

# **Bukti Kinerja Hibah Penelitian**

1. **Paten Sederhana:** “Tangga Bentuk V Pada Dasar Lambung Kapal Cepat Untuk Penurunan Tahanan Total Dan Peningkatan Kecepatan”.

**Status:** Persiapan Pembuatan Sertifikat.”

2. **Paper Title:** “Design Improvement of The Stepped Hull on A High-Speed Ferry: The Effect of Step Shape on Hydrodynamic Characteristics”.

**Journal :** Journal of Engineering and Technological Sciences

**Status:** Under review

## **PATEN SEDERHANA**

“Tangga Bentuk V Pada Dasar Lambung Kapal Cepat Untuk Penurunan Tahanan Total Dan Peningkatan Kecepatan”.

Status: Persiapan Pembuatan Sertifikat.”



KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA  
REPUBLIK INDONESIA  
DIREKTORAT JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL  
Jalan H.R. Rasuna Said Kav. 8-9, Kuningan Jakarta Selatan 12910  
Call Center : 152  
Telepon: (021) 57905619, Faksimili: (021) 57905619  
Website : www.dgip.go.id, surel : halodjki@dgip.go.id

## BERITA ACARA KEGIATAN KONSULTASI TEKNIS SUBSTANTIF PATEN

Pada tanggal 23-26 Agustus 2022 telah diadakan konsultasi teknis substantif paten antara:

- I Pemohon : LPPM Universitas Hasanuddin  
Nomor Permohonan : S00202110312  
Judul : Desain Tangga Bentuk V Pada Dasar Lambung Kapal Cepat Untuk Penurunan Tahanan Total Dan Peningkatan Kecepatan  
Judul Perbaikan : *Tangga Bentuk V pada Dasar Lambung Kapal Cepat untuk penurunan tahanan Total dan Peningkatan Kecepatan*  
Inventor :  
1. Dr.Eng. Suandar Baso, ST., MT  
2. Andi Dian Eka Anggriani, ST., MT  
3. Ir. Rosmani, MT  
4. Dr.Eng. Andi Ardianti, ST., MT
- II Narasumber : Rifto Andriawan Indrasanto, ST

Dengan pelaksanaan kegiatan tersebut maka didapatkan hasil sebagai berikut (Rincian Hasil Konsultasi terlampir) :

	Hal Yang Direkomendasikan	Keterangan
<input type="checkbox"/>	Memiliki kejelasan klaim dan pengungkapan invensi sesuai dengan pasal 25 ayat (3) dan (4) Undang-Undang Paten No. 13 Tahun 2016	
<input type="checkbox"/>	Memiliki kesatuan invensi sesuai dengan pasal 24 ayat (3) Undang-Undang Paten No. 13 Tahun 2016	
<input type="checkbox"/>	Memiliki patentabilitas invensi sesuai dengan pasal 3, 5, 7, dan 8 Undang-Undang Paten No. 13 Tahun 2016	
<input type="checkbox"/>	Mengandung fitur yang dikecualikan sesuai dengan pasal 4 Undang-Undang Paten No. 13 Tahun 2016	
<input type="checkbox"/>	Mengandung fitur yang tidak dapat diberi paten sesuai dengan pasal 9 Undang-Undang Paten No 13 Tahun 2016	

Kesimpulan :

klarin, deskripsi, Abstrak dan Gambar sudah diperbaiki sesuai dengan ketentuan peraturan yang berlaku.

Note: Inventor dimohon untuk dapat segera menyelesaikan perbaikan-perbaikan sesuai dengan arahan pemeriksa dan dapat mengunggah ke sistem administrasi KI (SAKI) dalam waktu selambat-lambatnya satu minggu setelah kegiatan ini untuk menghindari diterbitkannya surat Dianggap Ditarik Kembali Substantif sebagaimana disebutkan dalam Pasal 62 ayat 3.

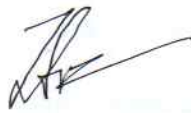
Demikian Berita Acara ini dibuat dengan sebenarnya untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Inventor



(Swandar Baso)

Pemohon



a.u. Zuljahir Nur, M.Si.  
LPPM Universitas Hasanuddin

PIC



Deni Faisal

Narasumber



Rifto Andriawan Indrasanto, ST

Mengetahui,  
Koordinator Pemeriksaan Paten



Rani Nuradi, S.Si., M.H.



No. Paten  
IDS000005094

Tgl. Pemberian  
2022-10-21

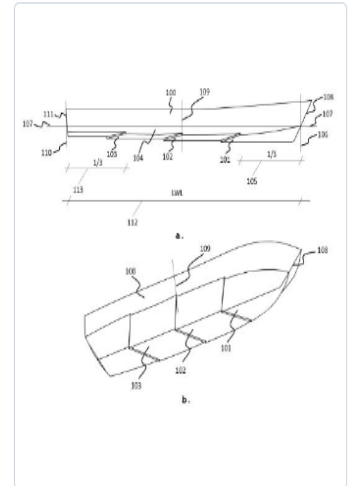
## TANGGA BENTUK V PADA DASAR LAMBUNG KAPAL CEPAT UNTUK PENURUNAN TAHANAN TOTAL DAN PENINGKATAN KECEPATAN

Status

Persiapan Pembuatan Sertifikat

### Abstract

Invensi ini mendeskripsikan tangga bentuk V yang ditempatkan di dasar lambung kapal yang dapat diterapkan pada kapal cepat. Desain tangga berbentuk V diciptakan berdasarkan konsep wedge geometry 2D diletakkan secara melintang dimana kedua ujung anak tangga berakhir di kedua sisi dasar lambung kapal. Desain lambung bertangga bentuk V dapat ditempatkan di sepanjang lambung kapal dengan jumlah anak tangga 1-V yang dapat diletakkan di bagian depan, tengah, atau belakang. Jumlah dua anak tangga 1-V dan 2-V dapat diletakkan masing-masing di bagian depan dan tengah, atau di bagian tengah dan belakang. Jumlah tiga anak tangga 1-V, 2-V, dan 3-V masing-masing diletakkan di bagian depan, tengah, dan belakang. Jarak antara anak tangga V diatur secara proporsional berdasarkan panjang kapal. Anak tangga berbentuk V dan jumlahnya mengkarakteristikan pengurangan tahanan total, peningkatan kondisi planing, dan peningkatan kecepatan. Dengan perbandingan antara kapal tanpa lambung bertangga dengan lambung bertangga satu, lambung bertangga satu dapat mengurangi tahanan total hingga sebesar 37.80%, dan kecepatan dapat meningkat hingga sebesar 9.83%. Lambung bertangga dua dapat mengurangi tahanan total sebesar 55.24%, dan peningkatan kecepatan hingga sebesar 12.49%. Sementara, lambung bertangga tiga dapat mengurangi tahanan total sebesar 66.05%, dan peningkatan kecepatan hingga sebesar 15.66%.



Publikasi

Publikasi A



### Detail

NOMOR PENGUMUMAN 2022/SID/00058	TANGGAL PENGUMUMAN 2022-01-10
NOMOR PERMOHONAN S00202110312	TANGGAL PENERIMAAN 2021-11-19
TANGGAL DIMULAI PELINDUNGAN 2021-11-19	TANGGAL BERAKHIR PELINDUNGAN 2031-11-19
JUMLAH KLAIM -	NAMA PEMERIKSA

Prioritas

NOMOR

TANGGAL

KEWARGANEGARAAN

IPC

B63B 1/04

B63B 1/20

Pemegang Paten	NAMA	ALAMAT	KEWARGANEGARAAN
----------------	------	--------	-----------------

LPPM UNIVERSITAS HASANUDDIN	JL. PERINTIS KEMERDEKAAN Km. 10 TAMALANREA, KOTA MAKASSAR 90245, SULAWESI SELATAN	ID
--------------------------------	--	----

Inventor	NAMA	ALAMAT	KEWARGANEGARAAN
----------	------	--------	-----------------

Dr.Eng. Suandar Baso, ST., MT	Perumahan Griya Reskita B.23, Jalan Nipa Nipa, Antang, Kota Makassar 90234, Sulawesi Selatan	ID
-------------------------------	---	----

Andi Dian Eka Anggriani, ST., MT	Jalan Mamoa VB No.5, Kota Makassar 90221, Sulawesi Selatan	ID
-------------------------------------	--	----

Ir. Rosmani, MT	BTN Citra Tello Permai A4/8, Kota Makassar 90233, Sulawesi Selatan	ID
-----------------	--	----

Dr.Eng. Andi Ardianti, ST., MT	Mutiara Indah Village Blok PP No.8, Kabupaten Gowa 92113, Sulawesi Selatan	ID
--------------------------------	--	----

Pembayaran Pemeliharaan Terakhir	TAHUN PEMBAYARAN TERAKHIR	TANGGAL BAYAR	NOMINAL
-------------------------------------	---------------------------	---------------	---------

Konsultan	NAMA	ALAMAT	KEWARGANEGARAAN
-----------	------	--------	-----------------

LPPM UNIVERSITAS HASANUDDIN	JL. PERINTIS KEMERDEKAAN Km. 10 TAMALANREA, KOTA MAKASSAR 90245, SULAWESI SELATAN	ID
--------------------------------	--	----

**FORMULIR PERMOHONAN PENDAFTARAN PATEN INDONESIA**  
**APPLICATION FORM OF PATENT REGISTRATION OF INDONESIA**

**Data Permohonan (Application)**

Nomor Permohonan <i>Number of Application</i>	: S00202110312	Tanggal Permohonan <i>Date of Submission</i>	: 19-Nov-2021
Jenis Permohonan <i>Type of Application</i>	: PATEN SEDERHANA	Jumlah Klaim <i>Total Claim</i>	: 4
		Jumlah halaman <i>Total page</i>	: 13
Judul <i>Title</i>	: DESAIN TANGGA BENTUK V PADA DASAR LAMBUNG KAPAL CEPAT UNTUK PENURUNAN TAHANAN TOTAL DAN PENINGKATAN KECEPATAN		
Abstrak <i>Abstract</i>	: Inovasi ini mendeskripsikan desain tangga bentuk V yang ditempatkan di dasar lambung kapal yang dapat diterapkan pada kapal cepat. Desain tangga berbentuk V diciptakan berdasarkan konsep wedge geometry 2D diletakkan secara melintang dimana kedua ujung anak tangga V berakhir di kedua sisi dasar lambung kapal. Desain lambung bertangga bentuk V dapat ditempatkan di sepanjang lambung kapal dengan jumlah anak tangga 1-V yang dapat diletakkan di bagian depan, tengah, atau belakang. Jumlah dua anak tangga 1-V dan 2-V dapat diletakkan masing-masing di bagian depan dan tengah, atau di bagian tengah dan belakang. Jumlah tiga anak tangga 1-V, 2-V, dan 3-V masing-masing diletakkan di bagian depan, tengah, dan belakang. Jarak antara anak tangga V diatur secara proporsional berdasarkan panjang kapal. Anak tangga berbentuk V dan jumlahnya mengkarakteristikan pengurangan tahanan total, meningkatkan kondisi planing, dan meningkatkan kecepatan. Dengan perbandingan antara kapal tanpa lambung bertangga dengan lambung bertangga satu, lambung bertangga satu dapat mengurangi tahanan total hingga sebesar 37.80%, dan kecepatan dapat meningkat hingga sebesar 9.83%. Lambung bertangga dua dapat mengurangi tahanan total sebesar 55.24%, dan peningkatan kecepatan hingga sebesar 12.49%. Sementara, lambung bertangga tiga dapat mengurangi tahanan total sebesar 66.05%, dan peningkatan kecepatan hingga sebesar 15.66%.		

**Permohonan PCT (PCT Application)**

Nomor PCT <i>PCT Number</i>	:	Nomor Publikasi <i>Publication Number</i>	:
Tanggal PCT <i>PCT Date</i>	:	Tanggal Publikasi <i>Publication Date</i>	:

**Pemohon (Applicant)**

<b>Name (Name)</b>	<b>Alamat (Address)</b>	<b>Surel/Telp (Email/Phone)</b>
LPPM UNIVERSITAS HASANUDDIN	JL. PERINTIS KEMERDEKAAN Km. 10 TAMALANREA, KOTA MAKASSAR 90245, SULAWESI SELATAN	0411588888 pusathaki@yahoo.com

<b>Penemu (Inventor)</b>			
<b>Nama (Name)</b>	<b>Warganegara (Nationality)</b>	<b>Alamat (Address)</b>	<b>Surel/Telp. (Email/Phone)</b>
Dr.Eng. Suandar Baso, ST., MT	Indonesia	Perumahan Griya Reskita B.23, Jalan Nipa Nipa, Antang, Kota Makassar 90234, Sulawesi Selatan	s.baso@eng.unhas.ac.id 085255625397
Andi Dian Eka Anggriani, ST., MT	Indonesia	Jalan Mamoja VB No.5, Kota Makassar 90221, Sulawesi Selatan	pusathaki@yahoo.com 085255325548
Ir. Rosmani, MT	Indonesia	BTN Citra Tello Permai A4/8, Kota Makassar 90233, Sulawesi Selatan	pusathaki@yahoo.com 081342276450
Dr.Eng. Andi Ardianti, ST., MT	Indonesia	Mutiara Indah Village Blok PP No.8, Kabupaten Gowa 92113, Sulawesi Selatan	pusathaki@yahoo.com 08128785620

<b>Data Prioritas (Priority Data)</b>		
<b>Negara (Country)</b>	<b>Nomor (Number)</b>	<b>Tanggal (Date)</b>

<b>Korespondensi (Correspondence)</b>		
<b>Nama (Name)</b>	<b>Alamat (Alamat)</b>	<b>Surel/Telp. (Email/Phone)</b>
LPPM UNIVERSITAS HASANUDDIN	JL. PERINTIS KEMERDEKAAN Km. 10 TAMALANREA, KOTA MAKASSAR 90245, SULAWESI SELATAN	pusathaki@yahoo.com 0411588888

<b>Lampiran (Attachment)</b>
KLAIM
ABSTRAK
GAMBAR TEKNIK
GAMBAR YANG DITAMPILKAN
SURAT PENGALIHAN HAK ATAS INVENSI
SURAT PERNYATAAN KEPEMILIKAN INVENSI OLEH INVENTOR
DESKRIPSI

**Detail Pembayaran (Payment Detail)**

No	Nama Pembayaran	Sudah Bayar	Jumlah Data
1.	Pembayaran Permohonan Paten	<input checked="" type="checkbox"/>	-
2.	Pembayaran Kelebihan Deskripsi	<input type="checkbox"/>	-
3.	Pembayaran Kelebihan Klaim	<input type="checkbox"/>	-
4.	Pembayaran Percepatan Pengumuman	<input type="checkbox"/>	-
5.	Pembayaran Pemeriksaan Substantif	<input checked="" type="checkbox"/>	-

Jakarta, 19-Nov-2021

Pemohon / Kuasa

*Applicant / Representative*



Tanda Tangan / Signature

Nama Lengkap / Fullname

Deskripsi**TANGGA BENTUK V PADA DASAR LAMBUNG KAPAL CEPAT UNTUK PENURUNAN  
TAHANAN TOTAL DAN PENINGKATAN KECEPATAN**

5

**Bidang Teknik Invensi**

10 Invensi ini berhubungan dengan tangga berbentuk V yang terletak di dasar lambung kapal yang dapat diterapkan pada kapal feri penumpang cepat untuk menurunkan tahanan kapal dan meningkatkan kecepatan.

