

Studi Eksperimental Tahanan Kapal Planning Hull Akibat Pengaruh Penggunaan 3 Stepped U

Rosmani^{1*}, Ade Syamrisal Arnindha^{2*}, Muhammad Akbar Asis³, Suandar Baso⁴, Andi Ardianti⁵

^{1,2,3,4,5}Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia

*Corresponding Author: asyamrisal@gmail.com

Abstract

As an archipelagic country, ships play a vital mode of transportation in connecting the islands in Indonesia. There are various types of ships sailing in Indonesia. One of them is a high-speed ferry/passenger boat with a relatively higher speed than other ships. The higher speed can be obtained due to the applied hull planning model. In order to ensure ship performance, the most essential aspect to consider is ship resistance. Currently, the design of fast boats has undergone many changes and modifications to the hull to obtain a ship design that guarantees the performance and safety of the ship. Reducing the resistance of fast boats can be conducted by modifying the hull's shape by adding a stepped hull shape. In this research, a U-shaped stepped has been applied to the boat hull with some variations of stepped from 1 to 3 Stepped. The results of the analysis of testing the model show that the ship's trim will increase as the ship's speed increases. The ship's resistance of the model shows that as the number of applied stepped increase, the resistance of the model decreases significantly. At two-stepped with a model speed of 2.5 – 3.5 m/s, a reduction in the value of the ship's resistance is obtained by 31,530%, 30,803%, and 30,521% compared to the ship model with one-stepped, and on a three-stepped model with a ship speed of 2.5 – 3.5 m/s, a reduction in value is obtained ship resistance of 56.208%, 52.321%, 51.890% compared to the ship model with one-stepped.

Keywords: Hull planning; Resistance; Experimental; Stepped hull

Article History:

Received 12 Februari 2023
Revised 15 Maret 2023
Accepted 30 Juni 2023
Available online 30 Juni 2023

1. Pendahuluan

Kapal sebagai moda transportasi laut di Indonesia menjadi sangat penting belakangan ini mengingat Indonesia adalah negara yang berkepulauan. Ada berbagai jenis type kapal yang berlayar di Indonesia. salah satunya adalah kapal ferry. Kapal ferry digunakan sebagai moda transportasi penyeberangan antar pulau diantaranya melalui kapal penyeberangan ferry roll on - roll off atau biasa disebut kapal ferry ro-ro. Kapal ferry ro-ro berfungsi untuk mengangkut penumpang dan kendaraan beserta muatannya. Tetapi ada juga kapal penumpang cepat (*high speed ferry*) yang memberikan alternatif pilihan moda transportasi kapal laut kepada calon penumpang untuk penyeberangan antara pulau-pulau kecil yang tidak terjangkau oleh kapal ferry ro-ro. Kapal ferry cepat ini memiliki kecepatan yang relatif lebih besar dibanding kapal yang lain. Hal ini disebabkan oleh model lambung kapal yang digunakan yaitu lambung planning hull [1].

Saat ini desain kapal cepat mengalami banyak perubahan atau modifikasi untuk mendapatkan desain kapal yang lebih menjamin performa dan keselamatan saat berlayar di lautan dan salah satunya adalah modifikasi pada bagian hull. Salah satu cara modifikasi bagian hull ialah dengan penambahan bentuk *stepped hull* [2]. Prinsip dasar dari penggunaan lambung bertangga (*stepped planing hull*) ialah mengurangi luas permukaan basah (*wetted surface area*) karena timbulnya turbulensi di bawah badan kapal dan akan menambah daya tekan keatas kapal (*lifting force*). Akibatnya adalah berkurangnya nilai tahanan kapal dan menaikkan efisiensi. Hal ini akan berdampak pada peningkatan kecepatan kapal dengan daya mesin yang lebih kecil serta bahan bakar yang lebih sedikit [3].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan secara eksperimen oleh Muis [4] dan penelitian menggunakan software CFD oleh Dampang [5] dengan variasi *Stepped* berbentuk V dan sudut *deadrise* 5°, diperoleh penurunan nilai tahanan pada sudut trim yang besar. Berdasarkan hal tersebut paper ini mengkaji secara eksperimen variasi *stepped* berbentuk U dengan penambahan sudut *deadrise* >5°.

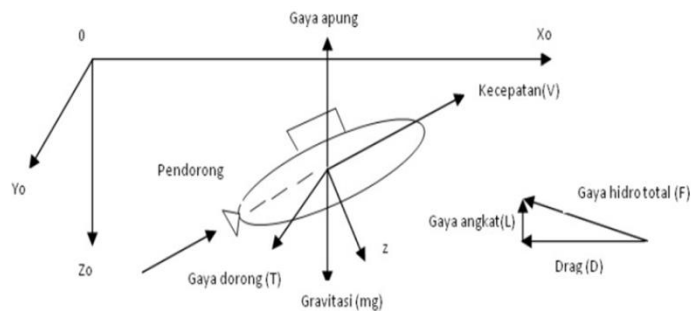
Penelitian ini bertujuan untuk menentukan perubahan nilai sudut trim dan tahanan kapal pada bentuk lambung kapal *planning hull* dengan *deadrise* 10 derajat dan variasi jumlah *stepped* berbentuk U pada beberapa kondisi kecepatan kapal.

