

# Desain *Multi-Purpose Research Vessel* (MPRV) dengan Penggerak Tambahan *Flettner Rotor Sail* untuk Perairan Indonesia

Dzaky Zamzam Riyadhi, dan Hesty Anita Kurniawati  
 Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail: tita@na.its.ac.id*

**Abstrak**—Indonesia merupakan negara yang memiliki wilayah laut yang sangat luas. Dengan luasnya laut Indonesia, dibutuhkan usaha untuk mengelolanya agar dapat memaksimalkan potensi yang dimiliki oleh laut Indonesia, yang salah satunya adalah riset kelautan. Mulai tahun 2020, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) akan memulai sebuah program bernama *Foresight Riset Kelautan* yang akan menjadi ujung tombang pemerintah dalam melakukan riset-riset kelautan di laut Indonesia yang selama ini terbengkalai. Akan tetapi, saat ini LIPI hanya memiliki dua kapal riset kelautan, yang bahkan dalam kondisi yang memprihatinkan. Untuk memecahkan masalah tersebut, pembuatan kapal riset dengan teknologi terbaru sarana yang efektif dalam meningkatkan kualitas penelitian di bidang kelautan. Hasil dari desain MPRV ini mendapatkan ukuran utama LOA : 96.47 m, LWL :93.6 m, LPP : 90 m, B : 17.5 m, H : 9 m, T : 5.2 m. MPRV diproyeksikan untuk beroperasi di Laut Sulawesi, dengan mempertimbangkan kecepatan angin dan tinggi ombak yang ada. Kapasitas orang didalam kapal adalah 54 orang dengan 24 awak, 24 peneliti, dan 6 *technical support*. Kapal ini menggunakan dua mesin motor penggerak dengan daya sebesar 1342 kW sebanyak dua buah dan *Flettner Rotor Sail* dengan dimensi R : 3 m dan H : 18 + 2 m (fondasi) dengan daya mesin sebesar 55kW, putaran maksimum 250 RPM, dan *Thrust Flettner Rotor Sail* maksimum sebesar 100 kN. Biaya yang dibutuhkan untuk membangun MPRV adalah Rp 75,753,395,934.

**Kata Kunci**—*Flettner Rotor Sail*, LIPI, *Multi-Purpose Research Vessel*, Riset Kelautan.

## I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan negara maritim yang memiliki memiliki gelar sebagai negara maritim terbesar di dunia. Indonesia memiliki luas laut lebih dari 3.25 juta km<sup>2</sup> dan memiliki kondisi geografis laut yang beraneka ragam. Pada awal tahun 2019, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) menyatakan bahwa sampai dengan Maret 2019, perkiraan kasar nilai potensi laut Indonesia mencapai 1.772 triliun rupiah. Dengan besarnya potensi laut Indonesia, dibutuhkan pengelolaan yang baik untuk memaksimalkan potensi tersebut. Menurut Kepala LIPI, Laksana Tri Handoko, riset berperan penting dalam memberikan landasan pengelolaan laut secara berkelanjutan.

Berdasarkan sejarah, riset laut Indonesia pertama kali dilakukan oleh pada tahun 60-an menggunakan KRI. *Jalanidhi* yang merupakan rampasan perang yang diserahkan kepada Pemerintahan RI. Kapal tersebut ditujukan penggunaannya untuk otoritas sipil, yaitu Majelis Ilmu Pengetahuan Indonesia (MIPI).

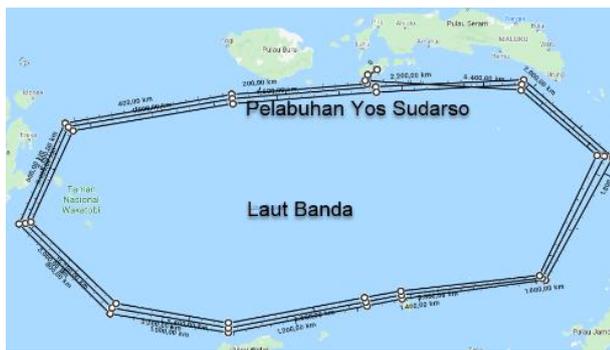
Saat ini, Indonesia merupakan salah satu negara yang tertinggal dalam pengembangan riset. Karenanya, pemerintah

