

KAJIAN GERAKAN *ROLL* KAPAL PINISI DENGAN *BILGE KEEL*

Anggoronadhi Dianiswara¹, Abrari Noor Hasmi¹, Alamsyah¹, Luh Putri Adnyani¹

¹Institut Teknologi Kalimantan,
Jalan Sukarno Hatta KM. 15, Karang Joang, Balikpapan Utara, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur 76127

Email: anggoronadhi@lecturer.itk.ac.id

Abstrak

Kapal Pinisi merupakan kapal tradisional warisan budaya Indonesia yang masih eksis di perairan Indonesia sebagai kapal angkut barang maupun sebagai produk layanan wisata. Oleh sebab itu, peningkatan performa gerakannya dirasa perlu untuk dilakukan sebagai salah satu bentuk kepedulian terhadap keselamatan. Gerakan *roll* pada kapal adalah salah satu yang terpenting untuk diketahui bagaimana perilakunya, sehingga dapat dilakukan antisipasi gerakan *roll* berlebihan yang menyebabkan kapal terbalik. Penerapan desain dan teknologi *bilge keel* menunjukkan hasil yang memuaskan pada sejumlah kapal, sehingga perlu juga diterapkan pada Kapal Pinisi sebagai langkah untuk meningkatkan performa gerakan *roll* Kapal Pinisi. *3D panel method* digunakan dalam pemodelan karakteristik perilaku gerak Kapal Pinisi, kemudian dianalisis pada gelombang acak dengan berbagai tinggi gelombang signifikan dan periode puncak. Pengaplikasian *bilge keel* pada lambung Kapal Pinisi membuat performa gerakan *roll* Kapal Pinisi semakin baik.

Kata Kunci: kapal; tradisional; pinisi; *roll*; *bilge keel*

Abstract

Pinisi ship is a traditional vessel of Indonesian cultural heritage that still exists in the Indonesian waters as a cargo ship or as a tourism service product. Therefore, it is necessary to improve the performance of the motion for safety concerns. The roll motion is one of the most important things to know how its behavior is, so that it can be anticipated that excessive roll motion causes the ship to capsize. The application of bilge keel design and technology has shown satisfactory results on a number of ships, so it is necessary to apply to the Pinisi ship as an action to improve the performance of the Pinisi ship roll motion. The 3D panel method is used in modeling the motion characteristics of the Pinisi ship, then it is analyzed on irregular waves with various significant wave heights and peak periods. The application of the bilge keel to the Pinisi ship makes the roll motion performance of the Pinisi ship better.

Keywords: ship; traditional; pinisi; roll; bilge keel

1. PENDAHULUAN

Pinisi adalah kapal tradisional Indonesia yang ditetapkan UNESCO sebagai salah satu warisan budaya Indonesia. Saat ini, pusat pembuatan Pinisi terletak di Tana Beru dan Bira, Kabupaten Bulukumba, Sulawesi Selatan, serta di Batu Licin, Kalimantan Selatan. Selain sebagai alat angkut barang, Pinisi juga sebagai produk layanan wisata. Eksistensi Kapal Pinisi masih tinggi dan bisa dilihat di Pelabuhan Sunda Kelapa seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Dalam analisis *seakeeping*, gerakan *roll* adalah salah satu yang terpenting untuk dikaji sebagai bentuk perhatian dalam keselamatan.

Gerakan *roll* yang berlebihan dapat menyebabkan kapal terbalik [1], kemudian tenggelam.



Gambar 1. Kapal Pinisi, Pelabuhan Sunda Kelapa [2]

Ditinjau dari sisi teknis, terdapat 6 gerakan kapal yang umum terjadi pada suatu bangunan apung, yaitu: *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*.

