



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

ANALISA PERUBAHAN SARAT TERHADAP HAMBATAN KAPAL JAPAN BULK CARRIER DENGAN METODE HOLTROP

Firman Alif Kurniawan¹⁾, Good Rindo²⁾, Muhammad Iqbal³⁾

¹⁾Labotarium Hidrodinamika

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

^{*)}E-mail : firmanak@students.undip.ac.id

Abstrak

Indonesia adalah negara kepulauan yang sangat bergantung pada transportasi laut untuk mendukung perekonomian negara. Selain mendukung perekonomian negara, transportasi laut juga memiliki peran penting dalam mendukung perdagangan internasional terutama negara-negara yang memiliki hubungan dagang dengan Indonesia. Oleh karena itu, performa operasional transportasi laut menjadi faktor krusial yang perlu diperhatikan, khususnya dalam pembuatan kapal, perlu diperhatikan hambatan total yang memengaruhi konsumsi bahan bakar dan efisiensi pelayaran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hambatan total kapal Japan Bulk Carrier menggunakan metode Holtrop sebagai pendekatan penghitungan dan menggunakan software Maxsurf Resistance. Dengan mengubah sarat kapal menjadi tiga bagian dan menganalisa bagaimana hasil hambatan total di setiap sarat tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hambatan total kapal meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal. Pada sarat 16,5 m, hambatan total pada kecepatan maksimal (14,5 knot) adalah 1241257 N. Pada perubahan sarat kapal menjadi 15 m, hambatan total pada kecepatan maksimal (14,5 knot) adalah 1325959 N. Sedangkan pada perubahan sarat menjadi 18 m, hambatan total pada kecepatan maksimal (14,5 knot) adalah 1255924 N. Terjadi peningkatan hambatan kapal setelah melakukan modifikasi sarat kapal maka sarat 16,5 m adalah sarat terbaik untuk mengurangi hambatan kapal dibandingkan dengan sarat yang lain. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan untuk melakukan eksplorasi metode penghitungan hambatan lain atau penggunaan perangkat lunak tambahan sebagai pembanding agar analisis lebih komprehensif.

Kata Kunci : Kapal Bulk Carrier, Hambatan, Holtrop, Sarat kapal

1. PENDAHULUAN

Transportasi laut merupakan salah satu sistem transportasi yang sangat penting bagi Indonesia. Secara geografis, Indonesia merupakan negara yang berada di 6° lintang utara dan 11° lintang selatan dan 92° sampai 142° bujur timur dan terdiri dari 17.504 pulau yang tiga perempat wilayahnya adalah laut dengan garis pantai 95.161 km, dan merupakan negara dengan garis pantai terpanjang kedua setelah Kanada.[1] Untuk menghubungkan pulau-pulau tersebut sangat diperlukan suatu jalur transportasi yang dapat di tempuh oleh alat transportasi baik darat, laut, maupun udara yang mampu memuat manusia (penumpang), barang dan jasa sampai dengan aman ketempat tujuan yang ingin dituju.

Transportasi laut merupakan tulang punggung perekonomian di Indonesia, tanpa adanya transportasi laut maka akan menghambat perekonomian. Dengan letak Indonesia yang strategis di garis katulistiwa maka melimpah pula sumber daya alam yang ada. Adanya sumber daya alam yang melimpah, maka dibutuhkan juga efisiensi transportasi laut yang dapat membantu pemindahan komoditas tersebut. Keunggulan utama transportasi laut terletak pada efisiensi dalam membawa barang dengan jumlah yang sangat besar, tetapi dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan moda transportasi lainnya seperti udara. Selain itu, sektor ini juga semakin didorong oleh perkembangan teknologi seperti sistem manajemen pelabuhan yang lebih

canggih dan penggunaan kapal yang lebih besar dan efisien[2].

Kapal sebagai alat transportasi laut merupakan salah satu sarana yang sangat penting untuk menunjang perpindahan atau pengiriman barang dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan menempuh jalur laut. Hal ini dapat melancarkan arus barang dan menunjang perkembangan untuk daerah-daerah tertinggal atau berbeda pulau, sehingga perlu disadari akan pentingnya jasa pelayanan laut sebagai alat transportasi dalam menunjang mobilitas[3].

