

Desain Kapal Pembangkit Listrik Menggunakan Tenaga Gelombang Air Laut Untuk Daerah Papua

Bimo Taufan Devara, Wasis Dwi Aryawan, dan Ahmad Nasirudin

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: anasirudin@gmail.com

Abstrak—Kondisi kelistrikan di Indonesia belum merata, bahkan untuk wilayah Indonesia bagian tengah dan timur, pasokan listrik masih jauh dari cukup. Kondisi ini disebabkan karena beberapa hal, yang salah satunya adalah kurang meratanya pembangunan pada daerah-daerah Indonesia bagian tengah dan timur. Papua adalah provinsi yang memiliki tingkat elektrifikasi terendah di Indonesia di mana dari keseluruhan wilayahnya hanya 47% yang sudah teraliri listrik. Dalam Studi ini akan didesain kapal pembangkit listrik dengan tenaga gelombang air laut sebagai unit pembantu khususnya pada Kota Serui. Pengerjaan diawali dengan mencari kebutuhan listrik yang ideal dari Kota Serui, yaitu sebesar 8,4 MW. Daya yang telah terpasang adalah 5,6 MW sehingga kekurangan daya adalah sebesar 2,8 MW. Berikutnya dipilih alat-alat pembangkit listrik tenaga gelombang air laut, yaitu *floats*, *inverter* dan baterai. Dibutuhkan dua buah kapal untuk memenuhi seluruh kebutuhan listrik Kota Serui karena membutuhkan waktu pengisian energi. Dengan pengisian selama 9 jam, masing-masing kapal menggunakan 18 baterai dengan daya sebesar 2 MW dan 20 *floats* dengan daya sebesar 0.2 MW. Secara total, satu kapal menghasilkan energi sebesar 36 MWh. Ukuran Utama Kapal yang didapatkan adalah $L = 95,89$ m, $B = 18,5$ m, $H = 5,2$ m, $T = 3,75$ m.

Kata Kunci—kapal pembangkit listrik, tenaga gelombang air laut, Papua, Kota Serui.

I. PENDAHULUAN

PAPUA adalah daerah dengan pembangunan yang paling tertinggal di Indonesia. Tantangan terbesar dalam melistriki wilayah Papua diantaranya adalah terbatasnya infrastruktur transportasi yang menyebabkan tingginya biaya operasi seperti biaya angkut bahan bakar yang jauh lebih besar dari harga rupiah per kilo watt hour. Disamping itu, kondisi geografis yang berupa hutan dan pegunungan juga menjadi alasan sulitnya akses kelistrikan. Di Papua, terdapat 14 kota/kabupaten dengan 110 desa yang belum berlistrik sama sekali. Selain 110 desa tersebut, masih banyak desa-desa dan daerah pelosok yang listriknya hanya hidup enam jam, delapan jam dan 12 jam. Semuanya hanya hidup dibawah 24 jam. (BBC Indonesia, 2016). Berdasarkan survei yang dilakukan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dan pemerintah Norwegia sejak tahun 1987, terdapat banyak daerah di Indonesia yang berpotensi sebagai sumber tenaga gelombang air laut, diantaranya adalah sepanjang pantai selatan Pulau Jawa, laut di sekitar Pulau Sumatera dan laut di

sekitar Pulau Papua. Tinggi gelombang laut yang dianggap potensial untuk menjadi pembangkit listrik adalah 1,5 m sampai 2 m dan gelombang tersebut tidak pecah sampai daerah pantai. Berdasarkan data-data tersebut, penggunaan tenaga gelombang air laut sebagai sumber tenaga listrik akan menjadi solusi yang efektif apabila di aplikasikan pada daerah Papua mengingat laut pada daerah Papua memiliki tinggi gelombang yang potensial.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Energi listrik dari tenaga gelombang air laut dalam pengembangan di Denmark melalui Wave Star Energy Machine. Wave Star Energy Machine merupakan teknologi pembaharuan energi yang digagas oleh Niels dan Keld Hansen pada tahun 2000 di Hanstholm, Denmark. Niels dan Keld membuat sebuah teknologi pembangkit tenaga listrik dalam bentuk sebuah platform yang memiliki 20 *floats* dengan 10 *floats* pada masing-masing sisi platform. *Floats* ini berbahan *Fiberglass Reinforced Plastic* (FRP) dengan diameter sebesar 5 m dan ditopang oleh lengan sepanjang 10 m. Lengan pada *floats* dapat digerakan secara otomatis dengan cara yang sama seperti proses gerakan pada *crane*. Rata-rata berat dari satu buah *floats* adalah sebesar 80 ton.

