

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal perikanan (fishing vessel) merupakan kapal kerja yang beroperasi pada perairan terbuka dengan karakteristik gelombang yang tinggi dan bersifat acak (irregular waves). Kondisi ini menyebabkan kapal mengalami eksitasi dinamis secara kontinu, khususnya pada gerakan oleng (rolling). Pada kapal perikanan berukuran 120 GT, gerak rolling menjadi salah satu aspek paling kritis karena secara langsung memengaruhi keselamatan awak kapal, efektivitas operasi penangkapan ikan, serta kenyamanan kerja di atas geladak (FAO, 2021).

Secara hidrodinamika, rolling merupakan gerakan osilasi kapal terhadap sumbu memanjang yang dipengaruhi oleh parameter hidrostatik dan hidrodinamis kapal. Parameter utama dalam analisis dinamis rolling adalah periode alami oleng (rolling period, T_ϕ), yang digunakan sebagai dasar dalam analisis kemungkinan terjadinya sinkronisasi gerakan dengan gelombang (Pérez-Canosa et al., 2022). Apabila periode gelombang (encounter period) mendekati periode alami kapal, amplitudo rolling dapat meningkat secara signifikan sehingga meningkatkan risiko operasional dan struktural bahkan mendorong dikembangkannya sistem deteksi dini terhadap gerak roll ekstrem sebagai dasar pengambilan keputusan manuver hindar (Acanfora & Balsamo, 2020). Secara teoritis, rolling period dipengaruhi oleh momen inersia massa terhadap sumbu memanjang, tinggi metasentra (GM), serta distribusi massa kapal yang dinyatakan melalui jari-jari girasi; dalam pemodelan dinamis, sistem roll umum direpresentasikan sebagai sistem massa–peredam–pegas (mass–damper–spring) satu derajat kebebasan, di mana parameter redaman inilah yang menjadi objek utama ekstraksi pada roll decay test (Amiruddin & Yudo, 2023).

Salah satu perangkat pasif yang umum digunakan untuk mereduksi amplitudo rolling adalah bilge keel. Perangkat ini bekerja dengan meningkatkan redaman hidrodinamis melalui pembentukan vorteks dan peningkatan hambatan selama gerakan oleng. Studi numerik dan eksperimental menunjukkan bahwa pemasangan bilge keel secara signifikan meningkatkan total roll damping akibat terjadinya separasi aliran dan disipasi energi kinetik kapal, dan bahwa geometri serta posisi pemasangannya memengaruhi besarnya redaman secara tidak selalu linear terhadap dimensinya (Jiang et al., 2020; Zhang et al., 2021). Temuan serupa juga dilaporkan pada studi eksperimental dan CFD lain yang menunjukkan peningkatan kesesuaian hasil numerik-eksperimen pada kondisi kapal berbilge keel dibandingkan tanpa bilge keel (Irkal et al., 2016), serta pengaruh bentuk penampang bilge keel terhadap karakteristik redaman pada berbagai amplitudo. Efektivitas bilge keel sangat bergantung pada kombinasi spesifik geometri dan kondisi muatan (draft) kapal, sehingga generalisasi hasil dari satu tipe kapal ke tipe lain tidak dapat dilakukan tanpa kajian tersendiri (Islam et al., 2025).

Pada konteks kapal ikan tradisional Indonesia, kajian pengaruh lunas bilga (bilge keel) telah dilakukan antara lain oleh (Senoaji et al., 2017) yang meneliti pengaruh

letak lunas bilga terhadap performa kapal tipe Kragan, (Simanjuntak et al., 2016) yang mengkaji pengaruh panjang dan geometrinya terhadap pola aliran (wake), serta (Liu et al., 2019) yang meneliti desain lunas bilga pada kapal ikan tradisional Jawa Timur menggunakan pendekatan RAO. Studi-studi ini umumnya berfokus pada aspek hambatan, aliran, dan performa olah gerak secara kualitatif, sementara aspek koefisien redaman roll secara kuantitatif sebagaimana diteliti secara eksperimental oleh (Hendratmoko et al., 2012) pada kapal umum belum banyak dieksplorasi khusus untuk kapal ikan.

