



2580-2798 (e)
2588-6225 (p)

Inovtek Polbeng: Jurnal Inovasi Teknologi Politeknik Negeri Bengkalis
(Bengkalis State Polytechnic Technology Innovation Journal)

journal homepage: <https://jurnal.polbeng.ac.id/index.php/IP/index>

ANALISIS VALIDASI PERHITUNGAN HIDROSTATIK KAPAL NIAGA: PERBANDINGAN ANTARA METODE MANUAL DAN SIMULASI KOMPUTASI MENGGUNAKAN MAXSURF

Lilik Khoiriyah¹⁾, Muhammad Al Hazman¹⁾, Ruddianto¹⁾, Andri Djumiati¹⁾, Yulia Ayu Nastiti¹⁾, Siti Rahayuningsih¹⁾

¹⁾ Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia 60111

Corresponding Author: lilikkhoiriyah@ppns.ac.id

Article Info

Abstract

Keywords:

Analisis Hidrostatik, Maxsurf, Validasi Metode, Ship Design, Kapal Cargo

Article history:

Received: 09/11/2025
Last revised: 10/11/2025
Accepted: 25/11/2025
Available online: 26/11/2025
Published: 28/11/2025

DOI: [https:// 10.35314/wvxfef21](https://10.35314/wvxfef21)

Abstrak

Validasi perhitungan hidrostatik merupakan aspek krusial dalam desain kapal guna menjamin akurasi data sesuai standar keselamatan kapal. Penelitian ini membahas perbandingan hasil perhitungan hidrostatik antara metode manual konvensional dan simulasi perangkat lunak Maxsurf pada kapal cargo berukuran 90 meter. Dengan menggunakan Maxsurf Modeler, dilakukan pemodelan tiga dimensi lambung kapal serta analisis parameter hidrostatik utama pada berbagai waterline. Hasil menunjukkan deviasi rata-rata parameter hidrostatik sebesar 1,23%, jauh di bawah batas toleransi maksimal 5%. Nilai deviasi tertinggi terjadi pada *Wetted Surface Area* (WSA) sebesar 1,48%, sedangkan *Waterplane Area* (WPA) berkisar antara 0,72% hingga 1,17%. Semua koefisien bentuk (CW, CM, CB, CP) memiliki deviasi rata-rata di bawah 2%. Parameter stabilitas seperti TPC dan MTC juga menunjukkan deviasi rendah, masing-masing 0,4% dan 1,16%. Posisi pusat apung dan titik metacentric memiliki deviasi rata-rata di bawah 2%. Hasil penelitian ini bertujuan untuk membuktikan konsistensi antara metode manual dan maxsurf serta menegaskan validitas maxsurf sebagai acuan utama dalam perancangan dan verifikasi data hidrostatik kapal. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menilai pentingnya integrasi metode manual dan digital demi memastikan akurasi dan keandalan desain kapal sesuai standar keselamatan pelayaran.

Abstract

This study aims to validate hydrostatic calculations, which are a crucial aspect of ship design to ensure data accuracy in accordance with maritime safety standards. The results compare hydrostatic calculations between conventional manual methods and Maxsurf software simulations for a 90-meter cargo vessel. Utilizing Maxsurf Modeler, a three-dimensional hull model and analysis of key hydrostatic parameters at various waterlines were performed. The findings show an average deviation of hydrostatic parameters of 1.23%, well below the maximum allowable limit of 5%. The highest deviation was observed in Wetted Surface Area (WSA) at 1.48%, while Waterplane Area (WPA) ranged from 0.72% to 1.17%. All form coefficients (CW, CM, CB, CP) exhibited deviations below 2%. Stability parameters such as TPC and MTC also showed low deviations, 0.4% and 1.16% respectively. The positions of the buoyancy center and metacentric point had deviations below 2%. The results validate the high consistency between manual and Maxsurf calculations and affirm the validity of Maxsurf as the primary tool for designing and verifying hydrostatic data. Furthermore, this research underscores the importance of integrating manual and digital methods to ensure the precision and reliability of ship designs in compliance with maritime safety standards.

1. PENDAHULUAN

Perhitungan hidrostatik kapal merupakan tahapan krusial dalam proses rekayasa dan desain kapal, karena secara langsung menentukan karakteristik fisik lambung yang tercelup di laut serta mempengaruhi stabilitas dan performa kapal selama operasi. Proses ini menyangkut perhitungan volume air yang dipindahkan (*displacement*), posisi pusat apung (*center of buoyancy*), serta berbagai parameter kunci seperti tinggi *metacentric* (GM) dan *righting arm* (GZ), yang bersama-sama digunakan untuk memprediksi respon kapal terhadap perubahan sarat dan pembebanan pada berbagai situasi operasi, baik normal maupun ekstrem.

Dengan tersedianya data hidrostatik yang akurat, aspek keselamatan dan kinerja operasional kapal dapat dijamin sepanjang siklus operasional kapal [1]. Standar-standar seperti SOLAS, pedoman IMO, serta persyaratan pihak klasifikasi seperti IACS, secara eksplisit mengatur metode perhitungan dan validasi stabilitas kapal, menekankan pentingnya rekonsiliasi antara perhitungan manual dan simulasi komputasi seperti Maxsurf.

Dalam proses desain, sifat-sifat hidrostatik umumnya digambarkan dalam bentuk kurva hidrostatik yang memperlihatkan karakteristik lambung pada berbagai tingkat sarat (*draft*) saat kapal dalam keadaan *even keel* merupakan acuan dalam penetapan desain agar memenuhi syarat *subdivision indemnity* (pembagian ruang kedap) [2]. Kurva-kurva tersebut mencakup *displacement*, posisi pusat apung (KB) [3]. Selain itu, terdapat parameter lain seperti tinggi *metacentric transversal* dan *longitudinal* (TKM & LKM), luas permukaan basah (WSA), luas bidang air (WPA), serta luas penampang tengah kapal (MSA). Indikator penting lainnya adalah perubahan *displacement* akibat trim (DDT), momen untuk mengubah trim (MTC), *ton per centimeter immersion* (TPC), dan koefisien-koefisien geometris seperti C_b , C_p , C_m , dan C_w yang mencerminkan efisiensi bentuk lambung kapal.

