

Pengaruh Variasi Sudut Bow Flare terhadap Olah Gerak Kapal Bulk Carrier 44000 DWT

Wira Setiawan^{a,*}, Amalia Ika Wulandari^a, Muhammad Cahyo Nugroho^a

^aProgram Studi Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Kalimantan, Jl. Soekarno Hatta km.15, Balikpapan, 76127, Indonesia

*Email: wira@lecturer.itk.ac.id

Abstrak

Kemampuan kapal untuk dapat bertahan dalam kondisi ekstrim di laut membutuhkan perancangan kapal yang baik dengan memperhatikan parameter ukuran utama dan bentuk lambung. Memodifikasi bentuk lambung merupakan salah satu hal yang dapat dilakukan untuk menghasilkan olah gerak kapal yang baik untuk menjamin kenyamanan dan keselamatan kru maupun penumpang. Penelitian ini membahas tentang pengaruh sudut *bow flare* terhadap respon *heave* dan *pitch* serta probabilitas *deck wetness* dan *bottom slamming* pada kapal bulk carrier 44000 DWT dengan memvariasikan tinggi dan sudut datang gelombang. Metode yang digunakan adalah komputasi numerik dengan bantuan software *Maxsurf* dan *Ansys Aqwa*. Berdasarkan hasil simulasi pada gelombang *quartering sea* dengan ketinggian 4 meter, *pitch* dan *heave* yang dihasilkan pada sudut *bow flare* 30° adalah sebesar 6.63° dan 1.14 meter, sedangkan pada gelombang *head sea* dengan ketinggian 4 meter, *pitch* dan *heave* yang dihasilkan pada sudut *bow flare* 30° adalah sebesar 5.96° dan 1.04 meter. Respon gerak tersebut merupakan yang terendah dibandingkan dengan variasi sudut *bow flare* lainnya. Keunggulan *bow flare* yang besar juga ditunjukkan pada probabilitas *deck wetness* dan *bottom slamming* sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut *bow flare*, maka respon gerak kapal akan semakin baik dan begitu pula sebaliknya.

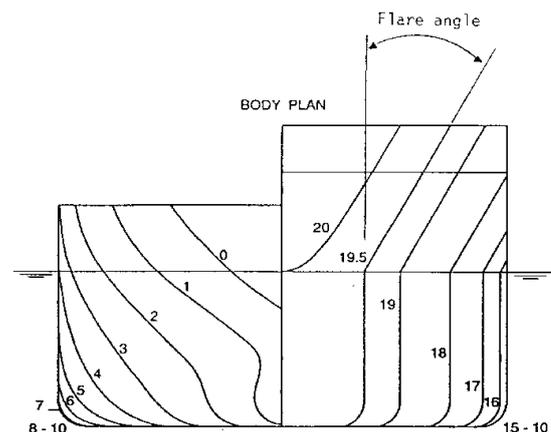
Kata Kunci: Bow Flare, Pitch, Heave, Deck Wetness, Bottom Slamming

1. Pendahuluan

Olah gerak kapal (*Seakeeping*) adalah kemampuan suatu kapal untuk tetap bertahan dilaut dalam kondisi apapun yang dipengaruhi oleh gaya-gaya dari luar yang disebabkan oleh kondisi perairan [1]. Ukuran kapal, perbandingan parameter bentuk lambung dan tinggi metasentra memiliki pengaruh langsung terhadap respon kapal [2]. Salah satu hal yang dapat dilakukan untuk menghasilkan kemampuan olah gerak kapal yang baik adalah dengan melakukan modifikasi bentuk lambung, khususnya bagian haluan yang mendapatkan tekanan langsung dari gelombang. *Bow flare* yaitu lengkungan bagian haluan yang dapat diukur sudutnya dari perpotongan *center line* terhadap garis sarat dengan dek kapal (lihat Gambar 1). *Bow flare* memiliki kelebihan yaitu dapat menambah daya apung kapal dan meningkatkan *righting arm curve*. Akan tetapi kelemahan dari *bow flare* ialah membutuhkan penambahan struktur kapal. Perubahan sudut *bow flare* dapat mempengaruhi olah gerak kapal yang akan mengurangi hambatan pada haluan. Selain itu, *bow flare* juga dapat mengurangi momen tekuk vertikal pada bagian tengah pada saat kapal mengalami gerakan *pitch*.

