

Desain Kapal Transportasi Wisata antar Pulau dengan Bahan Bakar Hibrida di Kabupaten Kepulauan Anambas, Provinsi Kepulauan Riau

Ryan Dilla Maynasha, Hesty Anita Kurniawati, dan Erzad Iskandar Putra
Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: tita@na.its.ac.id

Abstrak—Kepulauan Anambas merupakan salah satu kepulauan eksotis yang sempat mendapat pengakuan dari CNN pada tahun 2012 sebagai pulau tropis terindah se-Asia. Namun, permasalahan yang ada adalah transportasi menuju pulau-pulau produktif masih menggunakan perahu motor sederhana sekali jalan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan transportasi yang mempermudah pendatang untuk berwisata tak lupa juga memperhatikan kelestarian lingkungan di Kepulauan Anambas, seperti mengurangi pemakaian mesin yang menghasilkan emisi dan beralih pada teknologi alternatif ramah lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengurangi penggunaan kapal konvensional yang menggunakan bahan bakar fosil dan digantikan dengan bahan bakar hibrida yang mengkombinasikan *diesel oil* dengan *Hydrogen Fuel Cell* yang langsung diproduksi *on-board* dari air laut serta menciptakan transportasi wisata antar pulau yang sekaligus menjadi sarana berwisata bagi wisatawan. Desain kapal yang dihasilkan memenuhi analisis teknis yang meliputi stabilitas, *trim*, dan *freeboard*. Kapal didesain memiliki 44 orang penumpang, 6 orang *crew*, dengan ukuran utama Panjang (Lpp): 23 m; Lebar (B): 6 m; Tinggi (H): 3 m; Sarat (T): 1.7 m; Kecepatan (Vs): 8 knot dengan rute pulau Tarempa dan pulau Palmatak. Tiket yang ditawarkan dengan dua jenis yaitu, *high season* seharga Rp325.000 dan *low season* seharga Rp250.000 dengan lama perjalanan selama 1.5 jam. Didapatkan hasil perhitungan kelayakan investasi dengan nilai *net present value* (NPV) yaitu Rp3.966.030.264 nilai *internal rate return* (IRR) yaitu 19%, dan *payback period* selama 4 tahun 3 bulan 8 hari.

Kata Kunci —Kepulauan Anambas, *Hybrid System*, *Hydrogen Fuel Cell*, Kapal Antar-Pulau.

I. PENDAHULUAN

KABUPATEN Kepulauan Anambas adalah Kabupaten hasil pemekaran Provinsi Kepulauan Riau, yang hingga saat ini Kabupaten Kepulauan Riau telah dimekarkan menjadi 6 Kabupaten yaitu : Kabupaten Bintan, Kabupaten Karimun, Kabupaten Natuna, Kota Tanjung Pinang, Kabupaten Lingga, dan Kabupaten Kepulauan Anambas. Kabupaten Kepulauan Anambas terbentuk melalui Undang-Undang No. 33 Tahun 2008 tanggal 24 Juni 2008 dan terdiri dari 6 Kecamatan yaitu Kecamatan Siantan, Kecamatan Siantan Timur, Kecamatan Siantan Selatan, Kecamatan Palmatak, Kecamatan Jemaja dan Kecamatan Jemaja Timur. Kabupaten Kepulauan Anambas mempunyai 238 buah pulau, termasuk di dalamnya 5 pulau terluar yang berbatasan langsung dengan negara tetangga. Dari sejumlah pulau yang ada sekitar 26 pulau berpenghuni dan 212 pulau belum berpenghuni, termasuk didalamnya 5 pulau terluar.

Kabupaten Anambas terkenal memiliki laut dan pulau-pulau yang eksotis, terdapat 29 pulau yang berpotensi menjadi daya tarik wisata karena memiliki biota laut dan juga pesisir yang indah. Namun, hanya terdapat dua



Gambar 1. Lokasi & Rute Pelayaran, Kepulauan Anambas.

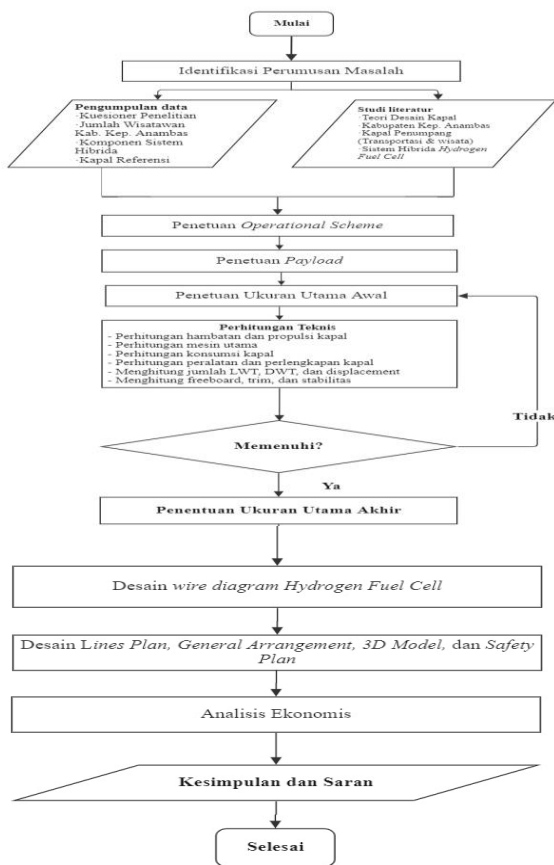
kecamatan yang mendominasi berdasarkan rekapitulasi data kunjungan wisatawan hotel dan destinasi wisata Kabupaten Kepulauan Anambas yaitu Kecamatan Siantan dan Palmatak yang letaknya berbeda pulau. Jarak yang dekat tetapi tanpa disertai infrastruktur yang mendukung mengakibatkan segala kegiatan harus menggunakan kapal motor tradisional. Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka pada pengerjaan penelitian ini akan didesain Kapal Transportasi Wisata Antar Pulau sebagai transportasi bagi wisatawan yang memiliki desain menarik untuk memberikan *experience* tersendiri dan disertai bahan bakar hibrida agar menjaga laut Kepulauan Anambas tetap lestari.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Daerah Operasional