Bulk Carrier merupakan alat transportasi laut yang sangat penting untuk membantu mengangkut barang di Indonesia dan dunia. *Bulk Carrier* merupakan kapal niaga yang dipergunakan untuk mengangkut komoditas curah kering seperti nikel, batu bara, jagung, gandum dan bijih-bijihan lainnya[4]. Kapal *Bulk carrier* ini menjadi salah satu tulang punggung perdagangan internasional dikarenakan memiliki kemampuan untuk memindahkan atau mengirimkan barang dalam jumlah yang sangat banyak atau besar, dan juga lebih murah dibandingkan dengan transportasi udara. Keunggulan operasional ini menjadikan kapal kunci dalam rantai pasokan global dan pertumbuhan perdagangan barang[5].

Walaupun peran transportasi laut begitu besar, terdapat berbagai macam tantangan yang mempengaruhi efisiensi prasional kapal. Biaya operasional kapal menjadi salah satu faktor kunci yang mempengaruhi struktur biaya pengiriman barang, yang pada gilirannya mempengaruhi harga barang sampai ke konsumen akhir[6]. Salah satunya yaitu hambatan kapal (*ship resistance*).

Hambatan kapal (*ship resistance*) merupakan salah satu faktor penting dalam perancangan kapal karena secara langsung mempengaruhi kebutuhan daya mesin, efisiensi propulsi, serta konsumsi bahan bakar selama operasi. Perhitungan hambatan yang akurat menjadi kunci dalam menentukan performa kapal, baik pada tahap desain awal maupun dalam evaluasi kinerja kapal yang sudah beroperasi. Besarnya hambatan akan menentukan besaran daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal pada kecepatan tertentu, sehingga berpengaruh terhadap biaya operasional dan efisiensi energi. Hambatan mempengaruhi pemilihan daya mesin utama kapal, dan dapat berpengaruh pada biaya oprasional[7].

Sebuah kapal harus dirancang dengan mempertimbangkan aspek dinamis, stabilitas, dan efisiensi bahan bakar untuk menurunkan biaya operasional. Efektivitas ekonomi kapal bergantung pada kecepatan layanan yang dilalui dalam waktu tertentu. Oleh karena itu, pengembangan metode yang dapat digunakan

pada tahap desain awal untuk memperkirakan kecepatan layanan akan memungkinkan pengoptimalan parameter desain kapal[8].

Menerapkan metode Holtrop-Mennen menggunakan pemrograman Matlab untuk menghitung hambatan kapal offshore supply vessel model bare hull. Hasilnya divalidasi dengan perangkat lunak komersial Maxsurf Resistance, dan diperoleh perbedaan nilai hambatan yang relatif kecil. Temuan ini membuktikan bahwa implementasi metode Holtrop-Mennen dalam bahasa pemrograman dapat menjadi alternatif perhitungan yang efisien dan akurat, sekaligus memberikan fleksibilitas untuk penyesuaian parameter sesuai kebutuhan desain[9].

Analisis hambatan menjadi langkah awal menuju desain kapal yang lebih efisien. Dari sisi akademik, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan metode analisis empiris dalam konteks kapal niaga modern, terutama untuk jenis *Japan Bulk Carrier* yang belum banyak diteliti. Penelitian ini menjadi penting karena dapat memberikan pemahaman mendalam tentang pengaruh desain kapal terhadap hambatan kapal dengan pendekatan empiris yang efisien.

2. Metode

2.1 Objek Penelitian

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

1. Data Primer

Data Primer adalah input pokok yang diperlukan dalam penyusunan tugas akhir ini. Data primer berupa data ukuran utama dilihat pada tabel 2.3.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang dibutuhkan dalam penyusunan tugas akhir ini. Data sekunder dibutuhkan, karena pada umumnya dapat membantu menyelesaikan permasalahan yang terjadi selama penyusunan Tugas Akhir. Data sekunder meliputi data dari buku dan jurnal pendukung yang diperoleh dari literatur yang ada. Beberapa literatur dan sumber informasi yang dibutuhkan diperoleh dari berbagai buku, artikel, jurnal, dan internet.

