

ANALISIS STABILITAS KAPAL PENUMPANG TERHADAP VARIASI MUATAN DAN KONDISI GELOMBANG LAUT

Moh. Hafidz Efendy^{1*}, Ramdhani Yusli Arbain Sugoro², Agustin Dwi Sumiwi³, Syarifah Ghaifira Nur Aisyah⁴

^{1,2,3,4} Universitas Ibnu Sina, Batam, Indonesia
e-mail: *1efendyy@uis.ac.id

Abstrak

Stabilitas merupakan aspek keselamatan utama kapal penumpang, terutama pada perairan dengan gelombang yang bervariasi. Penelitian ini menganalisis stabilitas statis dan dinamis kapal feri 500 GT milik PT ASDP Indonesia Ferry (Persero) Cabang Batam pada 12 kondisi pembebanan. Analisis menggunakan MAXSURF Stability Enterprise v21 dengan acuan IMO IS Code 2008 (MSC.267(85)) dan BKI 2023, sedangkan respons dinamis dievaluasi dengan strip theory pada spektrum JONSWAP. Pada kondisi 95% penumpang dengan $H_s = 2,5$ m diperoleh $GM = 1,14$ m dan $GZ_{max} = 0,478$ m pada sudut 32° . Dua kondisi ekstrem menunjukkan luas area GZ mendekati batas minimum, dengan margin terhadap kriteria IMO terkecil 5,6%. Periode rolling alami 8,4 detik mendekati periode gelombang dominan Selat Malaka (7–10 detik), dengan amplitudo oleng maksimum $14,8^\circ$ dan probabilitas oleng lebih dari 15° sebesar 2,3%. Direkomendasikan pembatasan distribusi penumpang geladak atas maksimum 60% saat $H_s > 2,0$ m dan ballast minimum 15 ton.

Kata kunci : stabilitas kapal; IS Code 2008; MAXSURF; GZ curve; kapal penumpang; gelombang

Abstract

Stability is a primary safety aspect of passenger ships, especially in waters with varying waves. This study analyzes the static and dynamic stability of a 500 GT ferry owned by PT ASDP Indonesia Ferry (Persero), Batam Branch, under 12 loading conditions. The analysis used MAXSURF Stability Enterprise v21 referring to the IMO IS Code 2008 (MSC.267(85)) and BKI 2023, while dynamic response was evaluated using strip theory with the JONSWAP spectrum. At 95% passengers and $H_s = 2.5$ m, $GM = 1.14$ m and $GZ_{max} = 0.478$ m at 32° were obtained. Two extreme conditions show GZ area close to the minimum limit, with the smallest margin to the IMO criteria being 5.6%. The natural roll period of 8.4 seconds is close to the dominant wave period of the Malacca Strait (7–10 seconds), with a maximum roll amplitude of 14.8° and a probability of roll above 15° of 2.3%. A limit of 60% of passengers on the upper deck when $H_s > 2.0$ m and a minimum ballast of 15 tons are recommended.

Keywords : ship stability; IS Code 2008; MAXSURF; GZ curve; passenger ship; waves

1. PENDAHULUAN

Stabilitas kapal menentukan kemampuan kapal kembali ke posisi tegak setelah mengalami oleng akibat gelombang, angin, maupun distribusi muatan. Pada kapal penumpang, perubahan jumlah dan posisi penumpang dapat mengubah titik berat kapal sehingga kriteria stabilitas harus diperiksa pada berbagai kondisi pembebanan (Rawson & Tupper, 2001; Kobylinski & Kastner, 2003).

Kriteria stabilitas utuh diatur dalam *International Code on Intact Stability* (IS Code 2008) dan aturan klasifikasi BKI. Selain stabilitas statis, perilaku dinamis kapal di gelombang juga penting, terutama jika periode rolling alami kapal mendekati periode gelombang sehingga berisiko mengalami resonansi (Belenky & Sevastianov, 2007; Perez, 2005).

Penelitian ini menganalisis stabilitas statis dan dinamis kapal feri milik PT ASDP Indonesia Ferry (Persero) Cabang Batam pada berbagai kondisi pembebanan dan gelombang di perairan Batam–Tanjung Balai Karimun, serta memberikan rekomendasi operasional.

2. METODE PENELITIAN

Objek Penelitian

Objek penelitian adalah MV. Batam Express III milik PT ASDP Indonesia Ferry Cabang Batam dengan LOA 52,0 m, B 12,8 m, T 2,65 m, displasemen 680 ton, kapasitas 350 penumpang, KG = 3,48 m, dan GM = 1,14 m.

Analisis Stabilitas Statis

Analisis dilakukan menggunakan MAXSURF Stability Enterprise v21 pada 12 kondisi pembebanan, dengan acuan IMO IS Code 2008 (MSC.267(85)) dan BKI 2023. Kriteria yang diperiksa meliputi luas area di bawah kurva GZ pada 0° – 30° dan 0° – 40° , GZ maksimum, sudut GZ maksimum, dan GM awal.