Dalam penelitian mengenai variasi sudut *bow flare* dari 0° sampai 30° dengan interval sudut *bow flare* sebesar 6° dengan analisa numerik menunjukkan

bahwa sudut *bow flare* 24° memiliki probabilitas *deck wetness* sekitar 30% lebih kecil [3].



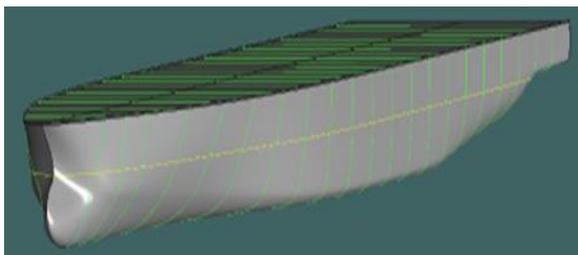
Gambar 1. Sudut *bow flare* pada body plan

Sedangkan berdasarkan penelitian yang mengkombinasikan sudut *bow flare* 10° dan sudut stem 6° pada haluan ulstein X-bow, diperoleh penurunan hambatan dan *slamming* pada kapal [4]. Keunggulan *bow flare* juga ditunjukkan pada *Fixed Offshore Vessel* yang dapat menurunkan *deck wetness* sehingga mengurangi risiko kerusakan struktur pada *superstructure* [5].

2. Metode

2.1. Data Kapal dan Pemodelan

Untuk melihat pengaruh sudut bow flare terhadap olah gerak kapal, digunakan kapal Bulk Carrier 44000 DWT dengan ukuran utama sebagaimana Tabel 1. Pemodelan lambung kapal sesuai dengan ukuran utama dilakukan dengan menggunakan *software maxsurf modeler* sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 2.

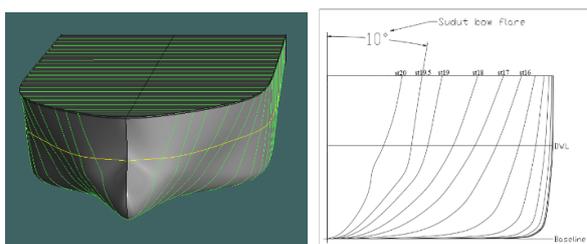


Gambar 2. Pemodelan lambung kapal Bulk Carrier

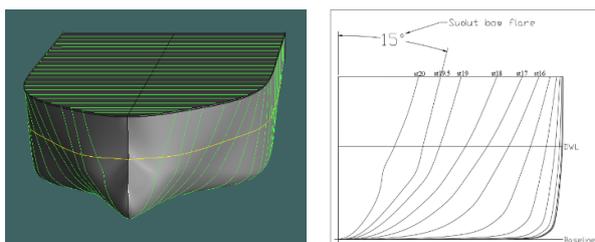
Table 1. Ukuran utama kapal

Item	Nilai
Panjang Garis Air (Lwl)	187.3 m
Panjang Antara Garis Tegak (Lpp)	180 m
Lebar (B)	32.2 m
Tinggi (D)	16.5 m
Sarat (T)	12 m

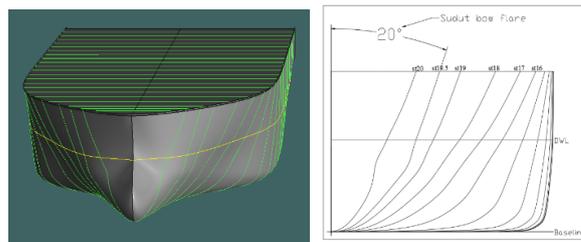
Untuk membandingkan nilai dari variasi sudut *bow flare* pada kapal *Bulk Carrier* maka 5 sudut variasi *bow flare* yaitu 10°, 15°, 20°, 25° dan 30° dimodelkan sebagaimana Gambar 3 sampai Gambar 7.