Wave Star Energy Machine bertujuan untuk menghasilkan energi listrik yang didapat dengan mengkonversi energi kinetik dari gelombang. Gelombang ditangkap melalui *floats* yang bergerak mengapung mengikuti gelombang secara vertikal dan rotasional. Gerakan ini memompa sebuah pompa hidrolik yang menggerakkan generator dan menghasilkan tenaga listrik. Setelah itu, energi listrik dialiri menuju inverter untuk diubah arusnya dari AC menjadi DC supaya bisa disimpan di baterai. Setelah disimpan di baterai, energi listrik dialiri kembali ke inverter dan energinya diubah kembali dari DC ke AC supaya bisa disalurkan ke daratan [1].

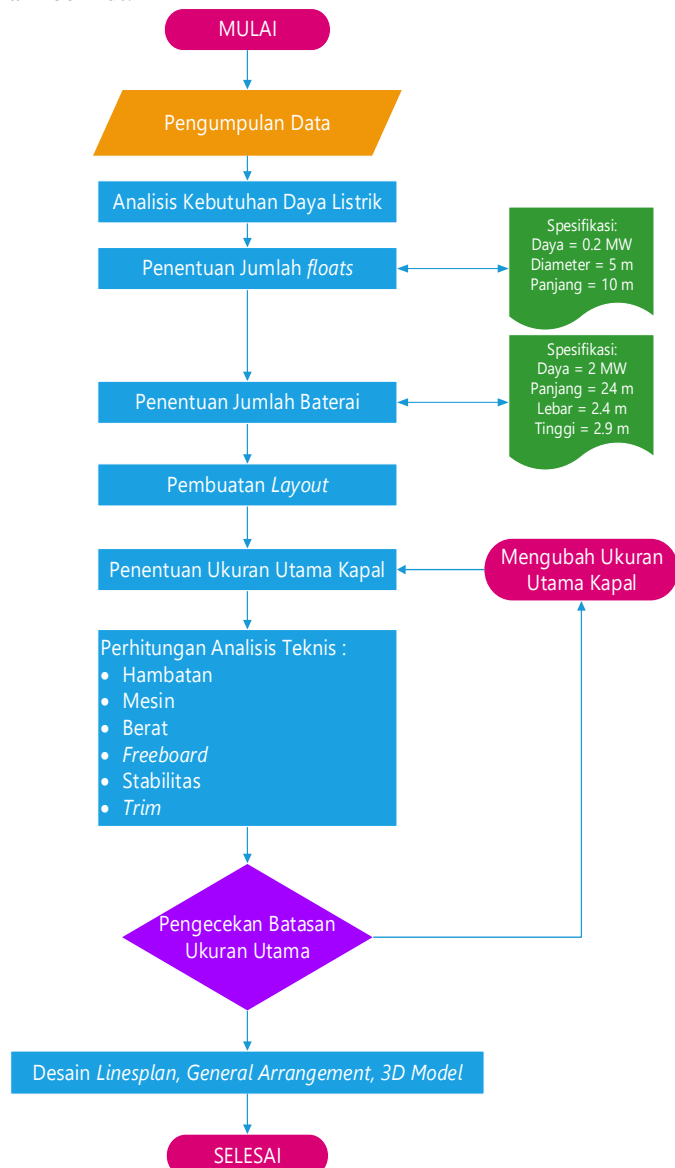
Proses desain merupakan proses yang dilakukan secara berulang-ulang hingga menghasilkan suatu desain yang sesuai dengan apa yang diinginkan. Dalam proses desain pembangunan kapal baru terdapat beberapa tahap desain, yaitu antara lain [2]:

