



JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Stabilitas, Olah Gerak, dan Engine Propeller Matching Pada Kapal Ro-Ro 1000 GT Akibat Perubahan Bentuk Lambung Monohull Ke Monomaran

Utomo Adi Prasetyo¹⁾, Untung Budiarto¹⁾, Ari Wibawa Budi Santosa¹⁾

¹⁾Laboratorium Perencanaan Kapal Dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}e-mail : adiprasetyo13.ap@gmail.com, untungbudiarto@lecturer.undip.ac.id, arikapal75@gmail.com,

Abstrak

Ro-ro adalah kapal yang memiliki peranan vital dalam menghubungkan akses antar pulau di Indoneisa. Sehingga, dalam pelayarannya kapal ro-ro harus memiliki performa yang optimal. Contoh inovasi dalam meningkatkan performa kapal adalah dengan melakukan modifikasi bentuk lambung kapal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh performa stabilitas dan olah gerak serta menentukan sistem penggerak yang optimal pada kapal Ro-Ro 1000 GT setelah dilakukan modifikasi bentuk lambung monohull menjadi monomaran. Penelitian ini mengaplikasikan metode perbandingan antara performa pada model monohull dan monomaran dengan perlakuan penetapan nilai displacement yang sama. Hasil analisis menunjukkan stabilitas pada model monomaran lebih baik dibanding model monohull dengan nilai GZ yang lebih besar disemua kondisi, dan telah memenuhi kriteria stabilitas yang telah ditetapkan. Sedangkan, hasil analisis performa olahgerak menunjukkan bahwa respon kedua model, baik pada model monohull maupun monomaran masing-masing telah memenuhi kriteria yang ditentukan. Hasil simulasi menunjukkan variasi propeller dengan match point terbaik untuk mengatasi penambahan hambatan yang terjadi akibat bertambahnya nilai WSA yaitu propeller B-Series dengan variasi nilai P/D 0,95 dan sudut rake 15° dengan match point antara kurva engine dan propeller pada 85,45% rated speed dan power.

Kata Kunci : Ro-Ro, Monomaran, Stabilitas, Olah Gerak, Engine Matching Propeller

1. PENDAHULUAN

Kapal *ferry roll on/roll off* (ro-ro) merupakan kapal yang berfungsi membawa kargo yang memiliki roda. Objek studi kasus kali ini adalah Kapal Ro-Ro 1000 GT milik ASDP yang memiliki jenis lambung monohull. Dalam penelitian ini, kapal berjenis ro-ro dipilih dikarenakan kapal ro-ro memiliki peran yang cukup penting yaitu sebagai akses penghubung antar pulau bagi Negara Indonesia yang merupakan negara kepulauan yang memanfaatkan kapal ro-ro sebagai sarana untuk mengangkut kendaraan seperti sepeda motor, mobil, dan truk beserta penumpangnya [1]. Oleh karena itu kapal ro-ro harus memiliki performa yang optimal dalam pelayarannya. Salah satu inovasi dalam meningkatkan performa kapal ro-ro adalah dengan melakukan modifikasi bentuk lambung kapal.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Sagala, modifikasi bentuk lambung kapal ro-ro monohull menjadi monomaran mengakibatkan stabilitas kapal menjadi lebih baik dengan performa olah gerak pada sudut datang gelombang *head sea* maupun *beam sea* yang cenderung sama [1]. Perubahan bentuk lambung kapal mengakibatkan berubahnya nilai WSA sehingga, berpengaruh terhadap hambatan kapal. Pada penelitian Adhi Paska, dilakukan analisis *engine-propeller matching* akibat perubahan bentuk lambung kapal untuk menentukan *main engine* serta variasi propeller yang tepat guna menghasilkan performa sistem penggerak yang optimal [2]. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat keoptimalan performa propeller, beberapa diantaranya yaitu nilai P/D pada propeller, sudut rake, dan jenis propeller. Pada analisa *engine-propeller matching* yang

dilakukan oleh Asiando Wijaya dengan variasi nilai P/D didapatkan propeller yang optimal dengan nilai P/D 1,2 [3]. Sedangkan pada penelitian Andi, dengan menerapkan variasi sudut rake, diameter serta jumlah daun pada propeller B-Series dan Kaplan Series diperoleh hasil variasi propeller dengan efisiensi terbaik yaitu propeller B-Series dengan jumlah daun 4, Ae/Ao 0,5, sudut rake 12°, diameter 0,813 m, dan dengan nilai efisiensi sebesar 67,64% [4].

Berdasarkan data dari penelitian sebelumnya, penulis ingin melakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan modifikasi pada bentuk lambung Kapal Ro-Ro 1000 GT bentuk lambung monohull menjadi monomaran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa stabilitas dan olahgerak serta menentukan sistem penggerak yang optimal bagi Kapal Ro-Ro 1000 GT. Manfaat dari studi yang dilakukan yaitu sebagai referensi dalam memberikan informasi berkaitan dengan pengaruh perubahan bentuk lambung terhadap performa stabilitas olahgerak maupun penentuan sistem penggerak yang optimal bagi penelitian selanjutnya.

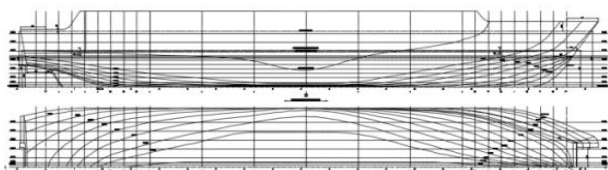
2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Kapal yang akan digunakan sebagai objek penelitian ini adalah kapal ro-ro milik Direktorat Jenderal Perhubungan Angkutan Sungai Danau dan Penyeberangan (ASDP) yang memiliki bobot 1000 GT dengan karakteristik ukuran utama seperti pada tabel 1.

Tabel 1. *Main Dimension* Kapal Ro-Ro 1000 GT

Jenis Kapal	Kapal Penyebrangan <i>Roll On/Roll Of</i>
Length Overall (LOA)	58 m
Width (B)	13,1 m
Depth (H)	4,37 m
Draft (T)	2,5 m
Displacement	1028 ton



Gambar 1. Lines Plan Kapal Ro-Ro 1000 GT

Kapal Ro-Ro 1000 GT menggunakan *main engine* Mitsubishi Marine Engine dan *gearbox* Hitachi Nico Marine Transmission dengan spesifikasi yang tertera pada tabel 2 dan 3 [5].

Tabel 2. Spesifikasi *Main Engine*

Main Engine	Mitsubishi Marine Engine
Tipe Mesin	S12A2-MPTK (C)
Daya Mesin	1040 HP
rpm	2000
Berat Mesin	3890
Panjang	2438,5 mm
Lebar	1482 mm
Tinggi	1595,5 mm

Tabel 3. Spesifikasi *Gearbox*

Gearbox	Hitachi Nico Marine Transmission
Model	MGN 35E
Rasio	4,72
rpm maksimal	2300 rpm
Daya maksimal	1215 HP

2.2. Perlakuan Pada Objek

Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan performa Kapal Ro-Ro 1000 GT bentuk lambung monohull dengan bentuk lambung monomaran yang memiliki nilai *displacement* yang sama. Permodelan pada lambung kapal dibuat menggunakan *polysurface* pada *software* Rhinoceros 5 guna mendapatkan bentuk lambung kapal yang tertutup (*solid*). Kemudian lambung kapal di *export* ke Maxsurf Modeler menggunakan format IGES untuk dilakukan penyesuaian sehingga dapat digunakan untuk melakukan analisa stabilitas dan olah gerak kapal. Sedangkan, analisis hambatan dan *velocity advance* pada kapal dilakukan menggunakan *software* CFD.

Permodelan pada propeller kapal dilakukan menggunakan *software* Propcad. Geometri yang telah didapat melalui *software* Propcad kemudian di *export* ke *software* Rhinoceros untuk dilakukan penyesuaian sehingga dapat digunakan untuk melakukan analisa *thrust* dan *torque* pada *software* CFD.

