



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Hambatan Kapal Kontainer 14500 DWT Rute Pelayaran Surabaya-Makassar

Muhammad Ziyad Nuwaf¹⁾, Parlindungan Manik¹⁾, Berlian Arswendo Adietya¹⁾

¹⁾Laboratorium Teknologi Desain dan Digitalisasi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

^{*)}muhammadziyadnuwaf@students.undip.ac.id

Abstrak

Bongkar muat barang dalam negeri pada tahun 2022 mencapai 392,93 juta ton dan 398,57 juta ton. Sementara itu bongkar muat barang di pelayaran luar negeri mencapai 115,77 juta ton dan 391,07 juta ton. Di dalam negeri sendiri khususnya sulawesi selatan, yang merupakan provinsi dengan pendapatan rata-rata usaha perdagangan tertinggi yang berkisar 36,07 miliar per tahun, dimana 42,71 % dari perdagangan di provinsi sulawesi selatan merupakan perdagangan antar provinsi. Komoditas yang paling banyak dalam perdagangan di makassar adalah komoditas bahan pangan terutama bahan makanan pokok. Pada tahun 2023 Pemerintah Kota Makassar mengalokasikan dana bantuan paling banyak pada tiga komoditas yaitu beras, gula pasir dan minyak goreng. Tiga komoditas ini dikirim ke Kota Makassar melalui kontainer-kontainer. Hal tersebut membutuhkan adanya moda transportasi untuk mengangkut barang khususnya pada jalur laut atau jalur pelayaran. Kapal kontainer merupakan salah satu pilihan moda transportasi distribusi barang melalui jalur laut. Pada perencanaan desain dari kapal kontainer, salah satu analisa yang dibutuhkan dalam tahap desain adalah analisa hambatan. Analisa hambatan akan berdampak pada pemilihan main engine yang dibutuhkan kapal. Pada penelitian ini didapatkan kapal dengan ukuran utama LOA 155,61 m, LWL 150,00 m, LPP 145,63 m, lebar 23,33 m, tinggi 12,46 m, sarat air 8,39 m, CB 0,77, DWT 14500, dan kecepatan 12,5 knot. Hasil dari analisa hambatan kapal kontainer tersebut memiliki total resistance 261,1 kN serta daya yang dibutuhkan sebesar 2252,997 hp. Pada penelitian ini tidak membahas olah gerak kapal, serta analisa stabilitas kapal.

Kata Kunci :Perancangan Kapal, Container Ship, Hambatan

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 2022 bongkar muat barang dalam negeri mencapai 392,93 juta ton dan 398,57 juta ton. Sementara itu bongkar muat barang di pelayaran luar negeri mencapai 115,77 juta ton dan 391,07 juta ton [1]. Sekitar 90% perdagangan dunia difasilitasi melalui pelayaran laut, dan diperkirakan barang senilai 14 triliun dolar diangkut melalui laut setiap tahunnya[3]. Di dalam negeri sendiri khususnya sulawesi selatan, yang merupakan provinsi dengan pendapatan rata-rata usaha perdagangan tertinggi yang berkisar 36,07 miliar per tahun, dimana 42,71 % dari perdagangan di provinsi sulawesi selatan merupakan perdagangan antar provinsi[2]. Pelabuhan Makassar sebagai pusat perdagangan yang mempunyai letak yang strategis sebagai jalur pelayaran yang menjadi

penghubung antara Kawasan Barat Indonesia dan Kawasan Timur Indonesia[4]. Komoditas yang dibutuhkan di makassar adalah komoditas bahan pangan terutama bahan makanan pokok. Pada tahun 2023 Pemerintah Kota Makassar mengalokasikan dana bantuan paling banyak pada tiga komoditas yaitu beras, gula pasir dan minyak goreng. Tiga komoditas ini dikirim ke Kota Makassar melalui kontainer-kontainer. Mengingat pentingnya transportasi laut bagi perekonomian, maka pertumbuhan ekonomi di indonesia akan semakin baik bila pengembangan transportasi laut dilakukan dengan baik dan beran[5]. Salah satu moda transportasi distribusi barang melalui jalur laut yang sering digunakan adalah kapal kontainer. Kapal kontainer memainkan peran penting guna memberikan kemudahan distribusi barang secara masal antara produsen dan konsumen karena

keandalan dan efisiensi operasional yang baik sehingga berperan sebagai penjaga rantai pasok barang-barang ke kawasan Indonesia timur [5]. Maka adanya penelitian mengenai pembuatan desain kapal kontainer serta analisis parameter yang dalam penelitian ini dikhususkan pada analisa hambatan kapal sangat relevan dengan permasalahan yang ada.

Desain lambung kapal mempengaruhi gaya resistensi yang diberikan pada kapal [6]. Semakin besar hambatannya maka semakin besar pula tenaga mesin yang dibutuhkan. Dengan adanya tahanan kapal yang besar, maka kebutuhan daya dan dimensi mesin akan semakin besar. Jika ukuran mesin besar maka akan mempengaruhi biaya pemasangan mesin yang besar. Kapal dirancang untuk menerima gaya hambatan sekecil mungkin dan juga dirancang untuk menahan beban besar.

Pada penelitian sebelumnya, hambatan pada kapal tipe pelat datar lebih akan lebih besar dibandingkan kapal dengan lambung lengkung pada kondisi wsa yang sama [7].

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Malik Alfaruqi, perancangan kapal kontainer dengan DWT 21300 menghasilkan rancangan dengan total hambatan 325 kN serta kebutuhan daya mesin sebesar 2390,68 kWh [5].

Penelitian yang dilakukan Sugianto, dengan membandingkan hasil perhitungan *resistance* kapal *holtrop method* dengan simulasi Maxurf pada kapal *bulk carier* 8664 DWT, Hasil analisa hambatan kapal untuk kecepatan dinas maksimal 14 knots memiliki tahanan total kapal sebesar 286.75 kN dengan kebutuhan daya adalah 2950.31 kW. Sedangkan dengan perhitungan metode *holtrop* diketahui tahanan total 256.59 kN, selisih 10.52% dengan hasil simulasi model [8].

