

# ANALISIS TAHANAN, STABILITAS, *SEAKEEPING* DAN FENOMENA *SLAMMING* PADA KAPAL DENGAN VARIASI SUDUT *DEADRISE*

Naufal Fadillah<sup>1</sup>, Asral<sup>2</sup>, Awaludin Martin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas Riau

E-mail : awaludinmartin01@gmail.com

Masuk : 28 Juli 2024

Direvisi : 6 September 2024

Disetujui : 24 September 2024

**Abstrak:** Kajian ini bertujuan untuk memberikan tinjauan komprehensif mengenai pengaruh variasi sudut *deadrise* terhadap performa kapal, termasuk aspek tahanan, stabilitas, *seakeeping*, dan fenomena *slamming*. Fokus utama dari *review* ini adalah menganalisis hasil-hasil penelitian terdahulu dan mengevaluasi dampak sudut *deadrise* terhadap kinerja kapal dalam berbagai kondisi operasi. Pada aspek tahanan, penelitian menunjukkan bahwa penurunan sudut *deadrise* dapat meningkatkan gaya angkat, mengurangi tahanan total, namun meningkatkan risiko *slamming*. Dari segi stabilitas, posisi *Longitudinal Center of Gravity* (LCG) yang lebih dekat ke haluan dapat memengaruhi periode dan amplitudo gerakan *pitch* serta *porpoising*, terutama pada kapal dengan sudut *deadrise* rendah. Untuk *seakeeping*, kapal dengan sudut *deadrise* rendah memiliki kecenderungan mengalami gerakan *porpoising* lebih besar, yang berpotensi meningkatkan risiko operasional, terutama dalam kondisi laut ekstrem. Fenomena *slamming* juga menjadi perhatian utama, karena gelombang yang bertabrakan dengan lambung kapal dapat menghasilkan tekanan besar yang tiba-tiba, mengancam struktur kapal. Dengan menganalisis berbagai temuan dari studi eksperimental dan numerik, *review* ini memberikan pemahaman yang mendalam tentang tantangan dan peluang desain kapal dengan variasi sudut *deadrise*. Hasil *review* ini diharapkan dapat membantu perancang kapal dalam mengoptimalkan desain yang efisien dan aman untuk beroperasi di berbagai kondisi laut, sekaligus meminimalkan risiko kerusakan struktur akibat *slamming*.

**Kata kunci:** Sudut *Deadrise*, Tahanan, Stabilitas, *Seakeeping*, *Slamming*, *Porpoising*

**Abstract:** This study aims to provide a comprehensive review of the impact of *deadrise* angle variations on ship performance, including resistance, stability, *seakeeping*, and *slamming* phenomena. The primary focus of this review is to analyze findings from previous research and evaluate the effects of *deadrise* angle variations on ship performance under various operational conditions. In terms of resistance, studies indicate that reducing the *deadrise* angle can increase lift force, decrease total resistance, but elevate the risk of *slamming*. Regarding stability, the *Longitudinal Center of Gravity* (LCG) located closer to the bow can affect the period and amplitude of *pitch* and *porpoising* motions, particularly in ships with lower *deadrise* angles. For *seakeeping*, vessels with lower *deadrise* angles are prone to larger *porpoising* motions, potentially increasing operational risks, especially in extreme sea conditions. *Slamming* phenomena are also a key concern, as waves striking the ship's hull can generate sudden, intense pressures that threaten the vessel's structural integrity. By analyzing various findings from experimental and numerical studies,

---

*this review offers an in-depth understanding of the challenges and opportunities in designing ships with varying deadrise angles. The insights from this review are expected to assist ship designers in optimizing efficient and safe designs for operation in diverse marine conditions while minimizing structural damage risks due to slamming.*

**Keywords:** *Deadrise Angle, Resistance, Stability, Seakeeping, Slamming, Porpoising*

## PENDAHULUAN

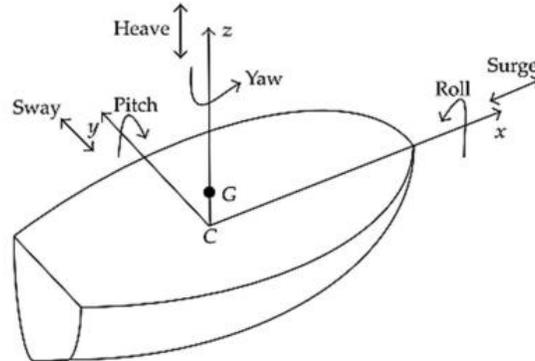
Dalam beberapa tahun terakhir, lambung *planing* telah dianggap sebagai alternatif dari kapal *displacement* karena kemampuannya untuk bergerak dengan kecepatan tinggi [1]. Kapal *planing* hanya bisa mencapai kecepatan tinggi jika gaya angkat hidrodinamik mendukung sebagian besar beratnya [2]. Salah satu keunggulan utama lambung *planing* dibandingkan kapal konvensional adalah rendahnya tahanan viskus dan tahanan gelombang [3]. Namun, peningkatan kecepatan juga bisa menimbulkan beberapa masalah seperti meningkatnya sudut kemiringan kapal, peningkatan hambatan, serta ketidakstabilan baik secara longitudinal maupun transversal [4]. *Review* ini bertujuan untuk memberikan pemahaman mendalam mengenai hubungan antara variasi sudut *deadrise* dan performa kapal dalam berbagai kondisi operasi, untuk mendukung desain kapal yang lebih efisien dan aman. Metodologi *review* ini mencakup pencarian literatur dalam *database Scopus* dan *Scimago Journal Ranking (SJR)*. Literatur yang digunakan dalam studi ini dipilih berdasarkan kesesuaian dengan topik penelitian, dipublikasikan dalam 5 tahun terakhir dan menggunakan metode eksperimental atau simulasi numerik. Literatur tersebut kemudian dianalisis untuk memahami bagaimana variasi sudut *deadrise* memengaruhi kinerja kapal.

