

STUDI PERANCANGAN KAPAL *HYDROFOIL MONOHULL* UNTUK PENYEBARANGAN PANTAI SANUR – NUSA LEMBONGAN

Tubagus Bintang Ramadhan¹, Deddy Chrismianto¹, Good Rindo¹
S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Email: tbintangr@yahoo.com, deddychrismianto@yahoo.co.id, goodrindo@undip.ac.id

Abstrak

Potensi pulau Bali dalam segi pariwisatanya sangat besar salah satunya adalah pulau Nusa Lembongan yang menjadi tempat favourite bagi wisatawan lokal maupun mancanegara. Oleh karena itu fasilitas penyebrangan untuk menuju Nusa Lembongan dirasa perlu untuk mendukung pariwisata. Kapal hydrofoil salah satu solusi yang tepat untuk mendukung penyebrangan Nusa Lembongan dengan keunggulan hambatan yang kecil dan kecepatan. Konsep dari kapal hydrofoil adalah gaya lift yang terjadi pada foil yang mengakibatkan badan kapal terangkat di atas permukaan air. Dalam perancangan kapal hydrofoil ini, kapal difungsikan untuk mendukung pariwisata di kawasan penyebarangan Pantai Sanur – Nusa Lembongan dengan memperhitungkan lines plan, general arrangement, analisa hydrostatic, stabilitas kapal, olah gerak kapal, penempatan strut, dan yang utama adalah pemilihan foil yang sesuai dengan displacement kapal. Metode perancangan kapal ini menggunakan kapal pembanding sebagai acuan dengan lambung monohull dan menggunakan foil tipe T dan sistem penempatan tandem. Setelah ukuran utama didapat maka akan dianalisa 5 jenis foil NACA yang berbeda untuk mendapatkan lift yang sesuai dan mampu mengangkat badan kapal yang sesuai dengan displacement kapal dengan menggunakan software Ansys CFD. Hasil perhitungan didapat ukuran utama kapal LOA : 23,8 m, B : 5,1 m, H : 3 m, T : 1 m, penumpang : 70 orang. Hydrofoil ditetapkan adalah NACA 632-615 dengan angle of attack 5⁰, strut NACA 0018 simetris dengan tinggi 1 m.

Kata Kunci : Pantai Sanur, Nusa lembongan, *Hydrofoil*, *Foil*, *Lift*, NACA

Abstrak

Potential in terms of tourism island of Bali in a very large one of which is the island of Nusa Lembongan which became the favorite place for local and foreign tourists. Therefore, the facility ferriage towards Nusa Lembongan is necessary to support tourism. Hydrofoil vessel one right solution to support the crossing Nusa Lembongan with the advantages of small resistance and high speed. The concept of a hydrofoil boat is the lift force that occurs on the foil which resulted in the ship's hull was lifted above the water surface. In designing the ship hydrofoil this, the ship functioned to support tourism in the region ferriage Sanur Beach - Nusa Lembongan taking into account the lines plan, general arrangement, analysis hydrostatic, stability of the ship, the motion of the ship, the placement of strut, and the main is the selection of the foil in accordance with displacement ship. The ship design methods is comparator as a reference to the monohull and using foil-type T and tandem placement system After the research, the main measure will be analyzed 5 different types of foil NACA to get fit and able to lift the lifting of the ship in accordance with displacement ship using Ansys CFD software. The calculation result obtained primary measure of vessel LOA: 23.8 m, B: 5.1 m, H: 3 m, T: 1 m, passengers: 70 people. NACA 632-615 hydrofoil is determined by the angle of attack of 5⁰, strut NACA 0018 symmetrical with a height of 1 m.

Keywords: Pantai Sanur, Nusa lembongan, *Hydrofoil*, *Foil*, *Lift*, NACA

1. PENDAHULUAN

Potensi Provinsi Bali dengan adanya beberapa pulau kecil menjadikan Bali sebagai salah satu tujuan utama para wisatawan lokal maupun mancanegara untuk mendatangi Bali, salah satu pulau di Provinsi Bali yang sangat indah dan menjadi tujuan wisatawan adalah Pulau Nusa Lembongan. Jumlah wisatawan berkunjung ke Pulau Nusa Lembongan tiap tahunnya sekitar 200.000 wisatawan asing maupun lokal dan selalu meningkat tiap tahunnya. Daya tarik Pulau Nusa Lembongan, yaitu panorama alam pantai dengan hamparan pasir putih, ombak yang baik untuk berselancar, karang pantai di pesisir barat Nusa Lembongan yang disebut dream beach, hamparan budi daya rumput laut, kehidupan komunitas nelayan, dan dekatnya dengan pulau Ceningan. Wisatawan dapat menuju ke Pulau Nusa Lembongan dengan hanya melalui jalur laut dan hanya dapat menyebrang melalui Tanjung Benoa dan Pantai Sanur, sekitar 1,5 jam dengan jarak 20 km dapat sampai ke Pulau Nusa Lembongan.

Dengan begitu bagus dan besarnya potensi Pulau Nusa Lembongan maka harus ada beberapa sisi yang di perhatikan salah satunya salah penunjang transportasi yang di gunakan untuk ke Pulau Nusa Lembongan ada 2 jenis kapal public boat dan speed boat, tetapi transportasi penyebrangan Pantai Sanur ke Pulau Nusa Lembongan dengan 2 jenis kapal tersebut masih kurang untuk melayani para wisatawan yang dikarenakan kurangnya armada kapal, faktor waktu tempuh, dan faktor kenyamanan dari kapal-kapal yang ada di Pantai Sanur. Perancangan kapal jenis baru untuk penyebrangan Pantai Sanur ke Pulau Nusa Lembongan yang lebih cepat, lebih murah, dan lebih nyaman lagi aman di butuhkan untuk penyebrangan Pantai Sanur ke Pulau Nusa Lembongan.

