

STUDI KORELASI HAMBATAN DAN SEAKEEPING KAPAL TRIMARAN UNTUK DAERAH PERAIRAN MALUKU

Richard Benny Luhulima¹, Fella Gaspersz², R. P Soumokil³

E-mail: ¹richard.b.l@fatek.unpatti.ac.id

^{1,2,3}Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura

ABSTRAK

Perairan Maluku termasuk tipikal perairan yang relatif tenang diantara pulau-pulau yang berdekatan dan sangat bergelombang untuk laut yang terbuka dan jarak antara pulau-pulau yang cukup berjauhan. Penelitian difokuskan pada perhitungan hambatan dan dilanjutkan dengan perhitungan *seakeeping* untuk perairan tenang dan bergelombang. Penelitian tentang hambatan dilakukan dengan teknik CFD menggunakan CFX-code dan penelitian tentang *seakeeping* dilakukan dengan teknik CFD (ANSYS AQWA). Hasil kajian melalui numerik menunjukkan bahwa interferensi komponen hambatan pada lambung trimaran terhadap perubahan jarak antara lambung secara melintang (S/L). Semakin kecil jarak antara lambung trimaran (S/L) maka semakin besar hambatan dan interferensi/interaksi komponen hambatan yang terjadi. Kemudian korelasi yang terlihat antara hambatan dan *seakeeping* adalah adanya perbedaan karena adanya interferensi semakin besar interferensi maka gerakan heave dan pitch semakin berkurang. Namun interferensi tidak mempengaruhi terhadap gerakan roll. Hasil analisa pengujian dan numerik menunjukkan bahwa pada S/L=0,4 menunjukkan hasil yang sangat baik untuk permorma hambatan dan *seakeeping*. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan *published data* dan menunjukkan kesesuaian hasil yang cukup baik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya dan memperkuat *database* dalam mempresentasikan korelasi hambatan terhadap olah gerak pada lambung kapal trimaran dan selanjutnya dapat diaplikasikan secara langsung dalam perhitungan hambatan dan *seakeeping* yang digunakan pada tahap desain (*preliminary design*).

Kata Kunci: Trimaran, korelasi, hambatan, *seakeeping*, CFD

PENDAHULUAN

Pada saat ini ketika pertumbuhan ekonomi meningkat dan didukung oleh program tol laut dan perwujudan Indonesia sebagai poros maritime dunia, maka kebutuhan akan kapal sangatlah besar bagi negara-negara kepulauan seperti halnya negara Indonesia yang merupakan salah satu Negara kepulauan terbesar yang dikelilingi oleh beribu-ribu pulau yang terbentang di wilayah perairan Nusantara.

Moda kapal trimaran sangat layak dioperasikan di perairan Indonesia, meliputi perairan tertutup (danau dan sungai), terbatas (selat, antar pulau yang berdekatan), dan terbuka (misalnya Laut Jawa dan Laut Arafura). Contoh aplikasi pada perairan terbatas dan terbuka adalah wilayah Kepulauan Maluku. Perairan Maluku memiliki dua zona laut yang berbeda karakteristik yaitu laut terbatas yang masih dikategorikan laut tenang karena tinggi gelombang masih di bawah 1 meter dan perairan laut terbuka dengan tinggi gelombang dapat mencapai ketinggian 3-5 meter (BMKG Maluku, 2014). disertai dengan kondisi

cuaca yang sangat ekstrim dan cepat berubah sehingga menyebabkan ketidaknyamanan dan selanjutnya dapat mengancam keselamatan jiwa di laut. Pada Gambar 1 menunjukkan Zona pelayaran di kepulauan Maluku.



Gambar 1 Pelayaran (a) Jarak dekat, (b) Jarak jauh

Besarnya permintaan kapal untuk memenuhi kebutuhan transportasi laut di Kepulauan Maluku (Provisi Maluku dan Maluku Utara), menuntut tersedianya kapal dari berbagai tipe dan bentuk dalam jumlah yang memadai. Kapal-kapal tersebut dapat berupa kapal tipe displasemen dan semi-displasemen (*planning*). Menurut catatan

dari Direktorat Jenderal Perhubungan Laut (2014), sebagian besar kapal yang beroperasi di Perairan Maluku mempunyai panjang (LBP) di bawah 60 meter.