Ada beberapa macam teknologi untuk mengurangi gerakan *roll*, antara lain sirip lunas (*bilge keel*), sirip anti-*roll*, dan tangki anti-*roll* [3]. Secara desain dan penerapannya, penggunaan *bilge keel* lebih mudah dan cocok diterapkan pada Kapal Pinisi karena tidak mengurangi area kabin dan tidak perlu dioperasikan secara aktif terus-menerus saat kapal sedang beroperasi. Penggunaan *bilge keel* sudah pernah dimodelkan pada kapal nelayan tradisional dan menunjukkan reduksi gerakan *roll* yang cukup signifikan [4]. Teknologi *bilge keel* pada kapal modern dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Teknologi *Bilge keel* pada kapal modern [5]

Bilge keel yang digunakan pada perahu tradisional *East Java Fishing Boat* (EFJB) membuat gerakan *roll* berkurang, sehingga meningkatkan faktor keselamatan pada perahu tradisional EFJB [4]. Tinggi atau lebar *bilge keel* mempengaruhi redaman gerakan *roll*. Gerakan *roll* berkurang ketika tinggi atau lebar *bilge keel* ditingkatkan [6]. Selain itu, semakin panjang *bilge keel*, redaman *roll* juga berkurang [7]. Namun, Efek ketebalan *bilge keel* pada gerakan *roll* ditemukan tidak signifikan untuk bangunan apung berbentuk *barge* [8].

Sejauh ini, belum ditemukan kajian terkait performa hidrodinamis Kapal Pinisi

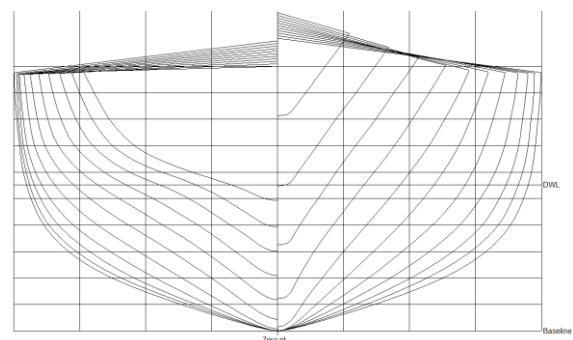
dengan menggunakan teknologi anti-*roll* berupa *bilge keel* sebagai upaya untuk mengurangi gerakan *roll* yang berlebihan. Oleh karena itu, kajian ini perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa besar reduksi gerakan *roll* yang terjadi setelah ditambahkan *bilge keel*. Kajian ini dianggap perlu karena selain Kapal Pinisi warisan budaya Indonesia, Kapal Pinisi juga masih eksis sebagai kapal angkut barang maupun sebagai produk layanan wisata, sehingga faktor keselamatannya perlu diperhatikan dan ditingkatkan.

2. METODE

Objek kajian ini adalah Kapal Pinisi yang pernah dijadikan objek riset oleh Mahmuddin [9] dengan dimensi utama dan *body plan*-nya dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1. Dimensi utama

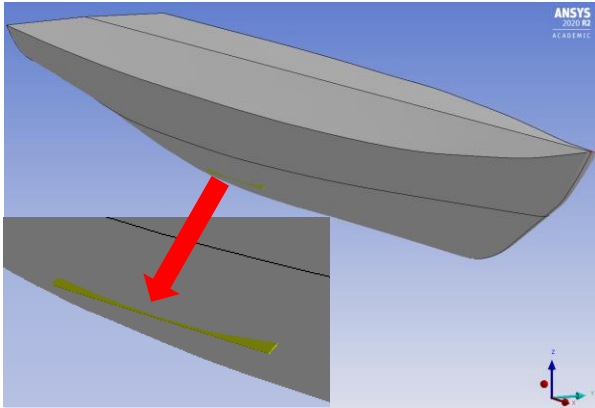
| Parameter | Nilai | Satuan |
|--------------------------|-------|----------------|
| <i>Length</i> (LoA) | 45,20 | m |
| <i>Breadth</i> (B) | 10 | m |
| <i>Depth</i> (D) | 5 | m |
| <i>Draft</i> (T) | 2,76 | m |
| KG | 5 | m |
| Vol. <i>Displacement</i> | 420 | m ³ |
| K _{xx} | 0.45B | m |