Kondisi seperti ini membutuhkan kapal penumpang dengan desain baru yang menawarkan kecepatan, kenyamanan, dan harga yang ekonomis bagi para wisatawan yaitu dengan konsep kapal Hydrofoil yang masih sangat sedikit jenis kapal ini di Indonesia. Kapal *Hydrofoil* merupakan salah satu jenis kapal cepat modern yang memiliki sebuah hydrofoil yang terpasang di area bawah lambung kapal yang berfungsi memberi gaya angkat dinamis sehingga badan lambung kapal terangkat ke atas permukaan air.

Oleh karena itu untuk mendapatkan desain kapal yang sesuai dengan keadaan perairan Pantai Sanur ke Nusa Lembongan, maka kapal yang digunakan sebaiknya di rancang kapal *hydrofoil* dengan desain *mono hull*. Alasan pemakaian hydrofoil adalah ketika lambung kapal mulai

terangkat dari air dan berat kapal akan di topang oleh foil sehingga memperkecil luas hambatan yang terjadi akibat gaya gesek antara lambung kapal yang tercelup air, *foil* memberikan efek meningkatkan gaya angkat pada kapal ketika kecepatan di tambahkan. Setelah lambung kapal terangkat dengan kecepatan tertentu akibat perbedaan tekanan pada *hydrofoil* maka kecepatan harus konstan agar badan kapal tetap di atas permukaan air. Kapal *hydrofoil* harus dioperasikan dengan kecepatan yang relatif tinggi yang bertujuan memberikan gaya lift yang diinginkan untuk mengangkat badan lambung kapal. Gaya lift pada *hydrofoil* sangat di pengaruhi oleh bentuk *foil* yang terdapat di bawah kapal. Berdasarkan fenomena ini muncul ide untuk merancang kapal jenis *hydrofoil* sebagai alat transportasi penyebrangan Pantai Sanur ke Nusa Lembongan untuk menjangkau kebutuhan para wisatawan dan juga dapat sebagai daya tarik bagi wisatawan mencoba kapal jenis *hydrofoil* yang lebih cepat, nyaman, dan lebih ekonomis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Nusa Lembongan

Nusa Lembongan merupakan salah satu dari tiga pulau dari Kecamatan Nusa Penida dan pulau terbesar kedua setelah Pulau Nusa Penida. Letak Nusa Lembongan bersebelahan dengan Nusa Ceningan yang dipisahkan oleh Selat Ceningan dan di sebelah Tenggara dengan Nusa Penida yang dipisahkan oleh Selat Toyapkeh.

Secara geografis, Nusa Lembongan terletak antara 8°3'43" LS - 8°41'43" dan 115°25'36" BT - 115°28'20" BT. Nusa Lembongan terbagi atas dua desa yaitu Desa Nusa Lembongan dan Desa Jungutbatu, termasuk kedalam kecamatan Nusa Penida, Kabupaten Klungkung, Provinsi Bali.

2.2. Gambaran Umum *Hydrofoil*

Hydrofoil adalah sebuah kapal dengan bagian seperti sayap yang dipasang pada penyangga di bawah lambung kapal. Ketika kapal meningkatkan kecepatannya, *hydrofoil* memproduksi gaya angkat sehingga lambungnya terangkat dan keluar dari air.

Pada dasarnya kapal jenis *hydrofoil* ini sama dengan kapal konvensional pada umumnya, seperti saat kecepatan rendah kapal *hydrofoil* sama seperti konvensional badan kapal tercelup air dan pada bagian hull sama persis dengan kapal konvensional pada umumnya yang sangat membedakan adalah

terdapatnya foil yang berbentuk seperti sayap pesawat terdapat pada bawah lambung kapal tersebut yang berguna untuk memberikan gaya angkat pada kapal tersebut dengan menggunakan foil tersebut dengan kecepatan dan sudut serang tertentu.

Foil yang dipergunakan oleh kapal jenis ini sama dengan dengan *foil* yang terdapat pada pesawat terbang (*airfoil*) dan bisa di bilang berprinsip kerja sama pada pesawat terbang. *Foil* pada kapal berprinsip kerja dengan cara perbedaan tekanan yang diakibatkan oleh gesekan foil dengan air yang menyebabkan perbedaan tekanan pada kedua sisi *foil* tersebut (atas dan bawah) sehingga *foil* tersebut dapat membuat gaya angkat yang berakibat badan kapal tersebut naik hingga tidak menyentuh air, tetapi harus dengan kecepatan tertentu.

2.3. Komponen Kapal Hydrofoil

Pada perancangan kapal *hydrofoil* pada dasarnya sama dengan perancangan kapal jenis konvensional yang memembedakan adalah terdapatnya foil atau sayap di bawah lambung kapal. Terdapat dua pasang *foil* dalam kapal ini, satu *foil* di letakan pada titik pusat gravitasi kapal dan yang satunya di tempatkan di belakang foil pertama biasanya di letakan di belakang badan kapal.



Gambar 1. Komponen utama *hydrofoil*

Dalam perancangan *hydrofoil* ini ada beberapa komponen-komponen utama pada kapal *hydrofoil*, yaitu :

- *Rear Foil*
Foil yang terletak pada bagian belakang kapal, biasanya sejajar dengan *propeller* kapal.
- *Propeller*
Propeller untuk kapal jenis *hydrofoil* berbeda dengan kapal-kapal konvensional, *propeller* kapal ini berada di bawah lambung kapal dan sejajar dengan *foil*.
- *Propeller shaft*

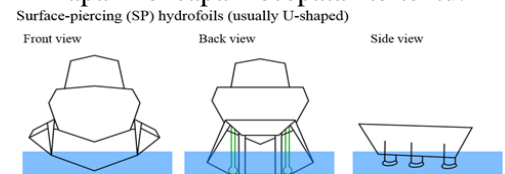
Propeller shaft atau poros *propeller* pada kapal jenis *hydrofoil* menyesuaikan dengan *propeller* kapal.