2. Metode

2.1 Tahanan Kapal

Tahanan (*resistance*) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut [6]. Tahanan tersebut sama dengan gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. Karena tahanan kapal ini adalah sama dengan suatu gaya dan karena dihasilkan oleh air, maka ini disebut gaya hidrodinamika. Gaya hidrodinamika ini semata-mata disebabkan oleh gerakan relatif kapal terhadap air [7].

Gerakan kapal di fluida bekerja seperti sistem sumbu orthogonal yaitu 3 (tiga) buah sumbu x, y, dan z, ditempatkan sedemikian rupa, dimana pusat sumbu berimpit dengan titik berat kapal. Bidang x, dan y satu bidang dengan permukaan bumi (sejajar). Sistem sumbu ini dapat dilihat pada Gambar 1.



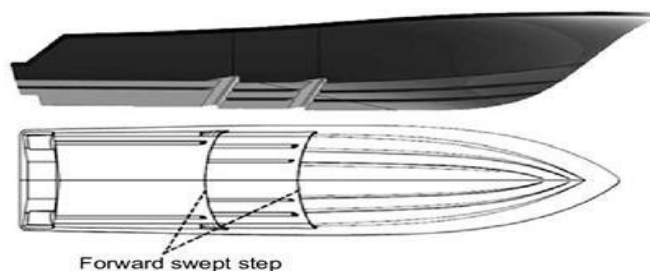
Gambar 1. Gaya yang bekerja pada kapal

Menurut Rosmani [8], gerakan kapal dibebani oleh 4 gaya yang tidak tergantung satu sama lainnya yaitu:

1. Gaya hidrostatis yaitu massa kali percepatan gravitasi bumi (mg).
2. Hambatan hidrostatis (gaya apung) $F\Delta$ atau γv . Seperti halnya mg , tekanan atau gaya ini selalu sejajar dengan Zo .
3. Resultante gaya hidrodinamik (F) yang didesakkan oleh air pada kapal sebagai akibat gerakan menerjang air tersebut. Gaya F dapat diuraikan dalam 2 (dua) bagian; komponen gaya angkat (L) dan komponen tahanan (atau drag) R (atau D). Dimana L tegak lurus terhadap kecepatan kapal dan R (atau D) sejajar V .
4. Gaya dorong (T), yang didesakkan oleh air pada pendorong kapal, umumnya berlawananarah dengan R

2.2 Stepped Hull

Stepped hull atau *transvers stepped* atau *stepped planing hull* atau *planing stepped hull* merupakan modifikasi pada bagian bawah lambung kapal berupa *stepped* melintang atau jika dilihat bangunan kapal dari samping, bentuk kapal seperti terpotong bagian bawahnya (Gambar 2). *Stepped hull* sendiri berfungsi mengurangi luasan permukaan basah karena timbulnya turbulensi di bawah badan kapal dan akan menambah gaya angkat ke atas, sehingga dengan sendirinya akan mengurangi tahanan pada kapal [9].



Gambar 2. Stepped Hull Boat

Stepped Hull pada lambung kapal bertujuan untuk mengurangi jumlah permukaan lambung yang tercelup air. Konfigurasi ini biasa berbentuk mirip "V". *Stepped Hull* memiliki bukaan yang besar pada sisi *outboard* pada lambung untuk memberikan rongga udara. Pada umumnya, *Stepped Hull* dapat meningkatkan kecepatan

sekitar 10-15% dari kecepatan yang diinginkan apabila dibandingkan dengan tidak memakai *stepped hull* dengan *power* pada mesin yang sama.

2.3 Karakteristik Kapal Cepat dan Planning Hull

Lawrence dalam Rosmani [8] mengatakan bahwa karakteristik *high speed craft* dipengaruhi oleh *Froude number*-nya. *Froude number* yang besar menyebabkan kapal dapat mencapai kecepatan tinggi. Untuk *planning craft*, luas bidang basah efektif berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal. Oleh karena itu, bilangan *Froude number* (Fn) sering digunakan sebagai parameternya. *Froude number* (Fn) dapat didefinisikan pada persamaan (1) sebagai berikut :

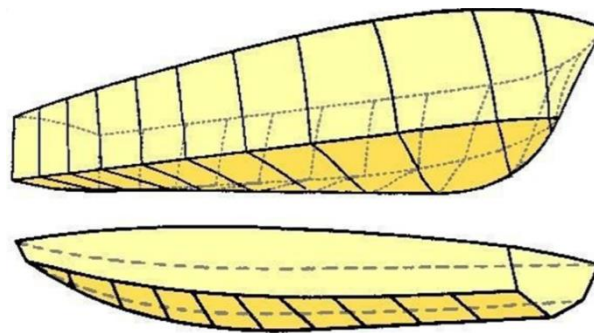
$$Fn = \frac{v}{\sqrt{g \times L}} \tag{1}$$

Dimana V adalah volume, g adalah gravitasi, dan L adalah panjang kapal.

Planning Hull merupakan tipe kapal yang cocok digunakan untuk pelayaran dengan kecepatan tinggi [10]. *Planning Hull* adalah jenis kapal yang dapat mengangkat kapal dengan meningkatkan komponen 8 *hydrostatic lift* yang berarti pada kecepatan lebih rendah kapal bekerja seperti kapal *displacement* dan secara bertahap mulai ‘*ploughing water*’ dengan meningkatkan kecepatan dan kekuatan.

