

OPTIMASI PENGGUNAAN MODEL STEP HULL PADA LAMBUNG KAPAL PATROLI TERHADAP NILAI HAMBATAN KAPAL

Fitri Hardiyanti ¹, Agung Prasetyo Utomo ², I Putu Arta Wibawa ³, Aang Wahidin ⁴,
Miftachuddin ⁵, Athallah Bintang Rahagi ⁶, Mirna Apriani ⁷

^{1,5} Program Studi Manajemen Bisnis, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

^{2,3,4,6} Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

⁷ Program Study Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

Email: fitrihardiyanti@ppns.ac.id¹, agungprasetyo@ppns.ac.id², putuarta@ppns.ac.id³, aangwahidin@ppns.ac.id⁴, miftachudin@ppns.ac.id⁵, bintangrahagi08@student.ppns.ac.id⁶, mirnaapriani@ppns.ac.id⁷

Abstrak

Seiring pesatnya perkembangan desain kapal cepat, inovasi bentuk lambung menjadi faktor penting untuk meningkatkan kecepatan dan efisiensi bahan bakar. Salah satu masalah yang sering dihadapi adalah tingginya nilai hambatan akibat bentuk lambung yang belum optimal, terutama pada kecepatan dinas dan kecepatan maksimum. Hambatan yang besar dapat meningkatkan kebutuhan daya mesin dan konsumsi bahan bakar. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah step hull, yaitu modifikasi berupa step melintang di bagian bawah lambung yang dapat mengurangi luas permukaan basah (wetted Surface area) dan meningkatkan gaya angkat (lifting force). Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi sudut step hull terhadap hambatan total pada kapal patroli. Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Modeler untuk desain 3D dan Maxsurf Resistance untuk simulasi hambatan pada variasi sudut step hull 45°, 90°, 135°, dan 150°, serta dibandingkan dengan model tanpa step hull. Data utama yang digunakan mencakup dimensi kapal, spesifikasi teknis, serta kondisi operasional kapal pada kecepatan dinas dan kecepatan maksimum 24 knotss. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model dengan sudut step hull 45° menghasilkan hambatan total terendah sebesar 79.918,4 N dan kebutuhan daya mesin sebesar 2.756,7 HP, lebih baik dibandingkan model tanpa step hull maupun variasi sudut lainnya. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi desain lanjutan kapal patroli agar memiliki performa lebih efisien pada berbagai kecepatan.

Kata kunci: desain lambung, hambatan kapal, kapal patroli, Maxsurf, step hull

Abstract

Along with the rapid development of high-speed vessel design, hull form innovation has become an important factor in improving speed and fuel efficiency. One of the common problems is the high resistance value caused by a hull shape that is not yet optimal, especially at service and maximum speeds. Excessive resistance increases engine power requirements and fuel consumption. One solution that can be applied is the use of a step hull, which is a modification in the form of a transverse step at the bottom of the hull to reduce the wetted Surface area and increase the lifting force. This study aims to analyze the effect of different step hull angles on the total resistance of a patrol vessel. The modeling was carried out using Maxsurf Modeler for 3D hull design and Maxsurf Resistance for resistance simulation at step hull angles of 45°, 90°, 135°, and 150°, and compared with a baseline model without a step hull. The main data used include ship dimensions, technical specifications, and operational conditions at service speed and maximum speed of 24 knotss. The results show that the 45° step hull angle provides the lowest total resistance of 79.918,4 N and an engine power requirement of 2.756,7 HP, better than the non-step hull model and other angle variations. This study is expected to serve as a reference for further patrol vessel design to achieve better efficiency across various speeds.

Keywords: hull design, Maxsurf, patrol vessel, planing hull, step hull

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi di bidang transportasi laut berkembang pesat, terutama bagi Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan lebih dari 17.000 pulau. Kapal menjadi sarana transportasi vital yang menghubungkan wilayah-wilayah Nusantara melalui laut dan selat. Seiring kemajuan ilmu perkapanan, desain kapal

^{1*} Penulis korespondensi

pun terus berinovasi untuk mendukung kebutuhan kecepatan, efisiensi, serta keselamatan pelayaran. Salah satu kapal yang memegang peranan penting adalah kapal patroli yang berfungsi untuk pengawasan keselamatan, penegakan hukum, dan perlindungan lingkungan maritim, sebagaimana diatur dalam Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Laut No. HK.205/8/13/DJPL/2019.

Penelitian ini mengambil studi kasus kapal patroli yang dioperasikan di wilayah timur Indonesia, khususnya Manado. Sebagai kapal cepat, kapal patroli memerlukan desain lambung yang mampu meminimalkan hambatan sehingga kecepatan optimal dapat dicapai dengan efisiensi bahan bakar yang tinggi. Salah satu inovasi yang dapat diterapkan adalah modifikasi bentuk lambung *step hull*. *Step hull* merupakan modifikasi di bagian bawah lambung berupa *step* melintang, yang berfungsi mengurangi luas permukaan basah (*wetted Surface area*), meningkatkan gaya angkat (*lifting force*), sehingga dapat menurunkan hambatan total dan kebutuhan daya mesin.