Meningkatnya redaman akibat bilge keel ini pada dasarnya bersifat nonlinear merupakan gabungan antara komponen redaman linear (viscous/friction) dan komponen kuadratik yang didominasi oleh efek pembentukan vorteks di sekitar bilge keel (Himeno, 1981; Ikeda, 1978). Karakteristik nonlinear inilah yang membuat estimasi koefisien redaman roll (B_1 dan B_2) dari data roll decay test menjadi tidak sederhana. ITTC, melalui Recommended Procedure 7.5-02-07-04.5, mengakui terdapat beberapa pendekatan ekstraksi koefisien redaman dari kurva peluruhan roll di antaranya logarithmic decrement, energy method, dan extinction curve namun tanpa konsensus tunggal mengenai metode mana yang paling representatif untuk seluruh tipe kapal dan rentang amplitudo (ITTC, 2024). Studi terdekat secara metodologis, (Ghamari et al., 2022) telah mengekstraksi koefisien redaman linear dan nonlinear dari data roll decay kapal ikan pada berbagai sudut kemiringan awal menggunakan simulasi CFD tervalidasi eksperimen, namun belum membandingkan secara sistematis konsistensi antar-metode ekstraksi tersebut. Pemilihan metode ekstraksi yang kurang tepat dapat berujung pada estimasi B_1 dan B_2 yang keliru, padahal kedua koefisien ini krusial sebagai input pada prediksi stabilitas dinamis dan performa seakeeping kapal secara keseluruhan.

Simulasi numerik berbasis teori difraksi potensial tiga dimensi, seperti yang diimplementasikan pada ANSYS AQWA, memberikan alternatif yang efisien dari segi biaya dan waktu dibandingkan pengujian model fisik di towing tank/wave flume untuk memperoleh data roll decay, dan telah digunakan dalam studi terdahulu terkait respons gerak dan stabilitas kapal ikan (Susanto et al., 2024). Namun demikian, penelitian terdahulu terkait bilge keel pada kapal ikan umumnya masih berfokus pada evaluasi redaman atau stabilitas secara umum, dan belum secara spesifik mengevaluasi konsistensi antar-metode ekstraksi koefisien redaman nonlinear dari data roll decay numerik, khususnya untuk variasi dimensi bilge keel dan draft yang representatif terhadap kondisi operasional kapal ikan.

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh variasi lebar bilge keel dan draft terhadap karakteristik peluruhan (decay) gerak roll kapal ikan 120 GT, serta perbandingan konsistensi dan akurasi tiga metode ekstraksi koefisien redaman Logarithmic Decrement, Extinction Curve (Bertin/energy-averaging), dan Nonlinear Time-Domain Curve Fitting berdasarkan data time response hasil simulasi Hydrodynamic Response di ANSYS AQWA..

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi lebar bilge keel dan draft terhadap karakteristik peluruhan (decay) gerak roll kapal, khususnya terhadap sifat linear dan nonlinear redaman yang dihasilkan dari simulasi roll decay test menggunakan Ansys Aqwa Hydrodynamic Response?
2. Bagaimana konsistensi dan akurasi nilai koefisien redaman linear (B_1/ζ_L) dan kuadratik (B_2/ζ_Q) yang diekstraksi dari data time response roll decay test, apabila dibandingkan antara metode Logarithmic Decrement, Extinction Curve (Bertin/energy-averaging), dan Nonlinear Time-Domain Curve Fitting?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh variasi lebar bilge keel dan draft terhadap karakteristik peluruhan (decay) gerak roll kapal ikan, khususnya terhadap periode natural roll (T_n) serta sifat linear dan nonlinear redaman yang dihasilkan dari simulasi hydrodynamic response dan time response test di Ansys Aqwa..
2. Mengekstraksi dan membandingkan nilai koefisien redaman linear (B_1/ζ_L) dan kuadratik (B_2/ζ_Q) dari data time response hasil roll decay test menggunakan tiga metode berbeda Logarithmic Decrement, Extinction Curve (Bertin/energy-averaging), dan Nonlinear Time-Domain Curve Fitting untuk mengevaluasi konsistensi dan akurasi masing-masing metode.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini diperlukan untuk menjaga fokus dan menghindari perluasan yang tidak relevan. Berikut adalah batasan masalah yang dapat diterapkan:

1. Objek penelitian dibatasi pada satu kapal ikan dengan principal dimension tetap (LPP, LWL, B, T, H, Cb, Cp, VCG/KG, dan momen inersia sudah ditentukan di awal dan tidak divariasikan).
2. Metode simulasi dibatasi pada analisis hydrodynamic diffraction dan time response di Ansys Aqwa; penelitian ini tidak melakukan validasi eksperimen fisik (model test di towing tank/wave flume) maupun simulasi CFD/RANS (misalnya FLOW-3D atau ANSYS Fluent) sebagai pembanding.
3. Variabel bebas dibatasi pada tiga parameter: lebar bilge keel (0,25 m; 0,30 m; 0,35 m; 0,40 m), ketinggian bilge keel (0,5 m; 1,0 m; 1,5 m; 2,0 m), dan sudut kemiringan awal (5° ; 10° ; 15° ; 20°) kombinasi lain di luar rentang ini tidak diteliti.
4. Orientasi dan posisi bilge keel (sudut inklinasi terhadap horizontal, lokasi pemasangan pada penampang lambung) dibuat tetap/tidak divariasikan; penelitian ini tidak membahas pengaruh orientasi bilge keel seperti pada studi Ikeda atau Irkal et al. (BK vs H-BK vs V-BK).
5. Kecepatan maju kapal diasumsikan nol ($V = 0$) penelitian ini murni free roll decay pada kondisi kapal diam, sehingga komponen lift damping (B_{lift}) dan efek kecepatan maju tidak diperhitungkan.

6. Kondisi lingkungan dibatasi pada air tenang (calm water), tanpa gelombang reguler/irreguler; penelitian ini tidak membahas respons roll kapal pada kondisi seakeeping bergelombang maupun fenomena parametric roll.
7. Model redaman nonlinear dibatasi pada bentuk linear + kuadratik ($B_1\dot{\phi} + B_2\dot{\phi}|\dot{\phi}|$); suku redaman orde lebih tinggi (kubik, dsb.) tidak diperhitungkan.
8. Metode ekstraksi koefisien redaman dibatasi pada tiga metode yang dibandingkan (Logarithmic Decrement, Extinction Curve Bertin/energy-averaging, dan Nonlinear Time-Domain Curve Fitting); metode lain (misalnya random decrement method atau Hilbert transform) tidak dibahas.
9. Metode Ikeda/ITTC 7.5-02-07-04.5 digunakan sebatas sebagai rujukan teoritis dan pembanding kualitatif, bukan sebagai perhitungan prediksi independen yang dijalankan penuh (lima komponen: friction, wave, eddy, lift, bilge keel) untuk divalidasi silang secara kuantitatif terhadap seluruh hasil simulasi.
10. Mekanisme peredam roll lainnya (fin stabilizer, anti-rolling tank, gyroscopic stabilizer, dsb.) berada di luar cakupan penelitian ini fokus hanya pada bilge keel pasif.
11. Analisis tidak mencakup aspek ekonomi/manufaktur bilge keel (biaya produksi, kemudahan pemasangan, dampak terhadap resistance kapal saat berlayar).
12. Analisis tidak mencakup kekuatan konstruksi bilge keel.
13. Perhitungan redaman nonlinear yang digunakan oleh Ansys Aqwa (metode Robinson & Stoddart untuk kondisi tanpa bilge keel, dan metode Ikeda/ITTC 7.5-02-07-04.5 untuk kondisi berbilge keel) merupakan formula bawaan (built-in) yang aslinya diturunkan dan divalidasi menggunakan model kapal tongkang dan kapal cargo konvensional. Penelitian ini tidak melakukan modifikasi atau kalibrasi ulang terhadap formula tersebut agar sesuai secara spesifik dengan karakteristik hidrodinamis kapal ikan, sehingga hasil yang diperoleh menggunakan asumsi bahwa formula bawaan tersebut cukup representatif untuk kapal ikan yang dianalisis.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Teoritis