Kapal yang terangkat oleh daya apung pada *Froude Number* di bawah 0,4 disebut kapal *displacement*. Jika sebagian besar berat kapal didukung oleh gaya hidrodinamis pada *Froude Number* di atas 1, kapal itu disebut kapal *planing*. Kapal *semi-planing* berada di antara *Froude Number* 0,4 dan 1. Kapal *planing* digunakan sebagai kapal angkatan laut, kapal balap, kapal layanan, kapal rekreasi, dan kapal ambulans. Biasanya, kapal *planing* berlayar dengan haluan terangkat dan buritan tenggelam karena permukaan *planning* [5]. Interaksi antara komponen resistensi kapal dapat ditunjukkan oleh jumlah koefisien *drag* kapal dan *Number Reynold* dan *Froude*. Untuk kapal cepat, mekanisme pembentukan komponen resistensi kapal berkembang dari resistensi yang terbentuk akibat karakteristik gerakan kapal. Kapal cepat mendapatkan gaya hidrostatis dan hidrodinamik, bagian kapal yang terendam dalam air menjadi lebih kecil, menyebabkan resistensi kapal yang lebih rendah [6]. Klasifikasi berdasarkan *Froude number* ( $F_n$ ) dari sebuah lambung adalah salah satu faktor paling penting saat mempelajari resistensi dan pemacu daya sebuah kapal. [7].

Ketika kapal bergerak di air, kapal mengalami gaya yang membuatnya sulit bergerak maju. Ini disebut resistensi total kapal. Resistensi ini terdiri dari tiga bagian utama yaitu gesekan air di sekitar kapal, pembentukan gelombang dan hambatan udara. Saat kecepatan meningkat, pembentukan gelombang menjadi faktor utama yang mempengaruhi resistensi kapal [8]. Dalam kondisi *planing*, jika kapal memiliki sudut yang terlalu tinggi atau terlalu rendah, itu akan membuatnya tidak stabil. Ini bisa menyebabkan gerakan naik-turun yang disebut *porpoising* dan jika tidak dikendalikan dengan baik, dapat menyebabkan kecelakaan [9]. Kapal memiliki bentuk yang ramping telah memberikan aliran aerodinamis yang dapat mengurangi resistensi pembentukan gelombang. Perilaku resistensi rendah telah memberikan kecepatan layanan yang lebih tinggi dengan daya mesin yang lebih rendah [10].

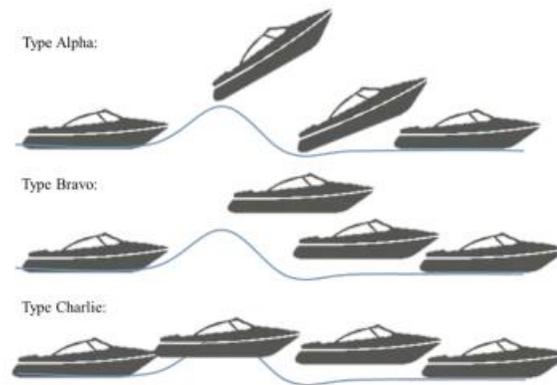
Gelombang dan gerakan kapal adalah penyebab utama kecelakaan laut. Oleh karena itu, penting untuk memahami dan mengoptimalkan gerakan kapal di laut, yang dapat dipelajari dalam beberapa topik seperti gerakan kapal dan kejadian *slamming*, kinerja baling-baling di gelombang, dampak kondisi laut pada desain struktural atau stabilitas kapal di gelombang. Semua ini dikenal dengan istilah *seakeeping* [11]. Dalam upaya meningkatkan kinerja *seakeeping* selama perancangan dan optimalisasi kapal, para perancang kapal tidak hanya mengejar pengurangan *drag*, tetapi juga fokus pada peningkatan kinerja kapal dalam menghadapi gelombang [12]. Gerakan kapal berkecepatan tinggi sangat dipengaruhi oleh kecepatan dan gaya dinamis yang mulai menjadi penting untuk *Froude number* yang tinggi. Metode *seakeeping*, yang didasarkan pada asumsi *linier* dan *non-linier* yang berlaku pada kapal *displacement*, tidak mampu memperhitungkan pemisahan aliran pada *hard chine* dan memperhitungkan pengangkatan

dinamis, sehingga akan menghasilkan evaluasi gerakan dan beban yang tidak akurat dalam gelombang [13]. Mempelajari perilaku *seakeeping* kapal sangat penting pada tahap awal desain, untuk memastikan bahwa kapal tersebut mampu menjalankan misinya di bawah kondisi kondisi laut yang ekstrem [14]. Oleh karena itu, perlu dipastikan di mana kapal akan berlayar, bagaimana kondisi laut di sana, dan jenis operasi apa yang akan dilakukan [15]. Kinerja *seakeeping* kapal melibatkan gerakan 6-DOF kapal di laut yang bergelombang dan dampak seperti *slamming* dan gelombang besar yang dihasilkan oleh gerakan tersebut [12]. Gerakan kapal seperti (*pitching*, *rolling*, *yawing*) dipertimbangkan sebagai faktor penting dalam analisis *seakeeping*. Karakteristik gerakan tersebut dapat berbeda tergantung pada arah dan kondisi gelombang yang dihadapi kapal [16].



