

Analisis Desain Kapal *Catamaran V-Hull* dan *Catamaran U-Hull* Pada Kapal Patroli Menggunakan Metode *Holtrop*

Royen Maranata Silitonga^{*1}, Kms M Avrieldi² and Benny Haddli Irawan³

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

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

¹E-mail: royensilitonga5@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan performa hidrodinamika kapal patroli catamaran dengan bentuk lambung *U-Hull* dan *V-Hull* berdasarkan nilai hambatan total dan karakteristik hidrostatik. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Resistance* dan *Maxsurf Stability* Enterprise. Perhitungan hambatan dilakukan dengan metode empiris *Holtrop* pada variasi kecepatan 29–34 knot dalam kondisi calm water, sedangkan analisis hidrostatik meliputi parameter displacement, *Longitudinal Center of Buoyancy (LCB)*, dan *draft*. Kedua model kapal dirancang dengan dimensi utama yang sama sehingga perbedaan hasil analisis dipengaruhi oleh bentuk lambung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan menyebabkan nilai hambatan total dan kebutuhan daya meningkat pada kedua model. Pada kecepatan 34 knot, *V-Hull* menghasilkan hambatan total sebesar 185,0 kN dengan kebutuhan daya 4.977,37 kW, sedangkan *U-Hull* menghasilkan hambatan total sebesar 209,6 kN dengan kebutuhan daya 5.639,48 kW. Analisis hidrostatik menunjukkan bahwa *U-Hull* memiliki displacement sebesar 67,52 ton, lebih besar dibandingkan *V-Hull* sebesar 59,24 ton pada *draft* 1,15 m. Berdasarkan hasil analisis, *V-Hull* memiliki efisiensi hidrodinamika yang lebih baik, sedangkan *U-Hull* memiliki karakteristik hidrostatik yang lebih baik.

Kata kunci: Kapal Catamaran, U-Hull, V-Hull, Hambatan Total, Hidrodinamika, Metode Holtrop

Abstract

This study aims to analyze and compare the hydrodynamic performance of U-Hull and V-Hull catamaran patrol vessels based on total resistance and hydrostatic characteristics. The analysis was conducted using Maxsurf Resistance and Maxsurf Stability Enterprise software. Ship resistance was calculated using the empirical Holtrop method at operating speeds ranging from 29 to 34 knots under calm water conditions, while the hydrostatic analysis was carried out using the parameters of displacement, Longitudinal Center of Buoyancy (LCB), and draft. Both hull models were designed with identical principal dimensions so that the differences in the analysis results were influenced solely by hull geometry. The results indicate that increasing vessel speed leads to higher total resistance and power requirements for both hull forms. At 34 knots, the V-Hull produced a total resistance of 185.0 kN with a required power of 4,977.37 kW, whereas the U-Hull generated a total resistance of 209.6 kN with a required power of 5,639.48 kW. The hydrostatic analysis showed that the U-Hull had a displacement of 67.52 tons, which was greater than the 59.24 tons of the V-Hull at a draft of 1.15 m. Based on the analysis, the V-Hull demonstrated better hydrodynamic efficiency, whereas the U-Hull exhibited superior hydrostatic characteristics.

Keywords: Catamaran Vessel, U-Hull, V-Hull, Total Resistance, Hydrodynamics, Holtrop Method

1. Pendahuluan

Secara geografis negara Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki luas daerah perairan sebesar 2/3 dari total luas teritori Negara Kepulauan Republik Indonesia (NKRI)[1]. Kondisi geografis tersebut memberikan potensi besar dalam bidang kemaritiman. Indonesia merupakan negara kepulauan dengan luas Laut Indonesia mencapai 1.309.337,99 km² dan jumlah pulau yang mencapai 17.506 pulau, dengan garis pantai sepanjang 81.000 km², dan Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) selebar 200 mil³[2]. Melihat hal tersebut maka bisa dipastikan Indonesia memiliki kekayaan hasil laut yang sangat kaya dan melimpah. Salah satu wilayah strategis perairan Indonesia yang memiliki aktivitas pelayaran cukup tinggi adalah daerah Kepulauan Riau, terkhususnya pada perairan Batam. Batam merupakan jalur pelayaran antarpulau dan internasional yang aktif sehingga membutuhkan pengawasan dan pengamanan laut yang sangat optimal. Oleh karena itu, keberadaan kapal patroli yang memiliki performa dan efisiensi operasional yang baik sangat diperlukan untuk mendukung kegiatan pengawasan di wilayah perairan tersebut. Meninjau adanya sumber daya alam perairan yang sangat besar, hal tersebut berpotensi mengundang negara adidaya dalam saling klaim wilayah perairan nusantara demi mengeksplorasi hasil sumber daya alam dan juga demi menguasai jalur transportasi laut utama. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi turut ikut mendorong inovasi dalam desain kapal guna mencapai efisiensi yang optimal. Desain kapal yang baik diharapkan mampu menghasilkan performa yang seimbang antara kecepatan dan konsumsi energi, sehingga mendukung efektivitas sistem transportasi laut.

Pada beberapa kasus, desain kapal catamaran banyak digunakan pada kapal patroli di Indonesia. Kapal patroli merupakan komponen utama dalam menjaga keamanan pantai dan laut teritorial. Kehadiran kapal patroli merupakan suatu yang utama karena akan menunjukkan kedaulatan hukum negara dan kemampuan kontrol di wilayah tersebut [3]. Dalam hal pertahanan, keamanan, penegakan hukum, dan keselamatan laut terutama di wilayah laut teritorial, kapal patroli memegang peranan yang sangat penting sebagai komponen utama. Dalam teritorial, konteks penjagaan laut kapal patroli lebih efektif dibandingkan kapal perang yang berukuran besar. Hal ini karena pengoperasian yang lebih mudah dibanding kapal besar yang lainnya. Secara umum terdapat 2 bentuk lambung yang sering digunakan pada desain kapal patroli, yaitu desain *catamaran U-hull* dan desain *catamaran V-hull*. Kapal catamaran dengan desain *U-hull* memiliki karakteristik keel yang lebih datar sehingga memberikan kemampuan stabilitas yang lebih baik, sedangkan kapal catamaran dengan desain lambung *V-hull* dapat memberikan kemampuan manuver yang lebih baik dan menghasilkan hambatan yang relatif lebih kecil pada kecepatan tertentu. Bentuk lambung kapal sendiri memiliki pengaruh yang besar terhadap performa kapal termasuk kecepatan dan efisiensi energi yang dibutuhkan oleh sebuah kapal. Variasi bentuk lambung yang berbeda memiliki karakteristik yang berbeda pula yang memengaruhi pilihan perancang berdasarkan misi kapal. Karakteristik ini memengaruhi berbagai aspek desain, hidrodinamika, konstruksi, dan produksi. Misalnya, kapal *U-Hull* memiliki luas dasar yang lebih lebar daripada *V-Hull*[4]. Performa hidrodinamika kapal catamaran juga sangat dipengaruhi oleh bentuk lambung, displacement, serta kondisi operasi kapal. Perubahan karakteristik hidrodinamika akan memengaruhi resistance, pola gelombang, dan efisiensi propulsi kapal [5].

Pada penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik ini telah banyak dilakukan, di antaranya meliputi studi perbandingan bentuk lambung *U-hull* dan *V-hull*, analisis slamming kapal, kajian hambatan pada kapal katamaran, pengaruh konfigurasi demi-hull terhadap performa kapal, serta prediksi hambatan kapal menggunakan metode *Holtrop*. Hasil dari berbagai penelitian tersebut menunjukkan bahwa bentuk lambung dan konfigurasi kapal memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai hambatan, stabilitas, serta efisiensi operasional kapal. Pada penelitian yang dilakukan oleh Saefulloh Misbahudin dan kawan-kawan

menyebutkan bahwa merancang kapal patroli dengan desain lambung catamaran lebih efektif dari kapal patroli dengan lambung *monohull*.

Kapal catamaran memiliki beberapa keunggulan dibandingkan kapal monohull, antara lain tata letak akomodasi yang lebih menarik, tingkat stabilitas yang lebih tinggi, serta pada kondisi tertentu mampu mencapai kecepatan layanan dengan kebutuhan daya propulsi yang lebih rendah. Namun, catamaran juga memiliki kekurangan berupa karakteristik hambatan yang lebih kompleks akibat adanya interaksi antara dua lambung. Interaksi tersebut meliputi *viscous interference* dan *wave interference* yang dapat memengaruhi pembentukan aliran serta meningkatkan komponen hambatan kapal. Sementara itu, kapal monohull memiliki keunggulan berupa penggunaan yang telah luas pada berbagai jenis kapal, seperti kapal penumpang, kapal kontainer, kapal pengangkut muatan cair, dan kapal perang. Akan tetapi, salah satu keterbatasan monohull adalah penurunan stabilitas transversal ketika bentuk lambung dibuat semakin ramping untuk mencapai kecepatan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, pemilihan antara konfigurasi catamaran dan monohull perlu mempertimbangkan karakteristik stabilitas, hambatan, kecepatan, serta kebutuhan operasional kapal.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan performa hidrodinamika antara desain lambung kapal catamaran U-Hull dan V-Hull pada kapal patroli, khususnya ditinjau dari karakteristik hambatan dan stabilitas kapal. Selanjutnya membandingkan nilai hambatan kedua lambung kapal yaitu lambung kapal catamaran U-Hull dan lambung kapal catamaran V-Hull dengan metode Holtrop pada software Maxsurf Resistance. Menganalisis dan membandingkan karakteristik stabilitas kapal berdasarkan parameter displacement, Longitudinal Center of Buoyancy (LCB), dan draft pada desain lambung U-Hull dan V-Hull. Dan yang terakhir adalah menentukan desain lambung kapal mana yang paling sesuai dan efisien untuk kebutuhan operasional kapal patroli menurut perbandingan perbandingan hambatan atau resistance, hydrostatics.

2. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan oleh penulis pada penelitian ini adalah metode numerik berbasis perangkat lunak, yaitu *Maxsurf Resistance* untuk menganalisis hambatan kapal. Hasil analisis hambatan kapal yang diperoleh dari simulasi menggunakan metode Holtrop akan dibandingkan dan divalidasi terhadap hasil perhitungan numerik metode Holtrop guna memastikan keakuratan serta reliabilitas hasil yang diperoleh. Perhitungan hambatan dilakukan menggunakan metode *Holtrop* dengan kecepatan 25 knot. Metode *Holtrop* adalah metode perhitungan hambatan menggunakan pendekatan rumus matematis [6]. Selain itu, analisis stabilitas dilakukan menggunakan modul *hydrostatics* untuk memperoleh parameter utama kapal, seperti *displacement*, *Longitudinal Center of Buoyancy (LCB)*, dan *draft*. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi performa hidrodinamika kapal dapat dilakukan secara komprehensif melalui simulasi numerik, sehingga dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai pengaruh perbedaan desain lambung *U-Hull* dan *V-Hull* terhadap karakteristik hambatan dan stabilitas pada kapal patroli. Dalam penelitian ini, Material konstruksi kapal diasumsikan menggunakan *Marine Grade Aluminium* (Aluminium Alloy 5083-H321) sebagai variabel kontrol yang disamakan pada kedua model kapal.

2.1 Pendekatan Numerik berbasis Software Maxsurf

Penelitian ini diterapkan melalui program simulasi numerik yang merepresentasikan model kapal dengan menggunakan *Software Maxsurf*. *Software Maxsurf* merupakan media yang dikhususkan dalam perancangan kapal hingga analisis hidrodinamika dalam sebuah model [2]. Pendekatan numerik dalam

analisis hidrodinamika kapal saat ini semakin banyak digunakan dalam proses perancangan kapal karena dinilai lebih praktis dan mampu merepresentasikan kondisi operasi kapal secara lebih mendekati. Melalui bantuan perangkat lunak seperti maxsurf, analisis performa kapal dapat dilakukan tanpa harus melalui pengujian fisik secara langsung, khususnya dalam menentukan nilai hambatan (*resistance*) sebagai salah satu parameter utama pada pembuatan sebuah kapal. Pada penelitian ini, analisis dilakukan menggunakan *software Maxsurf*, khususnya pada modul *Maxsurf Resistance* yang menerapkan metode empiris seperti *Holtrop* dalam menghitung hambatan total kapal berdasarkan ukuran utama dan kondisi operasionalnya. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perhitungan hambatan menggunakan metode analitik dan simulasi numerik memiliki kecenderungan yang serupa terhadap perubahan kecepatan kapal, sehingga pendekatan ini dinilai cukup dapat diandalkan dalam analisis hidrodinamika.