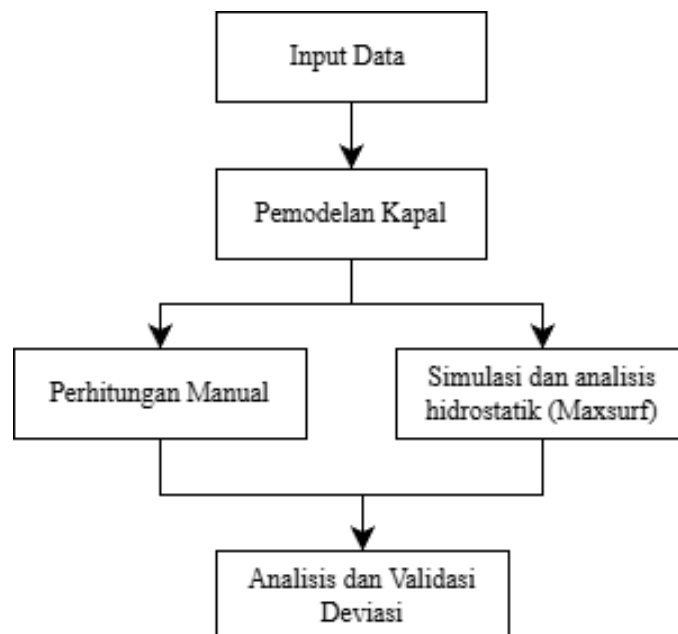
Seluruh parameter tersebut menjadi acuan utama analisis dan perancangan, sekaligus memungkinkan desainer kapal menentukan dimensi utama seperti *Length Between Perpendicular* (LPP), lebar (B), dan tinggi (H) pada setiap kondisi sarat. Perhitungan ini secara konvensional dilakukan secara manual berbasis matematis pada *lines plan* kapal, namun metode ini membutuhkan waktu dan ketelitian yang tinggi terutama untuk bentuk lambung kompleks. Sejalan dengan perkembangan teknologi, perangkat lunak desain kapal yaitu Maxsurf memiliki kemampuan simulasi hidrostatik berbasis panel mesh dan pemodelan tiga dimensi yang mempercepat serta meningkatkan akurasi proses desain pada analisis hambatan dan daya mesin serta stabilitas [4], [5], [6]. Meskipun demikian, validasi terhadap hasil perhitungan manual tetap diperlukan guna memastikan keandalan hasil simulasi.

Beberapa penelitian terdahulu mengenai penggunaan metode komputasi Maxsurf dalam perhitungan hidrostatik kapal niaga menunjukkan masih terbatasnya kajian yang membandingkan secara komprehensif antara perhitungan konvensional dengan hasil simulasi Maxsurf pada kapal. Romadhoni et al. (2024) menjelaskan adanya deviasi yang sangat kecil (kurang dari 2%) antara hasil Maxsurf dan Hydrostar untuk parameter hidrostatik utama, yang menunjukkan tingkat akurasi simulasi yang tinggi [7]. Studi oleh Poundra et al (2024) membahas validasi gaya hidrodinamika dan parameter stabilitas termasuk GM dan kurva GZ pada berbagai tipe *hull*, dengan menggunakan maxsurf. Hasilnya menunjukkan kesesuaian yang baik dengan perhitungan manual tradisional, sehingga memperkuat keandalan Maxsurf dalam rancangan kapal niaga modern [8]. Beberapa studi pendukung lain yang relevan menguatkan pentingnya validasi ini, antara lain Ghyferi et al. (2022) yang membandingkan karakteristik hidrostatik *hull* menggunakan Maxsurf dan metode manual dengan hasil yang konsisten [9], analisis hambatan total dan olah gerak kapal *general cargo* dengan metode manual konvensional dan simulasi Maxsurf juga telah dilakukan oleh Zakaria et al (2024) dengan validasi data hidrostatik antara model 3D kapal dengan data kapal asli juga dilakukan sebagai

upaya memastikan keakuratan model simulasi [10], selain itu, perbandingan hasil antara metode manual dan Maxsurf dalam analisis hidrostatik dan stabilitas juga dilakukan dengan menekankan pentingnya verifikasi hasil simulasi komputer dengan metode analitis untuk memastikan keandalan dan keselamatan rancangan kapal [11], [12], [13]. Di sisi lain, Pudji Nurhendra et al. (2024) menegaskan peran penting rekonsiliasi kedua metode tersebut dalam analisis hambatan dan performa hidrodinamik kapal tanker, dimana simulasi membantu mempercepat evaluasi tanpa mengorbankan keakuratan [14]. Biran (2024) dalam bukunya juga menekankan kombinasi perhitungan manual dan komputasi sebagai mekanisme verifikasi yang baik untuk menjaga integritas data hidrostatik sekaligus mengoptimalkan hasil desain [15]. Serta studi-studi lain yang mengkaji perhitungan dan validasi hidrodinamika kapal menggunakan Maxsurf sebagai alat bantu komputasi. Studi-studi tersebut memperkuat landasan penelitian ini dalam mengkaji validasi perhitungan hidrostatik antara metode manual dan komputasi sebagai bagian dari upaya peningkatan desain kapal niaga yang efektif dan akurat. Validasi dan perbandingan secara sistematis antara kedua metode tersebut sangat penting untuk memperkuat proses desain kapal, baik dari segi efisiensi waktu maupun akurasi teknis. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan melakukan analisis dan validasi perbandingan hasil perhitungan hidrostatik kapal niaga jenis kapal kargo dengan panjang 90 meter antara metode konvensional dan simulasi maxsurf.

2. METODE

Dalam proses analisis hidrostatik kapal diperlukan beberapa macam data dan masukan untuk dianalisis lebih lanjut. Data tersebut dibedakan menjadi dua macam, yaitu data primer dan data sekunder [7]. Data primer adalah data input utama yang diperlukan dalam pengerjaan analisis hidrostatik, data primer penelitian ini berupa data ukuran utama kapal (Tabel 1). Sedangkan data sekunder adalah data pendukung yang dibutuhkan dalam pengerjaan analisis hidrostatik. Data sekunder meliputi data dari buku dan jurnal pendukung yang diperoleh dari literatur yang ada. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. berikut ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Objek Penelitian

Objek penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kapal tipe *cargo*. Sebelum dilakukan analisa lanjutan, diperlukan data perancangan tahap awal kapal berupa *principal dimension*, dan *lines plan*. Setelah data diperoleh, langkah selanjutnya adalah membuat model kapal dalam bentuk tiga dimensi, yang kemudian akan digunakan untuk analisis lebih lanjut dengan bantuan perangkat lunak yang diperlukan.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Length Over All (LOA)</i>	97.00	m
<i>Length Water Line (LWL)</i>	93.00	m
<i>Length Between Perpendiculars (LPP)</i>	90.00	m
<i>Breadth (B)</i>	16.00	m
<i>Depth Moulded (H)</i>	7.50	m
<i>Draft (T)</i>	6.00	m
Vs	12.00	knot

Berdasarkan Tabel 1. Ukuran Utama Kapal diatas menunjukkan LOA atau panjang keseluruhan kapal adalah 97 meter. LPP atau panjang antara garis tegak haluan dengan garis tegak buritan sepanjang 90 meter. B atau lebar kapal adalah 16 meter. T atau sarat kapal adalah 6 meter. H atau tinggi kapal dari *base line* sampai dengan geladak adalah 7.5 meter. Dan kecepatan kapal adalah 12 knot. Data diatas dapat dijadikan sebagai acuan dalam proses pembuatan dan validasi model 3D kapal.