Penelitian lain yang dilakukan Rizal Rahman, dengan membandingkan perhitungan matematis metode *harvald* dengan simulasi *maxurf resistance* metode *holtrop* pada kapal tanker 6500 DWT. Hasil dari simulasi software tahanan kapal adalah 154.3 kN dengan kebutuhan daya sebesar 2780.272 kW dengan selisih persentase daya antara mesin utama kapal dengan simulasi adalah 5.5% pada sea margin 18.80% dan hasil matematis didapatkan tahanan total kapal 222,7 kN dengan kebutuhan daya sebesar 2938.7 kW, selisih persentase daya antara mesin utama kapal dengan perhitungan matematis adalah 0.1% pada sea margin 25.138% [9].

Dari uraian tersebut, dibutuhkan transportasi pengangkutan komoditas bahan makanan pokok dalam jumlah yang banyak dan dibutuhkan waktu pengiriman yang singkat ke Kota Makassar, maka dilakukan penelitian perancangan kapal kontainer serta analisa hambatan kapal guna menentukan daya mesin kapal sebagai moda transportasi distribusi yang reliabel, penelitian ini bertujuan penelitian untuk menentukan ukuran utama kapal kontainer, menentukan *linesplan* dari kapal kontainer, menganalisa hambatan kapal kontainer serta menentukan *main engine* yang sesuai dengan rancangan kapal kontainer.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Perancangan kapal dilakukan dengan mencari data kapal pembanding yang memiliki DWT (*dead weight tonnage*) yang mendekati DWT model untuk dilakukan regresi guna menentukan ukuran utama kapal yang akan dibuat.

Tabel 1. Data Kapal Pembanding

Nama	DWT (ton)	LOA (m)	LPP (m)	B (m)	T (m)	VS (knot)
Meratus M	14464	150	140	23,1	8,6	11,1
Avra Miteras	14587	157	147	23,5	9,3	12,1
Boundary	14587	157	147	24	8	10,8
Honchun	14505	152	142	24	8,5	16,7
Philemon	14483	158	147	23,5	8,6	11,7
Jaguar	14587	157	147	23,5	9,3	15,1
Pollux	14670	158	147	23,5	8,6	13
Sca munkhund	14564	158	147	23,5	8,6	12,4
Weisshorn	14643	157	147	24	8,6	12,6
Merito	14332	150	139	23,4	8,6	9,9
Veronica B	14292	158	148	23,7	7,9	13,3
Perseus	14483	157	147	23,1	7,9	13,6
Sca Tunadal	14517	157,63	148	23,5	7,4	12,5
Meratus Mamiri	14454	155	143	20	7,8	11,4
Luzon	14600	157	147	24	8,6	12,2

2.2. Perlakuan Pada Objek

Berdasarkan data pengamatan, dilakukan pengolahan data dengan tahapan

1. Menentukan ukuran utama kapal
2. Merancang *linesplan*
3. Memodelkan lambung dengan *software*
4. Melakukan analisa hambatan

2.3. Perbandingan Ukuran Utama

Dalam proses perancangan kapal dibutuhkan perbandingan ukuran utama kapal sesuai dengan aturan yang tertera pada buku *Multi Hull Ships* karangan V. Dubrousky. Nilai dari perbandingan

utama ini dijadikan acuan bagi perencana kapal untuk menyesuaikan bentuk dan ukuran yang sesuai sehingga perancangan kapal tidak mendapatkan bentuk kapal yang menyimpang dari kebiasaan yang dikhawatirkan berakibat pada kekurangan-kekurangan pada operasional kapal. Nilai-nilai yang dimuat dalam daftar koefisien bentuk dan perbandingan ukuran utama sudah diperhitungkan dari segi perhitungan teori bangunan kapal, kebutuhan material dan ketentuan-ketentuan yang berlaku maupun berdasarkan perkembangan dari pengalaman pembangunan kapal yang telah berjalan sekian lama [12].

Tabel 2. Perbandingan L/H

No	Nama Kapal	L/H
1	Meratus M	10,95
2	Avra Miteras	11,45
3	Boundary	11,76
4	Honchun	10,70
5	Philemon	11,00
6	Jaguar	11,48
7	Pollux	12,83
8	Sca munksund	12,83
9	Weisshorn	11,48
10	Merito	10,92

Perbandingan panjang dan tinggi kapal akan sangat berpengaruh pada kekuatan memanjang kapal. L/H semakin besar maka *longitudinal bending stress* akan bertambah dan kekuatan kapal akan semakin berkurang begitupun sebaliknya, semakin kecil L/H maka akan terjadi penurunan *longitudinal bending stress* [13].

Pada tabel perbandingan L/H, nilai minimal yang didapatkan adalah 10,7 dan nilai maksimal yang didapat 12,83.

Tabel 3. Perbandingan L/B

No	Nama Kapal	L/B
1	Meratus M	6,093
2	Avra Miteras	6,255
3	Boundary	6,125
4	Honchun	5,937
5	Philemon	6,280
6	Jaguar	6,255
7	Pollux	6,270
8	Sca munksund	6,272
9	Weisshorn	6,125
10	Merito	5,968

Perbandingan panjang dan lebar kapal berpengaruh pada tahanan kapal pada besaran displacement yang sama. Semakin besar nilai L/B untuk displacement yang sama maka tahanan kapal

semakin kecil, sedangkan L/B yang semakin kecil pada displacement yang sama akan meningkatkan nilai *resistance* tetapi memiliki keuntungan yaitu kapal memiliki kemampuan olah gerak (*manouvering*) yang tentunya semakin baik.