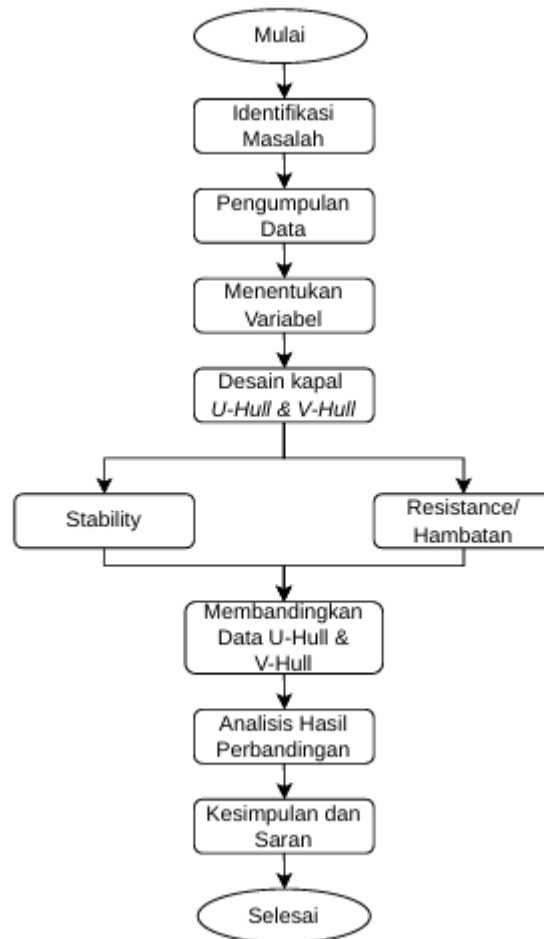
Di sisi lain, metode empiris *Holtrop* telah banyak digunakan dalam analisis hambatan kapal karena mampu memberikan estimasi yang berkaitan langsung dengan kebutuhan daya mesin. Besarnya hambatan dipengaruhi oleh beberapa faktor utama seperti bentuk lambung, ukuran kapal, serta kecepatan operasi, sehingga analisis ini menjadi penting dalam menilai efisiensi kapal secara keseluruhan. Selain itu, penggunaan perangkat *software* seperti *Maxsurf* dalam simulasi numerik memungkinkan diperolehnya beberapa parameter hidrodinamika sekaligus, seperti hambatan, kebutuhan daya, dan *displacement*, dengan proses yang lebih cepat dan terstruktur. Oleh karena itu, pendekatan numerik berbasis *Maxsurf* dalam penelitian ini dipilih karena mampu memberikan gambaran yang cukup jelas dan konsisten dalam membandingkan performa hidrodinamika antara desain kapal catamaran *V-Hull* dan catamaran *U-Hull* terkhususnya pada kapal patroli. Secara umum, hambatan total kapal dalam metode ini dapat dinyatakan sebagai berikut

$$RT = RF(1+k) + RW + RAPP + RA \quad (1)$$

Dimana:

- RT = hambatan total (*total resistance*)
- RF = hambatan gesek (*frictional resistance*)
- k = faktor bentuk (*form factor*)
- RW = hambatan gelombang (*wave resistance*)
- RAPP = hambatan tambahan (*appendage resistance*)
- RA = faktor koreksi (*correlation allowance*)

2.2 Flow Chart



Gambar 1 Flow Chart

Proses penelitian ini dimulai dari proses mulai, kemudian dilanjutkan dengan mengidentifikasi masalah, yaitu menentukan fokus penelitian mengenai perbandingan performa kapal patroli catamaran dengan bentuk lambung *U-Hull* dan *V-Hull*. Setelah itu dilakukan pengumpulan data berupa ukuran utama kapal, spesifikasi teknis, kecepatan operasional, serta data pendukung lainnya yang dibutuhkan dalam proses penelitian. Dilanjutkan dengan menentukan variabel penelitian, yaitu parameter yang akan dianalisis, meliputi stabilitas kapal dan hambatan kapal. Selanjutnya dilakukan proses desain kapal *U-Hull* dan *V-Hull* menggunakan *software Maxsurf* sebagai objek penelitian dengan ukuran utama yang sama namun bentuk lambung berbeda.

Setelah model atau desain kapal selesai dibuat, dilakukan analisis stabilitas (*stability*) menggunakan *Maxsurf Stability* untuk memperoleh nilai *displacement*, *LCB (Longitudinal Centre Bouyancy)*, dan *draft*, serta analisis hambatan (*resistance*) menggunakan *Maxsurf Resistance* dengan metode *Holtrop* untuk mengetahui nilai hambatan total kapal. Hasil dari kedua analisis tersebut kemudian masuk ke tahap membandingkan data *U-Hull* dan *V-Hull* untuk mengetahui perbedaan performa masing-masing desain lambung. Selanjutnya dilakukan analisis hasil perbandingan guna menentukan desain lambung yang paling sesuai untuk kapal patroli. Tahap terakhir adalah kesimpulan, yaitu merangkum hasil penelitian, kemudian proses penelitian dinyatakan selesai.

2.3 Variabel Penelitian

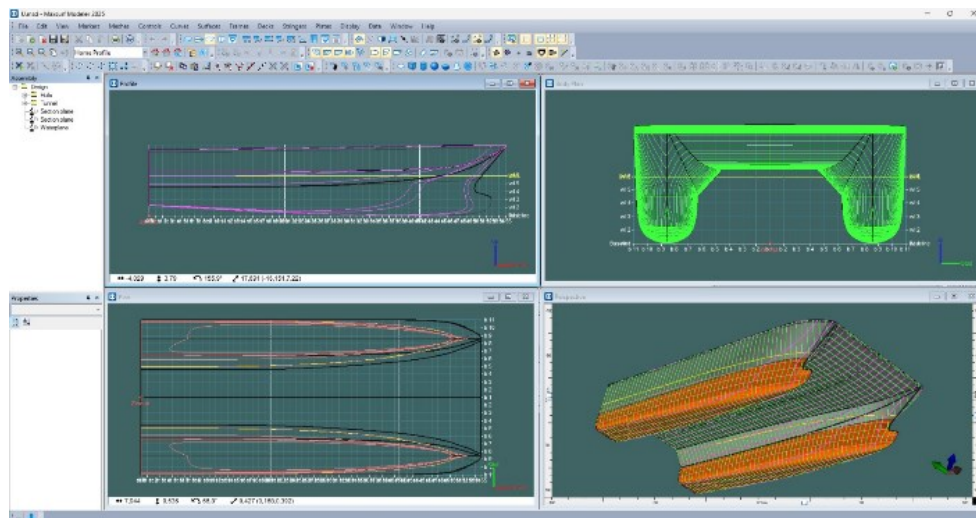
Objek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapal patroli jenis catamaran dengan dua variasi bentuk lambung, yaitu *U-hull* dan *V-hull*. Adapun ukuran utama dan spesifikasi kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Dimensi Kapal Catamaran *U-Hull* dan *V-Hull*

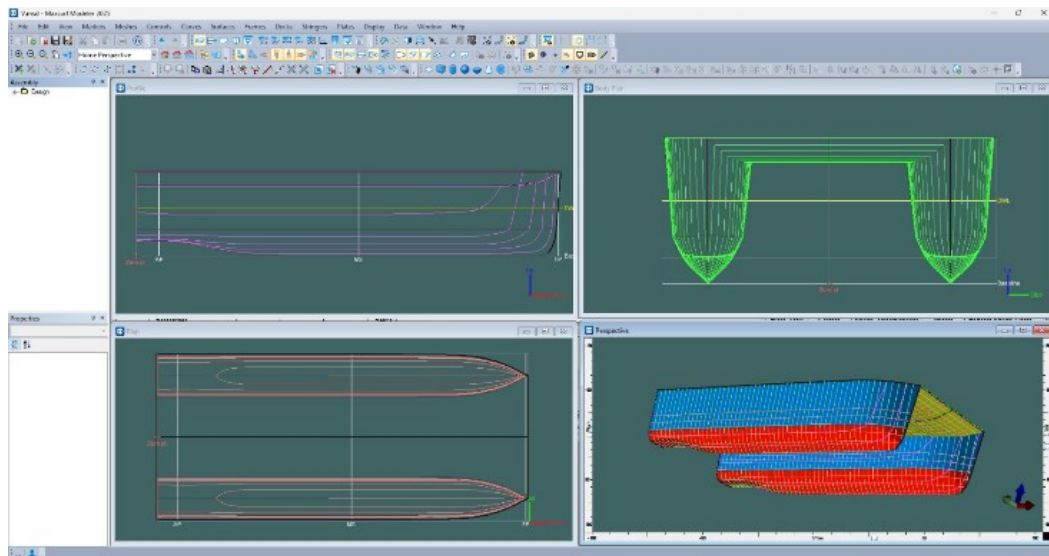
<i>Principal Dimensions</i>	
<i>Length Over All (LOA)</i>	26.2m
<i>Breadth Moulded</i>	8.5 M
<i>Depth</i>	3.4 M
<i>Draft Hull</i>	1.15M
<i>Speed Max</i>	34 Knot
<i>Service Speed</i>	32 Knot
<i>Crew</i>	12 Orang

Berikut merupakan ukuran desain utama kapal patroli yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu 2 kapal *catamaran* dengan bentuk lambung yang berbeda yaitu kapal *catamaran V-Hull* dan *catamaran U-Hul*. Dalam penelitian ini, material lambung kapal diasumsikan menggunakan marine grade aluminium yang pada konstruksi kapal patroli cepat umumnya menggunakan paduan *Aluminium Alloy 5083-H321*. Pemilihan material tersebut didasarkan pada karakteristiknya yang memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, ketahanan korosi yang sangat baik terhadap lingkungan laut, serta kemudahan dalam proses fabrikasi dan perawatan. Penggunaan material ini banyak diterapkan pada kapal patroli modern karena mampu mengurangi berat konstruksi kapal sehingga mendukung peningkatan efisiensi operasional, performa kecepatan, serta penghematan konsumsi bahan bakar.

Meskipun demikian, material konstruksi tidak dijadikan sebagai variabel penelitian dan tidak dianalisis secara khusus dalam simulasi yang dilakukan. Pada perangkat lunak *Maxsurf Resistance* dan *Maxsurf Stability*, parameter material tidak dimasukkan secara langsung ke dalam model perhitungan hambatan. Namun secara teoritis, material tetap memengaruhi berat konstruksi kapal yang dapat berdampak pada *displacement*, *draft*, dan karakteristik hidrostatis kapal. Oleh karena itu, untuk menjaga konsistensi penelitian dan menghindari pengaruh variabel lain di luar bentuk lambung, kedua model kapal catamaran yang dianalisis, yaitu *U-Hull* dan *V-Hull*, diasumsikan menggunakan material yang sama. Dengan menyamakan jenis material pada kedua model, maka pengaruh material terhadap hasil analisis dapat diminimalkan sehingga perbedaan nilai hambatan dan stabilitas yang diperoleh dapat diatribusikan pada perbedaan geometri lambung. Pendekatan ini dilakukan untuk memastikan bahwa evaluasi performa kapal berfokus pada pengaruh bentuk lambung *U-Hull* dan *V-Hull* secara objektif, sehingga tujuan penelitian dalam membandingkan karakteristik hambatan dan stabilitas kedua model dapat dicapai dengan lebih akurat.