Kapal dengan *Planning Hull* meluncur di sepanjang permukaan air dengan kecepatan tinggi dan akan naik di atas permukaan air dan akan menghempas permukaan air (seperti halnya dengan kapal berkecepatan sangat tinggi) [11]. Lambung kapal tipe ini disesuaikan dengan sudut lambung pada saat pelayaran dengan kecepatan tinggi dan secara efektif lambung bagian bawah kapal mendukung tekanan air dinamis (*dynamic water pressure*) bentuk lambung lebar permukaan pada lambung bagian bawah. Bentuk transom vertikal di bagian bagian belakang kapal. Luas penampang melintang pada lambung bagian bawah air dijaga secara tetap sepanjang setengah lambung kapal.

Lambung berbentuk datar dan V adalah contoh dari *Planning Hull*. Di Indonesia, kapal tipe *planning hull* umumnya difungsikan sebagai kapal patroli perairan dan penjagaan pantai. Lambung dengan alas rata serta garis muat (sarat) yang rendah sangat mendukung kapal tipe *planning hull* dapat berkecepatan tinggi serta memiliki stabilitas yang baik (Gambar 3).



Gambar 3. Tipe *Planning Hull*

2.4 Metode Wyman

Metode perhitungan ini ditemukan oleh David B. Wyman pada tahun 1998. David B. Wyman adalah seorang naval architecture yang saat ini tinggal di Maine, Amerika Serikat. Koefisien Wyman dijabarkan pada persamaan (2) sebagai berikut :

$$Cw = 0.8 + (0.17 \times \frac{v}{\sqrt{Lwl}}) \tag{2}$$

Dimana Cw adalah koefisien wyman, v adalah kecepatan, dan Lwl adalah panjang garis air.

Koefisien Cw digunakan untuk mencari nilai SHP (*Shaft Horse Power*) kapal sebagai berikut (persamaan 3).

$$SHP = \left(\frac{Displ}{1000}\right) \times \left(\frac{v}{Cw \times \sqrt{Lwl}}\right)^3 \tag{3}$$

Dimana Displ adalah *displacement* kapal, V adalah kecepatan kapal, Cw adalah *coefisien waterline* dan LWL = panjang garis air kapal.

Dalam hubungannya dengan perhitungan tahanan kapal menggunakan metode Wyman, nilai SHP (*Shaft Horse Power*) atau disebut juga dengan PS (*Power Shaft*) adalah daya yang terukur hingga daerah di depan bantalan tabung poros (*stern tube*) dari sistem perporosan penggerak kapal. Sedangkan DHP (*Delivery Horse Power*) atau PD (*Power Delivery*) adalah daya yang diserap oleh baling-baling kapal guna menghasilkan gaya dorong atau dengan kata lain *Power Delivery* merupakan daya yang disalurkan oleh motor penggerak ke baling-baling kapal (*propeller*) yang kemudian diubah menjadi gaya dorong kapal. Adapun untuk persamaannya dijabarkan sebagai berikut (persamaan 4):

$$DHP = SHP \times \eta s \eta b \tag{4}$$

Dimana $\eta s \eta b$ adalah efisiensi transmisi poros.

Selanjutnya setelah nilai dari *Power Delivery* sudah didapatkan kemudian nilai ini digunakan untuk mencari nilai EHP (*Effective Horse Power*) atau biasa juga disebut *Power Effective* (PE) adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat (*resistance*) agar kapal dapat bergerak. Adapun persamaannya diuraikan pada persamaan (5) sebagai berikut :

$$EHP = DHP \times P_c \tag{5}$$

Dimana untuk nilai P_c atau koefisien propulsif dicari dengan menggunakan persamaan (6) sebagai berikut:

$$P_c = \eta_{rr} \times \eta_p \times \eta_H \tag{6}$$

Dimana η_{rr} adalah efisiensi relatif rotatif (untuk single screw berkisar 1.02-1.05), η_p adalah efisiensi propulsi (nilainya antara 40% – 70%) dan η_H adalah efisiensi lambung.

Karena *Power Effective* (PE) adalah daya yang digunakan untuk menggerakkan badan kapal. maka terdapat hubungan antara tahanan total (Rt) dengan PE. Persamaan (7) berikut ini digunakan untuk menghitung nilai Rt.

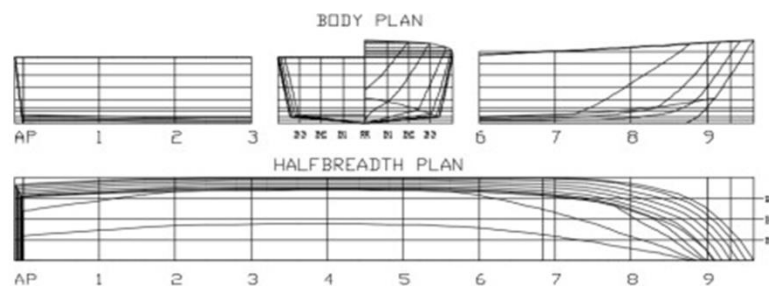
$$R_t = \frac{EHP}{v} \tag{7}$$

Dimana EHP adalah *effective horse power*, v adalah kecepatan kapal.