2.3. Analisis Stabilitas dan Olah Gerak

Analisis stabilitas pada penelitian ini dihitung menggunakan *software* Maxurf Stability. Penentuan *deadweight* pada Kapal Ro-Ro 1000 GT terbagi menjadi 4 kondisi pembebanan yaitu Kondisi Satu (I), Kondisi Dua (II), Kondisi Tiga (III), dan Kondisi Empat (IV).

Kondisi I terdiri dari 379 penumpang, 24 crew, kargo dengan 15 truk & 2 sedan, 100% provision, 100% consumables, dan 0% ballast. Kondisi II terdiri dari 379 penumpang, 24 crew, kargo dengan 15 truk & 2 sedan, 10% provision, 10% consumables, dan 0% ballast. Kondisi III terdiri dari 379 penumpang, 24 crew, 100% provision, 100% consumables, dan 24% ballast. Kondisi IV terdiri dari 379 penumpang, 24 crew, 10% provision, 10% consumables, dan 17% ballast. Sedangkan kriteria yang digunakan terdapat pada tabel 4 [6].

Tabel 4. IMO A.749(18) Ch 3 – Design Criteria Applicable to all Ships

Criteria	Required	Unit
Area 0° to 30°	3,15	m.deg
Area 0° to 40° or Downflooding point	5,16	m.deg
Area 30° to 40° or Downflooding point	1,719	m.deg
GZ at 30° or greater	0,2	m
Angle of GZ max	25	deg
GM	0,15	m

Sedangkan pada analisis olah gerak, perhitungan dilakukan menggunakan software Maxsurf Motion. Peneliti menggunakan 3 variasi wave heading yaitu 0° (following seas), 90° (beam seas), dan 180° (head seas).

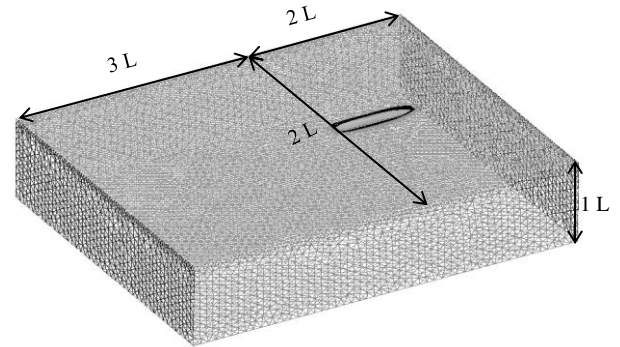
Jenis spektrum gelombang yang digunakan merupakan JONSWAP (Joint North Sea Wave Project). Spektrum gelombang JONSWAP dipilih dikarenakan karakteristik Lautan Indonesia yang mirip dengan Laut Utara yang merupakan wilayah kepulauan. Analisis olah gerak dilakukan menggunakan data karakteristik gelombang perairan Laut Jawa dengan ketinggian gelombang 0,75-1,25 meter, sehingga dalam penelitian ini digunakan tinggi gelombang 1,25 meter dan kecepatan 15 knot. Sedangkan Kriteria yang digunakan sebagai acuan adalah NORDFORKS 1987 dengan kategori kapal niaga [7].

Tabel 5. Kriteria NORDFORKS 1987

Description	Merchants Ships
RMS of Vertical Acceleration at FP	0,275 g (L≤100 m)
RMS of Vertical Acceleration at Bridge	0,15 g
RMS of Lateral Acceleration at Bridge	0,12 g
RMS of Roll	6.0 g

2.4. Analisis Hambatan dan Simulasi CFD

Perhitungan hambatan pada penelitian ini dilakukan pada froude number (fn) 0,327 menggunakan software CFD Tdyn 15.1.0 dengan boundary condition yang digunakan pada simulasi : Inlet, Outlet, Wall, Bottom, dan Free Surface seperti pada gambar 2 [8].



Gambar 2. Boundary Condition Simulasi Lambung Kapal

Sedangkan untuk perhitungan nilai thrust dan torque dilakukan menggunakan software CFD menggunakan parameter set up untuk kemudian divalidasi dengan perhitungan menggunakan diagram Wageningen B-Series. Set up yang sudah dinyatakan valid, kemudian diadopsi guna menghitung nilai thrust dan torque pada variasi propeller [4]. Parameter Set up yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 6.

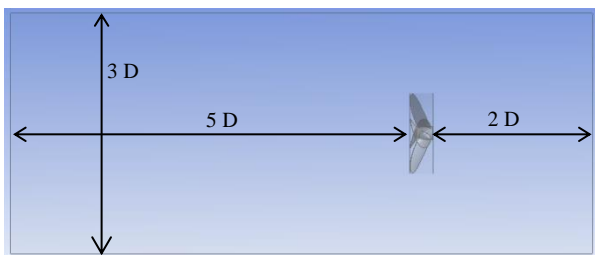
Tabel 6. Boundary Physics

Domain – Default Domain	
Type	Fluid
Location	B44
Materials	
Fluid Definition	Water
Morphology	Material Library Continous Fluid
Settings	
Bouyancy Model	Non Bouyant
Domain Motion	Rotating
Angular Velocity	[rev min ⁻¹]
Axis Definition	Coordinate Axis
Rotation Axis	Coord 0.1
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Heat Transfer Model	Isothermal
Fluid Temperature	2.500e+01 [C]
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable

Adapun variasi propeller pada penelitian ini adalah variasi pada nilai P/D, sudut rake, dan jenis propeller seperti yang tertera pada tabel 7.

Tabel 7. Variasi Propeller Kapal Ro-Ro 1000 GT

Jenis Propeller	Sudut Rake	P/D
B-Series	10°	0,85
B-Series	12°	0,85
B-Series	15°	0,85
Kaplan Series	12°	0,85
Kaplan Series	15°	0,85
B-Series	10°	0,90
B-Series	12°	0,90
B-Series	15°	0,90
Kaplan Series	12°	0,90
Kaplan Series	15°	0,90

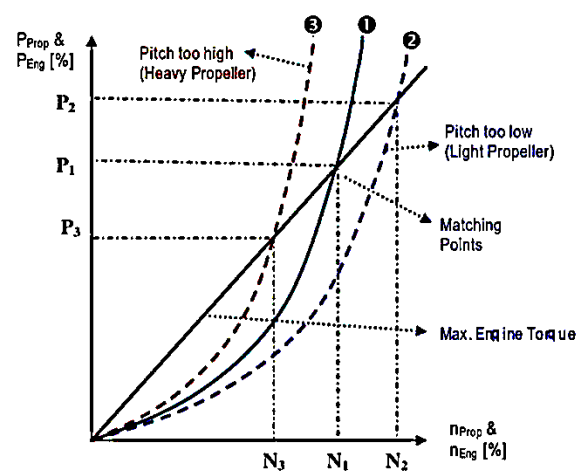


Gambar 3. Boundary Condition Simulasi Propeller

2.5. Pendefinisian Matching Point

Matching point adalah suatu titik pertemuan kurva perbandingan antara rpm dan daya yang diproduksi oleh propeller dengan kurva perbandingan antara rpm dan daya yang disalurkan oleh mesin induk. Pada titik *matching point* presentase daya yang disalurkan oleh *main engine* pada presentase rpm tertentu sama dengan jumlah presentase daya yang diproduksi oleh propeller pada presentase rpm tertentu.

Dalam menentukan *matching point*, perlu memperhatikan posisi titik potong antara kurva *engine* dan kurva propeller. Posisi titik potong yang terlalu rendah menggambarkan beban propeller yang terlalu besar akibat pengambilan nilai *pitch* yang terlalu tinggi sehingga, mesin bekerja dalam keadaan *overload*. Sebaliknya, apabila posisi titik potong terlalu tinggi menggambarkan beban propeller yang terlalu kecil diakibatkan oleh pengambilan nilai *pitch* yang terlalu rendah sehingga, mesin bekerja pada keadaan *overspeed* [9]. Titik pertemuan antara kurva *engine* dan *propeller* yang optimal berada pada kisaran 85 s.d 90%. Perolehan 10 s.d 15% tersebut berguna untuk mempertahankan kecepatan servis seiring bertambahnya beban kapal akibat *fouling*s.