2.2 Menghitung Hidrostatik

Menghitung masing-masing luas *station* kemudian diintegrasikan kearah memanjang kapal, maka akan diperoleh volume *displacement* kapal (V) tersebut menggunakan formulasi .

$$V = 2 \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{3} \times \alpha \times \beta \times \sum (YS') S \quad (1)$$

α = jarak antar station (m)

β = jarak antar sarat kapal (m)

$\Sigma(YS)S'$ = jumlah perkalian $\frac{1}{2}$ lebar kapal dengan faktor Simpson secara vertikal dan horizontal

2.3 Menghitung Wetted Surface Area (WSA) dan Water Plane Area (WPA)

Luas bidang garis air kapal, yang dikenal sebagai *Water Plane Area (WPA)*, merupakan representasi dari luas penampang horizontal badan kapal pada bidang permukaan air, yang dinyatakan dalam satuan meter persegi [15]. Besaran WPA dapat ditentukan melalui pengukuran lebar kapal pada setiap *station* untuk kondisi sarat tertentu. Serupa dengan perhitungan *Midship Sectional Area (MSA)*, jumlah *station* yang digunakan idealnya merupakan kelipatan tiga guna mempermudah penerapan metode Simpson dalam proses integrasi numerik [16]. Hasil pengukuran tersebut

kemudian diintegrasikan sepanjang arah horizontal, sehingga diperoleh total luas bidang garis air kapal atau *Water Plane Area* [16].

$$WPA = 2 \times \frac{1}{3} \times \alpha \times \sum (YS) \quad (2)$$

α = jarak antar *station*

$\Sigma(YS)$ = jumlah perkalian $\frac{1}{2}$ lebar kapal dengan faktor Simpson secara horizontal

$$WSA = 2 \times \frac{1}{3} \times \alpha \times \sum HG \quad (3)$$

α = jarak antar *station*

ΣHG = jumlah perkalian panjang dari bentangan *station* dikalikan dengan faktor Simpson

Selanjutnya, untuk menghitung luas bidang permukaan basah atau *Wetted Surface Area* (WSA), perhitungan dilakukan terhadap seluruh permukaan kulit kapal yang berada di bawah garis air, juga dalam satuan meter persegi [15]. Nilai WSA umumnya digunakan untuk memperkirakan kebutuhan material pelapis, seperti cat *anti-fouling*, pada bagian lambung kapal yang terendam. Dengan mengetahui efisiensi penggunaan cat per satuan luas ($m^2/liter$), maka estimasi kebutuhan total cat dapat ditentukan secara kuantitatif dalam satuan liter atau kaleng.

Pada kondisi sarat nol, nilai WSA secara teoritis akan setara dengan nilai WPA karena kedua bidang tersebut berimpit pada satu posisi geometris yang sama. Namun, pada tipe kapal yang memiliki *rise of floor*, nilai WSA pada kondisi sarat nol tidak bernilai nol, disebabkan oleh adanya bagian lebar kapal (setengah *breadth*) yang tetap memiliki luasan tertentu. Sebaliknya, pada kapal tanpa *rise of floor*, nilai WSA pada kondisi sarat nol akan bernilai nol, karena tidak terdapat bagian badan kapal yang menyentuh bidang horizontal tersebut.

2.4 Validasi Hasil Analisis Hidrostatik

Tahapan validasi dilakukan untuk membandingkan hasil perhitungan hidrostatik yang diperoleh melalui metode analitik manual dengan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak Maxsurf Stability. Pendekatan ini bertujuan menilai tingkat kesesuaian antara kedua metode serta mengidentifikasi deviasi yang mungkin timbul akibat perbedaan asumsi, resolusi numerik, dan representasi geometris pada model. Hasil dari setiap metode dievaluasi secara sistematis dengan mengacu pada parameter hidrostatik utama yang mencakup *displacement volume*, luas bidang garis air (*waterplane area*), koefisien bentuk, serta letak titik-titik keseimbangan kapal seperti KB (*Keel To Center Of Buoyancy*), BM (*Metacentric Radius*), dan KM (*Keel To Metacenter*).

Pada metode konvensional, perhitungan dilakukan berdasarkan prinsip hidrostatik konvensional dengan memanfaatkan data *offset table* dan *lines plan* kapal. Pendekatan ini menggunakan integrasi numerik dari luas potongan melintang untuk memperoleh nilai volume dan momen apung pada berbagai kondisi sarat. Sementara itu, pada Maxsurf Stability, perhitungan dilakukan secara otomatis melalui pemrosesan model tiga dimensi yang telah dibuat sebelumnya pada Maxsurf Modeler. Proses ini melibatkan *starting mesh* permukaan lambung dan perhitungan numerik berbasis *kurva sectional area*.

Seluruh data hasil perhitungan dari kedua metode kemudian disajikan dalam bentuk tabel komparatif dan grafik perbandingan untuk memudahkan pengamatan terhadap pola kesesuaian.

Persentase deviasi (E) antara metode manual dan simulasi dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$E = \left| \frac{X_m - X_s}{X_m} \right| \times 100\% \quad (4)$$

Dimana X_m merupakan hasil perhitungan manual, sedangkan X_s adalah hasil dari simulasi Maxsurf. Nilai deviasi yang rendah menunjukkan tingkat validitas tinggi terhadap hasil pemodelan dan akurasi pemrosesan data geometris yang telah dilakukan.