Kabupaten Kepulauan Anambas terletak antara $2^{\circ}10'0'' - 3^{\circ}40'0''$ LU s/d $105^{\circ}15'0'' - 106^{\circ}45'0''$ BT (Sumber: UU No 33 Tahun 2008). Sebagai wilayah kepulauan, Kabupaten Kepulauan Anambas memiliki karakteristik yang berbeda dengan wilayah lainnya, hal ini dikarenakan sebagian besar wilayahnya terdiri dari lautan dan pulau-pulau yang tersebar di Perairan Laut Natuna dan Laut Cina Selatan. Kabupaten Kepulauan Anambas mempunyai 238 buah pulau, termasuk di dalamnya 5 pulau terluar yang berbatasan langsung dengan negara tetangga. Pulau-Pulau tersebut satu dengan yang lainnya dihubungkan oleh perairan. Pada gugusan beberapa pulau kondisi daratannya berbukit-bukit dan landai di bagian pantainya. Dari sejumlah pulau yang ada sekitar 26 pulau berpenghuni dan 212 pulau belum berpenghuni, termasuk didalamnya 5 pulau terluar.

Berdasarkan data rekapitulasi data kunjungan wisatawan hotel dan destinasi wisata kabupaten Kepulauan Anambas tahun 2018 dan 2019 didapatkan asumsi lokasi yang sesuai untuk dijadikan titik-titik pemberhentian kapal wisata antar pulau. Saat ini transportasi penyebrangan yang tersedia masih konvensional dan kurang efisien. Berdasarkan rekapitulasi data kunjungan wisatawan hotel dan destinasi



Gambar 2. Bagan Alir.

wisata Kepulauan Anambas dari Dinas Pariwisata dan Kebudayaan pemerintah Kabupaten Kepulauan Anambas, Pelabuhan Tarempa dan Pelabuhan Air Asuk merupakan pelabuhan yang memiliki destinasi dengan kunjungan wisatawan tertinggi di Kabupaten Anambas. Lokasi serta rute pelayaran di Kepulauan Anambas ditunjukkan oleh Gambar 1.

Kepulauan di Anambas memiliki pesona sumber daya alam yang menawan, pantai yang indah dengan pasir pantai yang lembut dan putih, dilengkapi dengan terumbu karang disertai ekosistem laut yang beraneka ragam [1].

B. Kapal Transportasi

Transportasi adalah sebagai usaha memindahkan, menggerakkan, mengangkut, mengalihkan suatu objek dari suatu tempat ke tempat lain, di mana di tempat lain ini objek tersebut lebih bermanfaat atau dapat berguna untuk tujuan – tujuan tertentu. Karena dalam pengertian di atas terdapat kata – kata usaha, berarti transportasi juga merupakan sebuah proses, yakni proses pindah, proses gerak, proses mengangkut dan mengalihkan di mana proses ini tidak bisa dilepaskan dari keperluan akan alat pendukung untuk menjamin lancarnya proses perpindahan sesuai dengan waktu yang diinginkan.

Kapal transportasi yang berarti sarana laut yang mempunyai tujuan memindahkan, menggerakkan, mengangkut, mengalihkan suatu objek dari suatu tempat ke tempat lain yang berarti dari satu pulau ke pulau lain atau dari satu tempat ke tempat lain yang di pisahkan oleh air [2].

C. Kapal Wisata

Kapal Wisata Asing adalah alat angkut perairan yang berbendera asing dan digunakan sendiri oleh wisatawan

Tabel 1. Rute Pelayaran dan Waktu tempuh Pelayaran

	Rute	Jarak Tempuh (nm)	Waktu Tempuh (jam)
Trip 1	Port of Tarempa (1) – Pelabuhan Air Asuk (2)	10,8	1,5
Trip 2	Pelabuhan Air Asuk (2) – Port of Tarempa (1)	10,8	1,5

Tabel 2. Perbandingan Ukuran Utama pada Kapal

Perbandingan Ukuran Utama				
L / B	3,5 <	3,83	< 10	Accepted
L/T	10 <	13,53	< 30	Accepted
B / T	1,8 <	3,53	< 5	Accepted

Tabel 3. Konstanta Daya Mesin

Konstanta	Nilai	Satuan
Effective Horsepower (EHP)	44,7	kW
Delivered Horsepower (DHP)	38,9	kW
Shaft Horsepower (SHP)	39,7	kW
Brake Horsepower (BHP)	40,60	kW

Tabel 4. LWT dan DWT

Komponen Berat	Berat	Satuan
Berat DWT	24,17	ton
Berat LWT	65	ton
Total DWT+LWT	89	ton
Total DWT+LWT	Displacement	Koreksi
89	95,40	6,71%

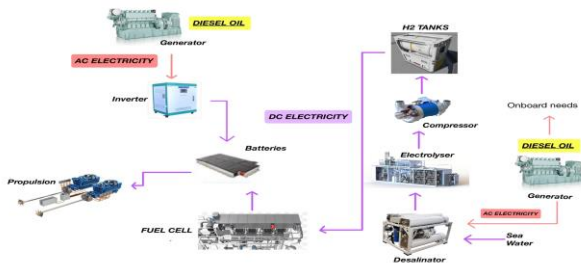
untuk berwisata atau melakukan perlombaan-perlombaan di perairan baik yang digerakkan dengan tenaga angin dan/atau tenaga mekanik dan digunakan hanya untuk kegiatan non niaga. Kapal wisata adalah salah satu fasilitas wisata yang memberikan sensasi berbeda. Kapal wisata berbeda dengan kapal transportasi yang berfungsi untuk memindahkan penumpang dari satu tempat ke tempat lainnya. Kapal wisata berfungsi lebih kepada kepuasan dalam berkunjung ke suatu tempat.