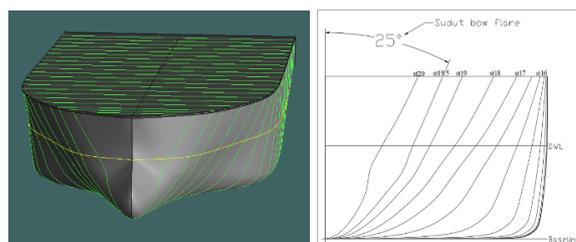
Gambar 3. Pemodelan bow flare sudut 10°



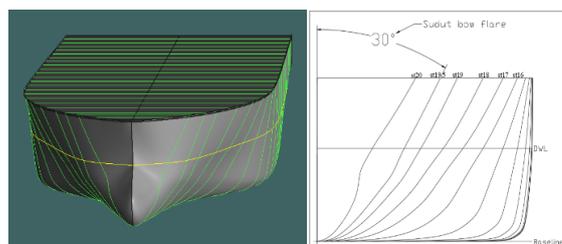
Gambar 4. Pemodelan bow flare sudut 15°



Gambar 5. Pemodelan bow flare sudut 20°



Gambar 6. Pemodelan bow flare sudut 25°



Gambar 7. Pemodelan bow flare sudut 30°

Setelah pengerjaan model di *maxsurf modeler*, selanjutnya dilakukan analisis olah gerak *pitch* dan *heave* menggunakan bantuan *software Ansys Aqwa* dengan variasi arah datang gelombang sudut 180° (*Head Sea*) dan 135° (*Bow Quartering Sea*) pada kecepatan 12.5 knot. Metode CFD tersebut banyak digunakan dikarenakan hasilnya mendekati formula empiris badan klasifikasi [6]. Selain *pitch* dan *heave*, kemampuan olah gerak kapal juga meliputi *deck wetness* dan *bottom slamming*.

2.2. Probabilitas Deck Wetness

Deck Wetness adalah suatu kejadian dimana air laut (*green sea*) naik ke atas dek dikarenakan gerak relatif haluan terhadap gelombang. Menurut Nordforsk 1987 *criteria Rules General Operability Limiting Criteria for Ship* nilai maksimal *Probability of Deck Wetness* adalah 5% [7]. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai *Probability of Deck Wetness* adalah:

$$P_{DW} = \text{Exp} - (F^2/2(Mo)) \quad (1)$$

dimana,

F = Freeboard kapal (m)

Mo = nilai FP relative vertical motion (m²)

2.3. Probabilitas Bottom Slamming

Bottom Slamming adalah suatu fenomena terangkatnya *bottom/keel* ke permukaan air dikarenakan gerakan relatif haluan terhadap gelombang. Menurut Nordforsk 1987 *criteria Rules General Operability Limiting Criteria for Ship* nilai maksimal *Probability of Bottom Slamming* adalah 3%. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai *Probability of Bottom Slamming* adalah:

$$P_{BS} = Exp - (T^2/2(Mo)) \quad (2)$$

dimana,

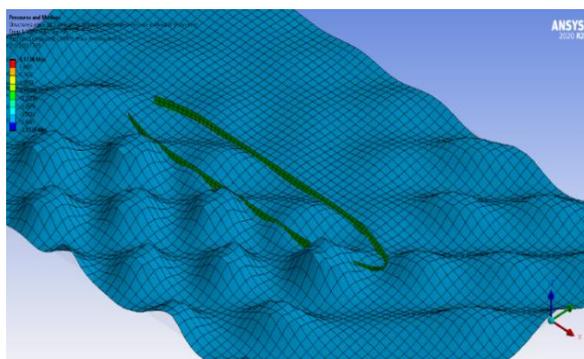
T = Sarat kapal (m)

Mo = nilai FP *relative vertical motion* (m²)

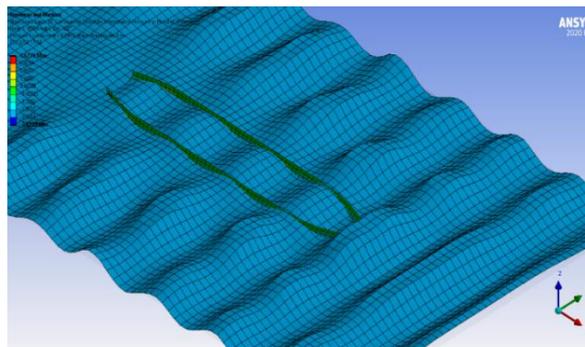
3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi gelombang head sea pada variasi tinggi gelombang 2.5 meter, 3.25 meter, dan 4 meter, maka diketahui bahwa sudut *bow flare* 30° dapat mereduksi *pitch* dengan signifikan dibandingkan sudut lainnya. Sebagaimana yang disajikan pada Gambar 10, pada gelombang *quartering sea* dengan ketinggian 4 meter, *pitch* yang dihasilkan pada sudut *bow flare* 30° adalah sebesar 6.63°. Hasil yang sama juga ditunjukkan pada gelombang *head sea* dengan ketinggian yang sama, diperoleh *pitch* paling rendah pada sudut 30° yakni sebesar 5.96°.