**Latar Belakang Invensi**

15 Penghematan energi dan pengurangan emisi gas rumah kaca merupakan isu penting termasuk dalam aspek teknologi. Hal ini juga dicanangkan dalam teknologi desain kapal, dan salah satu tindakan konkritnya yakni menyediakan desain lambung kapal yang dapat  
20 mengurangi konsumsi bahan bakar sesuai dengan kecepatan yang dibutuhkan. Di sisi lain, beberapa kapal diharapkan memiliki kecepatan yang tinggi antara lain kapal feri penumpang, patroli, perikanan, dan lain-lain untuk meningkatkan pelayanan kapal-kapal tersebut. Ketika kecepatan tinggi diharapkan pada kapal-kapal  
25 tersebut, salah satu tindakan alternatif mengurangi biaya operasional kapal yakni dengan cara menciptakan desain lambung kapal yang tepat sebagaimana sudah banyak dihasilkan yakni lambung kapal berbentuk V atau *chine*. Namun, lambung kapal dengan bentuk tersebut masih saja belum memberikan kecepatan yang memuaskan dan cenderung  
30 masih menginvestasi mesin dengan daya yang besar. Seiring dengan pengembangan desain lambung kapal, desain lambung tangga (*Stepped hull*) pada dasar lambung kapal pada lambung kapal bentuk V dan *chine*

menjadi pertimbangan yang menarik dan serius sebagai desain alternatif. Saat ini, kapal dengan lambung bagian bawah yang bertangga menjadi yang paling populer untuk kapal feri penumpang, patroli, dan perikanan baik berukuran kecil atau sedang.

5           Lambung bertangga di dasar kapal akan berimplikasi pada pengurangan tahanan atau hambatan total dan peningkatan aerodinamis. Oleh karena itu, beberapa studi terkait bentuk lambung bertangga pada kapal cepat telah dilakukan sebelumnya, dimana studi-studi ini ditunjukkan pada analisis dan investigasi terkait dengan parameter  
10 desain hidrodinamika dan performansi dari lambung bertangga untuk mencapai kecepatan *planing*, gaya angkat *planing*, luas bidang basah yang minimal, gerak anggukan (*pitch motion*) yang kecil, kemiringan buritan (*trim by stern*) yang kecil, dan pengurangan hambatan atau tahanan. Studi mengenai lambung bertangga tunggal secara melintang  
15 dan tegak verikal menunjukkan keberhasilan yang signifikan untuk diterapkan pada kapal berkecepatan tinggi. Selain itu, jumlah anak tangga yang diletakkan pada dasar lambung menjadi menarik untuk dipertimbangkan untuk lebih mengurangi tahanan kapal dan meningkatkan performa *planing*.

20           Pada pertimbangan jumlah tangga di sepanjang dasar lambung kapal, analisis dan investigasi parameter desain hidrodinamika dan performansi kapal dengan jumlah lebih dari satu tangga juga harus dilakukan secara dalam. Pertimbangan-pertimbangan yang menjadi perhatian pada penambahan jumlah anak tangga di sepanjang dasar  
25 lambung kapal yakni terkait dengan tekanan udara di daerah rongga udara di belakang tangga yang dapat menjadi masalah terkait dengan stabilitas dinamis kapal, struktur dan kekuatan kapal, serta fenomena *porpoising*.

30           Ketika pembatasan penambahan jumlah anak tangga di sepanjang kapal dengan alasan-alasan yang telah disebutkan sebelumnya, maka desain bentuk tangga menjadi pertimbangan yang sangat penting dan menarik untuk diciptakan untuk meningkatkan performa hidrodinamika

kapal cepat. Desain bentuk tangga pada dasar lambung kapal telah diterapkan, salah satunya yakni lambung kapal yang rendah dengan penggerak jet air memiliki bentuk tangga secara memanjang dari dasar lambung belakang ke depan dimana bentuk anak tangga tersebut memiliki

5 lubang masuk air, dan anak tangga tersebut secara memanjang ke depan sekurang-kurangnya kira-kira dua pertiga panjang lambung kapal [US3911846A]. Selain itu, beberapa bentuk lambung betangga diterapkan sebagaimana dijelaskan berikut ini. Lambung kapal dilengkapi dengan serangkaian anak tangga yang miring ke arah tengah

10 lambung kapal dari depan ke belakang lambung [US4348195A]. Sebuah kapal dengan lambung berbentuk V memiliki lambung bertangga dimana permukaan tengah dan dalam berakhir pada ujung belakangnya pada tangga melintang [US4619215]. Lambung dengan bidang tangga cembung yang terletak di bagian belakang dan struktur lambung berbentuk V di

15 bagian depan [US4753184A]. Lambung kapal yang terdiri dari permukaan bagian depan dan permukaan bagian belakang yang dihubungkan dengan suatu tangga dimana permukaan bagian belakang dibentuk dengan sudut keseimbangan positif dan bagian depan dengan sudut keseimbangan non-negatif dimana sudutnya lebih kecil daripada bagian belakang

20 [US5191853]. Lambung kapal mencakup permukaan bawah dengan bagian berbentuk V dalam yang memanjang dari haluan ke titik lambung yang berada di belakang titik tengah permukaan bawah, kira-kira dua pertiganya dimana setidaknya ada dua anak tangga, yang disebut sebagai anak tangga datar, termasuk di permukaan dasar kapal, di

25 antara titik lambung dan buritan [US20090044741A1]. Lambung bertangga pada kapal diterapkan dimana lebih khusus dibangun untuk memiliki saluran udara atau bukaan yang terletak di sisi setiap anak tangga [US20120042820A1]. Lambung kapal berkecepatan tinggi yang terdiri dari setidaknya satu bagian lambung bertangga dan dilengkapi

30 saluran ventilasi terowongan yang membentang antara sisi lambung kanan dan kiri dimana lambung memiliki bagian depan berbentuk V dan terowongan ditempatkan secara longitudinal antara saluran

berventilasi [US8291850B1). Bentuk lambung T-tangga (*T-step*) untuk kapal *planing* berlambung tunggal mencakup bagian depan dan bagian belakang [US8915206] dimana bentuk tangga berorientasi melintang dan memisahkan bagian depan dari bagian belakang, dan *skeg* memanjang  
5 secara longitudinal sepanjang bentuk lambung dari bentuk tangga ke belakang, serta membagi bagian buritan menjadi bagian terowongan kanan.

Sebagaimana penjelasan paten secara keseluruhan di atas, tidak ada secara spesifik dan beragam mengklaim bentuk-bentuk tangga pada  
10 dasar lambung kapal cepat (*planing hull*). Sehingga, paten yang diklaim pada invensi ini desain tangga berbentuk V pada dasar lambung kapal cepat (*planing hull*) dimana anak tangga V ini diletakkan secara melintang yang kedua ujungnya berakhir pada masing-masing sisi lambung dasar kapal (sisi kiri dan kanan). Anak tangga V diletakkan  
15 secara melintang menghadap ke bagian depan kapal. Selain itu, jumlah anak tangga juga dipertimbangkan pada klaim paten ini dimana jumlah yang dipertimbangkan sebanyak 3 buah dan ditempatkan di sepanjang dasar lambung kapal yakni di bagian depan, tengah, dan belakang dengan jarak yang proporsional. Desain tangga berbentuk V yang  
20 diklaim ini dapat mengurangi tahanan total kapal dan sekaligus meningkatkan kecepatan kapal. Oleh karena itu, invensi ini berbeda dari paten-paten sebelumnya dalam hal desain bentuk tangga pada lambung kapal cepat (*planing hull*).

## 25 **Uraian Singkat Invensi**

Invensi ini memberikan tangga berbentuk V yang dibentuk di dasar lambung kapal berkecepatan tinggi. Tangga berbentuk V ini didesain berdasarkan konsep *wedge geometry* 2D.

30 Dalam satu perwujudan suatu tangga berbentuk V dari invensi ini dibentuk di dasar lambung bawah air sebuah kapal dimana anak tangga berbentuk V menghadap ke bagian haluan kapal atau linggi haluan kapal

dan diorientasikan secara melintang dimana terhadap lambung kapal dengan kedua ujung anak tangga V berakhir di kedua sisi dasar lambung kapal, dimana tangga bentuk V tersebut dapat diposisikan salah-satunya di bagian depan, tengah, atau di bagian belakang dengan jarak  
5 yang proporsional berdasarkan panjang kapal.

### **Uraian Singkat Gambar**

Gambar 1 merupakan desain tangga berbentuk V diposisikan di  
10 dasar lambung bawah air kapal dimana gambar (a) yakni tampak samping, dan gambar (b) prespektif potongan gambar dasar lambung kapal bagian depan yang menunjukkan desain tangga V.

Gambar 2 merupakan desain anak tangga berbentuk V berjumlah satu anak tangga V diposisikan di bagian depan pada dasar lambung  
15 bawah air kapal dimana gambar (a) yakni tampak samping, dan gambar (b) prespektif gambar dasar lambung kapal yang menunjukkan desain tangga V.

Gambar 3 merupakan desain anak tangga berbentuk V berjumlah satu anak tangga V diposisikan di bagian tengah pada dasar lambung  
20 bawah air kapal dimana gambar (a) yakni tampak samping, dan gambar (b) prespektif gambar dasar lambung kapal yang menunjukkan desain tangga V.

Gambar 4 merupakan desain anak tangga berbentuk V berjumlah satu anak tangga V diposisikan di bagian belakang pada dasar lambung  
25 bawah air kapal dimana gambar (a) yakni tampak samping, dan gambar (b) prespektif gambar dasar lambung kapal yang menunjukkan desain tangga V.

Gambar 5 merupakan desain anak tangga berbentuk V berjumlah dua anak tangga V diposisikan di bagian depan dan tengah pada dasar  
30 lambung bawah air kapal dimana gambar (a) yakni tampak samping, dan gambar (b) prespektif gambar dasar lambung kapal yang menunjukkan desain tangga V.

Gambar 6 merupakan desain anak tangga berbentuk V berjumlah dua anak tangga diposisikan di bagian tengah dan belakang pada dasar lambung bawah air kapal dimana gambar (a) yakni tampak samping, dan gambar (b) prespektif gambar dasar lambung kapal yang menunjukkan desain tangga V.

Gambar 7 merupakan desain tangga berbentuk V berjumlah tiga anak tangga yang diposisikan di sepanjang dasar lambung bawah air kapal dengan jarak yang proporsional berdasarkan panjang kapal dimana gambar (a) yakni tampak samping, dan gambar (b) prespektif gambar dasar lambung kapal yang menunjukkan desain tangga V.

### **Uraian Lengkap Invensi**

Invensi ini memberikan tangga berbentuk V yang dibentuk di dasar lambung kapal berkecepatan tinggi. Tangga berbentuk V dari invensi ini dibuat berdasarkan konsep *wedge geometry 2D*. *Wedge geometry 2D* tangga bentuk V menghadap ke bagian haluan kapal atau linggi haluan kapal dan diorientasikan secara melintang dimana kedua ujung anak tangga V berakhir di kedua sisi dasar lambung kapal. Juga, tangga bentuk V dapat diposisikan dalam jumlah 3 buah di sepanjang dasar lambung kapal (LWL), untuk lambung dengan anak tangga satu buah diposisikan di bagian depan kapal atau  $1/3$  panjang kapal dari garis tegak pertemuan antara garis sarat kapal dan linggi haluan kapal (LWL), anak tangga kedua diposisikan di bagian tengah kapal, dan anak tangga ketiga diposisikan di bagian belakan kapal atau  $1/3$  panjang kapal dari garis tegak pertemuan antara garis sarat kapal dan linggi buritan kapal. Sebaliknya, penempatan anak tangga V juga dapat dilakukan berturut-turut dimulai dari bagian belakang, tengah, dan kemudian di bagian depan kapal dengan jarak yang sama (proporsional berdasarkan panjang kapal). Untuk luas penampang, dimensi bentuk V untuk masing-masing posisi peletakkan dan jumlah adalah sama. Jumlah anak tangga V pada dasar lambung kapal

mengkarakteristikkan pengurangan luas bidang basah lambung kapal dimana semakin bertambah jumlah anak tangga akan semakin menghasilkan pengurangan luas bidang basah lambung kapal. Luas bidang basah lambung kapal sangat berhubungan dengan nilai tahanan total kapal.

5 Karateristik lain yang diberikan oleh lambung bertangga bentuk V yakni arus masuk (*wake velocity*) di sepanjang permukaan anak tangga akan teratur dan meningkat. Juga, pola aliran pada kecepatan tinggi tidak menimbulkan konsentrasi tekanan air yang besar di sepanjang permukaan anak tangga bentuk V. Selain karakteristik tahanan total  
10 kapal dan pola aliran, perilaku kapal dengan lambung bertangga berbentuk V pada kecepatan tinggi dapat meningkatkan kondisi *planing* (haluan kapal terangkat dari permukaan air) pada kecepatan kapal yang proporsional. Kondisi *planing* tersebut akan menambah pengurangan tahanan lambung kapal, sehingga daya yang dibutuhkan  
15 semakin kecil dengan kecepatan yang sesuai. Oleh karena itu, penerapan anak tangga berbentuk V ini dapat mengurangi tahanan total kapal dan sekaligus meningkatkan kecepatan kapal yang proporsional.

Mengaju pada Gambar 1 (a) dan (b) menunjukkan desain tangga bentuk V sesuai dengan invensi ini. Tangga berbentuk V (101) sesuai  
20 dengan invensi ini dibentuk di dasar lambung bawah air sebuah kapal (104) dimana anak tangga berbentuk V menghadap ke bagian haluan kapal atau linggi haluan kapal (108) dan diorientasikan secara melintang terhadap lambung kapal dengan kedua ujung anak tangga V berakhir di kedua sisi dasar lambung kapal, dimana tangga bentuk V (101) tersebut  
25 dapat diposisikan salah-satunya di bagian depan, tengah, atau di bagian belakang dengan jarak yang proporsional berdasarkan panjang kapal.