Pada tabel Perbandingan L/B nilai minimal yang didapat adalah 5,937 serta nilai maksimal yang didapat adalah 6,280

Tabel 4. Perbandingan L/T

No	Nama Kapal	L/T
1	Meratus M	16,33
2	Avra Miteras	15,80
3	Boundary	18,37
4	Honchun	16,76
5	Philemon	17,16
6	Jaguar	15,80
7	Pollux	17,16
8	Sca munksund	17,16
9	Weisshorn	17,09
10	Merito	16,25

Perbandingan panjang dan sarat kapal berpengaruh pada tahanan kapal pada displacement yang sama. Semakin besar L/T pada displacement sama maka *resistance* kapal semakin kecil begitu pula sebaliknya, akan tetapi jika L/T semakin kecil akan *resistance* kapal akan bertambah akan tetapi memiliki keuntungan yaitu kapal memiliki kemampuan olah gerak (*manouvering*) yang semakin baik.

Pada tabel perbandingan L/T nilai minimum yang didapat adalah 15,80 sedangkan nilai maksimal yang didapat 18,37.

Tabel 5. Perbandingan B/T

No	Nama Kapal	B/T
1	Meratus M	2,68
2	Avra Miteras	2,52
3	Boundary	3
4	Honchun	2,82
5	Philemon	2,73
6	Jaguar	2,52
7	Pollux	2,73
8	Sca munksund	2,73
9	Weisshorn	2,79
10	Merito	2,72

Perbandingan lebar dan sarat kapal memiliki pengaruh pada stabilitas kapal, dengan semakin besar B/T maka stabilitas kapal semakin baik tetapi pengurangan sarat kapal (T) akan mengakibatkan diameter baling-baling yang akan direncanakan akan semakin kecil sehingga akan mengurangi berat total konstruksi dari kapal.

Pada tabel perbandingan B/T nilai minimum yang didapat adalah 2,52 dan nilai maksimum yang didapat adalah 3,00

2.4. Lines Plan

Rencana garis kapal adalah representasi visual dari bentuk sebuah kapal. Dengan bantuan gambar lines plan, kita dapat memperoleh pemahaman tentang bentuk kapal yang sedang dirancang. Lines plan, yang juga dikenal sebagai rencana garis, merupakan tahapan lanjutan dari proses perancangan kapal yang didasarkan pada data kapal yang dikumpulkan pada tahap perancangan sebelumnya. Tujuan dari pembuatan lines plan atau rencana garis adalah untuk mengidentifikasi bentuk badan kapal terutama di bagian yang berada di bawah garis sarat kapal. Di bagian ini, selain merencanakan garis, juga menggambarkan *volume displacement*. Tujuannya adalah untuk menentukan bentuk badan kapal, khususnya bagian yang tercelup ke dalam air. Penggambaran ini didasarkan pada garis sarat kapal yang sudah ditetapkan [14].

Rencana garis merupakan gambar desain kapal yang sangat krusial. Gambar ini sangat memengaruhi berbagai desain kapal lainnya, termasuk *general arrangement*, *profile construction*, *longitudinal construction*, perhitungan stabilitas kapal, dan lain-lain. Hal yang lebih signifikan dari gambar garis rencana ini adalah tingkat resistansi yang sangat tergantung pada bentuk lambung kapal. Dengan berkurangnya ukuran kapal, kebutuhan akan mesin kapal juga akan mengurang, sehingga hal ini akan berdampak terhadap spesifikasi mesin yang digunakan serta biaya operasional selama berlayar [14].

Gambar dari lines plan dibuat menggunakan pola grafis. Gambar ini menggambarkan penampang potongan dari kapal yang terdiri dari potongan arah mendatar memanjang, potongan arah tegak memanjang, dan potongan arah tegak melintang. Perancangan garis kapal digambar dalam dua dimensi mempertimbangkan seluruh bentuk badan kapal secara tiga dimensi.[14]

2.5. Analisa Hambatan

Hambatan gesek atau resistensi friksional terjadi ketika kapal bergerak melalui fluida dengan viskositas, seperti air laut. Fluida yang bersentuhan langsung dengan permukaan badan kapal yang terendam saat bergerak akan menghasilkan gesekan sepanjang permukaan tersebut. Gesekan ini timbul akibat interaksi antara permukaan kapal dan media yang dilaluinya. Semua fluida memiliki viskositas, dan pentingnya gesekan ini dalam suatu

kondisi fisik bergantung pada jenis fluida serta konfigurasi fisik atau pola aliran fluida tersebut. Viskositas mengukur sejauh mana fluida dapat menahan gesekan ketika bergerak. Gaya hambat (tahanan atau resistensi) muncul ketika kapal bergerak di dalam media air dengan kecepatan tertentu [15].

Standar internasional dari ITTC mengklasifikasikan hambatan kapal di air tenang (calm water), terbagi dalam dua komponen hambatan utama yaitu hambatan viskos (viscous resistance) yang dan hambatan gelombang (wave making resistance). Masing-masing dari tiap komponen mempunyai hubungan terhadap bilangan reynolds dan bilangan froude. Bilangan reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang menyatakan perbandingan antara gaya inersia dan gaya viskos di dalam fluida sehingga dapat menentukan aliran air termasuk ke dalam aliran *laminar* atau *turbulence*. Bilangan reynolds mempunyai keterkaitan dengan hambatan viskos. Sedangkan bilangan froude merupakan perbandingan gaya inersia dan grafitasi yang menginterpretasikan efek gaya grafitasi dalam fluida [16], dimana korelasi kedua komponen tersebut diperlihatkan dalam persamaan berikut;

$$R_T = R_v + R_w \quad (1)$$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (m/s) \quad (2)$$

$$Re = \frac{V}{L \times \nu} \quad (3)$$

Dimana Hambatan gelombang (R_w) mengandung komponen fluida ideal (inviscid) yang berhubungan dengan *Froude Number* (Fr) dan hambatan viskos atau kekentalan (R_v) meliputi hambatan akibat tegangan geser (Friction drag) dan komponen tekanan kekentalan (viscous pressure) yang berhubungan dengan *Reynold Number* (Re), V adalah kecepatan kapal dalam m/s, g adalah percepatan gravitasi bumi, L adalah panjang kapal dalam satuan meter, Re merupakan bilangan Reynold dan ν adalah viskositas kinematic dalam m^2/s .