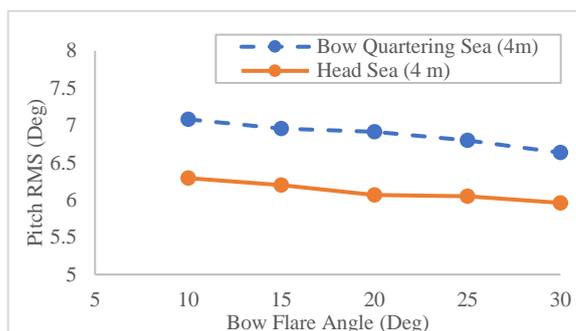
Sebaliknya, pada variasi sudut terkecil yakni 10°, diperoleh *pitch* masing-masing 7.08° pada *bow quartering sea* dan 6.29° pada *head sea*. Hasil pada sudut lainnya juga menunjukkan hubungan bahwa semakin besar sudut *bow flare*, maka akan semakin berkurang *pitch* yang dihasilkan pada variasi sudut datang dan tinggi gelombang.



Gambar 8. Visualisasi gelombang bow quartering sea 4 m pada Bow Flare 30°

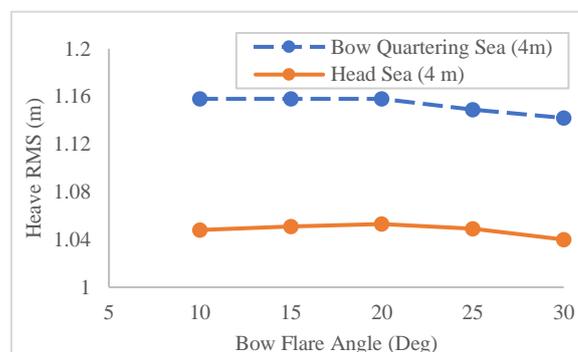


Gambar 9. Visualisasi gelombang head sea 4 m pada Bow Flare 30°



Gambar 10. Perbandingan pitch RMS terhadap variasi sudut bow flare

Pada respon gerak *heave* dengan variasi sudut datang dan tinggi gelombang yang sama, diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa sudut *bow flare* 30° dapat menghasilkan *heave* yang paling rendah dibandingkan variasi sudut *bow flare* lainnya. Sedangkan pada tinggi gelombang 4 meter dengan sudut datang *bow quartering sea*, diperoleh *heave* sebesar 1.14 meter. Pada gelombang *head sea* dengan ketinggian yang sama, diperoleh respon *heave* sebesar 1.04 m.

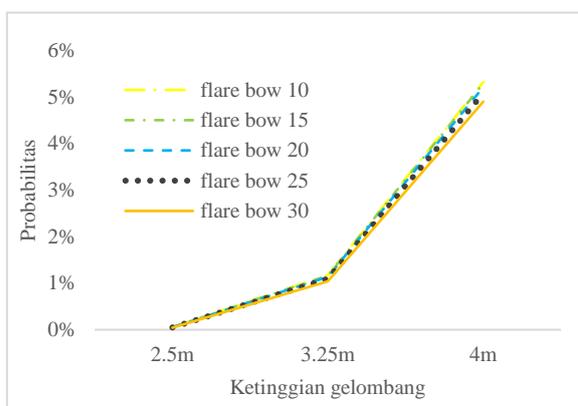


Gambar 11. Perbandingan heave RMS terhadap variasi sudut bow flare

Sebaliknya, pada variasi sudut terkecil yakni 10° , diperoleh *heave* masing-masing 1.158 m pada bow quartering sea dan 1.048 pada *head sea*. Meskipun tidak begitu signifikan, hasil pada variasi sudut *bow flare* sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 11 menunjukkan hubungan bahwa semakin besar sudut *bow flare*, maka respon *heave* yang dihasilkan pada kapal akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya.