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi sudut *step hull* (45° , 90° , 135° , dan 150°) pada kapal patroli dengan bantuan perangkat lunak *Maxsurf Modeler* dan *Maxsurf Resistance*. Rumusan masalah yang diangkat adalah bagaimana nilai hambatan total kapal tanpa *step hull* dibandingkan dengan kapal yang dimodifikasi *step hull* pada berbagai sudut, serta variasi sudut mana yang menghasilkan hambatan paling optimal.

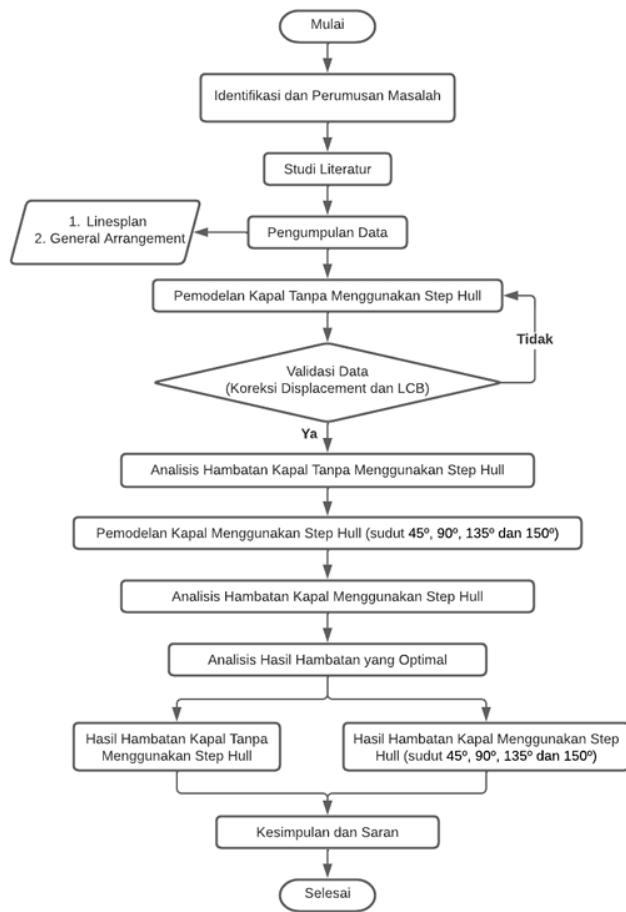
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan nilai hambatan total antara kapal tanpa *step hull* dan kapal dengan variasi sudut *step hull*, serta menentukan sudut yang memberikan performa hambatan paling efisien. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai penerapan desain *step hull* pada kapal cepat, memberikan rekomendasi efektivitas desain, serta menjadi referensi bagi penelitian serupa di masa mendatang.

Agar penelitian lebih terarah, ruang lingkup penelitian dibatasi pada kapal patroli berbahan aluminium dengan bentuk *mono hull*. Penelitian hanya menganalisis hambatan total, tanpa membahas stabilitas, perhitungan konstruksi, sistem permesinan, maupun estimasi biaya produksi. Simulasi dilakukan pada variasi kecepatan hingga kecepatan maksimum kapal dengan bantuan *Maxsurf Modeler* dan *Maxsurf Resistance*. Modifikasi *step hull* dibatasi pada sudut 45° , 90° , 135° , dan 150° dengan tinggi *step* 3,5% dan 2,5% dari sarat kapal yang diukur dari *baseline*, serta posisi *step hull* diletakkan pada area *midship* sesuai acuan penelitian terdahulu. Penelitian ini hanya berfokus pada analisis numerik dengan asumsi kondisi perairan tenang tanpa gangguan eksternal seperti arus atau gelombang besar. Hasil perhitungan diharapkan dapat menjadi acuan awal sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut melalui eksperimen fisik.

2. Metode Penelitian

2.1. Alur Penelitian

Diagram alir penelitian ditampilkan untuk memberikan gambaran tahapan penggerjaan.



Gambar 1. Diagram Alir Pengerjaan

Pada Gambar 1 ditunjukkan diagram alir tahapan penelitian ini. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi yang relevan dan mendukung topik penelitian. Alur pengerjaan selanjutnya mencakup pemodelan geometri kapal, simulasi perhitungan hambatan dengan bantuan perangkat lunak, serta analisis perbandingan hasil untuk menentukan variasi *step hull* yang paling optimal.