- *Surface – piercing foils*
Penyebutan untuk kapal *hydrofoil* dengan menggunakan sistem *foil* berbentuk U, untuk *hydrofoil* berbentuk T disebut *Fully submerged*.
- *Strut*
Strut merupakan penopang *foil* dengan badan kapal.
- *Front Foil*
Foil yang di pasang di bagian depan.

2.4. Jenis Hydrofoil

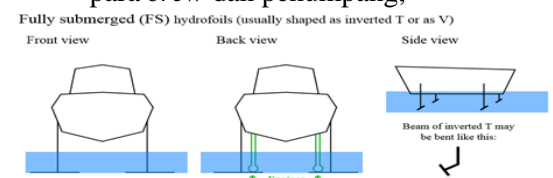
Adapun jenis-jenis kapal *hydrofoil* berdasarkan bentuk peletaknya, diantaranya:

- *Hydrofoil* berbentuk U
Hydrofoil pada jenis ini menggunakan *foil* berbentuk U. *Hydrofoil* ini dikenal sebagai “permukaan – *piercing*” karena bagian-bagian pada *hydrofoil* tipe U ini akan naik keatas permukaan air ketika kapal mencapai kecepatan tertentu.



Gambar 2. *Hydrofoil* bentuk U

- *Hydrofoil* berbentuk T
Menggunakan bentuk *foil* T terbalik yang sepenuhnya terbenam di bawah air. *Hydrofoil* jenis ini kurang tunduk terhadap efek aksi gelombang, karena itu menjadikan kapal lebih stabil di laut dan lebih nyaman bagi para *crew* dan penumpang,



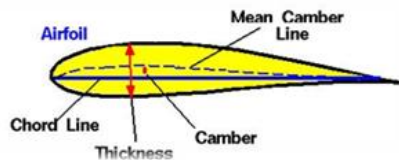
Gambar 3. *Hydrofoil* bentuk T

2.5. Karakteristik Foil NACA

NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) *airfoil* adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis

sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi airfoil. Geometri *airfoil* memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter penting berupa CL, dan kemudian akan terkait dengan *lift* (gaya angkat yang dihasilkan). Terdapat bagian-bagian penting pada *foil*, yaitu :

- Permukaan atas (*Upper Surface*)
- Permukaan bawah (*Lowerer Surface*)
- *Mean camber line* adalah tempat kedudukan titik-titik antara permukaan atas dan bawah *airfoil* yang diukur tegak lurus terhadap *mean camber line* itu sendiri.
- *Leading edge* adalah titik paling depan pada *mean camber line*, biasanya berbentuk lingkaran dengan jari-jari mendekati 0,02 c.
- *Trailing edge* adalah titik paling belakang pada *mean camber line*
- *Camber* adalah jarak maksimum antara *mean camber line* dan garis *chord* yang diukur tegak lurus terhadap garis *chord*.
- Ketebalan (*thickness*) adalah jarak antara permukaan atas dan permukaan bawah yang diukur tegak lurus terhadap garis *chord*.



Gambar 4. NACA Airfoil Geometry

2.6. Jenis – Jenis Foil NACA

- NACA Seri 4 Digit
- NACA Seri 5 Digit
- NACA Seri-1 (Seri 16)
- NACA Seri 6
- NACA Seri 7
- NACA Seri 8

2.7. Dasar Teori Hydrofoil

Gaya aerodinamis total *foil* pada umumnya terdiri dari dua komponen, yakni gaya *drag* dan gaya *lift*. Gaya *lift* (L) merupakan komponen gaya fluida pada *hydrofoil* yang tegak lurus arag gerakan.

Berdasarkan analisa dimensi bentuk persamaan lift adalah sebagai berikut :

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 A_p C_L \tag{1}$$

Dimana :

- L : Gaya lift
- P : massa jenis fluida
- CL : koefisien lift
- V : kecepatan fluida
- AP : plan area (S)

Gaya *drag* (D) adalah gaya aliran yang bekerja pada *hydrofoil* yang sejajar dengan arah gesekan. Berdasarkan analisis dimensi bentuk persamaan drag adalah sebagai berikut :

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 A_p C_D \tag{2}$$

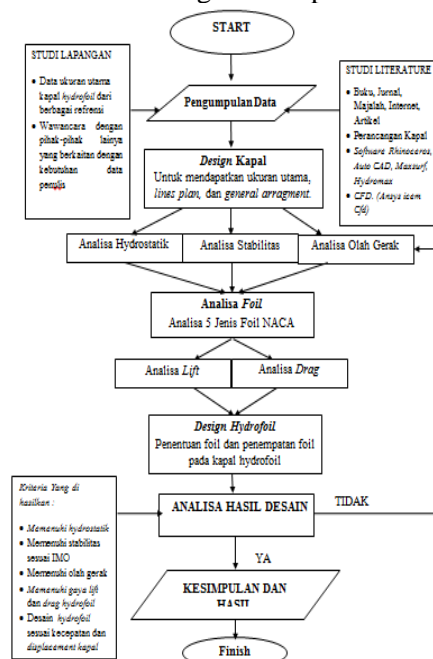
Dimana :

- L : Gaya drag
- P : massa jenis fluida
- CD : koefisien drag
- V : kecepatan fluida
- Ap : plan area (S)

3. Metodologi Penelitian

Metodelogi yang digunakan dalam perancangan ini adalah dengan simulasi komputasi yang menggunakan bantuan *software* untuk perhitungan dari perancangan kapal.

