

Analisis Hambatan Kapal Ro-Ro untuk Menentukan Daya Mesin Kapal Menggunakan Maxsurf Resistance

Juniko Firdaus Gultom^{*1}, Sapto Wiratno Satoto 1^{*} and Nurul Laili Arifin 2^{*}

^{*} Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: juniko.firdaus@gmail.com

Abstrak

Indonesia merupakan kepulauan yang bergantung pada transportasi laut, termasuk kapal Roll-on/Roll-off (Ro-Ro), yang kinerjanya dipengaruhi oleh desain lambung, kecepatan, dan kondisi muatan. Perubahan muatan menyebabkan perubahan sarat kapal yang memengaruhi hambatan dan kebutuhan daya mesin. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi muatan terhadap sarat kapal, hambatan, dan daya mesin pada KMP. Gambolo (panjang 45,50 m, lebar 12 m, tinggi 3,20 m, sarat air 2,15 m) menggunakan simulasi numerik dengan Maxsurf Modeler dan Maxsurf Resistance (metode Holtrop) pada variasi muatan 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dengan kecepatan konstan 9 knot. Validasi model menunjukkan selisih 0% terhadap data aktual sehingga model dinyatakan valid. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan muatan meningkatkan sarat kapal dari 2,15 m menjadi 2,31 m dan displacement dari 761,7 ton menjadi 831,7 ton, sementara hambatan total pada 9 knot meningkat dari 23,651 kN menjadi 24,239 kN dengan kebutuhan daya mesin tertinggi sebesar 250,832 HP pada muatan 100%. Peningkatan hambatan dan daya akibat variasi muatan pada kecepatan konstan menunjukkan pola yang cenderung linear, sedangkan hubungan kecepatan terhadap hambatan dan daya mesin menunjukkan pola non-linear yang meningkat lebih signifikan pada kecepatan tinggi akibat bertambahnya komponen hambatan kapal. Dengan demikian, semakin besar muatan kapal, semakin besar pula sarat kapal, hambatan, dan kebutuhan daya mesin sehingga hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam menentukan kebutuhan daya mesin dan mendukung efisiensi operasional kapal Ro-Ro.

Kata kunci: Kapal Ro-Ro, Variasi Muatan, Sarat Kapal, Hambatan Kapal, Daya Mesin

Abstract

Indonesia is an archipelagic nation that depends on maritime transportation., including Roll-on/Roll-off (Ro-Ro) vessels, whose performance is influenced by hull design, speed, and loading conditions. Changes in payload alter the ship's draft, affecting resistance and engine power requirements. This study analyzes the effect of payload variations on the draft, resistance, and engine power requirements of KMP. Gambolo (45.50 m in length, 12 m in breadth, 3.20 m in depth, and 2.15 m in draft) using numerical simulations with Maxsurf Modeler and Maxsurf Resistance (Holtrop method) under payload variations of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% at a constant speed of 9 knots. Model validation showed a 0% discrepancy compared with the actual ship data, confirming the model's validity. The results indicate that increasing payload raises the ship's draft from 2.15 m to 2.31 m and displacement from 761.7 tons to 831.7 tons, while total resistance at 9 knots increases from 23.651 kN to 24.239 kN, with the highest engine power requirement of 250.832 HP occurring at 100% payload. The increase in resistance and engine power due to payload variations at a constant speed exhibits a linear trend, whereas the relationship between ship speed, resistance, and engine power demonstrates a non-linear trend, with more significant increases at higher speeds caused by the increasing resistance components. Therefore, greater payload results in greater draft, resistance, and engine power requirements, providing a useful reference for determining engine power requirements and improving the operational efficiency of Ro-Ro vessels.

Keywords: Ro-Ro ships, Cargo Variations, Ship Draft, Ship Resistance, Engine Power

1 Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sebagian besar wilayahnya terdiri dari perairan, sehingga transportasi laut memiliki peranan yang sangat penting dalam mendukung konektivitas antar pulau serta distribusi barang dan penumpang. Ketersediaan sarana transportasi laut yang memadai berkontribusi terhadap peningkatan aksesibilitas wilayah serta pertumbuhan ekonomi, khususnya di daerah kepulauan [1]. Salah satu moda transportasi laut yang banyak digunakan adalah kapal Roll-on/Roll-off (Ro-Ro), yaitu kapal yang dirancang untuk mengangkut kendaraan dan penumpang secara bersamaan dengan sistem operasional yang efisien [2]. Dalam operasionalnya, kapal yang bergerak di air akan mengalami hambatan yang arahnya berlawanan dengan gerak kapal. Hambatan kapal merupakan faktor utama yang mempengaruhi performa kapal, terutama dalam menentukan kebutuhan daya mesin. Semakin besar hambatan yang terjadi, maka semakin besar pula daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal. Secara umum, hambatan kapal terdiri dari hambatan gesek dan hambatan gelombang yang dipengaruhi oleh bentuk lambung serta kecepatan kapal [3]. Selain itu, karakteristik aliran fluida di sekitar lambung kapal juga turut mempengaruhi besarnya hambatan yang terjadi [4]. Salah satu parameter penting yang mempengaruhi hambatan kapal adalah *draft* atau sarat air, yaitu bagian kapal yang terendam di bawah permukaan air. Nilai *draft* dipengaruhi oleh kondisi muatan kapal, sehingga perubahan muatan akan menyebabkan perubahan *draft* yang berdampak pada kondisi hidrostatis kapal [5]. Dalam praktik pelayaran, *draft* digunakan dalam metode *draft survey* untuk menentukan berat muatan kapal secara aktual [6]. Selain itu, perubahan *draft* juga mempengaruhi luas permukaan basah kapal (*wetted surface area*) yang berkontribusi terhadap besarnya hambatan kapal [7].