Kapal-kapal tersebut, sebagian besar, tidak dapat beroperasi secara maksimal pada kondisi cuaca yang tidak menguntungkan (*severe weather*) terutama pada bulan April sampai Juni dan bulan Oktober sampai Desember dimana tinggi gelombang mencapai 3-5 meter (BMKG Maluku 2014).

Paper ini dimaksudkan untuk menjelaskan karakteristik moda kapal trimaran yang layak dioperasikan pada perairan terbatas dan terbuka seperti Perairan Maluku. Aspek yang diteliti adalah korelasi hambatan (*resistance*) dan dinamika kapal (*seakeeping*) dan dilaksanakan melalui kajian pengembangan model numerik berbasis *computational fluid dynamics* (CFD).

KAJIAN TEORI DAN METODE

Langkah utama untuk perhitungan *seakeeping* adalah mengetahui respon hidrodinamika dari kapal tersebut sesuai dengan kecepatan dan sudu tmasuk gelombang (Esteban dkk, 2005) terhadap beban gelombang yang diterima. Kedua adalah mendapatkan *wave spectra* dari daerah operasional untuk mengetahui magnitude gelombang yang ada. Jadi, kelakuan kapal didapatkan berdasarkan dari probabilitas gerakan yang terjadi pada level yang disetujui. Kondisi operasional perairan dideskripsikan dengan model statistik, dimana karakteristik dari area tersebut diketahui seperti tinggi gelombang dan energi gelombang sesuai dengan frekuensi dan sudu tmasuk (Recasdkk, 2004).

Konfigurasi geometri model yang disimulasikan dan diuji adalah tipe *displacement trimaran* dengan bentuk lambung simetris (*symmetrical hull*) dengan beberapa variasi jarak antara lambung secara melintang (*hull clearance*).

Molland (2008) mengelompokkan komponen hambatan ini kedalam dua kelompok yaitu hambatan viskos (*viscous resistance*) dan hambatan gelombang (*wave resistance*) dan diperlihatkan pada Gambar 2.

Perhitungan hambatan trimaran adalah dengan melakukan modifikasi perhitungan hambatan pada kapal monohull dengan memasukkan factor

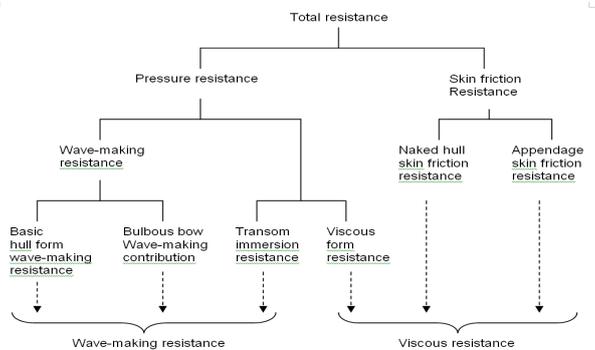
interferensi, sebagaimana yang tersebut pada persamaan 1, yakni:

$$(C_T)_{Trim} = (C_F)_{Trim} + (C_R)_{Trim} \\ = \sigma CF + \Omega CR \quad (1)$$

dimana:

σ = Faktor interferensi hambatan gesek

Ω = Faktor interferensi hambatan residual



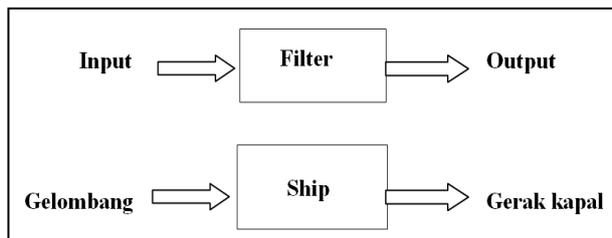
Gambar 2 Diagram komponen hambatan kapal (Molland, 2008).