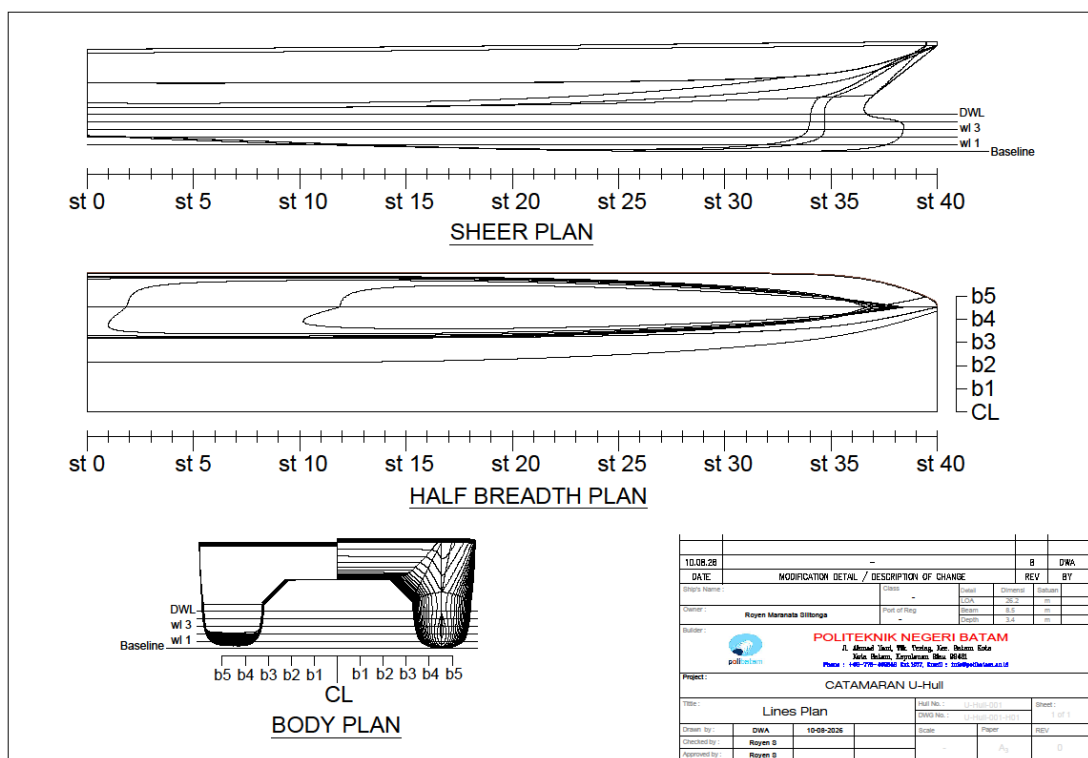


Gambar 2. Desain kapal *Catamaran U-Hull*

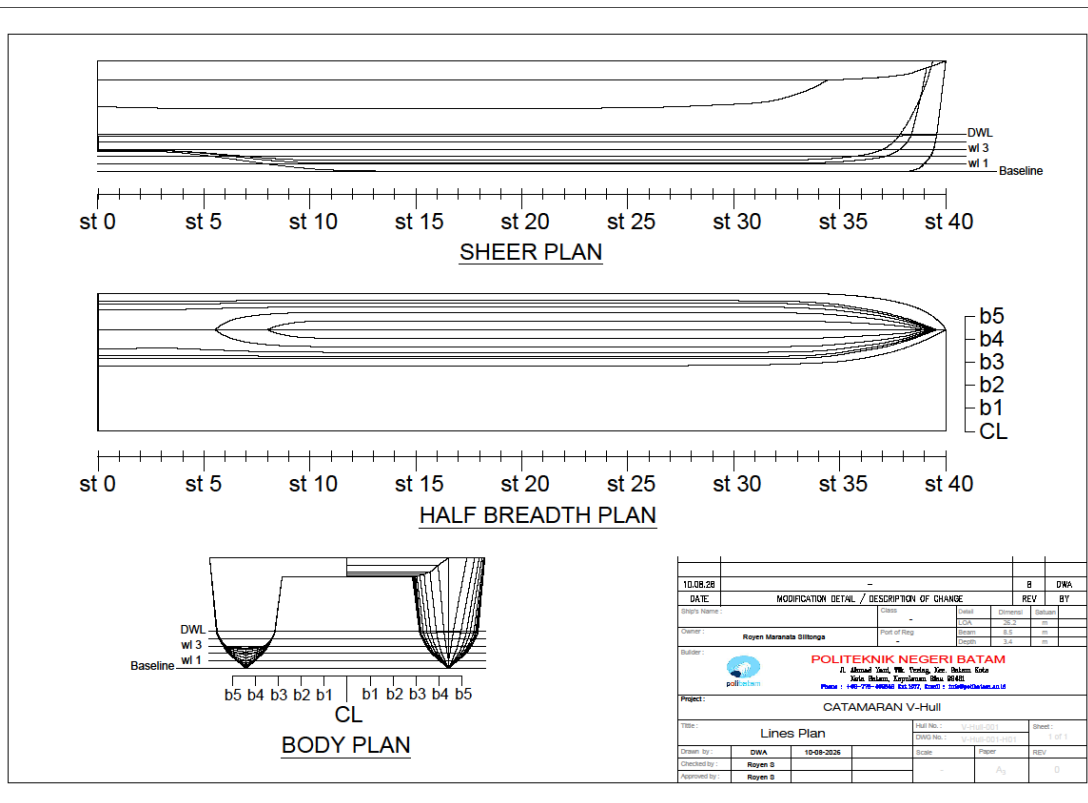


Gambar 3 Desain Kapal *Catamaran V-Hull*

Berikut ini adalah tampilan desain kapal patroli catamaran *U-Hull* dan catamaran *V-Hull* yang didesain menggunakan *software Maxsurf Modeler*. Pemilihan kedua tipe lambung tersebut bertujuan untuk memberikan gambaran komparatif mengenai pengaruh perbedaan bentuk lambung terhadap karakteristik hidrodinamika, stabilitas, serta performa operasional kapal. Dimensi utama yang digunakan meliputi panjang kapal, lebar kapal, tinggi kapal, sarat air, dan parameter teknis lainnya yang menjadi dasar dalam proses analisis serta perancangan pada penelitian ini.



Gambar 4 Lines Plan Catamaran U-Hull



Gambar 5 Lines Plan Catamaran V-Hull

Gambar di atas merupakan desain dari *Lines Plan*, yang digunakan untuk menggambarkan bentuk dan karakteristik geometris lambung kapal dalam tiga tampilan utama, yaitu *Sheer Plan*, *Half Breadth Plan*, dan *Body Plan*. *Sheer Plan* menunjukkan bentuk lambung kapal dari arah samping dan menggambarkan perubahan bentuk lambung secara memanjang terhadap posisi station. *Half Breadth Plan* menunjukkan bentuk lambung kapal dari arah atas serta distribusi lebar lambung pada setiap station. Sementara itu, *Body Plan* menunjukkan bentuk penampang melintang lambung pada beberapa station sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik bentuk penampang lambung kapal.

Gambar 4 menunjukkan desain *Lines Plan* kapal Catamaran *U-Hull*. Pada *Sheer Plan* terlihat perubahan bentuk lambung secara longitudinal dari bagian buritan hingga haluan, sedangkan *Half Breadth Plan* menunjukkan distribusi lebar lambung yang semakin mengecil menuju bagian haluan. Pada *Body Plan*, bentuk penampang melintang menunjukkan karakteristik lambung yang relatif membulat pada bagian bawah sehingga membentuk konfigurasi *U-Hull*. Bentuk penampang tersebut menjadi salah satu karakteristik utama yang membedakan *U-Hull* dari bentuk lambung lainnya.

Gambar 5 menunjukkan *Lines Plan* kapal Catamaran *V-Hull*. Secara umum, *Sheer Plan* dan *Half Breadth Plan* menunjukkan pola distribusi bentuk lambung yang serupa dengan model *U-Hull*. Namun, perbedaan utama terlihat pada *Body Plan*, yaitu bentuk penampang melintang lambung yang memiliki sisi lebih miring dan membentuk konfigurasi menyerupai huruf V. Perbedaan geometri penampang tersebut menyebabkan karakteristik hidrodinamika kedua model lambung menjadi berbeda, meskipun menggunakan ukuran utama dan kondisi perancangan yang sama.

Perbedaan bentuk penampang antara *U-Hull* dan *V-Hull* selanjutnya menjadi dasar dalam melakukan analisis perbandingan karakteristik hidrodinamika menggunakan perangkat lunak *Maxsurf*. Perubahan geometri lambung tersebut dapat memengaruhi parameter hidrostatik, distribusi volume, luas permukaan basah, serta karakteristik hambatan kapal pada kondisi kecepatan yang dianalisis. Oleh karena itu, *Lines Plan* digunakan sebagai representasi geometris awal untuk memahami perbedaan bentuk lambung sebelum dilakukan analisis hidrostatik dan hambatan kapal.

Secara umum, data mengenai jumlah kapal catamaran berdasarkan konfigurasi bentuk lambung *U-Hull* dan *V-Hull* yang beroperasi di Indonesia belum tersedia secara spesifik dalam database registrasi kapal yang dapat diakses secara publik. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan pendekatan komparatif melalui pemodelan *U-Hull* dan *V-Hull* untuk mengevaluasi karakteristik hidrostatik dan hambatan kedua bentuk lambung

2.4 Analisis Resistance atau Hambatan Kapal

Hambatan kapal adalah ilmu yang mempelajari respon fluida terhadap pergerakan kapal melaluinya. Dalam konteks hidrodinamika kapal, hambatan merujuk pada besarnya gaya fluida yang bekerja pada kapal yang berfungsi untuk menghambat pergerakannya [7]. Analisis hambatan kapal pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya gaya tahanan yang dialami kapal patroli catamaran dengan bentuk lambung *V-Hull* dan *U-Hull* saat bergerak pada kondisi perairan tenang (*calm water*). Hambatan kapal merupakan gaya yang bekerja berlawanan arah terhadap gerak kapal, sehingga sangat mempengaruhi kebutuhan daya mesin, konsumsi bahan bakar, serta kecepatan operasional kapal. Semakin kecil nilai hambatan yang dihasilkan, maka semakin baik tingkat efisiensi kapal tersebut [8].

Dalam penelitian ini, perhitungan hambatan dilakukan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Resistance* dengan pendekatan metode *Holtrop*. Metode *Holtrop* merupakan metode empiris yang

digunakan untuk memperkirakan nilai hambatan total kapal berdasarkan ukuran utama kapal dan parameter hidrodinamika, seperti panjang kapal, lebar kapal, *draft*, *displacement*, *wetted surface area*, serta kecepatan kapal. Perbedaan bentuk lambung *V-Hull* dan *U-Hull* memberikan pengaruh terhadap karakteristik hambatan yang dihasilkan. Lambung *V-Hull* umumnya memiliki kemampuan membelah gelombang lebih baik sehingga cenderung menghasilkan hambatan lebih kecil pada kecepatan tinggi. Sedangkan lambung *U-Hull* memiliki volume bawah air dan luas permukaan basah yang lebih besar, sehingga pada kondisi tertentu dapat menghasilkan hambatan gesek yang lebih tinggi, namun memiliki keunggulan pada stabilitas kapal. Prediksi resistance merupakan tahapan penting dalam desain kapal catamaran berkecepatan tinggi karena berpengaruh langsung terhadap kebutuhan daya mesin dan efisiensi operasi kapal. Model prediksi resistance yang akurat dapat membantu proses optimasi desain lambung [9].

Untuk dapat mendorong kapal agar tetap berlayar dengan kecepatan operasional, diperlukan daya dorong untuk melawan hambatan yang bekerja pada lambung kapal, daya ini juga dikenal sebagai *efektif power* kapal atau *Efektif Horse Power* (EHP). *Efektif Power* adalah hasil perkalian antara hambatan total dan kecepatan operasional (V_s) [10]. *Efektif Power* ini dapat dihitung sebagai berikut:

$$PE = RT_{\text{desain}} \times V_s \quad (2)$$

Dimana:

RT = Resistance Total (N)

V_s = Kecepatan (m/s)

Dari rumus tersebut kita dapat mengetahui semakin besar hambatan total atau kecepatan kapal, maka daya efektif yang dibutuhkan juga akan semakin besar. Oleh karena itu, optimasi bentuk lambung kapal sangat diperlukan untuk meminimalkan nilai hambatan sehingga kebutuhan daya dapat ditekan. Sementara itu, *Brake Power* (PB) adalah jumlah dari BHP awal ditambah koreksi lokasi mesin dan luas area kapal. *Brake Power* awal diperoleh dari distribusi tenaga kuda yang dihasilkan dengan efisiensi poros dan roda gigi reduksi. Untuk menghitung brake power dapat menggunakan rumus di bawah ini:

$$PB = n \times P \quad (3)$$

Dimana:

n : Jumlah Engine

P : Power tiap engine (kW atau HP)

Dalam praktiknya, nilai *Brake Power* biasanya lebih besar dibandingkan *Effective Power* karena adanya *losses* (kehilangan energi) pada sistem propulsi. Oleh sebab itu, diperlukan faktor efisiensi propulsi untuk menghubungkan antara daya yang dihasilkan mesin dengan daya yang benar-benar digunakan untuk mengatasi hambatan kapal. Selain menganalisis nilai hambatan, penelitian ini juga mempertimbangkan efisiensi total sistem propulsi kapal catamaran, yaitu perbandingan antara daya efektif yang digunakan untuk mengatasi hambatan kapal dengan daya mesin yang disuplai. Nilai efisiensi total kapal catamaran dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\eta_{\text{overall}} = PE/PB \quad (4)$$

Dimana:

η (eta) = efisiensi total (*overall efficiency*)

PE = *Effective Power* → daya untuk melawan hambatan kapal

PB = *Brake Power* → daya yang dihasilkan mesin utama kapal

Rumus di atas digunakan untuk menghitung efisiensi total sistem propulsi kapal, yaitu perbandingan antara daya efektif kapal dengan daya mesin yang tersedia. *PE (Effective Power)* adalah daya yang dibutuhkan kapal untuk mengatasi hambatan saat bergerak pada kecepatan tertentu, sedangkan *PB (Brake Power)* adalah daya yang dihasilkan oleh mesin utama. Nilai efisiensi ini menunjukkan seberapa besar tenaga mesin yang berhasil diubah menjadi tenaga dorong kapal. Semakin tinggi nilai efisiensi, maka semakin baik kinerja sistem propulsi kapal karena energi yang hilang semakin kecil. Sebaliknya, jika nilainya rendah, berarti banyak daya mesin yang hilang akibat gesekan mekanis, kerja propeller yang kurang optimal, atau hambatan aliran air di sekitar lambung kapal.