2.5 Data Kapal dan Skala Model

Ukuran utama dari kapal sebenarnya dan model yang telah diskalakan 1:15 terdapat pada Tabel 1 serta gambar lines plan kapal ditunjukkan pada Gambar 4. Terdapat tiga model dalam penelitian ini yaitu model kapal *deadrise angle* 10° dengan 1 *stepped U*, model kapal *deadrise angle* 10° dengan 2 *stepped U*, dan model kapal *deadrise angle* 10° dengan 3 *stepped U*.

Dimana 1 *stepped* terletak sekitar 1/3 LOA dari transom, 2 *stepped* berada disekitar 1/2 LOA, dan 3 *stepped* berada di 2/3 LOA dari transom dengan ketinggian *stepped* yaitu sebesar 1 cm dihitung dari *baseline*. Untuk model yang dimaksud ditunjukkan pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



Gambar 4. Lines plan

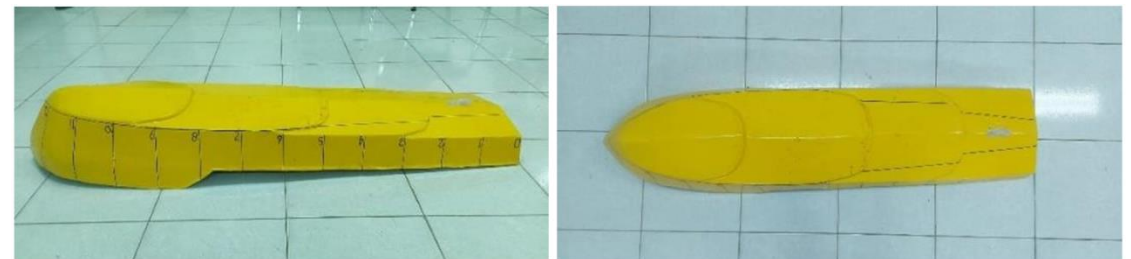
Berikut bentuk model setiap kapal dengan desain 3 bentuk *Stepped U* berlambung *deadrise angle* 10 Derajat.



Gambar 5. Tampak Bawah dan Tampak Samping Model Kapal Berlambung *Deadrise Angle*10° dan 1 *Stepped U*.



Gambar 6. Tampak Bawah dan Tampak Samping Model Kapal Berlambung *Deadrise Angle*10° dan 2 *Stepped U*.



Gambar 7. Tampak Bawah dan Tampak Samping Model Kapal Berlambung *Deadrise Angle*10° dan 3 *Stepped U*.

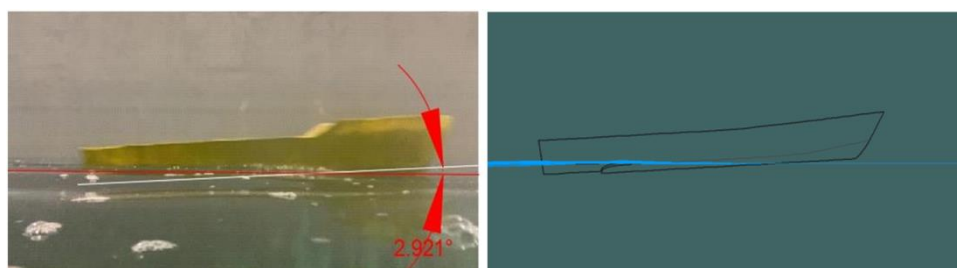
Tabel 1. Ukuran utama kapal dan model kapal

No.	Komponen	Actual Ship (m)	Model Ship (m)
1.	Length Over All (LOA)	19,00	1,27
2.	Length Between Perpendicular (LBP)	17,72	1,18
3.	Length Water Line (LWL)	17,77	1,19
4.	Breadth (B)	5,56	0,37
5.	Depth (D)	1,80	0,12
6.	Draft (d)	0,45	0,03
7.	Displacement	20,17 ton	1,34

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Penentuan Kecepatan dan Trim dari Percobaan Model

Kecepatan dan trim kapal didapatkan dari percobaan model pada *Towing tank*. Kecepatan model ditentukan dari *remote control* dengan 8 variasi kecepatan yang diukur menggunakan *stopwatch* dengan jarak tempuh 10 meter. Untuk trim model kapal, didapatkan dari *screenshot video* pengujian dimana dilakukan pengukuran besar sudut trim dari setiap kecepatan dengan cara memasukkan gambar ke dalam *software* AutoCAD seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengukuran Trim 2 Model Kapal 1 *Stepped U* Dengan Kecepatan 2,352 m/s

Dari hasil pengukuran diperoleh nilai kecepatan dan trim pada model percobaan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran Kecepatan dan Trim untuk model *Deadrise Angle 10°* dan *1,2,3 Stepped U*