Pengertian *seakeeping* adalah respons gerakan kapal ketika menerima usikan dari luar (*external*) dimana dalam hal ini diakibatkan oleh pukulan gelombang (Bhattacharyya, 1978 dan Rawson dan Tupper, 2001). *Seakeeping* juga diartikan sebagai pengukuran kemampuan kapal ketika berada di perairan (St. Denis, 1976). Sebuah kapal dinyatakan memiliki kualitas *seakeeping* yang baik sebagai laik laut (*seaworthy*) dan dianggap mampu dioperasikan dengan efektif pada berbagai kondisi perairan.

Dalam skala kecil atau model maka pengukuran *seakeeping* dapat dilakukan menggunakan kolom uji (*towing tank*). Model yang tersedia diletakkan dalam area uji (dalam keadaan bergerak dengan kecepatan tertentu) dan menerima pukulan gelombang yang datang dari arah berlawanan (*head sea*) dan samping (*oblique wave*). Parameter yang diukur antara lain berupa respons gerakan *heaving*, *pitching* dan *rolling* serta kemungkinan adanya *slamming* dan *deck wetness* (Fryer dkk, 1994).

Perhitungan *seakeeping* dapat dilakukan melalui pengujian model menggunakan fasilitas MOB (*manoeuvring ocean basin*) atau menggunakan perangkat lunak ANSYS AQWA dimana karakteristik gerakan yang diukur adalah *heave*, *pitch*, dan *yaw* (Bhattacharyya, 1978).

Aspek hidrodinamika yang mempelajari perilaku kapal di atas gelombang (*seakeeping*) untuk mempertahankan fungsi dalam menjalankan misinya di laut. Gambar 3 memperlihatkan analog respons kapal, dimana kapal diumpamakan sebagai filter, kondisi lingkungan sebagai input dan gerak kapal sebagai outputnya (Rawson dan Tupper, 1994; Utama dan Jamaludin, 2011) Analisis seakeeping sangat tergantung pada informasi karakteristik gelombang tempat kapal akan dioperasikan.



Gambar. 3 Analog respons kapal terhadap pengaruh dari luar

Metodologi penelitian yang akan digunakan untuk memecahkan masalah korelasi hambatan dan seakeeping pada lambung trimaran tersebut dibagi dalam 2 tahapan yaitu:

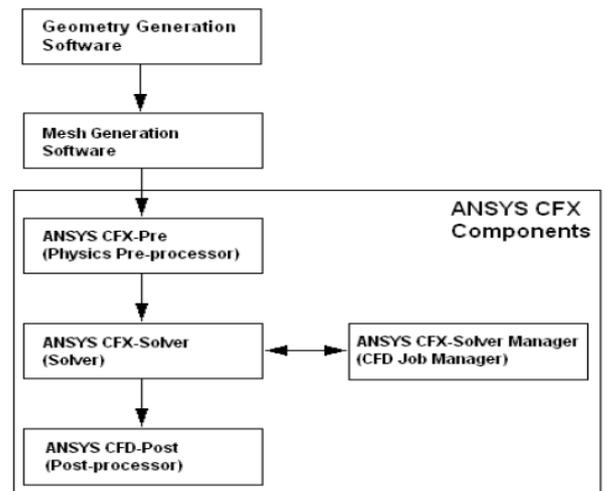
1. Perhitungan Hambatan (ANSYS CFX)
2. Perhitungan Seakeeping (ANSYS AQWA)

Konfigurasi geometri model yang disimulasikan dan diuji adalah tipe *displacement trimaran* dengan bentuk lambung simetris (*symmetrical hull*) dengan beberapa variasi jarak antara lambung secara melintang (*hull clearance*).

