

# Studi Pemanfaatan Arus Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif di Wilayah Selat Sunda

Budi Supian, Suhendar, Rian Fahrizal  
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Indonesia  
Jl. Jenderal Sudirman km 03, Cilegon, Banten

**Abstrak** – Sumber energi untuk pembangkit listrik yang berasal dari fosil semakin menipis membuat manusia harus mencari sumber energi alternatif seperti sumber energi alternatif arus laut. Salah satu sumber energi alternatif arus laut berada di wilayah selat Sunda, dengan kecepatan arus laut rata-rata per bulan sebesar 0,66-1,10m/s selama satu tahun. Besarnya potensi ini dapat dimanfaatkan pada skema PLTAL (Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut) sebagai pembangkit listrik tambahan untuk meningkatkan produksi listrik di wilayah selat Sunda. Energi listrik yang dihasilkan tanpa nilai konstanta efisiensi turbin untuk kecepatan arus laut minimum 0,66m/s sebesar 5,89kW dan maksimum 1,10m/s sebesar 27,28kW, sedangkan energi listrik yang dihasilkan dengan nilai konstanta efisiensi turbin untuk kecepatan arus laut minimum 0,66m/s sebesar 2,06kW dan maksimum 1,10m/s sebesar 9,54kW. Besarnya biaya pembangkitan sebesar Rp.452/kWh dan harga jual listrik sebesar Rp.519/kWh, dengan jumlah pendapatan pertahun didapat sebesar Rp.58.365.567,36/tahun. Hasil studi kelayakan secara finansial diperoleh PLTAL di wilayah selat Sunda cukup layak dengan ROR sebesar 22,88%, dan biaya modal investasi dapat kembali dalam waktu 5 tahun.

**Kata Kunci** : Energi Alternatif, PLTAL, Biaya Investasi

**Abstract** – The energy source for electricity generation from fossil dwindling make humans must look for alternative energy sources alternative energy sources such as ocean currents. One source of alternative energy in ocean currents in the area of the Sunda Strait, with the speed of ocean currents on average per month of 0.66 to 1.10 m/s for one year. The magnitude of this potential can be utilized in the scheme PLTAL ( Sea Power Flow ) as an additional power plants to increase electricity production in the Sunda Strait region . The electrical energy generated without the constant value for the speed of the turbine efficiency of ocean currents minimum of 0.66 m/s at 5.89 kW and a maximum of 1.10 m/s at 27.28 kW, while the electrical energy generated by the turbine efficiency constant value for the minimum speed of ocean currents 0.66 m/s of 2.06 kW and a maximum of 1.10 m/s at 9.54 kW. The amount of Rp.452/kWh generation cost and price of electricity at Rp.519/kWh , the number of annual revenue obtained by Rp.58.365.567, 36/tahun. The results of the feasibility study was financially obtained PLTAL in the Sunda Strait region is quite feasible with ROR of 22.88 %, and the cost of capital investment can be returned within 5 years.

**Keywords** : Alternative Energy, PLTAL, Investment Costs

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok masyarakat dan menjadi penunjang di segala aspek kehidupan dan pembangunan nasional, termasuk peningkatan taraf hidup. Ketergantungan masyarakat terhadap energi listrik semakin tinggi, seiring berjalannya waktu dan berkembangnya teknologi. Di sisi lain permasalahan yang muncul adalah sumber energi di Indonesia selama ini banyak mempergunakan hasil konversi dari energi fosil seperti minyak bumi, batubara dan gas sebagai sumber energi utamanya. Seperti diketahui, bahwa sumber energi yang berasal dari fosil ini semakin menipis persediaannya, sehingga semakin lama semakin berkurang dan tidak dapat diperbaharui lagi. Untuk mengatasi menipisnya persediaan energi listrik tersebut, diperlukan sebuah terobosan untuk memanfaatkan energi lain, dengan mengembangkan sumber-sumber energi terbarukan. Sumber energi terbarukan merupakan sumber energi non-fosil yang dapat diperbaharui, ramah lingkungan dan dapat dimanfaatkan dalam jangka waktu yang lama. Energi terbarukan memiliki peranan penting yang cukup besar dalam upaya

pengadaan energi listrik alternatif. Akan tetapi potensi energi terbarukan belum dimanfaatkan secara optimum terutama dalam membangkitkan tenaga listrik.