Berikut daigram alir penelitian :



Gambar 5. Diagram alir

4. Perhitungan dan Analisa Data

4.1. Lokasi Pelayaran

Berdasarkan data hidrologi di dapatkan di daerah yang akan beroperasi kapal di perairan selat Badung yang memisahkan pulau Bali dengan Nusa Lembongan

Tabel 1. Data perairan Pantai Sanur – Nusa Lembongan

No	Item	Ukuran
1	Radius Pelayaran (Pantai Sanur - Junggutbatu Lembongan)	140 Seamils (PP) 5 - 26
	Kecepatan Angin	knot/jam
3	Tinggi Gelombang	0,5 - 1,5 m
4	Kecepatan Gelombang	1 - 2 knot
5	Periode Gelombang	2,2 - 8,9 detik

4.2. Perencanaan Perancangan

Tabel 2. Parameter Perancangan

Bentuk Lambung	Monohull
Sarat Kapal	0,6-1,5 meter
Jarak Pelayaran	140 seamiles
Material Kapal	Baja
Jumlah Penumpang	60 - 70
Kecepatan Kapal	50 Knot

Tabel diatas adalah parameter dalam rancangan kapal *hydrofoil*.

4.3. Kapal Pemanding

Dalam penentuak ukuran uatama kapal digunakan metode regresi dengan kapal pemanding :

Tabel 3. Kapal Pemanding

Nama kapal	L	B	H	T	Passanger
Valdai 45 R	21,3	5,2	2,6	1,2	45
Polosye Raketa	21,35	5	2,5	1,21	53
Type	22,7	4,4	2,9	0,8	66
Wasrock Type	25,87	4,4	3,1	0,67	94
Vokshood-2	27,6	6,4	3,8	1,2	71

Data diatas diambil dari berbagai sumber, dan ukuran yang mendekati dengan kapal yang dirancang.

4.4 Penentuan Ukuran Utama Kapal

Dari harga oerbandingan kapal yang tertera diatas dapat diketahui minimal dan maksimal perbandingan ukuran utama kapal pemanding. Didapatkan ukuran utama kapal sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{LOA} &= 23,8 \text{ m} & \text{B} &= 5,1 \text{ m} \\ \text{H} &= 3 \text{ m} & \text{T} &= 1 \text{ m} \end{aligned}$$

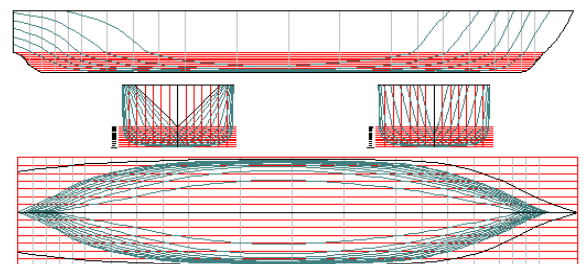
Sesuai dengan tabel kapal pemanding pada tabel.3.

4.5. Lines Plan

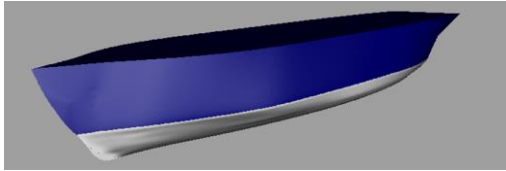
Berikut adalah data *lines plan* kapal yang direncanakan yang dibuat dengan pembagian jarak *station*, *waterline* dan *buttock line* kapal sebagai berikut :

Tabel 4. jarak *station*, *waterline* dan *buttock line*

Station	Jarak (m)	WL	Jarak (m)	BL	Jarak (m)
0	0	0	0	1	0,375
0,25	0,6	1	0,1	2	0,75
0,5	1,19	2	0,2	3	1,125
0,75	1,79	3	0,3	4	1,5
1	2,38	4	0,4	5	1,875
1,5	3,57	5	0,5		
2	4,76	6	0,6		
2,5	5,95	7	0,7		
3	7,14	8	0,8		
4	95,2	9	0,9		
5	11,9	10	1		
6	14,28				
7	16,66				
7,5	17,85				
8	19,04				
8,5	20,23				
9	21,42				
9,25	22,02				
9,5	22,61				
9,75	23,21				
10	23,8				



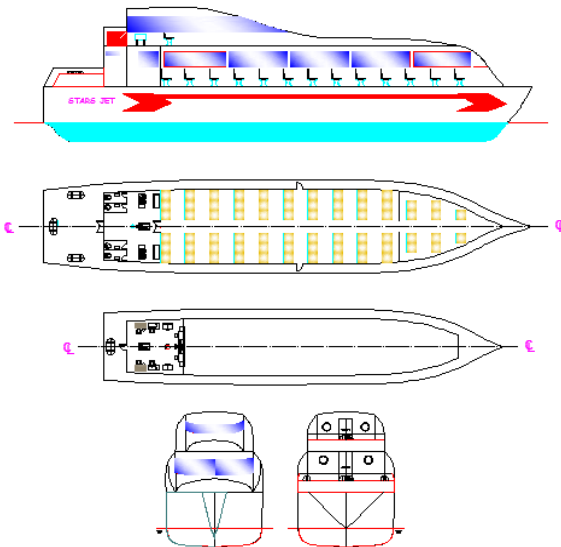
Gambar 5. Lines Plan



Gambar 6. Hull 3D

4.6 General Arragment

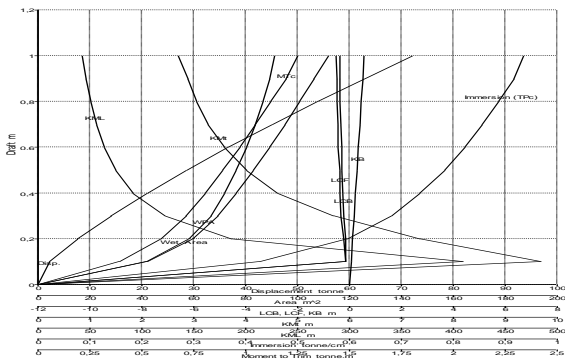
General Arragment digunakan untuk memudahkan penataan ruangan – ruangan yang dibutuhkan dikapal.