Skema perhitungan dilakukan menggunakan program Ansys CFX. Struktur ANSYS CFX terdiri dari 4 modul *software* yang memerlukan geometri dan mesh untuk memberikan informasi yang dibutuhkan dalam menampilkan analisa CFD. Komponen ANSYS CFX antara lain ANSYS CFX-Pre sebagai bagian dari Physics Pre-Processor, dilanjutkan dengan ANSYS CFX-Solver yang bertautan dengan ANSYS CFX-Solver Manager sebagai bagian untuk memecahkan atau menjalankan simulasi dan ANSYS CFD-Post yang merupakan modul untuk menampilkan hasil simulasi visualisasi aliran.

Pada proses pemodelan kapal trimaran ini analisa CFD dilakukan dengan bantuan software ANSYS AQWA yang merupakan produk dari ANSYS.

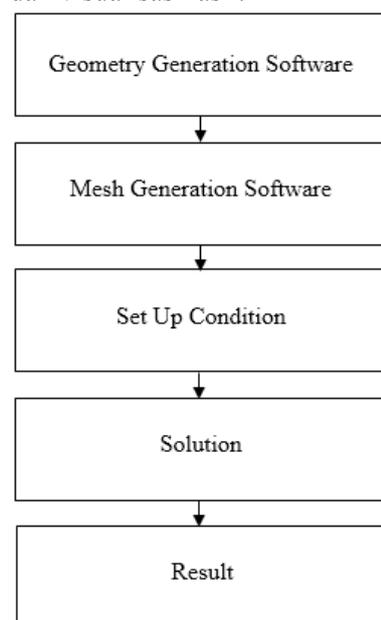
Analisa dilakukan dengan menggunakan 2 perangkat lunak yaitu, Hydrodynamic Diffraction dan Hydrodynamic Time Response.



Gambar 4 Diagram komputasi ANSYS CFX

Program CFD terdiri dari lima tahap yaitu : *Geometry, Model, Set-up, Solution* dan *Result*. *Geometry* digunakan pada tahap pembuatan model kapal trimaran, kemudian pembuatan *meshing* dilakukan pada tahap *Model*. Selanjutnya dilakukan penentuan kondisi uji pada tahap *Set-up* dan *Solution* digunakan untuk pengerjaan proses penyelesaian masalah.

Analisa CFD yang akan dilakukan pada pemodelan kapal trimaran adalah RMS yang diakibat gaya eksternal berupa gelombang kapal trimaran dan visualisasihasil.



Gambar 5 Diagram komputasi ANSYS AQWA

	180	0,30	0,31	0,30	0,30
--	-----	------	------	------	------

HASIL DAN PEMBAHASAN

Korelasi yang terlihat antara hambatan dan *seakeeping* adalah perubahan S/L semakin besar hambatan yang terjadi adalah sangat kecil karena tidak adanya interferensi. Sebaliknya pada S/L = 0,2 hambatan yang terjadi adalah paling besar hal ini karena adanya faktor interferensi antar hull.

Sebaliknya RMS heave dan pitch terbesar terjadi pada S/L = 0,5, hal ini menunjukkan adanya korelasi yang cukup jelas yaitu heave dan pitch terbesar terjadi ketika tidak adanya intervensi kapal. Dari penelitian yang telah dilakukan, memberikan gambaran bahwa interferensi kapal dapat mengurangi RMS kapal yang pada tahap selanjutnya dapat mempengaruhi pola gerakan kapal.

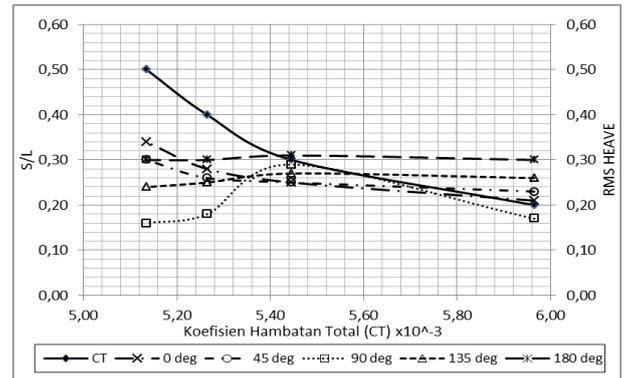
Pada Tabel 1 menunjukkan adanya korelasi koefisien hambatan total dan RMS heave dimana pada S/L=0,5 menunjukkan nilai RMS heave yang paling besar yaitu sebesar 0,34 derajat pada arah sudut 0 derajat sedangkan C_T pada kondisi tersebut paling kecil.