Tabel 1. *Range Variable* (C_p , L/B, B/T) menurut Jenis Kapal

| Tipe Kapal | Maks Fn | C_p | |
|-----------------------------|---------|-------|------|
| | | min | max |
| <i>Bulk Carrier, tanker</i> | 0,24 | 0,73 | 0,85 |

| | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|
| <i>Trawler, Tugs, Coaster</i> | 0,38 | 0,55 | 0,65 |
| <i>Container, Destroyer Types</i> | 0,45 | 0,55 | 0,67 |
| <i>Cargo Liners</i> | 0,30 | 0,56 | 0,75 |
| <i>Rol on-Roll off, car ferries</i> | 0,35 | 0,55 | 0,67 |

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

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

| Tipe Kapal | L/B | | Cp | |
|-------------------------------------|------|------|------|------|
| | min | max | min | max |
| <i>Bulk Carrier, tanker</i> | 5,10 | 7,10 | 2,40 | 3,20 |
| <i>Trawler, Tugs, Coaster</i> | 3,90 | 6,30 | 2,10 | 3,00 |
| <i>Container, Destroyer Types</i> | 6,00 | 9,50 | 3,00 | 4,00 |
| <i>Cargo Liners</i> | 5,30 | 8,00 | 2,40 | 4,00 |
| <i>Rol on-Roll off, car ferries</i> | 5,30 | 8,00 | 3,20 | 4,00 |

Bedasarkan tabel 2. untuk yang digunakan dalam penelitian ini adalah baris pertamapada tabel karena kapal yang digunakan adalah kapal *Bulk Carrier*.

Objek penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah kapal *Japan Bulk Carrier* dengan data ukuran kapal seperti di tabel 3.

Tabel 3. Data Ukuran Utama Kapal

| <i>Type of Ship</i> | <i>Bulk Carrier</i> |
|--------------------------------------|---------------------|
| <i>Length Between Perpendiculars</i> | 280 m |
| <i>Length of Waterline</i> | 285 m |
| <i>Maximum beam of waterline</i> | 45 m |
| <i>Draft</i> | 16,5 m |
| <i>Depth</i> | 25 m |
| <i>V</i> | 14,5 knots |

Bedasarkan tabel 3 diatas didapatkan ukuran utama Kapal *Bulk Carrier* yang akan di input ke dalam *Software Maxsurf*.

Ukuran utama kapal adalah parameter dasar yang digunakan untuk mendeskripsikan dimensi dan karakteristik fisik kapal. Ukuran utama ini

sangat penting dalam desain, konstruksi, dan pengoprasian kapal.

2.2 Hambatan Kapal

Hambatan kapal adalah ilmu yang mempelajari respon fluida terhadap pergerakan kapal yang melaluinya. Dalam konteks hidrodinamika kapal, hambatan merujuk pada besarnya gaya fluida yang bekerja pada kapal yang berfungsi untuk menghambat pergerakannya[10].

Hambatan kapal dapat didefinisikan sebagai gaya yang melawan arah gerak laju kapal pada kecepatan tertentu di perairan yang tenang atau gaya yang diperlukan untuk menarik kapal dengan kecepatan konstan di perairan tenang.

Hambatan total kapal mempunyai dua nilai komponen utama yaitu Hambatan Gesek(Rf) dan Hambatan Tekanan(Rp). Hambatan Tekanan merupakan hambatan yang muncul akibat perubahan aliran air disekitar kapal, terutama dibagian haluan dan buritan, yang menyebabkan perbedaan tekanan antara depan dan belakang kapal[10]. Hambatan Tekanandibagi menjadi dua komponen yaitu Hambatan Tekanan Gelombang (Rw) dan Hambatan Tekanan Viskos (Rvp). Perhitungan nilai Rvp menggunakan persamaan berikut[11]:

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

2.3. Teknik Pengolahan Data

Proses penelitian dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu:

Pertama pembuatan model menjadi 3D menggunakan *software Maxsurf Modeler*

Kedua, melakukan perubahan *Draft* kapal menjadi 3 bagian.

Ketiga, menganalisis nilai hambatan kapal pada 3 *Draft* tersebut dan membandingkan hasil dari ketiga nilai hambatan menggunakan *software Maxsurf Resistance*.

Keempat, membuat kesimpulan bedasarkan hasil yang diperoleh dari hasil analisa nilai hambatan.