2.2. Data Kapal

Penelitian dimulai dengan studi literatur terkait desain kapal cepat dan modifikasi lambung *step hull*. Dalam penelitian ini, data yang digunakan dapat dilihat dibawah ini :

LoA	:	28,90	m
LWL	:	25,58	m
LPP	:	26,39	m
Lebar (B)	:	5,85	m
Tinggi (H)	:	3,10	m
Sarat (T)	:	1,15	m
Daya Mesin	:	2 x 1400	HP
Kecepatan Maksimal	:	24	Knotss

2.3. Pemodelan Geometri

Pemodelan geometri kapal dilakukan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Modeler* untuk memvisualisasikan bentuk kapal tanpa *step hull* dan kapal dengan *step hull* pada variasi sudut 45°, 90°, 135°, dan 150°. Posisi *step hull* ditempatkan pada area midship dengan ketinggian step sebesar 3,5% dan 2,5% dari sarat, diukur dari baseline.

2.4. Hambatan Kapal

Hambatan kapal adalah gaya hambat yang muncul ketika kapal bergerak menembus air dan udara pada kecepatan tertentu (Harvald, 1983). Besarnya hambatan total mempengaruhi kebutuhan daya mesin dan konsumsi bahan bakar. Hambatan yang lebih rendah akan meningkatkan efisiensi operasi kapal.

Secara umum, hambatan kapal terdiri dari beberapa komponen utama (Principle of Naval Architecture Vol II):

a. Hambatan Gesek (Friction Resistance)

Hambatan gesek timbul akibat gesekan antara fluida dan permukaan basah lambung kapal. Faktor utama yang mempengaruhi adalah kecepatan kapal, viskositas air laut, luas permukaan basah, dan angka Reynolds (Rn).

Rumus hambatan gesek dapat dituliskan sebagai berikut:

$$R_f : \frac{1}{4} \rho \times C_f \times s \times v^2 \quad (1)$$

Keterangan :

Rn : Angka Renold

ρ : Massa jenis (kg/m^3)

Cf : Koefisien gesek

s : Luas permukaan basah (m^2)

v : Kecepatan kapal (knots)

b. Hambatan Gelombang (Wave Making Resistance)

Hambatan gelombang muncul akibat pembentukan gelombang di permukaan air ketika kapal bergerak. Gelombang dapat berupa gelombang memancar (*diverging wave*) atau gelombang melintang (*transverse wave*). Hambatan gelombang memengaruhi getaran kapal, kinerja propeller, hingga stabilitas.

c. Hambatan Udara (Air Resistance)

Hambatan udara terjadi pada bangunan atas kapal di atas permukaan air. Nilainya tergantung pada kecepatan kapal, arah angin, dan bentuk bangunan atas (superstructure). Hambatan ini relatif kecil tetapi tetap diperhitungkan pada kapal cepat.

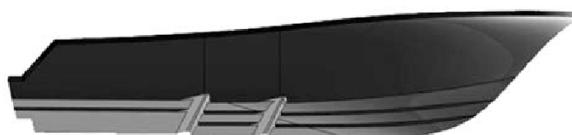
d. Hambatan Tambahan (Added Resistance)

Hambatan tambahan timbul akibat faktor kekasaran lambung, perlengkapan luar (seperti lunas, kemudi, penyangga poros), serta pusaran air di sekitar badan kapal. Hambatan tambahan juga mencakup korelasi perbedaan permukaan kapal model dan kapal sesungguhnya (Rahman, 2021).

Perhitungan hambatan total umumnya menggunakan pendekatan metode Savitsky, khususnya pada kapal cepat dengan tipe *planing hull*. Komponen-komponen tersebut dianalisis untuk merancang desain lambung yang mampu meminimalkan hambatan dan meningkatkan efisiensi operasional kapal.

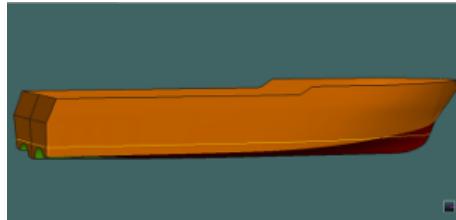
2.5. Variasi Model

Pemodelan dilakukan pada kapal tanpa menggunakan *step hull* dan kapal dengan variasi *step hull*. Setelah pemodelan kapal asli tanpa *step hull* selesai, tahap berikutnya adalah pemodelan kapal dengan *step hull* menggunakan variasi sudut 45°, 90°, 135°, dan 150°. Pada penelitian ini, *step hull* dipasang di posisi *midship* pada bagian *keel* dengan satu *step*, sesuai hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan posisi *midship* menghasilkan hambatan lebih rendah dibandingkan jika dipasang di depan atau belakang *midship* (Febrian, 2018).