Di atas kapal wisata, para wisatawan akan diberikan pelayanan dengan fasilitas yang ada. Misalnya tempat bersantai, tempat makan, tempat menginap yang semuanya disesuaikan dengan suasana laut, yaitu untuk menikmati suasana berlayar di tengah laut. Bagi sebagian wisatawan, menikmati wisata dengan berada di atas kapal wisata adalah sesuatu yang baru [3].

D. Sistem Hibrida

Pada desain sistem penggerak kapal Pariwisata ini menggunakan sistem *Hybrid* yang mengacu pada sistem yang sudah diterapkan pada kapal *Energy Observer*, yakni penggunaan *Hydrogen fuel cell* yang dikombinasikan dengan generator sebagai penghasil daya listrik kapal. Tujuan dari penggunaan sistem hibrida adalah untuk mengurangi emisi dari penggunaan mesin diesel. Generator yang dikombinasikan dengan *Hydrogen Fuel Cell* untuk menunjang sistem penggerak dari kapal

Pada sistem yang sudah diterapkan, adapun air laut yang akan dijadikan sebagai bahan bakar utama dari *fuel cell* akan melalui proses desalinasi yang menghasilkan air murni/(H₂O) kemudian dilakukan proses elektrolisis yang menghasilkan gas O₂ dan H₂ yang akan disimpan pada tangki untuk selanjutnya dialirkan ke *fuel cell* dan



Gambar 3. Wire Diagram Sistem Hibrida.

Tabel 5.
Biaya Pembangunan Kapal

No	Item	Value
1	Pelat dan Konstruksi	Rp 978.941.861
2	Equipment & Outfitting	Rp 3.051.204.654
3	Tenaga Penggerak	Rp 932.385.542
4	Labor Cost (20%)	Rp 992.506.411
Total Harga		Rp 5.955.038.470

Tabel 6.
Operational Cost

Biaya	Nilai
Cicilan Pinjaman /tahun	Rp 803.930.193
Maintenance Cost /tahun	Rp 119.100.769
Insurance Cost /tahun	Rp 119.100.769
Gaji Crew /tahun	Rp 1.302.240.000
Bahan Bakar Diesel Oil /tahun	Rp 643.530.757
Air Bersih (Fresh Water) /tahun	Rp 181.440.000
Total	Rp 3.169.342.489

menghasilkan daya listrik untuk kapal. Dalam perencanaan *hybrid system* ini terdapat beberapa pilihan model pengoperasian, yaitu:

1) *Full Fuel cell*

Kondisi ini diterapkan selama berlayar yang tidak memerlukan daya yang besar (*standby mode*), sehingga daya utama yang dihasilkan berasal hanya dari *Fuel cell*.

2) *Fuel Cell + Generator*

Sistem ini digunakan saat kapal membutuhkan daya yang besar karena harus menghasilkan akselerasi yang cepat, sehingga daya utama yang dihasilkan berasal dari *Fuel cell* dan juga *Generator*.

3) *Generator*

Sistem ini digunakan pada saat bahan bakar *Fuel cell* berupa gas H₂ yang terdapat pada tangki habis dan harus diisi terlebih dahulu melalui proses elektrolisis air laut, sehingga sumber energi yang digunakan berasal dari *generator* [4].

E. *Hydrogen Fuel Cell*

Fuel cell merupakan sebuah sel elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik dengan melalui reaksi elektrokimia dengan bahan bakar utama gas hidrogen dan oksigen/gas oksida lainnya

Di banyak negara maju, teknologi *Fuel Cell* (sel tunam) sudah bukan barang baru lagi. Negara seperti Amerika Serikat (AS), Jepang, Jerman atau Inggris telah mengembangkan teknologi ini sejak lama. Pada negara tersebut yang menjadi pemicu pemakaian hidrogen sebagai bahan bakar kendaraan adalah isu lingkungan dan konservasi energi.

Konsep ini berbeda dengan baterai karena energi kimia pada baterai berasal dari bahan kimia yang sudah ada didalam baterai sementara pada *fuel cell* energi kimia

Tabel 7.
Pendapatan Kapal per Tahun

Waktu	Versi 2
Penjualan Tiket	Rp 3.101.725.000
Makanan & Minibar	Rp 6.289.800.000
Pendapatan / tahun	Rp9.391.525.000

Tabel 8.
Nilai NPV dan IRR

Harga Tiket	NPV	IRR
Versi 1	Rp 6.235.621.463	24%
Versi 2	Rp 3.966.030.264	19%
Versi 3	Rp 1.446.118.392	14%

Tabel 9.
Payback Period

Harga Tiket	Payback Period
Versi 1	3 Tahun 4 Bulan 13 Hari
Versi 2	4 Tahun 3 Bulan 8 Hari
Versi 3	6 Tahun 3 Bulan 20 Hari

Tabel 10.
Harga Tiket

No	Versi	Harga	
		Low Season	High Season
1	Versi 1	Rp325,000	Rp422,500
2	Versi 2	Rp250,000	Rp325,000
3	Versi 3	Rp225,000	Rp292,500

dihasilkan dari bahan bakar gas hidrogen yang akan terus menghasilkan energi listrik selama bahan bakar tersedia [5].