Gambar 7. General Arragment

4.7 Hydrostatic kapal

Hasil analisa hydrostatic kapal adalah , displacment = 72,312 ton, Cb = 0,57, Cm = 0,86, CP = 0,66 dan LCB = 0,344



Gambar 8. Hydrostatic Curve

4.8 Stabilitas kapal

Analisa stabilitas kapal hydrofoil yangdianalisa saat kapal masih diair dan belum terangkat dari permukaan air.

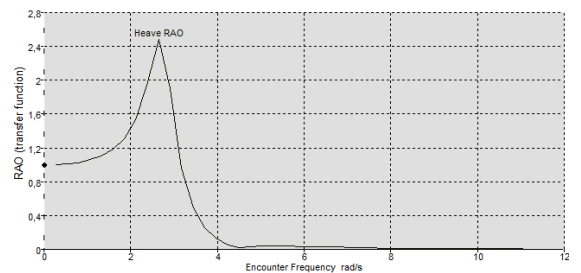
Tabel 5. Hasil analisa satabilitas kapal tiap-tiap kondisi standart IMO

code	IMO						
	min	k1	k2	k3	k4	k5	k6
Area 0°-	3,151						
30°	m.deg	25,64	25,06	25,55	25,65	25,68	26,39
Area 0°-	5,157						
40°	m.deg	41,29	40,15	40,77	40,86	40,88	41,76
Area	1,719						
30°-40°	m.deg	15,64	15,09	15,22	15,2	15,2	15,36
Max							
GFZ							
30°/Grtr	0,2 m	1,96	1,86	1,85	1,84	1,83	1,81
Angle of	25,0						
Max GZ	deg	71	70	71	71	71	73
	0,15						
GFM0	m	3,96	3,91	4,04	4,08	4,09	4,3
Status =		Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

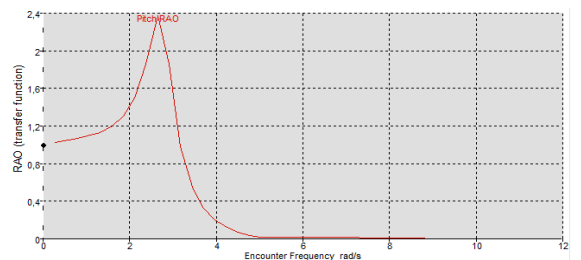
4.9 Olah Gerak kapal

Analisa olah gerak kapal hydrofoil yangdianalisa saat kapal masih diair dan belum terangkat dari permukaan air.

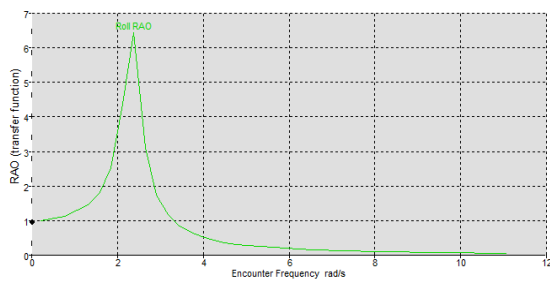
Respon gerakan kapal terhadap gelombang regular dinyatakan dalam RAO (Response Amplitudo Operator), dimana RAO adalah rasio antara amplitudo gerakan kapal (baik translasi maupun rotasi) terhadap amplitudo gelombang pada frekuensi tertentu. Metode untuk menghitung nilai RAO pada penelitian ini menggunakan software Maxsurf Seakeeper. Berikut grafik RAO hasil analisa Heave, Pitch dan Roll .



Gambar 9. Grafik RAO heave 180 deg



Gambar 10. Grafik RAO pitch 180 deg



Gambar 11. Grafik RAO roll 90 deg

Nilai RMS disetiap keadaan gelombang sebagai berikut :

Tabel 6. Nilai RMS digelombang 1,5 m .

RMS	deg			Criteria NORDFORSK
	90	135	180	
RMS vert. accel at FP (g)	0,02	0,42	0,62	0.65 (g)
RMS vert. accel at bridge (g)	0,02	0,25	0,36	0.275 (g)
RMS of roll (deg)	15	5,5	0	4 (deg)

Tabel 7. Nilai RMS digelombang 1 m

RMS	deg			Criteria NORDFORSK
	90	135	180	
RMS vert. accel at FP (g)	0,01	0,21	0,21	0.65 (g)
RMS vert. accel at bridge (g)	0,01	0,12	0,11	0.275 (g)
RMS of roll (deg)	19,06	2,2	0	4 (deg)

Tabel 8. Nilai RMS digelombang 0,5 m

RMS	deg			Criteria NORDFORSK
	90	135	180	
RMS vert. accel at FP (g)	0	0,01	0,01	0.65 (g)
RMS vert. accel at bridge (g)	0	0,01	0,006	0.275 (g)
RMS of roll (deg)	6,64	0,05	0	4 (deg)

4.10 Penentuan Foil

Analisa foil NACA dilakukan dengan 5 seri NACA yang berbeda agar mengetahui setiap seri NACA. Untuk penentuan foil dengan L/D yang maksimal. Analisa 5 seri foil dilakukan dengan angle of attack 0^0 dan kecepatan 25 Knot.