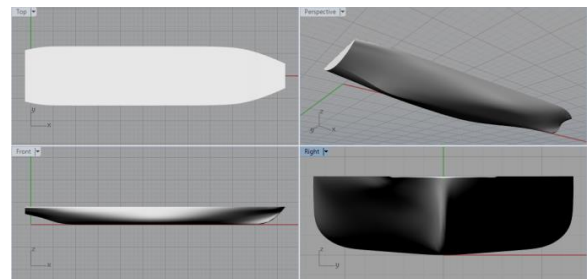


Gambar 4. Grafik Matching Point

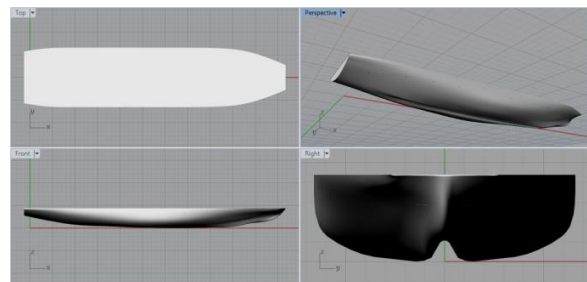
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pembuatan Model

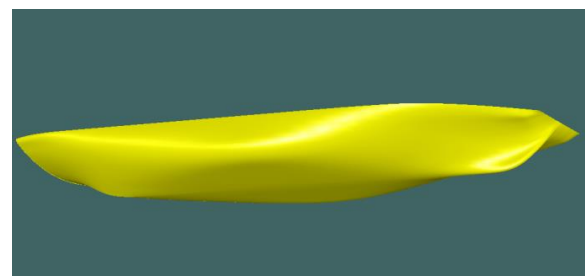
Berikut merupakan hasil permodelan 3D kapal menggunakan *software* Rhinoceros dan Maxsurf Modeller.



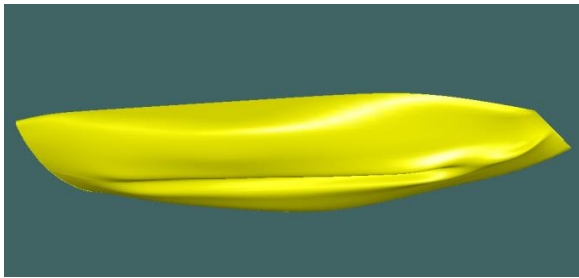
Gambar 5. Model 3D Rhinoceros Kapal Ro-Ro 1000 GT Lambung Monohull



Gambar 6. Model 3D Rhinoceros Kapal Ro-Ro 1000 GT Lambung Monomaran



Gambar 7. Model 3D Kapal Ro-Ro Monohull 1000 GT pada Maxsurf Modeller



Gambar 8. Model 3D Kapal Ro-Ro Monomaran 1000 GT pada Maxsurf Modeler

3.2. Perhitungan Stabilitas

Penentuan variasi muatan pada beberapa kondisi pembebanan diperlukan dalam perhitungan stabilitas sehingga nilai stabilitas untuk tiap kondisinya dapat diketahui. Berat variasi muatan pada kapal bentuk lambung monohull maupun monomaran dalam satuan ton pada masing-masing kondisi dapat dilihat pada tabel 8 dan tabel 9.

Tabel 8. *Loadcase* Kapal Ro-Ro 1000 GT Pada Kondisi I dan II

Load	Monohull		Monomaran	
	I	II	I	II
Passenger	32,2	32,2	32,2	32,2
Crew	2,4	2,4	2,4	2,4
Cargo	274	274	274	274
Fixed Load	8,4	8,4	8,4	8,4
Provision	2	0,2	2	0,2
Fuel Oil	51,5	5,2	52,2	5,2
Lubrican O.	2,7	2,7	2,7	2,7
Fresh Water	53,8	5,4	52,9	5,3
Ballast	-	-	-	-
LWT	620,9	620,9	622,7	622,7
Total	1.047,9	951,4	1.049,5	953,1

Tabel 9. *Loadcase* Kapal Ro-Ro 1000 GT Pada Kondisi III dan IV

Load	Monohull		Monomaran	
	III	IV	III	IV
Passenger	32,2	32,2	32,2	32,2
Crew	2,4	2,4	2,4	2,4
Cargo	-	-	-	-
Fixed Load	8,4	8,4	8,4	8,4
Provision	2	0,2	2	0,2
Fuel Oil	51,5	5,2	52,2	5,2
Lubrican O.	2,7	2,7	2,7	2,7
Fresh Water	53,8	5,4	52,9	5,3
Ballast	36,6	25,6	35,9	25,1
LWT	620,9	620,9	622,7	622,7
Total	810,5	703	811,4	704,2

Dari hasil analisis stabilitas, didapatkan bahwa stabilitas Kapal Ro-Ro Monohull 1000 GT memenuhi semua standar kriteria pada seluruh kondisi pemuatan seperti yang terlihat pada tabel 10 dan tabel 11.

Tabel 10. Kriteria dan Stabilitas Kapal Ro-Ro Monohull 1000 GT Pada Kondisi I dan II

Criteria	Required	LC	
		I	II
Area 0° to 30°	3,15 m.deg	32,9	33,5
Area 0° to 40° or Downflooding point	5,16 m.deg	47,3	48,5
Area 30° to 40° or Downflooding point	1,719 m.deg	14,4	15,0
GZ at 30° or greater	0,2 m	1,53	1,60
Angle of GZ max	25 deg	25,5	25,5
GM	0,15 m	5,3	5,2

Tabel 11. Kriteria dan Stabilitas Kapal Ro-Ro Monohull 1000 GT Pada Kondisi III dan IV

Criteria	Required	LC	
		III	IV
Area 0° to 30°	3,15 m.deg	42,2	42,7
Area 0° to 40° or Downflooding point	5,16 m.deg	63,7	62,9
Area 30° to 40° or Downflooding point	1,719 m.deg	21,2	20,2
GZ at 30° or greater	0,2 m	2,19	2,23
Angle of GZ max	25 deg	30	30,9
GM	0,15 m	6,2	6,3

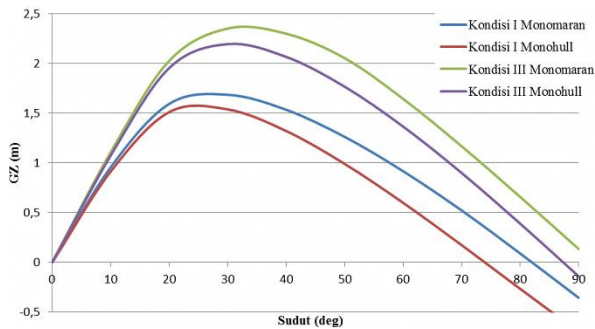
Untuk hasil analisis stabilitas Kapal Ro-Ro Monomaran 1000 GT, diketahui bahwa stabilitas Kapal Ro-Ro Monomaran 1000 GT memenuhi standar kriteria pada seluruh kondisi pemuatan seperti yang terlihat pada tabel 12 dan 13.