III. METODOLOGI

A. *Bagan Alir*

Bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

B. *Tahap Pengerjaan*

Adapun tahapan-tahapan yang dilalui dalam penelitian ini, yaitu:

1) *Identifikasi dan Perumusan masalah*

Langkah awal dalam pengerjaan adalah menentukan permasalahan yang sedang terjadi, yaitu kapal penyeberangan antar pulau di Kabupaten Kepulauan Anambas menggunakan kapal kecil cepat yang kurang nyaman dan fasilitas terbatas. Setelah permasalahan diidentifikasi, perlu ditinjau kembali apakah solusi yang akan ditawarkan akan menjawab permasalahan tersebut secara garis besar yaitu masih kurangnya fasilitas yang memadai untuk penyebrangan antar pulau dan kapal wisata di daerah Kepulauan Anambas.

2) *Tahap Pengumpulan Data*

Dalam pengerjaan ini, jenis data yang digunakan adalah Data sekunder, diperoleh dari berbagai literatur, *paper*, buku dan internet serta data dari Dinas Pariwisata Kabupaten Kepulauan Anambas untuk mengetahui jumlah wisatawan yang datang ke Kepulauan Anambas setiap tahunnya.

3) *Tahap Studi Literatur*

Pada tahap ini dilakukan pembelajaran dan pengumpulan teori-teori yang berkaitan dengan permasalahan pada penelitian ini. Baik teori desain kapal, tinjauan wilayah, sistem hibrida dan *Hydrogen Fuel Cell*.

4) *Tahap Perhitungan Teknis*

Dari data-data yang didapatkan, maka pada tahapan ini dilakukan perhitungan teknis. Berikut adalah aspek yang

Tabel 11.
Hasil Perhitungan Stabilitas

Load case	5A.1 - Angle of max GZ	5A.2 - Area 0 to 30 or GZmax	5A.3 - Area 0 to 40	5A.4 - Area 30 to 40	5A.5 - Max GZ at 30 or greater	5A.6a - Initial GMT - Class 1	7A.1 - Pax Crowding	Status
1	79,1	100,1	169,0	68,9	1,067	1,419	165,3	Pass
2	78,2	116,9	196,4	79,5	1,209	1,633	200,8	Pass
3	85,5	216,6	370,8	154,1	2,502	2,932	351,1	Pass
4	84,5	218,0	373,0	154,9	2,508	2,940	356,7	Pass
5	84,5	219,2	375,0	155,8	2,513	2,962	364,2	Pass
6	79,1	100,1	169,0	68,9	1,067	1,419	165,3	Pass
7	78,2	116,9	196,4	79,5	1,209	1,633	200,8	Pass
8	84,5	210,4	359,7	149,3	2,425	2,863	354,1	Pass
9	84,5	211,8	362,8	151,0	2,430	2,889	362,0	Pass
10	84,5	213,1	364,9	151,8	2,435	2,891	367,0	Pass
11	79,1	100,1	169,0	68,9	1,067	1,419	165,3	Pass
12	78,2	116,9	196,4	79,5	1,209	1,633	200,8	Pass
13	85,5	220,4	377,7	157,2	2,551	2,974	346,7	Pass
14	85,5	221,7	379,8	158,0	2,556	2,980	352,1	Pass
15	84,5	222,9	381,8	158,8	2,561	3,006	360,1	Pass

akan dilakukan perhitungan teknis yaitu, payload, ukuran utama, koefisien utama kapal, hambatan, material, LWT dan DWT, trim, stabilitas, freeboard, dan pemeriksaan kesesuaian volume yang dibutuhkan.

5) Tahap Perencanaan

Kapal akan dimodelkan dengan bantuan software maxsurf modeler advanced sebagai alat bantu dengan mengambil desain yang sudah tersedia. Kemudian untuk membuat model 3D dilakukan dengan menggunakan software 3d Modelling.

6) Tahap Perhitungan Biaya

Biaya yang diperhitungkan pada tahap ini adalah biaya pembangunan, biaya operasional, analisis kelayakan investasi, dan payback period dari kapal ini.

7) Tahap Kesimpulan

Pada tahap ini dirangkum kesimpulan hasil pengerjaan penelitian ini dan saran untuk pengembangan lebih lanjut. Saran dibuat untuk menyempurnakan terhadap beberapa hal yang belum tercakup di dalam proses pengerjaan penelitian ini.

IV. ANALISIS TEKNIS

A. Penentuan Skema Operasional Kapal

Penentuan skema operasi kapal yang di dalam pembahasannya meliputi rute pelayaran kapal dan waktu operasional kapal. Pembahasan ini akan menjadi acuan atau owner requirement untuk menentukan payload, ukuran utama kapal, dan perhitungan teknis kapal lainnya. Peta operational scheme dapat dilihat pada Tabel 1.

Kapal didesain dengan kecepatan 8 knot. Jarak untuk rute 1 dan 2 adalah 10,8 nm dengan waktu tempuh 1.5 jam atau 90 menit satu kali trip sehingga kapal direncanakan melakukan 2 kali trip sehari dan kapal beroperasi 3 hari setiap minggunya.

B. Penentuan Penumpang

Kapasitas penumpang dari kapal Transporwasi Wisata Antar Pulau didapatkan dengan cara melakukan forecasting dari statistik wisatawan Kepulauan Anambas dan hasil kuisioner yang disebarakan ke masyarakat. Berdasarkan data wisatawan didapatkan bahwa rata-rata jumlah wisatawan dari tahun 2017-2019 yaitu 109.096 orang/tahun dengan rata-rata pertumbuhan per-tahunnya adalah 100%.

Dilakukan forecasting jumlah pengunjung Kabupaten Kepulauan Anambas dari tahun 2021 hingga tahun 2033, hasil forecasting tersebut didapatkan rata-rata jumlah wisatawan yang datang yaitu 305 orang/hari. Dari hasil kuisioner juga didapatkan bahwa 100% orang tertarik untuk mengunjungi kapal sehingga didapatkan 111.690 orang/tahun yang tertarik untuk menjadi penumpang kapal. Sehingga, penentuan payload penumpang kapal diambil 11% dari jumlah wisatawan yang berpotensi menjadi penumpang kapal transportasi wisata antar pulau yaitu sebanyak 44 penumpang. Angka penumpang tersebut juga berdasarkan dengan payload penumpang kapal eksisting di Kepulauan Anambas yang terbanyak yaitu 45 orang.