Kecepatan gerak kapal (V), berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang terendam dalam air atau disebut *displacement*, dan bentuk lambung kapal memengaruhi besarnya hambatan kapal. [15] Daya mesin yang diperlukan untuk kapal dipengaruhi secara signifikan oleh nilai hambatan total kapal yang dihitung menggunakan metode Holtrop.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Ukuran Utama Kapal

Dalam perancangan kapal, salah satu aspek yang sangat penting untuk dipertimbangkan adalah pemilihan metode perancangan, yang bertujuan untuk menghasilkan desain kapal yang optimal dan memenuhi berbagai kriteria yang ditetapkan. Metode Perbandingan (Comparison Method) adalah metode perancangan yang melibatkan satu atau lebih kapal sebagai pembanding dengan tipe yang sama, yang telah memenuhi kriteria desain dan menghasilkan kapal yang lebih baik daripada kapal yang sudah ada. Ukuran utama kapal ditentukan dengan mengalikan ukuran dasar kapal pembanding dengan faktor skala [17].

Dalam penelitian ini, metode perancangan yang digunakan adalah metode perbandingan, yang membandingkan ukuran-ukuran kapal pembanding dan mengoptimalkan desain kapal baru. Data kapal pembanding diolah dengan metode regresi sehingga didapatkan ukuran utama kapal baru.

Tabel 6 Regresi Ukuran LPP Baru

x(DWT)	y(LPP)	X ²	XY	Y ²
14464	140,77	209207296	2036097,28	19816,19
14587	147	212780569	2144289	21609
14587	147	212780569	2144289	21609
14505	142,5	210395025	2066962,5	20306,25
14483	147,6	209757289	2137690,8	21785,76
14587	147	212780569	2144289	21609
14669,7	147,6	215200098,1	2165247,72	21785,76
14564	147,6	212110096	2149646,4	21785,76
14643	147	214417449	2152521	21609
14332	139,78	205406224	2003326,96	19538,45
14292	148	204261264	2115216	21904
14483	147	209757289	2129001	21609
14517	148,82	210743289	2160419,94	22147,39
14454	143	208918116	2066922	20449
14600	147	213160000	2146200	21609
Jumlah		3161675142	31762118	319172,563

Pada tabel 6, dilakukan regresi untuk mencari nilai LPP pada desain kapal baru. Regresi dihitung dengan perhitungan sebagai berikut:

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (4)$$

$$b = \frac{(n\sum xy - \sum x\sum y)}{(n\sum x^2 - \sum x)^2} \quad (5)$$

$$LPP = a + b.DWT \quad (6)$$

Hasil dari persamaan yaitu a = - 26,17 dan b = 0,01185 sehingga LPP baru bernilai 145,63 m. Metode ini diterapkan untuk mempercepat proses perancangan kapal dan mencapai kapasitas yang paling optimal[12].

Tabel 7 Regresi Ukuran Lebar Kapal Baru

x(DWT)	y(B)	X ²	XY	Y ²
14464	23	334118,4	533,61	334118,4
14587	24	342794,5	552,25	342794,5
14587	24	350088	576	350088
14505	24	348120	576	348120
14483	24	340350,5	552,25	340350,5
14587	24	342794,5	552,25	342794,5
14669,7	24	345324,7	554,1316	345324,7
14564	24	342690,9	553,6609	342690,9
14643	24	351432	576	351432
14332	23	335655,4	548,4964	335655,4
14292	24	339577,9	564,5376	339577,9
14483	23	335860,8	537,7761	335860,8
14517	24	341730,2	554,1316	341730,2
14454	20	289080	400	289080
14600	24	350400	576	350400
Jumlah		3161675142	5090018	8207,094

Perhitungan regresi pada lebar kapal menggunakan persamaan 4 dan 5 dengan y merupakan data lebar kapal pembanding sehingga ditemukan a = -9,088 dan b = 0,00224. Maka lebar kapal baru didapatkan sebesar 23,33 m.

Tabel 8 Regresi Ukuran Sarat Kapal Baru

x(DWT)	y(T)	X ²	XY	Y ²
14464	8,616	334118,4	124621,8	74,23546
14587	9,3	342794,5	135659,1	86,49
14587	8	350088	116696	64
14505	8,5	348120	123292,5	72,25
14483	8,6	340350,5	124553,8	73,96
14587	9,3	342794,5	135659,1	86,49
14669,7	8,6	345324,7	126159,4	73,96
14564	8,6	342690,9	125250,4	73,96
14643	8,6	351432	125929,8	73,96
14332	8,6	335655,4	123255,2	73,96
14292	7,9	339577,9	112906,8	62,41
14483	7,9	335860,8	114415,7	62,41
14517	7,4	341730,2	107425,8	54,76
14454	7,8	289080	112741,2	60,84
14600	8,6	350400	125560	73,96
Jumlah		3161675142	5090018	1834127

Perhitungan regresi pada tabel 8 bertujuan untuk menghitung sarat kapal baru menggunakan persamaan 4 dan 5 dengan y merupakan data sarat kapal pembanding sehingga ditemukan a = -18,414 dan b = 0,00185. Maka sarat kapal baru didapatkan sebesar 8,39 m.