Maksimal deviasi yang dapat diterima antara perhitungan manual dan perhitungan komputasi seperti Maxsurf pada analisis hidrostatis kapal niaga berada di bawah 5%. Deviasi di bawah 2% sering dianggap baik dan menunjukkan bahwa hasil simulasi memiliki akurasi tinggi serta dapat diandalkan sebagai dasar perancangan kapal [7]. Berdasarkan Biran (2003) dalam buku *Ship Hydrostatic and Stability* menyebutkan bahwa toleransi deviasi dalam perhitungan hidrostatis kapal yang praktis berada pada kisaran 3-5%, tergantung pada kompleksitas *hull form* dan akurasi data input yang digunakan [15]. Deviansi yang lebih besar dari itu perlu dievaluasi ulang untuk menghindari risiko kesalahan desain yang berpotensi membahayakan keselamatan kapal.

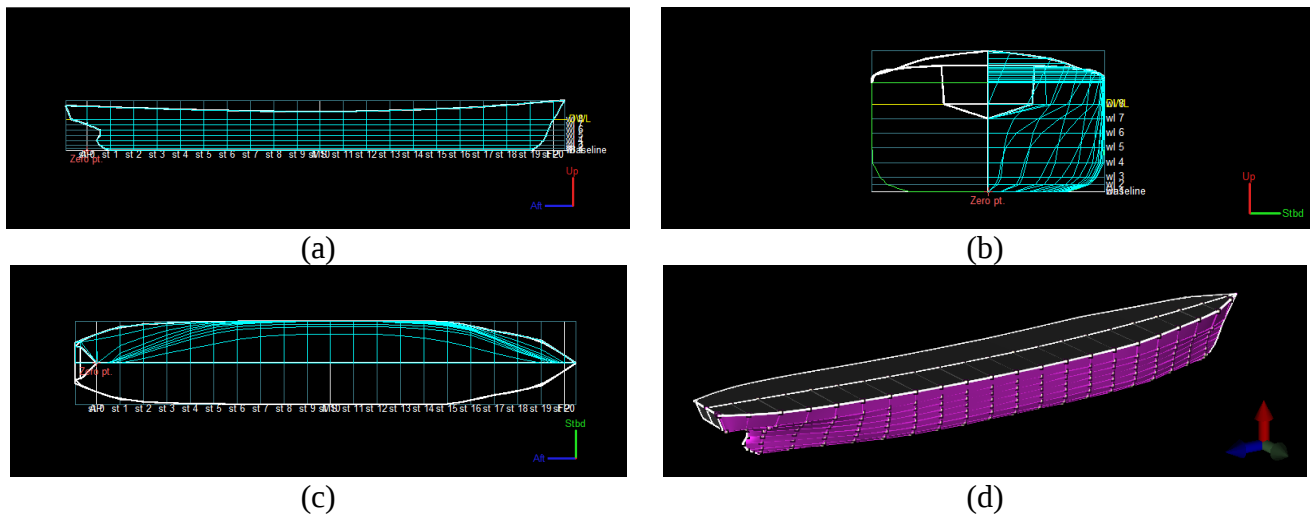
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan Tiga Dimensi Kapal

Pemodelan tiga dimensi lambung kapal dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak Maxsurf Modeler untuk konstruksi geometri permukaan kapal. Langkah awal yaitu pendefinisian parameter dimensi utama, yaitu panjang LPP, lebar maksimum, dan sarat air, yang berperan sebagai dasar pembentukan konfigurasi ruang lambung. Parameter LPP digunakan sebagai acuan dalam menentukan jarak horizontal antara bidang vertikal haluan dan buritan, sehingga proporsi dimensi kapal pada model digital dapat menggambarkan kondisi geometri sebenarnya. Pemodelan tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 2 tentang hasil pemodelan tiga dimensi kapal.

Proses berikutnya melibatkan integrasi dokumen *lines plan* kapal sebagai sumber referensi geometrik. *File lines plan* diimpor dan ditempatkan pada bidang koordinat di Maxsurf, berfungsi sebagai panduan visual dalam proses *fairing* permukaan. Melalui proses iteratif, bentuk lambung disesuaikan hingga keselarasan antara garis-garis konstruktif seperti *sheer line*, *buttock line*, *station line*, dan *waterline* tercapai. Tahapan *fairing* ini bertujuan untuk mengurangi ketidakraturan bentuk dan menghasilkan permukaan kontinu yang memenuhi kriteria hidrodinamik serta kesesuaian bentuk dengan rancangan aslinya.

Setelah bentuk akhir diperoleh, dilakukan verifikasi dengan membandingkan *lines plan* hasil pemodelan terhadap *lines plan* asli kapal. Evaluasi dilakukan dengan memperhatikan deviasi linier pada titik-titik referensi utama guna memastikan konsistensi geometri model dengan desain dasar. Akurasi model digital ini memiliki peran krusial dalam validasi analisis hidrostatis, karena ketidaktepatan bentuk dapat menyebabkan penyimpangan nilai pada parameter hidrostatis seperti volume perpindahan, luas bidang garis air, dan posisi titik-titik keseimbangan (KB, BM, KM). Oleh karena itu, keberhasilan pemodelan tiga dimensi menjadi prasyarat utama untuk menjamin keandalan hasil verifikasi antara perhitungan manual dan hasil simulasi numerik menggunakan Maxsurf.



Gambar 2. Hasil Pemodelan 3 Dimensi Kapal

Tampilan pada Gambar 2 dibagi menjadi empat bagian utama dengan berbagai sudut pandang, tampilan dari kiri atas (a) adalah tampak dari samping atau *sheer plan*, tampilan dari kanan atas (b) adalah tampilan dari depan atau *body plan*, tampilan dari kiri bawah (c) adalah tampak dari atas atau *half breadth plan*, dan tampilan (d) adalah visualisasi perspektif 3D lambung kapal.

3.2 Hasil Analisis Hidrostatik dengan Metode Konvensional

Berdasarkan dari hasil perhitungan hidrostatik kapal dengan metode konvensional, diperoleh hasil sebagai berikut pada Tabel 2.

Tabel 2 dibawah menyajikan hasil perhitungan parameter hidrostatik utama yang diperoleh melalui pendekatan konvensional berdasarkan data *lines plan* dan *offset table* kapal. Perhitungan dilakukan pada beberapa *Waterline* (WL) untuk mengamati perubahan karakteristik hidrostatik seiring bertambahnya sarat. Parameter yang disajikan meliputi luas bidang garis air *Waterplane Area* (WPA), koefisien bentuk (CW), *Ton Per Centimeter Immersion* (TPC), luas permukaan air (WSA), *volume displacement* (DISP), serta letak berbagai titik keseimbangan seperti KB (*Keel to Center of Buoyancy*), BM (*Metacentric Radius*), dan KM (*Keel to Metacenter*).