Penelitian ini menggunakan objek kapal Ro-Ro KMP Gambolo yang beroperasi pada lintas penyeberangan Padang - Kepulauan Mentawai. Kapal ini memiliki panjang 45,50 meter, lebar 12 meter, dan *draft* sebesar 2,15 meter, serta beroperasi dengan kondisi muatan yang bervariasi. Variasi muatan tersebut menyebabkan perubahan *draft* yang berpotensi mempengaruhi hambatan kapal dan kebutuhan daya mesin selama operasional [10].



Gambar 1: Kapal KMP. Gambolo [10]

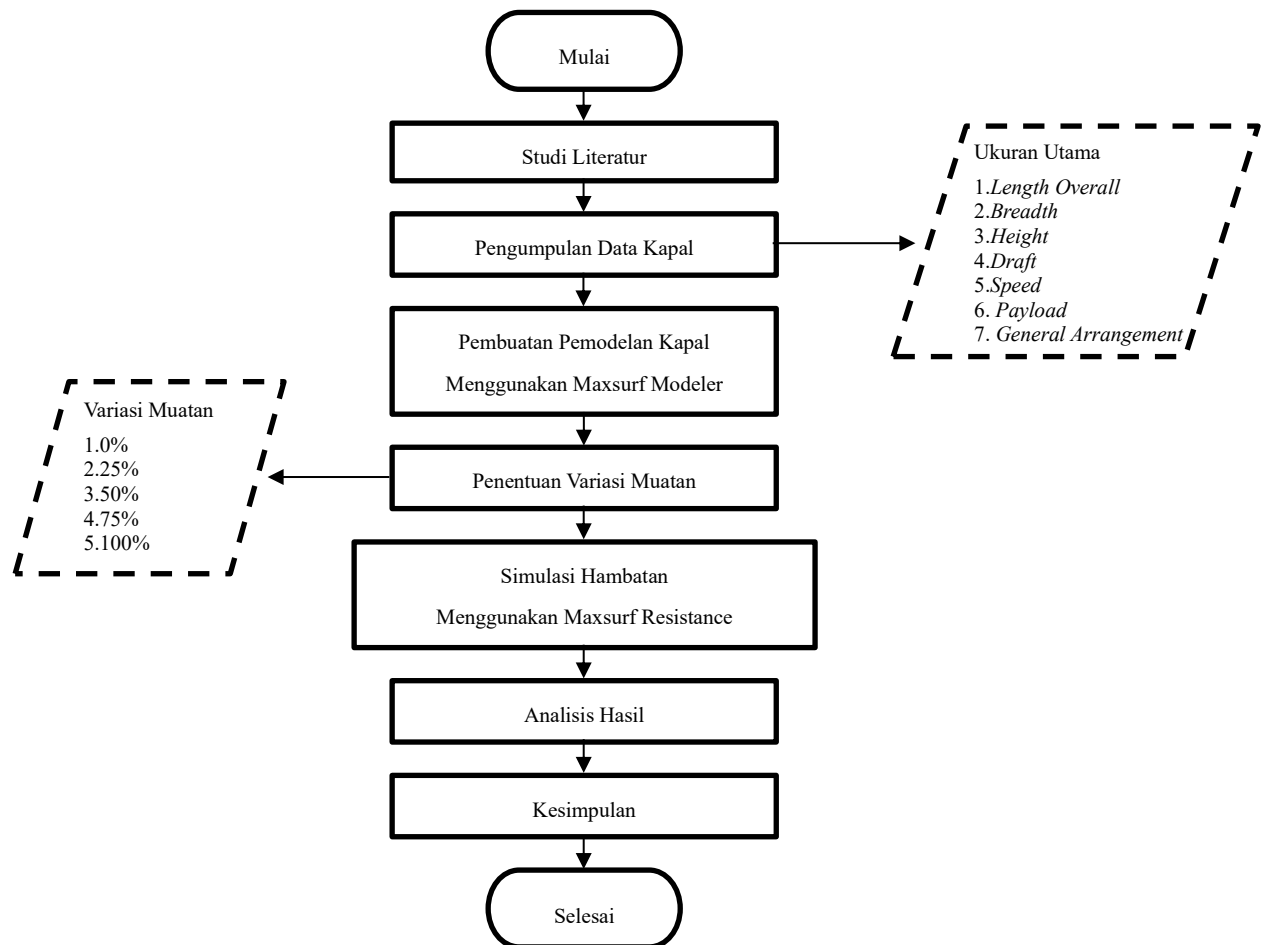
Penelitian sebelumnya telah membahas analisis hambatan kapal serta kebutuhan daya mesin dan pengaruh bentuk lambung terhadap performa kapal [3,4]. Selain itu, penelitian lain yang menggunakan pendekatan numerik melalui perangkat lunak Maxsurf Resistance menunjukkan bahwa simulasi dapat digunakan untuk memprediksi hambatan kapal dan kebutuhan daya mesin dengan hasil yang mendekati kondisi aktual. Namun, kajian yang secara khusus menganalisis pengaruh variasi muatan terhadap perubahan *draft* serta dampaknya terhadap hambatan kapal pada kapal Ro-Ro berukuran kecil masih terbatas.

Penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh variasi muatan terhadap *draft*, hambatan kapal, dan kebutuhan daya mesin pada kondisi kecepatan konstan, tanpa mempertimbangkan faktor lingkungan seperti gelombang, angin, dan arus. Variasi muatan yang digunakan dalam penelitian ini hanya kapasitas kendaraan yang diangkut seperti sepeda motor, mobil dan truck sedangkan berat penumpang, awak kapal, serta muatan lainnya tidak diperhitungkan secara khusus. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi muatan terhadap *draft* kapal, hambatan kapal, dan kebutuhan daya mesin dengan menggunakan pendekatan simulasi numerik berbasis Maxsurf Resistance.

2 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode simulasi numerik menggunakan Maxsurf Resistance berbasis Metode Holtrop dan Mennen. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini bertujuan menghasilkan data yang terukur dan dapat dianalisis secara sistematis berdasarkan parameter yang telah ditentukan [3]. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Maxsurf untuk memodelkan kapal dan menganalisis hambatan berdasarkan kondisi operasional yang berbeda. Metode Holtrop dipilih karena sesuai untuk menganalisis kapal tipe *displacement* dengan bentuk lambung konvensional, termasuk kapal Ro-Ro. Kapal yang diteliti memiliki dimensi utama LOA 45,50 m, lebar (B) 12,00 m, tinggi (H) 3,20 m, dan draft (T) 2,15 m, serta beroperasi pada kecepatan 9 knot, sehingga karakteristik ukuran dan kondisi operasionalnya berada dalam rentang penerapan metode Holtrop. Selain itu, metode ini mampu memperkirakan berbagai komponen hambatan, seperti hambatan gesek, hambatan sisa, dan hambatan gelombang, sehingga menghasilkan estimasi hambatan yang representatif untuk menentukan hambatan total dan kebutuhan daya mesin kapal pada setiap variasi muatan [7].

Berikut diagram alir penelitian yang terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Diagram Alir Penelitian

2.1 Data Utama Kapal

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari informasi teknis kapal KMP Gambolo yang dipublikasikan oleh PT. ASDP Indonesia Ferry (Persero), serta didukung oleh literatur yang relevan. Data tersebut meliputi ukuran utama kapal, spesifikasi teknis, dan parameter operasional kapal KMP Gambolo. Data ini digunakan sebagai input dalam proses pemodelan kapal dan simulasi hambatan kapal menggunakan Maxsurf [8].

Tabel 2.1: Karakteristik Kapal KMP Gambolo [10]

Ukuran Utama	
<i>Length Overall</i>	45,50 m
<i>Breadth</i>	12 m
<i>Height</i>	3,20 m
<i>Draft</i>	2,15 m
<i>Displacement</i>	761.7 ton
<i>Speed</i>	9 knot

2.2 Teknik Pengumpulan Data dan Variabel Penelitian

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi studi literatur dan pengumpulan data teknis kapal. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teori terkait hambatan kapal serta pengaruh variasi muatan terhadap kondisi operasional kapal [3]. Data kapal KMP. Gambolo yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari informasi teknis kapal KMP Gambolo yang dipublikasikan oleh PT. ASDP Indonesia Ferry (Persero), meliputi ukuran utama, spesifikasi teknis, dan parameter operasional kapal. Dalam penelitian ini, muatan kapal diasumsikan terdiri atas tiga jenis kendaraan, yaitu sepeda motor, mobil penumpang, dan truk, Berat masing-masing kendaraan ditetapkan sebesar 150 kg/unit untuk sepeda motor, 1.800 kg/unit untuk mobil penumpang, dan 15.000 kg/unit untuk truk. Komposisi tersebut selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam menentukan variasi muatan kapal pada setiap kondisi pembebanan dengan toleransi $\leq 0,5\%$.

