



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Hambatan Kapal Oil Tanker 10850 DWT Perariran Bintang - Lhokseumawe

Arjuno Putra Pudji Nurhendra<sup>\*)</sup>, Berlian Arswendo Adietya<sup>1)</sup>, Deddy Chrismianto<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Teknologi Kapal Kecil dan Perikanan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

<sup>\*)</sup>e-mail : arjunoputra28@gmail.com

### Abstrak

Penelitian ini menganalisis hambatan kapal oil tanker berkapasitas 10.850 DWT yang berlayar di perairan Bintang hingga Lhokseumawe. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai hambatan total yang dialami kapal dengan menggunakan metode empiris Holtrop dan simulasi perangkat lunak Maxsurf. Dengan melakukan pembuatan model 3d dengan Maxsurf Modeler terlebih dahulu. Berdasarkan hasil perbandingan perhitungan analitik hambatan dan simulasi software Maxsurf itu memiliki kenaikan yang signifikan. Hal ini menunjukkan pada rentang kecepatan (0 – 14,65 knot) baik perhitungan analitik hambatan maupun software Maxsurf dapat digunakan. Pada kecepatan Maksimum (14,65 knot), hambatan total yang dihitung menggunakan analitik hambatan menghasilkan hambatan sebesar 359,87 kN, sedangkan menggunakan software Maxsurf Resistance menghasilkan hambatan sebesar 404,6 kN, pola kenaikan hambatan terhadap kecepatan dari kedua perhitungan menunjukkan kesamaan, sehingga hasil dapat dibandingkan untuk validasi. Kekurangan dari analisis hambatan ini tidak adanya acuan yang terjadi pada tiap waterline dan tidak adanya juga acuan dari daya mesin kapal yang digunakan.

Kata Kunci : Kapal Tanker, Hambatan Kapal, Holtrop, Maxsurf, Linesplan

### 1. PENDAHULUAN

Kapal merupakan salah satu media transportasi laut yang digunakan untuk keperluan bisnis, maupun salah satu bidang usaha yang sangat menjanjikan di industri maritim khususnya dibidang perkapalan sangat penting dalam pengembangan wilayah terutama bagi provinsi yang terdiri dari banyak pulau meliputi transportasi laut melalui pelabuhan [1].

Tanpa sarana transportasi yang memadai maka akan sulit untuk menghubungkan kebutuhan turunan di seluruh daerah di kepulauan ini. Sebagai akibat dari kegiatan ekonomi, sosial dan makroekonomi lainnya transportasi merupakan tulang punggung perekonomian nasional, regional dan lokal, baik di perkotaan maupun di pedesaan [2].

Pergerakan atau perpindahan barang dan manusia terjadi akibat adanya perbedaan tingkat utilitas, baik berupa nilai tempat (*place utility*) maupun nilai waktu (*time utility*) [3].

Kapal tanker, sebagai salah satu jenis kapal yang paling penting dalam industri maritim, menghadapi berbagai hambatan yang dapat mempengaruhi efisiensi operasional dan keselamatan. Salah satu

hambatan utama adalah risiko kecelakaan, terutama yang disebabkan oleh tabrakan. Penelitian menunjukkan bahwa kapal tanker sering kali terlibat dalam insiden tabrakan yang dapat menyebabkan kerusakan struktural yang signifikan, terutama pada struktur lambung kapal [4].

Dalam konteks ini, analisis kekuatan struktural setelah tabrakan menjadi sangat penting untuk menentukan kelayakan operasional kapal dan untuk merencanakan tindakan penyelamatan yang diperlukan.

Selain itu, faktor lingkungan juga berperan dalam menghambat operasi kapal tanker. Misalnya, kondisi cuaca buruk dan gelombang tinggi dapat menyebabkan beban global yang signifikan pada kapal, yang dapat mempengaruhi stabilitas dan daya apung [5].

Penelitian menunjukkan bahwa kapal tanker yang mengalami banjir di area tertentu dapat mengalami perubahan dalam trim dan heel, yang berpotensi mengakibatkan kecelakaan. Oleh karena itu, pemantauan kondisi cuaca dan perencanaan yang

matang sangat diperlukan untuk mengurangi risiko tersebut.

Aspek ekonomi juga menjadi hambatan penting bagi kapal tanker. Biaya operasional yang tinggi, termasuk biaya bahan bakar dan pemeliharaan, dapat mempengaruhi profitabilitas perusahaan pengangkutan [6]. Dalam konteks ini, penelitian menunjukkan bahwa penggunaan teknologi baru, seperti turbin angin untuk menghasilkan listrik, dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas rumah kaca, sehingga meningkatkan efisiensi energi kapal.

Kapal Tanker adalah jenis kapal yang telah didesain agar mampu mengangkut jenis minyak, cairan kimia hingga jenis likuid lainnya. Pada laporan investigasi KNKT tahun 2007 – 2014 disampaikan bahwa kecelakaan tenggelamnya kapal cenderung dialami oleh kapal tanker, dengan factor penyebabnya yaitu factor *ballast*, konstruksi dan adanya kebocoran [7].

Secara umum kecelakaan kapal disebabkan banyak factor baik dari elemen manusia dan teknologi [8]. Faktor manusia dan teknologi penyebab kecelakaan kapal yaitu kecerobohan awak kapal dalam pemberian ijin muatan barang yang melebihi beban muatan (*overloading*), maintenance yang buruk, mesin dan kegagalan struktur kapal. Desain dan analisis struktur kapal selalu menjadi bidang penelitian ilmiah yang sangat penting dan aktif, dalam upaya membuat struktur tersebut lebih andal sehingga dapat meminimalisir resiko terjadinya kecelakaan kapal karena kegagalan struktur kapal.