Sebagian besar daerah di Indonesia merupakan daerah kepulauan yang disatukan oleh lautan. Sebagai negara dengan potensi wilayah lautan yang cukup besar, sebenarnya membuat Indonesia memiliki potensi untuk mengembangkan sumber-sumber energi alternatif yang berasal dari laut seperti sumber energi alternatif arus laut. Energi arus laut merupakan salah satu energi terbarukan yang keberadaannya kontinu dan ramah lingkungan yang tidak akan pernah habis tidak seperti halnya dengan energi fosil. Salah satu energi arus laut berada di wilayah selat Sunda, karena wilayah selat Sunda merupakan titik pertemuan antara laut Jawa dan samudera Hindia yang melewati alur yang sempit dengan dibatasi oleh dua daratan yaitu daratan Jawa dan daratan Sumatra. Hal ini mengakibatkan arus yang terjadi cukup besar dengan kecepatan rata-rata per bulan sebesar 0,66-1,10m/s selama satu tahun. Besarnya potensi ini dapat dimanfaatkan pada skema PLTAL (Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut) sebagai pembangkit listrik tambahan

untuk meningkatkan produksi listrik di wilayah selat Sunda.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Energi

Energi adalah bagian utama untuk semua kegiatan makhluk hidup, termasuk manusia dalam memenuhi kebutuhan hidupnya selalu memerlukan energi. Energi dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja, oleh karena itu sifat dan bentuk energi dapat berbeda sesuai dengan fungsinya [1]. Kebutuhan konsumsi energi pada manusia dapat dibedakan menjadi beberapa kelompok sektor, yaitu kelompok pembangkit listrik, pemakaian industri, transportasi, komersial dan rumah tangga. Sumber-sumber energi yang terutama adalah air, angin, minyak bumi, gas alam, matahari, uranium, biomassa dan biogas. Bentuk atau sifat energi tersebut dapat saling dikonversikan, secara langsung ataupun tidak langsung. Energi listrik yang diperoleh dari baterai (sel primer atau sekunder) adalah dihasilkan langsung pada proses kimia masing-masing kedua sel tersebut, tetapi energi listrik pada PLTA (Pusat Listrik Tenaga Air) dihasilkan dari proses konversi energi potensial air akibat adanya selisih beda tinggi permukaan, dikonversikan menjadi energi kinetik oleh turbin yang selanjutnya oleh generator energi kinetik dikonversi menjadi energi listrik.

Bentuk energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia adalah energi listrik. Saat ini negara-negara di dunia, termasuk Indonesia, mulai memproduksi dan menggunakan energi terbarukan dalam upaya pengadaan energi listrik. Sejalan dengan meningkatnya kesejahteraan manusia maka kebutuhan energi listrik juga makin meningkat, maka selalu dilakukan sebagai upaya untuk mendapatkan energi listrik melalui proses yang efisien, efektif dan ekonomis.

### 2.2 Definisi Arus Laut

Arus laut adalah sistem sirkulasi dari samudera dalam arah pergerakan vertikal dan horizontal yang dibangkitkan oleh gaya gravitasi, gaya gesek angin (*wind friction*) dan variasi kerapatan air pada bagian yang berbeda dalam samudera [2]. Aliran arus samudera berada dalam pola yang sangat kompleks, selain disebabkan oleh faktor yang telah disebutkan di atas, arus laut juga disebabkan oleh karena adanya topografi dasar samudera (*topography of the ocean floor*) dan rotasi bumi (*the earth's rotation*). Arus laut merupakan proses pergerakan massa air laut yang berpindah dari satu tempat ketempat lain secara kontinu atau terjadi secara terus-menerus [3]. Arus dipermukaan laut terutama disebabkan oleh tiupan angin, sedangkan arus dikedalaman laut disebabkan oleh perbedaan densitas massa air laut. Selain itu, arus dipermukaan laut dapat juga disebabkan oleh gerakan pasang surut air laut atau gelombang. Arus laut dapat terjadi di samudera luas yang bergerak melintasi samudera (*ocean currents*), maupun terjadi diperairan pesisir (*coastal currents*).