Tabel 2.2 Variabel Penelitian

No	Variabel	Jenis	Satuan	Keterangan
1	Variasi muatan	Bebas	%	0%, 25%, 50%, 75%, 100%
2	<i>Draft</i> kapal	Terikat	m	Sarat kapal
3	Hambatan kapal (R_t)	Terikat	kN	Hambatan total
4	Daya mesin (<i>Power</i>)	Terikat	kW	Kebutuhan daya
5	Kecepatan kapal	Kontrol	knot	Kecepatan tetap

2.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan secara sistematis untuk menganalisis pengaruh variasi muatan terhadap *draft* kapal, hambatan kapal, dan kebutuhan daya mesin. Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data teknis kapal KMP Gambolo yang meliputi ukuran utama dan parameter operasional. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses pemodelan kapal tiga dimensi menggunakan perangkat lunak Maxsurf Modeler.

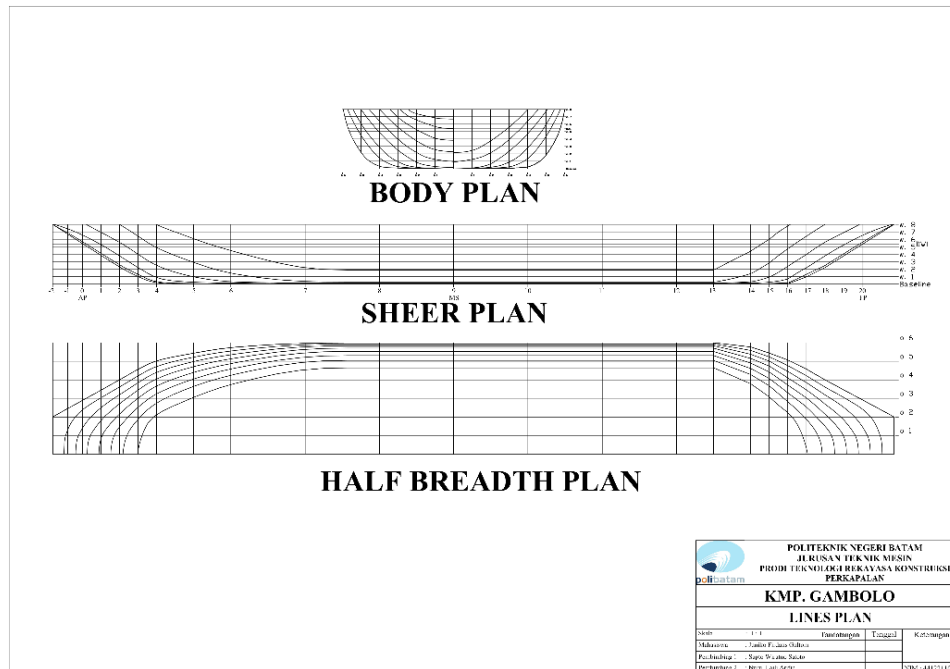
Selanjutnya, dilakukan penentuan variasi muatan kapal sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Variasi muatan 0% merupakan kondisi kapal tanpa muatan (*light ship condition*), sedangkan variasi lainnya merepresentasikan kondisi kapal dengan tingkat muatan tertentu. Setiap variasi muatan digunakan untuk menentukan nilai *draft* kapal yang menjadi parameter utama dalam simulasi hambatan kapal. Model kapal yang telah dibuat kemudian divalidasi dengan membandingkan nilai *displacement* hasil pemodelan dengan data aktual kapal, dengan batas toleransi kesalahan $\leq 0.5\%$. Model dinyatakan valid apabila selisih nilai *displacement* berada dalam batas toleransi tersebut.

Tahap berikutnya adalah simulasi hambatan kapal menggunakan perangkat lunak Maxsurf Resistance dengan metode Holtrop untuk memperoleh nilai hambatan total R_t dan kebutuhan daya mesin pada kecepatan konstan. Hasil simulasi kemudian dianalisis secara komparatif untuk mengetahui pengaruh variasi muatan terhadap hambatan kapal dan kebutuhan daya mesin.

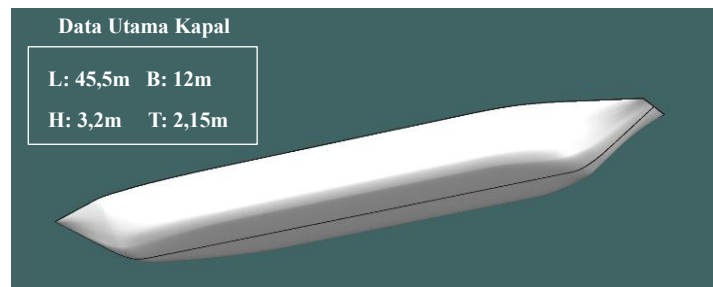
3 Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Pemodelan dan Validasi Lambung Kapal

Dalam proses pemodelan desain lambung kapal RoRo dilakukan dengan menggunakan *Software* Maxsurf. Setelah mendapat bentuk lambung dimasukkan data pendukung yang lain seperti *draft*. Setelah itu dilakukan pembuatan *lines plan*.