Desain dan analisis struktur kapal selalu menjadi bidang penelitian ilmiah yang sangat penting, dalam upaya membuat struktur dapat meminimalisir resiko terjadinya kecelakaan karena kegagalan struktur [9].

Pemilihan mesin utama pada kapal adalah permasalahan yang sangat kompleks pada saat kapal beroperasi. Didalam dunia perkapalan terdapat *software* yang dapat membantu menyelesaikan permasalahan terkait khususnya dalam desain kapal. Dari sekian banyak *software*, ada beberapa program komputasi yang khusus untuk menganalisa perhitungan desain kapal yaitu Maxsurf. Untuk jenis Maxsurf yang digunakan dalam menganalisa permasalahan saat ini yaitu Maxsurf *Modeler* dan juga Maxsurf *Resistance*. Maxsurf *Modeler* digunakan untuk mendapatkan model 3D kapal selanjutnya data tersebut akan dikelola kedalam Maxsurf *Resistance*.

Dalam perencanaan hambatan kapal, metode Holtrop digunakan untuk memprediksi hambatan kapal yang memiliki lambung kapal yang besar. Oleh sebab itu dapat juga dilakukan dengan menggunakan metode numerik dengan penggunaan *Software* perkapalan dapat menjadi satu solusi tambahan dalam membantu menghitung hambatan kapal, terutama

kapal yang memiliki lambung yang besar, koefisien blok besar dan juga memiliki kecepatan yang rendah [10].

Aspek ekonomi juga menjadi hambatan penting bagi kapal tanker. Biaya operasional yang tinggi, termasuk biaya bahan bakar dan pemeliharaan, dapat mempengaruhi profitabilitas perusahaan pengangkutan [11]. Dalam konteks ini, penelitian menunjukkan bahwa penggunaan teknologi baru, seperti turbin angin untuk menghasilkan listrik, dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas rumah kaca, sehingga meningkatkan efisiensi energi kapal. Selain itu, strategi pengalihan bendera dan penjadwalan ulang kapal juga dapat membantu perusahaan pengangkutan tanker untuk mematuhi regulasi dan mengurangi biaya operasional.

Secara keseluruhan, kapal tanker menghadapi berbagai hambatan yang berkaitan dengan keselamatan, lingkungan, ekonomi, dan keamanan. Penelitian lebih lanjut dan penerapan teknologi baru diperlukan untuk mengatasi tantangan ini dan meningkatkan efisiensi serta keselamatan operasi kapal tanker.

## 2. METODE

Dalam proses pengerjaan analisis hambatan ini, penulis membutuhkan beberapa macam data dan masukan untuk dianalisis lebih lanjut. Data-data tersebut dibedakan menjadi dua macam, yaitu data primer dan data sekunder.

### 1. Data Primer

Data Primer adalah input pokok yang diperlukan dalam pengerjaan analisis ini. Data primer berupa data ukuran utama kapal (Tabel 2.1)

### 2. Data Sekunder

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

**Tabel 2.1** Range Variabel ( $C_p$ , L/B, B/T) menurut jenis kapal

Tipe Kapal	Maks Fn	Cp	
		Min	Max
Bulk Carrier, Tanker	0,24	0,73	0,85
Trawler, Tugs, Coaster	0,38	0,55	0,65
Cobtainer, Destroyer Types	0,45	0,55	0,67
Cargo liners	0,30	0,56	0,75

Rol on-Roll off, car ferries	0,35	0,55	0,67
------------------------------	------	------	------

Berdasarkan tabel 2.1 untuk yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan berdasarkan baris pertama pada tabel tersebut, karna kapal yang digunakan adalah kapal tanker.

**Tabel 2.2** Range Variabel (Cp, L/B, B/T) menurut jenis kapal

Tipe Kapal	L/B		B/T	
	Min	Max	Min	Max
Bulk Carrier, Tanker	5,10	7,10	2,40	3,20
Trawler, Tugs, Coaster	3,90	6,30	2,10	3,00
Cobtainner, Destroyer Types	6,00	9,50	3,00	4,00
Cargo liners	5,30	8,00	2,40	4,00
Rol on-Roll off, car ferries	5,30	8,00	3,20	4,00

Berdasarkan tabel 2.2 untuk yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan baris pertama pada tabel tersebut karna kapal yang digunakan adalah kapal tanker.

Langkah awal untuk menghitung luasan permukaan basah bagian kapal. Notasi luas permukaan basah ini dilambangkan dengan simbol S.

$$Stot = S + S_{app} \dots \quad (1)$$

S<sub>app</sub> adalah luasan dari daerah tonjolan pada kapal, contohnya yaitu daerah *bulbous bow*. Sehingga untuk menentukan luas bidang basah total kapal yaitu dengan menjumlahkan luas permukaan basah kapal dengan luas total dari tonjolan pada kapal.