Tabel 1.  
 Karakteristik kapal riset menurut UNOLS

<i>Requirement</i>	<i>Parameter</i>
<i>Accommodations</i>	<i>Accommodations</i>
<i>habitability</i>	<i>Habitability</i>
<i>Operational characteristic</i>	<i>Endurance</i>
	<i>Range</i>
	<i>Speed</i>
	<i>Seakeeping</i>
	<i>Station keeping</i>
	<i>Track line following</i>
	<i>Ship control</i>
	<i>Ice strengthening</i>
<i>Over-the-side and weight handling</i>	<i>Winches, wires, frames, and cranes</i>
	<i>Towing</i>
<i>Science working spaces</i>	<i>Working deck</i>
	<i>Laboratories</i>
	<i>Vans</i>
	<i>Storage</i>
	<i>Science load</i>
	<i>Workboats</i>
	<i>Masts</i>
	<i>On deck incubations</i>
	<i>Marine mammal and bird observation</i>
<i>Science and shipboard systems</i>	<i>Navigation</i>
	<i>Data network and onboard computing</i>
	<i>Real time acquisition</i>
	<i>Comms – internal</i>
	<i>Comms – external</i>
	<i>Underway data collection and sampling</i>
	<i>Acoustic systems</i>
	<i>Visiting science systems</i>
	<i>Discharges</i>
<i>Construction, operation, and maintenance</i>	<i>Maintainability</i>
	<i>Operability</i>
	<i>Life cycle costs</i>
	<i>Regulatory issues</i>

Indonesia mulai fokus untuk mengembangkan riset kelautan, khususnya pemetaan wilayah laut, dengan target membangun teknologi kelautan yang belum dimiliki oleh Indonesia. Salah satu pihak yang terlibat adalah LIPI.

LIPI sebagai salah satu lembaga riset negara mencanangkan beberapa program untuk mendukung riset kelautan pemerintah, salah satunya adalah *Foresight Riset Kelautan 2020-2035*, di mana beberapa lokasi yang akan diteliti adalah Laut Banda, Laut Sulawesi, Laut Halmehara, utara Pulau Biak, dan Laut Selatan. Pada saat ini LIPI hanya memiliki dua kapal yang aktif melakukan riset, yaitu KR. Baruna Jaya VIII dan KR. Baruna Jaya VII, yang bahkan kondisi KR. Baruna Jaya VII sudah tidak layak untuk melakukan penelitian .



Gambar 1. Peta pelayaran kapal riset yang dilakukan di Laut Banda yang dimulai dari dari Pelabuhan Yos Sudarso dan berakhir di tempat yang sama.

Tabel 2.

Data tinggi gelombang dan kecepatan angin			
Laut	Tinggi Ombak	Tinggi Ombak	Kecepatan Angin Rata-Rata (knot)
	Rata-Rata (m)	Maksimum (m)	
Sulawesi	1.332	3.272	6.668
Banda	1.908	4.57	11.18
Halmahera	1.703	3.38	7.798
Utara P. Biak	1.731	3.648	7.728

Tabel 3.

Ukuran utama awal kapal	
LPP	95 m
Lebar	17.5 m
Tinggi Sarat	9.5 m
Vs	7.2 m
	15 knot

Dikarenakan kurangnya kapal riset, perlu didesain sebuah *Multi-Purpose Research Vessel (MPRV)* dengan menggunakan diesel generator yang dibantu oleh *Flettner Rotor Sail* sebagai penggerak tambahan. Dengan adanya *Flettner Rotor Sail* ini, dampaknya adalah menghemat penggunaan bahan bakar fosil untuk menghasilkan teknologi yang ramah lingkungan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Pendekatan Desain

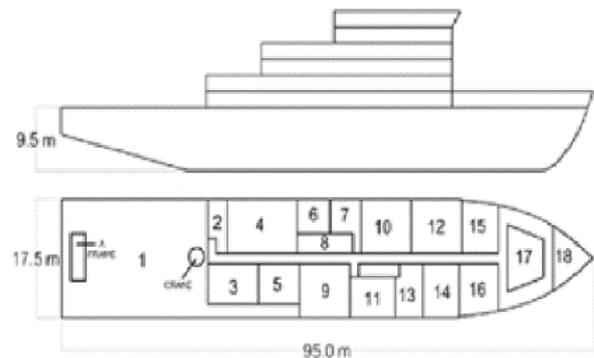
Dalam mendesain kapal, digunakan teknik *spiral design* yang berupa alur melingkar yang bertujuan menghasilkan desain kapal yang baik dan optimal. *Spiral design* terbagi menjadi 4 tahapan, yaitu *concept design*, *preliminary design*, *contract design*, dan *detail design* [1].