Setelah menentukan jumlah penumpang kapal, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menentukan jumlah crew kapal baik itu marine crew atau non-marine crew berdasarkan fungsi dan fasilitas kapal. Terdapat 6 orang crew yaitu 3 orang menjadi marine crew dan 3 orang non-marine crew.

C. Penentuan Payload

Penentuan payload kapal berupa luasan. Total luas yang diperlukan ditentukan berdasarkan jumlah penumpang dan luas fasilitas kapal. Jumlah penumpang ditentukan berdasarkan data kunjungan wisatawan Kabupaten Kepulauan Anambas. Sedangkan, untuk berat ditentukan berdasarkan berat penumpang yang akan ditampung oleh kapal. Hal pertama yang perlu dilakukan untuk menentukan payload luasan, adalah menentukan luas dari ruangan-ruangan yang dibutuhkan. Ruangan-ruangan tersebut yaitu, passenger room dan ruangan-ruangan di upper deck yang meliputi lounge dan minibar ditentukan dari jumlah penumpang kapal yaitu 44 orang sehingga dibutuhkan sebanyak 44 kursi. Kapasitas upper deck ditentukan dari 1/2 jumlah penumpang yaitu 22 orang.

D. Penentuan Ukuran Utama

Penentuan ukuran utama kapal mengacu pada payload luas yang didapatkan dan layout awal yang telah dibuat. Dari hasil perhitungan payload didapatkan ukuran utama awal kapal yaitu: LoA = 24,9 m; Lpp = 23 m; B = 6 m; H = 3 m; T = 1.7 m.

Ukuran utama yang telah didapatkan kemudian diperiksa rasionya dengan berdasarkan perbandingan-perbandingan pada ukuran kapal seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 4. 3D Model.

E. Perhitungan Koefisien

Penentuan koefisien pada kapal meliputi perhitungan *Froud Number* (F_n), *block coefficient* (C_b), *midship coefficient* (C_m), *prismatic coefficient* (C_p), *waterplane coefficient* (C_{wp}), *displacement* (Δ) dan *volume displacement* (∇). Diperoleh: $F_n = 0,27$; $C_b = 0,58$; $C_m = 0,97$; $C_p = 0,60$; $C_{wp} = 0,69$.

F. Perhitungan Hambatan Kapal

Perhitungan hambatan total dilakukan dengan menggunakan metode Holtrop & Menen. Perhitungan hambatan nantinya akan digunakan untuk menghitung daya yang dibutuhkan dan menentukan mesin kapal. Hambatan yang didapat setelah melakukan perhitungan adalah sebesar 4.86 kN.

G. Penentuan Daya Mesin

Perhitungan daya mesin menjadi acuan dalam memilih mesin utama yang sesuai dengan kebutuhan kapal yang didesain. Untuk menghitung daya mesin terdapat beberapa konstanta yang harus ditentukan terlebih dahulu yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Daya mesin MCR didapatkan dari 15% margin BHP yang ditambahkan dengan BHP itu sendiri. Jadi, untuk daya mesin yang dibutuhkan adalah sebesar 46,69 kW atau 62,6 HP.

H. Hybrid System

Sistem Hibrida kapal yang akan didesain mengikuti sistem yang sudah diterapkan pada kapal *Energy Observer*, yakni dengan memanfaatkan tiga energi terbarukan berupa sinar matahari, angin, dan gas hidrogen yang diproduksi langsung diatas kapal dan tidak menghasilkan emisi berbahaya bagi lingkungan. Gambaran secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.

Seperti terlihat pada bahwa desain *hybrid sytem* pada kapal menggunakan kombinasi antara *generator* dengan *hydrogen fuel cell*. Kombinasi antara generator dengan *Hydrogen fuel cell* dapat menghasilkan energi listrik yang dibutuhkan oleh propulsi.

Energi terbarukan berupa gas hidrogen yang diproduksi langsung di kapal dari hasil pengolahan air laut akan dikonversi menjadi energi listrik melalui reaksi kimia yang terjadi di dalam *fuel cell*, khususnya jenis *PEM-FC* (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*).

Semua peralatan yang terdapat pada kapal menggunakan listrik dengan arus AC (*Alternating Current*) sementara itu energi listrik yang akan dialirkan oleh baterai dan *fuel cell* merupakan listrik DC (*Direct Current*) sehingga perlu untuk dikonversi menggunakan *inverter* untuk memenuhi kebutuhan peralatan listrik pada kapal.

I. Produksi Gas Hidrogen

Penyimpanan hidrogen dalam bentuk gas yang digunakan pada kapal dikarenakan reaksi pada *fuel cell* membutuhkan hidrogen dalam wujud gas. Setelah hidrogen terkumpul pada tangki-tangki komposit maka gas hidrogen akan dialirkan menuju *fuel cell* sebagai bahan bakar penghasil listrik penggerak *electric motor*.

J. Perhitungan Hybrid System

Setelah mendesain sistem hibrida pada kapal, maka dilakukan beberapa perhitungan terkait total kebutuhan listrik, kebutuhan hidrogen, kebutuhan *purified water*, dan juga kebutuhan air laut untuk menghasilkan gas hidrogen. Penentuan kapasitas listrik *fuel cell* didasarkan pada total kebutuhan peralatan listrik di kapal dengan rincian sebagai berikut: (a) *Electric Motor*, (b) *Propulsion*, (c) *Desalinator*, (d) *Electrolyser*, (e) *Compressor*.