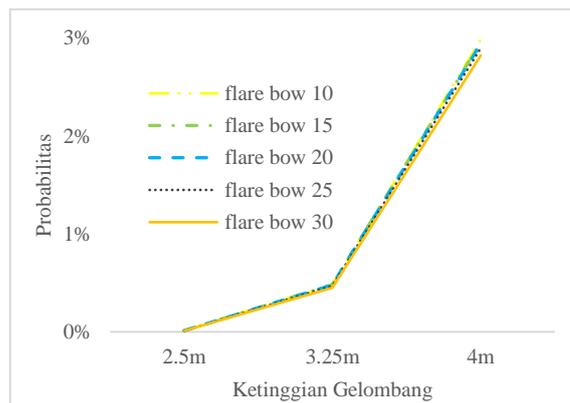
Jika ditinjau dari parameter probabilitas *deck wetness*, *bow flare* 30° juga menunjukkan keunggulan dengan persentase terendah. Pada sudut datang gelombang 135° , diperoleh *deck wetness* masing-masing 0.04%, 1.04% dan 4.89% pada variasi tinggi gelombang berturut 2.5, 3.25 dan 4 meter. Probabilitas tersebut masih memenuhi kriteria NORDFORSK yakni 5%. Khusus untuk tinggi gelombang 4 meter, variasi sudut *bow flare* lainnya menghasilkan probabilitas yang lebih besar dari 5%.

Pada sudut datang gelombang 180° , sudut *bow flare* 30° juga menunjukkan keunggulan dengan probabilitas *deck wetness* terendah. Dengan variasi ketinggian gelombang 2.5, 3.25 dan 4 meter, diperoleh probabilitas berturut-turut 0.01%, 0.45% dan 2.82%. Meskipun variasi sudut *bow flare* lainnya menghasilkan nilai yang lebih besar akan tetapi masih memenuhi kriteria minimum di bawah 5%.



Gambar 12. Probability of Deck Wetness pada gelombang Bow Quartering Sea

Dengan menggunakan Persamaan 2, kriteria probabilitas *bottom slamming* menunjukkan hasil yang sangat kecil sehingga setiap variasi sudut *bow flare* memenuhi kriteria minimum sebesar 3%. Hal ini dikarenakan sarat kapal yang cukup besar sehingga nilai *relative vertical motion* yang dihasilkan pada gelombang 4 meter sekalipun, masih tergolong kecil.



Gambar 13. Probability of Deck Wetness pada gelombang Head Sea

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil komputasi numerik dengan memvariasikan sudut datang dan tinggi gelombang, dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut *bow flare*, maka semakin rendah pula respon *pitch* dan *heave* yang dihasilkan. Sebaliknya, dengan sudut *bow flare* yang semakin kecil, maka akan diperoleh respon *pitch* dan *heave* yang semakin besar. Hal yang sama juga terjadi terhadap probabilitas *deck wetness* dan *bottom slamming* dimana sudut 30° menghasilkan persentase terendah dibandingkan sudut *bow flare* lainnya. Selain itu, penambahan besar sudut *bow flare* juga akan menghasilkan *buoyancy* yang lebih besar meskipun perlu pula diperhatikan peningkatan biaya material seiring dengan kebutuhan konstruksi yang juga semakin besar.

Referensi

- [1] R. Bhattacharyya, *Dynamics of marine vehicles*. New York: Wiley, 1978.
- [2] USNA, "Chapter 1 - An Introduction to Seakeeping,"
- [3] Y. J. Ha, Y. G. Lee, and K. L. Jeong, "An Experimental Study on the Effects of Bow Flare Angle about Green Water in Regular Waves," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, vol. 49, no. 1, pp. 79–86.
- [4] M. Fatima and D. Chrismianto, "Analisis Pengaruh Variasi Sudut Flare Bow Dengan Stem Terhadap Nilai Hambatan dan Slamming Pada Model Haluan Ulstein X-Bow," vol. 6, no. 1, p. 8, 2018.
- [5] X. Zhang, S. Draper, H. Wolgamot, W. Zhao, and L. Cheng, "Numerical Investigation of Effects of Bow Flare Angle on Greenwater Overtopping a Fixed Offshore Vessel," in *Volume 1: Offshore Technology*, Madrid, Spain, Jun. 2018, p. V001T01A002.
- [6] D.-W. Seo, G.-Y. Jeon, and K.-H. Song, "A Comparative Study on the Prediction of Bow Flare Slamming load using CFD and Prescript Formula for the Container Ship," *Journal of Advanced Research in Ocean Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 204–216, Dec. 2018
- [7] NORDFORSK, "General Operability Limiting Criteria for Ships." 1987.