Hal ini menunjukkan pada kondisi hambatan tanpa intervensi (hambatan paling kecil) pada S/L = 0,5 memiliki nilai heave yang cukup besar. Hal ini disebabkan tidak adanya interferensi untuk mengurangi besarnya heave. Sehingga dapat diambil kesimpulan sementara bahwa efek positif interferensi dan mengurangi gerakan heave trimaran. Efek positif interferensi terjadi pada S/L = 0,2 yang memiliki RMS sebesar 0,21.

Harga tersebut merupakan nilai terkecil daripada RMS heave dari bentuk variasi S/L lainnya. Korelasi Hambatan dan RMS heave pada variasi kapal trimaran ditunjukkan pada Gambar 5.

Table 1 Korelasi C_T dan RMS Heave

S/L	0,20	0,30	0,40	0,50	
$C_T (x10^{-3})$	5,97	5,45	5,27	5,14	
Sudut Uji (deg)	0	0,21	0,25	0,28	0,34
	45	0,23	0,25	0,26	0,30
	90	0,17	0,29	0,18	0,16
	135	0,26	0,27	0,25	0,24



Gambar 5 Korelasi C_T dan RMS Heave

Selanjutnya Pada Tabel 2 menunjukkan adanya korelasi koefisien hambatan total dan RMS pitch dimana pada S/L=0,5 menunjukkan nilai RMS pitch yang paling besar yaitu sebesar 0,54 derajat pada arah sudut 0 derajat sedangkan C_T pada kondisi tersebut paling kecil. Hal ini menunjukkan pada kondisi hambatan tanpa intervensi (hambatan paling kecil) pada S/L = 0,5 memiliki nilai pitch yang cukup besar.

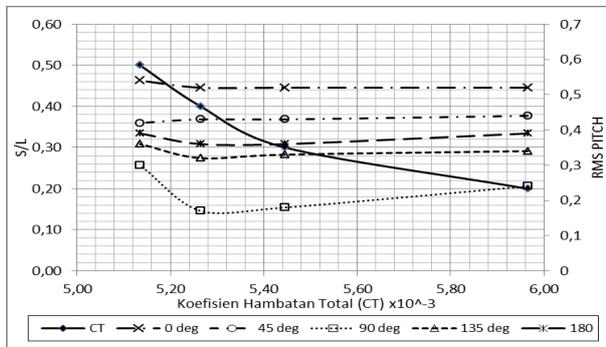
Hal ini disebabkan tidak adanya interferensi untuk mengurangi besarnya pitch. Sehingga dapat diambil kesimpulan sementara bahwa efek positif interferensi dan mengurangi gerakan heave trimaran. Efek positif interferensi terjadi pada S/L = 0,4 yang memiliki RMS sebesar 0,12. Harga tersebut merupakan nilai terkecil daripada RMS heave dari bentuk variasi S/L lainnya. Korelasi Hambatan dan RMS pitch pada variasi kapal trimaran ditunjukkan pada gambar 6

Tabel 2 Korelasi C_T dan RMS Pitch

S/L	0,20	0,30	0,40	0,50	
$C_T (x10^{-3})$	5,97	5,45	5,27	5,14	
Sudut Uji (deg)	0	0,51	0,52	0,52	0,54
	45	0,44	0,43	0,43	0,42
	90	0,24	0,18	0,17	0,3
	135	0,34	0,33	0,32	0,36
	180	0,39	0,36	0,36	0,39

Korelasi RMS roll ditunjukkan pada tabel 3 menunjukkan adanya dimana pada S/L=0,2 menunjukkan nilai RMS roll yang paling besar yaitu sebesar 3,68 derajat pada arah sudut 0 derajat sedangkan C_T pada kondisi tersebut cukup. Hal ini menunjukkan pada kondisi hambatan