Tabel 9 Regresi Ukuran Tinggi Kapal Baru

x(DWT)	y(H)	X ²	XY	Y ²
14464	12,844	334118,4	185775,616	164,968336
14587	12,83	342794,5	187151,21	164,6089
14587	12,5	350088	182337,5	156,25
14505	13,316	348120	193148,58	177,315856
14483	13,414	340350,5	194274,962	179,935396
14587	12,8	342794,5	186713,6	163,84
14669,7	11,5	345324,7	168701,55	132,25
14564	11,5	342690,9	167486	132,25
14643	12,8	351432	187430,4	163,84
14332	12,8	335655,4	183449,6	163,84
14292	11,8	339577,9	168645,6	139,24
14483	11,7	335860,8	169451,1	136,89
14517	11,5	341730,2	166945,5	132,25
14454	12,7	289080	183565,8	161,29
14600	12,8	350400	186880	163,84
Jumlah		3161675142	5090018	2711957,02

Perhitungan regresi pada table 9 bertujuan untuk menghitung tinggi kapal baru menggunakan persamaan 4 dan 5 dengan y merupakan data tinggi kapal pembeding sehingga ditemukan $a = 15,671$ dan $b = -0,0022$. Maka tinggi kapal baru didapatkan sebesar 12,46 m.

Tabel 10 Regresi Kecepatan Dinas Kapal Baru

x(DWT)	y(Vs)	X ²	XY	Y ²
14464	11,1	334118,4	160550,4	123,21
14587	12,1	342794,5	176502,7	146,41
14587	10,8	350088	157539,6	116,64
14505	16,7	348120	242233,5	278,89
14483	11,7	340350,5	169451,1	136,89
14587	15,1	342794,5	220263,7	228,01
14669,7	13	345324,7	190706,1	169
14564	12,4	342690,9	180593,6	153,76
14643	12,6	351432	184501,8	158,76
14332	9,9	335655,4	141886,8	98,01
14292	13,3	339577,9	190083,6	176,89
14483	13,6	335860,8	196968,8	184,96
14517	12,5	341730,2	181462,5	156,25
14454	11,4	289080	164775,6	129,96
14600	12,2	350400	178120	148,84
Jumlah		3161675142	5090018	2735640

Perhitungan regresi pada table 10 bertujuan untuk menghitung kecepatan dinas kapal baru menggunakan persamaan 4 dan 5 dengan y merupakan data kecepatan dinas kapal pembeding dalam knot sehingga ditemukan $a = -31,575$ dan $b = 0,00304$. Maka kecepatan dinas kapal baru didapatkan sebesar 12,5 knot.

Tabel 11 Regresi Ukuran LOA Kapal Baru

x(DWT)	y(LOA)	X ²	XY	Y ²
14464	149,6	334118,4	2163814,4	22380,16
14587	157,1	342794,5	2291617,7	24680,41
14587	157	350088	2290159	24649
14505	152	348120	2204760	23104
14483	158	340350,5	2288314	24964
14587	157,14	342794,5	2292201,18	24692,98
14669,7	157,64	345324,7	2312531,51	24850,37
14564	157,65	342690,9	2296014,6	24853,52
14643	157	351432	2298951	24649
14332	149,57	335655,4	2143637,24	22371,18
14292	158	339577,9	2258136	24964
14483	157	335860,8	2273831	24649
14517	157,63	341730,2	2288314,71	24847,22
14454	155	289080	2240370	24025
14600	157	350400	2292200	24649
Jumlah		3161675142	5090018	33934852,3

Perhitungan regresi pada table 11 bertujuan untuk menghitung LOA kapal baru menggunakan persamaan 4 dan 5 dengan y merupakan data LOA kapal pembeding sehingga ditemukan $a = -15,528$ dan $b = 0,0118$. Maka tinggi kapal baru didapatkan sebesar 155,61 m.

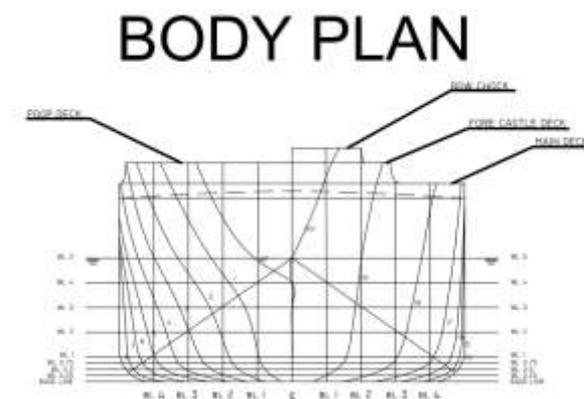
Setelah dilakukan regresi, ukura utama kapal baru telah didapat, pembuatan lines plan dapat dilakukan sehingga dapat berlanjut pada tahap penelitian selanjutnya. Ukuran utama kapal baru dapat dilihat pada table 12

Tabel 12. Ukuran Utama kapal

No	Ukuran Utama	Dimensi
1	LWL (<i>Length of Waterline</i>)	150,00 m
2	LOA (<i>Length of All</i>)	155,61 m
3	LPP (<i>Length Between Perpendicular</i>)	145,63 m
4	B (<i>Breadth</i>)	23,33 m
5	H (<i>Height</i>)	12,46 m
6	T (<i>Draught/Sarat</i>)	8,39 m
7	CB (<i>Coefisient Block</i>)	0,77
8	DWT (<i>Dead Weight Tonnage</i>)	14500
9	DISPLACEMENT	22707
10	Fn	0,17
11	VS	12,5 knot

3.2. Lines Plan Model

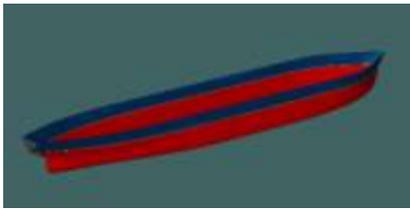
Linesplan atau rencana garis dimodelkan menggunakan *software* AutoCAD dengan tampilan proyeksi *body plan* (tampak depan-belakang) *Sheer plan* (tampak samping) dan *half breadth plan* (tampak atas). Pada pembuatan model tiga dimensi data linesplan berupa tabel offset akan dibutuhkan sebagai titik acuan pada model tiga dimensi.