**Tabel 2.3** Ukuran Utama Kapal

No	Ukuran	
1	Lengh Perpendicular (m)	142,41
2	Lengh Waterline (m)	146,68
3	Breadth (m)	23,59
4	Height (m)	12,56
5	Draft (m)	9,27
6	Speed	14,65 (knots)
7	Coefficient Block	0,73
8	Dead Weight Tonnage (ton)	10850

Berdasarkan tabel 2.3 didapatkan data ukuran utama Kapal Tanker 10850 DWT yang di akan di input ke dalam perhitungan manual dan juga Maxsurf.

Ukuran utama kapala adalah parameter dasar yang digunakan untuk mendeskripsikan dimensi dan karakteristik fisik kapal. Ukuran ini sangat penting dalam desain, konstruksi dan pengoprasian kapal.

LPP atau *Length Between Perpendiculars* adalah salah satu ukuran utama kapal yang

menunjukkan panjang kapal, yang mana pada kapal yang digunakan memiliki LPP sepanjang 142,41 m. LPP diukur sepanjang garis FP dan AP.

LWL atau *Length at Waterline* adalah ukuran utama kapal pada garis air, garis air yang terbentuk di sepanjang lambung kapal Ketika kapal berada dalam keadaan apung, yang mana pada kapal yang digunakan memiliki LWL sepanjang 146,68 m. LWL diukur sepanjang garis air.

*Breadth* atau lebar kapal adalah salah satu ukuran utama yang menggambarkan jarak melintang terlebar kapal, biasanya diukur pada bagian lambung kapal, yang mana pada kapal yang digunakan memiliki *Breadth* sepanjang 23,59 m.

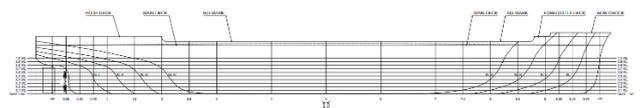
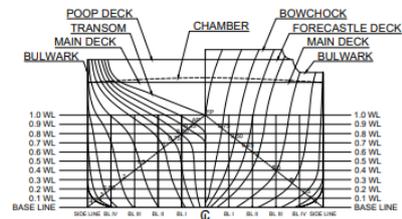
*Height* atau tinggi kapal adalah ukuran vertikal kapal yang menggambarkan jarak dari bagian dasar hingga titik tertinggi kapal, untuk tinggi kapal yang digunakan adalah 12,56 m.

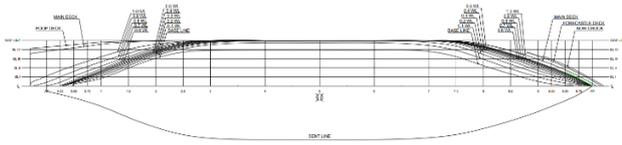
*Draft* atau sarat kapal adalah jarak vertikal antara garis dasar kapal atau *keel* hingga garis air *waterline* saat kapal berada dalam kondisi apung tertentu, untuk sarat kapal yang digunakan adalah 9,27 m.

*Speed* kapal adalah kecepatan kapal saat bergerak di atas permukaan air, biasanya dinyatakan dalam satuan knot, untuk *speed* kapal yang dimiliki kapal ini adalah 14,65 knots.

*Coefficient Block* atau Koefisien Blok adalah rasio yang menggambarkan efisiensi volume kapal dalam memanfaatkan ruang air yang dipindahkan. C<sub>b</sub> adalah perbandingan antara *volume displacement* kapal ( volume air yang dipindahkan oleh lambung kapal ) dengan *volume* balok yang memiliki panjang, lebar dan tinggi yang sama dengan dimensi utama kapal.

DWT atau *Deadweight Tonnage* adalah selisih dari *displacement* kapal yang bermuatan penuh dan bermuatan kosong dihitung dalam satuan ton metik.





**Gambar 2.1** Linesplan Kapal Tanker 10850 DWT

Berdasarkan Gambar 2.1 ini adalah *linesplan* Kapal Tanker 10850 DWT yang didapat. Kegunaan *linesplan* yaitu untuk merancang dan menganalisis bentuk lambung lambung kapal guna memastikan efisiensi hidrodinamik dan digunakan untuk menghitung volume, daya apung dan stabilitas.

*Body Plan* ditunjukkan pada bagian atas tengah gambar untuk memperlihatkan penampang melintang kapal pada berbagai *stations*.

*Sheer Plan* ditunjukkan pada bagian tengah gambar untuk memperlihatkan profil kapal dari sisi, termasuk garis air (*waterlines*).

*Half-Breadth Plan* ditunjukkan pada bagian bawah gambar menampilkan potongan horizontal badan kapal di berbagai garis air (*waterlines*).

## 2.1 Tinjauan Pustaka

Pada tahap awal yaitu mengidentifikasi teori pada penelitian yang terkait akan didapatkan suatu metode di dalamnya. Dalam melakukan suatu penelitian, pada tahap ini penulis melihat bagaimana penelitian ini akan dilakukan.

## 2.2 Teori dan Referensi Penelitian

Referensi serta teori yang digunakan sebagai dasar dari pengolahan dan analisa data penelitian diantaranya :

1. Tinjauan Kapal Tanker
2. Teori Hambatan Kapal
3. Manual *book* dari *software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Maxsurf.

## 2.3 Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data yang sudah didapat, penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif yang menggabungkan metode empiris dan simulasi berbasis perangkat lunak Maxsurf untuk menganalisis hambatan kapal tanker.

## 2.4 Pengumpulan Data

Bahan dari pemodelan dan perhitungan yang akan dilakukan didapat dari hasil pengumpulan data. Adapun data yang diperlukan yaitu :

- Ukuran utama Kapal Tanker 10850 DWT.
- Perhitungan Excel Hambatan kapal dengan metode Holtrop.