2.4.Holtrop

Dalam perhitungan total hambatan di perairan dalam dapat dihitung menggunakan metode Holtrop-Mennen[12]. Metode Holtrop saat ini dianggap sebagai salah satu metode yang efisien untuk estimasi. Hambatan dan Kebutuhan daya kapal konvensional. Metode ini adalah metode empiris yang terdiri dari persamaan untuk berbagai komponen resistansi yang berasal dari analisis statistik dan regresi dari basis data dengan sejumlah besar hasil uji model. Model yang dikembangkan oleh Holtrop adalah deskripsi

numerik dari Hambatan kapal, dibagi menjadi komponen-komponen dengan asal yang berbeda. Setiap komponen dinyatakan sebagai fungsi dari kecepatan dan parameter bentuk lambung. Komponen-komponen hambatan dalam metode Holtrop yang harus ditentukan antara lain[13]:

$$R_{total} = R_f (1 + k_1) + R_{App} + R_w + R_B + R_{TR} + R_A \quad (1)$$

Dimana :

- R_f : Hambatan gesek berdasarkan formula ITTC 1975.
- $(1+k)$: Faktor bentuk yang menggambarkan hambatan viskos dari bentuk lambung kapal sehubungan dengan hambatan gesek.
- R_{APP} : Hambatan tambahan.
- R_W : Hambatan gelombang.
- R_B : Hambatan tekanan tambahan dari bulbows bow.
- R_{TR} : Hambatan tekanan tambahan dari transom yang tenggelam.
- R_A : Hambatan model kapal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Permodelan 3 Dimensi Kapal

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

Setelah model yang dihasilkan dinilai cukup mirip dengan linesplan, langkah selanjutnya adalah membandingkan linesplan asli kapal dengan linesplan yang dihasilkan oleh *Maxsurf Modeler*. Selain itu, analisis perbandingan dalam aspek hidrostatis juga penting dilakukan untuk memastikan bahwa sifat hidrostatis model dan kapal berada dalam batas yang wajar. Dalam penelitian ini, peneliti menetapkan batas koreksi maksimal untuk perbandingan hidrostatis sebesar $\pm 5\%$. Nilai ini dipilih berdasarkan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa toleransi tersebut masih dianggap baik. Dengan demikian, perbandingan antara data hidrostatis kapal dan model 3D dapat dilakukan dengan lebih akurat.

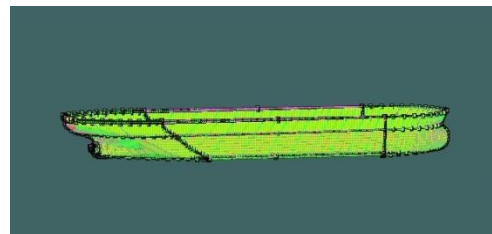
Untuk model 2 dan model 3, proses permodelan sama dengan model 1 akan tetapi terdapat proses modifikasi sarat kapal.

Tabel 4. Perbandingan Hidrostatis Kapal

| Parameter | Kapal | Maxsurf |
|--------------|--------|---------|
| LWL | 285000 | 280571 |
| B(WL) | 45000 | 45000 |
| WSA | 19556 | 19441 |
| Displacement | 178369 | 177779 |

Dari data perbandingan hidrostatis pada tabel 4. menunjukkan nilai koreksi hidrostatis kapal dan model 3D menunjukkan batasan koreksi yang masih dalam batas normal. Dari data tersebut menunjukkan bahwa kapal lolos uji validasi yang dilakukan oleh penulis.

Dari data diatas dilakukan permodelan 3D pada *Software Maxsurf Modeler* dan hasil Model 3D kapal *Bulk Carrier* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Model 3D Kapal *Japan Bulk Carrier*

3.2 Analisa Hambatan Kapal

Dalam penelitian ini , Analisa hambatan kapal yang dilakukan dengan membuat model menjadi tiga perbedaan sarat kapal. Analisa yang dilakukan model satu dan yang lainnya menggunakan metode yang sama. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *Holtrop*, dengan membandingkan hasil penghitungan hambatan dengan penghitungan *Software Maxsurf Resistance*. penelitian ini menggunakan kapal *Bulk Carrier* sebagai objek penelitiannya.

3.3 Penghitungan Hambatan Metode Holtrop

Perhitungan hambatan total *Bulk Carrier* dalam penelitian ini dilakukan secara numerik menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel yang dikembangkan berdasarkan metode empiris *Holtrop & Mennen*. Perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh estimasi hambatan kapal secara fleksibel, cepat, dan akurat dengan pendekatan numerik berbasis spreadsheet. Seluruh perhitungan disusun menggunakan rumus-rumus

baku dari metode Holtrop yang diterapkan pada lembar kerja *Excel*, sehingga proses perhitungan dapat dilakukan secara otomatis dan transparan melalui hubungan antar sel dan formula matematis.