Tabel 9. Hasil analisa 5 tipe foil NACA

Tipe Foil	Drag [N]	Lift Force [N]
18	1513,01	34,972
23018	1310,47	12021,2
632-615	1309,58	42163,4
747A415	1244,27	21090
16-012	1162,53	172,261

Tabel 10. Perbandingan lift (L) dengan drag (D) pada angle of attack 0 derajat

Tipe Foil	L/D
NACA 0018	0.02311419
NACA 23018	9.173197402
NACA 632-615	32.19612395
NACA 747A415	16.94969741
NACA 16-012	0.148177681

Dari hasil analisa perbandingan L/D maka dipilih NACA 632-615 seri 6 yang akan digunakan sebagai hydrofoil dengan parameter L/D terbesar.

4.11 Analisa Angle Of Attack NACA 632-615

Analisa Angle Of Attack dilakukan untuk mencari sudut serang foil yang sesuai dengan kebutuhan gaya angkat pada kapal.

Tabel 11. Hasil analisa dengan Ansys pada tiap sudut

Angle of attack	Drag [N]	Lift Force [N]	L/D
0^0	1309,58	42163,4	32,196124
5^0	2210,94	95021,9	42,978055
10^0	5697,53	120497	21,148989
15^0	20928,6	109816	5,2471737
20^0	31808,6	115908	3,6439202

Dari hasil analisa didapatkan L/D pada setiap angle Of Attack yang terdapat pada tabel dapat kita ketahui nilai L/C maksimal terdapat pada sudut 5^0 .

4.12 Perancangan Hydrofoil

4.12.1 Penempatan Hydrofoil

Titik berat kapal yang diperoleh menjadi acuan untuk menempatkan letak foil dibawah kapal. Maka dengan rumus berikut dapat ditentukan peletakan hydrofoil

$$L1 + L2 = W$$

$$L1 \cdot X1 = L2 \cdot X2$$

Dimana :

$$L1 = \text{Lift Force foil 1}$$

$$L2 = \text{Lift Force foil 2}$$

$$X1 = \text{Jarak foil 1 ke titik berat kapal}$$

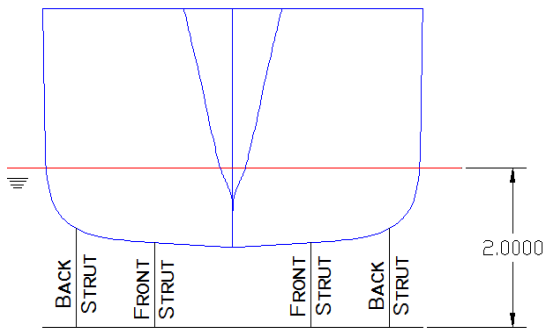
$$X2 = \text{Jarak foil 2 ke titik berat kapal}$$



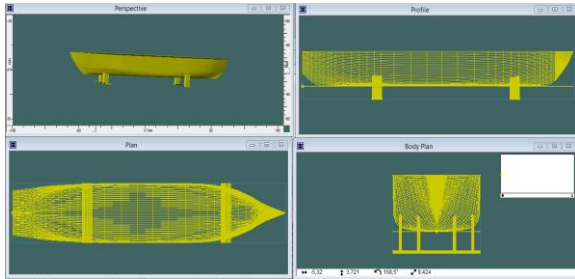
Gambar 12 Peletakan Foil

4.12.2 Strut

Strut merupakan penopang foil dengan badan kapal. Design tinggi strut dan draft kapal harus lebih tinggi dari tinggi gelombang. Dengan tinggi gelombang sesuai data adalah 1,5 meter dengan draft kapal 1 meter maka strut di design setinggi 1 meter. Strut menggunakan NACA seri 4 simetris 0018.



Gambar 13 Design Strut



Gambar 14 Design kapal

4.12.3 Perhitungan kebutuhan foil

Dari analisa hidrostatis pada delftship didapat displacment kapal 72,312 Ton. Sehingga dibutuhkan *hydrofoil* yang dapat mengangkat kapal dengan displacment sebesar 72,312 Ton.
 72,312 Ton = 709,38 Kilonewton = 709380 Newton

Dimana 1 Ton = 9,81 kN

Model pembebanan pada *foil* menggunakan susunan tandem yang berarti *foil* bagian belakang dan depan mempunyai distribusi beban yang sama, dengan begitu *hydrofoil* direncanakan 2 buah. Artinya $709380 \text{ N} / 2 = 354690 \text{ N}$ untuk setiap *hydrofoil*. *Hydrofoil* dirancang dengan panjang sama dengan lebar kapal.

Dari hasil analisa ansys nilai CL/CD terbesar adalah dengan *angle of attack* 5° . Maka ditentukan *angle of attack* 5° . Maka AP yang dibutuhkan

$$AP = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot CL} \quad (3)$$

Dimana :

$$L = 354690 \text{ N}$$

$$P = 1,025 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 50 \text{ knot} = 25.7222 \text{ m/s}^2$$

$$CL = \text{Coeficent lift} = 10.6$$

$$AP = \text{Area Plan. (dengan panjang 5,1 m)}$$

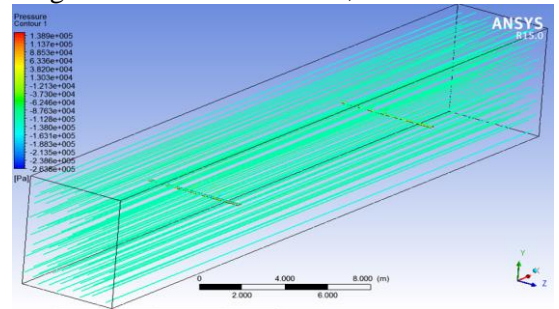
$$5,1 \times S = \frac{354690}{\frac{1}{2} \cdot 1,025 \cdot 25,72^2 \cdot 10,6}$$

$$S = 1 \text{ m}$$

Maka *hydrofoil* 2 buah dengan panjang 5,1 meter dan permukaan 1,5 meter sehingga gaya *lift* sama dengan displacment kapal sehingga dapan menopang berat kapal.