2.5 Analisis Stabilitas Kapal

Analisis stabilitas kapal pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik keseimbangan kapal patroli catamaran dengan bentuk lambung *V-Hull* dan *U-Hull* pada kondisi operasi tertentu. Stabilitas kapal merupakan kemampuan kapal untuk mempertahankan posisi seimbang dan kembali ke posisi semula setelah menerima gangguan dari luar, seperti gelombang, angin, maupun perpindahan beban. Pada penelitian ini, analisis stabilitas dilakukan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Stability dengan pembatasan parameter hidrostatik, yaitu displacement, *Longitudinal Center of Buoyancy (LCB)*, dan *draft*. karakteristik hambatan kapal catamaran dipengaruhi secara signifikan oleh bentuk lambung, kecepatan operasi, serta kondisi aliran di sekitar lambung. Melalui kombinasi pengujian eksperimen dan simulasi numerik, penelitian tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan menyebabkan peningkatan resistance dan kebutuhan daya secara bertahap [11]. Nilai displacement menunjukkan berat total kapal dalam kondisi terapung, LCB menunjukkan posisi memanjang titik pusat gaya apung, sedangkan *draft* menunjukkan kedalaman badan kapal yang tercelup ke dalam air. Hasil analisis kedua model lambung kemudian dibandingkan untuk mengetahui bentuk lambung yang memiliki karakteristik stabilitas lebih baik dan sesuai digunakan sebagai kapal patroli catamaran.

2.6 Proses Fabrikasi Pada Kapal Catamaran U-Hull

Proses fabrikasi merupakan tahapan penting dalam pembangunan kapal yang bertujuan mengubah material menjadi suatu konstruksi kapal sesuai dengan desain yang telah direncanakan. Tahapan fabrikasi umumnya meliputi persiapan material, pemotongan pelat (*cutting*), pembentukan pelat (*forming*), pemasangan komponen (*fit-up*), pengelasan (*welding*), hingga proses perakitan (*assembly*). Seluruh tahapan tersebut harus dilakukan secara tepat untuk menghasilkan struktur kapal yang memiliki kekuatan dan kualitas sesuai dengan spesifikasi desain. Proses pengelasan merupakan salah satu komponen dengan biaya tenaga kerja terbesar dalam pembangunan kapal, dan kebutuhan pengelasan akan meningkat seiring bertambahnya ketebalan material karena diperlukan lebih banyak lintasan pengelasan (*weld pass*). Selain itu, jenis sambungan juga memengaruhi kompleksitas fabrikasi, di mana sambungan *butt weld* umumnya memerlukan lebih banyak lintasan pengelasan dibandingkan *fillet weld*. Proses fabrikasi lambung dilakukan pada fabrikasi lambung sebuah kapal catamaran melalui beberapa tahapan yang meliputi pembuatan pola (*pattern making*), pembuatan cetakan (*mould fabrication*), pemeriksaan akurasi dimensi, serta proses pembentukan lambung sesuai desain sebelum dilakukan evaluasi kualitas hasil fabrikasi [12].

Pada penelitian ini, proses fabrikasi lambung *U-Hull* diawali dengan pembuatan komponen pelat dan profil sesuai gambar kerja, kemudian dilanjutkan dengan proses pembentukan pelat, penyambungan menggunakan pengelasan, serta perakitan blok hingga membentuk struktur lambung secara utuh. Bentuk dasar lambung *U-Hull* yang memiliki permukaan lebih sederhana menyebabkan proses pembentukan pelat

relatif lebih mudah dibandingkan bentuk lambung yang lebih runcing. Kondisi tersebut mempermudah proses fit-up dan pengelasan sehingga waktu fabrikasi menjadi lebih singkat.

2.7 Proses Fabrikasi Pada Kapal Catamaran *V-Hull*

Tahapan fabrikasi pada kapal catamaran lambung *V-Hull* pada dasarnya sama dengan *U-Hull*, yaitu sama-sama dimulai dari proses pemotongan material (cutting), pembentukan pelat (forming), pemasangan komponen (*fit-up*), pengelasan, hingga perakitan struktur lambung. Namun demikian, bentuk geometri lambung *V-Hull* yang memiliki sudut lebih tajam menyebabkan proses pembentukan pelat menjadi lebih kompleks sehingga membutuhkan tingkat ketelitian yang lebih tinggi selama proses fabrikasi. Material yang telah dipotong (*cut material*) diproses menjadi komponen-komponen kecil atau panel baja. Komponen kecil kemudian melalui proses distribute, install, automatic weld, dan manual weld. Setelah itu komponen disimpan di stockyard sebelum dipindahkan ke proses *large assembly*. Pada proses *large assembly*, panel dan komponen dirakit melalui tahapan *distribute, install, weld*, dan apabila diperlukan dilakukan proses reverse menggunakan crane sebelum akhirnya dipindahkan ke *stockyard* [13].

Selain mengikuti tahapan fabrikasi tersebut, kompleksitas bentuk dan konfigurasi struktur juga menjadi salah satu faktor yang memengaruhi tingkat kesulitan proses produksi kapal. Optimasi desain struktur dapat mengurangi panjang pengelasan dan meningkatkan efisiensi proses fabrikasi. Sebaliknya, konfigurasi struktur yang lebih kompleks akan meningkatkan kebutuhan proses pengelasan sehingga berdampak terhadap waktu dan biaya konstruksi. Selain itu, konfigurasi geometri struktur kapal berpengaruh terhadap distribusi beban dan kekuatan struktur, sehingga proses fabrikasi harus mampu menghasilkan bentuk konstruksi yang sesuai dengan desain agar performa struktur tetap terjaga. Berdasarkan hasil penelitian ini, bentuk lambung *V-Hull* yang lebih runcing menyebabkan proses forming, *fit-up*, dan pengelasan menjadi lebih sulit dibandingkan *U-Hull*. Akibatnya, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan fabrikasi lambung *V-Hull* menjadi lebih lama. Hal ini menunjukkan bahwa kompleksitas geometri lambung merupakan salah satu faktor yang memengaruhi efisiensi proses fabrikasi kapal *catamaran*.

3. Analisa Data dan Pembahasan

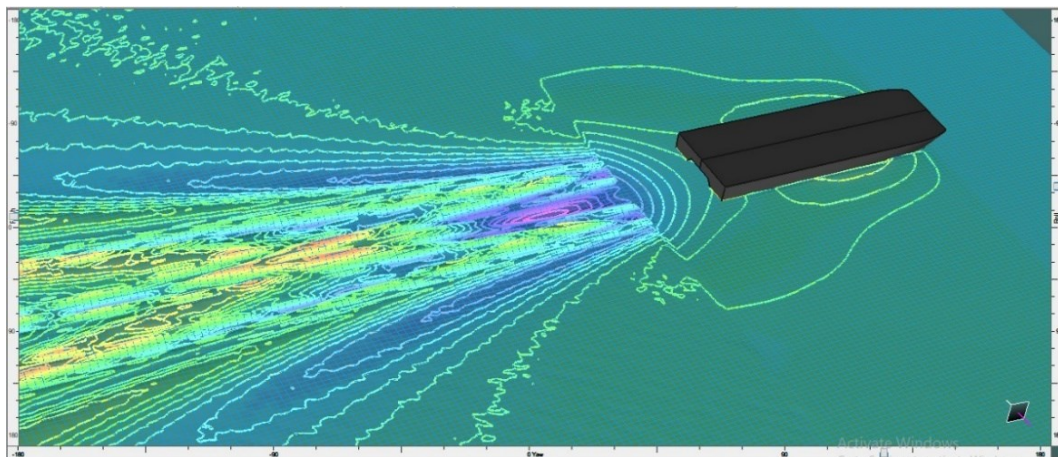
3.1 Model Lambung Kapal Catamaran *U-Hull* dan *V-Hull*

Bentuk lambung merupakan faktor utama yang menentukan besar kecilnya resistance kapal. Pemilihan bentuk lambung *U-Hull* maupun *V-Hull* tidak hanya memengaruhi resistance, tetapi juga karakteristik seakeeping, struktur, serta proses produksi kapal sehingga harus disesuaikan dengan misi operasi kapal [14]. Variasi bentuk lambung seperti sudut deadrise dan bentuk buritan memberikan pengaruh terhadap resistance kapal catamaran. Semakin optimal bentuk lambung, maka semakin kecil hambatan total yang dihasilkan [15]. Penurunan resistance akan meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar kapal catamaran. Pada penelitian ini digunakan dua model kapal patroli catamaran, yaitu model dengan bentuk lambung *U-Hull* dan *V-Hull*. Kedua model dirancang menggunakan metode Formdata dan selanjutnya dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak Maxsurf Modeler dengan principal dimensions yang sama. Penyamaan dimensi utama dilakukan agar perbedaan hasil analisis hanya dipengaruhi oleh variasi bentuk lambung. Model 3D yang telah diperoleh kemudian digunakan sebagai dasar dalam simulasi numerik menggunakan Maxsurf Resistance dengan metode Holtrop untuk memperoleh nilai hambatan kapal, serta *Maxsurf Stability Enterprise* untuk mengevaluasi karakteristik hidrostatik yang meliputi displacement, Longitudinal Center of Buoyancy (LCB), dan draft. Selanjutnya,

hasil analisis kedua model dibandingkan untuk mengidentifikasi pengaruh bentuk lambung terhadap karakteristik hambatan dan stabilitas kapal patroli catamaran.

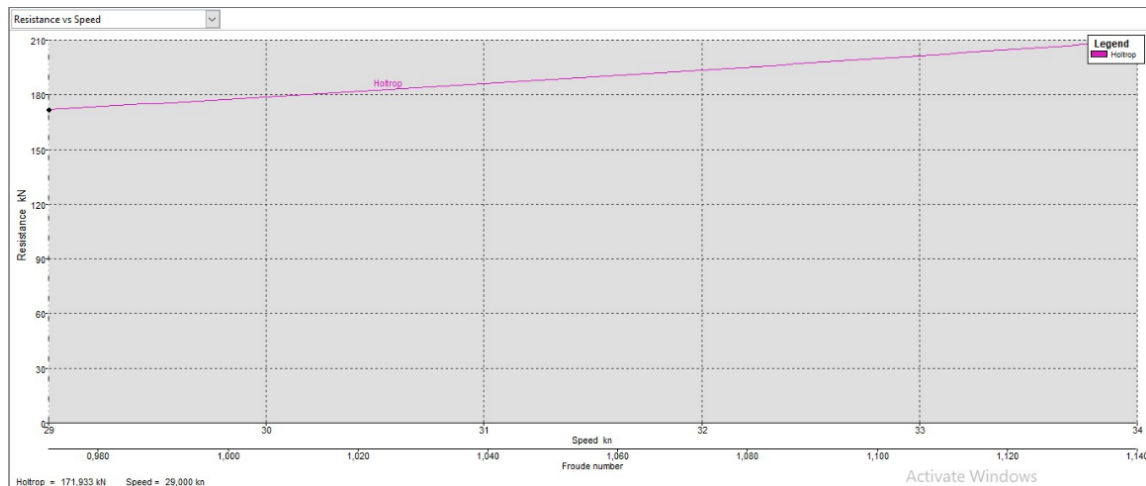
3.2 Analisis Hambatan Lambung Kapal *Catamaran U-Hull*

Hambatan kapal merupakan salah satu parameter utama dalam desain kapal karena kapal yang baik memiliki nilai hambatan yang rendah serta stabilitas yang baik. Analisis hambatan total lambung *catamaran U-Hull* dilakukan menggunakan perangkat lunak atau software Maxsurf Resistance dengan metode Holtrop. Ada beberapa parameter yang digunakan dalam analisis meliputi model lambung kapal, diantaranya adalah variasi kecepatan kapal 29 knot dan 34 knot serta kondisi perairan yang tenang (*calm water*). Hasil analisis yang diperoleh berupa nilai hambatan total (*total resistance*) dan kebutuhan daya (*effective power*) pada masing-masing kecepatan operasional kapal.