Dengan menjumlahkan kebutuhan daya dari masing-masing komponen diatas maka diperoleh total kebutuhan listrik propulsi di kapal sebesar 74,57 kW, dan dipilih *PEM fuel cell* dari SIEMENS dengan *output power* sebesar 90 kW. Setelah dihitung kebutuhan listrik sistem hibrida untuk menggerakkan kapal sebesar 85.03 kW dan kelistrikan *on-board needs* sebesar 12 kW sehingga diperlukan *Generator* yang dipilih dari katalog sebesar 139 kW.

K. Perhitungan Berat Kapal

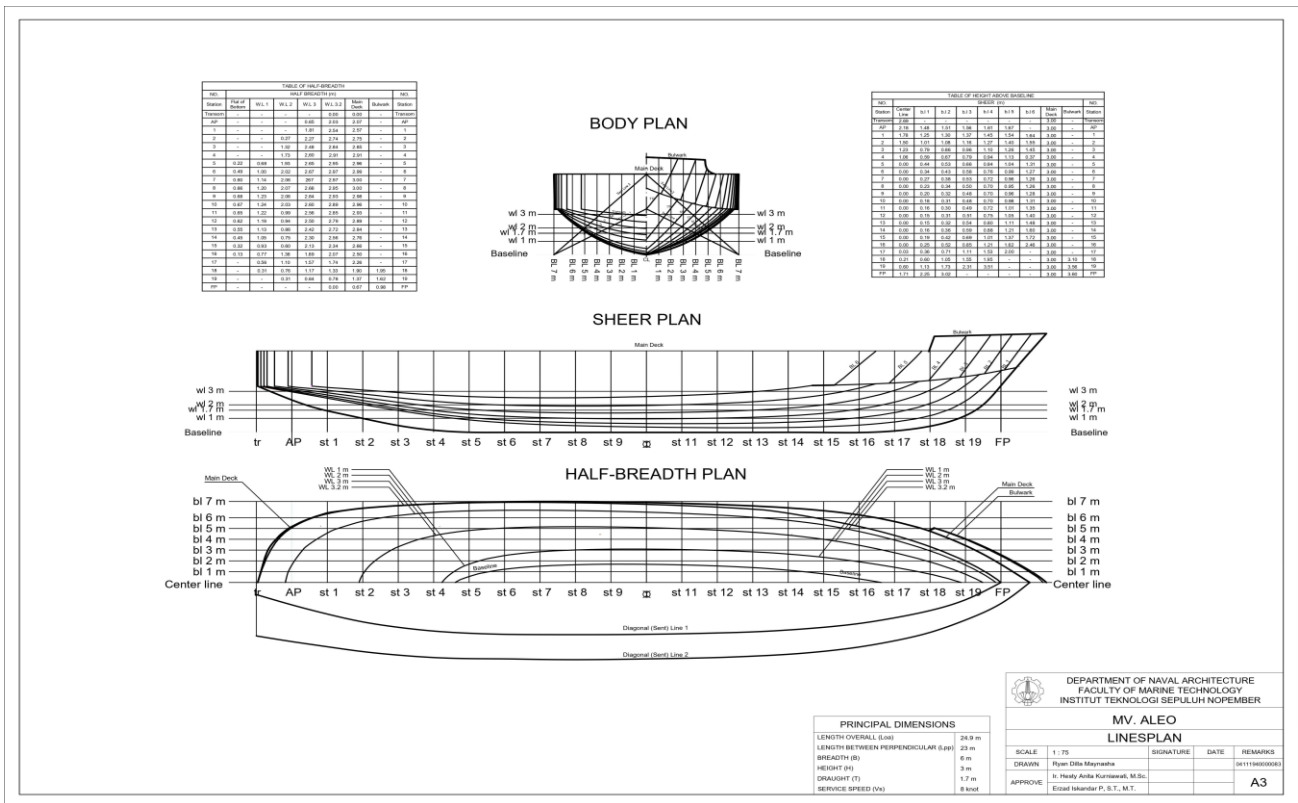
Berat pada kapal terbagi atas dua bagian yaitu, DWT dan LWT. DWT merupakan komponen berat kapal yang dihiung terdiri dari berat penumpang dan *crew* serta barang bawaannya, berat bahan bakar, berat minyak pelumas, berat air tawar, dan berat air kotor. Total berat DWT kapal adalah 24,17 ton. Sedangkan, LWT adalah berat kapal kosong dan terdiri dari berat lambung kapla beserta konstruksinya, berat *bulwark*, berat *equipment* dan *outfitting*, berat *main engine*, berat *generator set*, dan berat pompa-pompa. Total berat LWT kapal adalah 65 ton. Pedoman yang digunakan untuk menghitung konstruksi kapal adalah *Biro Klasifikasi Indonesia*. Margin *displacement* digunakan 3-10% dan dapat dilihat pada Tabel 4.

L. Perhitungan Freeboard

Untuk perhitungan *freeboard*, semua perhitungan yang dilakukan akan mengacu pada *Non-Convention Vessel Standard (NCVS)*. Hasil yang didapatkan dari perhitungan tersebut adalah tinggi *minimum freeboard* yang diizinkan, *bow height*, dan *bow area*. Lambung timbul sebenarnya adalah 1.3 m, sedangkan lambung timbul yang disyaratkan adalah 0,448 m. sehingga, kondisi lambung timbul (*freeboard*) diterima.

M. Perhitungan Trim

Perhitungan *trim* pada kapal dilakukan dengan menghitung selisih antara LCB dan LCG. Batasan *trim* didasarkan dengan selisih keduanya yaitu lebih kecil atau



Gambar 5. Lines Plan.

sama dengan $0.5\% \times LWL$ atau disyaratkan sebesar 0.124 m. Pada pengerjaan penelitian ini, *trim* dihitung sesuai SOLAS Chapter II-1, Part B-1, Regulasi 5-1. Besar *trim* pada kapal ini dapat di terima dengan besar *trim* maksimal 0,111 m dan *trim* haluan.