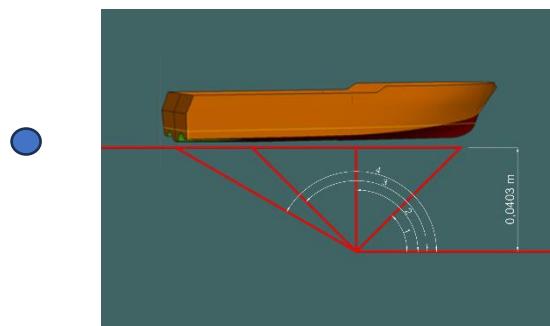


Gambar 2 Gambar step hull pada lambung kapal

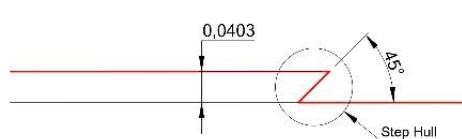
Dua model utama dikembangkan, yaitu Model A dan Model B. Model A memodifikasi area *station 22 (midship)* hingga *station 12* dengan ketinggian *step* 3,5% dari sarat kapal (1,15 m), yaitu sekitar 0,0403 m. Pemilihan area ini mempertimbangkan keberadaan *tunnel* agar tidak terganggu serta menjaga displacement dan LCB mendekati kapal tanpa *step hull*. Model B memodifikasi bagian *midship* hingga haluan dengan ketinggian *step* 2,5 % dari sarat kapal, sekitar 0,029 m, dengan baseline tetap sama seperti model dasar. Penyesuaian ini memastikan tidak ada perubahan bentuk *tunnel* dan tetap menjaga keseimbangan parameter hidrostatik kapal. Variasi dapat dilihat pada gambar



Gambar 3. Model kapal tanpa menggunakan *step hull*



Gambar 4. Model kapal dengan *step hull*
(Variasi Model A)



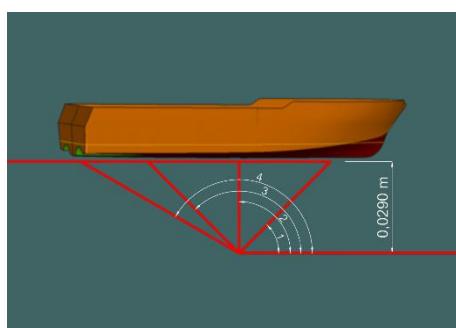
Gambar 5. Contoh bentuk *step hull* model A sudut 45°

Penggunaan step hull yang digunakan pada model A dilakukan menggunakan 4 variasi dengan ilustrasi pada gambar 3 dan 4 dimana letak, ketinggian dan sudut yang dibentuk mengikuti tabel 1 berikut.

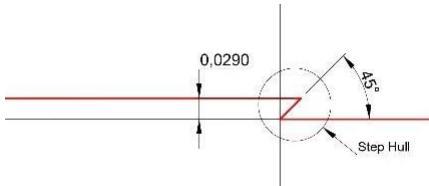
Tabel 1. Variasi sudut step hull Pada Model A

No	Model	ketinggian <i>step hull</i> (m)	Variasi Sudut (°)
1	A	0,043	45 °
2			90 °
3			135 °
4			150 °

Selain model A, pada penelitian juga digunakan model B yakni dengan memperhatikan dari tiap ketinggian step hull yang digunakan apakah berpengaruh juga terhadap hasil hambatan dan daya kapal.



Gambar 6. Model kapal dengan *step hull*
(Variasi Model B)



Gambar 7. Contoh bentuk *step hull* model B sudut 45°

Tabel 2 Variasi Pada Model A

No	Model	ketinggian <i>step hull</i> (m)	Variasi Sudut (°)
1	A	0,0290	45 °
2			90 °
3			135 °
4			150 °

2.6. Validasi Model

Dalam proses perancangan kapal, validasi hasil desain sangat penting untuk memastikan kesesuaian data hidrostatik, stabilitas, dan kompartemen dengan batas toleransi yang diizinkan. Penyimpangan toleransi dapat diterima selama memiliki justifikasi teknis dan tidak memengaruhi keselamatan kapal. Data input yang divalidasi meliputi perpindahan, pusat *buoyancy*, *metacentric height*, momen trim, kurva stabilitas, dan distribusi muatan. Berdasarkan IACS (2021), toleransi perhitungan dapat dilihat pada tabel 3 berikut :

Tabel 3. Data Kapal

Parameter	Toleransi
<i>Displacement</i>	+/- 2%
<i>Longitudinal center of buoyancy, from AP</i>	+/- 1% / 50 cm
<i>Vertical center of buoyancy</i>	+/- 1% / 5 cm

Tabel toleransi ini digunakan sebagai acuan untuk mengoreksi perbedaan hasil perhitungan numerik dengan data aktual, sehingga rancangan lambung dan performa stabilitas tetap memenuhi standar keselamatan operasional.