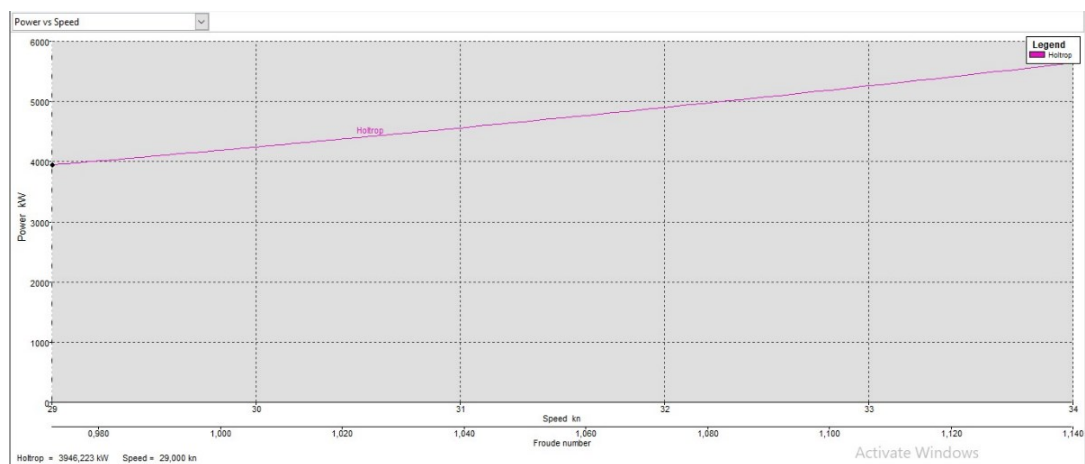
Gambar 6. Analisis Resistance Kapal *Catamaran U-Hull*

Pada Gambar 4 di atas menunjukkan visualisasi hasil dari analisis resistance lambung *Catamaran U-Hull* menggunakan metode *Holtrop* dengan rentang kecepatan 29 sampai 34 knot. Gambar 4 tersebut memperlihatkan pola aliran fluida dan pembentukan gelombang di sekitar lambung kapal selama bergerak. Garis-garis kontur yang memanjang di belakang kapal menunjukkan jejak aliran (*wake*) yang terbentuk akibat interaksi antara lambung dan air. Warna ungu dan biru pada area di belakang lambung menunjukkan daerah dengan intensitas aliran dan energi gelombang yang tinggi, yang mengindikasikan adanya hambatan terbesar akibat pergerakan kapal. Sementara itu, warna hijau dan kuning menunjukkan daerah dengan intensitas aliran yang lebih rendah, di mana gangguan aliran mulai berkurang dan kembali stabil. Semakin luas penyebaran warna dengan intensitas tinggi pada area *wake*, semakin besar energi yang dibutuhkan kapal untuk mengatasi hambatan, sehingga nilai resistance cenderung meningkat seiring bertambahnya kecepatan. Hasil visualisasi ini memberikan gambaran mengenai karakteristik hidrodinamika lambung *U-Hull* dan menjadi dasar dalam mengevaluasi performa kapal pada kecepatan tinggi.



Gambar 7. Grafik Resistance terhadap kecepatan pada lambung kapal U-Hull

Pada gambar 5 di atas menunjukkan hubungan antara kecepatan kapal (speed) dengan nilai hambatan (*resistance*) pada lambung kapal catamaran U-Hull menggunakan metode *Holtrop*. Grafik *Resistance vs Speed* menunjukkan hubungan antara kecepatan kapal dengan hambatan total (*total resistance*) yang dihitung menggunakan metode *Holtrop*. Sumbu horizontal (X) menunjukkan kecepatan kapal (knot), sedangkan sumbu vertikal (Y) menunjukkan besar hambatan kapal (kN). Berdasarkan hasil simulasi, hambatan kapal meningkat dari 171,93 kN pada kecepatan 29 knot menjadi sekitar 209,60 kN pada kecepatan 34 knot, yang ditunjukkan oleh garis grafik yang terus mengalami kenaikan. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan kapal, semakin besar hambatan yang harus diatasi oleh sistem propulsi. Hambatan kapal merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah gerak kapal sehingga mesin memerlukan daya yang lebih besar untuk mempertahankan kecepatan. Kondisi ini terjadi karena meningkatnya hambatan gesek, hambatan tekanan, dan terutama hambatan gelombang seiring bertambahnya kecepatan kapal. Dengan demikian, grafik ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif antara kecepatan dan hambatan kapal. Semakin kecil hambatan yang dihasilkan oleh desain lambung pada kecepatan tertentu, maka semakin efisien kapal tersebut karena membutuhkan daya mesin yang lebih rendah untuk mencapai kecepatan operasi yang diinginkan.



Gambar 8. Grafik Power terhadap kecepatan pada lambung kapal U-Hull

Grafik *Power vs Speed* menunjukkan hubungan antara kecepatan kapal dengan kebutuhan daya (*power*) yang dihitung menggunakan metode *Holtrop*. Sumbu horizontal (X) menunjukkan kecepatan kapal (knot), sedangkan sumbu vertikal (Y) menunjukkan kebutuhan daya dalam satuan *kiloWatt* (kW). Berdasarkan hasil simulasi, kebutuhan daya meningkat dari 3.946,22 kW pada kecepatan 29 knot menjadi sekitar 5.639,48 kW pada kecepatan 34 knot, yang ditunjukkan oleh garis grafik yang terus mengalami kenaikan. Peningkatan kebutuhan daya ini berkaitan langsung dengan besarnya hambatan kapal. Semakin tinggi kecepatan kapal, semakin besar hambatan yang harus diatasi oleh sistem propulsi sehingga daya

mesin yang dibutuhkan juga semakin besar. Dengan kata lain, daya yang diperlukan kapal berbanding lurus dengan peningkatan hambatan yang terjadi akibat bertambahnya kecepatan. Berdasarkan grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kecepatan kapal akan meningkatkan kebutuhan daya mesin secara bertahap. Oleh karena itu, desain lambung yang menghasilkan hambatan lebih rendah akan lebih efisien karena membutuhkan daya propulsi yang lebih kecil untuk mencapai kecepatan operasi yang sama.

Tabel 2 Data Analisis Hambatan dan Kebutuhan Daya Lambung Kapal *Catamaran U-Hull*

Lambung Kapal <i>Catamaran U-Hull</i>				
Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power. (kW)
29	0,972	2,238	171,9	3946,223
30	1,006	2,315	178,7	4244,121
31	1,039	2,392	185,9	4562,151
32	1,073	2,469	193,5	4900,58
33	1,106	2,546	201,4	5259,624
34	1,14	2,623	209,6	5639,483

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan metode *Holtrop*, diketahui bahwa peningkatan kecepatan kapal dari 29 knot hingga 34 knot menyebabkan nilai hambatan (*resistance*) dan kebutuhan daya (*power*) mengalami peningkatan secara bertahap. Hambatan kapal meningkat dari 171,9 kN pada kecepatan 29 knot menjadi 209,6 kN pada kecepatan 34 knot. Sejalan dengan peningkatan tersebut, kebutuhan daya juga meningkat dari 3946,223 kW menjadi 5639,483 kW. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan kapal, semakin besar hambatan yang harus diatasi oleh sistem propulsi. Akibatnya, mesin memerlukan daya yang lebih besar untuk mempertahankan kecepatan operasi. Selain itu, nilai Froude Number yang meningkat dari 0,972 menjadi 1,140 menunjukkan bahwa pengaruh hambatan gelombang semakin besar pada kecepatan tinggi. Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa lambung U-Hull memiliki hubungan yang sebanding antara kecepatan, hambatan, dan kebutuhan daya, di mana peningkatan kecepatan akan diikuti oleh meningkatnya hambatan kapal dan daya propulsi yang dibutuhkan.

Data hasil analisis menggunakan perangkat lunak Maxsurf Resistance selanjutnya divalidasi melalui perhitungan manual untuk memastikan tingkat kesesuaian dan keakuratan hasil simulasi. Adapun proses validasi tersebut disajikan sebagai berikut:

$$\eta_{overall} = 65\%$$

$$1 \text{ knot} = 0,51444 \text{ m/s}$$

$$29 \text{ knot} = 14,91876 \text{ m/s} \quad (RT = 171,9 \text{ kN})$$

$$34 \text{ knot} = 17,49096 \text{ m/s} \quad (RT = 209,6 \text{ kN})$$

$$PE = RT \times v$$

$$= 171,9 \times 14,91876$$

$$= 2564,534844 \text{ kW}$$

$$PB = \frac{\text{effective power}}{\text{efficiency overall}}$$

$$= \frac{2564,534844 \text{ kW}}{65\%}$$

$$= 3945,438222 \text{ kW} \quad (\text{Kecepatan 29 Knot})$$

$$PE = RT \times v$$

$$= 209,6 \times 17,49096$$

$$= 3666,105216 \text{ kW}$$

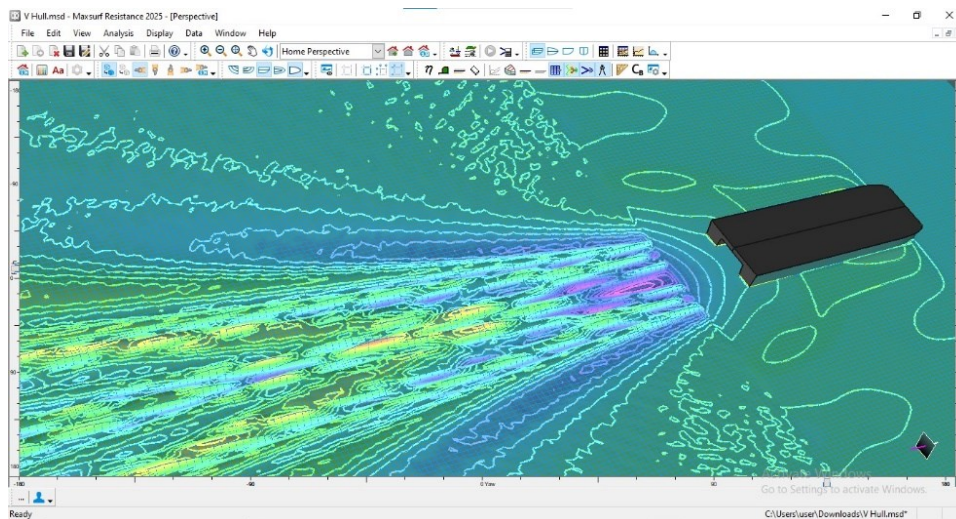
$$PB = \frac{\text{effective power}}{\text{efficiency overall}}$$

$$= \frac{3666,105216 \text{ kW}}{65\%}$$

$$= 5640,161871 \text{ kW} \quad (\text{Kecepatan } 34 \text{ Knot})$$

3.3 Analisis Hambatan Lambung Kapal Catamaran V-Hull

Analisis hambatan pada lambung kapal catamaran *V-Hull* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Resistance* dengan metode *Holtrop*. Simulasi dilakukan pada variasi kecepatan 29–34 knot untuk mengetahui karakteristik hambatan dan kebutuhan daya yang dihasilkan. Hasil simulasi disajikan dalam bentuk grafik dan tabel sebagai berikut. Hasil analisis yang diperoleh berupa nilai hambatan total (*total resistance*) dan kebutuhan daya (*effective power*) pada masing-masing kecepatan operasional kapal.