### 2.3 Perencanaan Sistem Tenaga Listrik

Perencanaan sistem tenaga listrik dilakukan interaksi ke dalam sistem perencanaan energi secara keseluruhan akan mendapatkan hasil yang efektif. Langkah awal dalam analisis terpadu antara sistem energi dan sistem tenaga listrik adalah pengembangan jaringan permintaan maupun penyediaan yang menelusuri aliran energi dari sumber energi primer sampai kepada pemakaian terakhir (*end use*). beberapa hal penting dalam perencanaan sistem pembangkit tenaga listrik, yaitu [4]:

1. Perkiraan kebutuhan energi listrik
2. Pemilihan teknologi
3. Evaluasi ekonomi
4. Keandalan
5. Faktor pembatas

Setelah perencanaan sistem pembangkit tenaga listrik dimasukkan dalam sistem pembangkit energi, maka perlu diperhatikan beberapa hal penting dalam perencanaan pembangunan pembangkit tenaga listrik sehingga pembangkit tenaga listrik akan bekerja secara optimal sampai waktu yang telah ditentukan. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pembangunan pembangkit tenaga listrik [4]:

1. Biaya pembangkitan
2. Keamanan dari pembangkit tenaga listrik
3. Keandalan
4. Efisiensi
5. Kemudahan pemeliharaan
6. Kondisi kerja yang baik

#### 2.3.1 Turbin

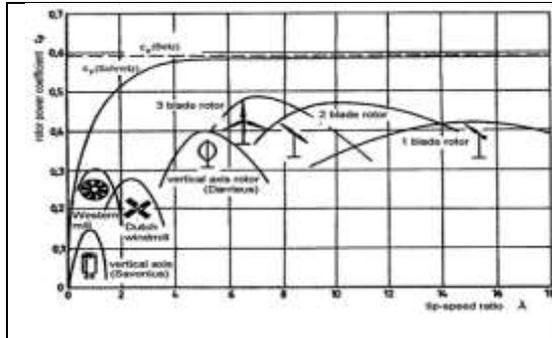
Fungsi utama turbin pada mesin penggerak adalah merubah arah gerak (tenaga mekanik) dari gerak translasi menjadi gerak rotasi. Turbin ini digerakkan (diputar) oleh suatu fluida kerja dengan tekanan yang besar. Adapun fluida kerja yang berperan dalam hal ini dapat berupa uap (air yang dipanaskan), gas (dapat berupa gas bumi yang langsung dieksploitasi dari dalam perut bumi, dapat pula berupa gas yang diproses lebih dulu) dan dapat berupa air suhu normal (dari aliran sungai, laut atau danau).

Untuk mendapatkan daya dari energi kinetik yang terdapat dari energi arus laut dibutuhkan turbin yang sesuai dengan kondisi keadaan di perairan Indonesia pada umumnya. Perbandingan efisiensi dan daerah operasi turbin arus laut dapat dilihat pada Tabel 1 [5].

Tabel 1. Efisiensi dan Daerah Operasi Turbin Arus Laut

Turbin	Efisiensi (%)	Daerah Operasi (m/s)
Garman	15-18	> 0,5
Tyson	16	> 0,5
Savonius	19	> 2
SeaFlow	20	> 2
Darrieus	23	> 2
Gorlov	35	> 0,6
Verdant	43	> 2

Pemilihan turbin pada suatu pembangkit didasarkan pada beberapa pertimbangan antara lain kecepatan arus laut, daya yang ingin dibangkitkan serta kecepatan putaran turbin yang diinginkan untuk memutar generator. Jika dilihat dari Gambar 1, maka dapat diketahui jenis desain blade turbin yang sesuai dengan keadaan arus laut di Indonesia [6].