Untuk memeriksa apakah hasil validasi model memenuhi batas toleransi yang ditetapkan, digunakan rumus berikut :

$$\text{Disp} : \left| \frac{\text{Disp. Kapal Existing} - \text{Disp. Kapal Variasi}}{\text{Disp. Kapal Existing}} \times 100 \% \right| \quad (2)$$

$$\text{LCB} : \left| \frac{\text{LCB Kapal Existing} - \text{LCB Kapal Variasi}}{\text{LCB Kapal Existing}} \times 100 \% \right| \quad (3)$$

Hasil koreksi toleransi dapat dilihat pada tabel :

Tabel 4. Nilai Koreksi

Model	Koreksi Model (%)	
	Displacement	LCB
Tanpa <i>Step hull</i>	0,497	0,056
Model A 45°	0,495	0,007
Model A 90°	0,439	0,007
Model A 135°	0,439	0,007
Model A 150°	0,427	0,007
Model B 45°	-0,394	-0,098
Model B 90°	-0,394	-0,098
Model B 135°	-0,394	-0,098
Model B 150°	-0,394	-0,098

3. Hasil dan Diskusi

Setelah seluruh tahap pemodelan dan simulasi selesai, data hasil analisis hambatan dikumpulkan untuk setiap variasi model. Data ini digunakan untuk membandingkan kecepatan, hambatan total, dan daya mesin antara kapal tanpa *step hull* dan kapal dengan *step hull* pada sudut 45°, 90°, 135°, dan 150°. Perbandingan dilakukan pada tiga kondisi kecepatan, yaitu 20,4 knotss, 22,2 knotss, dan 24 knotss, agar terlihat pengaruh kenaikan kecepatan terhadap nilai hambatan dan kebutuhan daya mesin. Hasil analisis diambil dari tabel rekapitulasi hasil perhitungan hambatan yang telah disajikan pada bagian pembahasan.

Melalui perbandingan ini, dapat dianalisis model *step hull* mana yang menghasilkan kinerja paling efisien, baik dalam hal penurunan hambatan maupun penghematan daya mesin. Penggunaan variasi kecepatan juga bertujuan untuk melihat stabilitas tren penurunan hambatan pada rentang kecepatan dinas kapal patroli. Data yang diperoleh menjadi dasar pengambilan kesimpulan mengenai desain *step hull* yang paling sesuai untuk meningkatkan performa kapal patroli.

3.1. Analisis Hambatan Menggunakan *Maxsurf Resistance*

Setelah dilakukan validasi lambung dengan membandingkan hasil model dan kapal sebenarnya melalui koreksi displacement dan LCB, diperoleh nilai yang memenuhi toleransi, yaitu 0,5% untuk displacement dan 0,1% untuk LCB. Tahap berikutnya adalah menganalisis hambatan kapal dasar (tanpa *step hull*) pada kondisi sarat penuh 1,15 m. Analisis ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Resistance* dengan metode Savitsky yang sesuai untuk kapal patroli bertipe planing hull.

Langkah-langkah analisis hambatan kapal tanpa *step hull* adalah sebagai berikut:

1. Buka perangkat lunak *Maxsurf Resistance*.
2. Pilih menu File, kemudian pilih Open Design, lalu buka file desain model “Kapal Tanpa *Step hull*” yang telah dibuat di *Maxsurf Modeler*.
3. Pilih menu Analysis, kemudian pilih Method, lalu aktifkan metode Savitsky Planning.
4. Atur rentang kecepatan melalui Analysis, kemudian pilih Speed, dengan speed range 0 hingga 24 knotss, sesuai kecepatan maksimum kapal.
5. Tentukan nilai efisiensi propulsi dengan memilih Analysis, lalu pilih Efficiency, kemudian masukkan nilai efisiensi 48% berdasarkan perhitungan modul *Maxsurf Resistance*:

$$\eta : \eta H \times \eta 0 \times \eta RR \times \eta S \eta H \quad (4)$$

: 48,37391% atau 48%

Berdasarkan perhitungan, nilai efisiensi total mendekati 48%.

6. Pilih Analysis, kemudian pilih Calculate Free Surface, dan masukkan kecepatan maksimum 24 knotss.
7. Jalankan perhitungan dan amati hasil analisis, termasuk data kecepatan, hambatan total, daya mesin, serta grafik perbandingan hambatan.

Dari hasil analisis hambatan ini diperoleh data *speed range*, hambatan, daya mesin, dan grafik perbandingan, yang kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan digunakan untuk pembahasan performa setiap model.

3.2. Kapal sebenarnya atau kapal tanpa menggunakan *step hull*

Pada pemodelan ini digunakan kapal sebenarnya atau kapal tanpa *step hull* pada kondisi sarat kapal 1,15 m. Kapal ini memiliki nilai displacement 88,8 ton dan LCB 10,328 m. Dari analisis hambatan yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil data kapal tanpa *step hull*

Kapal tanpa <i>step hull</i>	Kecepatan		
	20,4 knotss	22,2 knotss	24 knotss
Hambatan (N)	70.760,7	75.893,3	81.054,9
Daya (HP)	2.074,7	2.421,5	2.795,9

3.3. Kapal yang menggunakan *step hull* sudut 45° (model A)

Pemodelan yang digunakan adalah kapal yang menggunakan *step hull* dengan sudut 45° (model A) pada kondisi sarat kapal 1,15 m. Kapal ini memiliki nilai displacement 88,36 ton (dengan koreksi 0,4954%) dan LCB 10,326 m (dengan koreksi 0,0076%). Berdasarkan analisis hambatan yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil data kapal *step hull* sudut 45° (model A)