1. *Concept Design*
2. *Preliminary Design*
3. *Contract Design*

4. Detail Design

III. METODOLOGI PENELITIAN

Tahap pengerjaan Studi ini digambarkan melalui diagram alir berikut:



Gambar 1. Alur Distribusi Energi Listrik

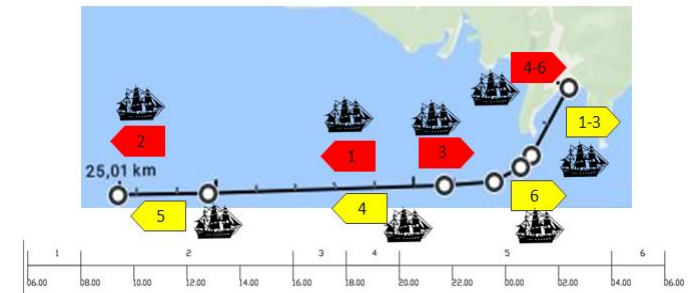
IV. TINJAUAN WILAYAH

Pulau Papua adalah pulau terluas kedua di dunia dan merupakan yang terluas di Indonesia. Total Area pada wilayah Papua adalah 808.105 km². Batas utara pada provinsi ini adalah Samudera Pasifik, batas barat adalah Kepulauan Maluku, batas timur adalah Papua Nugini dan batas selatan adalah Samudera Hindia, Laut Arafuru, Teluk Carpentaria dan Australia. Pada tahun 2016, Papua menjadi provinsi di Indonesia dengan rasio elektrifitas terendah, yaitu dibawah 70% [3].

Kota yang dijadikan studi kasus dalam penggunaan kapal pembangkit listrik adalah Kota Serui. Serui adalah sebuah Kota di Papua. Merupakan ibu kota dari Kabupaten Kepulauan

Yapen yang terletak di distrik Yapen Selatan. Mempunyai jumlah penduduk 24.290 jiwa (2000). Total kebutuhan listrik di Kota Serui adalah 8.4 MW dan baru terpenuhi sebesar 5.6 MW (66.67%)[4].

Kecepatan angin sekitar 3-15 knot dan tinggi signifikan gelombangnya 1.50 - 2.00 meter [4].



Gambar 2. Alur Distribusi Energi Listrik

Dalam perencanaan rute Kapal dibutuhkan dua kapal untuk mengisi energi listrik, masing-masing mengisi energi sebesar 36 MWh untuk penggunaan selama 12.5 jam. Proses berlabuhnya Kapal diabaikan pada perhitungan waktu pelayaran Kapal.

Tabel 1. Kegiatan Kapal I

Periode	Waktu (jam)	Kegiatan Kapal I
1.	06.00-08.00	Kapal berangkat ke laut
2.	08.00-16.00	Pengisian energi listrik
3.	16.00-18.00	Perjalanan kembali ke Kota Serui
4.	18.00-20.00	Penyaluran Energi Listrik
5.	20.00-04.00	Penyaluran Energi Listrik
6.	04.00-06.00	Penyaluran Energi Listrik

Tabel 2. Kegiatan Kapal II

Periode	Waktu (jam)	Kegiatan Kapal II
1.	06.00-08.00	Penyaluran Energi Listrik
2.	08.00-16.00	Penyaluran Energi Listrik
3.	16.00-18.00	Penyaluran Energi Listrik
4.	18.00-20.00	Kapal berangkat ke laut
5.	20.00-04.00	Pengisian energi listrik
6.	04.00-06.00	Penyaluran Energi Listrik