Seluruh nilai dihitung secara sistematis untuk menggambarkan distribusi parameter hidrostatik pada kondisi sarat berbeda, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam validasi terhadap hasil simulasi numerik.

Tabel 2. Hasil Analisis Hidrostatik dengan Metode Konvensional

Parameter Hidrostatik	Water Line (WL)					
	1	2	3	4	5	6
WPA	934.794	1005.954	1039.62	1076.742	1129.18	1251.31
WSA	988.11	1178.812	1357.888	1540.368	1740.87	1979.36
CW	0.737	0.733	0.755	0.779	0.798	0.846
CM	0.909	0.915	0.939	0.954	0.964	0.971
CB	0.645	0.656	0.683	0.702	0.701	0.692
CP	0.715	0.717	0.728	0.735	0.725	0.715
TPC	9.581	10.311	10.656	11.036	11.589	12.815
MTC	39.035	42.597	45.158	49.026	56.657	56.657
KB	0.534	1.061	1.583	2.096	2.627	3.187

Tabel 2. Hasil Analisis Hidrostatik dengan Metode Konvensional (Lanjutan)

Parameter Hidrostatik	Water Line (WL)					
	1	2	3	4	5	6
TBM	16.671	9.286	6.282	4.778	3.968	3.59
TKM	17.206	10.348	7.866	6.893	6.622	6.822
LBM	431.611	217.709	149.059	118.112	105.876	113.876
LKM	432.146	218.771	150.643	121.112	109.356	116.856
DISPL	836.079	1838.258	2900.469	3994.456	5098.321	6340

Perbedaan nilai pada masing-masing *waterline* parameter hidrostatik disebabkan karena pada perhitungan dan analisis konvensional masih menggunakan metode integral manual seperti Simpson atau Metode Trapezoid untuk menghitung volume, luas perairan dan parameter hidrostatik lainnya berdasarkan data ordinat fungsi garis lambung (*lines plan*). Metode ini bergantung pada pembagian segmentasi yang relatif kasar dan ketelitian numerik yang terbatas.

Analisis terhadap Tabel 2 menjadi dasar utama untuk mengidentifikasi konsistensi dan deviasi hasil antara perhitungan manual dengan hasil analisis perangkat lunak Maxsurf, sekaligus menilai keandalan model tiga dimensi yang telah dibuat.

3.3 Hasil Analisis Hidrostatik dengan Maxsurf

Berdasarkan dari hasil perhitungan hidrostatik kapal dengan menggunakan Maxsurf, diperoleh hasil sebagai berikut pada Tabel 3.

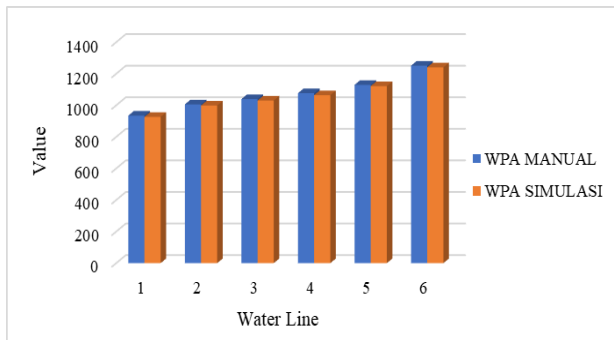
Tabel 3. Hasil Analisis Hidrostatik dengan Maxsurf

Parameter Hidrostatik	Water Line (WL)					
	1	2	3	4	5	6
WPA	926.393	998.662	1030.35	1064.18	1121.56	1240.67
WSA	977.495	1162.97	1339.58	1518.56	1715.04	1967.02
CW	0.732	0.729	0.749	0.769	0.785	0.834
CM	0.898	0.907	0.933	0.95	0.96	0.967
CB	0.635	0.644	0.673	0.692	0.689	0.683
CP	0.706	0.71	0.721	0.728	0.717	0.706
TPC	9.496	10.236	10.561	10.908	11.496	12.717
MTC	39.189	42.925	45.465	49.187	56.884	56.346
KB	0.535	1.064	1.589	2.113	2.644	3.197
TBM	16.828	9.337	6.29	4.784	3.974	3.61
TKM	17.364	10.401	7.879	6.896	6.618	6.807
LBM	433.936	218.374	147.985	116.716	104.873	112.749
LKM	434.471	219.438	149.574	118.829	107.516	115.946
DISPL	823.2	1810	2850	3923	5043	6250

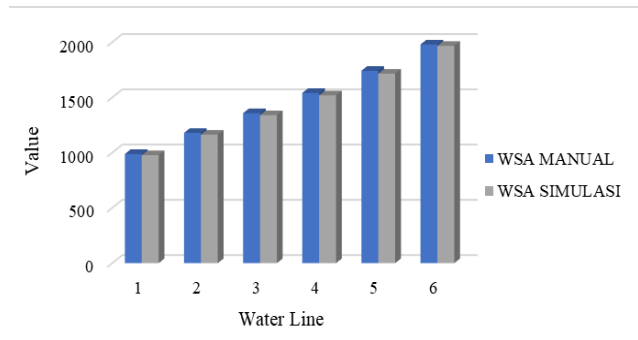
Dalam Maxsurf, resolusi *mesh* (jumlah dan ukuran panel) sangat mempengaruhi hasil perhitungan. Resolusi rendah (panel yang lebih besar dan sedikit) bisa menyebabkan hilangnya detail geometrik penting, Sehingga nilai hidrostatik yang dihitung kurang akurat. Sebaliknya, resolusi sangat tinggi meningkatkan akurasi, namun memerlukan waktu komputasi lebih lama dan sumber daya lebih besar. Maxsurf dengan panel *mesh* tiga dimensi mampu merepresentasikan bentuk lambung dengan presisi tinggi, termasuk lekukan, sudut, dan variasi lokal permukaan yang sulit

digambarkan secara manual. Perbedaan ini dapat menjadi sumber deviasi karena model digital lebih realistis.

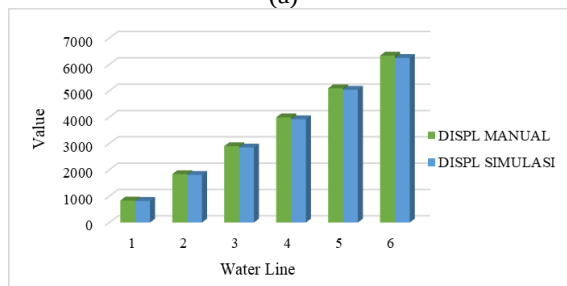
Tabel berikut menyajikan hasil olahan analisis hidrostatis kapal yang dihasilkan melalui simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Maxsurf. Estimasi dilakukan terhadap beragam elevasi *draft midship*, yang merepresentasikan kondisi aktual variasi sarat kapal di perairan. Setiap parameter hidrostatis utama, seperti luas bidang garis air *Waterplane Area* (WPA), luas permukaan air *Waterplane Surface Area* (WSA), koefisien bentuk (CW, CM, CB, CP), serta *Ton Per Centimeter Immersion* (TPC) dihitung secara otomatis berdasarkan representasi model tiga dimensi kapal.