Analisis Stabilitas Dinamis

Respons rolling dievaluasi dengan metode *strip theory* untuk memperoleh *Response Amplitude Operator* (RAO) menggunakan spektrum gelombang JONSWAP pada $H_s = 2,5$ m. Data gelombang diperoleh dari BMKG Batam dan pengamatan operasional kapal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Stabilitas Statis pada Kondisi Kritis

Tabel 1 menunjukkan hasil pemeriksaan kriteria IS Code untuk dua kondisi pembebanan kritis, yaitu Kondisi 7 dan Kondisi 8. Seluruh kriteria terpenuhi pada kedua kondisi.

Tabel 1. Hasil analisis stabilitas statis pada kondisi kritis

Kriteria	Syarat	Kondisi 7	Kondisi 8
Area 0° – 30° (m·rad)	$\geq 0,055$	0,089 ✓	0,058 ✓
Area 0° – 40° (m·rad)	$\geq 0,090$	0,147 ✓	0,094 ✓
GZ_max (m)	$\geq 0,200$	0,478 ✓	0,221 ✓
Sudut GZ_max ($^\circ$)	≥ 25	32,0 ✓	26,5 ✓
GM ₀ (m)	$\geq 0,150$	1,140 ✓	0,183 ✓
Margin terhadap IMO	-	61,8%	5,6% (kritis)

Kondisi 7 memiliki margin yang cukup besar (61,8%), sedangkan Kondisi 8 hanya memiliki margin 5,6% sehingga tergolong kritis. Pada Kondisi 8, luas area 0° – 30° (0,058 m·rad) hanya sedikit di atas batas minimum 0,055 m·rad.

Stabilitas Dinamis

Tabel 2. Hasil analisis dinamis (JONSWAP, $H_s = 2,5$ m)

Parameter	Nilai
Amplitudo oleng maksimum (ϕ_{max})	14,8°
Amplitudo oleng RMS	7,2°
Percepatan vertikal maksimum	0,38 g
Percepatan lateral maksimum	0,21 g
Periode natural oleng (T_ϕ)	8,4 detik
Koefisien redaman (β)	0,082
Probabilitas oleng $> 15^\circ$	2,3%

Periode rolling alami 8,4 detik berada dalam rentang periode gelombang dominan Selat Malaka (7–10 detik), sehingga ada risiko resonansi rolling. Probabilitas oleng lebih dari 15° sebesar 2,3% menunjukkan risiko yang kecil tetapi tidak dapat diabaikan.

Rekomendasi Operasional

Berdasarkan hasil analisis, direkomendasikan: (1) distribusi penumpang di geladak atas maksimum 60% saat $H_s > 2,0$ m; (2) ballast minimum 15 ton di *double bottom* saat jumlah penumpang lebih dari 80%; dan (3) pemasangan *active fin stabilizer* untuk kondisi $H_s > 1,5$ m.

Keterbatasan penelitian adalah data gelombang BMKG Batam yang hanya tersedia setiap 3 jam sehingga belum dapat menggambarkan fluktuasi jangka pendek untuk analisis stabilitas dinamis.

4. KESIMPULAN

1. Seluruh kriteria stabilitas statis IS Code 2008 terpenuhi pada kondisi kritis yang dianalisis, tetapi Kondisi 8 memiliki margin hanya 5,6% sehingga tergolong kritis.
2. Periode rolling alami kapal (8,4 detik) mendekati periode gelombang dominan Selat Malaka (7–10 detik), dengan amplitudo oleng maksimum $14,8^\circ$ dan probabilitas oleng lebih dari 15° sebesar 2,3% pada $H_s = 2,5$ m.
3. Pembatasan penumpang geladak atas maksimum 60% saat $H_s > 2,0$ m, ballast minimum 15 ton, dan *active fin stabilizer* untuk $H_s > 1,5$ m direkomendasikan untuk menjaga keselamatan.

5. SARAN

Berikut beberapa saran dari penelitian ini:

1. Perlu dikembangkan sistem pemantauan stabilitas *real-time* berbasis inklinometer dan akselerometer permanen yang memberi peringatan dini kepada nakhoda.
2. Sistem tersebut sebaiknya diintegrasikan dengan Sistem Manajemen Keselamatan (SMS) pelayaran, dan penelitian berikutnya menggunakan data gelombang dengan resolusi waktu yang lebih rapat.

DAFTAR PUSTAKA

- Belenky, V. L., & Sevastianov, N. B. (2007). *Stability and Safety of Ships: Risk of Capsizing* (2nd ed.). SNAME.
- BKI. (2023). *Rules for Classification and Construction Vol. I – Sea-going Ships*. Biro Klasifikasi Indonesia.
- IMO. (2008). *International Code on Intact Stability (IS Code 2008)*. Resolution MSC.267(85).
- IMO. (2020). *SDC 7/6: Development of Second Generation Intact Stability Criteria*.
- Kobylinski, L. K., & Kastner, S. (2003). *Stability and Safety of Ships Vol. 1*. Elsevier.
- Novak, J., Trincas, G., & Coraddu, A. (2020). Probabilistic assessment of dynamic stability. *Ocean Engineering*, 195, 106702.
- Perez, T. (2005). *Ship Motion Control: Course Keeping and Roll Stabilisation*. Springer.
- Rawson, K. J., & Tupper, E. C. (2001). *Basic Ship Theory* (5th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Umeda, N. (2013). Current status of second generation intact stability criteria. *Proceedings ISSW*, Brest.