Gambar 3.1: *Lines Plan* Maxsurf



Gambar 3.2: Desain Lambung Maxsurf

Untuk memastikan bahwa model lambung yang dibuat telah merepresentasikan kapal sesungguhnya secara akurat, dilakukan validasi model dengan membandingkan nilai displacement hasil pemodelan (*output* Maxsurf Modeler) terhadap nilai displacement aktual kapal. Nilai *error* dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Selisih (\%)} = \frac{(\Delta \text{ Aktual} - \Delta \text{ Model})}{\Delta \text{ Aktual}} \times 100\% \quad (1)$$

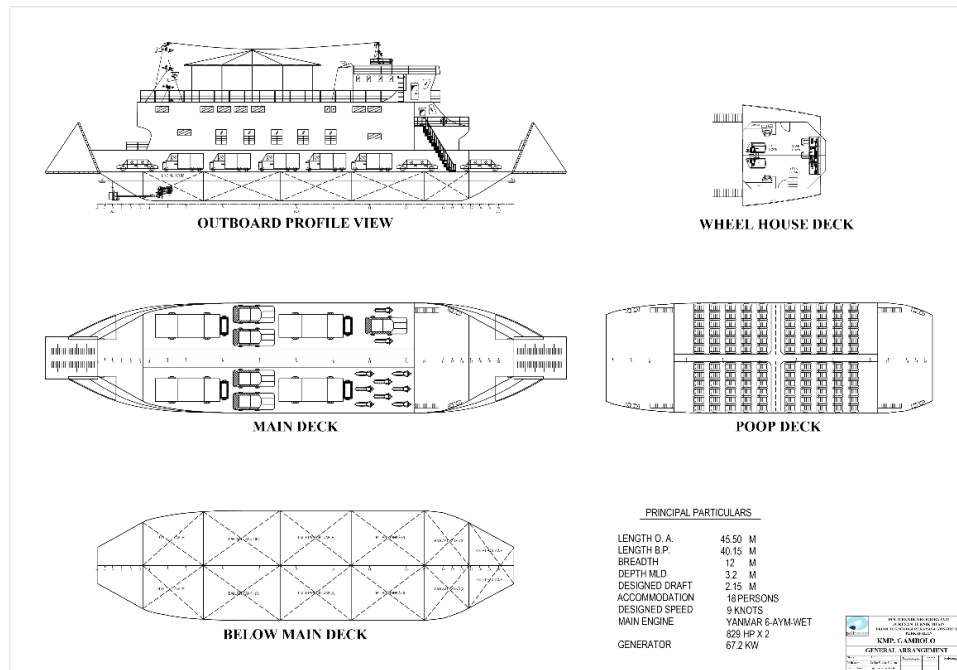
$$\text{Selisih (\%)} = \frac{(\Delta 761.7 - \Delta 761.7)}{\Delta 761.7} \times 100\%$$

$$\text{Selisih (\%)} = 0\% \quad [11]$$

Hasil validasi menunjukkan bahwa model lambung kapal KMP. Gambolo yang dibuat pada Maxsurf Modeler memiliki kesesuaian dengan data aktual. Dengan demikian, model dinyatakan valid dan dapat digunakan untuk analisis hambatan pada tahap selanjutnya.

3.2 General Arrangement

Gambar berikut memperlihatkan *General Arrangement* dari kapal yang dirancang dalam penelitian ini



Gambar 3.3: General Arrangement Kapal KMP Gambolo

Desain *General Arrangement* kapal Ro-Ro ini dirancang untuk mengakomodasi kapasitas muatan sebanyak 19 unit kendaraan yang terdiri atas 4 unit truk, 5 unit mobil, dan 10 unit sepeda motor. Berdasarkan data operasional KMP Gambolo tahun 2023 pada lintasan Padang–Kepulauan Mentawai yang melayani Pelabuhan Teluk Bungus, Pelabuhan Sikabalu, Pelabuhan Siberut, Pelabuhan Tua Pejat, dan Pelabuhan Sikakap dengan 401 trip pelayaran dan jumlah penumpang sebanyak 17.615 orang, diperoleh rata-rata 44 penumpang per trip. Berdasarkan kapasitas angkut penumpang yang umumnya menyertai setiap jenis kendaraan, yaitu 1 orang untuk setiap sepeda motor, 4 orang untuk setiap mobil, dan 1 orang untuk setiap truk, komposisi muatan yang digunakan menghasilkan estimasi 34 penumpang per trip. Nilai tersebut merupakan nilai rata-rata dan merupakan asumsi dari data yang diperoleh dari referensi data operasional KMP Gambolo tahun 2023 [10].