Penggunaan *Excel* dalam perhitungan ini memberikan keuntungan dalam hal kemudahan modifikasi parameter dan visualisasi hasil perhitungan, seperti grafik hubungan antara kecepatan kapal dengan hambatan total atau daya efektif yang dibutuhkan. Dengan demikian, metode ini menjadi alternatif yang praktis dan efisien dalam analisis awal performa hidrodinamika kapal terutama untuk kapal *Bulk Carrier*. Penghitungan dilakukan pada beberapa kecepatan kapal.

3.4 Penghitungan Hambatan Kapal Pada *Maxsurf*

Dalam pengerjaan analisa hambatan ini, analisa hambatan yang dilakukan menggunakan 1 metode dengan 3 jenis model sarat kapal pada *Maxsurf Resistance*. Metode yang digunakan yaitu menggunakan metode Holtrop. Dengan membandingkan perhitungan hambatan numerik dan *software Maxsurf Resistance* pada model 3D. Model 1 sarat tidak diubah adalah model asli dari kapal yaitu sarat 16,5 m dan model 2 adalah model yang sudah dilakukan perubahan sarat kapal menjadi 15 m sedangkan model 3 adalah model yang perubahan saratnya menjadi 18 m.

3.4.1 Penghitungan Hambatan Pada Sarat 16,5 m

Dalam pengerjaan analisa hambatan ini, analisa hambatan yang dilakukan pada sarat yang belum diubah yaitu 16,5 m, menggunakan metode Holtrop dan *Software Maxsurf Resistance*. Pada penghitungan hambatan model 1 didapat hasil pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Hambatan Kapal Pada Sarat 16,5 m

| Vs (Knot) | Floude Number | Rt (N) |
|-----------|---------------|----------|
| 0,362 | 0,004 | 1145,22 |
| 2,538 | 0,025 | 44058,2 |
| 4,712 | 0,046 | 142906,2 |
| 6,888 | 0,068 | 295024,4 |
| 9,425 | 0,092 | 537305,8 |
| 11,6 | 0,114 | 799689 |
| 13,05 | 0,128 | 1005210 |
| 14,5 | 0,142 | 1241257 |

Dari tabel 5. menunjukkan nilai hambatan total dari kapal *Japan Bulk Carrier* dengan sarat 16,5 m menggunakan *Software Maxsurf Resistance*

menunjukkan nilai hambatan pada berbagai kecepatan kapal.

3.4.2 Penghitungan Hambatan Pada Sarat 15 m

Dalam pengerjaan analisa hambatan ini, analisa hambatan yang dilakukan pada perubahan sarat menjadi 15 m, menggunakan metode Holtrop dan *Software Maxsurf Resistance*. Pada penghitungan hambatan model 2 didapat hasil pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Hambatan Kapal Pada Sarat 15 m

| Vs (Knot) | Floude number | Rt (N) |
|-----------|---------------|----------|
| 0,362 | 0,004 | 1105,18 |
| 2,538 | 0,025 | 44082,17 |
| 4,712 | 0,047 | 147459,1 |
| 6,888 | 0,068 | 310749,9 |
| 9,425 | 0,093 | 572796,8 |
| 11,6 | 0,115 | 855163,1 |
| 13,05 | 0,129 | 1074840 |
| 14,5 | 0,143 | 1325959 |

Dari tabel 6. menunjukkan nilai hambatan total dari kapal *Japan Bulk Carrier* dengan sarat 15 m menggunakan *Software Maxsurf Resistance* menunjukkan nilai hambatan pada berbagai kecepatan kapal.