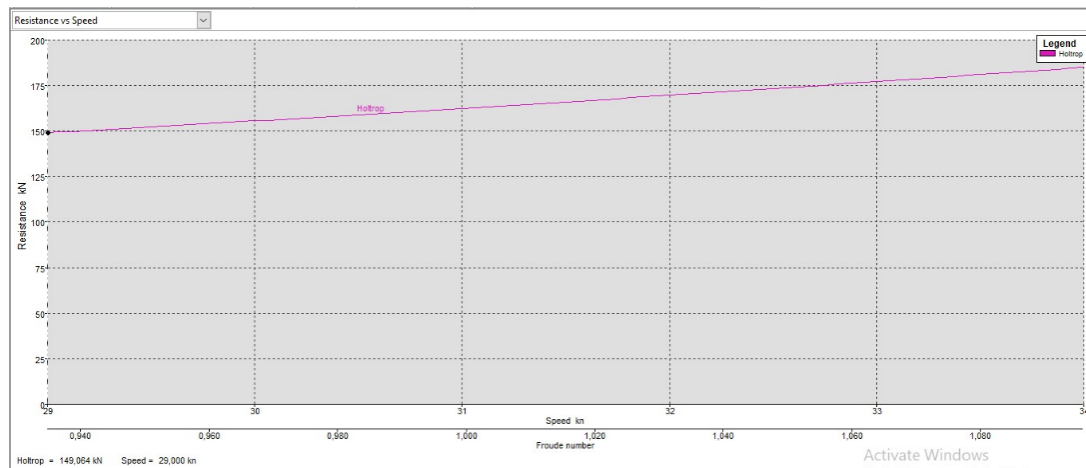


Gambar 9. Analisis Resistance Lambung Kapal V-Hull

Gambar 7 menunjukkan visualisasi pola gelombang (*wave pattern*) yang dihasilkan oleh lambung kapal catamaran *V-Hull* pada rentang kecepatan 29–34 knot berdasarkan simulasi menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Resistance* dengan metode *Holtrop*. Garis-garis kontur berwarna menggambarkan perubahan elevasi permukaan air akibat pergerakan kapal, sedangkan gradasi warna menunjukkan perbedaan intensitas gelombang yang terbentuk di sekitar lambung. Warna biru hingga hijau menunjukkan daerah dengan perubahan elevasi gelombang yang relatif kecil, sedangkan warna kuning, merah muda (magenta), hingga ungu menunjukkan daerah dengan perubahan elevasi yang lebih tinggi akibat interaksi aliran air dengan lambung kapal. Gelombang terlihat menyebar ke arah belakang kapal (*stern*) membentuk pola ship wake, yang merupakan karakteristik gelombang yang dihasilkan selama kapal bergerak.

Pola gelombang tersebut berkaitan langsung dengan hambatan gelombang (*wave-making resistance*), yaitu salah satu komponen penyusun hambatan total kapal. Ketika kecepatan kapal meningkat pada rentang 29–34 knot, sebagian energi dari sistem propulsi digunakan untuk membentuk gelombang di permukaan

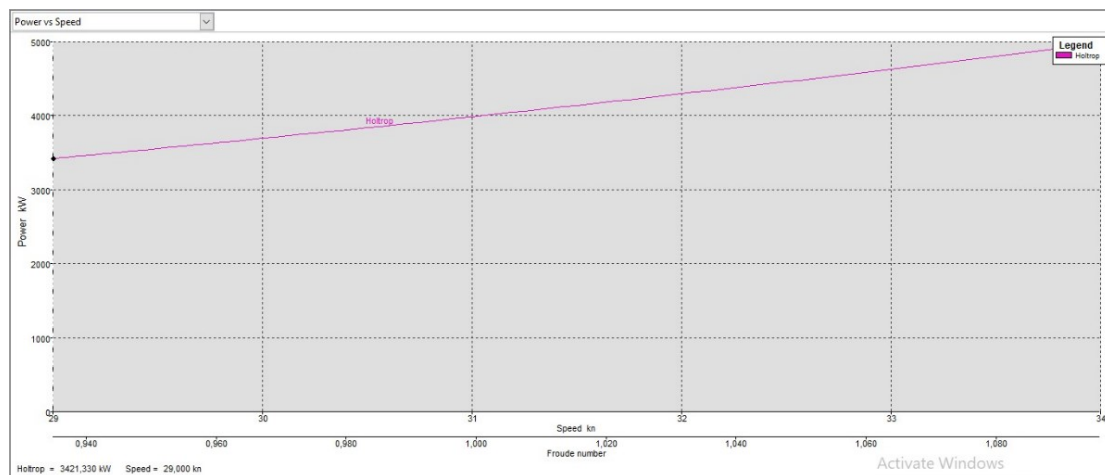
air. Semakin besar perubahan elevasi gelombang yang ditunjukkan oleh kontur warna, semakin besar pula energi yang dibutuhkan untuk mengatasi hambatan tersebut. Berdasarkan hasil visualisasi, pola gelombang pada lambung *V-Hull* tampak menyebar secara terarah di belakang kapal, yang menunjukkan bahwa bentuk lambung mampu mengalirkan air dengan lebih baik sehingga pembentukan gelombang relatif lebih kecil. Hal ini sejalan dengan hasil analisis hambatan yang menunjukkan bahwa *V-Hull* memiliki nilai hambatan dan kebutuhan daya yang lebih rendah dibandingkan *U-Hull* pada rentang kecepatan yang sama, sehingga menghasilkan performa hidrodinamika yang lebih efisien.



Gambar 10. Analisis Grafik *Resistance vs Speed*

Grafik *Resistance vs Speed* menunjukkan hubungan antara kecepatan kapal dengan hambatan total (*total resistance*) yang dihitung menggunakan metode *Holtrop*. Sumbu horizontal (X) menunjukkan kecepatan kapal dalam satuan knot, sedangkan sumbu vertikal (Y) menunjukkan besar hambatan kapal dalam satuan kiloNewton (kN). Berdasarkan hasil simulasi, hambatan kapal meningkat dari 149,06 kN pada kecepatan 29 knot menjadi sekitar 185,00 kN pada kecepatan 34 knot, yang ditunjukkan oleh garis grafik yang terus mengalami kenaikan. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan kapal, semakin besar hambatan yang harus diatasi oleh sistem propulsi. Hambatan kapal merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah gerak kapal sehingga kebutuhan gaya dorong juga semakin meningkat. Kondisi ini dipengaruhi oleh bertambahnya hambatan gesek, hambatan tekanan, dan hambatan gelombang seiring dengan peningkatan kecepatan kapal.

Berdasarkan grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan positif antara kecepatan dan hambatan kapal. Desain lambung yang menghasilkan hambatan lebih rendah pada kecepatan yang sama akan memiliki performa hidrodinamika yang lebih baik karena memerlukan daya propulsi yang lebih kecil, sehingga pengoperasian kapal menjadi lebih efisien.



Gambar 8. Grafik Power terhadap kecepatan

Grafik Power vs Speed menunjukkan hubungan antara kecepatan kapal dengan kebutuhan daya (*power*) berdasarkan perhitungan menggunakan metode *Holtrop*. Sumbu horizontal (X) menunjukkan kecepatan kapal dalam satuan knot, sedangkan sumbu vertikal (Y) menunjukkan kebutuhan daya dalam satuan kiloWatt (kW). Berdasarkan hasil simulasi, kebutuhan daya meningkat dari 3.421,33 kW pada kecepatan 29 knot menjadi sekitar 4.977,37 kW pada kecepatan 34 knot, yang ditunjukkan oleh garis grafik yang terus mengalami kenaikan. Peningkatan kebutuhan daya ini berkaitan langsung dengan besarnya hambatan kapal. Seiring bertambahnya kecepatan, hambatan yang dialami kapal juga meningkat sehingga sistem propulsi memerlukan daya yang lebih besar untuk mengatasi gaya hambat tersebut dan mempertahankan kecepatan operasi. Oleh karena itu, kebutuhan daya kapal akan terus meningkat mengikuti peningkatan hambatan.

Berdasarkan grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan kapal, semakin besar pula daya mesin yang dibutuhkan. Hasil ini menunjukkan bahwa desain lambung yang menghasilkan hambatan lebih rendah akan lebih efisien karena memerlukan daya propulsi yang lebih kecil untuk mencapai kecepatan yang sama. Dengan demikian, analisis kebutuhan daya dapat digunakan sebagai indikator dalam mengevaluasi efisiensi performa hidrodinamika suatu desain lambung kapal.

Tabel 3. Data Analisis Hambatan dan Kebutuhan Daya Lambung Kapal *Catamaran V-Hull*

Lambung Kapal <i>Catamaran V-Hull</i>				
Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power. (kW)
29	0,935	2,253	149,1	3421,33
30	0,967	2,33	155,6	3694,281
31	0,999	2,408	162,5	3985,933
32	1,032	2,486	169,7	4296,749
33	1,064	2,564	177,2	4627,115
34	1,096	2,641	185	4977,37

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan metode *Holtrop*, peningkatan kecepatan kapal dari 29 knot menjadi 34 knot menyebabkan nilai hambatan dan kebutuhan daya terus meningkat. Hambatan kapal bertambah dari 149,1 kN menjadi 185,0 kN, sedangkan kebutuhan daya meningkat dari 3421,33 kW

menjadi 4977,37 kW. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan kapal, semakin besar hambatan yang harus diatasi oleh sistem propulsi sehingga kebutuhan daya mesin juga meningkat. Selain itu, nilai *Froude Number* (LWL) meningkat dari 0,935 menjadi 1,096, sedangkan *Froude Number* (Volume) meningkat dari 2,253 menjadi 2,641, yang menunjukkan bahwa pengaruh hambatan gelombang semakin besar seiring bertambahnya kecepatan kapal. Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa lambung *V-Hull* memiliki hubungan yang sebanding antara kecepatan, hambatan, dan kebutuhan daya. Namun, dibandingkan dengan *U-Hull*, nilai hambatan dan kebutuhan daya pada *V-Hull* lebih rendah pada setiap variasi kecepatan, sehingga menunjukkan performa hidrodinamika yang lebih efisien.

Data hasil analisis menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Resistance* selanjutnya divalidasi melalui perhitungan manual untuk memastikan tingkat kesesuaian dan keakuratan hasil simulasi. Adapun proses validasi tersebut disajikan sebagai berikut:

$$\eta_{overall} = 65\%$$

$$1 \text{ knot} = 0,51444 \text{ m/s}$$

$$29 \text{ knot} = 14,91876 \text{ m/s} \quad (RT = 149,1 \text{ kN})$$

$$34 \text{ knot} = 17,49096 \text{ m/s} \quad (RT = 185 \text{ kN})$$

$$PE = RT \times v$$

$$= 149,1 \times 14,91876$$

$$= 2224,387 \text{ kW}$$

$$PB = \frac{\text{effective power}}{\text{efficiency overall}}$$

$$= \frac{2224,387}{65\%}$$

$$= 3422,133846 \text{ kW} \quad (\text{Kecepatan } 29 \text{ knot})$$

$$PE = RT \times v$$

$$= 185 \times 17,49096$$

$$= 3235,8276 \text{ kW}$$

$$PB = \frac{\text{effective power}}{\text{efficiency overall}}$$

$$= \frac{3235,8276}{65\%}$$

$$= 4978,196308 \text{ kW} \quad (\text{Kecepatan } 34 \text{ Knot})$$

3.4 Hasil Perbandingan Hambatan Kapal Catamaran *U-Hull* dengan *V-Hull*

Pada subbab ini dilakukan analisis karakter istik hambatan lambung kapal catamaran *V-Hull* berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Resistance* dengan metode *Holtrop*. Simulasi dilakukan pada rentang kecepatan 29–34 knot untuk mengetahui hubungan antara kecepatan kapal, hambatan, dan kebutuhan daya. Hasil simulasi disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. Perbandingan Resistance Kapal *Catamaran U-Hull* dengan *V-Hull*

Perbandingan Data Kapal <i>Catamaran U-Hull</i> dan <i>V-Hull</i>				
Kecepatan (knot)	Kapal <i>Catamaran U-Hull</i>		Kapal <i>Catamaran V -Hull</i>	
	Nilai Resistensi (kN)	Nilai Power (kW)	Nilai Resistensi (kN)	Nilai Power (kW)
29	171,9	3,946,223	149,1	3421,33
30	178,7	4,244,121	155,6	3,694,281
31	185,9	4,562,151	162,5	3,985,933
32	193,5	4900,58	169,7	4,296,749
33	201,4	5,259,624	177,2	4,627,115
34	209,6	5,639,483	185	4977,37

Berdasarkan Tabel 4 di atas terlihat bahwa pada setiap variasi kecepatan, lambung *V-Hull* menghasilkan nilai hambatan (*resistance*) dan kebutuhan daya (*power*) yang lebih rendah dibandingkan lambung *U-Hull*. Pada kecepatan 29 knot, hambatan *U-Hull* sebesar 171,9 kN dengan kebutuhan daya 3946,223 kW, sedangkan *V-Hull* hanya menghasilkan hambatan 149,1 kN dengan kebutuhan daya 3421,33 kW. Kondisi serupa juga terjadi pada kecepatan 34 knot, di mana hambatan *U-Hull* meningkat menjadi 209,6 kN dengan kebutuhan daya 5639,483 kW, sedangkan *V-Hull* memiliki hambatan 185,0 kN dan kebutuhan daya 4977,37 kW. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa lambung *V-Hull* memiliki karakteristik hidrodinamika yang lebih baik dibandingkan *U-Hull*. Nilai hambatan yang lebih rendah menyebabkan kebutuhan daya propulsi juga lebih kecil untuk mencapai kecepatan yang sama. Dengan demikian, *V-Hull* lebih efisien dari sisi performa hidrodinamika karena mampu mengurangi hambatan air, sehingga berpotensi menurunkan konsumsi energi dan meningkatkan efisiensi operasional kapal.