No.	1 Stepped U		2 Stepped U		3 Stepped U	
	Kecepatan (m/s)	Trim (°)	Kecepatan (m/s)	Trim (°)	Kecepatan (m/s)	Trim (°)
1	2,352	2,921	2,110	2,835	2,304	3,430
2	2,493	3,114	2,198	2,980	2,375	3,590
3	2,604	3,285	2,564	3,422	2,564	3,900
4	2,754	3,572	2,809	3,760	2,625	3,982
5	3,154	4,202	2,976	3,972	2,755	4,203
6	3,300	4,350	3,145	4,325	2,976	4,762
7	3,610	4,435	3,289	4,526	3,106	4,871
8	4,000	4,511	3,521	4,632	3,906	5,236

Interval kecepatan yang diukur pada *Towing tank* berbeda disetiap jumlah *stepped*. Pada 2 *stepped* dan 3 kecepatan awal pada 2,110 m/s, sedangkan 1 *stepped* pada kecepatan 2,352 m/s perbedaan tersebut karena pengaturan kecepatan pada *joystick* sehingga kecepatan tidak akan sama pada interval data. Kecenderungan perubahan trim buritan kapal terhadap kecepatan model untuk 2 dan 3 *stepped* hampir sama, sedangkan 1 *stepped* berbeda. Perubahan trim buritan kapal akan besar dengan bertambahnya kecepatan kapal.

3.2 Perhitungan Tahanan Model *Planning Hull Stepped U Deadrise 10°*

Tahanan model dihitung dengan bantuan *software maxsurf resistance* berdasarkan kecepatan dan kondisi trim yang didapatkan pada saat percobaan model. Kecepatan dan trim tersebut disesuaikan pada *Maxsurf modeler* dengan merotasi model kapal. Perhitungan tahanan model menggunakan *maxsurf resistance* dengan Metode Wyman. Metode ini baik untuk mengkalkulasi nilai tahanan pada kecepatan batas minimum 0.0 dan metode ini dapat diaplikasikan baik pada model *planning hull* maupun *displacement hull*. Pengaturan kecepatan disesuaikan dan trim sesuai dengan Tabel 2. Adapun hasil perhitungan tahanan dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 3. Nilai Tahanan Model *Deadrise Angle 10 Derajat* dan 1 *Stepped U* Pada *Maxsurf Resistance*

Kecepatan (m/s)	Froude Number Volume	Trim (Derajat)	Luas Bidang Basah(cm ²)	Tahanan Total RT (N)
2,352	2,024	2,921	1860,29	17,96
2,493	2,151	3,114	1799,81	19,03
2,604	2,253	3,285	1742,32	19,75
2,754	2,389	3,572	1668,85	20,87
3,154	2,742	4,202	1546,13	23,41
3,300	2,871	4,350	1519,82	24,01
3,610	3,150	4,435	1495,30	24,46
4,000	3,491	4,511	1482,81	25,08

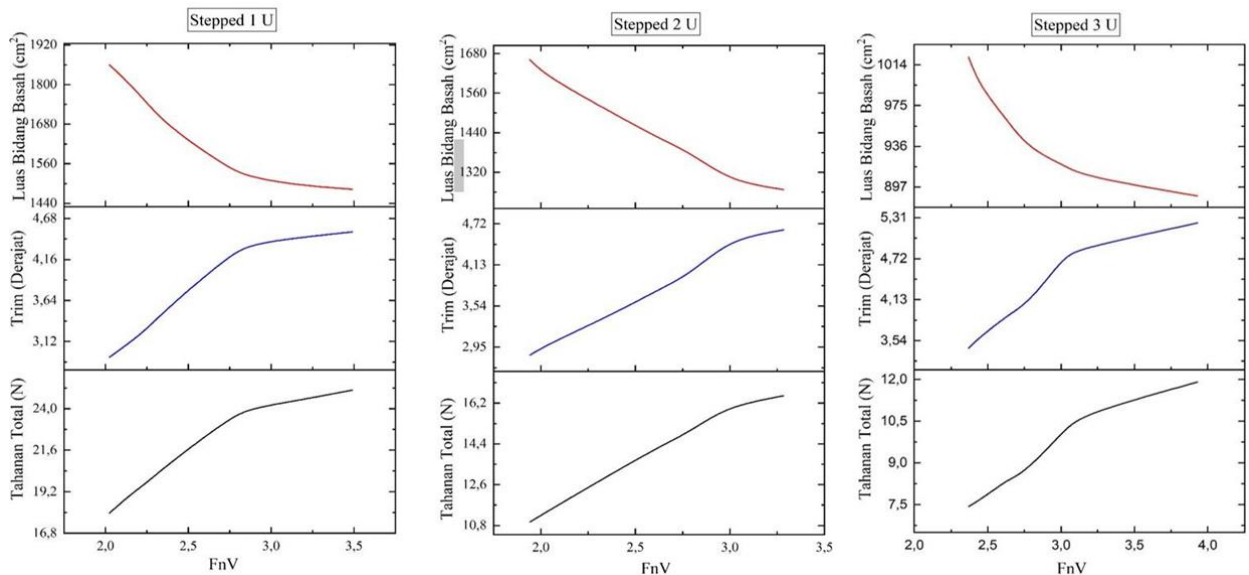
Representatif kecepatan kapal dapat ditentukan dengan angka Froude number mempunyai fungsi berbanding lurus dengan kecepatan kapal, perubahan tahanan kapal ditentukan dengan beberapa variabel peubah seperti pada rumus empiris yakni luas bidang basah sesuai dengan kondisi sarat karena berpengaruh terhadap tahanan gesek, perubahan titik tekan kapal terhadap kondisi trim. Perubahan tahanan tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 4. Nilai Tahanan Model *Deadrise Angle 10 Derajat* dan 2 *Stepped U* Pada *Maxsurf Resistance*