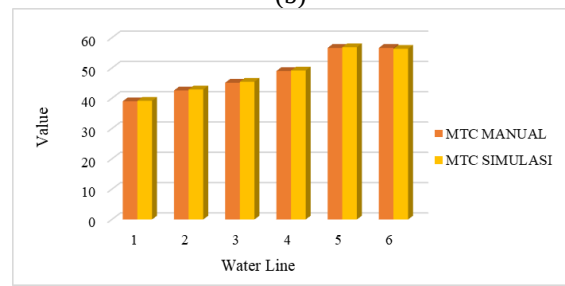
(a)



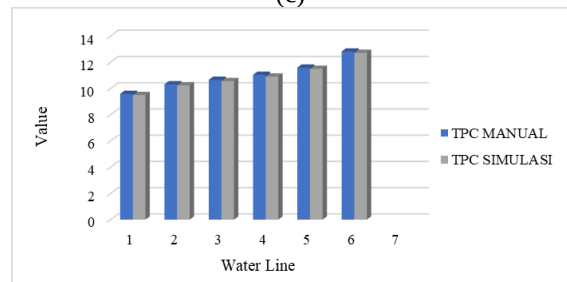
(b)



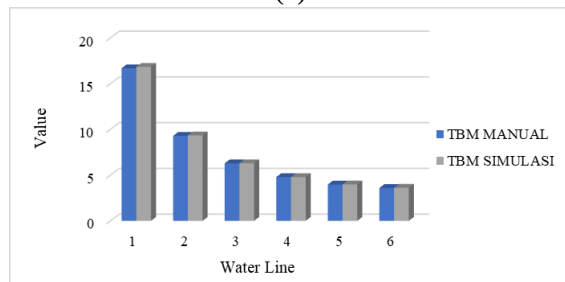
(c)



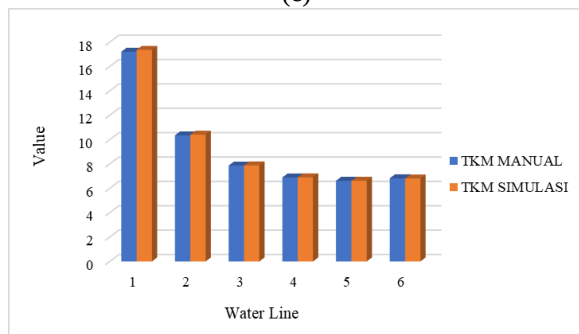
(d)



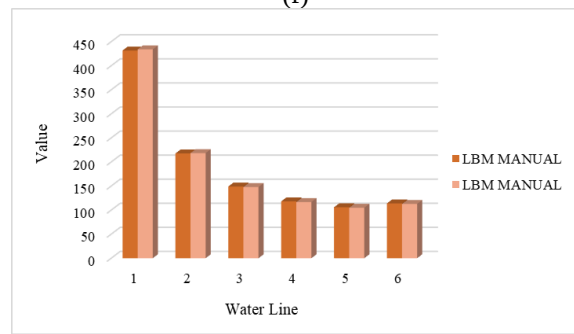
(e)



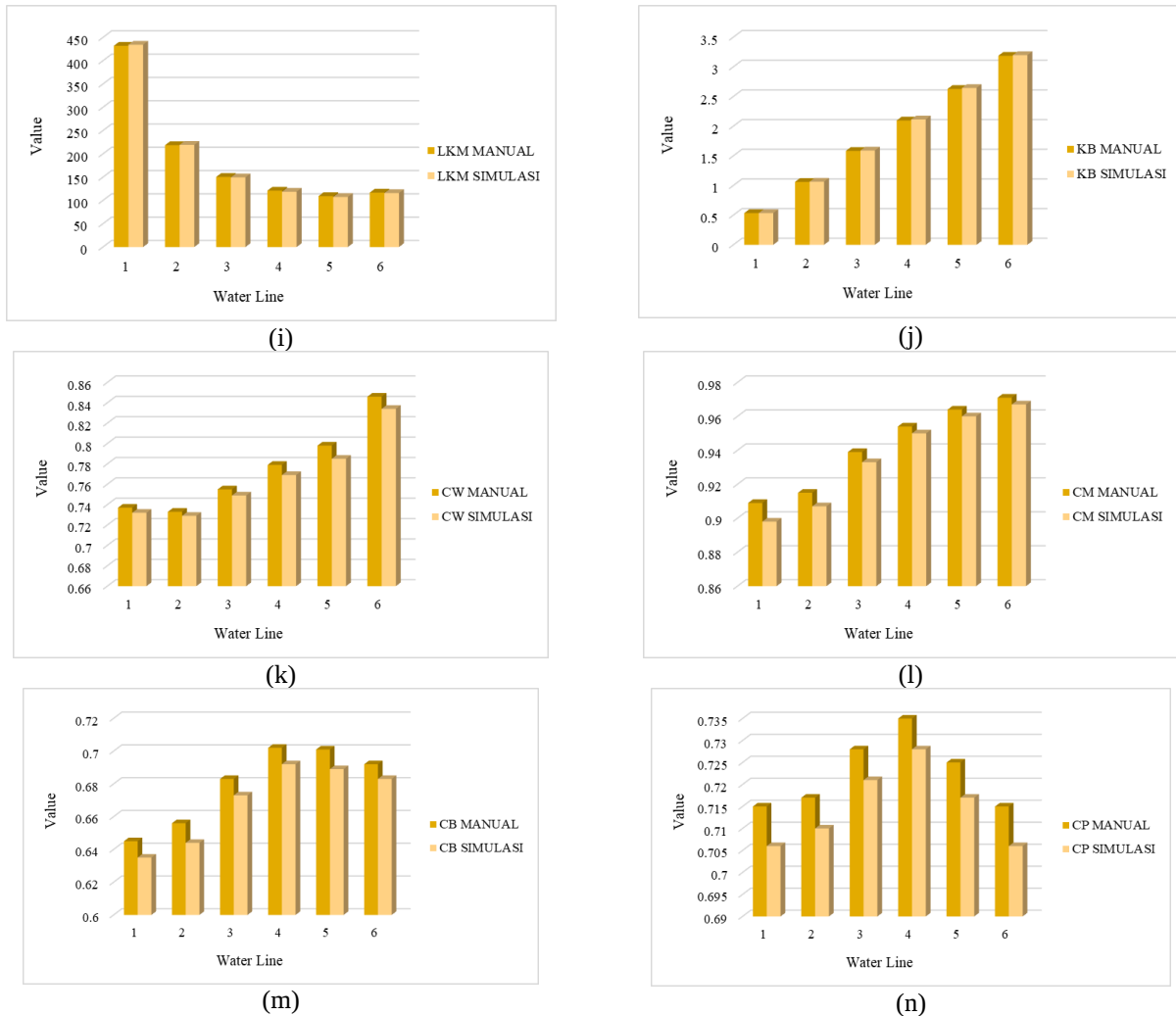
(f)