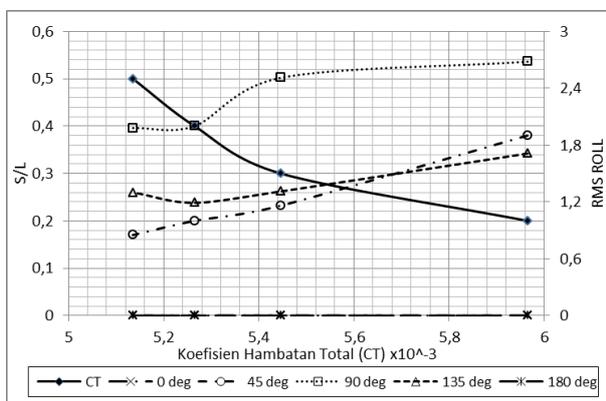
dengan interferensi yang cukup besara pada $S/L = 0,2$ tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap gerakan Roll. Sehingga dapat diambil kesimpulan sementara bahwa efek positif interferensi dan tidak mengurangi efek gerakan roll trimaran. Korelasi Hambatan dan RMS roll pada variasi kapal trimaran ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 6 Korelasi C_T dan RMS Pitch

Tabel 3 Korelasi C_T dan RMS Roll

S/L	0,20	0,30	0,40	0,50
$C_T (x10^{-3})$	5,97	5,45	5,27	5,14
Sudut Uji (deg)	0	0,00	0,00	0,00
	45	1,90	1,16	1,00
	90	2,68	2,51	2,00
	135	1,71	1,31	1,19
	180	0,00	0,00	0,00



Gambar 7 Korelasi C_T dan RMS Roll

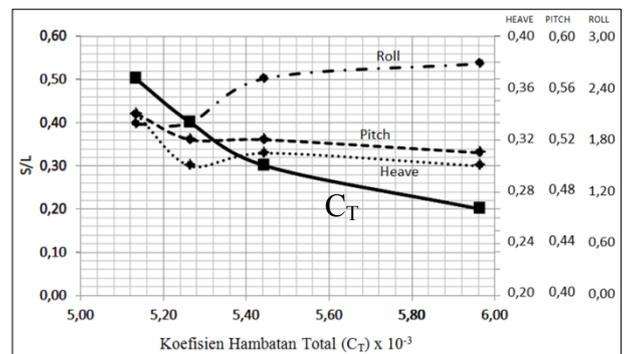
Dari masing masing variasi S/L pada kapal trimaran kemudian dilakukan pengujian secara numerik dapat dilakukan optimasi yang ditunjukkan pada tabel 4 dan gambar 8. Pada gambar 8 menunjukkan nilai dari masing gerakan

heave, pitch, dan roll. Optimasi dilakukan dengan dengan menggabungkan ketiga grafik tersebut.

Pada $S/L = 0,4$ menunjukkan variasi trimaran yang optimal untuk dilakukan pelayaran pada kondisi kecepatan dinas ($Fr = 0,21$) dengan ketinggian gelombang 1 meter (seastate 4). Perolehan harga tersebut merupakan tinjauan berdasarkan aspek hidrodinamika. Sehingga perlu dilakukan kajian yang lebih mendalam terkait struktur dan uji kenyamanan penumpang. Hasil kesimpulan awal ini dapat dijadikan *data base* ilmu pengetahuan dan dapat dilakukan untuk penelitian lanjutan dengan tinjauan aspek yang berbeda.

Tabel 4 Optimasi Trimaran

S/L	$C_T x 10^{-3}$	Heave	Pitch	Roll
0,20	5,97	0,30	0,51	2,68
0,30	5,45	0,31	0,52	2,51
0,40	5,27	0,30	0,52	2,00
0,50	5,14	0,34	0,54	1,98



Gambar 8 Optimasi Variasi Trimaran

Dari Tabel 4 dan Gambar 8 kemudian dilakukan optimasi secara numerik untuk mendapatkan variasi S/L pada trimaran yang optimal. Hasil perhitungan yang optimal ditunjukkan pada tabel 5 melalui pendekatan korelasi hambatan dan olah gerak (RMS).