Kecepatan (m/s)	Froude Number Volume	Trim (Derajat)	Luas Bidang Basah(cm ²)	Tahanan Total RT (N)
2,110	1,942	2,835	1661,77	10,950
2,198	2,030	2,98	1611,25	11,400
2,564	2,380	3,422	1499,640	13,110
2,809	2,612	3,76	1426,74	14,210
2,976	2,770	3,972	1385,11	14,860
3,145	2,927	4,325	1324,27	15,720
3,289	3,064	4,526	1287,76	16,170
3,521	3,284	4,632	1267,24	16,530

Tabel 5. Nilai Tahanan Model *Deadrise Angle* 10 Derajat dan 3 *Stepped U* Pada *Maxsurf Resistance*

Kecepatan (m/s)	Froude Number Volume	Trim (Derajat)	Luas Bidang Basah (cm ²)	Tahanan Total RT (N)
2,304	2,370	3,43	1021,44	7,43
2,375	2,446	3,59	993,77	7,67
2,564	2,635	3,9	960,43	8,39
2,625	2,700	3,982	948,09	8,52
2,755	2,825	4,203	930,81	9,05
2,976	3,024	4,762	917,43	10,18
3,106	3,143	4,871	907,45	10,75
3,906	3,931	5,236	888,29	11,91



Gambar 9. Hubungan *Froude Number Volume* terhadap Tahanan total, Trim dan Luas Bidang Basah

Pada Gambar 9, tren perubahan tahanan dan trim meningkat dengan kenaikan nilai kecepatan kapal atau perubahan nilai *Froude number volume*, kondisi tersebut terjadi pada semua bentuk *stepped*. Pada angka *Froude number* yang sama yakni 2,5 tahanan terkecil pada 3 *stepped*, hal ini terjadi karena sudut trim yang terjadi terbesar pada 3 *stepped* yakni 5,236 derajat dan 2 *stepped* 4,632 derajat, 1 *stepped* 4,511 derajat, dengan trim yang besar maka luas bidang basah juga akan kecil sehingga tahanan gesek yang terjadi juga akan kecil, tahanan total juga dipengaruhi oleh tahanan sisa seperti tahanan gelombang, tahanan udara, tahanan bentuk dan tahanan tambahan sehingga perlu untuk dikeluarkan masing-masing tahanan tersebut.

3.3 Perbandingan Tahanan Total Model Kapal dan Kecepatan yang sama Pada Setiap Jumlah *Stepped U*

Untuk setiap jumlah *stepped U* diperoleh nilai tahanan, luas bidang basah, kondisi sudut trim, dan angka *Froude Number Volume* pada model kapal *deadrise angle* 10 derajat untuk setiap variasi kecepatan yang sama dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

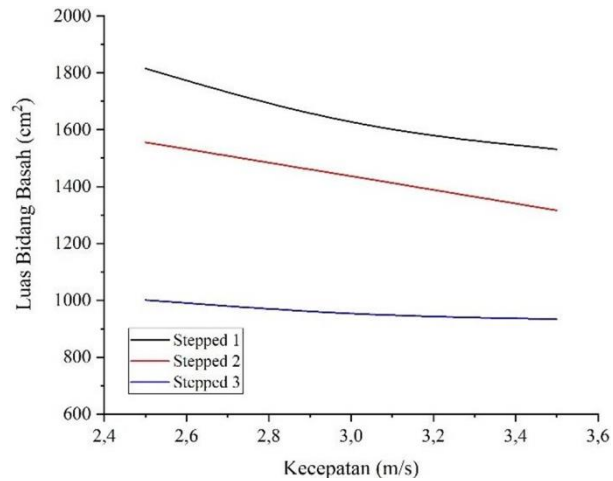
Tabel 6. Nilai Luas Bidang Basah dan Kondisi Sudut Trim Lambung *Deadrise Angle* 10 Derajat Untuk Setiap Variasi Jumlah *Stepped U* untuk Kecepatan yang Sama

No.	Kecepatan (m/s)	Luas Bidang Basah (cm ²)			Trim (Derajat)		
		1 <i>Stepped</i>	2 <i>Stepped</i>	3 <i>Stepped</i>	1 <i>Stepped</i>	2 <i>Stepped</i>	3 <i>Stepped</i>
1	2,5	1815,2	1555,77	1001,23	3,124	3,344	3,8083
2	3	1604,66	1436,51	946,95	3,9897	4,012	4,787
3	3,5	1531,36	1316,66	934,15	4,4181	4,625	5,0824