Gambar 1(a) memperlihatkan objek kapal/kapal feri penumpang cepat (100) dilengkapi desain satu anak tangga V (101) secara tampak  
30 samping, dan Gambar 1(b) prespektif potongan gambar dasar lambung kapal yang menunjukkan satu desain anak tangga V (101). Selanjutnya, Gambar 1 memperlihatkan dasar depan kapal dimana desain tangga

berbentuk V (101) ditempatkan di dasar lambung bawah air (104) kapal feri penumpang cepat (100). Desain anak tangga berbentuk V dibuat berdasarkan konsep *wedge geometry 2D*. *Wedge geometry 2D* anak tangga berbentuk V ini diletakkan secara melintang dimana kedua ujung anak  
5 tangga V berakhir di kedua sisi dasar lambung kapal dan menghadap ke bagian haluan kapal atau linggi haluan kapal (108).

Mengacu Gambar 2 terdiri dari Gambar 2(a) memperlihatkan objek kapal/kapal feri penumpang cepat (100) dengan satu anak tangga V (101) secara tampak samping yang ditempatkan di bagian depan pada  
10 dasar lambung kapal, dan Gambar 2(b) prespektif gambar dasar lambung kapal yang menunjukkan desain satu anak tangga V (101). Selanjutnya, Gambar 2 ini memperlihatkan desain anak tangga berbentuk V berjumlah satu anak tangga V (101) diposisikan di dasar lambung bawah air (104) kapal feri penumpang cepat (100) dengan jarak yang proporsional  
15 berdasarkan panjang kapal. Satu anak tangga V (101) diposisikan di bagian depan kapal atau  $\frac{1}{3}$  dari panjang kapal (105) dari garis tegak (106) pertemuan antara garis sarat kapal (107) dan linggi haluan kapal (108). Satu anak tangga berbentuk V (101) ini diposisikan secara melintang dimana kedua ujung anak tangga V berakhir di kedua  
20 sisi dasar lambung kapal dan menghadap ke bagian haluan kapal atau linggi haluan kapal (108). Dengan perbandingan antara kapal tanpa lambung bertangga dengan lambung bertangga satu, lambung bertangga satu dapat mengurangi tahanan total minimal sebesar 37,80%. Selain pengurangan tahanan total, kecepatan kapal juga dapat meningkat  
25 minimal sebesar 9,83%.

Mengacu Gambar 3 terdiri dari Gambar 3(a) memperlihatkan objek kapal/kapal feri penumpang cepat (100) dengan satu anak tangga V (101) secara tampak samping yang diposisikan di bagian tengah pada  
30 dasar lambung kapal, dan gambar 3(b) prespektif gambar dasar lambung kapal yang menunjukkan desain satu tangga V (101). Selanjutnya, Gambar 3 ini memperlihatkan desain anak tangga berbentuk V berjumlah satu anak tangga V (101) diposisikan di dasar lambung bawah air (104)

kapal feri penumpang cepat (100) dengan jarak yang proporsional berdasarkan panjang kapal. Satu anak tangga V (101) diposisikan di bagian atau garis tengah kapal (109). Selanjutnya, anak tangga berbentuk V (101) ini diposisikan secara melintang dimana kedua ujung anak tangga V berakhir di kedua sisi dasar lambung kapal dan menghadap ke bagian haluan kapal atau linggi haluan kapal (108). Dengan perbandingan antara kapal tanpa lambung bertangga dengan lambung bertangga satu, lambung bertangga satu dapat mengurangi tahanan total minimal sebesar 37,80%. Selain pengurangan tahanan total, kecepatan kapal juga dapat meningkat minimal sebesar 9,83%.

Mengacu Gambar 4 terdiri dari Gambar 4(a) memperlihatkan objek kapal/kapal feri penumpang cepat (100) dengan satu anak tangga V (101) secara tampak samping yang diposisikan di bagian belakang pada dasar lambung kapal, dan Gambar 4(b) prespektif gambar dasar lambung kapal yang menunjukkan desain tangga V (101). Selanjutnya, Gambar 4 ini memperlihatkan desain anak tangga berbentuk V berjumlah satu anak tangga V (101) diposisikan di dasar lambung bawah air (104) kapal feri penumpang cepat (100) dengan jarak yang proporsional berdasarkan panjang kapal. Anak tangga V (101) diposisikan di bagian belakang kapal atau  $\frac{1}{3}$  panjang kapal (113) dari garis tegak (110) pertemuan antara garis sarat kapal (107) dan linggi buritan kapal (111). Selanjutnya, anak tangga berbentuk V (101) ini diposisikan secara melintang dimana kedua ujung anak tangga V berakhir di kedua sisi dasar lambung kapal dan menghadap ke bagian haluan kapal atau linggi haluan kapal (108). Dengan perbandingan antara kapal tanpa lambung bertangga dengan lambung bertangga satu, lambung bertangga satu dapat mengurangi tahanan total hingga sebesar 37,80%. Selain pengurangan tahanan total, kecepatan kapal juga dapat meningkat hingga sebesar 9,83%.

Gambar 5 terdiri dari Gambar 5(a) memperlihatkan objek kapal/kapal feri penumpang cepat (100) dilengkapi desain anak tangga yang terdiri dari dua anak tangga dimana anak tangga pertama V (101)

dan anak tangga kedua V (101) secara tampak samping yang ditempatkan di sepanjang dasar lambung bawah kapal, dan Gambar 5(b) prespektif bagian dasar lambung kapal yang menunjukkan desain tangga V pertama (101) dan V kedua (101). Selanjutnya, Gambar 5 memperlihatkan desain anak tangga berbentuk V berjumlah dua anak tangga dimana terdiri dari anak tangga pertama V (101) dan anak tangga kedua V (101) ditempatkan di sepanjang dasar lambung bawah air (104) kapal feri penumpang cepat (100) dengan jarak yang proporsional berdasarkan panjang kapal. Lambung bertangga pertama V (101) dan kedua V (101) ditunjukkan dengan anak tangga pertama V (101) diletakkan di bagian depan kapal atau  $\frac{1}{3}$  panjang kapal (105) dari garis tegak (106) pertemuan antara garis sarat kapal (107) dan linggi haluan kapal (108), sementara anak tangga kedua V (101) diletakkan di bagian atau garis tengah kapal (109). Selanjutnya, anak tangga pertama V (101) dan kedua V (101) diletakkan masing-masing secara melintang dimana kedua ujung anak tangga V berakhir di kedua sisi dasar lambung kapal dan menghadap ke bagian haluan kapal atau linggi haluan kapal (108). Dengan perbandingan antara kapal berlambung bertangga satu dengan lambung bertangga dua, lambung bertangga dua dapat mengurangi tahanan total hingga sebesar 30,31%. Selain pengurangan tahanan total, kecepatan kapal juga dapat meningkat hingga sebesar 6,29%. Sementara untuk perbandingan antara kapal tanpa lambung bertangga dengan lambung bertangga dua, lambung bertangga dua dapat mengurangi tahanan total sebesar 55,24%, dan peningkatan kecepatan hingga sebesar 12,49%.

Mengacu Gambar 6 terdiri dari Gambar 6(a) memperlihatkan objek kapal/kapal feri penumpang cepat (100) dilengkapi desain anak tangga yang terdiri dari dua anak tangga dimana anak tangga pertama V (101) dan anak tangga kedua V (101) secara tampak samping yang ditempatkan di sepanjang dasar lambung bawah kapal, dan Gambar 6(b) prespektif bagian dasar lambung kapal yang menunjukkan desain tangga V (101) dan V (101). Selanjutnya, Gambar 6 memperlihatkan desain anak tangga

berbentuk V berjumlah dua anak tangga dimana terdiri dari anak tangga pertama V (101) dan anak tangga kedua V (101) ditempatkan di sepanjang dasar lambung bawah air (104) kapal feri penumpang cepat (100) dengan jarak yang proporsional berdasarkan panjang kapal.

5 Lambung bertangga pertama V dan kedua V ditunjukkan dengan anak tangga pertama V (102) diletakkan di bagian atau garis tengah kapal (109), sementara anak tangga kedua V (101) diletakkan di bagian belakang kapal atau di  $\frac{1}{3}$  panjang kapal (113) dari garis tegak (110) pertemuan antara garis sarat kapal (107) dan linggi buritan kapal

10 (111). Selanjutnya, anak tangga pertama V (101) dan kedua V (101) diletakkan masing-masing secara melintang dimana kedua ujung anak tangga V berakhir di kedua sisi dasar lambung kapal dan menghadap ke bagian haluan kapal atau linggi haluan kapal (108). Dengan perbandingan antara kapal berlambung bertangga satu dengan lambung

15 bertangga dua, lambung bertangga dua dapat mengurangi tahanan total hingga sebesar 30,31%. Selain pengurangan tahanan total, kecepatan kapal juga dapat meningkat hingga sebesar 6,29%. Sementara untuk perbandingan antara kapal tanpa lambung bertangga dengan lambung bertangga dua, lambung bertangga dua dapat mengurangi tahanan total

20 sebesar 55,24%, dan peningkatan kecepatan hingga sebesar 12,49%.

Mengacu Gambar 7 terdiri dari Gambar 7(a) memperlihatkan objek kapal/kapal feri penumpang cepat (100) dilengkapi desain anak tangga yang terdiri dari tiga anak tangga dimana anak tangga pertama V (101), anak tangga kedua V (101), dan anak tangga ketiga V (101)

25 secara tampak samping yang ditempatkan di sepanjang dasar lambung bawah kapal, dan Gambar 7(b) prespektif bagian dasar lambung kapal yang menunjukkan anak tangga V (101), V (101), dan V (101). Selanjutnya, Gambar 7 memperlihatkan desain tangga berbentuk V berjumlah tiga anak tangga dimana terdiri dari anak tangga pertama

30 V (101), anak tangga kedua V (101), dan anak tangga ketiga V (101) ditempatkan di sepanjang dasar lambung bawah air (104) kapal feri penumpang cepat (100) dengan jarak yang proporsional berdasarkan

panjang kapal. Lambung bertangga pertama V, kedua V, dan ketiga V ditunjukkan dengan anak tangga pertama V (101) diletakkan di bagian depan kapal atau  $1/3$  panjang kapal (105) dari garis tegak (106) pertemuan antara garis sarat kapal (107) dan linggi haluan kapal (108), anak tangga kedua V (101) diletakkan di bagian atau garis tengah kapal (109), dan anak tangga ketiga V (101) diletakkan di bagian belakang kapal atau  $1/3$  panjang kapal (113) dari garis tegak (110) pertemuan antara garis sarat kapal (107) dan linggi buritan kapal (111). Selanjutnya, anak tangga pertama V (101), anak tangga kedua V (101), dan anak tangga ketiga V (101) diletakkan masing-masing secara melintang dimana kedua ujung anak tangga V berakhir di kedua sisi dasar lambung kapal dan menghadap ke bagian haluan kapal atau linggi haluan kapal (108). Dengan perbandingan antara kapal berlambung bertangga satu dengan lambung bertangga tiga, lambung bertangga tiga dapat mengurangi tahanan total hingga sebesar 52,44%, dan kecepatan dapat meningkat sebesar 6,46%. Perbandingan antara kapal dengan lambung bertangga dua dengan bertangga tiga, lambung bertangga tiga dapat mengurangi tahanan total sebesar 34.25, dan kecepatan kapal juga dapat meningkat hingga sebesar 2,19%. Sementara untuk perbandingan antara kapal tanpa lambung bertangga dengan lambung bertangga tiga, lambung bertangga tiga dapat mengurangi tahanan total sebesar 66,05%, dan peningkatan kecepatan hingga sebesar 15,66%.

**Klaim**

1. Suatu tangga berbentuk V (101) yang dibentuk di dasar lambung bawah air sebuah kapal (104) dimana anak tangga berbentuk V menghadap ke bagian haluan kapal atau linggi haluan kapal (108) dan diorientasikan secara melintang terhadap lambung kapal (104) dengan kedua ujung anak tangga V berakhir di kedua sisi dasar lambung kapal, dimana tangga bentuk V (101) tersebut dapat diposisikan salah-satunya di bagian depan, tengah, atau di bagian belakang dengan jarak yang proporsional berdasarkan panjang kapal (LWL).