### B. Kapal Riset

Secara umum, kapal riset adalah kapal yang mempelajari dan menganalisa secara detail mengenai lautan untuk berbagai hal. Konstruksi dan struktur kapal biasanya disesuaikan dengan kegiatan operasional yang akan dilakukan. Biasanya, kapal riset yang dibangun memiliki sifat tangguh, sehingga dapat menghadapi kondisi yang ekstrim saat berlayar. Kapal riset juga memiliki karakteristik khusus yang ditentukan oleh *University-National Oceanographic Laboratory System (UNOLS)* seperti pada Tabel 1.

### C. Kegiatan Riset Kelautan

Ada berbagai macam kegiatan penelitian yang dilakukan peneliti kelautan yang mencakup berbagai disiplin ilmu,



Gambar 2. Layout awal kapal.

Tabel 5.

Spesifikasi mesin utama, Cummins QSK60		
Item	Nilai	Satuan
Engine output	1864	KW
	2534.3	HP
Engine speed (revolution)	1900	RPM
Length	3289	mm
Width	1756	mm
Height	2415	mm
Dry mass	8.754	ton
Fuel oil (FO) Cons.	203.5	g/kWh
Lubrication Oil Cons.	0.30525	g/kWh

Tabel 6.

Rekapitulasi koreksi displacement kapal			
Koreksi Displacement			
No.	Komponen Berat Kapal	Value	Unit
1	Berat Kapal Bagian DWT	2534.609	ton
2	Berat Kapal Bagian LWT	3154.474	ton
	<b>Total</b>	<b>5689.083</b>	<b>ton</b>
	<b>Displacement Kapal</b>	<b>5811.387</b>	<b>ton</b>
	<b>Koreksi Displacement Kapal</b>	<b>122.305</b>	<b>ton</b>
	<b>Persentase</b>	<b>2.105</b>	<b>%</b>
Batas koreksi Displacement (2-10%)			

yaitu [2];

### 1) Biological

Ahli biologi kelautan mempelajari tentang flora dan fauna pada lingkungan laut yang berhubungan dengan bagaimana organisme tumbuh, berhubungan dengan sesama, beradaptasi dengan lingkungan, dan berhubungan dengan lingkungan. Untuk melakukan pekerjaan mereka, mereka melakukan observasi dan menggunakan model computer atau laboratorium dan eksperimen.

### 2) Chemical

Ahli kimia kelautan mempelajari mengenai komposisi dari air laut dan interaksi kimia dari air laut dengan atmosfer dan dasar laut. Mereka juga melakukan analisis kandungan air laut, efek dari polutan, dan dampak dari proses kimia yang diakibatkan oleh organisme.

### 3) Geological

Ahli geografi kelautan mengeksplorasi penampakan dasar laut dan proses yang terjadi pada dasar laut. Mereka juga melakukan *sampling* untuk mengetahui riwayat dari kejadian geografis yang ada dan menguji kegiatan tektonik di dasar laut.

### 4) Physical

Ahli biologi kelautan mempelajari mengenai kondisi dan proses fisik yang ada di laut seperti ombak, arus, pusaran air, dan pasang-surut air laut. Mereka juga menguji kedalaman

Tabel 4.  
Daftar peralatan penelitian yang dibutuhkan

No	Laboratorium	Equipment
1	Hydrochem dan Underway Seawater	Fluorometer Thermosalinograph pCO <sub>2</sub> System
2	Aerosol	Multi Angle Absorption Photometer Radon Detector Air Sampling Ozone Monitor
3	Basah	inkubator chemistry set*3
4	Kering	Fume Hood Komputer*3 mikroskop*4 Fume Hood
5	Air Chemistry	Weather Radar Cloud Condensation Nuclei Polar Nephelometer Greenhouse Gas Analyzer Meteorological Instrument Scanning Mobility Particle Sizer Condensation Particle Counter
6	Preservation	Fume Hood Toxic Storage Cabin
7	Constant Temperature	inkubator
8	Pengolahan Data	Fish Finding Sonar Sub Bottom Profiler SONAR Side Scan Sonar Komputer*6 Acoustic Doppler Current Profiler Multi Beam Echo Single Beam Echo Drop Keel
9	CTD	CTD CTD CRANE Winch
10	Work Deck Area	Winch A Frame Crane Dredge Provision Crane ROV

arus, hubungan antara laut dan atmosfer yang berhubungan dengan cuaca dan iklim.