Gambar 1. Gerakan dari 6 derajat kebebasan kapal [16]

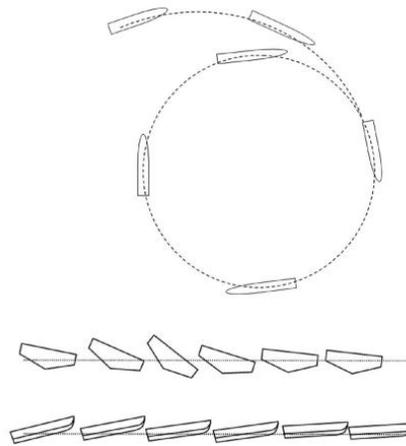
*Slamming* adalah fenomena ketika gelombang bertabrakan dengan lambung kapal, menciptakan tekanan tiba-tiba dan kuat. Tekanan ini dapat menyebabkan kerusakan pada lambung kapal, bahkan dapat mengancam keutuhan struktur keseluruhan kapal. Oleh karena itu, penting untuk dapat memprediksi dan memahami tekanan yang dihasilkan oleh *slamming* untuk meningkatkan keselamatan dan kinerja kapal secara keseluruhan [17]. *Slamming* terbagi menjadi 3 yaitu *alpha*, *bravo*, dan *charlie*. Kejadian *alpha* adalah jatuh bebas dengan mendarat di buritan terlebih dahulu, sementara *bravo* mirip tetapi tanpa gerakan *pitching*. Kejadian *charlie* melibatkan tabrakan dengan gelombang, menyebabkan gerakan *pitching* ke depan [18].



Gambar 2. Jenis-jenis *slamming* pada kapal [18]

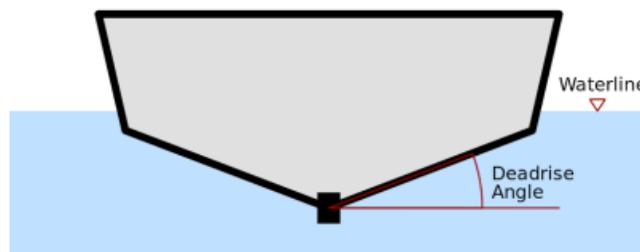
Stabilitas adalah kecenderungan atau sifat kapal untuk kembali ke posisi aslinya setelah miring akibat gaya eksternal. Stabilitas kapal saat beroperasi di laut tergantung pada gerakan berguling yang dialami oleh kapal. Ketika mengalami gerakan berguling, sisi kanan kapal akan bergerak ke sisi kiri secara longitudinal dan berulang secara bergantian. Jika kapal mengalami gerakan berguling yang terus menerus, hal ini akan menyebabkan ketidakstabilan dan berisiko membuatnya terbalik [16]. Uji *drift* stabil pada kapal *planing hull* menunjukkan bahwa selama kapal berbelok, gerakan naik-turun (*porpoising*) dan miring ke depan-belakang (*pitch*) berubah-ubah seiring waktu.

Perubahan ini mempengaruhi gaya dan momen yang mengendalikan manuver hidrodinamis kapal [19]. Keamanan kapal sangat penting untuk menjaga stabilitasnya dan kenyamanan awak saat berlayar. Ini membantu mencegah terbalik, mengurangi gerakan kapal yang berlebihan dan mencegah air membasahi dek [20].



Gambar 3. Sebuah lambung berencana bermanuver ke arah kanan: lintasan kapal dalam bidang horizontal (atas), gerakan *roll* (tengah) dan gerakan vertikal (bawah) selama manuver berbelok [19].

Indikator yang bisa diubah dari permukaan lambung termasuk sudut *deadrise*. Mengoptimalkan bentuk lambung pada sudut *deadrise* akan mengurangi *wetted surface area* (WSA), sehingga mengurangi hambatan dan meningkatkan stabilitas [21]. *Deadrise* adalah sudut kemiringan yang diukur antara bagian bawah kapal dan horizontal. Biasanya diukur di bagian tengah kapal. Ketika sudut *deadrise* berubah, itu memengaruhi sudut *trim* kapal. Semakin kecil sudut kemiringan *deadrise*, semakin kecil sudut trimnya. Selain itu, sudut *deadrise* juga memengaruhi stabilitas kapal. Pada kecepatan rendah, sudut *trim* yang tinggi bisa mengganggu stabilitas kapal secara horizontal [22]. Ketika kapal mencapai kecepatan tertentu, aliran air terpisah dari step tersebut dan udara dari atmosfer masuk untuk membentuk rongga udara. Rongga udara ini secara signifikan mengurangi area basah dibandingkan dengan lambung *planing* konvensional, sehingga meningkatkan kinerja kapal [23]. Hasil *review* ini diharapkan memberikan panduan bagi perancang kapal untuk mengoptimalkan bentuk lambung dengan mempertimbangkan sudut *deadrise* yang ideal, sehingga meningkatkan efisiensi operasi, stabilitas dan kemampuan *seakeeping*, serta meminimalkan risiko kerusakan akibat *slamming*.