Gambar 1. *Body Plan*

3.3. Model Lambung Kapal

Model lambung kapal kontainer berjenis *monohull* dan dimodelkan dalam tiga dimensi menggunakan *software* Maxsurf modeler guna mempermudah Analisa hambatan kapal. Maxsurf Modeller adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat model desain kapal secara tiga dimensi, serta dilengkapi dengan kemampuan analisis. Program ini memungkinkan pengguna untuk menampilkan model tiga dimensi dengan input data berupa sejumlah permukaan yang akan didesain, sehingga memudahkan untuk melihat gambaran visual dari desain tersebut [18].



Gambar 2. Model Lambung Kapal

Pada gambar 2, model lambung kapal dimodelkan tiga dimensi dengan menetapkan *fit point* dan dilakukan *fairing*. *Fairing* dilakukan dengan memasukkan nilai yang ada pada *offset table* yang ada pada *lines plan*.

Tabel 7. Perbandingan Kapal dan Model

Hidrostatik	Model	Kapal	Koreksi
Volume			
Disp (m ³)	21788,80	22740,7	0,042
WSA (m ²)	4797,13	4579,23	-0,048
Cp	0,755	0,780	-0,034
Cwp	0,822	0,825	-0,004
LCG to mid (m)	2,771	2,882	0,039

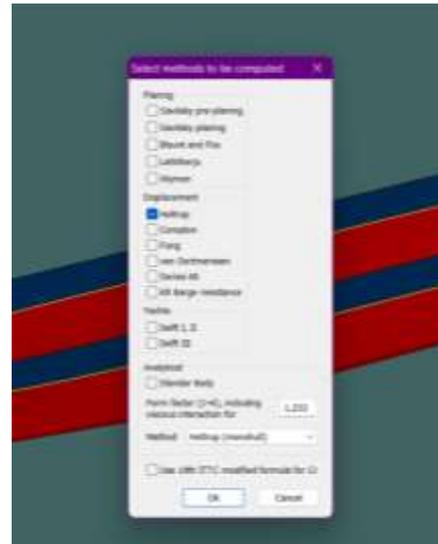
Setelah model tiga dimensi terbentuk, maka dilakukan validasi model agar model dengan kapal memiliki kesesuaian sehingga proses analisis akan mendekati hasil sebenarnya. Validasi model dilakukan dengan membandingkan data hidrostatik model dengan data hidrostatik kapal. Nilai koreksi dari kesesuaian model dengan kapal adalah $\pm 0,05$ atau 5%.

Pada Tabel 7, nilai koreksi masih dibawah $\pm 0,05$ maka model tiga dimensi dari kapal masih memenuhi syarat untuk dilanjutkan pada proses analisis berikutnya.

3.4. Analisa Hambatan Model

Hambatan mempunyai peranan yang sangat krusial dalam mencari kebutuhan minimum mesin dan *fuel consumption* untuk pengoperasian kapal.. Sebuah kapal akan lebih efisien jika gaya hambatnya relatif rendah. Nilai resistansi yang rendah menghemat jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengoperasikan kapal. Semakin sedikit hambatan yang dimiliki kapal, semakin sedikit energi yang terbuang akibat hambatan pada lambung kapal [15]. Hambatan kapal juga mempengaruhi kapasitas dan ukuran mesin induk yang digunakan. Resistansi kapal dianalisis menggunakan perangkat lunak khusus *Maxsurf Resistance*.

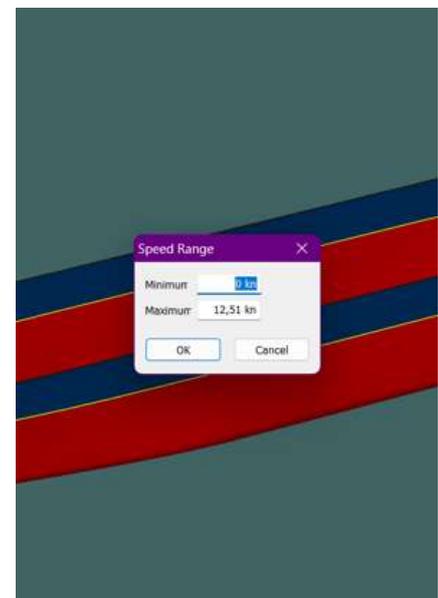
Untuk menentukan besarnya *drag* yang diterima kapal maka dilakukan analisis *drag* dengan cara membandingkan nilai *drag* yang diperoleh dari dalam bentuk grafik dengan variabel kecepatan kapal.



Gambar 3. Setting Metode Holtrop

Pada gambar 3, *setting* dilakukan dengan memilih opsi Holtrop pada *setting displacement* serta form factor (1+k) digunakan nilai 1,223. Dan untuk pilihan metode menggunakan Metode Holtrop *monohull*

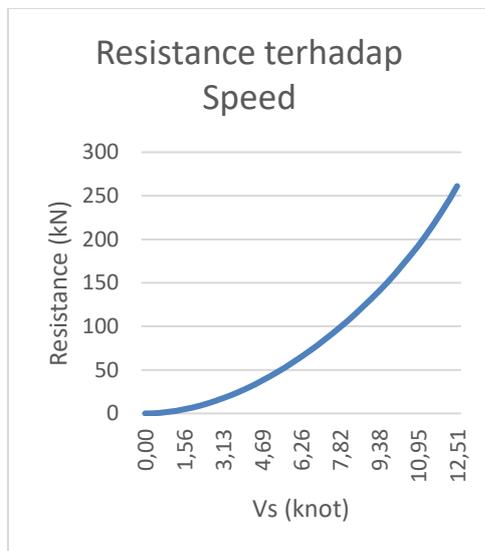
Metode Holtrop menghitung resistansi total dimensional yang dipecah menjadi beberapa komponen: resistansi gesekan, resistansi apendiks, resistansi gelombang, resistansi karena haluan membulat di dekat permukaan air, resistansi tekanan karena transom yang terbenam, resistansi korelasi model-kapal, dan resistansi udara [19].