#### D. Daerah Operasional

*Foresight* Riset Kelautan LIPI merupakan program LIPI yang dikhususkan untuk melakukan riset kelautan yang menyasar seluruh laut Indonesia, namun ada empat laut yang dipilih sebagai calon daerah operasional, yaitu Laut Sulawesi, Laut Halmahera, utara Pulau Biak, dan Laut Banda. Laut Banda dipilih sebagai daerah operasional dikarenakan memiliki kecepatan angin yang cukup baik untuk diaplikasikannya *Flettner Rotor Sail*.

Laut Banda merupakan bagian dari Samudera Hindia yang terpisah oleh beberapa pulau dan laut, dan terletak di selatan Kepulauan Maluku. Laut Banda memiliki kedalaman 600 meter dari permukaan laut dengan luas mencapai 500.000 km persegi. Pada dasar Laut Banda terdapat dua buah palung, yaitu Palung Banda dan Palung Jawa yang memiliki kedalaman secara berturut-turut 2.500 meter dan 7.500 meter. Gambar 1. merupakan peta operasional kapal riset pada Laut Banda.

#### E. Flettner Rotor Sail

*Flettner Rotor Sail* merupakan pengaplikasian Magnus *Effect* yang diciptakan oleh Anton Flettner pada tahun 1924 [3]. *Flettner Rotor Sail* merupakan sebuah silinder yang dipasang secara vertikal pada dek dan diputar dengan mesin

untuk mendapatkan gaya dorong [4]. *Flettner* rotor adalah sebuah alat penggerak kapal yang menggunakan tenaga angin yang memanfaatkan fenomena Magnus *Effect* sehingga dapat menghasilkan gaya dorong untuk menggerakkan kapal.

Penggunaan *Flettner Rotor Sail* pada industri perkapalan pada tahun 1924 oleh Germania *Shipyard* yang mengganti layar dengan memasang 2 buah *rotor* dengan tinggi 15 m dan diameter 3 m yang digerakan oleh motor listrik dengan daya 37 kW pada kapal berukuran 2000 ton, schooner Buckau [5]. Kemudian pada tahun 1926 kapal ini berubah nama menjadi Baden dan berlayar menuju New York melalui Amerika Selatan dengan jarak 6200 *nautical mile*.

### III. METODOLOGI

#### A. Identifikasi Masalah

Langkah awal dalam pengerjaan adalah dengan menentukan permasalahan yang sedang terjadi, yaitu dibutuhkannya MPRV untuk menunjang program riset penelitian laut Indonesia yang dilakukan oleh LIPI.

#### B. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini yang berkaitan dengan permasalahan yang ada serta mencari informasi dan referensi yang mendukung penyelesaian masalah mendesain MPRV ini. Studi literatur yang dilakukan adalah yang berkaitan dengan pemahaman

Tabel 7.  
Rekapitulasi analisis *freeboard* kapal

Rekapitulasi Freeboard		Result	Unit
No.	Item		
1	Tipe Kapal	Tipe B	
2	Freeboard Standard (Fb)	1075.00	mm
Koreksi-koreksi			
	Koreksi kapal Ukuran < 100 m	0.00	mm
	Koreksi Cb	0.00	mm
3	Koreksi Tinggi	389.06	mm
	Koreksi Sheer	0.00	mm
	Koreksi Superstructure dan Trunks	-1053.62	mm
			Mm
Total Freeboard		<b>410.45</b>	
Actual Freeboard		<b>4300</b>	mm
Status/Remark		<b>OK</b>	

Tabel 8.  
Rekapitulasi *loadcase* yang diaplikasikan pada kapal

No.	Loadcase	Fuel Oil (%)	Fresh Water (%)	Sewage Water (%)	Lube Oil (%)	Ballast Water (%)
1.	Loadcase 1	100	100	0	100	0
2.	Loadcase 2	50	50	50	80	0
3.	Loadcase 3	10	10	80	60	0

Tabel 10.  
Ukuran utama akhir kapal

LOA	96.477 m
LWL	93.6 m
LPP	90 m
B	17.5 m
H	9 m
T	5.2 m
Vs	14 knot

teori dan konsep dari perhitungan stabilitas, trim, freeboard maupun perhitungan berat total kapal, dan juga teori dan konsep mengenai *Flettner Rotor Sail*.

### C. Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam proses pengumpulan data pada penelitian ini adalah metode pengumpulan data secara langsung dan pengumpulan data secara tidak langsung. Adapun beberapa data lain yang akan digunakan adalah dari penelitian sebelumnya dan data dari kapal referensi, yaitu RV Investigator.