V. ANALISIS TEKNIS

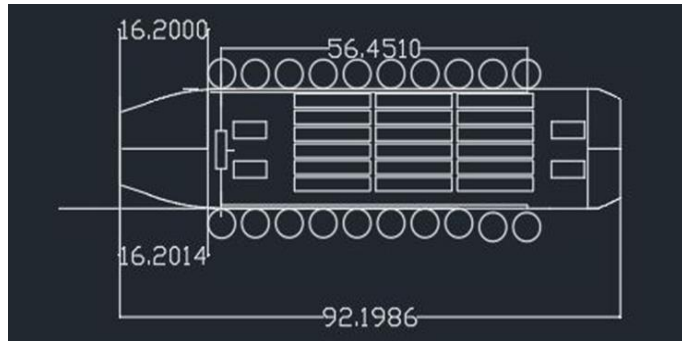
A. Desain Awal

Dalam menentukan desain awal dari Kapal ada beberapa hal yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

1. Kebutuhan listrik di Kota Serui (2.8 MW)

2. Jumlah *floats* yang dibutuhkan (20)
3. Ukuran *floats* yang dibutuhkan ($d = 5$ m)
4. Jumlah baterai yang dibutuhkan (18)
5. Ukuran baterai yang dibutuhkan (97.44 m^3)
6. Kedalaman terdangkal pada terminal tujuan

Sehingga didapat desain awal Kapal seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 3. Desain Awal Kapal

Lwl : 95.888m
 Lpp : 92.2 m
 B : 18.5 m
 H : 5.2 m

$L/B = 4.984 \rightarrow 3.5 < L/B < 10$
 $B/T = 4.933 \rightarrow 1.8 < B/T < 5$
 $L/T = 24.587 \rightarrow 10 < L/T < 30$
 $T/H = 0.721 \rightarrow 0.7 - 0.8$

B. Perhitungan Awal

Dari desain awal kemudian dihitung perhitungan-perhitungan awal yang terdiri dari:

- 1) Perbandingan ukuran kapal;
- 2) *Froude Number*;
- 3) *Block Coefficient*;
- 4) *Midship Coefficient*;
- 5) *Prismatic Coefficient*;
- 6) *Waterplane Coefficient*;
- 7) *Longitudinal Centre of Buoyancy*;
- 8) *Displacement*;

C. Hambatan

Pada Studi ini perhitungan hambatan Kapal menggunakan metode *Holtrop* dengan hasil akhir sebagai berikut:

$$R_T = 108.21 \text{ kN}$$

Setelah nilai hambatan total didapatkan, maka dapat dilakukan perhitungan daya yang dibutuhkan untuk sistem propulsi kapal, yaitu sebesar 1486.52 kiloWatt (kW).

D. Lightweight Tonnage

Lightweight Tonnage (LWT) merupakan berat kapal kosong yang terdiri dari berat baja dan konstruksi kapal, berat sistem permesinan kapal dan berat perlengkapan kapal. Dari hasil

perhitungan *LWT* didapatkan *LWT* kapal sebesar 1601,747 ton.

E. Deadweight Tonnage

Deadweight Tonnage (DWT) merupakan berat maksimum muatan pada kapal yang dapat diangkat yang terdiri dari berat muatan (*LNG*) dan berat *consumable* (*Fresh Water, Fuel Oil, Lubricating Oil*). Dari hasil perhitungan DWT didapatkan DWT kapal sebesar 3086.38 ton.

F. Freeboard

Perhitungan *freeboard* mengacu pada *International Convention of Load Lines* (ICLL) tahun 1969. *Freeboard* Kapal sesungguhnya adalah sebesar 1.45 m dan *freeboard minimum* sebesar 0,7 m.