Tabel 12. Kriteria dan Stabilitas Kapal Ro-Ro Monomaran 1000 GT Pada Kondisi I dan II

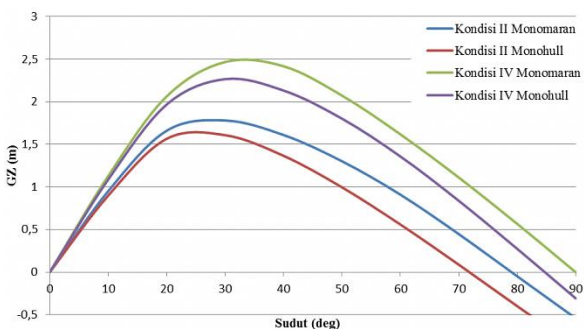
Criteria	Required	LC	
		I	II
Area 0° to 30°	3,15 m.deg	34,9	35,9
Area 0° to 40° or Downflooding point	5,16 m.deg	51,0	52,9
Area 30° to 40° or Downflooding point	1,719 m.deg	16,1	17,0
GZ at 30° or greater	0,2 m	1,69	1,78
Angle of GZ max	25 deg	26,4	27,3
GM	0,15 m	5,6	5,5

Tabel 13. Kriteria dan Stabilitas Kapal Ro-Ro Monohull 1000 GT Pada Kondisi III dan IV

Criteria	Required	LC	
		III	IV
Area 0° to 30°	3,15 m.deg	44,0	45,1
Area 0° to 40° or Downflooding point	5,16 m.deg	67,5	69,8
Area 30° to 40° or Downflooding point	1,719 m.deg	23,5	24,7
GZ at 30° or greater	0,2 m	2,35	2,47
Angle of GZ max	25 deg	32,7	33,6
GM	0,15 m	6,4	6,5



Gambar 9. Grafik Perbandingan Nilai GZ Kapal Ro-Ro 1000 GT Pada Kondisi I dan III



Gambar 10. Grafik Perbandingan Nilai GZ Kapal Ro-Ro 1000 GT Pada Kondisi II dan IV

Analisis stabilitas Kapal Ro-Ro 1000 GT pada *software* Maxurf Stability menunjukkan bahwa model Kapal Ro-Ro 1000 GT baik pada lambung monohull maupun monomaran telah memenuhi semua kriteria stabilitas yang telah ditentukan. Hasil analisa menunjukkan bahwa luasan dibawah kurva GZ model lambung monohull maupun monomaran pada kondisi I, II, III, dan IV masih berada diatas kriteria IMO, sehingga pada sudut *downflooding point* yaitu antara 0-30°, 0-40°, dan 30-40° kedua model kapal masih memiliki *righting moment* yang cukup.

Standar IMO dalam menentukan nilai dan sudut maksimum GZ menyatakan bahwa sudut oleng minimum tidak boleh kurang dari 25° [6]. Dari hasil analisis di kedua model pada setiap kondisi menunjukkan bahwa nilai GZ pada model

lambung monohull dan monomaran masih berada di atas kriteria IMO.

Standar IMO yang mengatur mengenai nilai MG menyatakan bahwa jarak MG (*metacenter gravity*) minimum adalah 0,15 m [6]. Dari hasil analisis kedua model memiliki nilai MG di atas standar IMO di semua kondisi.

Dengan *displacement sama*, hasil analisis menunjukkan bahwa luas area kurva stabilitas model monomaran lebih besar dari luasan kurva stabilitas monohull. Hal ini mengindikasikan bahwa model lambung monomaran memiliki stabilitas yang lebih baik [1].

3.3. Perhitungan Olah Gerak

Dalam perhitungan olah gerak, data yang digunakan berupa RMS (*Root Mean Square*) yang merupakan akar dari nilai rata-rata dari fungsi yang dikuadratkan untuk memperoleh nilai efektifnya.

Hasil analisa *seakeeping* Kapal Ro-Ro 1000 GT menggunakan Maxurf Motions tertera pada tabel 14, 15, dan 16.

Tabel 14. *Heave, Roll, dan Pitch motion* pada sudut masuk air 0° (*Following Seas*)

Motion	Monohull	Monomaran	Unit
Heave	0,22	0,22	m
Roll	0	0	deg
Pitch	0,82	0,91	deg

Tabel 15. *Heave, Roll, dan Pitch motion* pada sudut masuk air 90° (*Beam Seas*)

Motion	Monohull	Monomaran	Unit
Heave	0,28	0,28	m
Roll	2,75	2,75	deg
Pitch	0,45	0,52	deg

Tabel 16. *Heave, Roll, dan Pitch motion* pada sudut masuk air 180° (*Head Seas*)

Motion	Monohull	Monomaran	Unit
Heave	0,29	0,29	m
Roll	0	0	deg
Pitch	0,78	0,81	deg

Berdasarkan hasil analisis, nilai *pitch* yang lebih besar ditunjukkan pada model monomaran dengan nilai sebesar 0,81° dibandingkan model monohull yang memiliki nilai sebesar 0,78°. Untuk nilai *heave* dan *roll* pada kedua model baik pada sudut masuk air 0°, 90° maupun 180° memiliki nilai yang sama yaitu nilai *heave* 0,22 m untuk sudut masuk air 0°, 0,28 m untuk sudut masuk air 90°, dan 0,29 m untuk sudut masuk air

180°. Untuk nilai *roll* diperoleh data sebesar 0° pada sudut masuk air 0° dan 180° serta 2,75° untuk sudut masuk air 90°. Pada sudut masuk air 0° dan 180° *roll motion* pada kedua model bernilai 0 dikarenakan posisi kapal segaris dengan sumbu-x sehingga tidak terpengaruhi oleh gerak rotasi terhadap sumbu-x (*roll motion*) [1].

Tabel 17. Analisa *seakeeping* model Monohull terhadap kriteria NORDFORSK, 1987

Description	Merchants Ships	Monohull	Status
RMS of Vertical Acceleration at FP	0,275 g (L≤100 m)	0,036 g	Pass
RMS of Vertical Acceleration at Bridge	0,15 g	0,027 g	Pass
RMS of Lateral Acceleration at Bridge	0,12 g	0,069 g	Pass
RMS of Roll	6.0 deg	2,8 deg	Pass

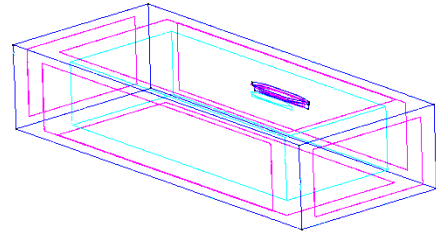
Tabel 18. Analisa *seakeeping* model Monomaran terhadap kriteria NORDFORSK, 1987

Description	Merchants Ships	Monomaran	Status
RMS of Vertical Acceleration at FP	0,275 g (L≤100 m)	0,027 g	Pass
RMS of Vertical Acceleration at Bridge	0,15 g	0,027 g	Pass
RMS of Lateral Acceleration at Bridge	0,12 g	0,064 g	Pass
RMS of Roll	6.0 deg	2,8 deg	Pass

Dari hasil analisis *seakeeping* pada model monohull dan monomaran dapat diketahui bahwa kedua model baik pada model monohull maupun monomaran telah memenuhi kriteria NORDFORSK, 1987 dengan nilai *RMS of Vertical acceleration at FP* pada model monohull sebesar 0,036 g dan pada model monomaran sebesar 0,027 g dimana g merupakan percepatan gravitasi (9,80665 m/s²). Untuk nilai *RMS of Vertical acceleration at Bridge* dan *RMS of Roll* kedua model memiliki nilai yang sama besar yaitu 0,027 g untuk nilai *RMS of Vertical acceleration at Bridge* dan 2,8 deg untuk *RMS of Roll*. Sedangkan untuk nilai *RMS of Lateral acceleration at Bridge* pada model monohull sebesar 0,069 g dan pada model monomaran sebesar 0,064 g.

3.4. Perhitungan dan Validasi Hambatan

Validasi perhitungan hambatan kapal dilakukan dengan menggunakan model kapal yang telah memiliki data hasil uji towing tank [10]. Validasi penelitian ini menggunakan kapal series 60 untuk memvalidasi *set up* yang digunakan dengan membandingkan hasil eksperimen dengan hasil numerik menggunakan *software* CFD.