15

20

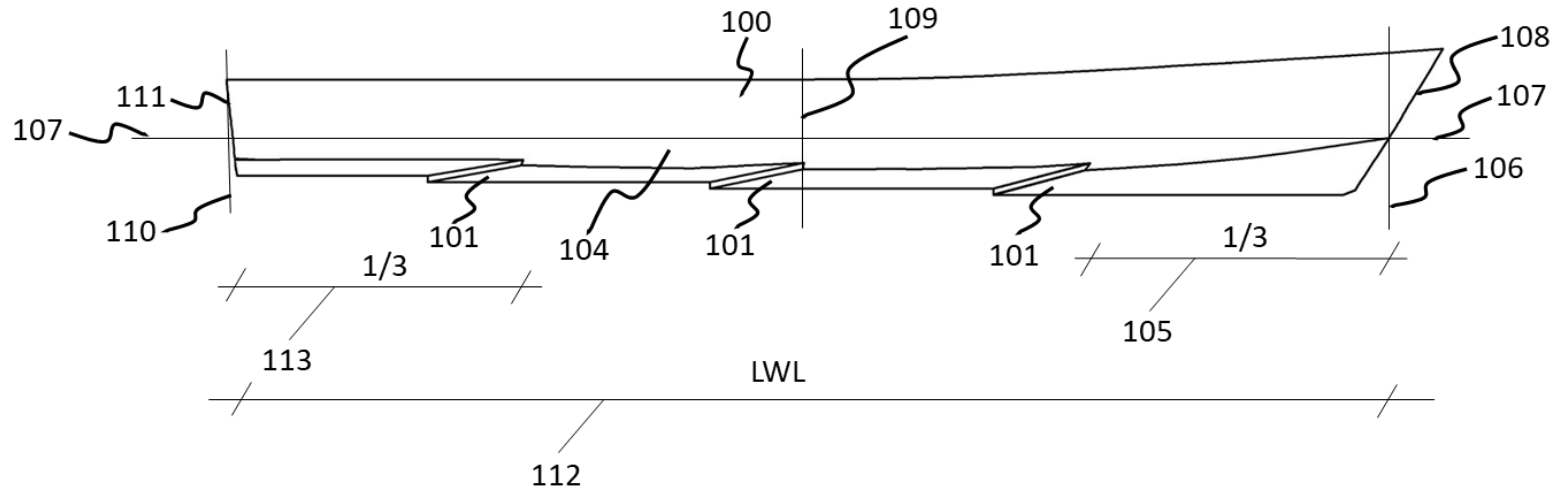
25

Abstrak**TANGGA BENTUK V PADA DASAR LAMBUNG KAPAL CEPAT UNTUK  
PENURUNAN TAHANAN TOTAL DAN PENINGKATAN KECEPATAN**

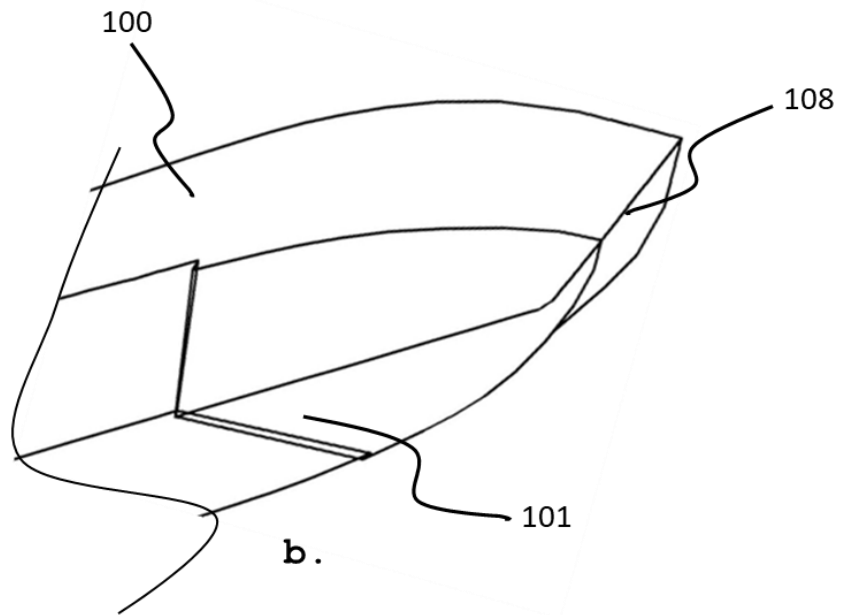
5

Invensi ini berhubungan dengan tangga bentuk V secara melintang yang dibentuk di dasar lambung bawah air kapal yang dapat diterapkan pada kapal cepat. Desain tangga berbentuk V didesain berdasarkan konsep *wedge geometry* 2D diorientasikan secara melintang terhadap lambung kapal dengan kedua ujung anak tangga V berakhir di kedua sisi dasar lambung kapal. Lambung bertangga bentuk V dapat diposisikan di sepanjang lambung bawah air kapal dalam jumlah antara lain satu anak tangga V yang dapat diposisikan salah satunya di bagian depan, tengah, atau belakang dengan jarak yang proporsional berdasarkan panjang kapal. Untuk jumlah dua anak tangga V, dua anak tangga dapat diletakkan masing-masing di bagian depan dan tengah, atau diposisikan di bagian tengah dan belakang dengan jarak yang proporsional berdasarkan panjang kapal. Juga, jumlah tiga anak tangga V masing-masing diposisikan di bagian depan, tengah, dan belakang dengan jarak yang proporsional berdasarkan panjang kapal. Anak tangga berbentuk V dan jumlahnya mengkarakteristikkan pengurangan tahanan total, meningkatkan kondisi *planing*, dan meningkatkan kecepatan. Dengan perbandingan antara kapal tanpa lambung bertangga dengan lambung bertangga satu, lambung bertangga satu dapat mengurangi tahanan total hingga sebesar 37,80%, dan kecepatan dapat meningkat hingga sebesar 9,83%.

1/7



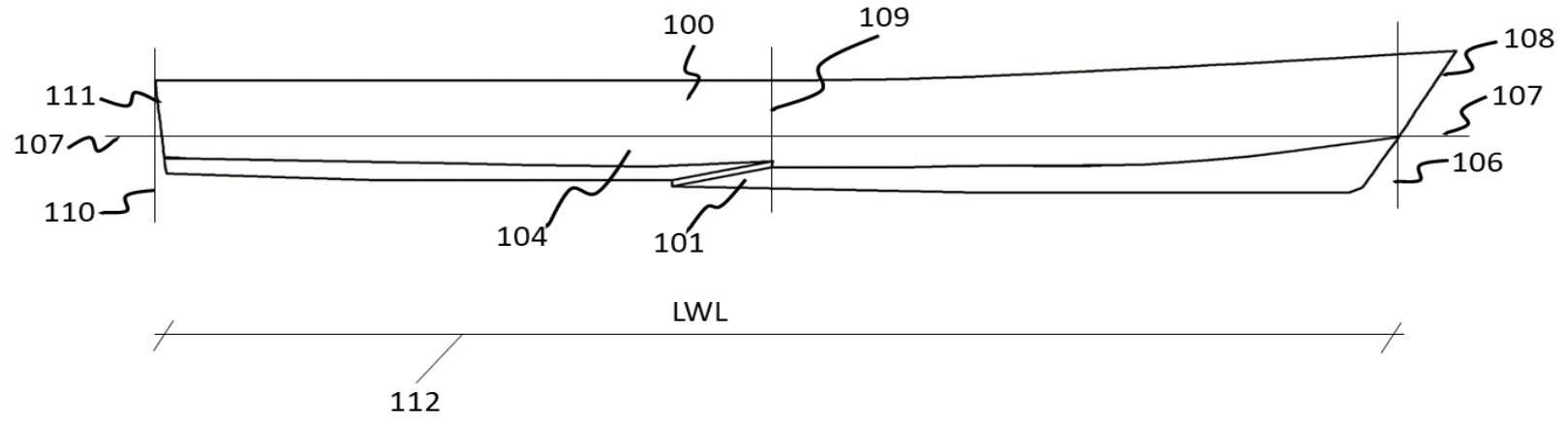
a.



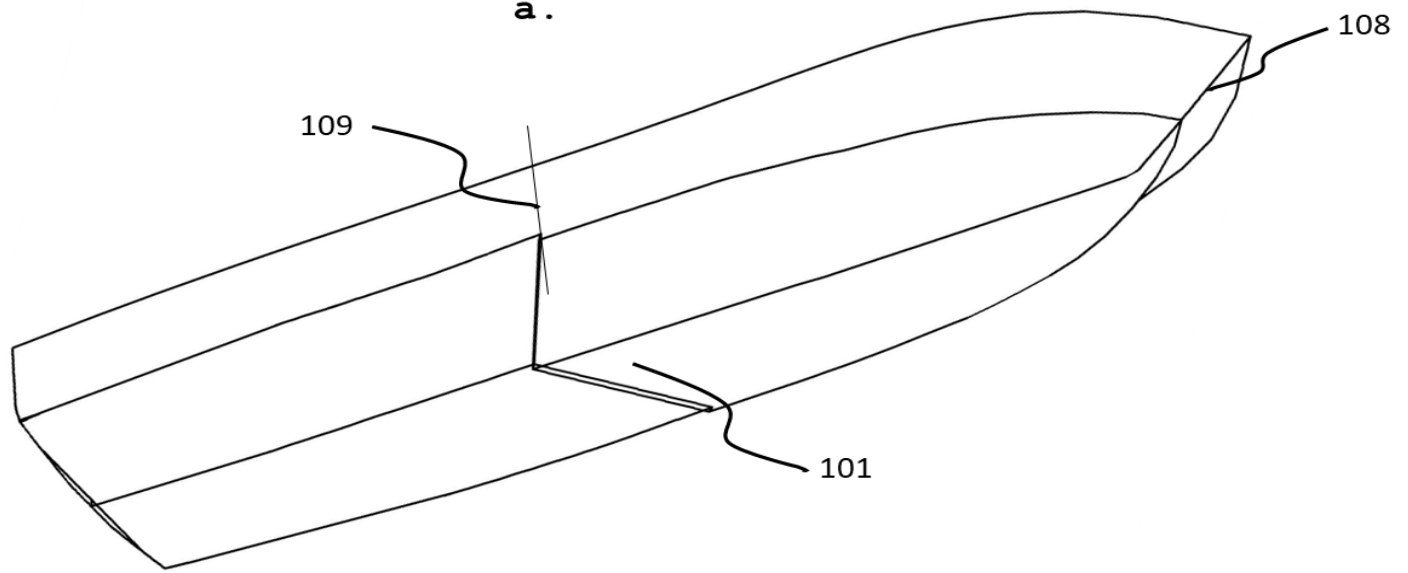
b.

**GAMBAR 1**



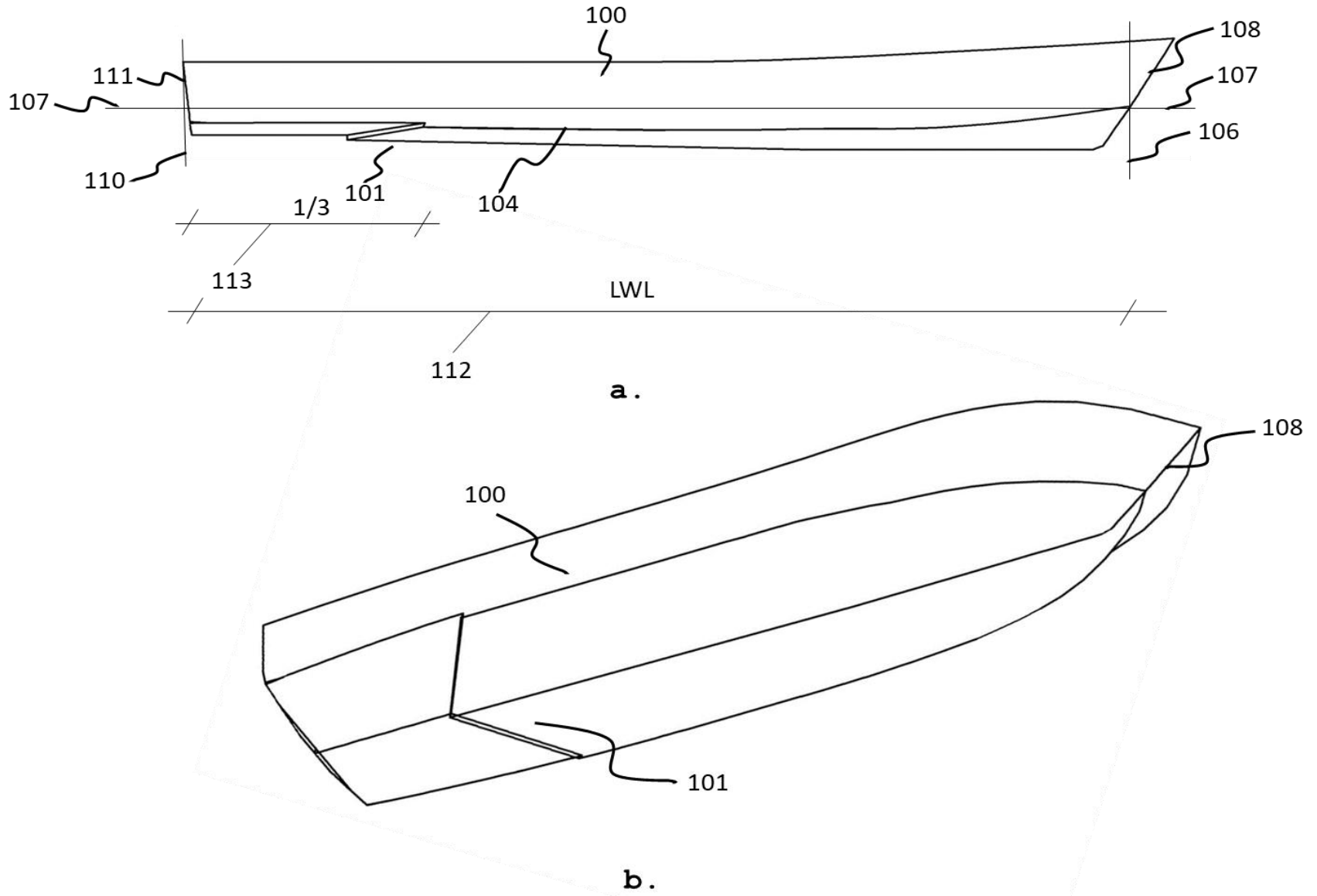


a.



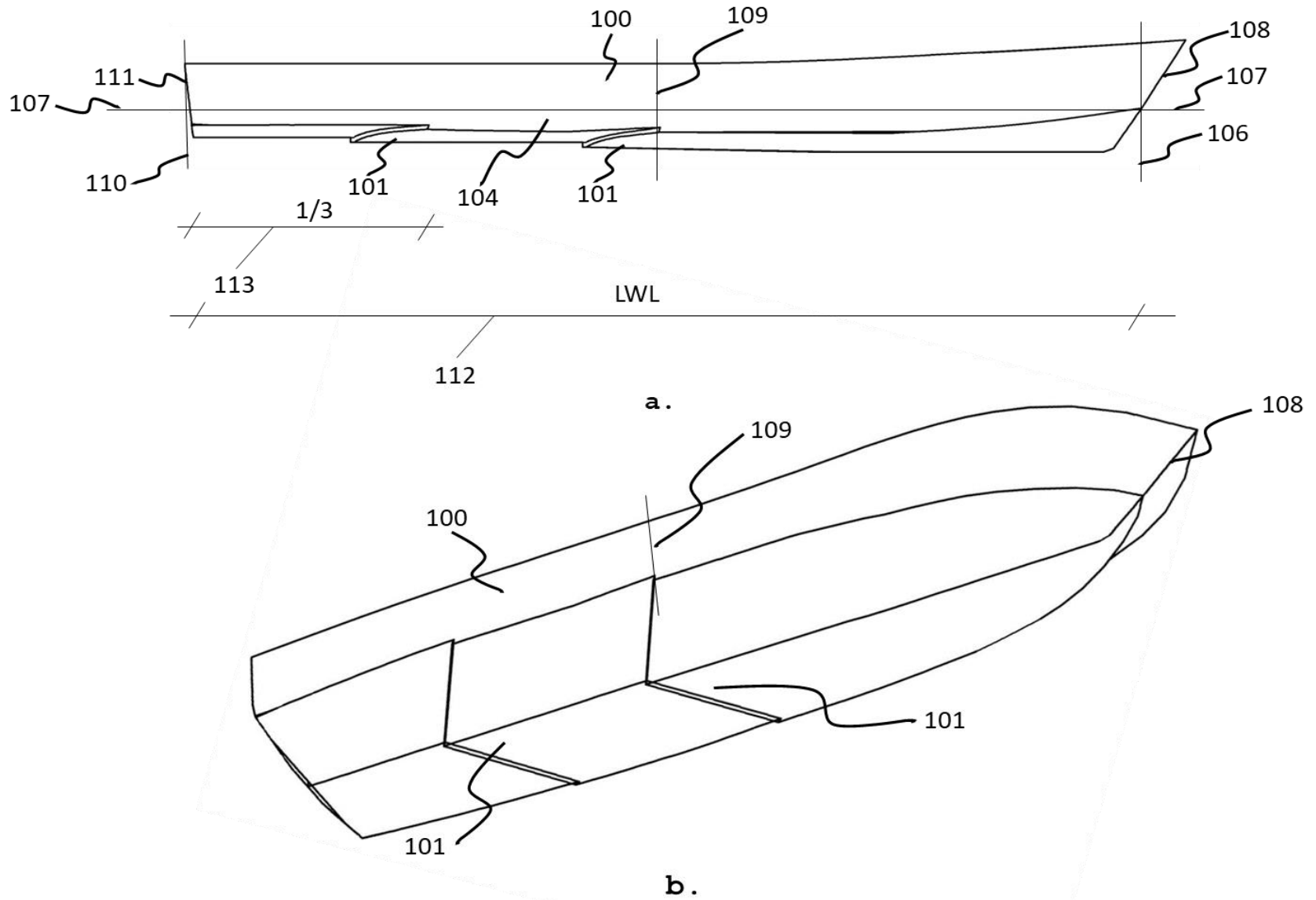
b.