Gambar 4. Pengaturan *Speed* pada *Software*

Metode Holtrop digunakan untuk menganalisis gaya hambat kapal pada tiap-tiap kecepatan kapal. Pengaturan kecepatan pada *software* dapat dilihat pada gambar 4. Kecepatan minimal yang digunakan adalah 0 knot dan

kecepatan maksimum yang digunakan 12,51 knot. Hasil dari analisa software maxurf resistance akan terbagi pada tiap kecepatan berupa 40 bagian kecepatan dan divisualisasikan dengan grafik.

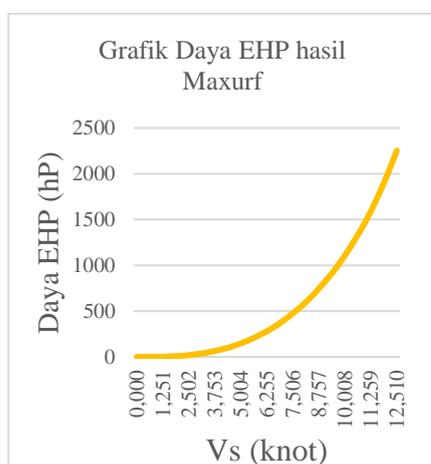


Gambar 5. Grafik Hambatan Kapal

Setiap peningkatan kecepatan kapal di laut akan diikuti dengan peningkatan resistansi yang dihasilkan oleh pergerakan kapal. Seiring dengan peningkatan resistansi tersebut, dibutuhkan pula peningkatan tenaga dari mesin atau konversi energi yang terjadi di propeller kapal untuk mengimbangnya [20].

Pada gambar 8, hambatan kapal meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan kapal. Pada kecepatan kapal dengan nilai 1,25 knot, hambatan yang terjadi pada kapal sebesar 3,1 kN. Pada kecepatan kapal dengan nilai 2,5 knot, hambatan yang terjadi sebesar 11,5 kN. Hasil ini terus meningkat hingga pada kecepatan maksimum kapal, yaitu 12,5 knot.

Hasil dari analisa hambatan kapal kontainer dengan C_b 0.77 serta V_s 12.5 knot menghasilkan nilai Hambatan Total sebesar 261,1 kN



Gambar 6. Grafik Daya EHP hasil Maxurf

Pada gambar 9, grafik kebutuhan daya EHP (*effective horse power*) mesin kapal cenderung naik pada tiap kenaikan kecepatan kapal. Pada kecepatan kapal 1,25 knot, daya yang dibutuhkan adalah 5,141 hp. Pada kecepatan 5 knot daya mesin yang dibutuhkan melonjak hingga 146,95 hp. kenaikan ini terus melonjak hingga pada kecepatan kapal 12,51 knot daya EHP mesin yang dibutuhkan mencapai 2252,997 hp.

Hasil dari analisa kebutuhan daya EHP mesin kapal adalah 2252,997 *horse power*, maka spesifikasi dari *Main Engine* Yang dibutuhkan dalam desain kapal kontainer dapat ditentukan dengan mengacu pada hasil dari grafik dalam gambar 6.

3.5. Mesin Utama Kapal

Perhitungan kebutuhan mesin utama kapal dapat dilakukan dengan mencari nilai *effective horse power* (EHP) *shaft horse power* (SHP) serta *break horse power* (BHP)[11].

Besaran EHP ditemukan dengan melihat hasil grafik kebutuhan daya kapal sedangkan SHP dapat ditentukan dengan Persamaan:

$$SHP = \frac{EHP}{P_c} \text{ (hp)} \quad (4)$$

$$P_c = \eta_H \times \eta_R \times \eta_O \quad (5)$$

dimana P_c adalah *propulsive coefficient*, η_H adalah *hull efficiency* dengan besaran 1,196 η_R adalah *relative efficiency* dengan besaran 1,014 η_O adalah *open propeller efficiency* dengan besaran 0,653.

Maka besaran $P_c = 0,7919$ dan didapatkan SHP sebesar 2844,974 hp. Nilai BHP dapat ditentukan dengan menambahkan SHP dan 3% dari SHP sehingga BHP didapatkan sebesar 2930,3232 hp dan dengan ditambahkan koreksi pelayaran luar negeri sebesar 25% SHP maka BHP akhir yang digunakan 3556,2715 hp.

Mesin kapal yang digunakan harus memiliki daya diatas dari BHP. Selain itu ada beberapa kriteria yang digunakan dalam pemilihan mesin utama seperti *maintainability*, *reliability*, serta *fuel consumption*. [21]

Tabel 8. MaK 6 M32 C

No	Data Mesin	Dimensi
1	Daya Mesin	4000 hp
2	RPM	600
3	Panjang	5934 mm
4	Lebar	2418 mm
5	Tinggi	2784 mm
6	Cylinder	8
7	Berat	39,5 ton



Gambar 4. MaK 6 M32 C [22]

Pada tabel 8, mesin dipilih salahsatunya mempertimbangkan putaran mesin permenit (RPM). Putaran yang terjadi pada mesin berkisar 600 RPM. Dengan putaran mesin yang relatif rendah maka konsumsi bahan bakar akan lebih irit serta umur pemakaian komponen yang lebih lama.

Mesin dengan putaran rendah memiliki kekurangan yaitu dimensi yang besar. Dengan dimensi yang besar maka berat mesin juga akan semakin besar sehingga akan mengurangi jumlah muatan maksimum kapal. demikian pula dengan harga mesin yang cenderung lebih tinggi.

4. KESIMPULAN

Desain lambung kapal mempengaruhi gaya resistensi yang diberikan pada kapal.[6] Semakin besar hambatannya maka semakin besar pula tenaga mesin yang dibutuhkan. Dengan adanya tahanan kapal yang besar, maka kebutuhan daya dan dimensi mesin akan semakin besar. Jika ukuran mesin besar maka akan mempengaruhi biaya pemasangan mesin yang besar. Kapal dirancang untuk menerima gaya hambatan sekecil mungkin dan juga dirancang untuk menahan beban besar.