Gambar 4. Geometris dari sudut kemiringan *deadrise* [22]

## METODOLOGI

### 2.1 Analisis Tahanan

Analisis tahanan dilakukan menggunakan pendekatan numerik dan eksperimental. Pendekatan numerik menggunakan perangkat lunak seperti *ANSYS* sedangkan eksperimental menggunakan *towing tank* untuk menguji kapal bergerak di air dalam skala yang kecil. Variabel yang diuji yaitu sudut *deadrise*, bilangan *Froude volumetric*, jarak *step* dari transom dan *total wetted area*. Dengan membandingkan sudut *deadrise* 15°, 20°, 25° dan 30°, melibatkan model konfigurasi *hull* dengan setiap perubahan sudut *step hull* sebesar 180°, 210°, 240°, dan 270°. Adapun rumus yang digunakan pada pengujian tahanan adalah sebagai berikut:

$$R_t = R_p + R_f + R_s$$

Dimana:  $R_t$  = Total tahanan (kgf)

$R_p$  = Tahanan tekanan (kgf)

$R_f$  = Tahanan gesekan (kgf)

$R_s$  = Tahanan percikan air (kgf)

### 2.2 Analisis Stabilitas

Untuk menganalisis stabilitas kapal, menggunakan *Metacentric Height* (GM) yang merupakan indikator untuk menilai seberapa stabil kapal terhadap gangguan seperti gelombang atau angin. Kapal dengan berbagai sudut *deadrise* digunakan untuk menghitung pusat apung (B) dan pusat gravitasi (G) kapal. Dari data tersebut dapat menghitung GM untuk setiap variasi sudut *deadrise*. Kurva stabilitas melintang (*Cross Curve of Stability*) dapat digunakan untuk menunjukkan hubungan antara sudut kemiringan kapal (*heel angle*,  $\varphi$ ) dengan posisi titik KN( $\varphi$ ), yaitu titik di mana gaya apung bekerja saat kapal miring. Dengan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menguji dua variabel utama yaitu LCG di 50% LOA dan LCG di 53% LOA. Kapal diuji menggunakan lambung *monohull planing vessel called Cougar* model *vessel single-step* dan model *vessel without step* di air tenang dengan *deadrise* 25°. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$KN(\varphi) = GZ(\varphi) + KG_{estimated} \sin(\varphi)$$

Dimana:  $KN(\varphi)$  = Posisi titik gaya apung ketika kapal miring (m)

$GZ(\varphi)$  = Momen pemulihan kapal ketika miring (m)

$KG_{estimated}$  = Tinggi titik gravitasi dari lunas kapal (m)

### 2.3 Analisis *Seakeeping*

Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi respons kapal terhadap gelombang laut, termasuk gerakan *heave*, *pitch*, *roll* dan fenomena *slamming*. Metode yang digunakan menggunakan teori massa tambahan (*added mass theory*) dan variasi momentum dengan mempertimbangkan kecepatan *roll* untuk menentukan turunan waktu dari *half-wetted beam* (lebar bagian *wedge* yang bersentuhan dengan air) yang mencakup efek redaman (*damping terms*). Hasil simulasi dibandingkan dengan data eksperimen yaitu gerakan *roll* dan tanpa gerakan *roll* dengan memvariasikan sudut *deadrise* 10°, 20°, 30° dan 40°. Adapun rumus yang digunakan dapat dilihat sebagai berikut:

$$S(\omega) = 172,8 \times T_1 \times (\tau\omega_{1/3})^2 (T_1 \times \omega)^{-5} \cdot \exp[-691T_1 \cdot \omega]^{-4}$$

Dimana:  $S(\omega)$  = Spektrum daya gelombang laut terhadap frekuensi sudut

$T$  = Periode puncak gelombang (s)

$\tau\omega_{1/3}$  = Tinggi gelombang signifikan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, banyak jenis sudut *deadrise* yang digunakan dalam analisis pengaruh terhadap performa hidrodinamik kapal. diantaranya yaitu sebagai berikut:

### 3.1 Pengaruh Tahanan Terhadap Sudut *Deadrise*

Menurut Moghaddas dan Sadeghi (2021) dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pada kecepatan 5,71 m/s, terjadi peningkatan hampir 20% dalam permukaan basah (*wetted surface area*) saat menggunakan sudut *deadrise* 25° dibandingkan dengan sudut 20°. Selain itu, ketika membandingkan koefisien total resistansi pada kecepatan yang sama, yaitu 5,71 m/s, koefisien total resistansi kapal dengan sudut *deadrise* 20° lebih tinggi sebesar 15% dibandingkan dengan kapal yang menggunakan sudut *deadrise* 25°. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS untuk pendekatan numerik dan *towing tank* untuk pendekatan eksperimental. Adapun tabel hasil percobaan menunjukkan koefisien total resistansi dan permukaan basah (*wetted surface area*) pada berbagai kecepatan untuk sudut *deadrise* 20° dan 25° dapat dilihat sebagai berikut:

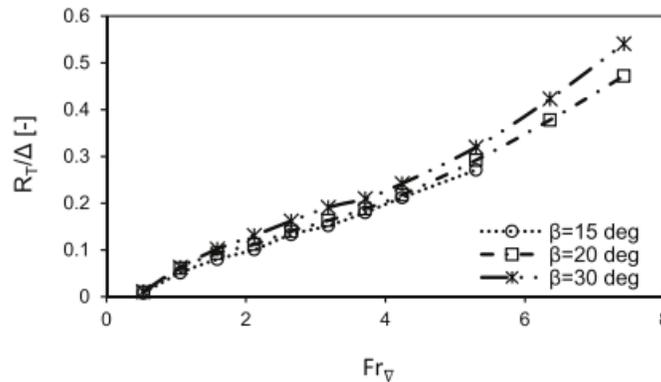
Tabel 1. Koefisien total resistansi untuk sudut *deadrise* 20° dan 25° [4]