Gambar 1. Jenis Desain Blade Turbin (Grafik ini dapat Digunakan untuk Semua Fluida) [6].

2.3.2 Generator

Generator adalah suatu peralatan yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator adalah berdasarkan induksi elektromagnetik, setelah rotor diputar oleh penggerak mula (*prime movers*), dengan demikian kutub-kutub yang ada pada rotor akan berputar. Jika kumparan kutub diberi arus searah maka pada permukaan kutub akan timbul medan magnet (garis-garis gaya fluks) yang berputar, kecepatannya sama dengan putaran kutub. Salah satu prototipe perangkat pembangkit listrik tenaga arus laut skala kecil banyak menggunakan generator type PMG (*Permanent Magnet Generator*). PMG adalah sebuah desain generator sinkron listrik berdasarkan penggunaan magnet permanen di rotor. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*Alternating Current*).

Pemilihan jenis generator untuk lokasi yang dipilih sesuai dengan daya output dan spesifikasi teknik dijabarkan pada Tabel 2 [7].

Tabel 2. Pemilihan Generator Berdasarkan Daya

Daya Terpasang	<10 kW	10-30 kW	>30 kW
Tipe generator	Sinkron atau Asinkron	Sinkron atau Asinkron	Sinkron
Fasa	1 atau 3	1 atau 3	3

2.4 PLTAL (Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut)

Indonesia memiliki banyak potensi alam yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga listrik. Pembangkit tenaga listrik yang banyak terdapat di Indonesia antara lain PLTA, PLTU, PLTD dan PLTGU. Namun, semua pembangkit yang disebutkan ini memiliki output gas buang dengan kandungan karbon yang berdampak kurang baik bagi lingkungan. Maka dari itu dibutuhkan suatu terobosan untuk memanfaatkan energi

terbarukan, tidak hanya mengandalkan energi tidak terbarukan. Untuk wilayah Indonesia, energi terbarukan yang punya prospek bagus salah satunya adalah energi arus laut. Hal ini dikarenakan Indonesia mempunyai banyak pulau dan selat. Untuk mendapatkan besar energi yang dihasilkan oleh suatu pembangkit listrik arus laut dapat diperoleh melalui persamaan 1 [4].

$$P = 0,5 \times \rho \times A \times V^3 \tag{1}$$

Dimana: P = Energi listrik yang dihasilkan (kW)  
 ρ = berat jenis air = 1025 kg/m<sup>3</sup>  
 A = luas penampang (m<sup>2</sup>)  
 V = kecepatan arus (m/s)

Dengan mempertimbangkan bahwa pembangkit energi arus laut memiliki *losses* di turbin, maka persamaan untuk mendapatkan besar energi yang dihasilkan oleh suatu pembangkit listrik arus laut dapat diperoleh melalui persamaan 1 menjadi persamaan 2 [4].

$$P = 0,5 \times \rho \times A \times V^3 \times \eta \tag{2}$$

Dimana: η = efisiensi turbin

Berbeda dengan energi gelombang laut yang hanya terjadi pada kolom air di lapisan permukaan saja, arus laut bisa terjadi sampai pada lapisan yang lebih dalam dan bahkan sampai ke dasar laut. Kelebihan karakter fisik arus laut ini memberikan peluang yang lebih optimal dalam pemanfaatan konversi energi kinetik menjadi energi listrik. Road map penelitian karakteristik arus laut serta estimasi daya listrik yang telah dilaksanakan oleh PPPGL (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan) sampai tahun 2011 di perairan Sunda Kecil atau Nusa Tenggara Timur, seperti yang ditunjukkan Tabel 3.

2.5 Biaya Pembangunan Pembangkitan PLTAL

Beberapa faktor yang harus diperhitungkan dalam usaha pemenuhan kebutuhan listrik dari pola pemakaian konsumen adalah faktor beban, faktor kapasitas dan faktor mampu dari pembangkit tenaga listrik [4].