3.3 Variasi Kondisi Muatan

Penelitian ini membatasi tinjauan hanya pada pengaruh muatan kendaraan terhadap hambatan kapal, tanpa memperhitungkan pengaruh penumpang, gelombang air, maupun angin. Pembatasan ini dilakukan agar analisis dapat difokuskan pada pengaruh perubahan beban kendaraan terhadap karakteristik hidrostatik dan hambatan kapal. Dalam penelitian ini, variasi muatan hanya didasarkan pada muatan kendaraan karena kendaraan merupakan komponen muatan utama pada kapal Ro-Ro yang memiliki kontribusi massa paling besar terhadap perubahan displacement dan draft kapal. Perubahan berat kendaraan secara langsung memengaruhi luas permukaan basah lambung (*wetted surface area*) dan hambatan yang dialami kapal. Sebaliknya, kontribusi berat penumpang relatif kecil dibandingkan berat kendaraan sehingga pengaruhnya terhadap perubahan draft dan hambatan kapal tidak signifikan. Selain itu, jumlah dan distribusi penumpang pada setiap pelayaran bersifat dinamis sehingga sulit direpresentasikan secara konsisten dalam model simulasi. Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan analisis pada variasi muatan kendaraan agar pengaruh perubahan beban terhadap hambatan kapal dan kebutuhan daya mesin dapat diamati secara lebih jelas, terukur, dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Variasi muatan ditetapkan dalam lima kondisi, yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%, dengan kondisi 100% merepresentasikan kapasitas penuh sebanyak 19 unit kendaraan campuran (sepeda motor, mobil, dan truk). Komposisi dan total berat muatan pada tiap variasi disajikan pada Tabel 3.1.

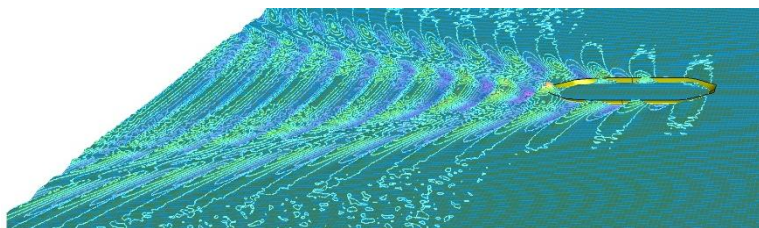
Tabel 3.1 Variasi Kondisi dan Berat Muatan Kendaraan

Variasi	Motor (unit)	Mobil (unit)	Truk (unit)	Total Unit	Berat Muatan (ton)	Draft (m)	Displacement (ton)
0%	0	0	0	0	0,00	2,15	761,7
25%	3	1	1	5	17,25	2,19	779,0
50%	5	3	2	10	36,15	2,23	796,5
75%	7	4	3	14	53,25	2,27	814,0
100%	10	5	4	19	70,50	2,31	831,7

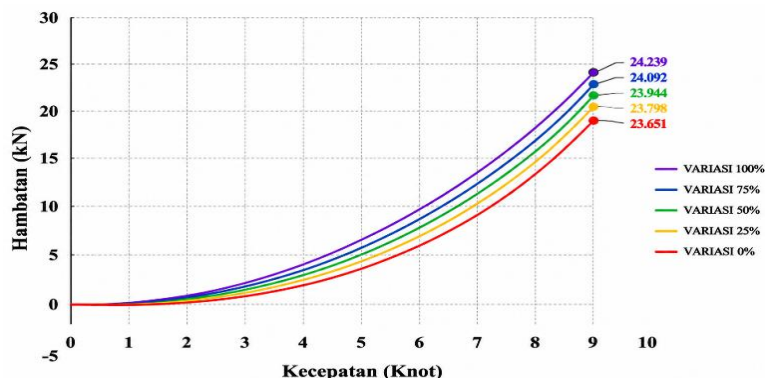
Berdasarkan Tabel 3.1, penambahan jumlah kendaraan pada setiap variasi muatan menyebabkan muatan meningkat dari 0 ton hingga 70,50 ton. Peningkatan ini berdampak langsung pada bertambahnya *displacement* kapal dari 761,7 ton menjadi 831,7 ton, serta naiknya *draft* dari 2,15 m menjadi 2,31 m. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar muatan yang diangkut, semakin besar pula *displacement* dan *draft* kapal.

3.4 Analisis Hambatan

Analisis hambatan total kapal dilakukan menggunakan metode Holtrop pada perangkat lunak Maxsurf Resistance, dengan menjalankan simulasi pada masing-masing kondisi. Gambar berikut memperlihatkan kontur gelombang yang terbentuk dari lambung kapal pada kecepatan 9 knot



Gambar 3.4: Kontur Gelombang Hasil Simulasi Maxsurf Resistance



Gambar 3.5: Grafik Hambatan Vs Kecepatan tiap Variasi

Berdasarkan Gambar 3.5, nilai total hambatan (RT) pada seluruh variasi muatan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal. Pola kurva yang terbentuk menunjukkan bahwa kenaikan hambatan bersifat nonlinier, di mana peningkatan hambatan menjadi lebih signifikan pada kecepatan yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya komponen hambatan kapal, terutama hambatan gelombang dan hambatan gesek, akibat bertambahnya kecepatan. Untuk mempermudah perbandingan antarvariasi, nilai total hambatan pada kecepatan operasi 9 knot disajikan secara rinci pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil Total Resistance pada Kecepatan 9 Knot