Gambar 3 *Body Plan* Kapal Pinisi

Kemudian, dilakukan dua pemodelan lambung Kapal Pinisi, yaitu lambung Kapal Pinisi tanpa *bilge keel* (*barehull*) dan dengan *bilge keel*. Pemodelan lambung Kapal Pinisi

dilakukan dengan pemodelan geometri *NURBS surfaces* dan *curves*. *Bilge keel* dimodelkan pada lambung Kapal Pinisi menggunakan program ANSYS AQWA dengan panjang 5 m dan lebar 0,2 m seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Model bilge keel

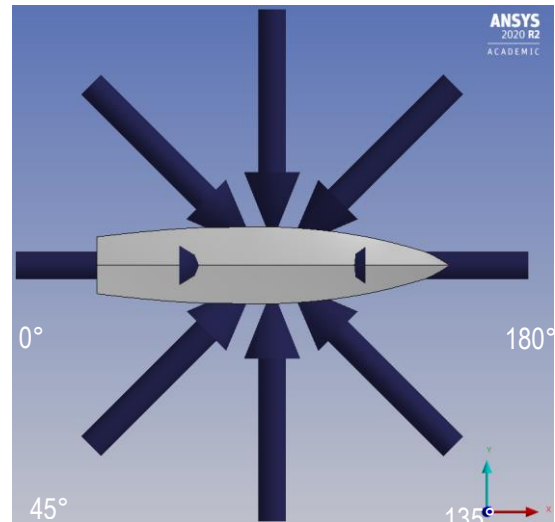
Response Amplitude Operators (RAO) gerakan *roll* untuk beberapa *wave heading* dengan kecepatan laju kapal 2,5m/s dimodelkan dengan menggunakan *3D panel method*. Metode ini umum digunakan dan lebih sering dipilih dibandingkan pendekatan *strip theory* untuk mendapatkan karakteristik respons gerakan bangunan apung yang lebih akurat. Metode ini didasarkan pada *fluid potential theory* dan menggambarkan permukaan struktur dengan serangkaian *diffraction panel*.

Wave heading direction dapat dilihat pada Gambar 5. Dimodelkan arah datang gelombang dari sudut 0° - 180° dengan interval 45°. *Wave heading* 0° adalah *following seas*, *wave heading* 45° adalah *quartering following seas*, *wave heading* 90° adalah *beam seas*, *wave heading* 135° adalah *quartering head seas*, dan *wave heading* 180° adalah *head seas*.

Himpunan persamaan gerak linier dari interaksi hidrodinamis struktur dengan koefisien yang bergantung pada frekuensi dapat diperoleh dari

$$[-\omega_e^2(M_s + M_a) - i\omega_e^2 C + K_{hys}][X_{jm}] = [F_{jm}] \quad (1)$$

M_s adalah matriks massa struktur $6M \times 6M$, $M_a = [A_{jm, kn}]$ dan $C = [B_{jm, kn}]$ adalah masing-masing massa tambah hidrodinamis dan matriks redaman $6M \times 6M$ termasuk bentuk kopel interkasi hidrodinamis antar struktur, dan K_{hys} adalah matriks kekakuan hidrostatik.



Gambar 5 Wave heading direction

DNVGL [10] menyebutkan bahwa perairan Indonesia termasuk *benign area* dengan tinggi gelombang signifikan (H_s) mencapai 2m, sehingga kajian ini hanya membatasi variasi tinggi gelombang signifikan sampai 2m saja. Untuk periode puncak (T_p) gelombang pada area di mana *swell* tidak signifikan, DNVGL [10] menuliskan:

$$\sqrt{13 H_s} < T_p < \sqrt{30 H_s} \quad (2)$$

Respons gerakan *roll* Kapal Pinisi dilakukan pada gelombang *irregular* dengan mengadopsi spektrum *Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)* [11].

$$S_J(\omega) = A_\gamma S_{PM}(\omega) \gamma \exp\left(-0.5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right) \quad (3)$$

A_γ adalah $1 - 0.287 \ln(\gamma)$, $S_{PM}(\omega)$ adalah spektrum Pierson-Moskowitz, σ adalah parameter lebar spektrum, dan γ adalah parameter *non-dimensional peak shape*.