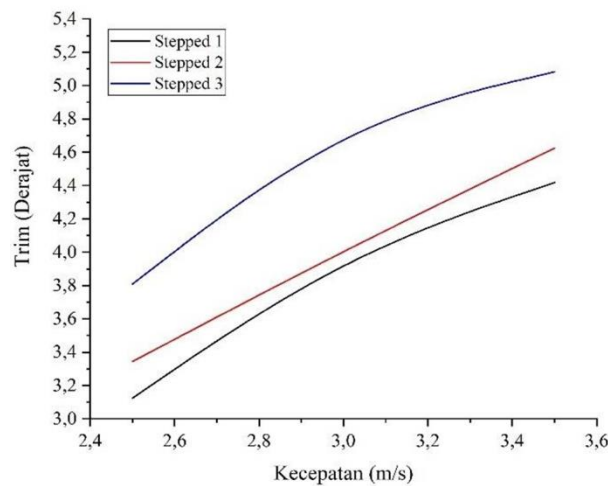
Tabel 7. Nilai Tahanan Model Kapal dan angka *Froude Number Volume* pada Lambung *Deadrise Angle* 10 Derajat Untuk Setiap Variasi Jumlah *Stepped U* untuk Kecepatan yang Sama

No.	Kecepatan (m/s)	Tahanan Total (N)			Froude Number Volume		
		1 <i>Stepped</i>	2 <i>Stepped</i>	3 <i>Stepped</i>	1 <i>Stepped</i>	2 <i>Stepped</i>	3 <i>Stepped</i>
1	2,5	19,41	13,29	8,5	2,149	2,302	2,55
2	3	23,05	15,95	10,99	2,595	2,757	3,012
3	3,5	25,13	17,46	12,09	3,031	3,228	3,493

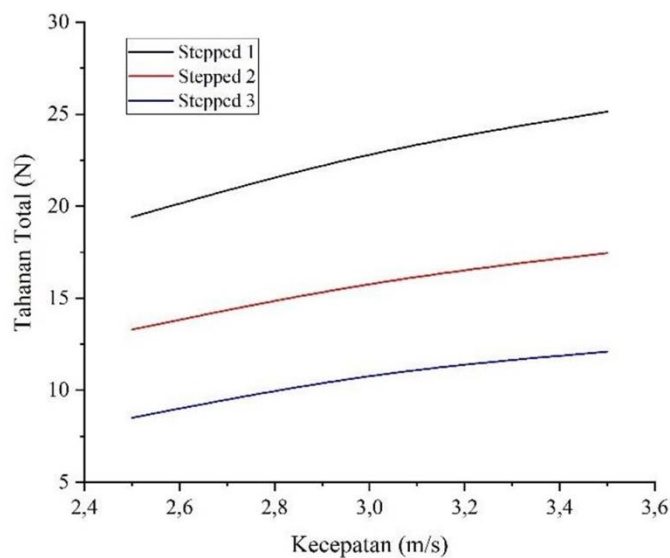
Adapun untuk setiap jumlah variasi *stepped* U diperoleh nilai luas bidang basah, kondisi sudut trim, angka *Froude Number Volume* dan nilai tahanan lambung kapal *Deadrise Angle* 10 derajat untuk setiap kondisi kecepatan yang sama. Dapat dilihat pada Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12.



Gambar 10. Kurva variasi *Stepped* dengan kecepatan yang sama terhadap luas bidang basah



Gambar 11. Kurva variasi *Stepped* dengan kecepatan yang sama terhadap trim



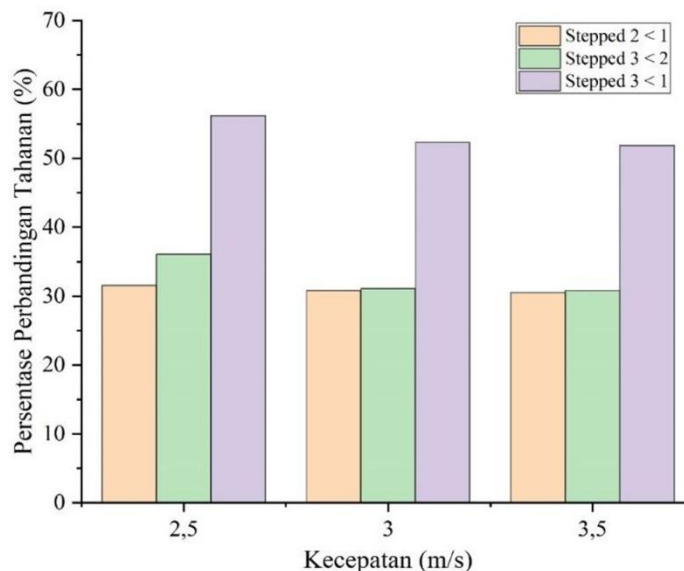
Gambar 12. Kurva variasi *Stepped* dengan kecepatan yang sama terhadap tahanan total

Kemudian untuk setiap jumlah *stepped* U diperoleh nilai persentase perbandingan tahanan model kapal *deadrise* 10 derajat untuk setiap kondisi kecepatan yang sama. Dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan Nilai Tahanan Model Kapal dengan Lambung *Deadrise Angle* 10 Derajat Untuk Setiap Variasi Jumlah *Stepped U* untuk Kecepatan yang Sama

No.	Kecepatan (m/s)	Tahanan Total (N)			Persentase Perbandingan (%)		
		1 <i>Stepped</i>	2 <i>Stepped</i>	3 <i>Stepped</i>	1 <i>Stepped</i>	2 <i>Stepped</i>	3 <i>Stepped</i>
1	2,5	19,410	13,290	8,500	31,530	36,042	56,208
2	3	23,050	15,950	10,990	30,803	31,097	52,321
3	3,5	25,130	17,460	12,090	30,521	30,756	51,890

Pada Tabel 8 dapat disimpulkan bahwa dengan variasi kecepatan yang sama, model kapal dengan 3 *stepped U* memiliki tahanan lebih kecil dibanding 1 *stepped U* dan 2 *stepped U*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 13 yang menunjukkan diagram hasil perbandingan nilai tahanan model kapal *deadrise angle* 10 derajat dengan 1 *stepped U*, 2 *stepped U*, 3 *stepped U* dengan variasi kecepatan yang sama.