Gambar 11. *Boundary Condition* Simulasi Model Kapal Series 60

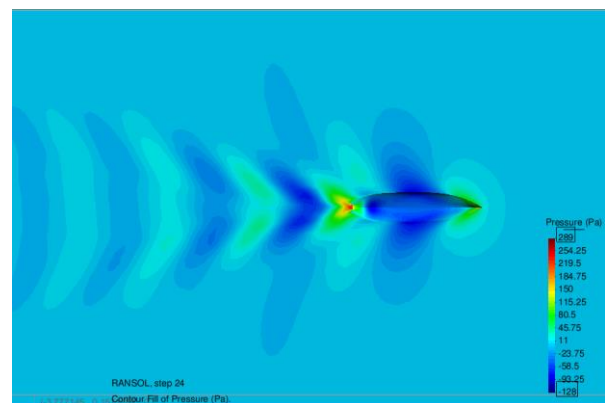
Tabel 19. Perhitungan *Ct* Kapal Series 60 Menggunakan *Software* CFD

fn	Ct Eksperimen	Ct CFD	Error (%)
0,3	0,00612	0,00594	3,03

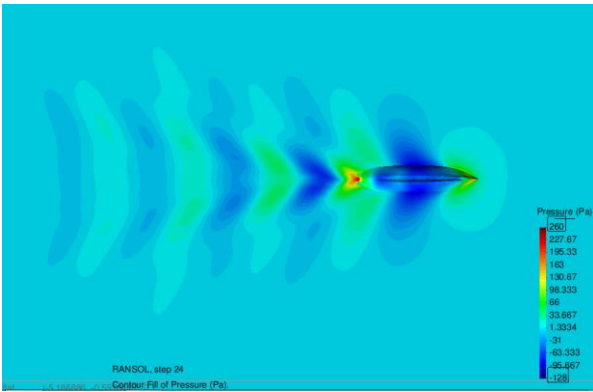
Dari hasil simulasi CFD yang dibandingkan dengan nilai *Ct* dari hasil eksperimen dapat ditarik kesimpulan bahwa *set up* pada simulasi CFD dinyatakan akurat dengan tingkat *error* ≤ 5% sehingga parameter *set up* tersebut dapat diaplikasikan pada simulasi CFD Kapal Ro-Ro 1000 GT.

Tabel 20. Perhitungan Hambatan Total (*Rt*) Ro-Ro 1000 GT Menggunakan *Software* CFD

Model	fn	RT CFD (N)	Ct
Monohull	0,327	0,570	0,004987
Monomaran	0,327	0,592	0,005047



Gambar 12. *Pressure Contour* Model Monohull Pada *Software* CFD



Gambar 13. *Pressure Contour Model Monomaran Pada Software CFD*

Pada model monomaran terdapat penambahan hambatan yang terjadi disepanjang lambung bagian bawah kapal akibat adanya penambahan nilai WSA yang dapat dilihat pada Gambar 13.

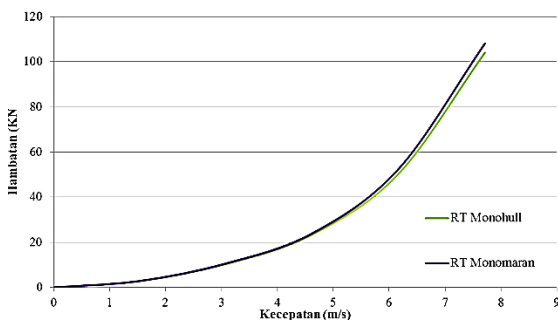
Untuk mengubah nilai hambatan model hasil simulasi CFD menjadi hambatan asli, digunakan persamaan empiris untuk menghitung hambatan total :

$$RT = 0,5 \cdot \rho \cdot WSA \cdot V^2 \cdot Ct \quad (1)$$

RT adalah Hambatan total (N), ρ adalah masa jenis air laut (1025 kg/m^3), WSA adalah luasan bagian lambung kapal yang tercelup di air (m^2), V adalah kecepatan (m/s) sedangkan Ct adalah koefisien drag.

Tabel 21. Nilai Hambatan Total Kapal

Model	f_n	RT CFD (KN)	Ct
Monohull	0,327	104,04	0,004987
Monomaran	0,327	108,06	0,005047



Gambar 14. Grafik Perbandingan Nilai RT Model Monohull dan Monomaran

3.5. Perhitungan Daya Mesin

Kapal Ro-Ro 1000 GT merupakan kapal jenis *twin screw*, sehingga perhitungan daya mesin membebaskan hambatan yang telah dibagi 2 kepada masing-masing mesin dengan beban yang sama besar [3].

Perhitungan EHP (*Effective Horse Power*)

$$\begin{aligned} EHP &= (0,5 \times Rt)Vt \quad (2) \\ &= (0,5 \times 108,06)7,71 \\ &= 416,57 \text{ kW} \\ &= 558,63 \text{ HP} \end{aligned}$$

Perhitungan DHP (*Delivery Horse Power*)

$$\begin{aligned} DHP &= \frac{EHP}{\eta_p} \quad (3) \\ &= \frac{558,63}{0,728} \\ &= 767,35 \text{ HP} \end{aligned}$$

Perhitungan SHP (*Shaft Horse Power*)

$$\begin{aligned} SHP &= \frac{DHP}{\eta_s} \quad (4) \\ &= \frac{767,35}{0,98} \\ &= 783 \text{ HP} \end{aligned}$$

Perhitungan BHP (*Brake Horse Power*)

$$\begin{aligned} BHP_{scr} &= \frac{SHP}{\eta_G} \quad (5) \\ &= \frac{783}{0,98} \\ &= 798,99 \text{ HP} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BHP_{mcr} &= \frac{BHP_{scr}}{0,85} \quad (6) \\ &= \frac{798,99}{0,85} \\ &= 939,99 \text{ HP} \end{aligned}$$

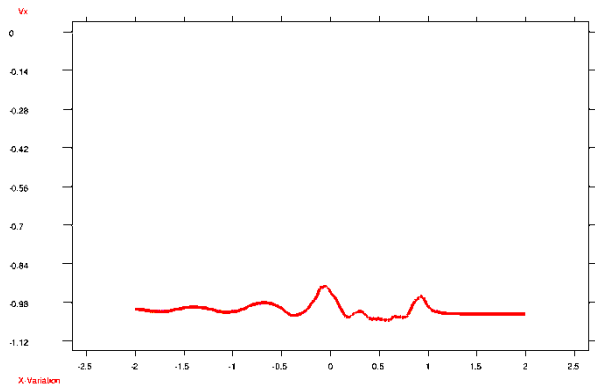
Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa daya mesin *mcr* yang dibutuhkan lambung monomaran sebesar 939,99 HP sehingga masih memungkinkan apabila tetap menggunakan mesin lama yang memiliki BHP mesin induk sebesar 1040 HP.

3.6. Perhitungan dan Validasi Nilai Thrust dan Torque Propeller

Validasi pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan pada diagram *Wageningen B-Series* dengan hasil simulasi *software CFD* pada *Ansys CFX 18.1*.

Dalam melakukan simulasi *open water* pada propeller kapal, diperlukan data *velocity advance* kapal, diperlukan data *velocity advance* kapal, V_a yang dapat diperoleh dari simulasi lambung kapal. V_a diperoleh dengan menggunakan *tool cut plane* pada command *create graph* dengan memasukkan 2 koordinat (x_1, y_1, z_1) dan (x_2, y_2, z_2) yang melewati koordinat pengukuran v_a (x_0, y_0, z_0)

yang akan digunakan sebagai input kecepatan simulasi *open water*. Pengambilan titik va (x_0, y_0, z_0) didasarkan pada penghitungan *reynold number* propeller yang dilakukan pada jarak $0,75R$ [11]. Hasil yang diperoleh pada pengukuran va berupa grafik perubahan nilai vx terhadap posisi badan kapal yang nilai spesifiknya dapat dilihat menggunakan *tool show table*.



Gambar 15. Grafik Nilai Velocity Advance Pada Software CFD

Nilai va yang didapat dari simulasi CFD sebesar $0,93 \text{ m/s}$ merupakan nilai va dari model kapal yang telah diskala, oleh karena nilai va perlu dikonversi menggunakan persamaan *froude number*.