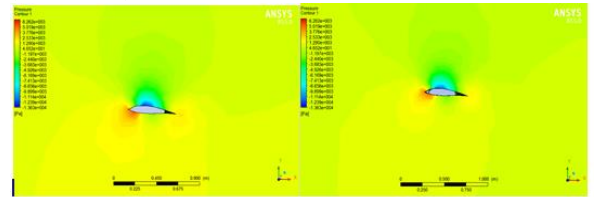
4.12.4 Analisa Foil Hasil Perhitungan

Hasil analisa Ansys dengan *Foil* NACA 632-615 dengan dimensi box 30m x 5,1m x 6m.

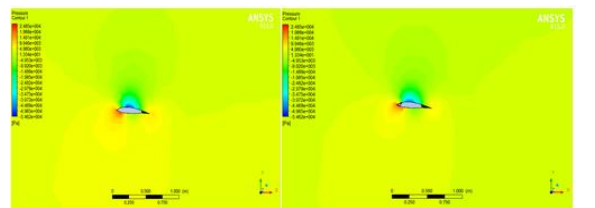


Gambar 15 Countour NACA 632-615

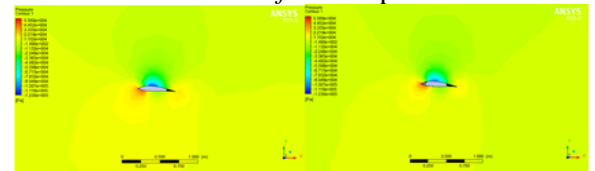
Analisa 2 foil NACA 632-615 dengan kecepatan 50 knot memperoleh hasil *lift* 744216 N. Berikut hasil analisa NACA 632-615 dengan *angle of attack* 5° dengan kecepatan 10 Knot, 20 Knot, 30 Knot, 40 Knot dan 50 Knot.



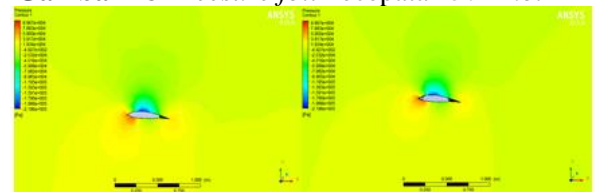
Gambar 16 Preesure foil kecepatan 10 Knot



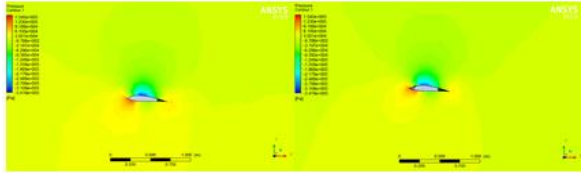
Gambar 17 Preesure foil kecepatan 20 Knot



Gambar 18 Preesure foil kecepatan 30 Knot



Gambar 19 Preesure foil kecepatan 40 Knot



Gambar 20 Pressure foil kecepatan 50 Knot

Tabel 12. Lift force di kecepatan 10 Knot, 20 Knot, 30 Knot, 40 Knot, 50 Knot

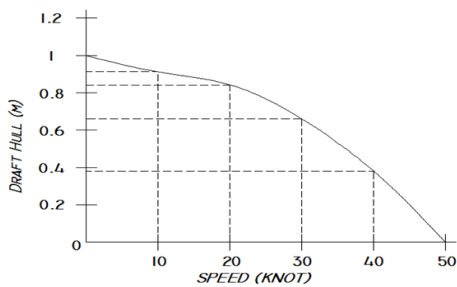
Knot	Lift [N]	Drag [N]
10	30755	5587
20	122662	22183,2
30	275630	49731,4
40	489114	88261,5
50	744216	137618

4.13 Draft Kapal Pada Tiap Kecepatan

Menggunakan *maxsurf* untuk mendapatkan nilai *draft* hasil analisa gaya lift pada tiap kecepatan, dengan memasukan nilai *displacement*.

Displacement tiap kecepatan didapatkan dari *displacement* srat penuh dikurangi *displacement* hasil gaya lift *hydrofoil*.

Tabel 13. Draft tiap kecepatan



Gambar 21 Grafik Draft Hull di tiap kecepatan

4.14 Resistance Kapal Hydrofoil

Perhitungan analisa hambatan kapal *hydrofoil* menggunakan *hydromax* untuk lambung kapal dan *ansys* untuk analisa *hydrofoil* yang di analisa di tiap kecepatan.

Tabel 14. Draft Hydrofoil

Knot	Drag (Kn)
10	5.587
20	22.183
30	49.731
40	88.261
50	137.618

Perhitungan analisa hambatan lambung kapal menggunakan *software hydromax hullspeed* yang dianalisa di tiap tiap sarat kapal akniat gaya lift.

Tabel 15. Hambatan kapal pada tiap tiap draft hasil gaya lift foil

Knot	Draft Hull	Resistance (kN)
0	0	0
10	0.94	13.12
20	0.82	61.05
30	0.66	58.32
40	0.38	51.98
50	0	0

Tabel 16. Hambatan hasil penambahan *strut*, *foil* dan *hull* di tiap *draft*

Knot	Resistance (kN)
0	0
10	18.707
20	83.230
30	108.051
40	140.241
50	137.618

4.15 Stabilitas Kapal Hydrofoil

4.15.1 Stabilitas Kapal Saat Di Air

Knot	Lift Foil (Ton)	Displacement - Lift foil	Draft
10	3.135066259	69.16493374	0.94
20	12.50377166	59.80822834	0.82
30	28.09683996	44.21516004	0.66
40	48.9587156	22.4532844	0.38
50	75.86299694	Kapal terangkat	Kapal terangkat