### D. Pengolahan Data

Dari data-data yang didapatkan, maka proses berikutnya adalah pengolahan data tersebut sebagai input dalam perhitungan selanjutnya. Pengolahan data tersebut dilakukan untuk mengetahui beberapa hal diantaranya [6]: (1)Penentuan daerah pelayaran; (2)Penentuan payload; (3)Perhitungan yang sesuai dengan aspek teknis desain kapal seperti: (a)Rasio ukuran utama; (b)Koefisien utama MPRV; (c)Thrust dari Flettner Rotor Sail; (d)Penentuan Flettner Rotor Sail; (e)Hambatan kapal dan penentuan mesin; (f)Komponen peralatan dan perlengkapan MPRV; (g)Menghitung berat dan titik berat MPRV; (h)Menghitung LWT dan DWT; (i)Menghitung displacement; (j)Melakukan kalkulasi biaya pembangunan MPRV; (k)Menghitung tonase MPRV; (l)Menghitung lambung timbul; (m)Menghitung stabilitas dan *trim* MPRV.

Tabel 9.  
Rekapitulasi hasil analisis stabilitas

Requirement	Requirement Value	Loadcase 1	Loadcase 2	Loadcase 3	Status
Area 0° to 30° (m.deg)	3.151	25.972	20.125	20.500	Pass
Area 0° to 40° (m.deg)	5.157	47.120	36.088	35.388	Pass
Area 30° to 40° (m.deg)	1.719	21.148	15.962	14.888	Pass
Max GZ at 30° or Greater (m)	0.2	2.954	2.057	1.717	Pass
Angle of Maximum GZ (θMax≥25°)	25	59.1	58.2	58.2	Pass
Initial GMT (m)	0.15	3.117	2.364	2.466	Pass
Steady heel angle (°)	16	1.5	2.5	3.0	Pass
Deck edge immersion angle (%)	80	5.59	8.25	8.78	Pass
Area1/Area2 (%)	100	520.56	399.04	290.88	Pass

Tabel 11.  
Rekapitulasi hasil perhitungan biaya pembangunan

No.	Item	Value
1	Material Cost	IDR 56,941,906,781
2	Labour Cost	IDR 11,757,180,720
3	Overhead Cost	IDR 7,054,308,432
Total Biaya Pembangunan		IDR 75,753,395,934

### E. Tahapan Desain

Setelah ukuran utama didapat, selanjutnya dilakukan pembuatan model 3D menggunakan bantuan software Maxsurf Modeller. Setelah model 3D selesai dibuat, model diekspor ke aplikasi AutoCAD untuk mendapatkan desain Rencana Garis dan *outline* dari Rencana Umum.

## IV. ANALISA TEKNIKS

### A. Penentuan Daerah Pelayaran

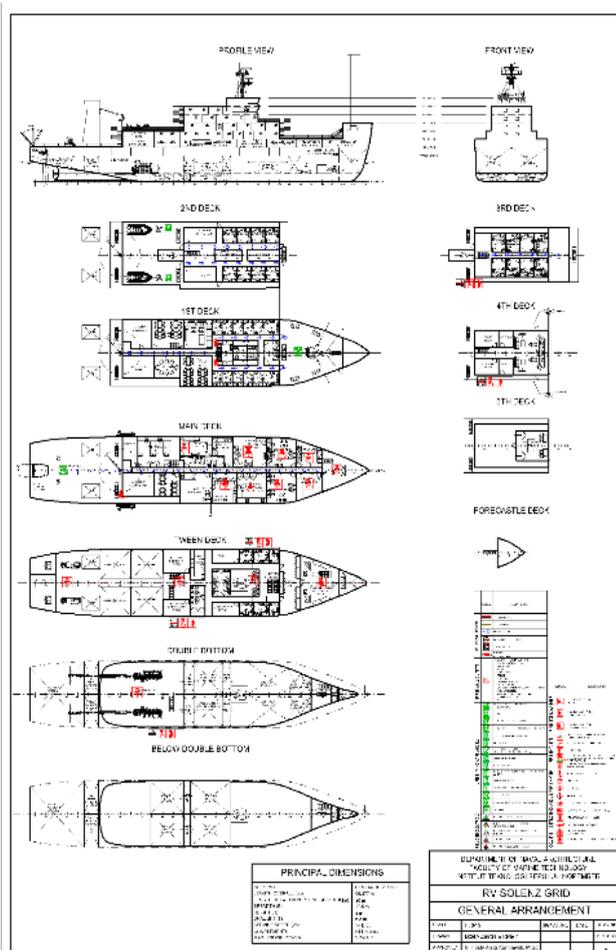
Berdasarkan *Foresight* Riset Kelautan LIPI, ada lima daerah yang menjadi fokus dalam penentuan daerah operasional, namun salah satu laut dicoret karena memiliki gelombang laut yang tinggi, sehingga dianggap membahayakan untuk kapal dengan *Flettner Rotor Sail*. Keempat daerah yang akan dipilih sebagai daerah operasional adalah Laut Sulawesi, Laut Halmahera, Laut Banda, dan utara Pulau Biak.