GAMBAR 3



GAMBAR 4





GAMBAR 6



## **ARTIKEL**

**Paper Title:** “Design Improvement of The Stepped Hull on A High-Speed Ferry: The Effect of Step Shape on Hydrodynamic Characteristics”.

**Journal :** Journal of Engineering and Technological Sciences

**Status:** Under review



Suandar Baso - <s.baso@eng.unhas.ac.id>

---

## [jets] Submission Acknowledgement from Journal of Engineering and Technological Sciences

1 message

---

**journal@office.itb.ac.id** <journal@office.itb.ac.id>  
Reply-To: "Prof.Dr. Tjandra Setiadi" <jets@lppm.itb.ac.id>  
To: "Dr.Eng. Suandar Baso" <s.baso@eng.unhas.ac.id>

Wed, Jul 14, 2021 at 9:25 PM

Dear Dr.Eng. Suandar Baso,

This is to confirm that the manuscript, "Design improvement of the stepped hull on a high-speed ferry: The effect of step shape on hydrodynamic characteristics", has been received for consideration in the Journal of Engineering and Technological Sciences.

You will be able to check on the progress of your manuscript by logging on to the ITB Journal Online System:  
<https://journals.itb.ac.id/index.php/jets>

Manuscript URL: <https://journals.itb.ac.id/index.php/jets/authorDashboard/submission/16722>  
Username: baso91

If you forget the password for the journal's web site, you can use this link to reset your password (which will then be emailed to you along with your username): <https://journals.itb.ac.id/index.php/jets/login/lostPassword>

For your information, author whose paper is accepted for publication in Journal of Engineering and Technological Sciences is subjected to pay 150 USD per article up to 15 pages.

Your article will be checked for plagiarism first before it will be reviewed by peer reviewers. Please recommend at least two referees candidate for your article who do not have any research cooperation with authors within the last three years (please provide names, institution and email address). The Journal will consider carefully any recommended exclusions, but will not always follow the reviewer recommendations.

Thank you for submitting your manuscript to the Journal of Journal of Engineering and Technological Sciences. Should you have any questions, please feel free to contact our office.

With kind regards,

Prof.Dr. Tjandra Setiadi

---

Journal of Engineering  
and Technological Sciences <http://journals.itb.ac.id/index.php/jets>



39 stepped hull is lowest than others and the wetted area of W shape design is  
40 smallest. Also, the step shape W has a lowest total resistance.

41 **Keywords:** *free surface flow; high speed ferry; stepped hull; total resistance; viscous*  
42 *pressure resistance.*

## 43 **1 Introduction**

44 The saving energy and reduction of the greenhouse gas emissions are important  
45 issues including in the technology aspect. Consequently, this issue is also  
46 proclaimed in the ship design technology and one of the concrete actions is to  
47 provide a ship design that can reduce fuel consumption adjusted to the required  
48 speed. On the other hand, a high-speed passenger ferry is a popular waterborne  
49 service especially in a territory which consists of several islands. When speed  
50 has been expected high on such a passenger ferry, a stepped hull on V and chine  
51 bottom becomes a consideration to be constructed. Nowadays, a stepped hull  
52 bottom becomes the most popular for a small and medium size of passenger  
53 ferry.

54 The presence of a stepped shape under the water bottom hull of a ship has  
55 implications for a resistance reduction and an increase of aerodynamic.  
56 Therefore, some studies have been carried out related to the hydrodynamic  
57 parameters of a stepped hull. Clement and Pope [1] had provided the graphs that  
58 is a guidance in selecting the hydrodynamic parameters for optimum stepless  
59 and stepped planing performance. The design of planing motorboat with  
60 stepped hull was improved in order to attain the planing speed, planing lift,  
61 minimum wetted area, and resistance reduction [2]. A method of resistance  
62 predictions on planing hulls with transverse steps has been developed and this is  
63 applicable for stepped hulls [3]. Then, the two-dimensional mathematical model  
64 of the stepped air cavity hulls of a high-speed craft was presented and all  
65 characteristics can be determined from a specified cavitation number, Froude  
66 number, and center-of-mass position [4].

67 Even though some valuable findings from those previous researches have been  
68 achieved well, in the last 10 years, several studies have been still continued  
69 related to the investigation of the stepped planing hull. The surface wave  
70 contours associated with the forebody wake of stepped planing hulls was  
71 investigated and the empirical equations was quantitatively developed [5], the  
72 resistance and trim of the stepped planing hull was investigated [6], the  
73 influence of a step transverse on the pressure distribution, hydrodynamics  
74 characteristics, and wake profile was investigated numerically [7] and by using  
75 Computational Fluid Dynamics (CFD) [8, 9]. The mathematical model that can  
76 predict hydrodynamic parameters for single-stepped planing hull has been  
77 developed [10]. The hydrodynamic parameters of the swept step was  
78 investigated previously by using the CFD and conducting the experiment [11],  
79 and the effect of step depth was investigated by using CFD and the deeper steps  
80 has greater levels of ventilation but there is a limit in step depth increment  
81 because of porpoising phenomena after a specific height [12], the scale effect of  
82 a stepped planing hull was investigated by using CFD and its results were  
83 compared with ITTC formula [13], the wetted surfaces of stepped planing hull  
84 due to the considerations of dead rise angle, longitudinal position, also the step  
85 height were investigated experimentally [14]. All previous studies have  
86 discussed only a single step as well the step shape is a transverse step and swept  
87 step.

88 When the efforts of study regarding the single transverse stepped planing hull  
89 shows a significant success to be applied to high speed vessels, the number of  
90 steps has been considered. Similarly, the study subjected to the hydrodynamic  
91 parameters of the number of step planing hulls shows a good achievement.  
92 Several studies have been carried out such as two-dimensional modeling of  
93 stepped transverse planing surfaces was analyzed using a method of  
94 hydrodynamic discrete sources [15], the characteristic of resistance and hull

95 form of a high-speed trimaran planing hull taking into account the number of  
96 transverse stepped were investigated experimentally [16], the mathematical  
97 model that can predict hydrodynamic parameters for two-stepped planing hull  
98 has been developed [17, 18], the design optimization of the stepped hull shape  
99 was performed by using CFD in order to reduce drag, increase speed, and avoid  
100 porpoising phenomenon [19], the effect of double-step model was investigated  
101 experimentally as well its results showed low resistance, longitudinal stability  
102 increase, and trim decrease [20], also the effects of five different types of  
103 transverse steps on lift to drag ratio, resistance, trim angle and sinkage of high  
104 speed planing crafts were investigated [21].

105 By considering the number of steps on the planing hull, the investigations of the  
106 hydrodynamic parameters have succeeded to be carried out as well. As  
107 expected, the stepped hull could reduce the hull surface contacting the water  
108 and by reducing the hull surface, the speed can increase. The amount of wetted  
109 area is different between single and two-step. Although the two-step has three  
110 regions of wetted area, it has lower wetted area compared with the planing hull  
111 without step and single-step. However, the step number on boat hull must be  
112 limited because air pressure in air cavity region behind the step is a main  
113 problem at planing condition for small. The other considerations are dynamic  
114 stability, porpoising phenomenon, and ship structure.

115 When the number of steps is limited for a small size of a ship by considering  
116 those reasons mentioned previously, a design of step shape becomes an  
117 interesting way to compensate for those reasons. Correspondingly, three  
118 different forms of stepped hulls were stated [6, 17] namely transverse step, step  
119 pointed aft, and re-entrant V step, however, the step pointed aft and re-entrant V  
120 step were not discussed. Also, the swept step shape was discussed [6, 18] as  
121 well one design of the transverse stepped with declined steps was introduced

122 [16]. Merely, the shape of the swept and declined step is similar with the  
123 transverse step and step pointed aft, respectively. In recent years, the kinds of  
124 stepped shape design have been discussed very less.

125 In this study, the shape design of step for a planing hull has been improved in  
126 order to provide the alternative step shapes and step number. The unstepped  
127 planing hull which has been modified is a high-speed ferry [22] which was  
128 studied previously. Several step shapes designs have been improved namely V-  
129 shape, U-shape, W-shape, two-U shape. The step shape that has been improved  
130 is carried out based on the equal wetted area. The high-speed ferry has longer  
131 length compared with a small boat and the number of steps has been considered.  
132 Then, the total resistance and water surface flow due to step shape design on the  
133 planing hull have been investigated as well one and two-stepped planing hulls.  
134 The investigation is conducted by using Maxsurf Resistance. Furthermore, the  
135 total resistance and water surface flow have been evaluated and compared  
136 between the step shape design.

## 137 **2 Methods**

138 Here, the planing hull without step is a high-speed ferry [22] as shown in Fig. 1  
139 wherein the main dimensions of the planing hull are provided in Table 1 as well  
140 the body plan is shown in Fig. 2. This unstepped planing hull is a basic hull and  
141 then its underwater on hull bottom was improved becoming several kinds of  
142 step shape design. The improvement of step shape design was assumed initially  
143 based on 2D wedge geometry namely V and W-shape, and 2D segment  
144 geometry namely U and two-U shape. For a similarity, the wetted area of the  
145 different shape of step was made similar wherein the wetted area of V shape  
146 equals U shape as well W shape equals 2U shape. The 2D wedge geometry V  
147 and W-shape is the same shape with step pointed aft. In addition, the design

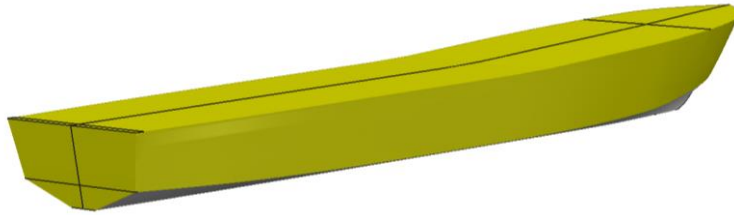
148 parameters of the step design were analyzed associated with the design  
 149 parameters of the planing hull.

150 Furthermore, the parametric design of the step shape was associated  
 151 simultaneously with hydrostatic parameters and main particulars on the  
 152 condition of the planing hull. Then, the functions of speed, trim angle, loading  
 153 condition and deadrise angle were considered wherein their calculation and  
 154 analysis are based on the empirical planing equations that given by Savitsky  
 155 [23]. Then, the several factors due to the step shape design namely step height,  
 156 step distance from the transom, and step number were included as the functions  
 157 in order to obtain wave rise parameter, wetted area, and air cavity length. Other  
 158 derived parameters are discussed also in the section on results and discussion.  
 159 The simultaneous combination from these functions are analyzed on the planing  
 160 surface that is assumed to have the constant deadrise, beam, and trim.  
 161 Meanwhile the step height  $h_s$ , step length  $l_s$  and placement location were  
 162 considered related to the parameters of length waterline  $L_{wl}$ , draft  $D$ , and stern  
 163 trim condition  $T_s$ . Then, the step height  $h_s$  is required by defining  $D/h_s < 1$ .

164 **Table 1** The main dimensions of the planing hull.

Description	Unit	Value
Length Over All (LOA)	m	19.06
Length Between Perpendicular (LBP)	m	17.72
Length Water Line (LWL)	m	17.77
Breadth (B)	m	4.51
Height (H)	m	1.80
Draft (D)	m	0.45
Deadrise Angle	degree	12

165

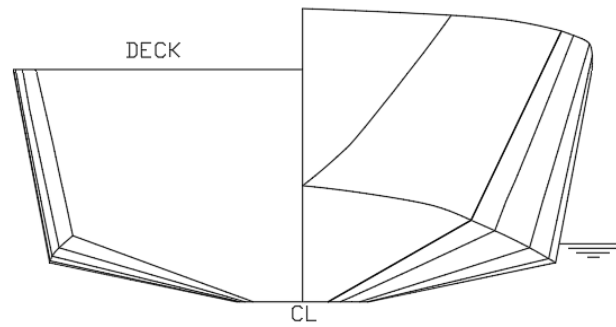


Perspective view of the unstepped planing hull

166  
167  
168

169 After obtaining the parametric design of the step shape, the effect of step shape  
170 on other hydrodynamic parameters was investigated such as total resistance and  
171 free surface flow. In addition, the two and three stepped planing hulls based on  
172 the location were also considered to be investigated. The difference of the total  
173 resistance and water surface flow was analyzed by comparing their obtained  
174 results. The investigation of total resistance and water surface flow was  
175 conducted by using Maxsurf Resistance.

176 Four conditions of the stepped hull of the high-speed ferry in sea state were  
177 assumed in the investigation such as even keel, trim by stern 1 degree, 2  
178 degrees, 3 and 4 degrees. In planing conditions, lifting force occurs on the bow  
179 part wherein force is exerted by outboard engine transom as well thrust is on  
180 under of the transom. Therefore, the stern trim was considered by rotating  
181 longitudinally below the transom point.