- Pemodelan Kapal Tanker 10850 DWT dengan Maxsurf Modeller.

## 2.5 Pemodelan Kapal Dengan Maxsurf Modeller

Maxsurf modeller merupakan program aplikasi untuk membuat model desain kapal secara 3d dan terdapat analisis didalamnya. Kemampuan untuk menampilkan model 3d maxsurf modeller dengan input data sejumlah permukaan yang akan didesain membuat mudah melihat gambar.

Pemodelan menggunakan Maxsurf juga menawarkan kemampuan untuk membuat bentuk dan variasi lambung yang berbeda dengan perhitungan hidrostatis yang disertakan dalam desain kapal, sehingga memudahkan untuk bereksperimen dengan bentuk dan mengeksplorasi parameter struktural kapal [12].

Maxsurf resistance mampu untuk menghitung semua komponen tahanan dan memungkinkan dibuat grafik dan tabel data. Dalam beberapa kasus, metode regresi dapat digunakan untuk memprediksi resistansi sisa tanpa faktor bentuk. Namun dalam hal ini maxsurf resistance tidak dapat digunakan untuk menghitung hambatan gelombang. Maxsurf resistance memiliki dua cara untuk memasukkan data yang digunakan dalam algoritma hambatan:

- Secara manual memasukkan data yang akan digunakan.
- Pembacaan input data dari maxsurf desain / Modeller dan secara otomatis menghitung bentuk permukaan.

Kapal Tanker 10850 DWT akan dibuat pemodelannya di dalam *software* Maxsurf. Data – data yang dibutuhkan dalam pemodelan ini ialah dimensi utama dari kapal tersebut, yang mencakup panjang kapal, lebar kapal, tinggi kapal, dan juga sarat air dari kapal tersebut. Selanjutnya dari data dimensi kapal tersebut, akan dilakukan pembuatan pemodelan dari Kapal Tanker 10850 DWT.

## 2.6 Analisis Hambatan

*Resistance* kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa hingga melawan Gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. *Resistance* merupakan istilah yang disukai dalam hidrodinamika kapal.

Melihat bahwa kapal bergerak di bidang fluida cair yang nilai kerapatan massanya lebih besar dari udara sehingga semakin besar kecepatan dan dimensi suatu kapal maka semakin besar pula energi yang dibuang untuk bergesekan dengan

lambung kapal dan arahnya melawan arah kapal sehingga menimbulkan gaya berlawanan.

Hambatan kapal merupakan ilmu yang mempelajari reaksi fluida akibat gerakan kapal yang melalui fluida tersebut. Dalam istilah hidrodinamika kapal adalah besarnya gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Hambatan tersebut sama dengan komponen gaya yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal [13].

Pada dasarnya hambatan kapal dibagi menjadi dua yaitu hambatan yang berada di atas permukaan air dan hambatan yang berasal dari bawah permukaan air. Hambatan yang di atas permukaan air adalah yang bekerja pada bagian badan kapal yang kelihatan di atas permukaan air, disini pengaruh adanya udara yang mengakibatkan timbulnya hambatan [14].

Hambatan total atau *Total Resistance* kapal merupakan sejumlah komponen hambatan yang berbeda-beda, diakibatkan oleh berbagai macam penyebab dan saling berinteraksi dalam cara yang rumit. William Froude membagi hambatan total ( $R_T$ ) menjadi dua bagian yaitu hambatan gesek ( $R_F$ ), dan Hambatan sisa ( $R_R$ ) dengan rumus :

$$R_T = R_F + R_R \quad (2)$$

$$C_T = C_F + C_R \quad (3)$$

$C_T$  merupakan koefisiensi total yang merupakan jumlah dari koefisien gesek ( $C_F$ ) dan koefisien residu ( $C_R$ ) [15].

Nilai dari hambatan total kapal terdiri dari beberapa komponen hambatan lainnya. Dimana, nilai tersebut mempengaruhi performa dari kapal ketika berinteraksi dengan air [16]. Berikut merupakan rumus umum dari hambatan kapal yang ditunjukkan pada Persamaan 3 [17].

$$R = \frac{1}{2} \rho \cdot C \cdot S \cdot V^2 \quad (4)$$

Dimana :  $R$  = Hambatan kapal

$\rho$  = Massa jenis air

$C$  = koefisien hambatan

$S$  = Luas permukaan basah

$V$  = Kecepatan kapal.

## 2.7 Holtrop

Hambatan yang dihadapi dalam penerapan metode Holtrop dan Mennen untuk prediksi resistensi kapal merupakan isu penting dalam desain dan pengoperasian kapal. Metode ini, yang sering digunakan untuk memperkirakan daya dan kecepatan kapal, membagi total resistensi kapal menjadi beberapa komponen aditif yang didasarkan pada data dari pengujian model dan

skala penuh. Namun, ada beberapa tantangan yang perlu diperhatikan dalam penggunaannya [18].