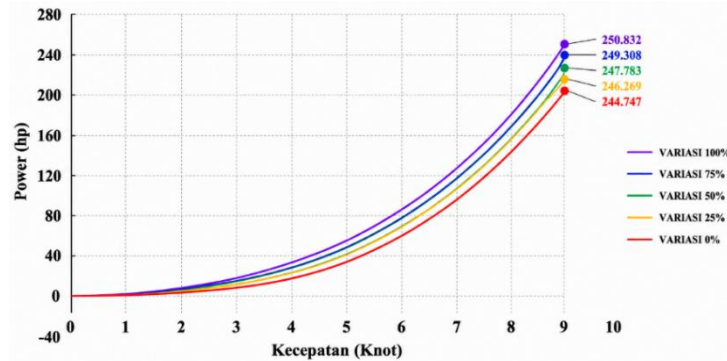
Variasi	Draft (m)	Displacement (ton)	RT (kN)
0%	2,15	761,7	23,651
25%	2,19	779,0	23,798
50%	2,23	796,5	23,944
75%	2,27	814,0	24,092
100%	2,31	831,7	24,239

3.5 Analisis Kebutuhan Daya Mesin

Perhitungan daya mesin (*Brake Horse Power/BHP*) dilakukan berdasarkan nilai hambatan total (RT) yang diperoleh dari analisis Maxsurf Resistance pada kecepatan dinas 9 knot, dengan memperhitungkan efisiensi propulsi sebesar 60%. Perhitungan BHP menggunakan persamaan:

$$BHP = EHP / \eta_D \quad (2)$$

Di mana EHP merupakan daya efektif yang dihitung dari perkalian antara hambatan total (RT) dengan kecepatan kapal (V), sedangkan η_D adalah efisiensi propulsi total yang ditetapkan sebesar 0,60. Hubungan antara daya yang dibutuhkan terhadap kecepatan kapal pada masing-masing variasi muatan divisualisasikan dalam bentuk kurva daya vs kecepatan yang disajikan pada Gambar 3.6 berikut.

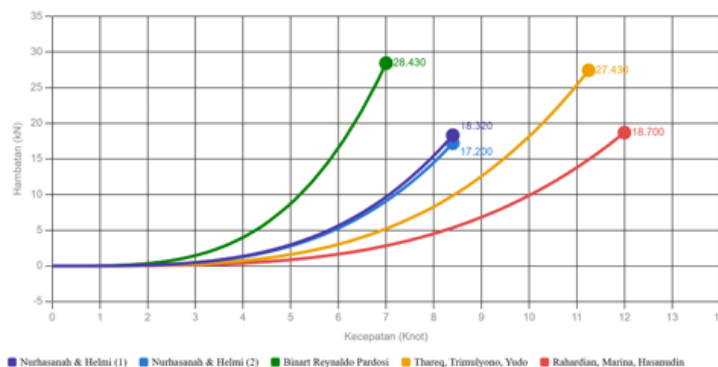


Gambar 3.6: Grafik Daya Vs Kecepatan tiap Variasi

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan Maxsurf Resistance, diperoleh bahwa kebutuhan daya mesin meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal pada seluruh variasi muatan. Pada kecepatan operasi 9 knot, kebutuhan daya terbesar terjadi pada kondisi muatan 100% sebesar 250,832 HP, sedangkan kebutuhan daya terkecil terjadi pada kondisi tanpa muatan 0% sebesar 244,747 HP. Perbedaan kebutuhan daya tersebut menunjukkan bahwa peningkatan muatan menyebabkan bertambahnya hambatan kapal akibat meningkatnya *displacement* dan luas permukaan basah lambung.

3.6 Perbandingan Hambatan Kapal dengan Penelitian Terdahulu

Guna menguji validitas hasil simulasi yang diperoleh, dilakukan perbandingan hambatan kapal penelitian ini dengan beberapa penelitian terdahulu pada kapal sejenis. Perbandingan tersebut disajikan dalam bentuk grafik hubungan kecepatan terhadap hambatan sebagai berikut.



Gambar 3.7: Grafik Kecepatan Vs Hambatan Kapal Pembanding [12,13,14,15,16].

Berdasarkan perbandingan dengan penelitian terdahulu, kapal yang diteliti menunjukkan pola peningkatan hambatan yang serupa dengan kapal-kapal pembanding, yaitu hambatan meningkat secara non-linier seiring bertambahnya kecepatan kapal. Kapal penelitian dengan panjang 45,5 m dan kecepatan operasi 9 knot menghasilkan hambatan sebesar 24,239 kN yang berada di antara nilai hambatan kapal-kapal pembanding dengan ukuran dan kecepatan yang relatif sebanding. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi yang diperoleh telah mengikuti karakteristik umum hubungan kecepatan dan hambatan pada kapal Ro-Ro, sehingga dapat dinyatakan bahwa pola hambatan kapal penelitian konsisten dengan penelitian terdahulu dan sesuai dengan teori hambatan kapal.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan yang dilakukan pada Maxsurf Modeler, didapatkan lambung kapal KMP. Gambolo dengan displacement sebesar 761,7 ton, yang mana nilai ini sesuai dengan data aktual kapal (selisih 0%), sehingga model dinyatakan valid untuk digunakan pada tahap analisis selanjutnya. Analisis hambatan dilakukan menggunakan metode Holtrop pada perangkat lunak Maxsurf Resistance dengan lima variasi muatan, yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Dari analisis yang dilakukan pada kecepatan 9 knot, didapat hambatan kapal terkecil sebesar 23,651 kN pada kondisi tanpa muatan (0%) dan hambatan terbesar sebesar 24,239 kN pada kondisi muatan penuh (100%). Dengan nilai hambatan tersebut, dilakukan perhitungan untuk memprediksi kebutuhan daya mesin dan didapat hasil kebutuhan daya mesin terbesar sebesar 250,832 HP pada kondisi muatan penuh (100%). Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan muatan kapal menyebabkan bertambahnya draft, displacement, hambatan, dan kebutuhan daya mesin secara konsisten dan proporsional (linear) pada kecepatan konstan. Sementara itu, hubungan antara kecepatan kapal dengan hambatan dan kebutuhan daya mesin menunjukkan pola non-linear, di mana peningkatannya menjadi lebih signifikan pada kecepatan yang lebih tinggi.