182  
183  
184

The body plan of the unstepped planing hull

185 In the investigation of resistance and free surface flow, the speed was set into  
186 three ranges associated with their conditions that are low volumetric Froude  
187 number ( $FnV$ ) for displaced condition, medium  $FnV$  for semi-planing condition,  
188 and higher volumetric  $FnV$  for planing condition. The displaced condition is  
189 defined as even keel condition, semi-planing condition is stern trim 1 degree  
190 and 2 degrees, and planing condition is stern trim 3 degrees. The volumetric  
191 Froude number ( $Fn\bar{V}$ ) which is defined by  $V/(g\bar{V}^{1/3})^{0.5}$  wherein  $V$  is ship speed,  
192  $g$  is gravity acceleration, and  $\bar{V}$  is displaced volume. During the planing  
193 condition, the weight of the stepped planing hull was kept similar with the  
194 initial weight in even keel condition.

### 195 **3 Results and Discussion**

196 The semi-planing hull was modelled successfully using Maxsurf Modeller.  
197 Then, the model was computed using Maxsurf Resistance and hereafter it was  
198 computed using Maxsurf Stability. The followings are the discussion of the  
199 obtained results of the resistance and stability of the semi-planing hull.

### 200 **3.1 Step Shape Design**

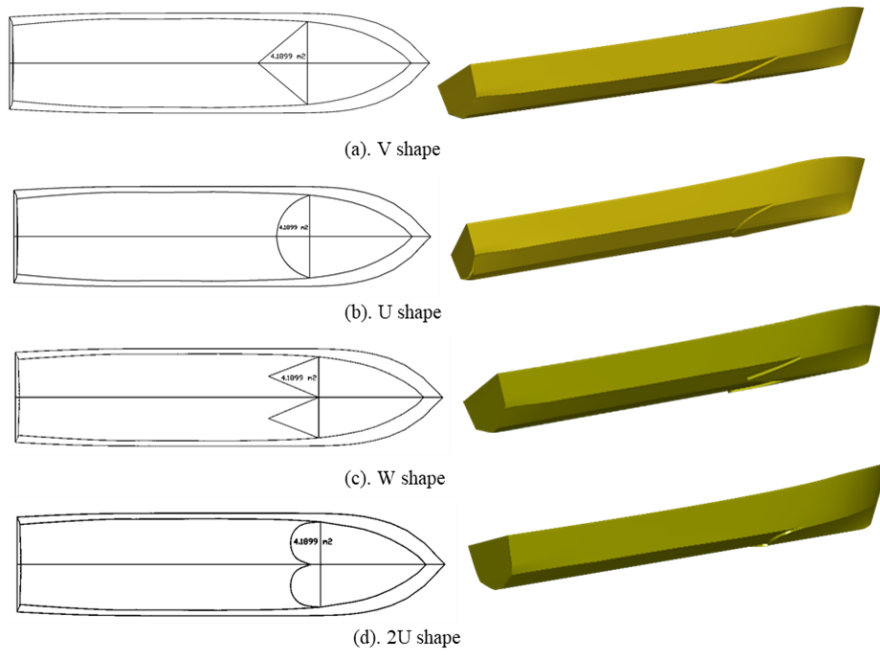
201 The improvement of step shape design was based initially on the feature 2D  
202 wedge geometry namely V and W-shape, and 2D segment geometry namely U  
203 and 2U shape. For similarity, the area of the different step shape was made  
204 similar wherein the area of V shape equals to U shape as well W shape equals to  
205 two-U shape wherein the single-stepped hull is shown in Fig. 3, the two-stepped  
206 hull is shown in Fig. 4, and the three-stepped hull is shown in Fig. 5. The  
207 section area of each step shape V, U, W, and 2U is similar which is  
208 approximately 4.1899 m<sup>2</sup>. The similarity of the section area shape affects on  
209 wetted areas wherein the wetted area is almost similar. For step location, the  
210 placement of step for single-step is located in near bow bottom around 2/3Loa  
211 from transom, for two-steps it is in around midship 1/2Loa from transom as  
212 well for three-steps it is in 1/3Loa from transom.

213 The 2D wedge geometry V and W-shape is the same in step pointed aft and the  
214 segment geometry U and 2U shape face to transom as shown in Figs. 3 to 4. In  
215 addition, the design parameters of the step were analyzed associated with the  
216 hydrodynamic design of the planing hull referred to Savitsky [23]. Then, the  
217 hydrodynamic design of the step shape designs is discussed in the next  
218 subsection accordingly.

### 219 **3.2 Wetted Parameters of Step Shape Design**

220 Here, the hydrodynamic characteristics of the stepped planing hull of the high-  
221 speed ferry are analyzed wherein the prismatic planing surface was assumed in  
222 constant deadrise and constant beam. Then, the analysis of the wetted area was  
223 varied with trim conditions. Figure 6 shows an example of the waterline  
224 intersection of a planing surface with three-stepped hull in stern trim 2 degrees.  
225 The analysis of the wetted are due to the improvement of step shape design  
226 under the bottom hull of the high-speed ferry are discussed accordingly.

227

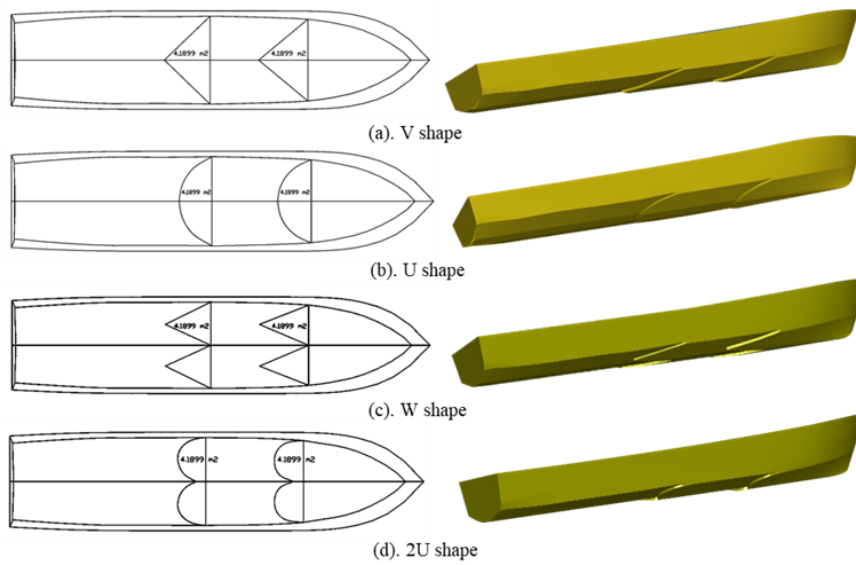


228

229

230

**Figure 1** Step shape design of single-stepped hull; bottom and side views.

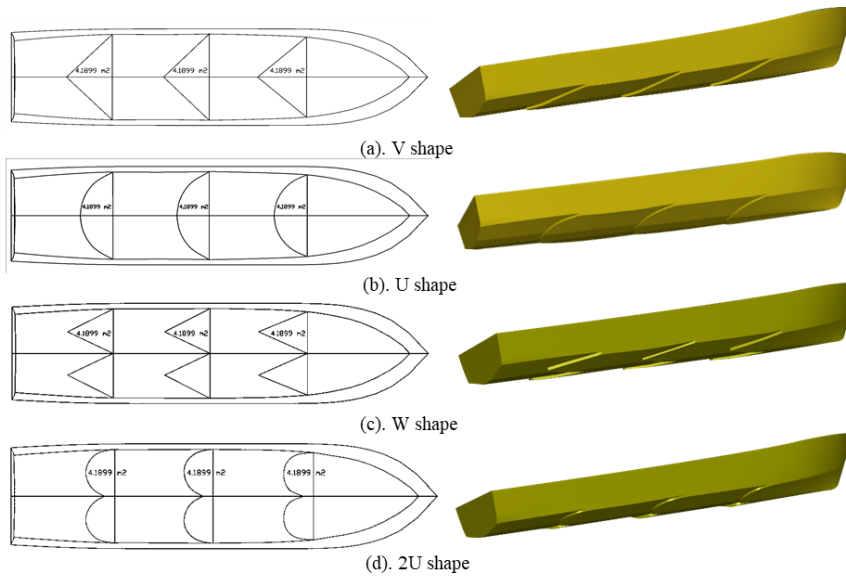


231

232

**Figure 2** Step shape design of two-stepped hull; bottom and side views.

233

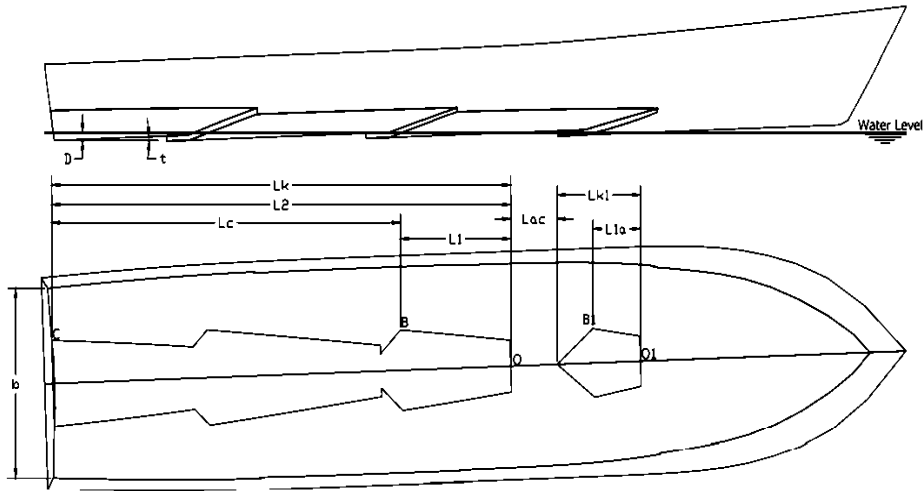


234

235

**Figure 3** Step shape design of three-stepped hull; bottom and side views.

236



237

238

**Figure 4** Waterline intersection in trim condition and constant deadrise angle.

239

### 240 3.3 Wave Rise

241 In planing condition, wave rise occurs in front of the intersection between water  
 242 level surface and immersed bottom. The wave rise parameters based on Fig. 6  
 243 are shown in Tables 2 to 5 wherein  $L_k$  is keel length,  $L_c$  is wetted chine length,  
 244  $L_1$  is difference between wetted keel and chine length,  $L_2$  is difference between  
 245 keel and chine length wetted by level water surface, and  $L_{ac}$  is air cavity length.  
 246 Moreover,  $L_{k1}$  is keel length of other wetted part separated by the air cavity  
 247 region,  $L_{1a}$  is difference between wetted keel and chine length of other wetted  
 248 part separated by the air cavity region,  $O$  is aft of the initial point of contact,  $O_1$   
 249 is aft of the initial point of contact for other wetted part separated by the air  
 250 cavity region,  $O-B$  is the spray root line,  $O_1-B_1$  is the spray root line for other  
 251 wetted part separated by the air cavity region,  $O-C$  is two oblique lines between  
 252 the keel and chines,  $b$  is beam of planing surface, and  $\tau$  is stern trim angle.  
 253 Based on Tables 2 to 5 shows that the wave rise parameters are different for  
 254 each step shape design. Also, the step shape design implies the air cavity length  
 255 during in planing condition.

### 256 3.4 Wetted Area

257 The wetted area of this high speed ferry with step shape design under bottom  
 258 hull surface in even keel and planing conditions (stern trim from 1 to 4 degrees)  
 259 is provided in Table 6. Based on Tabel 6, the wetted area is shown to decrease  
 260 in increasing the number steps and stern trim conditions. In even keel condition,  
 261 the wetted area for overall step shape design is similar. Wave rise parameters in  
 262 stern trim 1 degrees.

Step shape design	$L_k$	$L_c$	$L_1$	$L_2$	$L_{ac}$
Single-step hull					
V shape	27.942	2.939	25.003	27.942	-
U shape	28.299	2.789	25.510	28.299	-
W shape	17.588	2.587	15.000	17.588	-
2U shape	17.597	3.738	13.859	17.597	-
Two-steps hull					

V shape	17.584	2.578	15.007	17.584	-
U shape	17.584	2.434	15.151	17.584	-
W shape	17.587	3.409	14.178	17.587	-
2U shape	17.609	2.199	15.410	17.609	-
Three-steps hull					
V shape	17.635	1.216	12.992	17.635	-
U shape	17.585	0.905	13.384	17.585	-
W shape	17.568	2.129	12.994	17.568	-
2U shape	17.597	0.338	14.054	17.597	-

263

264

**Table 2** Wave rise parameters in stern trim 2 degrees.

Step shape design	$L_k$	$L_c$	$L_1$	$L_2$	$L_{ac}$
Single-step					
V shape	11.943	2.612	9.331	11.943	0.792
U shape	11.201	1.935	9.266	11.201	1.767
W shape	10.102	1.808	8.293	10.102	0.000
2U shape	11.004	3.554	6.550	11.004	2.832
Two-steps hull					
V shape	11.941	3.121	8.819	11.941	1.028
U shape	11.008	2.130	8.878	11.008	1.960
W shape	10.530	2.124	8.406	10.530	1.684
2U shape	10.665	1.875	5.364	10.665	4.026
Three-steps hull					
V shape	11.960	1.774	7.033	11.960	1.027
U shape	11.006	0.534	7.313	11.006	1.960
W shape	11.068	0.688	7.477	11.068	1.682
2U shape	10.749	0.213	3.850	10.749	4.027

265

266 The wetted area of this high speed ferry without a stepped hull [22] is higher  
 267 than the stepped hull. Then, the wetted area of the three-stepped hull in even  
 268 keel and stern trim condition is lowest (single and two-stepped hull). In stern  
 269 trim condition, the wetted area becomes different between others and the wetted  
 270 area of W shape design is smallest.