<i>Speed</i> (m/s)	<i>Coefficient Total For</i> <i>Deadrise 20°</i>	<i>Coefficient Total For</i> <i>Deadrise 25°</i>
1,41	0,011407948	0,011452778
2,28	0,02160211	0,021077096
3,42	0,022864073	0,021503322
4,56	0,027293048	0,024926761
5,71	0,025215466	0,021301616

Tabel 2. *Wetted surface* pada berbagai kecepatan untuk sudut *deadrise* 20° dan 25° [4]

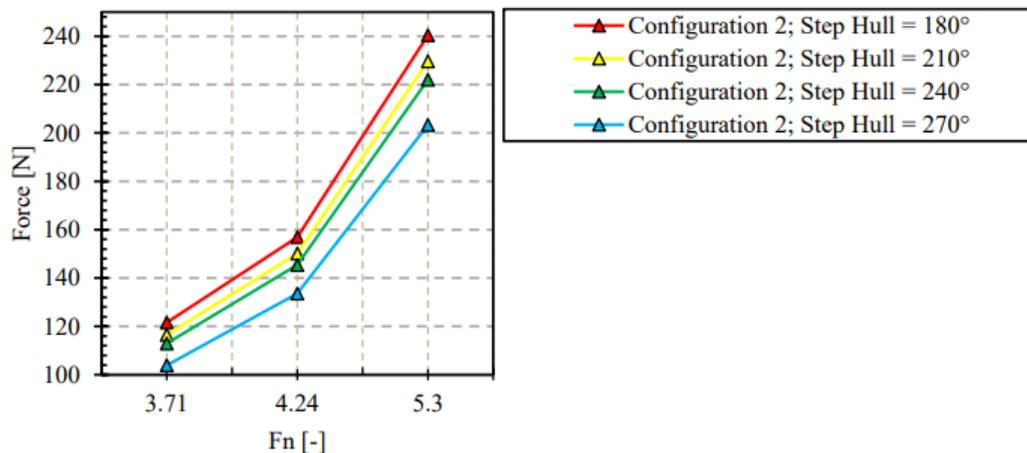
<i>Speed</i> (m/s)	<i>Wetted Surface For</i> <i>Deadrise 20° (m²)</i>	<i>Wetted Surface For</i> <i>Deadrise 25° (m²)</i>
1,41	0,41	0,4248
2,28	0,33	0,3445
3,42	0,1557	0,1661
4,56	0,08629	0,09634
5,71	0,06741	0,08039

Menurut Najafi dkk (2020) penelitian ini menggunakan model lambung *Fridsma* dengan sudut *deadrise* 15°, 20°, dan 30° untuk menguji performanya di dalam *towing tank*. Gambar 5, grafik menunjukkan kenaikan karena perubahan sudut *deadrise* dan *Froude number* mengubah karakteristik hidrodinamis kapal. Seiring peningkatan sudut *deadrise* atau *Froude number*, resistansi total meningkat karena adanya peningkatan hambatan hidrodinamis yang dihasilkan oleh interaksi antara kapal dan air.



Gambar 5. Hambatan total berdasarkan berbagai sudut *deadrise* dan *froude number* [24]

Menurut Rayhan dkk (2023) Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari koefisien tahanan total dan tahanan pada kapal cepat dengan variasi sudut *deadrise*, sudut, ketinggian, dan panjang *step hull*. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh variasi sudut *step hull* terhadap tahanan atau *drag*. Penelitian ini menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dan melibatkan tiga model konfigurasi *hull* dengan setiap perubahan sudut *step hull* sebesar 180°, 210°, 240°, dan 270°. Objek penelitian terdiri dari tiga konfigurasi *hull* yang berbeda. Konfigurasi 1 dan 2 memiliki kesamaan dalam panjang *hull* bagian belakang (600 mm), ketinggian *hull* (20 mm untuk konfigurasi 1 dan 30 mm untuk konfigurasi 2) dan sudut *deadrise* (15° untuk konfigurasi 1 dan 20° untuk konfigurasi 2). Konfigurasi 3 memiliki kesamaan dengan panjang *hull* bagian belakang 800 mm, ketinggian *hull* 20 mm dan sudut *deadrise* 15°. Adapun hasil penelitian dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 6. Tahanan vs *froude number* dari konfigurasi 2 [20]

Grafik tersebut dengan jelas menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya *Froude number*, tahanan kapal juga meningkat. Teori aliran potensial memberikan estimasi yang cukup akurat untuk berbagai aplikasi praktis pada berbagai *Froude number*, mencakup *drag* gelombang, gaya angkat hidrodinamis, momen *pitch*, penurunan, trim, dan profil gelombang sepanjang lambung kapal. Hal ini dilihat pada Gambar 6, dimana tidak ada satupun grafik yang menunjukkan *Froude number* lebih tinggi dengan penurunan tahanan. Variasi warna pada gambar menunjukkan perbedaan sudut *step hull* dari model kapal. Gambar 6 membuktikan bahwa seiring dengan meningkatnya *Froude number*, sudut *step hull* juga.

### 3.2 Pengaruh Stabilitas Terhadap Sudut *Deadrise*

Menurut Aliffrananda dan Sulisetyono (2021) penelitian ini bertujuan untuk memahami perilaku gerakan *porpoising* pada *floatplane* dengan *deadrise* 10° dan 20° yang beroperasi dengan kecepatan tinggi. Penelitian dilakukan melalui simulasi dinamis menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan sudut *deadrise* dapat meningkatkan gaya angkat pada kapal *floatplane*, yang menghasilkan gerakan naik turun (*porpoising*) yang lebih cepat dibandingkan dengan kapal yang memiliki sudut *deadrise* tinggi. Sudut *deadrise* yang tinggi memungkinkan lambung kapal untuk lebih mudah menembus permukaan air, mengurangi dampak dari beban yang terjadi di bagian bawah lambung (*slaming*). Namun, sudut *deadrise* yang rendah meningkatkan risiko kecelakaan pada kapal berkecepatan tinggi.