Perhitungan Velocity Advance Model

$$fn = \frac{Va \text{ Model}}{\sqrt{g \cdot Lwl \text{ Model}}} \quad (7)$$

$$= \frac{0,93}{\sqrt{9,8 \times 1}}$$

$$fn = 0,297$$

Perhitungan Velocity Advance Kapal Asli

$$fn = \frac{Va \text{ Model}}{\sqrt{g \cdot Lwl \text{ Model}}} \quad (8)$$

$$0,297 = \frac{Va}{\sqrt{9,8 \times 56,69}}$$

$$Va = 7,00 \text{ m/s}$$

Perhitungan Koefisien Advance

$$J = \frac{Va}{nD} \quad (9)$$

$$= \frac{7,00}{7,06 \times 1,75}$$

$$= 0,57$$

Dimana Va merupakan *velocity advance* propeller (m/s), n merupakan rps propeller dan D merupakan diameter propeller (m).

Penentuan P/D propeller biasanya berkisar antara $0,5-1,4$ sedangkan nilai Ae/Ao berkisar antara $0,3-1,5$. Dalam penelitian ini diambil nilai P/D propeller asli kapal yang memiliki nilai $0,85$ dengan variasi $0,95$ dan nilai Ae/Ao $0,67$. Data ini kemudian digunakan untuk pengukuran nilai KT, KQ , dan efisiensi propeller pada diagram *Wageningen B-Series*.

Berdasarkan pengukuran pada diagram *Wageningen B-Series* dengan nilai Ae/Ao $0,67$, J $0,57$, dan nilai P/D $0,85$ didapatkan nilai KT, KQ dan efisiensi seperti pada tabel 22 [11].

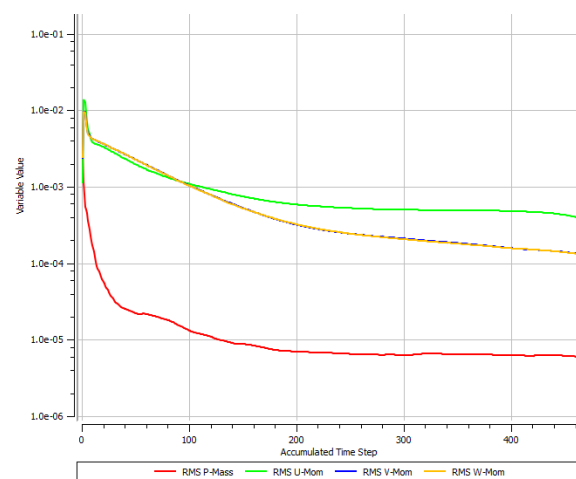
Tabel 22. Perhitungan Diagram Wageningen B-Series

J		0,57	
P/D	KT	KQ	η
0,85	0,13	0,02	0,59

Berdasarkan hasil interpolasi pada diagram *Wageningen B-Series* dengan koefisien *advance* $0,57$ dan P/D $0,85$, diperoleh nilai koefisien *thrust* (kt) sebesar $0,13$, koefisien *torque* $0,02$, dan efisiensi sebesar $0,59$.

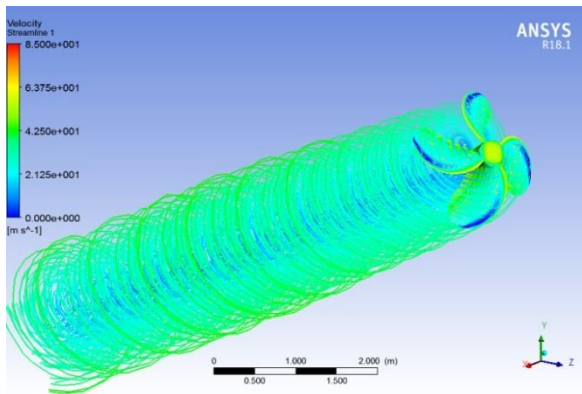
Tabel 23. Validasi Perhitungan Diagram Wageningen B-Series Terhadap Simulasi CFD

Parameter	Hasil Perhitungan		Error (%)
	B-Series	CFD	
KT	0,13	0,131	2,3
KQ	0,02	0,0209	4,5
Effisiensi	0,59	0,588	0,33

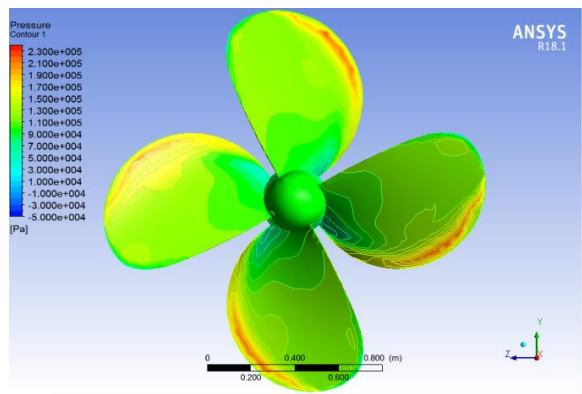


Gambar 16. Residual Pada Domain Fluida

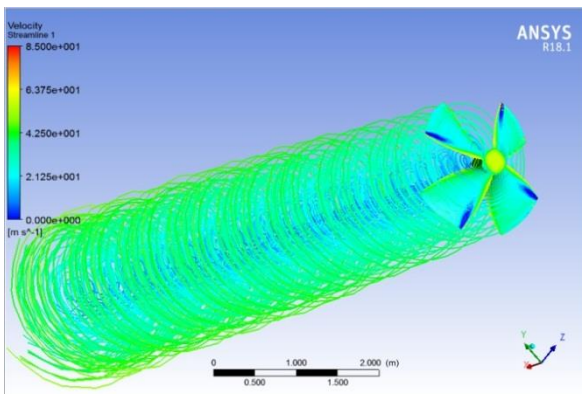
Dari hasil simulasi CFD yang dibandingkan dengan nilai pada diagram *Wageningen B-Series* dapat ditarik kesimpulan bahwa *set up* pada simulasi CFD dinyatakan akurat dengan tingkat *error* $\pm 0 - 5\%$ sehingga parameter *set up* tersebut dapat diaplikasikan pada simulasi CFD variasi propeller *Ro-Ro* 1000 GT [4].



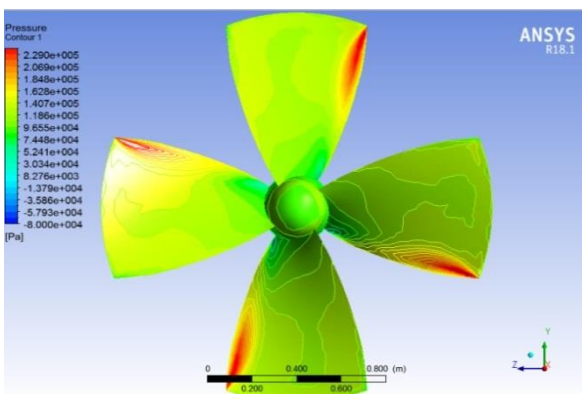
Gambar 17. Velocity Streamline Pada Propeller B-Series P/D 0,95 dan Sudut Rake 15°



Gambar 18. Pressure Distribution Pada Propeller B-Series P/D 0,95 dan Sudut Rake 15°



Gambar 19. Velocity Streamline Pada Propeller Ka-Series P/D 0,95 dan Sudut Rake 15°



Gambar 20. Pressure Distribution Pada Propeller Ka-Series P/D 0,95 dan Sudut Rake 15°

Tabel 24. Hasil Simulasi Nilai *Thrust* dan *Torque* Variasi Propeller Pada Simulasi CFD

Jenis	P/D	Sudut Rake (deg)	Thrust (N)	Torque (Nm)
B-Series	0,85	10	64.047,2	17.988,3
B-Series	0,85	12	63.528,3	17.793,5
B-Series	0,85	15	62.731,2	17.601,3
Ka Series	0,85	12	70.911,3	19.926,1
Ka Series	0,85	15	70.493,9	19.783,3
B-Series	0,95	10	86.943,4	24.435,9
B-Series	0,95	12	86.632,0	24.245,1
B-Series	0,95	15	85.853,4	23.969,4
Ka Series	0,95	12	96.984,8	27.098,2
Ka Series	0,95	15	95.726,6	26.637,2

Engine propeller matching dilakukan dengan metode menyamakan karakteristik mesin dan juga propeller kapal, hal ini dikarenakan adanya perbedaan antara putaran yang dihasilkan mesin serta putaran yang diserap oleh propeller akibat adanya *gearbox*. Sehingga perlu dilakukan penyamaan karakteristik dengan mengubah daya yang dihasilkan oleh mesin dan propeller serta putarannya dalam bentuk rasio.