Untuk memilih model kapal trimaran yang optimal, ada 3 aspek tinjauan berdasarkan gambar 6.30 dan tabel 6.27, antara lain

- Dari aspek heave maka model trimaran dengan variasi $S/L = 0,32$ memiliki RMS heave sebesar 0,31 cm. Model Trimaran dengan variasi $S/L = 0,32$ mempunyai koefisien hambatan total (C_T) sebesar $5,38 x 10^{-3}$.

- Kemudian pada trimaran dengan $S/L = 0,36$ memiliki RMS Pitch yang optimal yaitu sebesar $0,52^0$ dan koefisien hambatan total (C_T) sebesar $5,32 \times 10^{-3}$.
- Selanjutnya pada $S/L = 0,4$ memiliki nilai RMS Roll optimal yaitu sebesar $2,04^0$ dan koefisien hambatan total (C_T) sebesar $5,26 \times 10^{-3}$.

Tabel 5 Optimasi grafik

Heave		Pitch		Roll	
S/L	C_T ($\times 10^{-3}$)	S/L	C_T ($\times 10^{-3}$)	S/L	C_T ($\times 10^{-3}$)
0,32	5,38	0,36	5,32	0,4	5,26

KESIMPULAN

Pada $S/L = 0,4$ menunjukkan variasi trimaran yang optimal untuk dilakukan pelayaran pada kondisi kecebapan dinas ($Fr = 0,21$) dengan ketinggian gelombang 1 meter (seastate 4). Perolehan harga tersebut merupakan tinjauan berdasarkan aspek hidrodinamika. Sehingga perlu dilakukan kajian yang lebih mendalam terkait struktur dan uji kenyamanan penumpang. Hasil kesimpulan awal ini dapat dijadikan *data base* ilmu pengetahuan dan dapat dilakukan untuk penelitian lanjutan dengan tinjauan aspek yang berbeda.

Untuk memilih model kapal trimaran yang optimal, ada 3 aspek tinjauan, antara lain :

- Dari aspek heave maka model trimaran dengan variasi $S/L = 0,32$ memiliki RMS heave sebesar 0,31 cm. Model Trimaran dengan variasi $S/L = 0,32$ mempunyai koefisien hambatan total (C_T) sebesar $5,38 \times 10^{-3}$.
- Kemudian pada trimaran dengan $S/L = 0,36$ memiliki RMS Pitch yang optimal yaitu sebesar $0,52^0$ dan koefisien hambatan total (C_T) sebesar $5,32 \times 10^{-3}$.
- Selanjutnya pada $S/L = 0,4$ memiliki nilai RMS Roll optimal yaitu sebesar $2,04^0$ dan koefisien hambatan total (C_T) sebesar $5,26 \times 10^{-3}$.

Dari hasil kajian numerik diharapkan dapat mempermudah untuk mendapatkan prediksi awal dalam melakukan perhitungan terhadap olah gerak kapal dan hambatan kapal trimaran yang selanjutnya dapat diaplikasikan dalam perhitungan respon kapal yang digunakan untuk

penentuan pada tahapan desain (*preliminary design*).