Perhitungan stabilitas kapal *hydrofoil* menggunakan regulasi dari *Germanischer Lloyd*. Dimana untuk stabilitas kapal di air menggunakan *section 2.3* dan *Annex 8 Stability of Monohull Craft* dengan sudut maksimum GZ 30° atau lebih area dibawah kurva GZ tidak kurang dari 0,055 m.rad, dengan hasil :

Tabel 17. Luasan area dibawah kurva GZ

Kondisi	GZ (deg)	GZ (m)	A (m.rad)
1	71	1.869	1.56
2	70	1.869	1.49
3	71	1.855	1.56
4	71	1.841	1.56
5	71	1.839	1.56
6	73	1.817	1.73

4.15.2 Stabilitas Kapal Saat Diatas Air

Perhitungan stabilitas kapal *hydrofoil* saat diatas air menggunakan *Annex 6 : Stability of Hydrofoil Craft*. Sesuai dengan *Annex 6 Stability*

of Hydrofoil maka, *Heeling moment* saat ber-manouvr dari kapal dalam perpindahan *displacement* didapat dengan rumus :

$$M_R = 0,196 \cdot \frac{V_0^2}{L} \cdot \Delta \cdot KG \quad (kN \cdot m) \quad (4)$$

Dengan rumus tersebut didapatkan nilai *heeling moment* :

Tabel 18. Nilai M_R ditiap kecepatan

Speed (knot)	MR (kN.m)
30	141.84
40	252.17
50	394.01

Heeling moment yang diakibatkan oleh tekanan angin didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$M_V = 0,001 P_V A_V Z \quad (kN \cdot m) \quad (5)$$

Dengan rumus tersebut didapat :

$$M_V = 82,64 \quad kN \cdot m$$

Stabilitas kapal *hydrofoil* dpat diperiksa dengan memenuhi kriteria K sebagai berikut :

$$K = \frac{M_C}{M_V} \geq 1 \quad (6)$$

Maka dengan rumus tersebut didapatkan nilai K adalah 1,6 , hasil ka sesuai dengan kriteria K tersebut dengan hasil yang lebih besar atau sama dengan 1.

5. Kesimpulan

Hasil dari penelitian yang dilakukan oleh penulis yaitu perancangan kapal *hydrofoil* yang difungsikan sebagai sarana transportasi penyebrangan untuk mendukung pariwisata di Nusa Lembongan maka dapat disimpulkan beberapa informasi teknis sebagai berikut :

1. Dengan metode regresi dengan kapal pembanding, didapatkan ukuran utama kapal yaitu LPP = 23,8 m, B = 5,1 m, H = 3 m, T= 1 m.
2. Hasil perhitungan *hydrostatic* kapal *hydrofoil* mempunyai , pada *main hull* memiliki *displacement* = 72,312 ton, Cb = 0,57, Cm = 0,86, CP = 0,66 dan dengan berat DWT = 6,11 ton. Hasil analisa stabilitas menunjukan bahwa kapal

memiliki GZ maksimum terjadi pada kondisi 1 dengan nilai 1,96 m dan nilai MG terbesar pada kondis 1 dengan 3,96 m.

3. Foil yang digunakan adalah NACA 632 – 615 dengan panjang *cord* 0,519 dengan *angle of attack* 5⁰. *Hydrofoil* dengan tipe T terbalik dirancang denga lebar 5,1 m, *strut* menggunakan NACA 0018 dengan tinggi 1 m. Foil diletakan pada kapal dengan sistem *tandem*. Setiap tipe Foil NACA memiliki karakteristik masing-masing dalam hal CL dan CD, *Angle of attack* sangat berpengaruh terhadap gaya *lift* dan gaya *drag* tiap foil.
4. Sesuai dengan Germanischer Lloyd, stabilitas kapal *hydrofoil* memenuhi Annex 8 Stability of Monohull Craft dan Annex 6 Stability of Hydrofoil dengan nilai MR = 394,01 kN.m, Mv = 82,64 kN.m, K = 1,6.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ellsworth, W.M. and O'Neill, W.C."The U.S. Navy Hydrofoil Development ProgrD V hHilbrone. (1960). The Hydro-elastic Stability of Hydrofoil Struts The-Hydro-elastic Stability of Hydrofoil Struts, 3172(3172).
- [2] Germanischer Lloyd SE. (2008). Rules for classification and construction – ship technology.
- [3] Ii, B. A. B., & Pustaka, T. (n.d.). Pengertian pesawat terbang juga.
- [4] Iqbal, M., Rindo, G., Perkapalan, J. T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2015). Optimasi bentuk demihull kapal katamaran untuk meningkatkan kualitas, 12(1), 19–24.
- [5] Madnia, C. K. (2010). *Review of "Fundamentals of Aerodynamics."* AIAA Journal (Vol. 48).
- [6] May, D. M., Jones, S. J., & Crockard, H. a. (1996). Somatosensory evoked potential monitoring in cervical surgery: identification of pre- and intraoperative risk factors associated with neurological deterioration. *Journal of Neurosurgery*,

- [7] Purwanto, D. B., Hantoro, R., Aria, I. K., & Utama, P. (n.d.). Kajian Perbaikan Performansi Pada Hydrofoil Kapal Cepat Dengan Penambahan Sirip Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD), (1).
- [8] Seribu, K. (n.d.). STUDI PERANCANGAN HYDROFOIL KAPAL PENUMPANG UNTUK, 3(1), 28–38.
- [9] Slamet, A. S., & Suastika, K. (2012). Kajian Eksperimental Pengaruh Posisi Perletakan Hydrofoil Pendukung Terhadap Hambatan Kapal, 1(1), 1–4.
- [10] Warren, C. H. E. (1953). A Theoretical Approach to the Design of Hydrofoils Theoretical Approach to the Design of Hydrofoils, (2836).