Pemilihan daerah operasional didasarkan oleh dua faktor, yaitu faktor tinggi gelombang dan kecepatan angin. Tinggi gelombang diperhitungkan dikarenakan akan mempengaruhi stabilitas MPRV dengan *Flettner Rotor Sail*, sedangkan kecepatan angin diperhitungkan untuk mendapatkan *thrust* dari *Flettner Rotor Sail* yang terbesar. Data tinggi gelombang dan kecepatan angin didapatkan dari Stasiun meteorologi Tanjung Perak, Surabaya, dengan rentang waktu yang diambil adalah lima tahun terakhir, yaitu 2014-2019. Data mengenai tinggi gelombang dan kecepatan angin dapat dilihat di Tabel 2.

### B. Penentuan Payload

Subjek yang menjadi fokus utama dalam menentukan payload MPRV adalah luas ruangan dan laboratorium.





Gambar 5. Safety Plan.

37.16 m<sup>2</sup>, dan laboratorium elektrik sebesar 300 ft<sup>2</sup> atau 27.87 m<sup>2</sup> [7]

Setelah didapat ukuran minimum laboratorium, maka ditentukan luas laboratorium yang akan didesain dan diterjemahkan ke dalam bentuk *Design Statement*. *Design Statement* ini meliputi *Owner Requirement* dan batasan-batasan desain.

C. Layout Awal Kapal

Desain *layout* awal kapal dibuat berdasarkan dari *payload* yang telah didapatkan, yaitu luasan laboratorium yang ada pada kapal seperti pada Gambar 2.

D. Ukuran Utama Awal Kapal

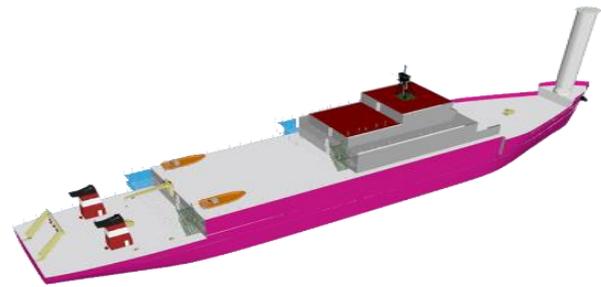
Ukuran utama awal kapal didapatkan dari dimensi kapal referensi yang ukurannya dimodifikasi berdasarkan peletakkan *payload* luasan laboratorium dan ruangan yang sebelumnya telah didapatkan. Didapatkan ukuran utama kapal seperti pada Tabel 3.

E. Peralatan Penelitian

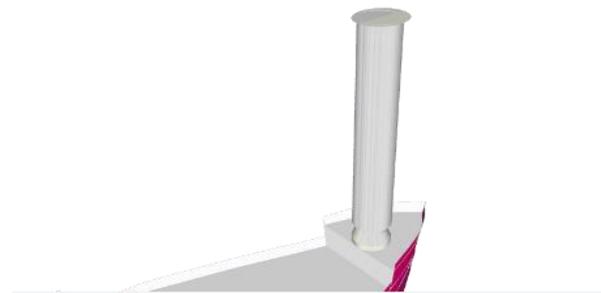
Peralatan penelitian digunakan sebagai penunjang kegiatan penelitian yang dilakukan di atas kapal dan disesuaikan dengan kebutuhan riset yang ada, yaitu *Foresight Riset Kelautan 2020-2035 LIPI*. Daftar peralatan penelitian ditunjukkan oleh Tabel 4.

F. Penghitungan Hambatan Kapal

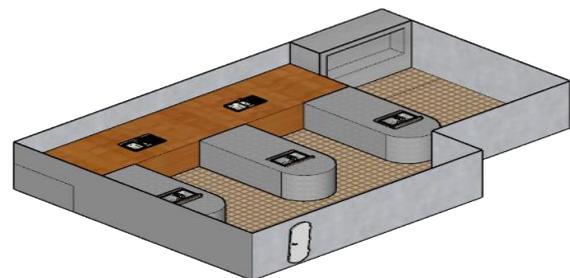
Hambatan kapal merupakan faktor penting dalam pemilihan mesin penggerak utama kapal. Ada hal yang harus



Gambar 6. Model 3D Kapal.