G. Stabilitas

Analisis stabilitas digunakan untuk mengetahui keseimbangan kapal secara melintang pada beberapa kondisi pemuatan (*loadcases*). Pada perhitungan stabilitas ini dilakukan dengan menggunakan *software Maxsurf Stability Enterprise Educational Version*. Kriteria stabilitas yang digunakan adalah kriteria stabilitas kapal umum yang mengacu pada *Intact Stability* (IS) *Code Reg. III/3*. 1. Berikut merupakan hasil *running* pada setiap *loadcase*:

Tabel 3.
 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Stabilitas

Criteria	Value	Actual		
		LC1	LC2	LC3
Area 0 to 30 (\geq)	≥ 3.151	52.786	47.483	59.330
Area 0 to 40 (\geq)	≥ 5.157	80.758	71.117	92.130
Area 30 to 40 (\geq)	≥ 1.719	27.972	24.634	32.801
Max GZ at 30 (\geq)	≥ 0.2	2.813	2.489	3.352
Angle of Max GZ	≥ 25	37.3	39.1	42.7
Initial GMt	≥ 0.15	8.056	7.696	8.882

H. Trim

Trim merupakan kondisi keseimbangan kapal secara memanjang. *Trim* terjadi karena perbedaan letak titik LCB dan LCG Kapal sehingga menyebabkan perbedaan sarat pada bagian haluan dan buritan kapal. Perhitungan *trim* dilakukan dengan menggunakan *software Maxsurf Stability Enterprise Educational Version*. Kriteria stabilitas yang digunakan adalah kriteria *trim* mengacu pada SOLAS Reg. II/7, dimana kondisi *trim* maksimum yang diizinkan adalah sebesar 0,5% Lpp. Berikut merupakan hasil *running* pada setiap *loadcase*:

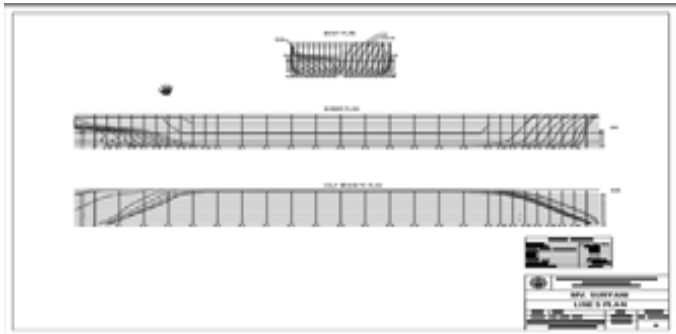
Tabel 4.
 Hasil Perhitungan Trim

Loadcases	0,5% Lpp (m)	Value (m)
LC 1	0.461	0.027
LC 2	0.461	0.083
LC 3	0.461	0.009

I. Lines Plan

Rencana garis merupakan gambaran bentuk lambung kapal yang diproyeksikan menjadi tiga sudut pandang yaitu sudut pandang depan, samping dan atas. Langkah awal adalah pembuatan model. Kemudian dilakukan perubahan pada beberapa elemen antara lain ukuran utama, *grid spacing* dan *zero-point* sesuai dengan kapal yang akan didesain.