Selain itu penelitian ini diharapkan dapat memperkaya dan memperkuat *data base* untuk tujuan saintifik (*scientific*) dalam mempresentasikan pengaruh interferensi terhadap pergerakan kapal. Interferensi dan *seakeeping* sangat perlu dipertimbangkan dalam perancangan kapal *multihull*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J.D., Jnr, 1995, Computational Fluid Dynamics, The basics with applications, McGraw-Hill International Editions.
- ANSYS CFX Manual VII, ANSYS 2015.
- Baba, E. 1996 A new component of viscous resistance of ships, Journal of the Society. of Naval Architects of Japan, 125, 23-34.
- Bhattacharyya, Rameswar (1978). Dynamics of Marine Vehicles. John Wiley and Sons. USA.
- Couser, P R, Molland, A F, Armstrong N and Utama, I K A P (1997), “Calm Water Powering Predictions for High Speed Catamarans”, *Procs. Of International Conference on Fast Sea Transportation, FAST 1997, Sydney, 21-23 July*.
- Couser, P R, Wellicome, J.F., Molland, A F. (1998), “An Improve Method for the Theoretical Prediction of the Wave Resistance of Transom-Stern Hulls Using A Slender Body Approach”, *International Shipbuilding Progress*, Vol. 45, No. 444.
- Hughes, G (1954), “Friction and Form Resistance in Turbulent Flow and a Proposed Formulation for Use in Model and Ship Correlation”, *Trans INA*, Vol. 96.
- Insel, M dan Molland, A F (1992), “An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans”, *Trans RINA Vol. 134*.
- ITTC (2002), *Recommended Procedures and Guidelines, Testing and Extrapolation Methods in Resistance Towing Tank Tests*, ITTC 7,5-02-02-02.
- Kurultay, A.A.: 2003. Sensitivity analysis of the seakeeping behavior of trimaran ships. MSc Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, California (USA) (2003).
- Liu, C. Y. & Wang, C. T. (1979). Interference effect of catamaran planing hulls. *J. Hydronautics*, 13(1), Jan, 31-32.

- Luhulima, R. B, Utama, I.K.A.P, Utama, Sulisetyono A., CFD Analysis into the Resistance Interference of Displacement Trimaran. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 10(14) September 2016, Pages: 65-73, (2016)
- Luhulima R.B, Utama, I.K.A.P. *Selecting Mono-And Multi-Hull Passenger Vessels For Moluccas Waters: Resistance/Powering And Seakeeping Evaluation*. The 13th International Conference on QiR, 25-28 June 2013. Jogjakarta. Indonesia (2013).
- Luhulima, R.B. Studi Karakteristik Hambatan Dan Seakeeping Kapal Trimaran Pada Perairan Tenang Dan Bergelombang. Buku Disertasi-S3 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS.Surabaya.2016
- Menter, F.R. (1993), “Zonal Two Equation k- ω Turbulence Models for Flows”, *AIAA Paper* 93 – 2906.
- Miyazawa, M. (1979), “A Study on the Flow Around a Catamaran”, *Journal of Society of Naval Architects of Japan*, No. 145, pp. 49 - 56.
- Molland, A.F., Utama, I K A P., and Buckland, D. (2000), “Power Estimation for High Speed Displacement Catamarans”, *The second Regional Conference on Marine Technology for Sustainable Development in an Archipelago Environment, Proc. MARTEC'2000*, Surabaya, Indonesia, 7- 8 September 2000.
- Pien, P C (1976), *Catamaran Hull-Form Design*, Proceedings of the International Seminar on Wave Resistance, the Society of Naval Architects of Japan (SNAJ).
- Seif, M.S. dan Amini, E. (2004), *Performance Comparison Between Planing Monohull and Catamaran at High Froude Numbers*, Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Vol. 28 No. B4.
- Turner, H. dan Taplin, A. (1968), *The Resistance of Large Powered Catamaran*, Trans. SNAME, Vol. 76.
- Utama, I K A P (1999), *Investigation of the Viscous Resistance Components of Catamaran Forms*, PhD Thesis, Department of Ship Science, University of Southampton, UK.
- Utama, I K A P, Murdijanto dan Hairul (2008), *An Investigation into the Resistance Characteristics of Staggered and Unstaggered Catamaran*, RIVET, Kuala Lumpur – Malaysia, 15-17 Juli 2008
- Zouridakis, F. (2005), *A Preliminary Design Tools for Resistance and Powering Prediction of Catamaran Vessels*, Master of Science Thesis in Ocean Systems Management, Dept. of Ocean Engineering, Massachusetts Institute of Technology.