Berdasarkan hasil simulasi yang sebelumnya kamu berikan, pada rentang kecepatan 29–34 knot, *V-Hull* menghasilkan hambatan yang lebih rendah dibandingkan *U-Hull*. Pada kecepatan 34 knot, misalnya, *V-Hull* menghasilkan total resistance sebesar 185,0 kN, sedangkan *U-Hull* sebesar 209,6 kN. Dengan demikian, terdapat selisih hambatan sebesar 24,6 kN atau sekitar 11,7% terhadap *U-Hull*.

Hasil tersebut dapat dikaitkan dengan penelitian sebelumnya, yang menunjukkan bahwa karakteristik hambatan *U-Hull* dan *V-Hull* dipengaruhi oleh wetted surface area, viscous pressure resistance, form factor, dan wave resistance. Penelitian tersebut menemukan bahwa *U-Hull* memiliki frictional resistance lebih tinggi karena wetted surface area yang lebih besar. Namun, pada Froude number tertentu, *U-Hull* dapat memiliki wave resistance yang lebih rendah. Secara keseluruhan, penelitian tersebut menunjukkan bahwa performa hambatan *U-Hull* dan *V-Hull* sangat bergantung pada kecepatan operasi kapal dan juga bentuk lambung sebuah kapal [4].

3.5 Hasil Analisa Stabilitas (*Hydrostatics*) Lambung Kapal *Catamaran U-Hull*

Analisis *hydrostatics* adalah hal yang sangat penting untuk dilakukan untuk mengetahui karakteristik geometrik sebuah kapal pada kondisi terapung, seperti *displacement*, *draft*, *LCB (Longitudinal Center of Buoyancy)*, dan *wetted surface area*. Parameter-parameter tersebut penting untuk dianalisis karena berkaitan erat dengan performa hidrodinamika kapal selama beroperasi serta memengaruhi karakteristik hambatan, stabilitas, dan gerakan kapal. Selain itu, perubahan nilai draft akan memengaruhi posisi titik apung (*LCB* dan *KB*) akibat perubahan volume lambung yang terendam air. Oleh karena itu, analisis

hydrostatics diperlukan untuk mengevaluasi pengaruh perbedaan bentuk lambung *U-Hull* dan *V-Hull* terhadap karakteristik hidrostatik kapal sebelum dilakukan analisis *resistance*.

Tabel 5. Analisis Hydrostatics Lambung Kapal Catamaran U-Hull

Kapal Catamaran U-Hull				
Draft Amidship (m)	Displacement (t)	LCB from zero point (m)	LCG (m)	VCG (m)
0	0	14,999	12,002 m	1,15 m
0,05	0,2219	18,825	12,002 m	1,15 m
0,1	0,8767	17,896	12,002 m	1,15 m
0,15	1,931	17,131	12,002 m	1,15 m
0,2	3,355	16,472	12,002 m	1,15 m
0,25	5,125	15,876	12,002 m	1,15 m
0,35	9,626	14,807	12,002 m	1,15 m
0,4	12,33	14,309	12,002 m	1,15 m
0,45	15,34	13,823	12,002 m	1,15 m
0,5	18,66	13,337	12,002 m	1,15 m
0,55	22,17	12,919	12,002 m	1,15 m
0,6	25,76	12,6	12,002 m	1,15 m
0,65	29,4	12,351	12,002 m	1,15 m
0,7	33,09	12,153	12,002 m	1,15 m
0,75	36,82	11,992	12,002 m	1,15 m
0,85	44,36	11,744	12,002 m	1,15 m
0,9	48,18	11,646	12,002 m	1,15 m
0,95	52,01	11,561	12,002 m	1,15 m
1	55,86	11,487	12,002 m	1,15 m
1,05	59,73	11,421	12,002 m	1,15 m
1,1	63,62	11,363	12,002 m	1,15 m
1,15	67,52	11,31	12,002 m	1,15 m

Berdasarkan hasil simulasi hydrostatics menggunakan *Maxsurf Stability*, diperoleh hubungan antara *draft*, *displacement*, *Longitudinal Center of Buoyancy (LCB)*, *Longitudinal Center of Gravity (LCG)*, dan *Vertical Center of Gravity (VCG)* pada lambung kapal catamaran *U-Hull*, sebagaimana disajikan pada Tabel 5. Nilai draft divariasikan dari 0 m hingga 1,15 m untuk mengetahui perubahan karakteristik hidrostatik kapal pada setiap kondisi sarat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa displacement mengalami peningkatan secara bertahap dari 0 ton pada draft 0 m menjadi 67,52 ton pada draft 1,15 m. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar draft kapal, semakin besar pula volume air yang dipindahkan oleh lambung sehingga berat air yang dipindahkan juga meningkat sesuai dengan prinsip Archimedes. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kemampuan daya apung kapal bertambah seiring dengan bertambahnya kedalaman lambung yang terendam di dalam air.

Selain itu, nilai LCB mengalami perubahan dari 14,999 m pada *draft* awal menjadi 11,310 m pada draft 1,15 m. Perubahan ini menunjukkan adanya pergeseran posisi titik pusat gaya apung akibat perubahan

volume bagian lambung yang terendam air. Sementara itu, nilai LCG tetap berada pada 12,002 m dan VCG tetap sebesar 1,15 m pada seluruh variasi draft. Hal tersebut menunjukkan bahwa distribusi massa kapal tidak mengalami perubahan selama proses simulasi, sehingga perubahan karakteristik hidrostatik lebih dipengaruhi oleh perubahan kondisi apung dibandingkan perubahan distribusi beban. Secara keseluruhan, hasil analisis hydrostatics menunjukkan bahwa lambung *U-Hull* memiliki karakteristik keseimbangan yang baik, ditunjukkan oleh peningkatan displacement yang sebanding dengan bertambahnya draft serta posisi pusat gravitasi yang tetap selama simulasi. Parameter-parameter hidrostatik tersebut menjadi dasar dalam mengevaluasi kemampuan apung dan kestabilan awal kapal sebelum dilakukan analisis hambatan dan performa hidrodinamika.

3.6 Hasil Analisa Stabilitas (Hydrostatics) Lambung Kapal *Catamaran V-Hull*

Berikut merupakan hasil dari analisis hydrostatics diperlukan untuk mengevaluasi pengaruh lambung *V-Hull* terhadap karakteristik hidrostatik kapal sebelum dilakukan analisis pada *maxsurf resistance*.

Tabel 6. Analisis Hydrostatics Lambung Kapal *Catamaran V-Hull*

Kapal Catamaran V-Hull				
Draft Amidship (m)	Displacement (t)	LCB from zero point (m)	LCG (m)	VCG (m)
0	0	0	12,984 m	1,15 m
0,05	0,0954	16,324	12,984 m	1,15 m
0,1	0,3986	15,931	12,984 m	1,15 m
0,15	0,9231	15,696	12,984 m	1,15 m
0,2	1,68	15,5	12,984 m	1,15 m
0,25	2,675	15,333	12,984 m	1,15 m
0,3	3,915	15,184	12,984 m	1,15 m
0,35	5,403	15,047	12,984 m	1,15 m
0,4	7,135	14,926	12,984 m	1,15 m
0,45	9,113	14,809	12,984 m	1,15 m
0,5	11,33	14,699	12,984 m	1,15 m
0,55	13,77	14,585	12,984 m	1,15 m
0,6	16,43	14,463	12,984 m	1,15 m
0,65	19,37	14,288	12,984 m	1,15 m
0,7	22,69	14,024	12,984 m	1,15 m
0,75	26,19	13,799	12,984 m	1,15 m
0,8	29,85	13,615	12,984 m	1,15 m
0,85	33,66	13,462	12,984 m	1,15 m
0,9	37,61	13,335	12,984 m	1,15 m
0,95	41,7	13,226	12,984 m	1,15 m
1	45,92	13,134	12,984 m	1,15 m
1,05	50,26	13,054	12,984 m	1,15 m
1,1	54,73	12,985	12,984 m	1,15 m
1,15	59,24	12,926	12,984 m	1,15 m

Berdasarkan hasil simulasi hydrostatics menggunakan perangkat lunak Maxsurf Stability, diperoleh hubungan antara *draft amidship*, *displacement*, *Longitudinal Center of Buoyancy (LCB)*, *Longitudinal Center of Gravity (LCG)*, dan *Vertical Center of Gravity (VCG)* pada lambung kapal catamaran V-Hull. Variasi draft amidship dilakukan dari 0 m hingga 1,15 m untuk mengetahui perubahan karakteristik hidrostatik kapal pada setiap kondisi sarat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai displacement meningkat secara bertahap dari 0 ton pada draft 0 m menjadi 59,24 ton pada draft 1,15 m. Peningkatan ini menunjukkan bahwa semakin besar draft kapal, semakin besar pula volume lambung yang terendam sehingga jumlah air yang dipindahkan juga meningkat. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa daya apung kapal bertambah seiring dengan meningkatnya kedalaman lambung yang tercelup ke dalam air.

Selain itu, nilai LCB mengalami perubahan dari 16,324 m menjadi 12,926 m seiring bertambahnya draft, yang menunjukkan adanya pergeseran titik pusat gaya apung akibat perubahan volume lambung yang terendam. Sementara itu, nilai LCG tetap berada pada 12,984 m dan VCG tetap sebesar 1,15 m pada seluruh variasi draft. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi massa kapal tidak mengalami perubahan selama simulasi, sehingga perubahan karakteristik hidrostatik terutama dipengaruhi oleh perubahan kondisi apung. Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa lambung *V-Hull* memiliki karakteristik hidrostatik yang baik, ditunjukkan oleh peningkatan displacement yang sebanding dengan bertambahnya draft serta posisi pusat gravitasi yang tetap selama simulasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa desain lambung mampu mempertahankan keseimbangan dan kemampuan apung dengan baik, sehingga dapat mendukung performa kapal selama beroperasi.

3.7 Hasil Perbandingan Hydrostatics Kapal Catamaran U-Hull dengan V-Hull

Setelah analisis hydrostatics sudah selesai dilakukan pada masing-masing model lambung kapal, yaitu lambung U-Hull dan lambung V-Hull, yang selanjutnya dilakukan adalah membandingkan hasil simulasi kedua desain lambung kapal tersebut. Perbandingan ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh bentuk lambung terhadap karakteristik hidrostatik kapal, yang meliputi *draft amidship*, *displacement*, *Longitudinal Center of Buoyancy (LCB)*, *Longitudinal Center of Gravity (LCG)*, dan *Vertical Center of Gravity (VCG)*. Hasil perbandingan tersebut nanti akan digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi kemampuan apung dan keseimbangan kedua model lambung. Berikut adalah data perbandingan antara kapal catamaran U-Hull dan V-Hull.