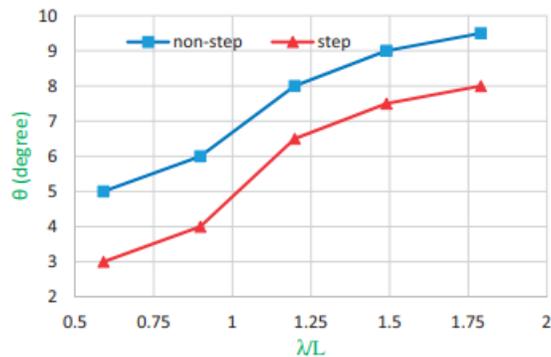
Posisi LCG yang dekat dengan haluan dapat memperbesar periode dan amplitudo gerakan naik turun (*porpoising*) dan *pitch* saat kapal mengalami *porpoising*. Selain itu, perubahan sudut *deadrise* juga memengaruhi amplitudo gerakan naik-turun (*porpoising*). Pada kondisi tertentu, penurunan sudut *deadrise* menyebabkan peningkatan amplitudo gerakan naik-turun (*porpoising*). Pada tabel 3 dapat dilihat pada konfigurasi dengan sudut *deadrise* sebesar 20° dan LCG sebesar 0.50 LOA, amplitudo rata-rata adalah 0,23 meter, sedangkan pada sudut *deadrise* 10°, amplitudo rata-rata adalah 0,26 meter. Terdapat peningkatan amplitudo rata-rata sebesar 3 cm dengan perubahan sudut *deadrise*. Adapun tabel rata-rata periode dan amplitudo akibat *porpoising* dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 3. Rata-rata periode dan amplitudo akibat *porpoising* [9]

<i>Configuration</i>	<i>Average Heave Porpoising Period (s)</i>	<i>Average Heave Porpoising Amplitude (m)</i>
$\beta=20^\circ$ , LCG=0,50LOA	1,75	0,23
$\beta=20^\circ$ , LCG=0,55LOA	1,97	0,32
$\beta=10^\circ$ , LCG=0,50LOA	1,73	0,26
$\beta=10^\circ$ , LCG=0,55LOA	-	-

Menurut Sajedi dkk (2021) tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik kinerja kapal berkecepatan tinggi baik dalam kondisi air tenang maupun gelombang laut. Penelitian ini dilakukan dengan kapal *mono-hull planing vessel called Cougar* menguji model *vessel single-step* dan model *vessel without step* di air tenang dengan *deadrise* 25 °. *Vessel single-step* adalah kapal yang dilengkapi dengan satu langkah (*step*) transversal di bawah lambungnya sedangkan *Vessel without step* adalah kapal tanpa langkah, adalah kapal yang tidak memiliki langkah transversal di bawah lambungnya. Dalam hal ini, lambung kapal tetap memiliki kontur yang relatif lurus tanpa perubahan tiba-tiba dalam profilnya. Kapal ini memiliki permukaan basah (*wetted surface area*) yang lebih besar daripada kapal dengan langkah (*vessel single-step*), yang dapat mempengaruhi resistansi dan kinerja hidrodinamis kapal secara keseluruhan.

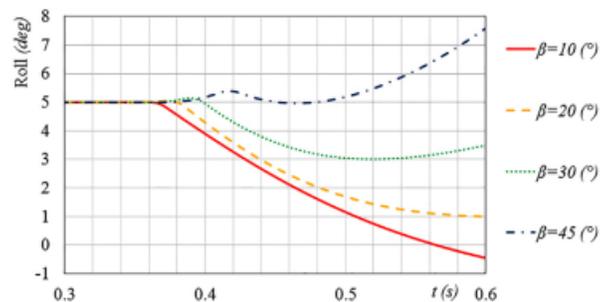
Rentang kecepatan yang diuji adalah dari 1 m/s hingga 9 m/s, yang setara dengan rentang jumlah *Beam Froude numbers* dari 0,43 hingga 3,87. *Beam Froude numbers* adalah untuk mengevaluasi perbandingan antara gaya inersia dan gaya gravitasi terhadap suatu objek yang bergerak di atas permukaan air. Pada Gambar 7 Grafik menunjukkan bahwa terjadi peningkatan pengaruh sudut *pitch* kapal terhadap  $\lambda/L$ , yang merupakan perbandingan antara panjang gelombang ( $\lambda$ ) dengan panjang kapal (L). Sudut *pitch* menggambarkan bagaimana bagian depan atau belakang kapal miring ke atas atau ke bawah dari bidang horizontal.