N. Perhitungan Stabilitas

Pada perhitungan stabilitas kapal, digunakan 15 load cases yang merupakan variasi berdasarkan muatan (penumpang) dan consumables dari kapal menggunakan software Modelling. Kriteria yang digunakan dalam perhitungan stabilitas adalah berdasarkan aturan yang digunakan dalam IMO, yaitu Non-Convention Vessel Standard. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 11.

O. Desain Rencana Garis (Lines Plan)

Lines Plan merupakan gambar yang menyatakan bentuk potongan badan kapal yang memiliki tiga sudut pandang yaitu, *body plan* (secara melintang), *buttock plan* (secara memanjang), dan *half-breadth plan* (dilihat dari atas). Lines Plan juga dilengkapi dengan tabel ordinate of height above baseline dan tabel ordinate of half breadth. Lines Plan dapat dilihat pada Gambar 5.

P. Desain Rencana Umum (General Arrangement)

Rencana Umum dibuat berdasarkan Lines Plan yang telah dibuat sebelumnya. Dengan Lines Plan secara garis besar bentuk badan kapal akan terlihat, sehingga memudahkan dalam merencanakan serta menentukan pembagian ruangan sesuai dengan fungsi masing-masing.

Rencana umum dibuat dengan menggambarkan layout tampak samping, tampak atas, tampak depan, dan tampak samping. Jarak gading yang digunakan adalah 0,6 m dan gading besar pada setiap lima jarak gading. General Arrangement dapat dilihat pada Gambar 6.

Q. Safety Plan

Kapal Transportasi Wisata Antar Pulau memerlukan perencanaan keselamatan guna menjamin keselamatan crew dan penumpang saat terjadi bahaya. Desain safety plan terdiri dari life saving appliances dan fire control equipment. Regulasi life saving appliances mengacu pada Non-Convention Vessel Standard (NCVS). Safety Plan dapat dilihat pada Gambar 6.

R. 3D Model

Pembuatan desain 3D Model menggunakan bantuan software 3d modelling. Desain 3D Model ini berguna untuk mempermudah dalam memvisualisasikan bentuk kapal yang telah dirancang dan dapat dilihat pada Gambar 4.

V. ANALISIS EKONOMIS

A. Perhitungan Biaya Pembangunan Kapal

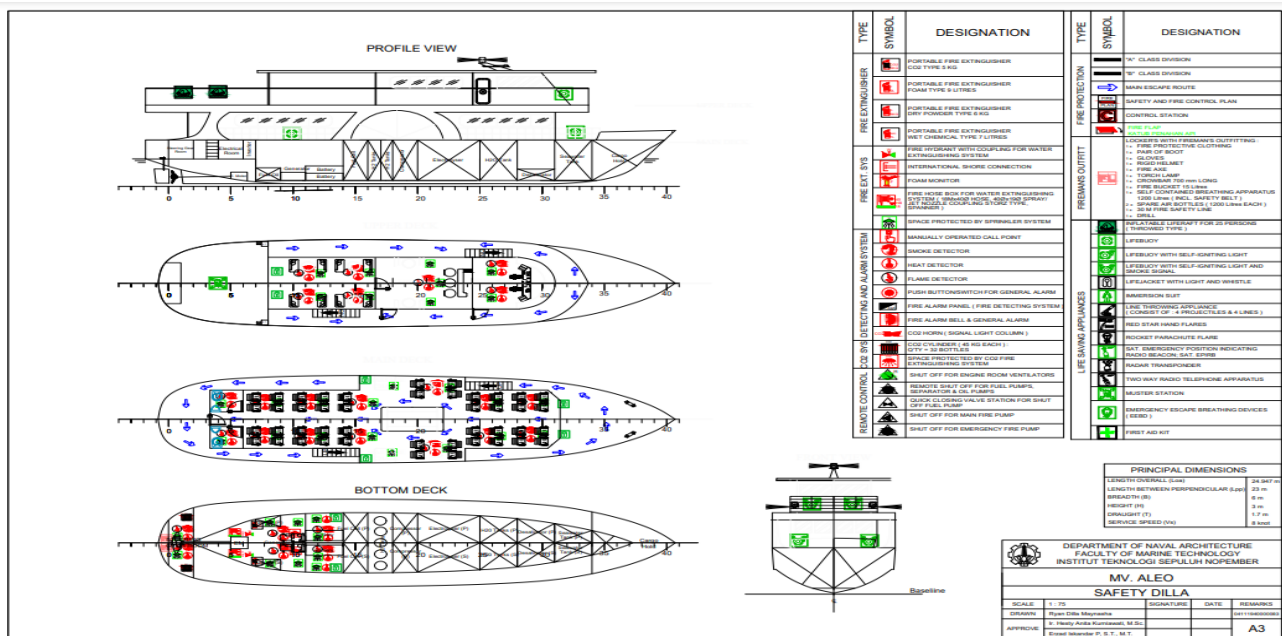
Dalam analisis biaya pembangunan kapal, biaya pembangunan meliputi konstruksi, equipment&outfitting, tenaga penggerak, dan labor cost ditambah dengan biaya koreksi keadaan ekonomi sebesar Rp2,382,015,388 sehingga didapatkan biaya pembangunan kapal sebesar Rp8,337,053,858. Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.

B. Perhitungan Biaya Operasional Kapal

Pada kapal juga terdapat biaya pengeluaran terkait dengan operasional kapal. Biaya yang dimaksud yaitu cicilan pinjaman, biaya perawatan, biaya asuransi, gaji crew, biaya bahan bakar, dan biaya kebutuhan air bersih. Hasil rekapitulasi biaya dapat dilihat pada Tabel 6.