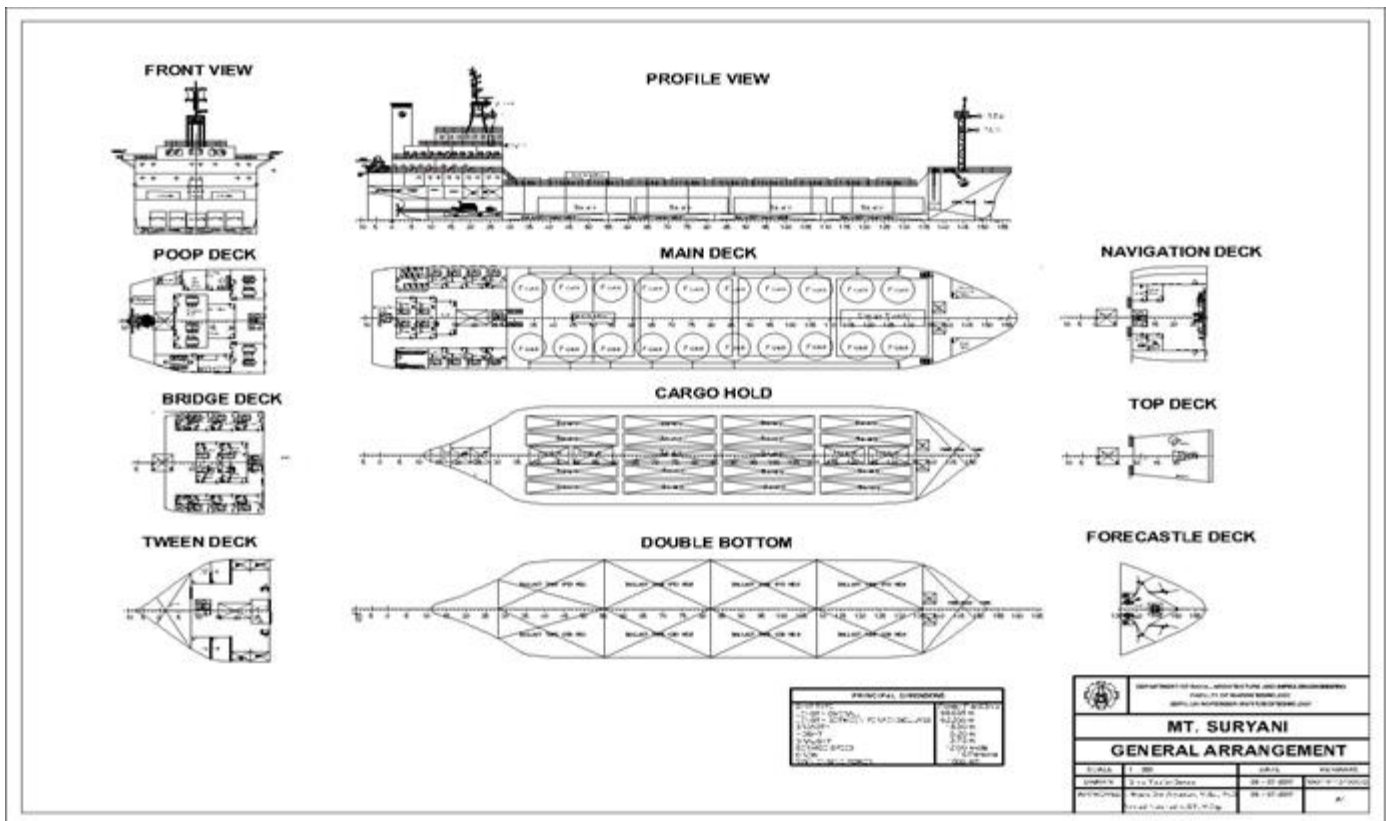
Untuk mendapatkan kriteria *displacement* yang sesuai dengan perhitungan dilakukan penyuntingan manual dengan memindahkan *control point* pada tempat yang sesuai. *Control point* berpengaruh pada lekuk lambung kapal di bawah air sehingga mengubah *displacement*.



Gambar 4. Lines Plan

VI. GENERAL ARRANGEMENT

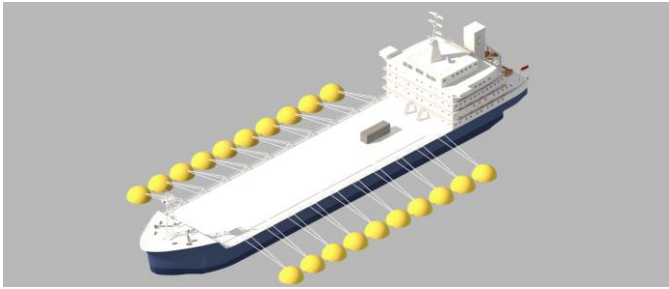
Rencana umum merupakan perencanaan ruangan di dalam kapal yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan perlengkapan kapal. Pada pembuatan rencana umum untuk kapal jenis ini disesuaikan dengan peralatan yang dibutuhkan. Secara umum, rencana umum digambarkan pada tiga sudut pandang yaitu tampak depan, tampak samping dan tampak atas kapal. Gambar Rencana Umum dapat dilihat pada Gambar 5.