(g)



(h)



Gambar 3. Grafik Perbandingan Setiap Parameter Hidrostatik Perhitungan Manual dan Simulasi Maxsurf (a) Grafik WPA, (b) Grafik WSA, (c) Grafik Displacement, (d) Grafik MTC, (e) Grafik TPC, (f) Grafik TBM, (g) Grafik TKM, (h) Grafik LBM, (i) Grafik LKM, (j) Grafik KB, (k) Grafik CW, (l) Grafik CM, (m) Grafik CB, dan (n) Grafik CP

Grafik (a) – (n) merepresentasikan perbandingan secara visual perhitungan menggunakan metode konvensional / manual dan dengan perhitungan simulasi Maxsurf. Dari grafik perbandingan dapat dilihat adanya deviasi antara dua metode tersebut. Simulasi Maxsurf menghasilkan data numerik detail terkait distribusi titik-titik keseimbangan dan stabilitas, meliputi KB (*Keel To Center Of Buoyancy*), TBM (*Transverse Metacentric Radius*), TKM (*Transverse Metacentric Height*), serta letak titik berat memanjang (LCB, LCF) dan *Volume Displacement* (DISPL). Nilai-nilai yang tertera merupakan keluaran dari proses pemodelan dan perhitungan digital berbasis algoritma hidrostatik, yang telah divalidasi terhadap input geometri kapal aktual.

3.4 Perbandingan Hasil Analisis Hidrostatik dengan Metode Konvensional dan Maxsurf

Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus deviasi persentase deviasi antara metode konvensional (manual) dan Maxsurf untuk masing-masing parameter hidrostatik pada setiap *draft* adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil Deviasi Analisis Hidrostatik dengan Metode Konvensional dan Maxsurf

Parameter Hidrostatik	Deviasi Setiap WL (%)					
	1	2	3	4	5	6
WPA	0.90%	0.72%	0.89%	1.17%	0.67%	0.85%
WSA	1.07%	1.34%	1.35%	1.42%	1.48%	0.62%
CW	0.68%	0.55%	0.79%	1.28%	1.63%	1.42%
CM	1.21%	0.87%	0.64%	0.42%	0.41%	0.41%
CB	1.55%	1.83%	1.46%	1.42%	1.71%	1.30%
CP	1.26%	0.98%	0.96%	0.95%	1.10%	1.26%
TPC	0.89%	0.73%	0.89%	1.16%	0.80%	0.76%
MTC	0.39%	0.77%	0.68%	0.33%	0.40%	0.55%
KB	0.19%	0.28%	0.38%	0.81%	0.65%	0.31%
TBM	0.94%	0.55%	0.13%	0.13%	0.15%	0.56%
TKM	0.92%	0.51%	0.17%	0.04%	0.06%	0.22%
LBM	0.54%	0.31%	0.72%	1.18%	0.95%	0.99%
LKM	0.54%	0.30%	0.71%	1.89%	1.68%	0.78%
DISPL	1.54%	1.54%	1.74%	1.79%	1.09%	1.42%

Tabel 4 menunjukkan nilai deviasi (dalam persentase) untuk setiap parameter hidrostatik pada masing-masing *waterline* (draft 1 hingga 6). Secara umum, seluruh deviasi parameter hidrostatik yang dianalisis berada jauh di bawah batas toleransi maksimal deviasi yang dapat diterima yaitu 5% [7], Nilai deviasi rata-rata pada hampir seluruh parameter hidrostatik bernilai kurang dari 2%. Hal ini menandakan konsistensi hasil baik antara metode manual maupun simulasi Maxsurf.

Nilai deviasi WPA berkisar antara 0.72% hingga 1.17%, sementara WSA antara 0.62% hingga 1.48%. Nilai ini menunjukkan ketelitian tinggi pada penggambaran luas bidang air dan permukaan basah lambung kapal, sehingga Maxsurf dinilai sangat valid untuk parameter geometrik dasar lambung. Semua koefisien bentuk (CW, CM, CB, CP) memperlihatkan deviasi rata-rata di bawah 2%, baik untuk parameter volumetrik (CB, CP) maupun bentuk penampang (CM, CW). Kecilnya deviasi ini memperlihatkan keakuratan Maxsurf dalam mengkalkulasi rasio bentuk lambung kapal, yang sangat krusial dalam perencanaan dan analisis efisiensi desain. *Ton Per Centi Immersion* (TPC) dan *Moment To Change Trim* (MTC) juga menunjukkan deviasi rendah (0.4%–1.16%), memperkuat keyakinan bahwa Maxsurf dapat digunakan sebagai acuan perubahan sarat dan trim kapal secara presisi. Seluruh parameter yang berkaitan dengan posisi pusat apung dan titik *metacentric*, rata-rata memiliki deviasi di bawah 2 %. Ini menunjukkan bahwa baik perhitungan manual maupun Maxsurf menghasilkan estimasi yang sangat serupa untuk karakter stabilitas transversal dan longitudinal kapal.