271

**Table 3** Wave rise parameters in stern trim 3 degrees.

Step shape design	$L_k$	$L_c$	$L_1$	$L_2$	$L_{ac}$
Single-step hull					
V shape	6.762	1.795	4.967	6.762	-
U shape	6.762	1.795	4.967	6.762	-
W shape	6.763	1.801	4.962	6.763	-
2U shape	6.762	3.538	3.224	6.762	-
Two-steps hull					
V shape	4.854	1.777	3.076	4.854	-
U shape	4.866	1.790	3.076	4.866	-
W shape	4.854	2.009	2.845	4.854	-

2U shape	4.854	1.852	3.002	4.854	-
Three-steps hull					
V shape	4.852	0.391	1.554	4.852	-
U shape	4.844	0.188	1.653	4.844	0.067
W shape	5.446	0.243	2.258	5.446	1.505
2U shape	4.575	0.159	1.472	4.575	-

272

273

**Table 4** Wave rise parameters in stern trim 4 degrees.

Step shape design	$L_k$	$L_c$	$L_1$	$L_2$	$L_{ac}$
Single-step hull					
V shape	5.093	1.784	3.309	5.093	-
U shape	5.093	1.782	3.311	5.093	-
W shape	5.093	1.785	3.307	5.093	-
2U shape	5.093	1.785	3.307	5.093	-
Two-steps hull					
V shape	3.662	1.762	1.901	3.662	-
U shape	3.662	1.762	1.901	3.662	-
W shape	3.662	1.142	2.520	3.662	-
2U shape	3.662	0.939	2.723	3.662	-
Three-steps hull					
V shape	3.727	0.694	0.582	3.727	-
U shape	3.652	0.089	0.564	3.652	0.067
W shape	2.229	-	-	2.229	-
2U shape	2.231	-	-	2.231	-

274

275

276

277

**Table 5** Wetted area in even keel and stern trim condition.

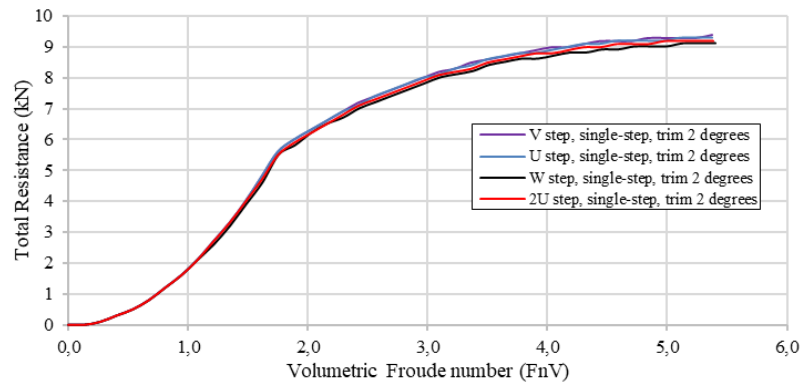
Step shape design	Wetted area (m <sup>2</sup> )					
	Condition	Even keel	1°	2°	3°	4°
Single-step hull						
V shape		65.140	48.939	27.418	16.518	12.112
U shape		65.140	49.009	27.856	16.551	12.160
W shape		65.140	48.400	25.382	16.244	11.967
2U shape		65.140	48.088	25.826	16.549	12.320
Two-steps hull						
V shape		64.309	45.706	23.067	11.1037	8.226
U shape		64.309	47.044	22.335	11.128	8.271
W shape		64.309	45.986	20.412	10.927	8.155
2U shape		64.309	45.914	21.300	11.510	8.68
Three-steps hull						
V shape		61.187	42.759	20.335	8.507	5.554
U shape		61.187	42.998	19.480	8.320	5.050
W shape		61.187	43.479	18.221	7.430	4.091
2U shape		61.187	42.836	18.175	7.563	4.318

278

**279 3.5 Total Resistance**

280 The total resistance of the stepped planing hull due to the improvement of the  
281 step shape design was investigated. The examples of the total resistance in  
282 constant trim condition and increasing the volumetric Froude number ( $FnV$ ) are  
283 shown in Figs. 7 to 9. All step shape design has a lower total resistance  
284 compared between unstepped planing hulls. Based on those figures, the  
285 tendency of the total resistance in constant trim condition shows to increase in  
286 increasing the  $FnV$  and then overall tendency shows similar. Merely, the value  
287 of total resistance decreases in increasing the stern trim condition on each step  
288 shape design. The total resistance increases significantly in  $FnV < 2.0$  and this  
289 decreases gradually in increasing the stern trim.

290 Meanwhile, the section area of all step shape design (V, U, W, and 2U) is  
291 similar as well the wetted area. As explained previously, the wetted area  
292 decreases in adding the number of stepped hulls. Based on the step number, the  
293 section and wetted area are also similar between each step shape design in  
294 single-step, two-steps, or three-steps. However, the total resistance for all  
295 conditions (even keel and stern trim) shows small differences between step  
296 shape design and then the difference is caused by step shape. The friction  
297 resistance dominates on total resistance compared with viscous resistance. The  
298 step shape W has a lowest total resistance compared with other shapes. This  
299 could highlight that the step shape affects also on resistance of a stepped  
300 planing hull.



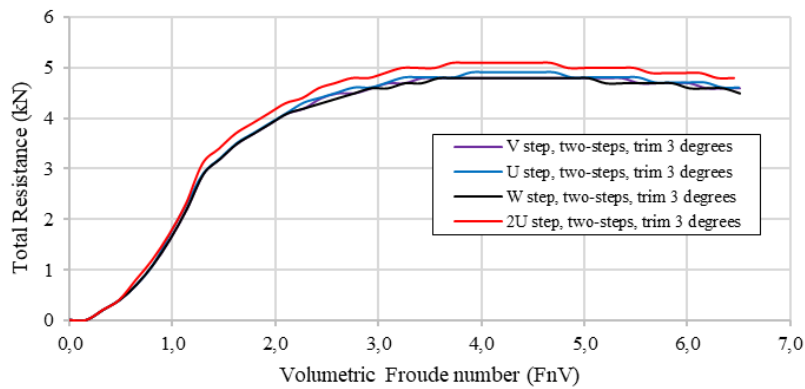
301

302

303

**Figure 5** Total resistance of step shape designs on single-stepped hull in increasing FnV and constant stern trim condition 2 degrees.

304

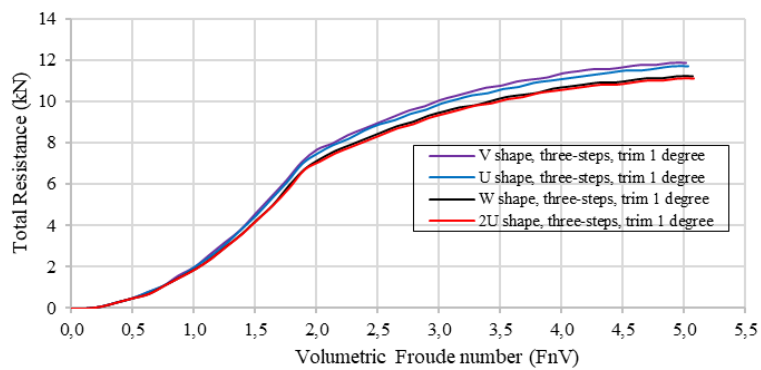


305

306

307

**Figure 6** Total resistance of step shape designs on two-stepped hull in increasing FnV and constant stern trim condition 3 degrees.



308

309

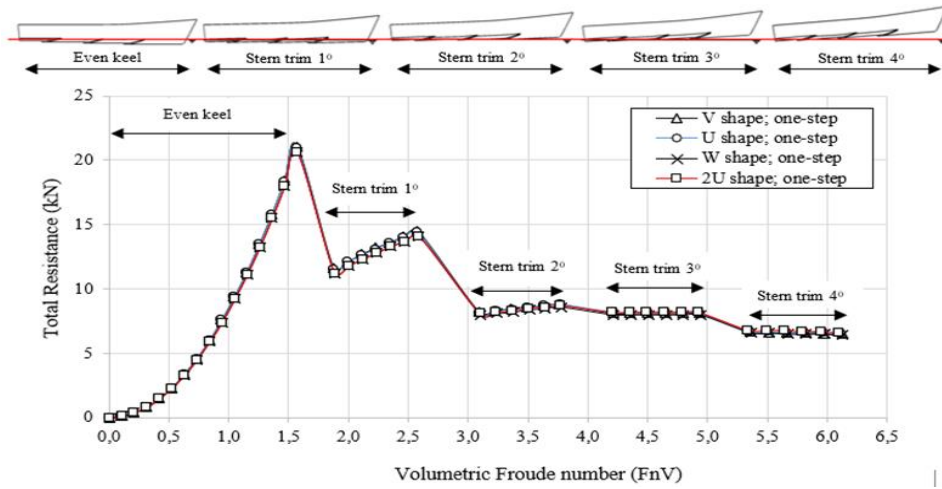
310

**Figure 7** Total resistance of step shape designs on three-stepped hull in increasing FnV and constant stern trim condition 1 degrees.

311  
312 In actual condition, the planing hull at low speed is in even keel condition,  
313 however, at high speed it experiences stern trim conditions. Therefore, the stern  
314 trim conditions were considered into four stern trims 1 degree to 4 degrees. For  
315 assumption, even keel condition has the  $F_nV < 1.6$ , pre-planing hull condition is  
316 in stern trim 1 to 2 degrees and  $F_nV$  1.8 to 3.75, planing hull condition is in  
317 stern trim 3 to 4 degrees and  $F_nV > 4.2$ . The total resistance of the stepped  
318 planing hull due to step shape design is shown in Figs. 10 to 12.

319 The total resistance tends to decrease from single-stepped hull to three-stepped  
320 hull for all step shape designs. The total resistance decreases significantly from  
321 even keel condition to pre-planing condition and then it tends to decrease  
322 sufficient to planing condition. In planing condition, the total resistance shows  
323 almost similar and stable in increasing the  $F_nV$ .

324 In even keel condition, the total resistance of the V and U stepped planing hull  
325 is similar whereas the W stepped planing hull has the same total resistance with  
326 the 2U stepped planing hull. The total resistance W and 2U stepped planing hull  
327 in even keel condition is lower than the the V and U stepped planing hull,  
328 however, it is similar in  $F_nV < 0.52$ . The difference of total resistance is  
329 approximately 2.1% for a single-stepped planing hull. For pre-planing condition  
330 and single-stepped planing hull, the step shape V U has the same total resistance  
331 whereas the total resistance for the step shape W is different with the step shape  
332 2U.



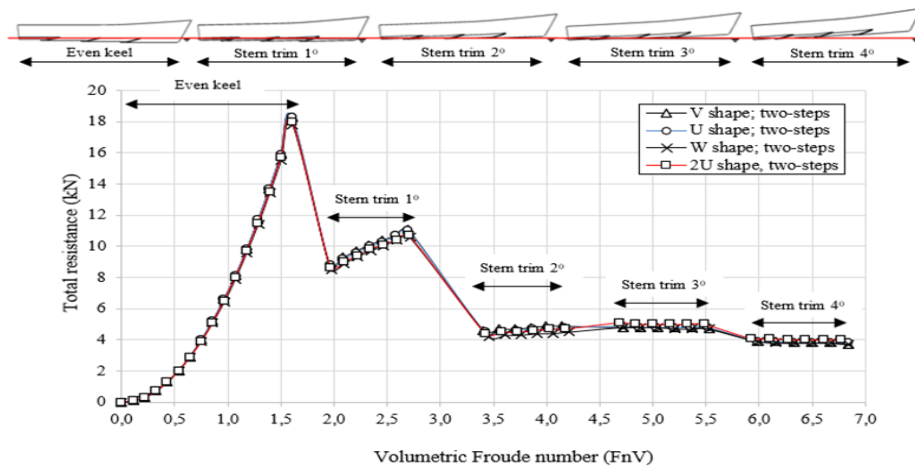
333

334

335

336

**Figure 8** Total resistance of single-stepped planing hull due to step shape designs in stern trim conditions.



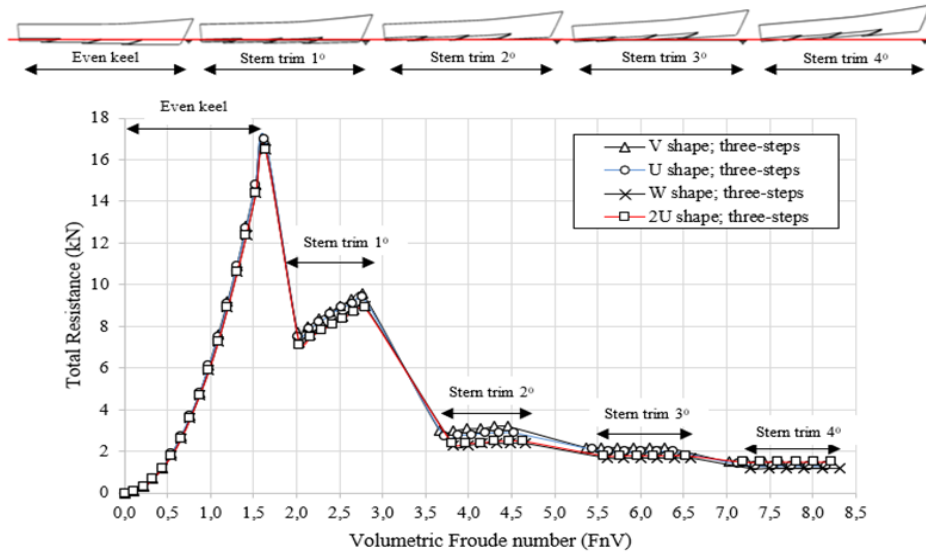
337

338

339

340

**Figure 9** Total resistance of two-stepped planing hull due to step shape designs in stern trim conditions.



341

342

343

**Figure 10** Total resistance of three-stepped planing hull due to step shape designs in stern trim conditions.

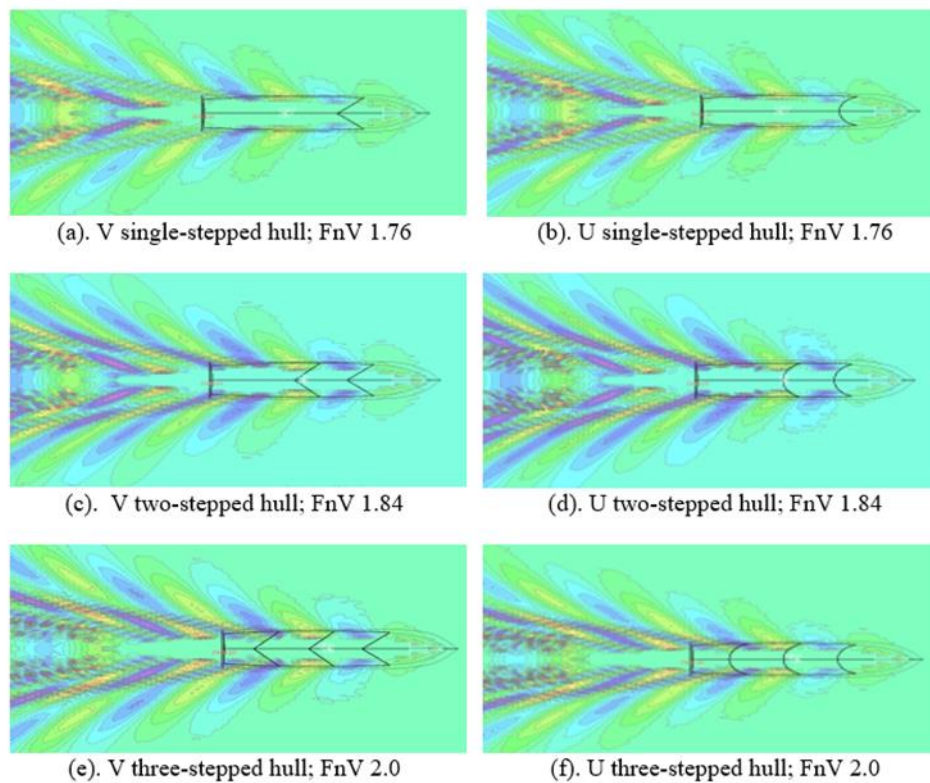
344

345 The total resistance of the step shape W is lowest and the difference is given  
 346 approximately 2.71%. For planing condition and single-stepped planing hull,  
 347 the total resistance of the step shape W is lowest and the difference is  
 348 approximately 1.88%. For overall stern trim conditions, the step shape W has a  
 349 lowest total resistance for single-stepped hull, two-stepped hull, and three-  
 350 stepped hull.