Gambar 7. Perbandingan antara sudut *pitch* terhadap kapal model *vessel single-step* dan *vessel without step* [1]

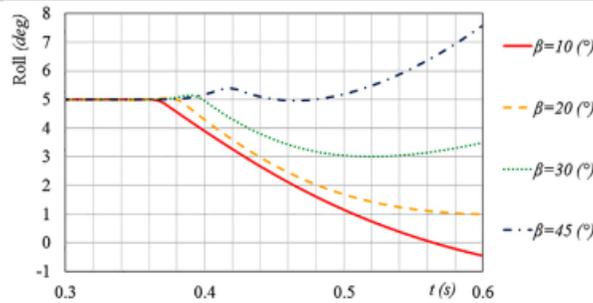
### 3.3 Pengaruh *Seakeeping*

Penelitian Ghadimi dkk bertujuan untuk membuat model matematika yang mengalami gerakan *roll* dan *heave* ketika kapal mengalami dampak secara asimetris. Mereka ingin memahami bagaimana parameter fisik, seperti sudut *deadrise*, sudut *roll* awal, dan kecepatan awal, mempengaruhi respons dinamis dari kapal tersebut. Dengan kata lain, mereka ingin melihat bagaimana kapal akan merespons ketika terjadi tabrakan dalam kondisi yang tidak simetris. Adapun grafik hasil penelitian tersebut dapat dilihat sebagai berikut:



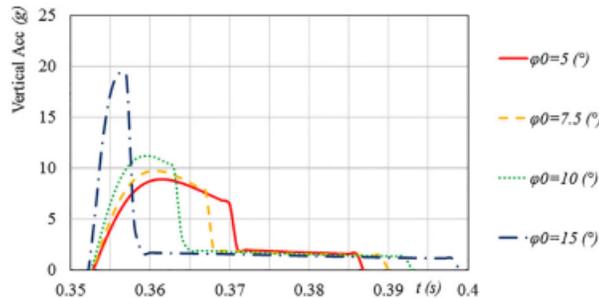
Gambar 8. Grafik pengaruh sudut *deadrise* pada sudut *roll* dengan ketinggian jatuh sebesar 0,61 m dan sudut *roll* awal sebesar  $5^\circ$  [25]

Grafik diatas menunjukkan bagaimana sudut *roll* sebuah kapal berubah seiring waktu untuk empat sudut *deadrise* yang berbeda. Untuk sudut *deadrise*  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ , dan  $30^\circ$ , kapal cenderung stabil. Namun, ketika kemiringan mencapai  $45^\circ$ , kapal cenderung memiliki sudut *roll* positif yang besar. Ini menandakan bahwa semakin besar sudut *deadrise*, semakin kecil gaya apungnya karena area kapal yang terendam juga semakin kecil. Ketika sudut kemiringan semakin tinggi, titik pusat tekanan mungkin bergeser ke sisi yang terguling. Kondisi ini bersama-sama meningkatkan risiko munculnya momen restorasi negatif dan dapat menyebabkan ketidakstabilan dalam gerakan *roll*.



Gambar 9. Grafik pengaruh sudut *roll* awal terhadap percepatan vertikal dengan ketinggian jatuh 0,61 m [25]

Bagian ini membahas bagaimana respons sebuah kapal terhadap perubahan sudut *roll* awal. Kapal tersebut memiliki massa 123,9 kg dan lebar 0,61 m, dengan sudut *deadrise* sebesar 20°. Ketinggian jatuhnya adalah 0,61 m. Empat sudut *roll* awal yang berbeda, yaitu 5°, 7,5°, 10°, dan 15°, diperhitungkan. Pada Gambar 9, kita bisa melihat bagaimana percepatan vertikal yang diprediksi bervariasi untuk setiap sudut *roll* awal. Semakin besar sudut *roll* awalnya, semakin tinggi puncak percepatannya. Ini karena sisi dengan sudut kemiringan lebih kecil yang mendorong ke bawah menjadi lebih dominan dalam menciptakan gaya hidrodinamik. Jadi, saat sudut *roll* awal meningkat, kita bisa mengharapkan percepatan yang lebih tinggi.



Gambar 10. Grafik pengaruh sudut *roll* awal terhadap percepatan sudut dengan ketinggian jatuh 0,61 m [25]

Grafik diatas menunjukkan bagaimana percepatan kapal berubah dengan berbagai sudut *roll* awal. Dapat dilihat bahwa ketika sudut *roll* awal meningkat, percepatannya menjadi lebih kecil. Namun, pada sudut *roll* awal 15°, kapal menunjukkan perilaku yang tidak stabil, di mana percepatannya terus meningkat tanpa mencapai nol. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar sudut *roll* awal, semakin tidak stabil. Selain itu, perubahan sudut *roll* awal tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada perpindahan kapal ke atas dan ke bawah (*heave*), hanya ada sedikit peningkatan dalam magnitudonya.

## KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa tahanan, stabilitas, *seakeeping* dan fenomena *slamming* pada kapal dipengaruhi oleh variasi sudut *deadrise*. Penurunan sudut *deadrise* cenderung meningkatkan kemungkinan gerakan naik-turun (*porpoising*), sementara sudut *deadrise* yang tinggi dapat mengurangi dampak dari beban *slamming*. Posisi LCG yang dekat dengan haluan juga memengaruhi periode dan amplitudo gerakan naik-turun (*porpoising*) dan *pitch* saat kapal mengalami *porpoising*. Hasil ini memberikan wawasan yang lebih baik tentang faktor-faktor yang memengaruhi kinerja kapal dalam berbagai kondisi laut, yang dapat menjadi dasar untuk pengembangan desain kapal yang lebih efisien dan aman di masa depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. M. Sajedi, P. Ghadimi, and A. Ghadimi, "Experimental appraisal of hydrodynamic performance and motion of a single-stepped high-speed vessel in calm water and regular waves," no. 424, 2020, doi: 10.1177/0954406220968126.
- [2] K. Sadati and H. Zeraatgar, "Investigation of planing craft maneuverability using full-scale tests," pp. 1–12, 2021, doi: 10.1177/14750902211030386.
- [3] S. M. Sajedi and P. Ghadimi, "Experimental and numerical analyses of wedge effects on the rooster tail and porpoising phenomenon of a high-speed planing craft in calm water," vol. 0, no. 424, pp. 1–16, 2019, doi: 10.1177/0954406219833722.
- [4] M. Sadeghi and A. Moghaddas, "Effect of Deadrise Angle on Wet Surface and Hydrodynamic Parameters of Planning Vessel by Experimental and Numerical Methods," no. November 2021, 2022, doi: 10.22034/ijmst.2021.532756.1528.
- [5] A. O. Elaghabash, "ARTICLE A CFD Study of the Resistance Behavior of a Planing Hull in Restricted Waterways," vol. 03, no. 01, pp. 32–55, 2021.
- [6] J. Wang *et al.*, "Resistance Analysis of Rescue Boat in Calm Water Condition," 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1052/1/012062.
- [7] D. S. Bogahawatte, L. Athukorala, K. A. Kurukulaarachchi, and A. Priyashan, "Empirical Feasibility Study to Design and Build Rigid Hull Inflatable Boat for Special Operation Units in Sri Lanka Navy," pp. 75–82.
- [8] M. Theses and M. J. Crosby, "ScholarWorks @ GVSU A CFD Study on the Performance of High Speed Planing Hulls," 2019.
- [9] M. Hafiz, N. Aliffrananda, A. Sulisetyono, and Y. A. Hermawan, "Numerical Analysis of Floatplane Porpoising Instability in Calm Water During Takeoff," vol. 13, no. May 2021, pp. 190–201, 2022, doi: 10.14716/ijtech.v13i1.4903.
- [10] A. Windyandari, A. K. Yusim, A. Windyandari, and A. K. Yusim, "BEHAVIOR OF PATROL BOAT USING AXE BOW HULL FORM TO SUPPORT SURVEILLANCE FORM TO SUPPORT SURVEILLANCE ACTIVITIES," vol. 19, no. 2021, pp. 822–832, doi: 10.5937/jaes0-29354.
- [11] P. Ghadimi, S. M. Sajedi, and P. Taghikhani, "Statistical Analysis of Wedge Effect on the Seakeeping of a Planing Hull in Irregular Waves at the Onset of the Planing Region Longitudinal Center of Gravity," vol. 11, no. 4, pp. 905–918, 2018, doi: 10.29252/jafm.11.04.
- [12] L. Zha, R. Zhu, L. Hong, and S. Huang, "Hull form optimization for reduced calm-water resistance and improved vertical motion performance in irregular head waves," *Ocean Eng.*, vol. 233, no. January, p. 109208, 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.109208.
- [13] U. Shipyard, N. Architecture, and M. Faculty, "A New Approach for Seakeeping Performance Assessment of Alternative Hull Forms in Optimization Process," vol. 2020, no. 1, pp. 236–248, 2020, doi: 10.31202/ecjse.629094.
- [14] B. Lagemann, "Efficient seakeeping performance predictions with CFD," 2019.
- [15] R. Perez and J. M. Riola, "CONTRIBUTION TO THE SEAKEEPING ANALYSIS OF MULTIHULL WARSHIPS," vol. 70, no. 4, pp. 35–50, 2019.
- [16] T. Rahmaji, A. R. Prabowo, T. Tuswan, T. Muttaqie, and N. Muhayat, "Design of Fast Patrol Boat for Improving Resistance , Stability , and Seakeeping Performance," 2024.
- [17] L. Duan, L. Zhu, M. Chen, and P. Terndrup, "Experimental study on the propagation characteristics of the slamming pressures," *Ocean Eng.*, vol. 217, no. August, p. 107868, 2020, doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107868.
- [18] M. W. Shephard and C. Gilbert, "Slamming of High-Speed Craft : A Machine Learning & Parametric Study of Slamming Events Slamming of High-Speed Craft : A Machine Learning & Parametric Study of Slamming Events," 2022.
- [19] S. Tavakoli and A. Dashtimanesh, "A six-DOF theoretical model for steady turning maneuver of a planing hull," *Ocean Eng.*, vol. 189, no. September, p. 106328, 2019, doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.106328.
- [20] F. A. Rayhan, A. Masrul, A. K. Akbar, and B. A. Putra, "Numerical Study on Resistance of Stepped Planing Hull," vol. 7, no. 2, pp. 106–118, 2023, doi: 10.17977/um016v7i22023p106.
- [21] B. Ariani, R. C. Ariesta, A. Wildani, M. H. Hakim, and M. Oktaviani, "SHIP PERFORMANCE INVESTIGATION DUE TO DEADRISE," pp. 608–617, 2023.

- 
- [22] A. R. Prabowo, U. S. Maret, T. Muttaqie, T. Tuswan, and U. Diponegoro, "EFFECT OF HULL DESIGN VARIATIONS ON THE RESISTANCE PROFILE AND WAVE PATTERN : A CASE STUDY OF THE PATROL BOAT VESSEL THE RESISTANCE PROFILE AND WAVE PATTERN :," no. February, 2022.
- [23] D. Yang, Z. Sun, Y. Jiang, and Z. Gao, "A Study on the Air Cavity under a Stepped Planing Hull," 2019.
- [24] A. Najafi, H. Nowruzi, and M. J. Ameri, "Hydrodynamic assessment of stepped planing hulls using experiments," *Ocean Eng.*, vol. 217, no. 424, p. 107939, 2020, doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107939.
- [25] P. Ghadimi, S. Tavakoli, and A. Dashtimanesh, "Dynamic response of a wedge through asymmetric free fall in 2 degrees of freedom," no. 424, 2017, doi: 10.1177/1475090217733150.