Gambar 7. Model 3D Flettner Rotor Sail.



Gambar 8. Model 3D Laboratorium Basah.

diperhatikan dalam melakukan perhitungan hambatan. Tahap awal yang harus dilakukan dalam menghitung hambatan kapal adalah kecepatan dinas kapal harus diketahui. Setelah diketahui berapa besar kecepatan dinas yang dibutuhkan, maka selanjutnya dilakukan perhitungan besar hambatan kapal menggunakan metode Holtrop seperti pada (1) [8]. Hambatan total yang didapatkan dan ditambahkan margin adalah 205.275 kilo Newton (kN).

$$R_T = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times S_{Total} \times (C_F (1 + k) + C_A) + \frac{R_W}{W} \times W \tag{1}$$

G. Flettner Rotor Sail

*Flettner Rotor Sail* digunakan sebagai penggerak tambahan kapal yang berfungsi untuk mengurangi pemakaian bahan bakar yang mengakibatkan berkurangnya polutan yang dihasilkan ketika kapal berlayar. *Flettner Rotor Sail* menghasilkan *thrust* atau gaya dorong yang mendorong kapal maju. Gaya dorong yang dihasilkan pada kondisi kecepatan angin yang bertiup 10 knot dengan kecepatan putaran mesin 250 RPM adalah 12 kN.

H. Pemilihan Tenaga Penggerak

Setelah mendapatkan hambatan total yang telah dikurangi gaya dorong kapal, didapatkan hambatan total baru dengan

nilai 192.33 kN. Hambatan yang didapat kemudian diolah untuk mendapatkan daya mesin utama. Didapatkan daya mesin utama adalah 3661 kilo Watt (kW), namun dikarenakan kapal yang didesain memakai *twin screw*, maka daya satu mesin pertama adalah 1830 kW. Maka dipilihlah Cummins QSK60 dengan daya 1864 kW. Spesifikasi Mesin dapat dilihat pada Tabel 5.

#### I. Perhitungan Berat Kapal

Perhitungan berat kapal terbagi menjadi dua, yaitu *lightweight* (LWT) dan *deadweight* (DWT). LWT merupakan berat kapal tanpa muatan dan hanya terdiri dari berat kapal itu sendiri, berat sistem permesinan, dan berat perlengkapan. Sedangkan DWT adalah berat dari muatan kapal yang dibawa ketika kapal berlayar, dan terdiri dari *payload*, bahan bakar, oli pelumas, air bersih, kebutuhan peneliti, dan awak kapal dan peneliti. Dari hasil perhitungan, didapatkan DWT kapal sebesar 2534.609 ton dan LWT kapal sebesar 3154.474 ton, seperti pada Tabel 6.

#### J. Analisis Freeboard

*Freeboard* merupakan jarak vertikal antara geladak kapal dengan sarat kapal yang berfungsi sebagai gaya apung cadangan kapal. Perhitungan *freeboard* yang dipakai mengacu pada aturan yang dibuat oleh *International Maritime Organization* (IMO) yang tertulis di *International Convention on Load Lines* 1966 (ICLL 1996). Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan *freeboard* minimum adalah 0.41 meter seperti pada Tabel 7.

#### K. Analisis Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal merupakan hal yang sangat vital dalam proses mendesain kapal, karena stabilitas merupakan kesanggupan kapal untuk kembali ke posisi semula setelah mengalami oleng akibat adanya dorongan eksternal pada lambung kapal. Pemeriksaan stabilitas pada kapal dilakukan untuk mengetahui karakteristik kapal yang ada pada beberapa kondisi yang diakibatkan oleh perbedaan kondisi pemuatan (*loadcase*) dan adanya dorongan eksternal, seperti gelombang laut dan angin.

Ada tiga *loadcase* yang diaplikasikan pada kapal seperti pada Tabel 8. Stabilitas kapal dianalisis mengacu pada 2008 *Intact Stability Code* (IS Code 2008) Sebelum melakukan analisis stabilitas, nilai dari komponen LWT dan komponen DWT harus diketahui. Setelah dilakukan analisis stabilitas menggunakan Maxsurf Stability, didapatkan hasil seperti pada Tabel 9.