Tabel 7. Analisis Perbandingan Hydrostatics Lambung Kapal Catamaran U-Hull dan V-Hull

Perbandingan Data Kapal Catamaran U-Hull dan V-Hull				
Draft (m)	Kapal Catamaran U-Hull		Kapal Catamaran V-Hull	
	Displacement (t)	LCB From Zero Point (m)	Displacement (t)	LCB From Zero Point (m)
0,5	18,66	13,337	11,33	14,699
0,55	22,17	12,919	13,77	14,585
0,6	25,76	12,6	16,43	14,463
0,65	29,4	12,351	19,37	14,288
0,7	33,09	12,153	22,69	14,024
0,75	36,82	11,992	26,19	13,799
0,8	40,58	11,857	29,85	13,615
0,85	44,36	11,744	33,66	13,462

Perbandingan Data Kapal Catamaran U-Hull dan V-Hull				
Draft (m)	Kapal Catamaran U-Hull		Kapal Catamaran V-Hull	
	Displacement (t)	LCB From Zero Point (m)	Displacement (t)	LCB From Zero Point (m)
0,9	48,18	11,646	37,61	13,335
0,95	52,01	11,561	41,7	13,226
1	55,86	11,487	45,92	13,134
1,05	59,73	11,421	50,26	13,054
1,1	63,62	11,363	54,73	12,985
1,15	67,52	11,31	59,24	12,926

Berdasarkan Tabel 7, terlihat adanya perbedaan karakteristik hydrostatics antara lambung kapal catamaran U-Hull dan V-Hull pada nilai draft yang sama. Perbandingan dilakukan pada *draft* 0,50 m dan 1,15 m dengan parameter *displacement* dan *Longitudinal Center of Buoyancy (LCB)*. Pada *draft* 0,50 m, kedua lambung memiliki nilai *displacement* yang sama, yaitu 11,33 ton. Namun, nilai LCB berbeda, di mana *U-Hull* memiliki nilai 13,337 m, sedangkan *V-Hull* sebesar 14,699 m. Perbedaan ini menunjukkan bahwa posisi titik pusat gaya apung pada kedua lambung tidak sama akibat perbedaan bentuk geometri lambung. Bentuk *V-Hull* yang lebih runcing menyebabkan distribusi volume terendam berbeda dibandingkan *U-Hull*, sehingga posisi pusat gaya apung bergeser lebih ke arah memanjang.

Pada draft 1,15 m, perbedaan kedua lambung menjadi lebih jelas. Lambung *U-Hull* memiliki *displacement* sebesar 67,52 ton, sedangkan *V-Hull* hanya 59,24 ton. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi draft maksimum, *U-Hull* mampu memindahkan volume air yang lebih besar dibandingkan *V-Hull*. Nilai *displacement* yang lebih besar menunjukkan bahwa volume lambung yang terendam juga lebih besar, sehingga kemampuan apung meningkat. Akan tetapi, volume terendam yang lebih besar juga menyebabkan luas permukaan basah (*wetted surface area*) meningkat, sehingga berpotensi menghasilkan hambatan yang lebih tinggi. Selain itu, nilai LCB pada *U-Hull* sebesar 11,310 m, sedangkan pada *V-Hull* sebesar 12,926 m. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa distribusi gaya apung pada kedua desain lambung tidak sama. Posisi LCB dipengaruhi oleh bentuk geometri lambung dan distribusi volume yang terendam, sehingga setiap desain memiliki karakteristik *hydrostatics* yang berbeda.

Secara keseluruhan, hasil perbandingan menunjukkan bahwa *U-Hull* memiliki *displacement* yang lebih besar, sedangkan *V-Hull* memiliki *displacement* yang lebih kecil pada *draft* yang sama. Kondisi ini sejalan dengan hasil analisis hambatan yang menunjukkan bahwa *V-Hull* menghasilkan nilai *resistance* dan kebutuhan daya yang lebih rendah dibandingkan *U-Hull*. Dengan demikian, bentuk lambung *V-Hull* dapat dikatakan memiliki karakteristik hidrodinamika yang lebih efisien untuk kondisi operasi yang dianalisis, sementara *U-Hull* menawarkan kemampuan apung yang lebih besar karena volume lambung yang terendam lebih banyak.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan Maxsurf Resistance, kedua model kapal menunjukkan peningkatan hambatan total seiring dengan bertambahnya kecepatan. Pada rentang kecepatan 29–34 knot, model *V-Hull* menghasilkan hambatan total yang lebih rendah dibandingkan model *U-Hull*. Pada kecepatan 34 knot, hambatan total *V-Hull* sebesar 185,0 kN, sedangkan *U-Hull* mencapai 209,6 kN, sehingga terdapat

selisih sebesar 24,6 kN. Hasil tersebut menunjukkan bahwa V-Hull memiliki performa hidrodinamika yang lebih baik dari aspek hambatan pada rentang kecepatan yang dianalisis. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian Hakim et al. (2023) yang menunjukkan bahwa karakteristik hambatan U-Hull dan V-Hull dipengaruhi oleh luas permukaan basah, hambatan gesek, hambatan tekanan viskos, faktor bentuk, serta hambatan gelombang. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa pemilihan bentuk lambung terhadap hambatan sangat dipengaruhi oleh kecepatan operasi kapal.

Berdasarkan hasil analisis hydrostatics menggunakan Maxsurf Stability, terdapat perbedaan karakteristik displacement dan posisi longitudinal center of buoyancy (LCB) antara U-Hull dan V-Hull. Pada draft 1,15 m, U-Hull memiliki displacement sebesar 67,52 ton, sedangkan V-Hull sebesar 59,24 ton. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa U-Hull memiliki volume terendam yang lebih besar pada kondisi draft yang sama dibandingkan V-Hull. Selain itu, nilai LCB U-Hull sebesar 11,31 m, sedangkan V-Hull sebesar 12,926 m dari zero point. Perbedaan posisi LCB menunjukkan adanya perbedaan distribusi volume terendam pada kedua bentuk lambung. Dengan demikian, variasi bentuk U-Hull dan V-Hull tidak hanya memengaruhi karakteristik hambatan, tetapi juga memengaruhi karakteristik hydrostatics kapal, khususnya displacement dan distribusi gaya apung.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis hambatan total dan kebutuhan daya menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Resistance*, diketahui bahwa nilai hambatan total dan kebutuhan daya pada kedua model kapal meningkat seiring bertambahnya kecepatan. Pada kecepatan 34 knot, lambung *V-Hull* menghasilkan hambatan total sebesar 185,0 kN dengan kebutuhan daya 4.977,37 kW, sedangkan lambung *U-Hull* menghasilkan hambatan total sebesar 209,6 kN dengan kebutuhan daya 5.639,48 kW. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *V-Hull* memiliki hambatan total dan kebutuhan daya yang lebih rendah, sehingga lebih efisien dari aspek hidrodinamika. Berdasarkan hasil analisis hidrostatik menggunakan Maxsurf Stability Enterprise, dapat diketahui bahwa karakteristik hidrostatik kedua desain lambung berbeda berdasarkan parameter displacement, Longitudinal Center of Buoyancy (LCB), dan draft. Pada draft 1,15 m, U-Hull memiliki displacement sebesar 67,52 ton dan LCB sebesar 11,310 m, sedangkan V-Hull memiliki displacement sebesar 59,24 ton dan LCB sebesar 12,926 m. Nilai LCB pada kedua desain mengalami perubahan seiring dengan bertambahnya draft, yang menunjukkan adanya perubahan posisi pusat apung secara longitudinal akibat perubahan volume badan kapal yang tercelup. Hasil tersebut menunjukkan bahwa U-Hull memiliki displacement lebih besar, sedangkan V-Hull memiliki posisi LCB yang lebih jauh dari zero point pada kondisi draft 1,15 m.

Berdasarkan keseluruhan hasil penelitian, lambung *V-Hull* direkomendasikan untuk kapal patroli yang mengutamakan kecepatan, efisiensi hidrodinamika, dan kebutuhan daya yang lebih rendah, sedangkan lambung *U-Hull* direkomendasikan untuk kapal yang mengutamakan kemampuan daya apung, kapasitas angkut, serta kemudahan dan efisiensi proses fabrikasi. Oleh karena itu, pemilihan bentuk lambung hendaknya disesuaikan dengan kebutuhan operasional kapal yang akan dirancang.

Dartar Pustaka

- [1] J. Hasil, K. Ilmiah, A. Muazri, A. Trimulyono, and M. Iqbal, "JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Analisis Pengaruh Lambung U Bottom dan V Bottom Terhadap Hambatan Pada Kapal Ikan Menggunakan Metode Holtrop," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 14, no. 1, p. 1, 2026, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [2] Yosef Budiman, Formuji Romansyah, and Mukhamad Nur Rochim, "Perancangan bodi kapal patroli lepas pantai: analisis numerik hidrodinamika bodi deep v-hull, bulbous hull, dan catamaran melalui simulasi software maxsurf," 2022.
- [3] S. Misbahudin, A. Widiyanto, A. Pratama, C. Tri, T. Dewi, and M. A. Salvikran, "LAUT TERITORIAL INDONESIA," 2022. [Online]. Available: www.petestep.com
- [4] M. L. Hakim, Tuswan, A. Firdaus, and O. Mursid, "INVESTIGATING THE COMPARISON OF SHIP RESISTANCE COMPONENTS BETWEEN U AND V-SHAPED HULLS," *J. Teknol.*, vol. 85, no. 3, pp. 153–164, May 2023, doi: 10.11113/jurnalteknologi.v85.19382.
- [5] K. Ulgen and M. R. Dhanak, "Hydrodynamic Performance of a Catamaran in Shallow Waters," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 10, no. 9, Sep. 2022, doi: 10.3390/jmse10091169.
- [6] I. J. Caecielia and N. D. Tuharea, "Analisis of Hull Shape Art, Speed, Resistance, Power Using Holtrop Method On A Vessel With DWT 12,335 Ton," *Maritime Park Journal of Maritime Technology and Society*, pp. 84–89, Oct. 2022, doi: 10.62012/mp.v1i3.21950.
- [7] J. Hasil Karya Ilmiah *et al.*, "Analisa Hambatan Kapal Bulk Carrier 22500 DWT Pada Perairan Semarang-Singapura," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 13, no. 2, 2025, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [8] Gilang Andika Putra dan Arif Winarno, "STUDI PENGARUH VARIASI BENTUK WAVE-PIERCING TERHADAP HAMBATAN PADA KAPAL KATAMARAN UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PEMAKAIAN BAHAN BAKAR," 2022.
- [9] J. M. K. Godø, S. Steen, and O. M. Faltinsen, "An Efficient Method for Design and Powering Prediction of Fast Slender Catamarans," *Ocean Engineering*, vol. 286, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.115589.
- [10] M. Edi Prayitno and S. Hari Wisudo, "Analysis of Technical Specifications of 180 GT Purse Seine Vessel in Fishing Line III Fisheries Management Area (FMA) 572," 2022.
- [11] B. Zima, K. Woloszyk, and Y. Garbatov, "Experimental and numerical identification of corrosion degradation of ageing structural components," *Ocean Engineering*, vol. 258, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.oceaneng.2022.111739.
- [12] M. Kamalahasan, T. Raghu, B. Swapna, K. Saravanan, and D. Manjula, "Renewable Energy Powered Autonomous Smart Ocean Surface Vehicles (REASOSE)," *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 14, no. 7, pp. 1–15, 2022, doi: 10.30880/IJIE.2022.14.07.001.
- [13] J. Leitch, J. Ali-Lavroff, D. S. Holloway, and J. A. Mehr, "Investigation into structural optimisation techniques for large wave-piercing catamaran vessels," *Marine Structures*, vol. 109, Jul. 2026, doi: 10.1016/j.marstruc.2026.104102.
- [14] A. G. MuhammadLuqmanHakim, "Comparative Analysis of Slamming Phenomenon Prediction between U and VHulls using Strip Theory Method," vol. 19, 2022, doi: <https://doi.org/10.14710/kapal.v19i3.46805>.
- [15] A. Windyandari, S. Sugeng, M. Ridwan, and A. K. Yusim, "Study on resistance performance of hexagonal hull form with variation of angle of attack, deadrise, and stern for flat-sided catamaran vessel," *Curved and Layered Structures*, vol. 11, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.1515/cls-2024-0016.