Kapal <i>step hull</i> sudut 45° (model A)	Kecepatan		
	20,4 knots	22,2 knots	24 knots
Hambatan (N)	69.801,1	74.847,2	79.918,4
Daya (HP)	2.046,6	2.388,2	2.756,7

3.4. Kapal yang menggunakan *step hull* sudut 90° (model A)

Pemodelan yang digunakan adalah kapal dengan *step hull* bersudut 90° (Model A) pada kondisi sarat kapal 1,15 m. Kapal ini memiliki nilai *displacement* 88,41 ton (dengan koreksi 0,4391%) dan LCB 10,326 m (dengan koreksi 0,0076%). Berdasarkan analisis hambatan yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil data kapal *step hull* sudut 90° (model A)

Kapal <i>step hull</i> sudut 90° (model A)	Kecepatan		
	20,4 knots	22,2 knots	24 knots
Hambatan (N)	69.874,9	74.924,7	79.999,8
Daya (HP)	2.048,7	2.390,6	2.759,5

3.5. Kapal yang menggunakan *step hull* sudut 135° (model A)

Pemodelan yang digunakan adalah kapal dengan *step hull* bersudut 135° (Model A) pada kondisi sarat kapal 1,15 m. Kapal ini memiliki nilai *displacement* 88,41 ton (dengan koreksi 0,4391%) dan LCB 10,326 m (dengan koreksi 0,0076%). Dari analisis hambatan yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 8. Hasil data kapal *step hull* sudut 135° (model A)

Kapal <i>step hull</i> sudut 135° (model A)	Kecepatan		
	20,4 knots	22,2 knots	24 knots
Hambatan (N)	69.878,7	74.928,7	80.004,1
Daya (HP)	2.048,8	2.390,8	2.759,7

3.6. Kapal yang menggunakan *step hull* sudut 150° (model A)

Pemodelan yang digunakan adalah kapal dengan *step hull* bersudut 150° (Model A) pada kondisi sarat kapal 1,15 m. Kapal ini memiliki nilai *displacement* 88,42 ton (dengan koreksi 0,4279%) dan LCB 10,326 m (dengan koreksi 0,0076%). Dari analisis hambatan yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil data kapal *step hull* sudut 150° (model A)

Kapal <i>step hull</i> sudut 150° (model A)	Kecepatan (knots)		
	20,4 knots	22,2 knots	24 knots
Hambatan (N)	69.881,4	74.931,6	80.007,1
Daya (HP)	2.048,9	2.390,8	2.759,8

3.7. Kapal yang menggunakan *step hull* sudut 45° (model B)

Pemodelan menggunakan kapal Model B, yang dilengkapi dengan desain *step hull* bersudut 45°, pada kondisi sarat 1,15 meter. Kapal ini terkarakterisasi oleh nilai *displacement* 89,15 ton (setelah koreksi sebesar -0,3941%) dan LCB 10,354 meter (setelah koreksi sebesar -0,0985%). Dari analisis hambatan yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 10. Hasil data kapal *step hull* sudut 45° (model B)

Kapal <i>step hull</i> sudut 45° (model B)	Kecepatan		
	20,4 knots	22,2 knots	24 knots
Hambatan (N)	70.796,9	75.932,8	81.101,9
Daya (HP)	2.075,8	2.422,8	2.797,5

3.8. Kapal yang menggunakan *step hull* sudut 90° (model B)

Pemodelan menggunakan kapal Model B, yang dilengkapi dengan *step hull* bersudut 90° , pada sarat kapal 1,15 meter. Kapal ini memiliki displacement 89,15 ton (setelah koreksi $-0,3941\%$) dan LCB 10,354 meter (setelah koreksi $-0,0985\%$). Dari analisis hambatan yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 11. Hasil data kapal *step hull* sudut 90° (model B)

Kapal <i>step hull</i> sudut 90° (model B)	Kecepatan		
	20,4 knots	22,2 knots	24 knots
Hambatan (N)	70.828,8	75.966,4	81.137,9
Daya (HP)	2.076,7	2.423,9	2.798,8

3.9. Kapal yang menggunakan *step hull* sudut 135° (model B)

Pemodelan menggunakan kapal Model B, yang dilengkapi dengan *step hull* bersudut 135° , pada sarat kapal 1,15 meter. Kapal ini memiliki displacement 89,15 ton (setelah koreksi $-0,3941\%$) dan LCB 10,354 meter (setelah koreksi $-0,0985\%$). Dari analisis hambatan yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 12. Hasil data kapal *step hull* sudut 135° (model B)

Kapal <i>step hull</i> sudut 135° (model B)	Kecepatan		
	20,4 knots	22,2 knots	24 knots
Hambatan (N)	70.829,2	75.966,8	81.138,3
Daya (HP)	2.076,7	2.423,9	2.798,8