#### L. Ukuran Utama Akhir

Setelah dilakukan analisis teknis, didapatkan ukuran utama akhir MPRV. Ukuran tersebut merupakan ukuran utama kapal yang telah memenuhi persyaratan analisis teknis yang ada. Ukuran utama akhir dapat dilihat pada Tabel 10.

#### M. Desain Rencana Garis

Rencana Garis dibuat menggunakan *software* AutoCAD dari AutoDesk yang berlisensi mahasiswa. Pembuatan model dilakukan berdasarkan bentuk kapal. Hasil Rencana Garis dapat dilihat pada Gambar 3.

#### N. Desain Rencana Umum

Rencana Umum dibuat menggunakan *software* AutoCAD dari AutoDesk yang berlisensi mahasiswa. Pembuatan model

dilakukan mengambil beberapa dek yang dihasilkan dari model kapal. Pada Rencana Umum, dilakukan peletakkan tangki dan ruangan-ruangan. Hasil Rencana Umum dapat dilihat pada Gambar 4.

#### O. Desain Safety Plan

*Safety Plan* dibuat menggunakan *layout* dari Rencana Umum yang sudah dibuat. *Safety Plan* dibuat karena pada MPRV, terdapat lebih dari 12 *non-marine crew*, dengan rincian peneliti sebanyak 24 orang dan *technical support* sebanyak 6 orang. *Safety Plan* dapat dilihat pada Gambar 5.

#### P. Desain Model 3D

Desain model 3D dibuat untuk menunjukkan gambaran akhir dari model kapal. Pembuatan model dilakukan berdasarkan *layout* Rencana Umum yang ditampilkan dalam bentuk tiga dimensi. Hasil model 3D dapat dilihat pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.

#### Q. Perhitungan Biaya Pembangunan

Perhitungan biaya pembangunan MPRV dilakukan dengan mencari material dan peralatan dari kapal yang akan dibangun, lalu dicari harganya. Setelah didapatkan biaya material dan peralatan, maka biaya tersebut akan ditambahkan 20% dari nilai itu sendiri sebagai biaya pembangunan, dan 10% untuk biaya pajak. Hasil akhir perhitungan dapat dilihat pada Tabel 11.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut: Dipilih Laut Banda sebagai daerah pelayaran antara lain: (1) Didapatkan *payload* dari kapal adalah: (a) Berat Peralatan Penelitian = 89.65 ton; (b) Jumlah *scientist* dan kru kapal = 54 orang; (2) Didapatkan ukuran *Flettner Rotor Sail* adalah: (a) Diameter = 3.0m; (b) Tinggi = 18.0 m; (c) Tinggi Fondasi = 2m; (3) Didapatkan ukuran utama kapal adalah: (a) Panjang (Lpp) = 90 m; (b) Kecepatan Dinas (Vs) = 14 knot; (c) Lebar (B) = 17.5 m; (d) Tinggi (H) = 9 m; (e) Sarat (T) = 5.2 m; (4) Desain dari Rencana Garis (a) Rencana Umum, *Safety Plan*, dan (b) model 3D. Didapatkan biaya pembangunan kapal adalah Rp. 75,753,395,934.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Papanikolaou, *Ship Design : Methodologies of Preliminary Design*. Berlin: Springer Netherlands, 2014.
- [2] N. O. and A. Administration, "What does an oceanographer do?" Administration, National Ocean and Atmospheric, USA, [Online]. Available: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/oceanographer.html#:~:text=An oceanographer studies the ocean.&text=Biological oceanographers and marine biologists,environment%2C and interact with it.>
- [3] H. Chanson, *Applied Hydrodynamics: An Introduction to Ideal and Real Fluid Flows*. New York: CRC Press, 2009.
- [4] A. De Marco, S. Mancini, C. Pensa, G. Calise, and F. De Luca, "Flettner rotor concept for marine applications: a systematic study," *Int. J. Rotating Mach.*, vol. 2016, 2016, doi: 10.1155/2016/3458750.
- [5] G. B. Seybold, "A sailing ship without sails: new wonder of the seas," *Pop. Sci. Mon.*, vol. 106, no. 2, pp. 35–36, 1925.
- [6] H. Ginting, "Desain dual fuel multi-purpose research vessel (mprv) untuk perairan laut jawa," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- [7] University-National Oceanographic Laboratory System (UNOLS), "Ocean Class Research Vessel Science Mission Requirements." University-National Oceanographic Laboratory System (UNOLS), 2007.

- [8] J. D. Van Manen and P. Van Oossanen, "Resistance," in *Principles of Naval Architecture Volume II*, E. V. Lewis, Ed. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988, pp. 1–93.