Tahanan kapal merupakan parameter penting dalam melakukan perhitungan dan perencanaan struktur kapal. Pengaruh tahanan pada suatu kapal dapat menimbulkan berbagai hal, salah satunya adalah penurunan kecepatan dan efisiensi pelayanan kapal. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan khusus untuk menemukan tahanan tersebut. Jumlah tahanan juga meningkat dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan metode perhitungan ini menunjukkan bahwa nilai pasti hambatan kapal mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap stabilitas dan kecepatan pelayanan kapal. Seiring berjalannya waktu, sejumlah metode tahanan yang digunakan. Beberapa metode antara lain deret tradisional dan standar, metode regresi, pengujian model langsung dan yang terbaru adalah *Computational Fluid Dynamics* (CFD) [19].

Metode Holtrop adalah salah satu metode yang digunakan untuk menghitung hambatan kapal, terutama pada kapal displasemen.

Berikut merupakan rumus umum dari Holtrop :

$$RT = R_v + R_w + RCA \quad (5)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot Cf \cdot (1 + k) \cdot S_{tot} + \frac{R_w}{W} W + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{tot} \cdot Ca$$

$$\frac{1}{2} \rho V^2 S_{tot} [Cf(1 + k) + Ca] + \frac{R_w}{W} W$$

Dimana :

$\rho$  = Massa jenis air

$V$  = Kecepatan kapal

$S_{tot}$  = Luas Permukaan basah

$Cf$  = Koefisien tahanan gesek

$(1+k)$  = Koefisien pengaruh bentuk

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

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

Rumus umum yang digunakan adalah :

$$RT = R_f + R_r + R_w + R_{visc} \quad (6)$$

Perhitungan tiap komponen hambatan menggunakan metode Holtrop melibatkan beberapa parameter penting seperti koefisien gesekan ( $C_f$ ), koefisien residu, serta pengaruh kecepatan dan bentuk kapal. Koefisien gesekan dihitung menggunakan persamaan ITTC :

$$C_f = 0.075/(\log(Re) - 2)^2 \quad (7)$$

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

#### a. Prinsip Dasar Holtrop

Metode Holtrop menggunakan rumus empiris untuk menghitung hambatan kapal. Rumus ini melibatkan beberapa parameter penting, seperti :

- Dimensi Kapal : Panjang, lebar dan kedalaman kapal.
- Kecepatan Kapal : Kecepatan kapal yang diukur dalam satuan knot.
- Parameter Bentuk Lambung : Parameter seperti  $C_p$  (parameter bentuk lambung),  $F_n$  (angka Froude) dan  $V_{disp}$  (kecepatan disipasi).
- Sudut Masuk Garis Air : Sudut masuk garis air kapal.

#### b. Rumus Empiris Holtrop

Metode Holtrop menggunakan rumus empiris yang telah divalidasi melalui eksperimen. Rumus ini dapat digunakan untuk menghitung hambatan gesek, gelombang, dan eddy.

- Hambatan Gesek (*Frictional Resistance*)  
Nilai  $C_w$  (koefisien hambatan gesek) ditentukan oleh parameter-parameter yang berhubungan dengan bentuk badan kapal, seperti panjang, lebar, dan kedalaman kapal [20].
- Hambatan Gelombang (*Wave Making Resistance*) Rumusan ini tergantung pada bentuk lambung kapal dan konstanta-konstanta yang diusulkan oleh Holtrop berdasarkan hasil uji model yang dilakukannya.
- Hambatan Eddy (*Eddy Resistance*)  
Dalam Metode Holtrop, hambatan eddy juga dihitung dengan menggunakan parameter yang relevan, seperti kecepatan disipasi dan sudut masuk garis air kapal.

## 2.8 Maxsurf Resistance

Maxsurf Resistance digunakan untuk menghitung resistensi yang dialami oleh kapal dalam berbagai kondisi operasional.

Salah satu aplikasi utama Maxsurf adalah dalam analisis bentuk lambung kapal. Penelitian ini menunjukkan bagaimana Maxsurf digunakan untuk menganalisis desain kapal dengan berbagai bentuk lambung, termasuk pengaruh desain pada hambatan kapal [21]. Dalam studi ini, Maxsurf membantu dalam menemukan bentuk optimal untuk trimaran, dengan mempertimbangkan kriteria resistensi dan stabilitas. Hal ini menunjukkan bahwa perangkat lunak ini tidak hanya berguna untuk desain awal, tetapi juga untuk evaluasi performa kapal secara keseluruhan.

Selain itu, mengintegrasikan Maxsurf dengan metode Holtrop dan Mennen untuk memprediksi resistensi kapal permukaan. Dalam penelitiannya, dia menggunakan teknik Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk menganalisis perilaku hidrodinamik dari bentuk lambung yang dihasilkan oleh Maxsurf. Ini menunjukkan bahwa kombinasi antara Maxsurf dan metode prediksi resistensi dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang performa kapal.

Maxsurf dalam desain kendaraan patroli cepat dengan kemampuan stealth, di mana analisis resistensi dan stabilitas dilakukan menggunakan Maxsurf Modeller. Penelitian ini menekankan pentingnya perangkat lunak dalam mendukung desain kapal yang efisien dan efektif dalam konteks operasional yang spesifik.

Lebih lanjut, penelitian oleh Nabawi. menunjukkan bagaimana Maxsurf Resistance digunakan untuk membandingkan resistensi antara kapal dengan bentuk lambung datar dan lambung yang lebih aerodinamis. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa desain lambung yang lebih streamlined dapat mengurangi resistensi secara signifikan, yang penting untuk efisiensi bahan bakar dan performa keseluruhan kapal [22].