Sebagai pengembangan lebih lanjut, penelitian berikutnya perlu melibatkan pengaruh lingkungan seperti gelombang, angin, dan arus, beserta variasi kecepatan operasional, tanpa mengabaikan tinjauan terhadap struktur, stabilitas, dan sistem propulsi kapal, agar analisis performa kapal Ro-Ro menjadi lebih menyeluruh dan representatif terhadap kondisi pelayaran aktual

5 Daftar Pustaka

- [1] M. N. Naufal, "Implementasi Kebijakan Pemerintah Terhadap Konektivitas Antar Pulau Melalui Transportasi Laut di Tambelan," *WEDANA: Jurnal Kajian Pemerintahan, Politik dan Birokrasi*, vol. 10, no. 1, pp. 24–32, 2024, doi: 10.25299/wedana.2024.13524.
- [2] S. Sarwoko and B. Santoso, "Computational Tahanan Kapal Untuk Menentukan Daya Mesin Utama Kapal Ikan 5 GT," *j.rekayasa.mesin.*, vol. 14, no. 1, p. 23, Apr. 2019, doi: 10.32497/rm.v14i1.1450.
- [3] A. F. Molland, S. R. Turnock, and D. A. Hudson, *Ship Resistance and Propulsion*. Cambridge University Press, 2011. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=rAAtdwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR17&dq=ship+resistance+and+propulsion+molland&ots=wH7vvA0BXR&sig=v8d2ljoBMIVFw-Rna8zVjDemek&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true
- [4] E. V. Lewis, *Principles of Naval Architecture*. SNAME, 1989.
- [5] K. J. Rawson and E. C. Tupper, *Basic Ship Theory*, 5th ed. Butterworth-Heinemann, 2001.
- [6] Muhammad Sandhi Santoso, "MANAGEMENT DRAFT SURVEY DI MV. SRI WANDARI INDAH," p. 85, 2020.
- [7] J. Holtrop and G. G. J. Mennen, "An approximate power prediction method," *International Shipbuilding Progress*, vol. 29, no. 335, pp. 166–170, 1982.
- [8] Bentley Systems, *Maxsurf Resistance User Manual*. Bentley Systems Incorporated, 2025.
- [9] C. B. Barrass and D. R. Derrett, *Ship Stability for Masters and Mates*, 7th ed. Butterworth-Heinemann, 2012.
- [10] M. TRI NOVAN FIKRI, "Karakteristik Kapal KMP Gambolo." 2024. [Online]. Available: <https://digilib.ptdisttd.ac.id/8334/14/13.%20BAB%20II.pdf>
- [11] Hendra Saputra, "Perhitungan Desain 1 Rev_2." Visualisasi Permodelan Kapal, Politeknik Negeri Batam, 2023.
- [12] Nurhasanah and H. Muhammad, "ANALISIS PERBANDINGAN BENTUK HALUAN TERHADAP TOTAL RESISTANCE PADA KAPAL FERRY RO-RO RUTE PELAYARAN PENDEK," *IP*, vol. 16, no. 1, pp. 31–41, Jun. 2026, doi: 10.35314/tyg23548.
- [13] S. Samuel and B. R. Pardosi, "STUDI PERANCANGAN KAPAL FERRY RO-RO MODEL KATAMARAN DI PERAIRAN DANAU TOBA," *JRM*, vol. 13, no. 2, pp. 503–512, Aug. 2022, doi: 10.21776/jrm.v13i2.1085.
- [14] M. T. F. Hanzallah, A. Trimulyono, H. Yudo, and J. Soedarto, "ANALISA PENAMBAHAN BULBOUS BOW PADA KAPAL RO-RO GUNA MEMPERKECIL NILAI HAMBATAN KAPAL," 2024.
- [15] R. A. Fauzi, H. Hasanudin, and G. M. Ahadyanti, "Optimisasi Ukuran Utama Kapal Roll On – Roll Off (Ro-Ro) Menggunakan Software Visual Basic dan Maxsurf," *JTITS*, vol. 7, no. 2, pp. 197–203, Feb. 2019, doi: 10.12962/j23373539.v7i2.35313.