3.10. Kapal yang menggunakan *step hull* sudut 150° (model B)

Pemodelan menggunakan kapal Model B yang dilengkapi dengan *step hull* bersudut 150° . Pengujian dilakukan pada sarat kapal 1,15 meter. Kapal ini memiliki displacement 89,15 ton (setelah koreksi sebesar $-0,3941\%$) dan LCB 10,354 meter (setelah koreksi sebesar $-0,0985\%$). Dari analisis hambatan yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 13. Hasil data kapal *step hull* sudut 150° (model B)

Kapal <i>step hull</i> sudut 150° (model B)	Kecepatan		
	20,4 knots	22,2 knots	24 knots
Hambatan (N)	70.831,2	75.968,9	81.140,5
Daya (HP)	2.076,8	2.423,9	2.798,9

3.11. Perbandingan Hasil Setiap Model

Dari setiap model yang sudah dianalisis hambatan kapal dengan menggunakan bantuan *Maxsurf resistance* maka dapat dibuatkan perbandingan tabel agar dapat mengetahui hasil model manakah yang memiliki hambatan optimal untuk kapal pada penelitian kali ini. Untuk hasil perbandingannya sebagai berikut:

Tabel 14. Hasil perbandingan kapal *step hull* dengan kapal *step hull* (model A) antara kecepatan dan hambatan

Kecepatan (knots)	Daya Mesin (HP)				
	Tanpa <i>step hull</i>	<i>Step hull</i> sudut 45°	<i>Step hull</i> sudut 90°	<i>Step hull</i> sudut 135°	<i>Step hull</i> sudut 150°
20,4	70.760,7	69.801,1	69.874,9	69.878,7	69.881,4
22,2	75.893,3	74.847,2	74.924,7	74.928,7	74.931,6
24	81.054,9	81.101,9	81.137,9	81.138,3	81.140,5

Tabel 15. Hasil perbandingan kapal *step hull* dengan kapal *step hull* (model B) antara kecepatan dan hambatan

Kecepatan (knots)	Daya Mesin (HP)				
	Tanpa <i>step hull</i>	<i>Step hull</i> sudut 45°	<i>Step hull</i> sudut 90°	<i>Step hull</i> sudut 135°	<i>Step hull</i> sudut 150°
20,4	70.760,7	70.796,9	70.828,9	70.829,2	70.831,2
22,2	75.893,3	75.932,8	75.966,4	75.966,8	75.968,9
24	81.054,9	81.101,9	81.137,9	81.138,3	81.140,5



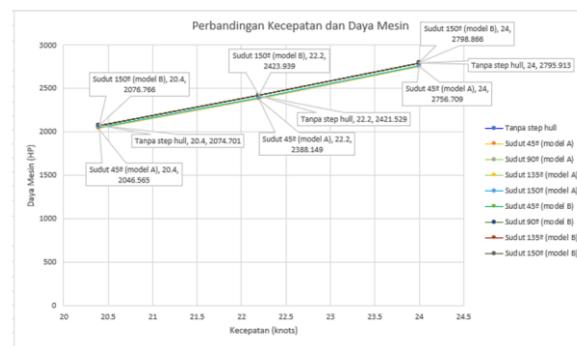
Gambar 8. Grafik hasil perbandingan kecepatan dan hambatan

Tabel 14. Hasil perbandingan kapal tanpa *step hull* dengan kapal *step hull* (model A) antara kecepatam dan daya mesin

Kecepatan (knots)	Daya Mesin (HP)				
	Tanpa step hull	Step hull sudut 45°	Step hull sudut 90°	Step hull sudut 135°	Step hull sudut 150°
20,4	2.074,7	2.046,6	2.048,7	2.048,8	2.048,9
22,2	2.421,5	2.388,2	2.390,6	2.390,8	2.390,8
24	2.795,9	2.756,7	2.759,5	2.759,7	2.759,8

Tabel 15. Hasil perbandingan kapal tanpa *step hull* dengan kapal *step hull* (model B) antara kecepatam dan daya mesin

Kecepatan (knots)	Daya Mesin (HP)				
	Tanpa step hull	Step hull sudut 45°	Step hull sudut 90°	Step hull sudut 135°	Step hull sudut 150°
20,4	2.074,7	2.075,8	2.076,7	2.076,7	2.076,8
22,2	2.421,5	2.422,8	2.423,9	2.423,9	2.423,9
24	2.795,9	2.797,5	2.798,8	2.798,8	2.798,9



Gambar 9. Grafik hasil perbandingan kecepatan dan daya mesin

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa bentuk lambung kapal tanpa modifikasi *step hull* masih menghasilkan nilai hambatan yang cukup besar, terutama pada kecepatan dinas maupun saat mendekati kecepatan maksimum. Kondisi ini menunjukkan bahwa desain lambung dasar masih memiliki keterbatasan dalam menekan hambatan, sehingga kebutuhan daya mesin dan konsumsi bahan bakar tetap tinggi. Model dengan *step hull* sudut 45° terbukti mampu menurunkan hambatan total dan kebutuhan daya mesin dibandingkan variasi sudut lainnya maupun kapal tanpa *step hull*. Penurunan hambatan ini menjadi bukti bahwa inovasi bentuk lambung melalui penambahan *step hull* dapat menjadi solusi teknis untuk mengatasi permasalahan tingginya hambatan kapal cepat.

