antar lambung (S/L_{pp}), maka nilai hambatan total cenderung menurun secara signifikan.

Penurunan hambatan pada tipe-3 disebabkan oleh berkurangnya interferensi gelombang antar lambung, sehingga aliran fluida di sekitar kapal menjadi lebih stabil dan terpisah. Sebaliknya, pada tipe-1 dan tipe-2, jarak antar lambung yang sempit menyebabkan interaksi gelombang dari masing-masing lambung saling bertemu dan menimbulkan super posisi gelombang, yang meningkatkan tahanan total kapal.

Tipe-3 pada kapal MV Kaswari Elok 87 merupakan konfigurasi paling efisien yang mampu mengurangi konsumsi bahan bakar, gaya gesek (*frictional resistance*) dan pembentukan gelombang (*wave-making resistance*), baik untuk kecepatan operasi kapal pariwisata, karena memberikan kombinasi optimal antara stabilitas aliran dan rendahnya interferensi gelombang.

• Coefficient of drag

Tabel 4. Data Gaya *Coefficient Of Drag* Variasi Jarak Antar Lambung Tipe 1 (Data Peneliti)

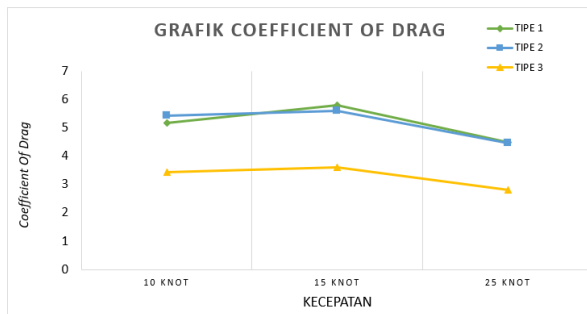
kecepatan		Gaya drag (kn)	ρ (kg/m ³)	L _{PP} (m)	B _{MS} (m)	c_D
(Knot)	(M/s)					
10	5.144	16.7	1025	17.5	6.8	5.174×10^{-3}
15	7.717	41.9	1025	17.5	6.8	5.768×10^{-3}
25	12.861	90.5	1025	17.5	6.8	4.486×10^{-3}

Tabel 5. Data Gaya *Coefficient Of Drag* Variasi Jarak Antar Lambung Tipe 2 (Data Peneliti)

Kecepatan		Gaya drag (kn)	ρ (kg/m^3)	L_{PP} (m)	B_{MS} (m)	c_D
(Knot)	(M/s)					
10	5.144	17.5	1025	17.5	6.8	5.422×10^{-3}
15	7.717	40.8	1025	17.5	6.8	5.617×10^{-3}
25	12.861	90.2	1025	17.5	6.8	4.471×10^{-3}

Tabel 6. Data Gaya *Coefficient Of Drag* Variasi Jarak Antar Lambung Tipe 3 (Data Peneliti)

Atrial Bypassing Type 2 (Data 1) (Contd.)						
kecepatan		Gaya drag <u>(kn)</u>	ρ (kg/m^3)	L_{PP} (m)	B_{MS} (m)	c_D
(Knot)	(M/s)					
10	5.144	11.1	1025	17.5	6.8	3.444×10^{-3}
15	7.717	25.8	1025	17.5	6.8	3.594×10^{-3}
25	12.861	56.9	1025	17.5	6.8	2.821×10^{-3}



Gambar 13. Grafik *Coefficient Of Drag* Variasi Jarak Antar Lambung Tipe-1, Tipe-2, Dan Tipe-3 (Data Peneliti)

Dari data di atas bahwa kecepatan operasi dan jarak antar lambung memengaruhi karakteristik hidrodinamik kapal dari data tersebut juga diketahui semakin lebar jarak antar lambung semakin kecil nilai *coefficient of drag* yang diterima oleh lambung pada kapal Mv Kaswari Elok 87.

Hasil dari data menunjukkan perbedaan antar 3 konfigurasi yang di uji yaitu tipe-1 jarak antar lambung 2,97 m, tipe-2 dengan jarak antar lambung 3,50 m dan tipe-3 dengan jarak antar lambung 4,37 m. Pada kecepatan rendah 10 knot nilai C_D terbesar terdapat pada tipe-2 dengan nilai 5.421×10^{-3} kemudian pada tipe-1 sedikit lebih rendah dengan nilai C_D 5.173×10^{-3} dan yang paling kecil terletak pada tipe-3 dengan nilai C_D 3.439×10^{-3} menempati posisi paling baik dengan nilai koefisien terendah. Kondisi ini mengindikasikan dominannya kontribusi hambatan gesek pada kecepatan rendah dan bahwa jarak antar lambung yang lebih lebar membantu menstabilkan aliran antara kedua lambung sehingga mampu mengurangi hambatan.

Saat kecepatan bertambah menjadi 15 knot, terdapat perubahan pada nilai koefisien untuk masing-masing nilai dapat dilihat pada tabel 5. Menunjukkan kecenderungan kenaikan nilai *coefficient of drag* dapat dilihat dari tabel, nilai C_D terbesar pada kecepatan 15 knot terdapat pada tipe-1 dengan nilai 5.769×10^{-3} kemudian pada tipe-2 sedikit lebih rendah dengan nilai 5.617×10^{-3} dan yang paling unggul terletak pada tipe-3 dengan nilai C_D 3.552×10^{-3} .