Turan juga menyoroti penggunaan Maxsurf dalam analisis resistensi kapal patroli, di mana pengujian dilakukan untuk menentukan dampak dari berbagai desain lambung terhadap resistensi dan trim kapal [23]. Ini menunjukkan bahwa Maxsurf tidak hanya bermanfaat untuk desain awal, tetapi juga untuk evaluasi dan optimasi desain yang sudah ada.

Secara keseluruhan, Maxsurf Modeller dan Maxsurf Resistance merupakan alat yang sangat berharga dalam desain dan analisis kapal. Mereka memungkinkan insinyur untuk melakukan simulasi yang mendalam dan analisis yang diperlukan untuk mengoptimalkan performa kapal, mengurangi resistensi, dan meningkatkan efisiensi operasional.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

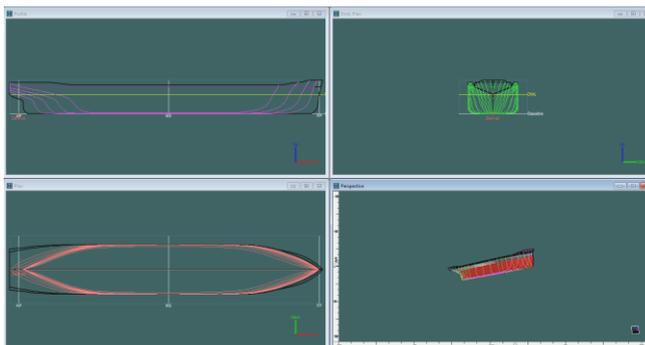
#### 3.1. Permodelan 3 Dimensi Kapal

Proses permodelan 3 dimensi kapal di buat dengan bantuan software Maxsurf Modeler. Dalam prosesnya, ukuran utama kapal serta lines plan digunakan sebagai acuan dalam pembuatan model. LPP digunakan untuk mendefinisikan jarak horizontal antara garis vertikal yang berpotongan dengan buritan dan haluan. Dalam proses fairing model kapal, lines plan dibutuhkan untuk membuat model semirip mungkin. Lines plan digunakan sebagai latar belakang pada saat permodelan agar memudahkan proses fairing model. Setelah linesplan model yang didapatkan dirasa sudah mirip, selanjutnya dilakukan perbandingan antara lines plan asli kapal dengan lines plan hasil dari Maxsurf Modeler. Walau demikian, perlu dilakukan analisa perbandingan dalam hidrostatis juga untuk memastikan sifat hidrostatis model dan kapal masih dalam batas wajar. Dalam penelitian ini, peneliti memutuskan batas koreksi maksimal perbandingan hidrostatis senilai  $\pm 5\%$ . Nilai ini diambil berdasarkan pada penelitian terdahulu yang menganggap bahwa nilai demikian masih dalam toleransi yang baik. Dapat dilakukan perbandingan data hidrostatis kapal dengan model 3D.

**Tabel 3.1** Perbandingan Data Hidrostatis Kapal dengan Model 3D

	Kapal	Model 3D	Koreksi
WSA	4684,483	4889,507	4,38%
Cb	0,73	0,73	0,58%
Cp	0,73	0,75	1,82%
Cm	0,99	0,98	-1,22%
Cw	0,82	0,83	0,94%
LCB dari AP	71,81	71,22	-0,81%

Menurut data tersebut nilai koreksi hidrostatis kapal dan model 3D masih dalam batas toleransi, dengan perbedaan tertinggi terletak pada WSA dengan perbedaan sebesar 4,38%. Hal ini menunjukkan kapal lolos uji validasi yang dilakukan oleh penulis. Untuk hasil model 3D kapal dari software Maxsurf Modeler dapat dilihat pada gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Hasil model body kapal menggunakan Maxsurf Modeler

Gambar tersebut menunjukkan model 3D dari Kapal Tanker dalam tampilan perspektif yang dihasilkan dari software Maxsurf,

Tampilan tersebut dibagi menjadi empat bagian utama yang memperlihatkan berbagai sudut pandang dari desain. Tampilan atas kiri adalah tampilan *sheer plan* dengan , tampilan atas kanan adalah tampilan *body plan*, tampilan bawah kiri adalah tampilan *half-breadth plan*, tampilan bawah kanan adalah perspektif 3D dari lambung kapal, yang memberikan pandangan ruang dari bentuk keseluruhan kapal untuk visualisasi yang lebih jelas.

#### 3.2. Analisa Hambatan Kapal

Dalam penelitian ini, analisa hambatan yang dilakukan dengan 1 metode dengan 2 jenis perhitungan. Metode yang digunakan yaitu menggunakan metode Holtrop. Dengan membandingkan perhitungan Analitik Hambatan dengan software Maxsurf Resistance. Metode Holtrop digunakan karena metode ini cocok untuk analisa kapal berjenis niaga. Penelitian ini menggunakan kapal Oil Tanker sebagai objek penelitiannya, sehingga metode Holtrop dinilai sebagai metode yang tepat untuk menganalisa hambatan kapal. Metode yang kedua yaitu menggunakan software Maxsurf Resistance.