3.4.3 Penghitungan Hambatan Pada Sarat 18 m

Dalam pengerjaan analisa hambatan ini, analisa hambatan yang dilakukan pada perubahan sarat menjadi 18 m, menggunakan metode Holtrop dan *Software Maxsurf Resistance*. Pada penghitungan hambatan model 3 didapat hasil pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Hambatan Kapal Pada Sarat 18 m

| Vs (Knot) | Floude number | Rt (N) |
|-----------|---------------|----------|
| 0,362 | 0,004 | 1194,21 |
| 2,538 | 0,025 | 45508,62 |
| 4,712 | 0,046 | 146297,6 |
| 6,888 | 0,067 | 299969,5 |
| 9,425 | 0,092 | 543617,9 |
| 11,6 | 0,113 | 807604,7 |
| 13,05 | 0,127 | 1015327 |
| 14,5 | 0,141 | 1255924 |

Dari tabel 7. menunjukkan nilai hambatan total dari kapal *Japan Bulk Carrier* dengan sarat 18 m menggunakan *Software Maxsurf Resistance* menunjukkan nilai hambatan pada berbagai kecepatan kapal.

3.5 Perbandingan Penghitungan Hambatan Kapal Pada *Maxsurf*

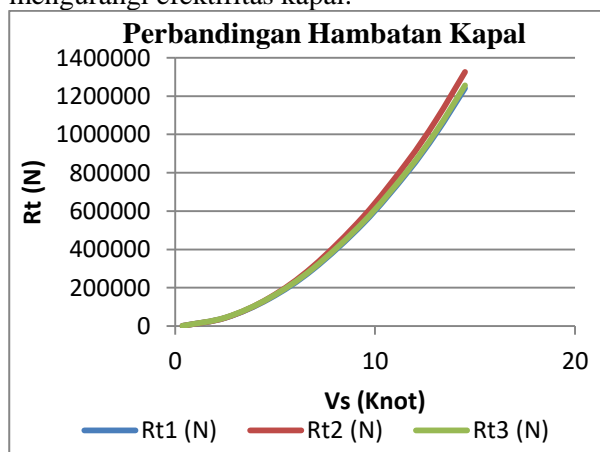
Dalam pengerjaan perbandingan analisa hambatan ini, analisa hambatan yang dilakukan menggunakan 1 metode dengan 3 jenis model sarat kapal pada *Maxsurf Resistance*. Metode yang digunakan yaitu menggunakan metode Holtrop. Dengan membandingkan perhitungan hambatan numerik dan *software Maxsurf Resistance* pada model 3D. Model 1 sarat tidak diubah adalah model asli dari kapal yaitu sarat 16,5 m dan model 2 adalah model yang sudah dilakukan perubahan sarat kapal menjadi 15 m sedangkan model 3 adalah model yang perubahan saratnya menjadi 18 m.

Berikut perbandingan hasil penghitungan hambatan total (R_t) menggunakan *software maxsurf resistance*, hasil dari ketiga penghitungan dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Hambatan Pada *Maxsurf Resistance*

| V_s (Knot) | Model 1 R_t (N) | Model 2 R_t (N) | Model 3 R_t (N) |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0,362 | 1145,22 | 1105,18 | 1194,21 |
| 2,538 | 44058,2 | 44082,17 | 45508,62 |
| 4,712 | 142906,2 | 147459,1 | 146297,6 |
| 6,888 | 295024,4 | 310749,9 | 299969,5 |
| 9,425 | 537305,8 | 572796,8 | 543617,9 |
| 11,6 | 799689 | 855163,1 | 807604,7 |
| 13,05 | 1005210 | 1074840 | 1015327 |
| 14,5 | 1241257 | 1325959 | 1255924 |

Dari tabel 8. menunjukkan peningkatan nilai hambatan yang cukup signifikan pada model 2 seperti pada kecepatan 14,5 knot peningkatan hambatan pada model 2 menjadi 1325959 N. Peningkatan ini cukup signifikan terhadap nilai hambatan kapal *Bulk Carrier*. Sedangkan pada model 3 terdapat peningkatan nilai hambatan walaupun tidak begitu signifikan namun mengurangi efektifitas kapal.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Hambatan Kapal

Grafik memperlihatkan perbandingan hambatan kapal pada tiap perubahan sarat kapal. Secara umum ketiga model kapal menunjukkan peningkatan hambatan seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal dengan nilai yang hampir berdekatan. Namun, terlihat bahwa perubahan sarat kapal menghasilkan peningkatan nilai hambatan total yang lebih tinggi dibandingkan dengan sarat awal.

4. Kesimpulan

Nilai hambatan kapal yang diperoleh dari penghitungan *Maxsurf* menunjukkan tren yang konsisten terhadap peningkatan kecepatan kapal.