Nilai deviasi yang kecil pada tiap parameter hidrostatik memperkuat validitas penggunaan Maxsurf sebagai perangkat lunak pendukung utama perancangan, khususnya pada tahap estimasi dan verifikasi data hidrostatik. Deviasi yang rendah juga merefleksikan adanya kesesuaian model matematis Maxsurf terhadap prinsip-prinsip hidrostatik dasar dan kualitas *input lines plan* yang digunakan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan untuk memberikan validasi hasil perhitungan hidrostatik dengan metode konvensional dan simulasi komputasi menggunakan maxsurf. Hasil validasi perhitungan hidrostatik kapal menggunakan metode manual dan simulasi Maxsurf menunjukkan bahwa seluruh deviasi

parameter hidrostatik yang dianalisis (WPA, WSA, CW, CM, CB, CP, TPC, MTC, KB, TBM, TKM, LBM, LKM, dan DISPL) berada jauh di bawah batas toleransi maksimal deviasi yang dapat diterima (5%), dengan rata-rata deviasi pada hampir seluruh parameter hidrostatik kurang dari 2%. Nilai deviasi terkecil tercatat pada parameter geometrik dasar seperti WPA dan WSA, yang mengindikasikan ketelitian tinggi dalam penggambaran bidang air dan permukaan basah lambung kapal, serta validitas Maxsurf untuk parameter geometri kapal. Konsistensi deviasi rendah juga terlihat pada seluruh koefisien bentuk dan parameter stabilitas, menandakan bahwa Maxsurf mampu mengkalkulasi rasio dan karakter lambung kapal secara akurat serta menghasilkan estimasi sangat serupa dengan perhitungan manual. Dengan demikian, Maxsurf terbukti valid dan reliabel sebagai perangkat lunak utama untuk perancangan kapal, baik pada tahap estimasi awal maupun verifikasi data hidrostatik, sekaligus meminimalisasi risiko kesalahan akibat pendekatan manual dan memastikan kualitas desain sesuai dengan standar keselamatan serta regulasi teknis yang berlaku.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), P3M, serta semua pihak yang telah berkontribusi dalam kelancaran dan keberhasilan penelitian ini. Tanpa bantuan, fasilitasi, dan komitmen dari semua pihak yang terlibat, penelitian ini tidak akan dapat diselesaikan dengan baik. Penulis sangat menghargai segala dukungan yang telah diberikan demi terselesainya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Handoyo, Rizki Adi Nugroho, Arfis Maydino Firmansyah Putra, and Dinar Novandia Sunjayani, "Kajian Stabilitas Kapal Seismik Pada Kapal Riset Baruna Jaya Ii," *Oceanika*, vol. 2, no. 1, pp. 53–65, 2021, doi: 10.29122/oseanika.v2i1.4920.
- [2] O. Iqbal, Zaki Maulana; Mulyatno, Imam Pujo; Mursid, "Studi Analisis Investasi dan Olah Gerak Kapal Pariwisata di Waduk Kedung Ombo Boyolali," *Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 3, pp. 368–374, 2020.
- [3] B.-H. N. D.R. Derrett, *Ship Stability for Masters and Mates*, vol. 6, no. 2. 24AD.
- [4] Syahril and R. A. Nabawi, "Numerical investigation of the effect on four bow designs flat hull ship," *Int. J. GEOMATE*, vol. 17, no. 62, pp. 231–236, 2019, doi: 10.21660/2019.62.95333.
- [5] R. Rachman, E. Pranatal, and P. I. S, "Analisis Perbandingan Metode Simulasi Software Maxsurf Dengan Metode Matematis Untuk Perhitungan Hambatan Dan Daya Mesin Utama Kapal Tanker 6500 Dwt," *Pros. Semin. Teknol. Kebumihan dan Kelaut.*, vol. 2, no. 1, pp. 193–201, 2020, [Online]. Available: <https://ejurnal.itats.ac.id/semitan/article/view/1079>
- [6] D. Prasetyo, Anggy; Amiruddin, Wilma; Chrismianto, "Tinjauan Stabilitas dan Olah Gerak Hasil Modifikasi Kapal Ikan Tambak Lorok Bermaterial Kayu Menjadi Fibreglass dengan Nilai DWT Tetap," *Tek. Perkapalan*, vol. 11, no. 1, pp. 14–22, 2023.
- [7] Romadhoni, S. A. Angraini, and A. Aprizawati, "Analisa Perbandingan Komputasi Hidrostatik Kapal High Speed Craft Menggunakan Metode Panel Mesh Generation," *Inovtek Polbeng*, vol. 14, no. 1, pp. 68–74, 2024, doi: 10.35314/ip.v14i1.4185.
- [8] G. A. P. Poundra, B. K. Aditya, and S. Widiyanto, "Hydrodynamic Force Comparison on Multi-Hull, Monohull and Single-to-Twin After Ship Hull (STASH) Based on Seakeeping Criteria," *IPTEK J. Eng.*, vol. 10, no. 3, p. 205, 2024, doi: 10.12962/j23378557.v10i3.a21144.
- [9] A. A. Ghyferi, A. Bahatmaka, R. F. Naryanto, L. S. Won, and J. H. Cho, "Enhancing Ship Stability: A Comparative Analysis of Single and Double Chine Hull Configurations of Semi-Planning Hull at High Speed," *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, vol. 23, no. 2, p. 156, 2024, doi:

- 10.20961/mekanika.v23i2.90734.
- [10] Z. Ma'arif, D. Chrismianto, and P. Manik, "Hambatan dan Olah Gerak Kapal General Cargo 11280 DWT Dengan Rute Pelayaran Surabaya-Makassar," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 12, no. 4, pp. 1–10, 2024.
 - [11] A. S. Ladosa, Indrajati Restu; Trimulyono, "Analisa Stabilitas Kapal Kontainer 25000 DWT Rute Perairan Surabaya-Kobe," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 12, no. 4, pp. 1–9, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
 - [12] G. L. Putra, H. T. Wibowo, and F. Agusta, "Stability analysis of semi-trimaran flat hull ship for a sea transportation model," *Commun. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 42–46, 2017, doi: 10.21924/cst.2.2.2017.52.
 - [13] R. Romadhoni, B. Santoso, and M. Ikhsan, "Resistance and Intact Stability Calculation of Hull Form Tourism Boat Siak River for Passenger Safety," *Adv. Eng. Res.*, vol. 208, no. 12, pp. 222–227, 2021.
 - [14] A. P. Antika, I. P. Mulyatno, and A. W. B. Santosa, "Analisa Hambatan Kapal Oil Tanker 10850 DWT Perairan Bintan - Lhokseumawe Arjuno," *Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 2, pp. 152–160, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/26745>
 - [15] A. Biran and R. López-Pulido, "Ship Hydrostatics and Stability: Second Edition," *Sh. Hydrostatics Stab. Second Ed.*, pp. 1–392, 2013, doi: 10.1016/C2011-0-07795-5.
 - [16] K. E. Rawson, *Basic Ship Theory*, no. February. 2001. doi: 10.1016/b978-0-7506-5398-5.x5000-6.