Gambar 13. Persentase Perbandingan Kecepatan dan Tahanan model kapal *Deadrise Angle* 10 derajat dengan 1 *Stepped U*, 2 *Stepped U*, 3 *Stepped U*

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis terhadap tahanan kapal maka didapat suatu kesimpulan yaitu pada kecepatan 2,5 m/s – 3,5 m/s, penambahan *stepped* berpengaruh diperubahan sudut Trim model kapal *Deadrise Angle* 10 derajat. Dimana jika kecepatan dan *stepped* bertambah maka semakin besar sudut trim model. Pada model kapal 1 *stepped U* terjadi kenaikan sudut trim sebesar 3,123° – 4,418°, pada model kapal 2 *stepped U* terjadi kenaikan sudut trim sebesar 3,344° – 4,625°, dan pada model kapal 3 *stepped U* terjadi kenaikan sudut trim sebesar 3,808° – 5,082°.

Peningkatan kecepatan 2,5 m/s – 3,5 m/s dan penambahan *stepped* berpengaruh pada tahanan total model kapal, dimana jika *stepped* bertambah maka semakin kecil tahanan total model. Perbandingan nilai tahanan model kapal 2 *stepped U* lebih kecil 31,530%, 30,803%, dan 30,521% daripada nilai tahanan 1 *stepped U*, perbandingan nilai tahanan model kapal 3 *stepped U* lebih kecil 36,042%, 31,097%, dan 30,756% daripada 2 *stepped U*, dan perbandingan nilai tahanan model kapal 3 *stepped U* lebih kecil 56,208%, 52,321%, dan 51,890% daripada nilai tahanan 1 *stepped U*. Berdasarkan pada perbandingan ini, dapat disimpulkan bahwa model kapal yang menggunakan 3 *stepped U* dan *deadrise angle* 10 derajat lebih baik dan efektif dalam mengurangi nilai tahanan kapal dibandingkan model kapal yang menggunakan 1 *stepped U* dan 2 *stepped U* dengan *deadrise angle* 10 derajat.

Daftar Pustaka

- [1] Muhammad, A.H., Djabbar, M.A., Propulsi Kapal Cepat, Program Studi Teknik Sistem Perkapalan. Fakultas Teknik. Universitas Hasanuddin. Makassar, 2013.
- [2] Garland. W.R., *Stepped planing hull investigation*, United States Naval Academy, 2010.

- [3] Sandiary, M.A., Munazid, A., Baroroh, I., Besarnya Hambatan Kapal Dengan Sudut Stephull Diatas 180⁰ Pada Kapal Cepat Planning Hull, Seminar Nasional XIV, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelauran Universitas Hang Tuah, 2019, pp. C1-67 – C1-75.
- [4] Muis, A., Investigasi Eksperimen Tahanan Kapal Cepat Dengan Lambung Deadrise Angel Dan Stepped Hull Berbentuk U. Skripsi, Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar, 2021.
- [5] Dampang, I.E.H., Studi Tahanan Kapal Cepat Akibat Pengaruh Bentuk Stepped V dan Deadrise Angle 15 Derajat Menggunakan Autodesk CFD, Skripsi, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar, 2021
- [6] Arwini, Studi Pengaruh Perubahan Bentuk Lambung Kapal Feri Terhadap Kecepatan Kapal, Skripsi, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar, 2018
- [7] Harvald, A., Tahanan dan Propulsi Kapal, Airlangga University Press, Surabaya, 1998
- [8] Rosmani, Muhammad, A.H., Algan, M., Prediksi Tahanan Kapal Cepat Dolpin Dengan Metode Eksperimen, ILTEK: Jurnal Teknologi, 2013, Vol. 18, No. 1, pp. 1073 – 1077.
- [9] Aziz, M., Munazid, A., Baroroh, I., 2019. Pengaruh Penempatan Posisi Asimetris Step Hull Terhadap Hambatan Kapal Cepat, Seminar Nasional XIV, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelauran Universitas Hang Tuah, 2019, pp. C1-127 – C1-134.
- [10] Hakim, P.R., Utama, I.K.A.P., Analisa Hambatan dan Pitching Moment Equilibrium Pada Kapal Planing Jenis Monohull with Transverse Step Pada Perairan Calm Water, Jurnal Teknik ITS, 2018, Vol. 7. No. 1, pp. G53 – G58.
- [11] Muthahhar, M.S., Studi Tahanan Kapal Cepat Cepat Berlambung Deadrise dan Bertangga Menggunakan Perangkat Lunak Maxsurf, Skripsi, Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar, 2021.