Mesin Kapal Ro-Ro 1000 GT dalam putaran maksimal 2000 rpm (100% rpm mesin) mampu menghasilkan daya sebesar 776 kW (100% daya mesin), sehingga untuk nilai rasio rpm serta rasio daya efektif pada presentase 85%-90% dapat dilihat pada tabel 25.

Tabel 25. Perhitungan Rasio Rpm dan Rasio Daya Mesin

RPM Mesin	Rasio RPM Mesin	Daya Mesin (kW)	Rasio Daya Mesin
1700	85%	659,6	85%
1720	86%	667,36	86%
1740	87%	675,12	87%
1760	88%	682,88	88%
1780	89%	690,64	89%
1800	90%	698,4	90%

Kapal Ro-Ro 1000 GT menggunakan *Gearbox* dengan perbandingan 4,72:1 sehingga pada putaran maksimal mesin (2000 putaran) maka propeller memiliki putaran maksimal (100% rpm) senilai 423,7 putaran. Sehingga untuk nilai rasio rpm efektif pada presentase 85%-90% dapat dilihat pada tabel 26.

Tabel 26. Perbandingan Rpm Mesin dengan Propeller

RPM Mesin	Rasio RPM Mesin	RPM Propeller	Rasio RPM Propeller
1700	85%	360,1	85%
1720	86%	364,4	86%
1740	87%	368,7	87%
1760	88%	372,9	88%
1780	89%	377,1	89%
1800	90%	381,3	90%

Didalam menggambarkan kurva beban pada propeller kapal, variabel yang digunakan yaitu torsi pada propeller dan kecepatan putaran propeller. Torsi pada propeller diperoleh dari hasil pengolahan secara grafis dari interaksi antara badan kapal dengan propeller, yang dapat didefinisikan menggunakan persamaan berikut : [12]

$$KQ = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 D^5} \quad (10)$$

Dimana KQ merupakan koefisien *torque*, Q merupakan torsi dari propeller, ρ merupakan masa jenis air laut ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), n merupakan rpm/60, dan D adalah diameter propeller. Adapun perhitungan daya pada propeller dapat dihitung menggunakan persamaan berikut : [13]

$$P = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot Q \quad (11)$$

Dimana P merupakan daya pada propeller (kW), n merupakan rpm/60, dan Q merupakan *torque* propeller (kNm). Daya propeller yang telah dihitung menggunakan persamaan 11 kemudian dikonversi menjadi rasio daya propeller terhadap daya mesin.

$$\text{Rasio Daya Prop} = \frac{\text{Daya Propeller}}{\text{Daya Mesin}} \times 100\% \quad (12)$$

Persamaan rasio daya propeller kemudian digunakan untuk menghitung rasio daya masing-masing variasi propeller.

Tabel 27. Rasio Daya Mesin Terhadap Propeller B-Series P/D 0,85 Sudut Rake 10°

Rasio RPM	Rasio Daya Mesin	Daya Propeller	Rasio Daya Propeller
85%	85%	489,9 kW	63,1%
86%	86%	507,4 kW	65,4%
87%	87%	525,3 kW	67,7%
88%	88%	543,6 kW	70,1%
89%	89%	562,4 kW	72,5%
90%	90%	581,5 kW	74,9%

Tabel 28. Rasio Daya Mesin Terhadap Propeller B-Series P/D 0,85 Sudut Rake 12°

Rasio RPM	Rasio Daya Mesin	Daya Propeller	Rasio Daya Propeller
85%	85%	484,6 kW	62,4%
86%	86%	501,9 kW	64,7%
87%	87%	519,6 kW	67,0%
88%	88%	537,7 kW	69,3%
89%	89%	556,3 kW	71,7%
90%	90%	575,2 kW	74,1%

Tabel 29. Rasio Daya Mesin Terhadap Propeller B-Series P/D 0,85 Sudut Rake 15°

Rasio RPM	Rasio Daya Mesin	Daya Propeller	Rasio Daya Propeller
85%	85%	479,4 kW	61,8%
86%	86%	496,5 kW	64,0%
87%	87%	514,0 kW	66,2%
88%	88%	531,9 kW	68,5%
89%	89%	550,3 kW	70,9%
90%	90%	569,0 kW	73,3%

Tabel 30. Rasio Daya Mesin Terhadap Propeller Ka Series P/D 0,85 Sudut Rake 12°

Rasio RPM	Rasio Daya Mesin	Daya Propeller	Rasio Daya Propeller
85%	85%	542,7 kW	69,9%
86%	86%	562,0 kW	72,4%
87%	87%	581,9 kW	75,0%
88%	88%	602,1 kW	77,6%
89%	89%	623,0 kW	80,3%
90%	90%	644,2 kW	83,0%

Tabel 31. Rasio Daya Mesin Terhadap Propeller Ka Series P/D 0,85 Sudut Rake 15°

Rasio RPM	Rasio Daya Mesin	Daya Propeller	Rasio Daya Propeller
85%	85%	489,9 kW	63%
86%	86%	507,4 kW	65%
87%	87%	525,3 kW	67%
88%	88%	543,6 kW	70%
89%	89%	562,4 kW	72%
90%	90%	581,5 kW	75%

Tabel 32. Rasio Daya Mesin Terhadap Propeller B-Series P/D 0,95 Sudut Rake 10°

Rasio RPM	Rasio Daya Mesin	Daya Propeller	Rasio Daya Propeller
85%	85%	665,5 kW	85,8%
86%	86%	689,3 kW	88,8%
87%	87%	713,6 kW	92,0%
88%	88%	738,5 kW	95,2%
89%	89%	764,0 kW	98,0%

90%	90%	790,0 kW	101,8%
-----	-----	----------	--------

Tabel 33. Rasio Daya Mesin Terhadap Propeller B-Series P/D 0,95 Sudut Rake 12°

Rasio RPM	Rasio Daya Mesin	Daya Propeller	Rasio Daya Propeller
85%	85%	660,3 kW	85,1%
86%	86%	683,9 kW	88,1%
87%	87%	708,0 kW	91,2%
88%	88%	732,8 kW	94,4%
89%	89%	758,0 kW	97,7%
90%	90%	783,9 kW	101,0%

Tabel 34. Rasio Daya Mesin Terhadap Propeller B-Series P/D 0,95 Sudut Rake 15°

Rasio RPM	Rasio Daya Mesin	Daya Propeller	Rasio Daya Propeller
85%	85%	652,8 kW	84,1%
86%	86%	676,1 kW	87,1%
87%	87%	700,0 kW	90,2%
88%	88%	724,4 kW	93,3%
89%	89%	749,4 kW	96,6%
90%	90%	774,9 kW	99,9%

Tabel 35. Rasio Daya Mesin Terhadap Propeller Ka Series P/D 0,95 Sudut Rake 12°

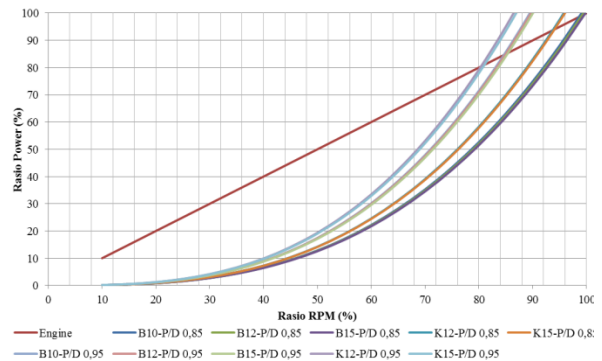
Rasio RPM	Rasio Daya Mesin	Daya Propeller	Rasio Daya Propeller
85%	85%	738,0 kW	95,1%
86%	86%	764,4 kW	98,5%
87%	87%	791,3 kW	102,0%
88%	88%	818,9 kW	105,5%
89%	89%	847,2 kW	109,1%
90%	90%	876,1 kW	112,9%