Dari tabel dan grafik hasil simulasi, terlihat bahwa model dengan *step hull* sudut 45° (Model A) memiliki nilai hambatan dan daya mesin terendah, yaitu 79.918,4 N dan 2.756,7 HP pada kecepatan maksimum 24 knotss. Sebaliknya, nilai hambatan dan daya tertinggi terdapat pada model dengan *step hull* sudut 150° (Model B), yaitu 81.140,5 N dan 2.798,9 HP, sedangkan kapal tanpa *step hull* menunjukkan nilai hambatan 81.054,9 N dan daya mesin 2.795,9 HP pada kondisi yang sama. Hasil ini membuktikan bahwa penerapan *step hull* memberikan dampak penurunan hambatan dan daya mesin meskipun selisihnya tidak terlalu besar karena adanya batasan teknis, seperti penyesuaian ketinggian *step hull*, koreksi displacement dan LCB yang tetap di bawah 0,5% dan 0,1%, serta keberadaan

tunnel yang harus dipertahankan agar tidak mengganggu struktur kapal. Secara keseluruhan, *step hull* sudut 45° dapat direkomendasikan sebagai alternatif desain untuk meningkatkan efisiensi kapal patroli pada rentang kecepatan dinas hingga maksimum, sekaligus menjadi acuan pengembangan desain kapal cepat di masa mendatang.

4. Kesimpulan

Penelitian ini membandingkan performa kapal tanpa *step hull* dengan kapal yang menggunakan desain *step hull* pada kecepatan maksimum 24 knotss. Kapal tanpa *step hull* menghasilkan hambatan sebesar 81.054,9 N dan membutuhkan daya mesin sebesar 2.795,9 HP.

Setiap konfigurasi *step hull* dimodelkan dalam dua versi, yaitu model A dan model B, masing-masing dengan variasi sudut. Model A menggunakan tinggi *step hull* sebesar 0,0403 m (4,03 cm), sedangkan model B menggunakan tinggi 0,0289 m (2,89 cm). Perbedaan dua model ini disebabkan oleh dua pendekatan pemodelan *step hull* yang mempertimbangkan koreksi displacement, posisi Longitudinal Center of Buoyancy (LCB), serta keberadaan tunnel pada badan kapal, yang memiliki perhitungan tersendiri terkait bentuk dan peletakannya.

Hasil analisis menunjukkan bahwa model dengan performa terbaik adalah model A dengan *step hull* bersudut 45°, yang menghasilkan hambatan paling rendah sebesar 79.918,4 N dan membutuhkan daya mesin 2.756,7 HP. Sebaliknya, model dengan hambatan tertinggi adalah model B dengan sudut 150°, mencatat hambatan 81.140,5 N dan daya mesin 2.798,9 HP.

Penerapan *step hull* pada lambung kapal dapat menghasilkan perubahan hambatan, baik peningkatan maupun penurunan, dibandingkan desain tanpa *step hull*. Dari seluruh variasi, model A dengan sudut 45° menunjukkan hasil paling efisien dalam mengurangi hambatan dan konsumsi daya mesin, sehingga dianggap sebagai konfigurasi yang paling optimal dalam penelitian ini.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal atas bimbingan, arahan, serta dukungan moril dan materiil selama proses penyusunan artikel ini. Penulis juga berterima kasih kepada keluarga, rekan-rekan mahasiswa, serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas doa, motivasi, dan bantuan yang diberikan hingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat dan menjadi referensi untuk pengembangan ilmu pengetahuan di bidang perkapanan.

6. Daftar Pustaka

- Arrachman, J. F. A. (2021). Perancangan desain kapal penumpang Kabupaten Kepulauan Sangihe Sulawesi Utara sebagai transportasi pedesaan dan pulau kecil dengan menggunakan Stephull (Doctoral dissertation, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).
- Bachri, B. R. (2018). Analisa posisi *step hull* pada kapal patroli 60m dengan metode CFD (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Febrian, C. E., Chrismianto, D., & Rindo, G. (2018). Analisis hambatan dan gaya angkat dari modifikasi Stephull dengan variasi sudut pada kapal pilot boat 15 meter ALU menggunakan metode CFD. Jurnal Teknik Perkapalan, 6(1).
- Ningrum, A. C. P. (2020). Studi analisis pola aliran disepanjang lambung kapal semi planning hull akibat perubahan panjang air cavicity (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Rahman, M. F. (2021). Studi tahanan berbagai variasi bentuk stepped semi planning hull (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Savitsky, D. (1964). Hydrodynamic design of planing hulls. Marine Technology and SNAME News, 1(4), 71–95.
- Bentley Systems. (2020). MAXSURF CONNECT Edition V23 user manual: *Maxsurf resistance*.