C. Revenue

Dalam satu tahun, kapal berlayar sebanyak 288 trip dikurangi dengan minggu docking selama 12 trip. Biaya



Gambar 6. General Arrangement dan Safety Plan.

pemasukan akan diambil dari paket wisata/trip dengan waktu 1,5 jam perjalanan dan penjualan dari bar dan canteen. Harga per trip kapal dibagi ke dalam dua season yaitu low season dan high season. Sehingga pendapatan kapal per tahun dapat dilihat dari Tabel 7.

D. Net Present Value (NPV) dan Internal rate of Return (IRR)

Nilai dari NPV tersebut dapat dianggap layak apabila bernilai positif. Perhitungan NPV ini dilakukan dalam jangka investasi 20 tahun. Sedangkan, untuk perhitungan Internal Rate of Return (IRR) dapat dikatakan layak apabila nilainya lebih tinggi dari tingkat diskon. Hasil Perhitungan nilai NPV dan nilai IRR dapat dilihat pada Tabel 8.

E. Payback Period

Dari perhitungan NPV dan IRR yang dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, dapat ditentukan payback period kapal ini. Payback period dapat ditentukan saat net cashflow mulai bernilai positif. Hasil payback period dari tiga versi ditunjukkan pada Tabel 9.

F. Pemilihan Skema

Berdasarkan analisis ekonomis yang telah dilakukan, dengan mempertimbangkan nilai investasi pada NPV dan IRR maka dapat diketahui bahwa harga tiket pada semua versi dinyatakan layak. Pemilihan harga tiket yang diambil adalah versi 2 dimana hasil analisis investasi layak untuk dilakukan dengan payback period tahun bulan hari dan asumsi penumpang selalu penuh 100%. Harga tiket versi 2 dapat dilihat pada Tabel 10.

VI. KESIMPULAN/RINGKASAN

Setelah dilakukan berbagai proses berupa studi literatur, pengumpulan data, tahapan desain dengan analisis teknis serta perhitungan analisis teknis, maka didapatkanlah kesimpulan dari penelitian ini ialah: (1) Berdasarkan tinjauan lokasi, operational scheme yang didapat yaitu kapal akan berlayar di Kabupaten Kepulauan Anambas, tepatnya di Kecamatan Siantar (Port of Tarempa) dan Kecamatan

Palmatak (Pelabuhan Air Asuk). Waktu operasional kapal terbagi menjadi 2 trip perhari dan 3 hari dalam seminggu. Dengan perjalanan selama 1,5 jam sekali trip. (2) Berdasarkan hasil analisis dari data jumlah wisatawan dan kuisioner, maka diperoleh payload luasan 338,9 m2 untuk 44 orang penumpang dan 6 crew.

Berikutnya, (3) Ukuran utama akhir yang diperoleh untuk kapal yaitu: Length Overall = 24,9 m; Length between Perpendicular = 23,0 m; Breadth = 6,0 m; Height = 3,0 m; Draught = 1,7 m; Vs = 8,0 knot. (4) Berdasarkan analisis teknis kapal, dapat diketahui bahwa: (a) Nilai koreksi displacement sebesar 6.71% memenuhi batas minimum berdasarkan Parametric Ship Design. (b) Freeboard kapal diterima berdasarkan Non-Convention Vessel Standard (NCVS). adalah 0,661 m, lebih besar dari syarat minimum yaitu 0,15 m sehingga kondisi freeboard diterima. (c) Trim kapal memenuhi bersadarkan SOLAS chapter II-1. Trim kapal adalah 0,111 m dengan batas 0,119 m, maka kondisi trim diterima, trim haluan. (d) Stabilitas kapal memenuhi berdasarkan kriteria NCVS. Detail perhitungan stabilitas dapat dilihat pada Lampiran B.

Kesimpulan selanjutnya, (5) Berdasarkan analisis terhadap sistem hibrida, menggunakan 2 Generator Set yang digunakan untuk penggerak sistem hibrida dengan daya 13 kW dan 150 Kw. Baterai yang digunakan sebanyak 3 buah baterai. (6) Desain Rencana Garis (Lines Plan), Rencana Umum (General Arrangement), Rencana Keselamatan (Safety Plan), dan model 3D. Masing-masing desain dapat dilihat pada D, Lampiran E, dan Lampiran F pada penelitian ini. (7) Besar biaya biaya pembangunan kapal sebesar Rp8.337.053.858. Pendapatan kapal didapatkan dari tiket penumpang. Lalu, didapatkan hasil perhitungan kelayakan investasi dengan nilai net present value (NPV) yaitu Rp3.966.030.264 nilai internal rate return (IRR) yaitu 19%, dan payback period selama 4 tahun 3 bulan 8 hari.

DAFTAR PUSTAKA

[1] B. K. K. Anambas, Kabupaten Kepulauan Anambas Dalam Angka 2018. Kabupaten Kepulauan Anambas: BPS Kabupaten Kepulauan

- Anambas, 2018.
- [2] B. K. dan I. Publik, "Transportasi Laut Penghubung Daerah Terdepan, Terluar, dan Tertinggal," *Kementrian Perhubungan Republik Indonesia*, Jakarta, 2020.
- [3] P. Pusat, *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 105 Tahun 2015 tentang Kunjungan Kapal Wisata (Yacht) Asing Ke Indonesia*. Jakarta, Indonesia: LN.2015/NO.218, LL SETKAB : 10 HLM, 2015.
- [4] G. C. Bagaskara, "Desain Kapal Wisata Hibrida Berbahan Dasar High Density Polyethylene (HDPE) untuk Kepulauan Karimunjawa," Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2020.
- [5] J. Larminie and A. Dicks, "Proton-Exchange Membrane Fuel Cells," in *Fuel Cell Systems Explained*, USA: Wiley, 2018, pp. 69–133.