Tabel 36. Rasio Daya Mesin Terhadap Propeller Ka-Series P/D 0,95 Sudut Rake 15°

Rasio RPM	Rasio Daya Mesin	Daya Propeller	Rasio Daya Propeller
85%	85%	725,5 kW	93,4%
86%	86%	751,4 kW	96,9%
87%	87%	777,9 kW	100,2%
88%	88%	805,0 kW	103,7%
89%	89%	832,8 kW	107,3%
90%	90%	861,2 kW	111,0%

Matching Point merupakan titik pertemuan antara kurva karakteristik propeller dengan mesin induk. Sehingga, pada titik *matching point* rasio daya yang dihasilkan oleh putaran propeller sama dengan rasio daya yang dihasilkan oleh mesin induk. Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 27 hingga tabel 36, seluruh variasi propeller

dengan nilai P/D 0,85 memiliki *matching point* diatas 90%. Sedangkan pada propeller dengan P/D 0,95, propeller B-Series dengan sudut rake 10° dan 12° serta propeller Kaplan Series dengan sudut rake 12° dan 15° memiliki *matching point* dibawah 85%. Propeller B-Series dengan nilai P/D 0,95 dan sudut rake 15° merupakan variasi propeller yang paling optimal dengan *matching point* berada diantara rasio 85-86 %.



Gambar 21. Grafik Matching Point Variasi Propeller

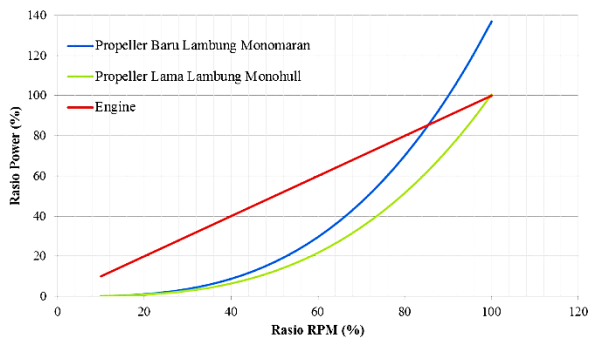
3.7. Engine Propeller Matching

Perhitungan *engine propeller matching* dilakukan pada Kapal Ro-Ro 1000 GT bentuk lambung monohull dengan Kapal Ro-Ro 1000 GT bentuk lambung monomaran. Adapun perbandingan antara karakteristik propeller yang digunakan pada model kapal monohull dengan model kapal monomaran dapat dilihat pada tabel 37.

Tabel 37. Karakteristik Propeller Kapal Ro-Ro Monohull dengan Kapal Ro-Ro Monomaran

Parameter	Monohull	Monomaran
Jenis Propeller	B-Series	B-Series
Diameter	1,75 m	1,75 m
P/D	0,85	0,85
Ae/Ao	0,67	0,67
J	0,57	0,57
KT	0,131	0,179
KQ	0,0209	0,0285
Effisiensi	0,588	0,591
rpm	423,7	423,7
Sudut Rake	15°	15°

Adapun perbandingan grafik *matching point* antara Kapal Ro-Ro 1000 GT bentuk lambung Monohull dengan Kapal Ro-Ro 1000 GT bentuk lambung monomaran dapat dilihat pada gambar 22.



Gambar 22. Grafik Perbandingan *Matching Point* pada Kapal Ro-Ro 1000 GT

Berdasarkan perbandingan kurva *match point* pada kapal ro-ro model lambung monohull dengan model lambung monomaran disimpulkan bahwa, *match point* pada model monomaran lebih baik dari kapal ro-ro bentuk lambung monohull. model lambung monohull memiliki *match point* pada kisaran 99,7 % rpm dengan daya sebesar 773,6 kW serta daya maksimal sebesar 780,6 kW pada 100% rpm. Sedangkan pada model lambung monomaran memiliki *matching point* antara karakter mesin dan karakter baling-baling berkisar pada 85,45 % rpm dengan daya sebesar 662,7 kW serta daya maksimal sebesar 1.062,9 kW pada 100% rpm.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa luasan area kurva stabilitas model lambung monomaran lebih besar dari luasan kurva stabilitas model monohull sehingga memiliki stabilitas yang lebih baik.

Dari hasil analisis *seakeeping* pada model monohull dan monomaran dapat diketahui bahwa gerakan *roll* dan *heave* pada kedua model cenderung sama, sedangkan pada gerakan *pitch* model monomaran memiliki nilai yang lebih besar dari model monohull. Namun, baik pada model monohull maupun monomaran keduanya tetap memenuhi kriteria dari NORDFORSK, 1987.

Perubahan lambung dari monohull menjadi monomaran mengakibatkan penambahan nilai WSA pada kapal yang mengakibatkan kenaikan nilai hambatan kapal. Untuk mengatasi hambatan pada kapal bentuk lambung monomaran, variasi propeller yang paling optimal adalah B-Series dengan sudut rake 15° dan nilai P/D 0,95 dengan *match point* sebesar 85,45%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan Syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada segenap keluarga serta kepada

dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sagala, A. Zakki, and S. Samuel, "Perbandingan Performa Hullform Lambung Monohull dan Monomaran Pada Kapal Ro-Ro 5000gt," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 4, no. 2, Apr.2016.
- [2] A. Paska, E. Hadi, and K. Kiryanto, "Analisa Engine Propeller Matching Pada Kapal Perintis Baru Type 200 Dwt Untuk Medapatkan Sistem Propulsi Yang Optimal," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 4, no. 3, Jul. 2016.
- [3] A. Wijaya, U. Budiarto, and B. Adiyeta, "Analisa Engine-Propeller Matching Pada Kapal Perintis 500 DWT," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 6, no.4, Aug. 2018.
- [4] A. Trimulyono, and K. Kiryanto, "Analisa Efisiensi Propeller B-Series dan Kaplan Pada Kapal Tugboat Ari 400 Hp Dengan Variasi Jumlah Daun dan Sudut Rake Menggunakan CFD," *Kapal*, vol.12, no. 2, pp. 112-120, Jun. 2015.
- [5] Xin Ming Hua. *Mitsubishi Marine Engine Line Up*. Xmh.com.sg. Singapore.
- [6] IMO. "Code On Intact Stability For All Types Of Ships Covered By Imo Instruments," vol. 749, November, 1993.
- [7] Nordforsk. "Seakeeping Criteria," 1987.
- [8] M. Iqbal, and S. Samuel, "Traditional Catamaran Hull Form Configurations That Reduce Total Resistance," *International Journal of Technology*, vol.8, no. 1, pp 85-93, Jan. 2017. [Online]. DOI: [10.14716/ijtech.v8i1.4161](https://doi.org/10.14716/ijtech.v8i1.4161) [Diakses 14 April 2020].
- [9] S. W. Adji, "Engine Propeller Matching," 2005.
- [10] J. M. Karim, N. Naz, "Computational of Hydrodynamic Characteristics of Ship Using CFD," *International Journal of Material, Mechanical, and Manufacturing*. Vol. 5, No. 4, 2017.
- [11] M.M Bernitsas, D. Ray, and P. Kinley, "KT, KQ and Efficiency Curves For The Wageningen B-Series Propellers," May. 1981.
- [12] G. Dubbioso, R. Muscari, and A. Di Mascio, "Cfd Analysis Of Propeller Performance In Oblique Flow," pp. 298–305, May. 2013.
- [13] R. E. Bensow, "Ocean Engineering," vol. 158, Pp. 162–170, April. 2018.