Parameter lebar spektrum diklasifikasikan menjadi 2, yaitu:

$$\sigma = 0.07 \text{ untuk } \omega \leq \omega_p \quad (4)$$

$$\sigma = 0.09 \text{ untuk } \omega > \omega_p \quad (5)$$

Selanjutnya, jika tidak diketahui nilai γ , maka:

$$\gamma = 5 \text{ untuk } \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \leq 3.6 \quad (6)$$

$$\gamma = \exp\left(5.75 - 1.15 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}\right) \text{ untuk } 3.6 < \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} < 5 \quad (7)$$

$$\gamma = 1 \text{ untuk } 5 \leq \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \quad (8)$$

Di mana T_p dalam detik dan H_s dalam meter.

Total redaman *roll* pada umumnya didominasi oleh redaman *bilge keel*, yang mana terdiri dari 4 komponen, yaitu: komponen gaya normal non-linear, tekanan pada permukaan lambung akibat *bilge keel*, gaya angkat yang bekerja pada *bilge keel* akibat laju kapal, gelombang yang bekerja pada *bilge keel*. Di antara keempat komponen tersebut, komponen gaya normal non-linear dan tekanan pada permukaan lambung akibat *bilge keel* menjadi penyebab utama terhadap momen redaman *bilge keel* [12].

Keulegan-Carpenter *number* digunakan untuk mengestimasi redaman *bilge keel*, yaitu:

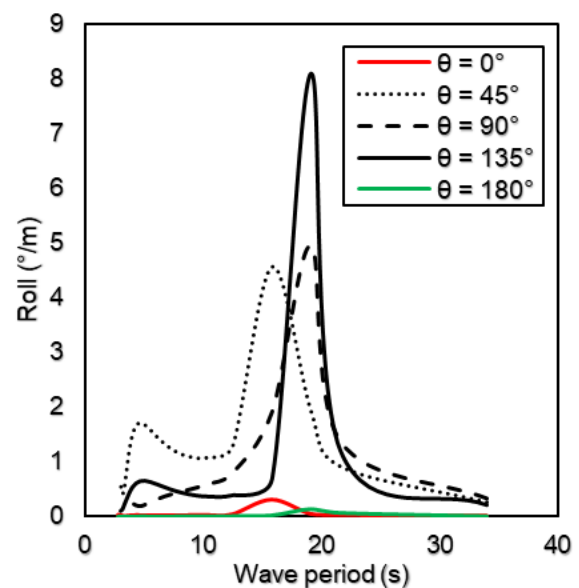
$$K_{CBK} = \frac{U_{max} T}{2b_{BK}} = \frac{\pi R_b \phi_a}{b_{BK}} \quad (9)$$

Di mana T adalah periode gerakan, $U_{max} = R_b \phi_a \omega = \frac{2\pi R_b \phi_a}{T}$ adalah amplitudo dari kecepatan gerakan periodik, R_b adalah jarak dari dari pusat *roll* ke pangkal *bilge keel*, dan b_{BK} adalah lebar *bilge keel*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fokus kajian ini adalah untuk mengetahui reduksi gerakan *roll* Kapal Pinisi akibat penambahan *bilge keel* pada lambung Kapal Pinisi.