Pada kecepatan tinggi 25 knot, nilai koefisien pada ketiga tipe justru menurun secara relatif. Penurunan ini terjadi karena skala kecepatan yang meningkat membuat perbandingan antara gaya hambat *absolut* dan faktor skala kecepatan berubah, sehingga secara relatif koefisien tampak lebih kecil walaupun gaya hambat mutlak tetap bertambah. Dalam semua kondisi kecepatan yang diuji, dengan nilai terbesar pada tipe-1 dengan nilai C_D 4.486×10^{-3} dan pada tipe-2 sedikit kecil yaitu dengan nilai 4.421×10^{-3} kemudian yang paling unggul dan efisien terdapat pada tipe-3 dengan nilai 2.820×10^{-3} yang konsisten menunjukkan nilai koefisien terendah, menegaskan bahwa jarak antar lambung

yang lebih besar memberikan keuntungan hidrodinamik paling efisien.

Dari analisis dua hal penting yang pertama yaitu, peningkatan kecepatan menyebabkan perubahan komposisi hambatan (dari dominasi gesek ke pengaruh gelombang), sehingga nilai efisiensi hidrodinamik berubah mengikuti rentang operasi. Kedua, jarak antar lambung merupakan parameter desain yang krusial konfigurasi dengan *spacing* lebih lebar cenderung mengurangi gangguan gelombang dan menurunkan nilai koefisien hambat, sehingga lebih efisien dibandingkan konfigurasi dengan *spacing* sempit.

Oleh karena itu, dari ketiga variasi yang diuji, konfigurasi dengan *spacing* terbesar tipe-3 direkomendasikan sebagai pilihan terbaik dari segi performa hidrodinamik pada rentang kecepatan yang dianalisis.

Maka dengan mempertimbangkan tujuan operasional kapal MV Kaswari Elok 87 yang difungsikan sebagai kapal wisata, maka rancangan lambung tipe-3 dapat dipilih sebagai alternatif terbaik. Hal ini dikarenakan pada kecepatan operasi 10 knot, 15 knot, maupun 25 knot, tipe-3 terbukti mampu menekan nilai C_D lebih rendah dibanding tipe-1 dan tipe-2 sehingga dapat meminimalkan hambatan total sekaligus meningkatkan efisiensi operasi kapal.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan analisis dari simulasi numerik menggunakan *software* Maxsurf Resistance mengenai variasi jarak antar lambung pada *hull* MV Kaswari Elok 87 terhadap hambatan dapat disimpulkan bahwa :

- Berdasarkan data hambatan (*resistance*) yang didapat dari hasil analisis Maxsurf Resistance dapat diketahui bahwa variasi jarak antar lambung pada tipe-3 relatif memberikan hambatan paling kecil dari kecepatan 10 knot, 15 knot, dan kecepatan maksimal 25 knot. Menghasilkan peningkatan yang stabil dan mampu memberikan efisiensi pada operasi kapal.
- Berdasarkan data *coefficient of drag* variasi jarak antar lambung didapatkan nilai terendah pada kecepatan 10 knot pada tipe-3 dengan nilai 3.444×10^{-3} dan yang tertinggi adalah tipe-2 dengan nilai 3.422×10^{-3} kemudian pada kecepatan 15 knot variasi tipe-3 mempunyai koefisien terendah dengan nilai 3.549×10^{-3} dan yang tertinggi yaitu tipe-1 dengan nilai 5.768×10^{-3} lalu saat kecepatan tertinggi 25 knot nilai terendah terletak pada tipe-3 dengan nilai 2.821×10^{-3} , dan yang tertinggi pada tipe-1 dengan nilai 4.486×10^{-3} maka dapat disimpulkan tipe-3 lebih unggul dari pada tipe-1 dan tipe-2 pada kecepatan operasional kapal.

Saran

Dari analisis simulasi yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

- Pembuatan desain geometri pada kapal perlu diperhatikan dalam menentukan posisi *control point* dalam membuat bagian lekukan pada lambung kapal agar mendapatkan hasil yang sesuai dan perlu adanya validasi data sebelum ke tahap analisis simulasi numerik.
- Disarankan untuk melakukan uji coba langsung melalui pembuatan prototipe kapal di tangki uji, (*Towing Tank*) agar performa kapal dapat diamati dan dievaluasi secara nyata (*real-time*).

DAFTAR PUSTAKA

Prawoto, D., Adji, B., & Susilo, R. (2021). Perancangan kapal wisata katamaran sebagai upaya penunjang objek wisata di Rowo Jombor. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(2), 45–56.

Iamshchikov, E., Janutenienė, J., Mažeika, P., Mickevičienė, R., Villa, D., Zapnickas, T., & Djakov, V. (2022). Optimizing catamaran hull form for resistance reduction: Methodology and case study. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(10), 1341.

Holtrop, J. (1984). A statistical re-analysis of resistance and propulsion data. In *International Shipbuilding Progress* (Vol. 363, pp. 272–276). Delft University Press.

Yudhatama, A. (2023). Simulasi numerik pengaruh penambahan bulbous bow bentuk tanduk banteng pada hull KRI Fatahillah 361 terhadap gaya hambat. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 11(1), 55–64.

Hidayat, A., Inprasetyobudi, H., & Darma, Y. Y. E. (2021). Design and modeling of catamaran flat plate ship with bottom glass concept to improve tourism underwater in Bangsring Banyuwangi. *Jurnal Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 18(3), 121–130. Universitas Diponegoro.