##### 3.2.1 Analisa Perhitungan Analitik Hambatan

Dalam menghitung tahanan kapal dengan menggunakan metode holtrop ada beberapa komponen tahanan yang harus kita tentukan. Komponen – komponen tahanan tersebut antara lain :

- Tahanan gesek ( $R_v$ )
- Tahanan gelombang ( $R_w$ )
- Perhitungan hubungan model dengan kapal ( $RCA$ )

$$RT = R_v + R_w + RCA \quad (8)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_f \cdot (1 + k) \cdot S_{tot} + \frac{R_w}{W} W + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{tot} \cdot C_a$$

$$\frac{1}{2} \rho V^2 S_{tot} [C_f(1 + k) + C_a] + \frac{R_w}{W} W$$

##### 3.2.2 Analisa Hambatan Kapal Software Maxsurf Resistance

Selanjutnya dilakukan perhitungan serupa dengan beberapa variasi kecepatan menggunakan bantuan software Maxsurf Resistance sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

**Tabel 3.2** Hasil Perhitungan Software Maxsurf Resistance

Vs (knot)	Maxsurf (kN)
0	0
2	7,7
4	28,4
6	61,1
8	105,3
10	162,4
12	239,4
14,65	404,6

Tabel 3.1 menunjukkan hasil perhitungan hambatan kapal oil tanker 10850 DWT menggunakan software Maxsurf Resistance menunjukkan nilai hambatan pada berbagai kecepatan dalam knot. Pada kecepatan 0 hambatan bernilai 0,0 kN. Hambatan pada kecepatan 2 knot bernilai 7,7 kN, sedangkan pada kecepatan 4 knot memiliki hambatan 28,4 kN. Pada kecepatan 6 knot, nilai hambatan mencapai 61,1 kN dan pada kecepatan 8 knot tercatat 105,3 kN. Pada kecepatan 10 knot memiliki 162,4 kN, sedangkan kecepatan 12 memiliki 239,4 kN. Pada kecepatan maksimum 14,65 knot memiliki 404,6 kN.

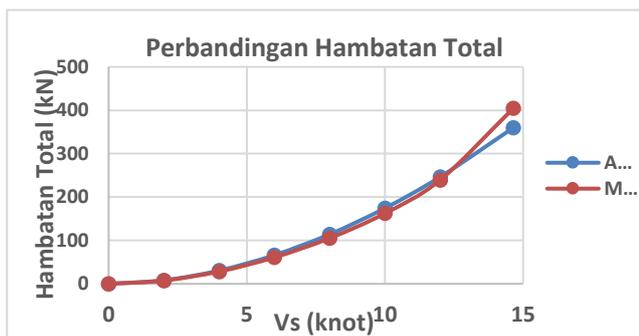
### 3.2.3. Analisa Perbandingan Perhitungan Hambatan Analitik dan Software Maxsurf

Berdasarkan perhitungan menggunakan perhitungan Analitik Hambatan dan software Maxsurf Resistance, didapatkan nilai hambatan berdasarkan kecepatan yang disajikan dalam tabel 3.3 dibawah ini :

**Tabel 3.3** Hasil Perbandingan Perhitungan Hambatan Analitik dan Software Maxsurf Resistance

Kecepatan (knot)	Perhitungan Analitik (kN)	Maxsurf (kN)
0	0	0
2	8,3	7,7
4	30,75	28,4
6	66,21	61,1
8	114,18	105,3
10	174,34	162,4
12	246,45	239,4
14,65	359,87	404,6

Dari tabel diatas, akan disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 3.2 untuk melihat perbedaan antara kedua perhitungan.



**Gambar 3.2** Grafik Hambatan Total Perhitungan Analitik Hambatan dengan Maxsurf

Dari tabel 3.3 dapat dilihat tahanan total kapal dari 2 perhitungan yang berbeda. Dalam perhitungan software Maxsurf memiliki nilai hambatan pada kecepatan maksimum adalah 404,6 kN, sedangkan pada perhitungan Analitik Hambatan memiliki nilai hambatan total 359,87 kN.

Namun dapat dilihat pada gambar 4.5 bahwa walaupun hasilnya memiliki perbedaan signifikan, tetapi kurva yang dihasilkannya masih relatif sama tingkat kenaikannya dalam kenaikan nilai hambatan berdasarkan beberapa kecepatan yang sudah di analisa.

## 4. KESIMPULAN

Penelitian ini didapatkan nilai hambatan Kapal Tanker 10850 DWT dari perbandingan perhitungan Analitik Hambatan dengan perhitungan software Maxsurf.

Metode yang digunakan untuk mengerjakan analisis hambatan ini adalah metode Holtrop, yang mana dilakukan pengumpulan data terlebih dahulu kemudian membuat model 3d dengan menggunakan Maxsurf modeler, lalu menganalisis hambatan.

Berdasarkan hasil perhitungan Analitik Hambatan dengan Software Maxsurf dapat pada Kapal Tanker 10850 DWT, untuk perbandingan Analitik Hambatan dengan penggunaan software Maxsurf itu memiliki kenaikan hambatan yang signifikan. Hal ini menunjukkan pada rentang kecepatan (0 - 14,65 knot) baik perhitungan Analitik Hambatan maupun software Maxsurf dapat digunakan tanpa ada perbedaan signifikan dalam analisis hambatan total kapal.

Pada kecepatan maksimum (14,65 knot), hambatan total yang dihitung menggunakan perhitungan Analitik Hambatan sebesar 359,87 kN, sedangkan menggunakan software Maxsurf Resistance menghasilkan hambatan sebesar 404,6 kN, pola kenaikan hambatan terhadap kecepatan dari kedua perhitungan menunjukkan kesamaan, sehingga hasil dapat dibandingkan untuk validasi.