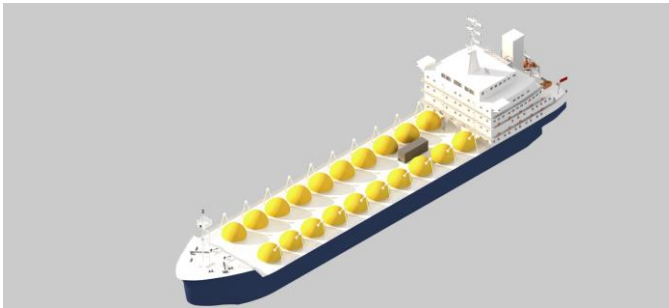
Gambar 5. General Arrangement.

A. Pemodelan 3 Dimensi Kapal

Pemodelan 3 Dimensi (3D) kapal ini harus sesuai dengan ukuran utama kapal dengan bentuk lambung yang proporsional terhadap desain lambung kapal. Hasil pemodelan 3D Kapal dapat dilihat pada Gambar. 6. Hingga Gambar. 8.



Gambar 6. Kapal Ketika Mengambil Energi



Gambar 7. Kapal Ketika Berlayar



Gambar 6. Isometrik dan Hasil Rendering Kapal

VII. ANALISIS EKONOMIS

A. Biaya Pembangunan

Perhitungan (estimasi) biaya pembangunan kapal dilakukan dengan menghitung biaya baja dan elektroda, biaya

permesinan, biaya perlengkapan kapal dan biaya keuntungan galangan. Sehingga didapat biaya pembangunan kapal sebesar Rp 36,806,035,000. (Tiga Puluh Enam Miliar Delapan Ratus Enam Juta Tiga Puluh Lima Ribu Rupiah).

B. Break Even Point (BEP)

Perhitungan BEP didapatkan dari hasil perhitungan biaya pembangunan dan biaya operasional kapal dibandingkan dengan pendapatan operasional dengan harga jual listrik sebesar Rp 1.467,28 per kWh sehingga didapatkan BEP pada bulan ke 58 (Lima Puluh Delapan) dengan estimasi keuntungan bersih sebesar Rp 644,337,000 (Enam Ratus Empat Puluh Empat Juta Tiga Ratus Tiga Puluh Tujuh Ribu Rupiah).

VIII. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dari Studi ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari keseluruhan wilayah Kota Serui, hanya 66,67% (5,6 MW dari 8,4 MW) yang sudah teraliri listrik dan dibutuhkan dua kapal untuk memenuhi seluruh kebutuhan listrik di Kota Serui.
2. Ukuran utama kapal adalah Lpp: 92,2 m; B: 18,5 m; H: 5,2 m dan T: 3,75 m.
3. Daya listrik yang dihasilkan oleh masing-masing kapal pembangkit listrik adalah 36 MWh dengan *floats* berjumlah 20, baterai berjumlah 18 dan dapat digunakan selama 12.5 jam.
4. Gambar *Lines Plan*, *General Arrangement*, dan 3D telah memenuhi aspek yang ada dalam perencanaan kapal, dan sesuai dengan peraturan yang ada, hasil dapat dilihat pada Lampiran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Energy, "Wavestar Energy Concept," 2016. [Online]. Available: <http://www.wavestarenergy.com>.
- [2] R. Taggart, *Ship Design and Construction Chapter 5*. SNAME, 1980.
- [3] Wikipedia, "Wikipedia," 2017. [Online]. Available: <http://www.wikipedia.org/Papua>.
- [4] B. M. K. dan Geofisika, "Prakiraan Tinggi Gelombang Satu Tahun Kedepan," 2017. [Online]. Available: http://maritim.bmkg.go.id/prakiraan/satu_tahun_kedepan.