1. Memberikan kontribusi ilmiah terkait pengaruh variasi lebar bilge keel dan draft terhadap karakteristik redaman roll (linear dan kuadratik) pada kapal ikan 120 GT, yang literturnya masih terbatas dibandingkan kapal niaga/kapal perang konvensional.
2. Memberikan referensi metodologis mengenai konsistensi dan akurasi tiga metode ekstraksi koefisien redaman (Logarithmic Decrement, Extinction Curve, Nonlinear Time-Domain Curve Fitting) dari data roll decay numerik, yang dapat menjadi rujukan bagi penelitian sejenis di masa depan.
3. Memperkaya pemahaman tentang keterbatasan metode linear klasik (logarithmic decrement) dalam merepresentasikan redaman roll yang nonlinear akibat bilge keel.

1.5.2 Manfaat Praktis

1. Bagi galangan/perancang kapal ikan menyediakan gambaran kuantitatif pengaruh dimensi bilge keel terhadap redaman roll pada berbagai kondisi draft operasional, sebagai pertimbangan dalam menentukan dimensi bilge keel yang efektif tanpa perlu uji model fisik di tahap awal desain.
2. Bagi operator/nelayan hasil penelitian dapat mendukung peningkatan keselamatan dan kenyamanan kerja awak kapal melalui pemahaman perilaku rolling kapal ikan yang dilengkapi bilge keel.
3. Bagi akademisi dan peneliti lain memberikan panduan praktis dalam memilih metode ekstraksi koefisien redaman roll yang sesuai dengan karakteristik data (amplitudo kecil vs besar, tingkat akurasi yang dibutuhkan).
4. Bagi regulator/badan klasifikasi dapat menjadi salah satu bahan pertimbangan teknis dalam evaluasi kelaikan olah gerak (seakeeping performance) kapal ikan berukuran menengah.

1.6 Hipotesa Sementara

Penelitian ini diduga akan menunjukkan bahwa peningkatan lebar bilge keel dan draft kapal secara konsisten meningkatkan redaman roll kapal ikan, baik pada komponen linear (ζ_L) maupun komponen kuadrat (β/ζ_Q), dengan kontribusi komponen kuadrat yang meningkat lebih signifikan seiring bertambahnya draft mengindikasikan adanya efek interaksi antara luas permukaan bilge keel yang tercelup air dengan kedalaman draft kapal. Seluruh konfigurasi kapal berbilge keel diduga menghasilkan redaman roll efektif (ζ_{eq}) yang lebih besar dibandingkan kondisi bare hull (tanpa bilge keel) pada semua amplitudo dan draft yang diuji, dengan persentase kenaikan tertinggi terjadi pada kombinasi lebar bilge keel maksimum dan draft terdalam. Terkait metode ekstraksi koefisien redaman, diduga metode Logarithmic Decrement akan menunjukkan penyimpangan (bias) yang meningkat seiring membesarnya amplitudo roll karena mengabaikan komponen redaman kuadrat, sementara metode Extinction Curve (Bertin/energy-averaging) dan Nonlinear Time-Domain Curve Fitting akan menghasilkan nilai yang relatif konsisten satu sama lain di seluruh rentang amplitudo yang diuji, dengan metode Nonlinear Time-Domain Curve Fitting diduga memberikan tingkat akurasi tertinggi (ditandai dengan nilai RMSE terendah terhadap data time-series hasil simulasi) dibandingkan kedua metode lainnya.

1.7 Luaran Penelitian

- A. HaKI (Hak atas Kekayaan Intelektual)
- B. Paper atau artikel ilmiah