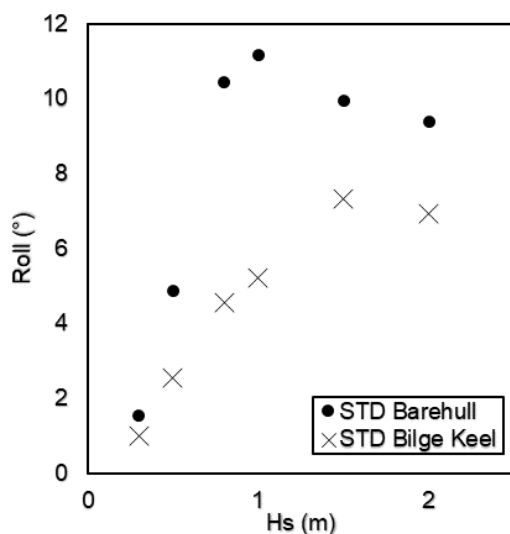
Gambar 6 menunjukkan pola *Response Amplitude Operators* (RAO) untuk gerakan *roll* pada beberapa arah datang gelombang atau *wave heading* dengan interval 45° . Karakteristik respons Kapal Pinisi dilakukan dengan pendekatan *frequency domain* dengan kecepatan gerak kapal 2,5 m/s. Respons terbesar, secara berurutan, terjadi pada arah datang gelombang 135° dan 90° , yaitu masing-masing sebesar $8,08 \text{ }^\circ/\text{m}$ dan $4,95 \text{ }^\circ/\text{m}$ pada periode gelombang 19,1 detik. Sedangkan respons terkecil terjadi pada arah datang gelombang *head seas* (180°) dan *following seas* (0°), yaitu masing-masing $0,13 \text{ }^\circ/\text{m}$ dan $0,29 \text{ }^\circ/\text{m}$. Hasil tersebut sesuai dengan kaidah umum, bahwa gerakan *roll* cenderung tidak berdampak signifikan pada *wave heading following* dan *head seas*. Oleh karenanya, fokus kajian mengarah pada penurunan amplitudo gerakan *roll* pada *wave heading* 135° .



Gambar 6 RAO *roll* dengan variasi *wave heading*

Gambar 7 menyajikan hasil kajian gerakan *roll* Kapal Pinisi tanpa dan dengan penambahan *bilge keel* pada *wave heading* 135°. Gerakan *roll* Kapal Pinisi pada gelombang *irregular* tanpa *bilge keel* mencapai 11,15° pada tinggi gelombang signifikan 1 m. Dapat dilihat pada gambar tersebut bahwa dampak dari penambahan *bilge keel* pada lambung Kapal Pinisi dapat menurunkan amplitudo gerakan *roll*.

Performa *bilge keel* dalam menurunkan standar deviasi gerakan *roll* pada tinggi gelombang signifikan dari 0,3 m sampai 2 m dilakukan dengan menggunakan program ANSYS AQWA disajikan pada Tabel 2. Dapat dilihat pada tabel tersebut, bahwa *bilge keel* menunjukkan performa yang efektif pada tinggi gelombang signifikan 0,8 m, yaitu sebesar 56%, kemudian menurun menjadi 26% pada tinggi gelombang signifikan 1,5 m dan 2 m.



Gambar 7 RAO roll dengan variasi *wave heading*

Tabel 2. Penurunan standar deviasi

| Hs (m) | Reduksi Roll (%) |
|--------|------------------|
| 0,3 | 35% |
| 0,5 | 48% |
| 0,8 | 56% |
| 1 | 53% |
| 1,5 | 26% |
| 2 | 26% |

Hasil yang ditunjukkan pada tabel 2 telah membuktikan keefektifan penggunaan *bilge keel* untuk meningkatkan performa gerakan *roll* Kapal Pinisi. Hasil tersebut juga mengindikasikan bahwa *bilge keel* memenuhi tujuan dan ekspektasi dari kajian ini.

4. KESIMPULAN

Artikel jurnal ini menyajikan sebuah *state-of-the-art*, yaitu penerapan *bilge keel* pada Kapal Pinisi yang menghasilkan turunnya amplitudo gerakan *roll* sebesar 56% pada gelombang acak. Dengan kata lain penerapan *bilge keel* pada Kapal Pinisi meningkatkan performa gerakan Kapal Pinisi pada gerakan *roll*.