Modifikasi sarat menjadi 15 m pada awal kecepatan mengalami nilai hambatan yang lebih kecil dibandingkan dengan sarat awal, namun pada saat kecepatan meningkan hambatan kapal pada sarat 15 m menunjukkan peningkatan yang lebih tinggi daripada hambatan pada sarat 16,5 m.

Modifikasi sarat menjadi 18 m pada awal kecepatan sudah mengalami peningkatan nilai hambatan dibandingkan dengan sarat 16,5 m.

Hasil dari perubahan sarat kapal menunjukkan peningkatan nilai hambatan kapal yang cukup signifikan. Pada sarat awal (16,5 m) dengan kecepatan 14,5 knot nilai hambatan kapal adalah 1241257 N. Pada perubahan sarat menjadi 15 m dan 18 m, pada kecepatan 14,5 knot nilai hambatan kapal menjadi 1325959 N dan 1255924 N

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Azharia Sabitah, "Jurnal Geografi," *J. Geogr.*, vol. XIX, no. 1, hal. 35–48, 2021.
- [2] T. Notteboom, J. Rodrigue, M. Management, M. Levinson, dan M. Economics, "Container Shipping and the Economy," *TR News*, no. 246, hal. 10–12, 2006, [Daring]. Tersedia pada: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/trnews/trnews246.pdf>
- [3] T. I. E. Wahyuni, "Analisis Perkembangan Transportasi Laut Dalam Wilayah Sulawesi Untuk Mendukung Tol Laut," *Venus*, vol. 7, no. 13, hal. 61–74, 2020, doi: 10.48192/adr.v7i13.242.
- [4] E. Sugianto dan A. Winarno, "Computational Model Tahanan Kapal Untuk Menentukan Kebutuhan Daya Kapal Bulk Carrier 8664 Dwt," *J. Kelaut. Indones. J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 10, no. 2, hal. 168, 2018, doi: 10.21107/jk.v10i2.3411.
- [5] United Nations, "Review of maritime transport Review of maritime transport

- Navigating maritime,” *United Nations Conf. Trade Dev.*, no. October, hal. iii, 2024.
- [6] I. I. J. Rifka Alkhilyatul Ma’rifat, I Made Suraharta, *Maritime Economics*, vol. 2, 2024.
- [7] R. Rachman, E. Pranatal, dan P. I. S, “Analisis Perbandingan Metode Simulasi Software Maxsurf Dengan Metode Matematis Untuk Perhitungan Hambatan Dan Daya Mesin Utama Kapal Tanker 6500 Dwt,” *Pros. Semin. Teknol. Kebumihan dan Kelaut.*, vol. 2, no. 1, hal. 193–201, 2020, [Daring]. Tersedia pada: <https://ejurnal.itats.ac.id/semitan/article/view/1079>
- [8] K. Zelazny, “An Approximate Method for Calculation of Mean Statistical Value of Ship Service Speed on a Given Shipping Line , Useful in Preliminary Design Stage,” *Polish Marit. Res.*, vol. 22, no. 1, hal. 28–35, 2015, doi: 10.1515/pomr-2015-0005.
- [9] E. Ada Augustine, O. Samuel Dare, O. Emmanuel Ediba, C. Author, dan E. Ada Augustine “Bare hull ship resistance computation of an offshore supply vessel using the Holtrop and Mennen method: A MATLAB implementation,” *Int. J. Adv. Eng. Manag.*, vol. 3, no. 10, hal. 2395–5252, 2021, doi: 10.35629/5252-0310678683.
- [10] H. Ivandri, I. P. Mulyatno, dan Kiryanto, “The Influence of Entry Angle on 750 Dwt Pioneer Ships on Ship Resistance With the Addition of Anti-Slamming Bulbous Bow Delta Type (Δ – Type) (In bahasa Indonesia),” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, hal. 785, 2017.
- [11] D. Kuroda, *Ships and Marine Structures*. 2015. doi: 10.1007/978-3-319-14565-5_11.
- [12] J. Holtrop, “A statistical re-analysis of resistance and propulsion data. Published in International Shipbuilding Progress,” *Isp*, vol. 31, no. 363, hal. 272–276, 1984.
- [13] J. and G. G. J. M. Holtrop, “J. Holtrop and G. G. J. Mennen, ‘An Approximate Power Prediction Method,’ 1982,” *An Approx. Power Predict. Method*, 1982.