Kesimpulan ini didapatkan bahwa perhitungan Analitik Hambatan dengan Software Maxsurf ini. Berdasarkan grafik Hambatan Total menunjukkan hubungan antara hambatan (kN) dan kecepatan (knot) menunjukkan bahwa pada kecepatan rendah, kapal mengalami hambatan yang rendah sedangkan kecepatan tinggi hambatan akan bertambah tinggi dengan peningkatan.

Untuk penelitian selanjutnya diharapkan peneliti menambahkan faktor dari tiap garis air (waterlines) dan juga mengacu pada kekuatan daya mesin kapal tersebut.

Kekurangan dari analisis yang dilakukan saat ini adalah kurangnya hasil hambatan yang terjadi pada tiap waterline kapal dan tidak adanya acuan dari daya mesin kapal tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurhanisah, "Peranan Transportasi Laut dalam Mendukung," 2017.
- [2] D. Jayanti, "Penyediaan Sarana dan Prasarana Transportasi Pantai untuk Mendukung Pengembangan Wilayah Desa Lero Kecamatan Suppa Kabupaten Pinrang," 2017.
- [3] R. Ilham, "Analisis Pelayanan Transportasi Laut," 2020.
- [4] W. Wu, Y. Yang, J. Zhang, and J. Lu, "Study on striking ship with loading impact on the performance of the double hull oil tanker collision," *Polish Maritime Research*, vol. 25, no. s2, pp. 42–48, 2018.
- [5] L. Fols, E. Rizzuto, and E. Pino, "Wave induced global loads for a damaged vessel," *Ships and Offshore Structures*, vol. 3, no. 4, pp. 269–287, 2008.
- [6] L. Kilian, N. K. Nomikos, and X. Zhou, "A quantitative model of the oil tanker market in the Arabian Gulf," *SSRN Electronic Journal*, 2020.
- [7] S. Hasugian, I. S. Wahyuni, and M. Rahmawati, "Pemetaan Karakteristik Kecelakaan Kapal di Perairan Indonesia Berdasarkan Investigasi KNKT," *Warta Penelitian Perhubungan*, vol. 20, no. 2, pp. 229–240, 2017.
- [8] L. B. Dogarawa, "Marine Accident in Northern Nigeria: Causes, Prevention and Management," *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, vol. 2, no. 11, 2012.
- [9] J. Vasta, "Lessons learned from full scale structural tests," *Transactions of SNAME*, vol. 66, pp. 165, 2010.
- [10] E. Sugianto and A. Winarno, "Computational Model Tahanan Kapal untuk Menentukan Kebutuhan Daya Kapal Bulk Carrier 8664 DWT," *Kapal: Jurnal Kelautan*, vol. 10, no. 2, 2017.
- [11] L. Kilian, N. K. Nomikos, and X. Zhou, "A quantitative model of the oil tanker market in the Arabian Gulf," *SSRN Electronic Journal*, 2020.
- [12] W. R. Hetharia, *Materi Kuliah: Perancangan Kapal 1*, 2019.
- [13] G. K. Batchelor, *An Introduction to Fluid Dynamics*, 2000, doi: 10.1007/978-0-8176-8352-8\_23.
- [14] I. Nadhif, U. Budiarto, and M. Iqbal, "Optimasi Bentuk Buritan Kapal Perintis 750 DWT Menggunakan Response Surface Method (RSM) untuk Mengurangi Hambatan," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 9, no. 1, pp. 105–111, 2021.
- [15] A. Maulana, *Optimalisasi Hambatan Kapal Skala Penuh Berdasarkan Analisa Uji Tarik Kapal Model*, 2011.
- [16] A. F. Molland, S. R. Turnock, and D. A. Hudson, *Ship Resistance and Propulsion*, Cambridge: Cambridge University Press, 2017, doi: 10.1017/9781316494196.
- [17] F. F. Yuliansyah, D. Chrismianto, and A. B. W. Santosa, "Analisa Hambatan Total dan Lift Force pada Kapal Crew Boat," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 2, no. 4, pp. 49–57, 2014.
- [18] J. Petersen, D. Jacobsen, and O. Winther, "Statistical modelling for ship propulsion efficiency," *Journal of Marine Science and Technology*, vol. 17, no. 1, pp. 30–39, 2011.
- [19] R. Rachman and E. Pranatal, "Analisis Perbandingan Metode Simulasi Software Maxsurf dengan Metode Matematis untuk Perhitungan Hambatan dan Daya Mesin Utama Kapal Tanker 6500 DWT," *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN)*, vol. 2, no. 1, pp. 193–201, 2020.
- [20] E. Sugianto and A. Winarno, "Computational model of ship resistance for estimate engine power of bulk carrier ship 8664 DWT," *Jurnal Kelautan*, vol. 10, no. 4, 2017.
- [21] S. Syahril and R. A. Nabawi, "Numerical investigation of the effect on four bow designs flat hull ship," *International Journal of GEOMATE*, vol. 17, no. 62, 2019.
- [22] R. A. Nabawi, S. Syahril, and R. Refdinal, "The study of shape flat hull ship toward resistance," *TEM Journal*, pp. 1669–1673, 2022.
- [23] S. Suardi, T. Hidayat, M. B. Firmansyah, and A. Y. Kyaw, "Impact of axe bow hull shape on patrol ship resistance, freeboard, and trim," *Maritime Park Journal of Maritime Technology and Society*, pp. 16–21, 2023.