Penurunan gerakan *roll* juga dapat menurunkan angka kecelakaan kapal akibat gerakan *roll* yang berlebihan saat terjadi gelombang tinggi, sehingga sudah dapat menjawab tujuan dasar mengapa riset ini dilakukan.

Kajian ini dapat dijadikan rujukan untuk konsep desain. Namun demikian, karena keterbatasan sumber daya dan dana, kajian lebih lanjut terkait detail desain *bilge keel*, analisis menggunakan model, dan *full scale* juga perlu dilakukan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi/ Badan Riset dan Inovasi Nasional dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Institut Teknologi Kalimantan atas pendanaan yang diberikan untuk penelitian ini sesuai Surat Penugasan Pelaksanaan Penelitian No: 2859/IT10.II/PPM.01/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] [1] O. Faltinsen, *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. Cambridge University Press, 1993.
- [2] [2] W. Triantoro and R. Nurcahyo, "Feasibility Analysis of

- Indonesian Traditional Shipping Industry to Strengthen Domestic Maritime Logistic System,” p. 11, 2016.
- [3] [3] G. G. Cox and A. R. Lloyd, “HYDRODYNAMIC DESIGN BASIS FOR NAVY SHIP ROLL MOTION STABILIZATION,” 1977, Accessed: Jul. 18, 2020. [Online]. Available: <https://trid.trb.org/view/55912>.
- [4] [4] W. Liu et al., “Bilge keel design for the traditional fishing boats of Indonesia’s East Java,” *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 380–395, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2018.07.004.
- [5] [5] admin, “What is Bilge Keels of a ship?,” *A Maritime industry Affairs*, Apr. 08, 2019. <https://www.worldmaritimeaffairs.com/what-is-bilge-keels-of-a-ship/> (accessed Jul. 18, 2020).
- [6] [6] B. Ommani, N. Fonseca, T. Kristiansen, C. Hutchison, and H. Bakksjø, “Bilge Keel Induced Roll Damping of an FPSO With Sponsons,” in *Volume 1: Offshore Technology; Offshore Geotechnics*, Busan, South Korea, Jun. 2016, p. V001T01A025, doi: 10.1115/OMAE2016-54420.
- [7] [7] M. Gachet and J.-G. Kherian, “Impact of Linearization of Bilge Keel Damping on the Early Assessment of Vessel Operability,” in *Volume 1: Offshore Technology*, Estoril, Portugal, Jan. 2008, pp. 257–264, doi: 10.1115/OMAE2008-57255.
- [8] [8] M. A. R. Ikkal, S. Nallayarasu, and S. K. Bhattacharyya, “Numerical prediction of roll damping of ships with and without bilge keel,” *Ocean Engineering*, vol. 179, pp. 226–245, May 2019, doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.03.027.
- [9] [9] F. Mahmuddin, A. Fitriadhy, and S. Dewa, “Motions Analysis of a Phinisi Ship Hull with New Strip Method,” *International Journal of Engineering and Science Applications*, vol. 2, no. 1, pp. 91–97, 2016.
- [10] [10] DNVGL, “Marine operations and marine warranty.” DNVGL, Jun. 2016.
- [11] [11] “Environmental conditions and environmental loads.” DNVGL, Aug. 2017.
- [12] [12] Y. Kawahara, K. Maekawa, and Y. Ikeda, “A Simple Prediction Formula of Roll Damping of Conventional Cargo Ships on the Basis of Ikeda’s Method and Its Limitation,” in *Contemporary Ideas on Ship Stability and Capsizing in Waves*, vol. 97, M. Almeida Santos Neves, V. L. Belenky, J. O. de Kat, K. Spyrou, and N. Umeda, Eds. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011, pp. 465–486.