### 351 3.6 Free Surface Flow

352 The free surface flow of the stepped planing hull due to step shape designs was  
 353 investigated. Figure 13 shows wave contour along the stepped planing hull in  
 354 stern trim 1 degree and FnV 1.76 for single-stepped hull, FnV 1.84 for two-  
 355 stepped hull, and FnV 2.0 for three-stepped hull. The free surface flow between  
 356 V and U shape seems sufficient in the same water surface contour (Figs. 13a  
 357 and 13b), therefore, the total resistance has small discrepancy of 0.93% and the  
 358 total resistance of V single-stepped hull is higher. For a two-stepped hull, the

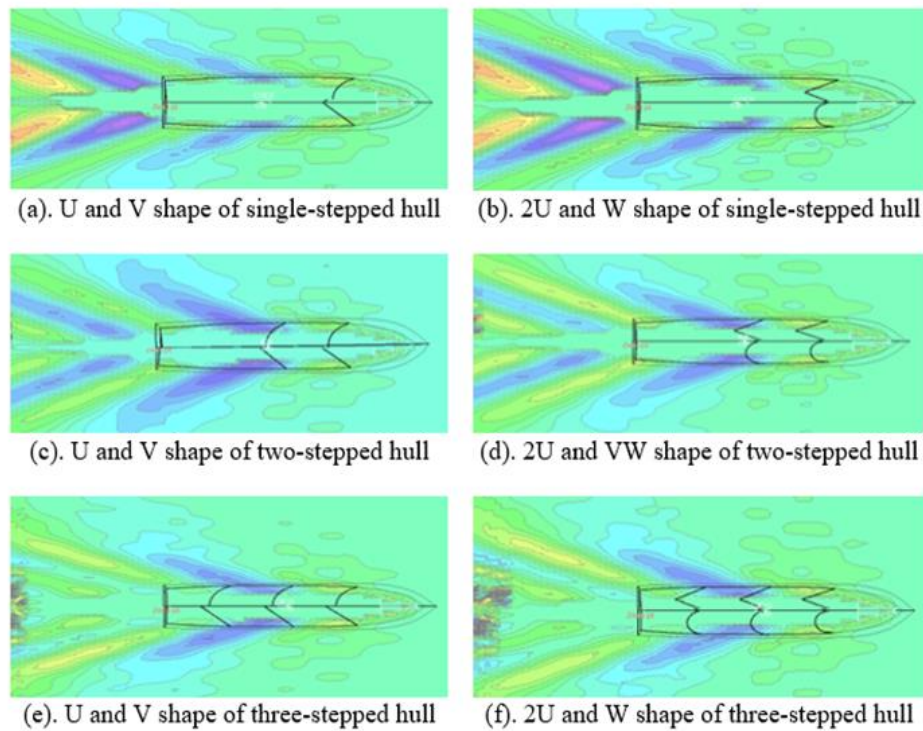
359 water surface contour between V and U shows a big difference as shown in  
 360 Figs. 13c and 13d and the discrepancy of the total resistance is approximately  
 361 1.39% where the total resistance of V two-stepped hull is higher. Moreover, for  
 362 a three-stepped hull, the free surface flow between V and U shape seems  
 363 sufficiently different as shown Figs. 13e and 13f and then the total resistance of  
 364 the V three-stepped hull is higher with the difference of 2.6%. The differences  
 365 of the total resistance and free surface flow between V and U shape in stern trim  
 366 1 degree that are explained previously are also similar on stern trim 2 and 3  
 367 degrees, merely, the magnitude of difference depends on  $F_nV$ .



368

369 **Figure 11** Free flow surface of the stepped planing hull due to step shape on  
 370 stern trim 1 degree

371



372

373

374

**Figure 12** The comparison of the free surface flow of the stepped planing hull due to step shape

375

376

377

378

379

380

381

382

383

Meanwhile, Figure 14 shows the comparison of the free surface flow due to the step shape design. For the single-stepped hull referring to Fig. 14a, the comparison of the free surface flow is in the same  $F_nV$  2.93 and stern trim 1 degree. The free surface flow between V and U shape seems sufficient difference wherein the total resistance of V single-stepped hull is higher and the difference is approximately 0.65%. Then, the free surface flow of both W and 2U shapes in  $F_nV$  2.94 seems in the same contour as well the total resistance is similar.

384

385

386

For the two-stepped hull, based on Fig. 14c, the comparison of the free surface flow between U and V is in the same  $F_nV$  3.06 and stern trim 1 degree and then the wave contour seems small different. The total resistance of V two-stepped

387 hull is higher and the discrepancy is approximately 0.08%. Moreover, the free  
388 surface flow between W and 2U shapes in  $F_nV$  3.08 seems to have a small  
389 different contour as shown in Fig. 14d and the total resistance of 2U two-  
390 stepped hull is higher as well the difference is approximately 0.87%.

391 Correspondingly, for the three-stepped hull, the comparison of the free surface  
392 flow between U and V is in the same  $F_nV$  3.14 and stern trim 1 degree as  
393 shown in Fig. 14e. Then, the wave contour seems small different wherein the  
394 total resistance of V three-stepped hull is higher and the discrepancy is  
395 approximately 1.94%. In addition, the free surface flow between W and 2U  
396 shapes in  $F_nV$  3.08 also seems small different contour as shown in Fig. 15, and  
397 the total resistance of 2U three-stepped hull is higher and the difference is  
398 approximately 1.03%.

#### 399 **4 Conclusions**

400 The step shape design was improved successfully based on the feature 2D  
401 wedge geometry namely V and W-shape, and 2D segment geometry namely U  
402 and 2U shape. The section area of each step shape V, U, W, and 2U is similar.  
403 The placement of step for single-step is located in the near bow bottom around  
404  $2/3L_{oa}$  from transom, for two-steps it is in around midship  $1/2L_{oa}$  from  
405 transom as well for three-steps it is in  $1/3L_{oa}$  from transom. The wave rise  
406 parameters i.e.  $L_k$ ,  $L_c$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  and  $L_{ac}$  were measured based on the intersection  
407 between water level surface and immersed bottom and planing condition. In  
408 stern trim condition, the wetted area of three-stepped hull in even keel and stern  
409 trim condition is lowest than others (single and two-stepped hull). The wetted  
410 area becomes different between others and the wetted area of W shape design is  
411 smallest.

412 The total resistance tends to decrease from single-stepped hull to three-stepped  
413 hull for all step shape designs. The total resistance decreases significantly from  
414 even keel condition to pre-planing condition and then it tends to decrease  
415 sufficiently to planing condition. In even keel condition, the total resistance of  
416 the V and U stepped planing hull is similar whereas the W stepped planing hull  
417 has the same total resistance with the 2U stepped planing hull. For overall stern  
418 trim conditions, the step shape W has a lowest total resistance for single-stepped  
419 hull, two-stepped hull, and three-stepped hull. The difference of total resistance  
420 has been proven by investigating the free surface flow.

#### 421 **Acknowledgments**

422 This research was supported partially by Research Grant 2020 No.  
423 752/UN4.22/PT.01.03/2021, Penelitian Terapan, Deputi Bidang Penguatan  
424 Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan  
425 Inovasi Nasional. Also, we would like to extend our appreciation to students  
426 namely Muh Fachreza Rahman dan Ainun Chandra Puspa Ningrum for their  
427 kind helps during the research work.

#### 428 **References**

- 429 [1] Clement, E.P. & Pope, J.D., *Stepless and Stepped Planing Hulls-Graphs*  
430 *for Performance Prediction and Design*, (No. DTMB-1490), David  
431 Taylor Model Basin Washington DC, 1961.
- 432 [2] Clement, E.P., Hollingsworth, J. & Scher, R., *The dynaplane planing*  
433 *motorboat design*, Clean Technology, pp. 471-474, 2008.
- 434 [3] Svahn, D. *Performance Prediction of Hulls with Transverse Steps*,  
435 Master Thesis, KTH Centre for Naval Architecture, Stockholm, Sweden,  
436 2009.
- 437 [4] Makasyeyev, M.V., *Numerical Modeling of Cavity Flow on Bottom of a*  
438 *Stepped Planing Hull*, Proceedings of the 7th International Symposium  
439 on Cavitation (CAV 2009), Ann Arbour, 2009.
- 440 [5] Savitsky, D. & Morabito, M., *Surface Wave Contours Associated with the*  
441 *Forebody Wake of Stepped Planing Hulls*, Marine Technology, 47(1), pp.  
442 1–16, 2010.

- 443 [6] Garland, W.R., *Stepped Planing Hull Investigation*, SNAME Trans., pp.  
444 1-11, 2010.
- 445 [7] Veysi, S.T.G., Bakhtiari, M., Ghassemi, H. & Ghiasi, M., *Toward*  
446 *numerical modeling of the stepped and non-stepped planing hull*, Journal  
447 of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 37, pp.  
448 1635–1645, 2014.
- 449 [8] Lotfi, P., Ashrafizaadeh, M. & Esfahan, R.K., *Numerical Investigation of*  
450 *a Stepped Planing Hull in Calm Water*, Ocean Engineering, 94, pp. 103-  
451 110, 2015.
- 452 [9] Bakhtiari, M., Veysi, S. & Ghassemi, H., *Numerical Modeling of the*  
453 *Stepped Planing Hull in Calm Water*, International Journal of  
454 Engineering, 29(2), pp. 236-245, 2016.
- 455 [10] Bilandi, R.N., Mancini, S., Vitiello, L., Miranda, S. & De Carlini, M., *A*  
456 *Validation of Symmetric 2D + T Model Based on Single-Stepped Planing*  
457 *Hull Towing Tank Tests*, Journal of Marine Science and Engineering, 6,  
458 136, 2018.
- 459 [11] De Marco, A., Mancini, S., Miranda, S., Scognamiglio, R. & Vitiello, L.,  
460 *Experimental and Numerical Hydrodynamic Analysis of a Stepped*  
461 *Planing Hull*, Applied Ocean Research, 64, pp. 135-154, 2017.
- 462 [12] Chooran, R.T., Shafaghat, R. & Yoosefi, R., *Numerical Investigation of*  
463 *Step Depth Effects on Hydrodynamic Performance of Planing Hull Using*  
464 *Dynamic Mesh and Two Degree of Freedom Model*, AUT Journal of  
465 Mechanical Engineering, 3(2), pp.139-148, 2019.
- 466 [13] Du, L., Lin, Z., Jiang, Y., Li, P. & Dong, Y., *Numerical Investigation on*  
467 *the Scale Effect of a Stepped Planing Hull*, Journal of Marine Science and  
468 Engineering, 7, 392, 2019.
- 469 [14] Najafi, A., Nowruzzi, H., Karami, M. & Javanmardi, H., *Experimental*  
470 *Investigation of the Wetted Surfaces of Stepped Planing Hulls*, Ocean  
471 Engineering, Vol. 187, 106164, 2019.
- 472 [15] Matveev, K.I., *Two-dimensional Modeling of Stepped Planing Hulls with*  
473 *Open and Pressurized Air Cavities*, International Journal of Naval  
474 Architecture and Ocean Engineering, 4, pp. 162-171, 2012.
- 475 [16] Ma, W., Sun, H., Zou, J. & Yang, H., *Test Research on The Resistance*  
476 *Performance of High-Speed Trimaran Planing Hull*, Polish Maritime  
477 Research, 20(4), pp. 45-51, 2013.
- 478 [17] Dashtimanesh, A., Tavakoli, S. & Sahoo P., *A Simplified Method to*  
479 *Calculate Trim and Resistance of a Two-Stepped Planing Hull*. Ships and  
480 Offshore Structures, Vol. 12, No. S1, pp. S317-S329, 2017.
- 481 [18] Bilandia, R.N., Vitiello, L., Mancini, S., Nappo, V., Roshan, F., Tavakoli,  
482 S. & Dashtimanesh, A., *Calm-water Performance of a Boat with Two*  
483 *Swept Steps at High-Speeds: Laboratory Measurements and*  
484 *Mathematical Modeling*, Procedia Manufacturing, 42, pp. 467-474, 2020.

- 485 [19] Di Caterino, F., Bilandi, R.N., Mancini, S., Dashtimanesh, A. & De  
486 Carlini, M., *A Numerical Way for a Stepped Planing Hull Design and*  
487 *Optimization*, Technology and Science for the Ships of the Future, A.  
488 Marinò and V. Bucci (Eds.) IOS Press, pp. 220-229, 2018.
- 489 [20] Sajedi, S.M. & Ghadimi, P., *Experimental Investigation of the Effect of*  
490 *Two Steps on the Performance and Longitudinal Stability of a Mono-Hull*  
491 *High-Speed Craft*, Cogent Engineering, 7:1, 1790980, 2020.
- 492 [21] Najafi, A. & Nowruzi, H., *On Hydrodynamic Analysis of Stepped Planing*  
493 *Crafts*, Journal of Ocean Engineering and Science, 4, pp. 238-251.
- 494 [22] Baso, S., Bochary, L., Rosmani, Hasbullah, M., Anggriani, A.D.E. &  
495 Ardianti, A., *Investigating the Performance Characteristics of a Semi*  
496 *Planing Ship Hull at High Speed*, IOP Conference Series: Materials  
497 Science and Engineering, 875012076, 2020.
- 498 [23] Savitsky, D., *Hydrodynamic Design of Planing Hulls*, Marine  
499 Technology, 1(1), pp. 71-95, 1964.