Berdasarkan hasil pembahasan pada penelitian analisa hambatan kapal kontainer 14500 DWT yang ditujuakan untuk rute pelayaran Surabaya-Makassar, diperoleh kesimpulan bahwa ukuran utama kapal yang didapatkan adalah LOA 155,61 m, LWL 150,00 m, LPP 145,63 m, lebar 23,33 m, tinggi 12,46 m, sarat air 8,39 m, CB 0,77, DWT 14500, dan kecepatan 12,5 knot. Kapal

tersebut sesuai dengan kebutuhan pelayaran Surabaya-Makassar untuk mengangkut komoditas bahan pokok dengan jumlah yang besar serta waktu pengiriman yang cepat, dengan kecepatan kapal 12,5 knot, untuk jarak pelayaran Surabaya-Makassar akan menempuh waktu selama 1 hari 12 jam. penelitian ini juga mendapatkan analisa hambatan kapal sebesar 261,1 kN dan kebutuhan tenaga sebesar 2252,997 hp sehingga dapat ditentukan *main engine* dengan tipe MaK 6 M32 C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik. Statistik Transportasi Laut 2022.
- [2] B. Septiawan, G. Amaria Sabila, and Y. P. Sutanto, "Analisis Potensi Ekspor Indonesia Terhadap Negara Asean Dengan Pemanfaatan Perjanjian Masyarakat Ekonomi Asean (Mea)," vol. 15, 2023, doi: 10.35457/xxx.
- [3] C. Crutchley. Shipping Routes That Define Global Trade And How Big Data Optimizes Them. cbiplogistics.com.
- [4] E. Djunarsjah, D. Wisayantono, and A. P. Parlindungan, "Kajian Standar Penilaian Kelayakan Pelabuhan Makassar Dalam Mendukung Konsep Tol Laut," 2018.
- [5] J. Hasil, K. Ilmiah, M. Alfaruqi, A. Trimulyono, and A. F. Zakki, "Perancangan Kapal Container 21300 Dwt Untuk Rute Pelayaran Jakarta-Makassar," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. XX, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [6] J. Hasil *et al.*, "Optimasi Bentuk Buritan Kapal Perintis 750 DWT Menggunakan Response Surface Methode (RSM) untuk Mengurangi Hambatan," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 9, no. 1, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [7] F. P. R. Ricinsi, T. B. Musriyadi, and A. Baidowi, "Analisa Hambatan dan Efek Diving pada Kapal Monohull Pelat Datar

- dan Kapal Konvensional (Streamline),” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 9, no. 2, Feb. 2021, doi: 10.12962/j23373539.v9i2.53616.
- [8] E. Sugianto and A. Winarno, “Computational Model Tahanan Kapal Untuk Menentukan Kebutuhan Daya Kapal Bulk Carrier 8664 Dwt,” *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, vol. 10, no. 2, p. 168, Feb. 2018, doi: 10.21107/jk.v10i2.3411.
- [9] R. Rachman, E. Pranatal, dan S. Pramudya Imawan, and T. Perkapalan Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya Jl Arief Rachman Hakim, “Analisis Perbandingan Metode Simulasi Software Maxsurf Dengan Metode Matematis Untuk Perhitungan Hambatan Dan Daya Mesin Utama Kapal Tanker 6500 Dwt.”
- [10] A. Wibawa and I. P. Mulyanto, *Buku Ajar Pengantar Ilmu Perkapalan*, 1st ed., vol. 1. Semarang: UPT Undip Press Semarang, 2012.
- [11] E. V. . Lewis, Principles of naval architecture. Vol 1 ; Stability and strength ... Vol 3 ; Motions in waves and controllability. Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1989.
- [12] V. Dubrovsky, “Multi-hull ships: examples, types, dimension correlations, general arrangement, hydrostatic.” 2019. doi: 10.13140/RG.2.2.34548.40323.
- [13] J. Hasil, K. Ilmiah, S. Pramudyo Kusumo, B. Arswendo, A. Wibawa, and B. Sentosa, “JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Studi Perancangan Kapal Kargo 14.715 Dwt Rute Pelayaran Tanjung Perak-Batu Ampar,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 5, no. 2, p. 488, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/naval>
- [14] ccitonlinewiki contributors, “Lines Plan Pada Desain Kapal,” ccitonlinewiki.
- [15] D. A. . Hudson, A. F. . Molland, and S. R. . Turnock, *Ship Resistance and Propulsion : Practical Estimation of Propulsive Power*. Cambridge University Press, 2011.
- [16] “ITTC-Recommended Procedures Testing and Extrapolation Methods Resistance Resistance Test,” 2002.
- [17] B. Ramazini and S. Joko Sisworo, “Studi Perancangan Dan Ekonomis Kapal Motor Cepat Sebagai Penunjang Profitabilitas Penyeberangan Semarang-Karimunjawa.”
- [18] F. A. Kurinawan and E. Pranatal, “Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan IV (SENASTITAN IV) Surabaya,” 2024.
- [19] “Holtrop and Mennen’s Method,” in *Fundamentals of Ship Hydrodynamics*, Wiley, 2019, pp. 611–627. doi: 10.1002/9781119191575.ch50.
- [20] D. Chrismianto, A. Trimulyono, and M. N. Hidayat, “Analisa Pengaruh Modifikasi Bentuk Haluan Kapal Terhadap Hambatan Total Dengan Menggunakan CFD,” 2014.
- [21] “Marine engineering.,” p. 11 v., 1897, [Online]. Available: <https://catalog.hathitrust.org/Record/008896970>
- [22] “MaK MARINE PROPULSION ENGINE RATINGS”, doi: 10.1.