Tabel 3. Road Map Penelitian Karakteristik Arus Laut

Energi Arus Laut	Selat Lombok	Selat Nusa Penida	Selat Larantuka	Selat Pantar	Selat Molo
Kecepatan Arus (m/s)	1,8-2,4	0,5-3,2	1,5-3,4	1,5-3,1	1,7-3,5
Luas Penampang Turbin (m <sup>2</sup> )	15	40	40	40	40
Daya Listrik (kW/cell)	70-150	20-400	60-450	50-250	65-440
Tahun Penelitian	2005,2006	2007,2009	2008	2010	2011

$$\text{Faktor Beban} = \frac{\text{Rata - rata beban pada waktu tertentu}}{\text{Beban terbesar pada waktu yang sama}} \tag{3}$$

Avaibility  

$$= \frac{\text{Lamanya pembangkit beroperasi}}{\text{waktu total pengamatan}} \quad (4)$$

Biaya pembangkitan total tanpa biaya eksternal merupakan penjumlahan dari biaya modal, biaya bahan bakar, serta biaya operasional dan perawatan.

$$TC = CC + FC + O\&M \quad (5)$$

Dimana: TC = Biaya pembangkitan total  
 CC = Biaya modal  
 FC = Biaya bahan bakar  
 O&M = Biaya operasi dan perawatan

2.5.1 Biaya Modal (*Capital Cost*)

Total modal investasi untuk pembangkit tenaga listrik meliputi biaya langsung, biaya kepemilikan dan biaya suku cadang (kadang-kadang harus dibeli secara kolektif dan disebut biaya sebelum produksi), biaya tak terduga, kenaikan harga dan daya yang dipakai selama masa konstruksi.

Perhitungan biaya modal, tergantung pada tingkat suku bunga (*discount rate*) dan umur ekonomis. Nilai suku bunga diperhitungkan adalah suku bunga pertahun yang harus dibayar dengan memperhitungkan umur dari pembangkit yang mempunyai rumus sebagai berikut [4]:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (6)$$

Sehingga, secara umum biaya modal dapat dirumuskan dari persamaan sebagai berikut [4]:

$$CC = \frac{\text{Biaya pembangunan} \times \text{kapasitas pembangkit} \times CRF}{\text{Jumlah pembangkitan netto tenaga listrik}} \quad (7)$$

Dimana: CRF = *Capital Recovery Factor* (desimal)  
 i = Suku bunga/*Interest rate* (%)  
 n = Umur pembangkit/lama waktu penyusutan (tahun)  
 CC = Biaya modal/*Capital Cost* (US\$/kWh)

$$\text{Biaya pembangunan} = \frac{\text{biaya investasi}}{\text{kapasitas daya terpasang}} \quad (8)$$

$$\text{Jumlah pembangkitan netto tenaga listrik (kWh/tahun)} = \text{daya terpasang} \times \text{faktor daya} \times \text{jam} \times \text{hari} \quad (9)$$

2.5.2 Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan terdiri dari dua komponen, yaitu biaya tetap (yang tidak berhubungan dengan *output* listrik) dan biaya variabel (yang berhubungan dengan *output* listrik). Dimana biaya tetap tersebut tergantung jenis bahan bakar, kapasitas pembangkit dan teknologi yang digunakan. Sedangkan biaya variabel yang berhubungan dengan pengoperasian pembangkit dan faktor yang mempengaruhinya adalah pemeliharaan dan desain pembangkit.

2.5.3 Harga Jual Listrik (*COE/ Cost of Energy*)

Perhitungan harga jual listrik dari PLTAL dapat dilakukan dengan memperhitungkan nilai keuntungan yang besarnya 15% dari biaya pembangkitan total. Persamaan harga jual listrik dapat diperoleh melalui persamaan (10) [4]:

$$COE = TC + (15\% \times TC) \quad (10)$$

Dimana: COE = Harga jual  
 TC = Biaya total

2.5.4 Perhitungan Pendapatan per-Tahun (*CIF/Cash in Flow*)

Jumlah pendapatan pertahun/*CIF* (*Cash in Flow*) dapat dihitung dari kWh<sub>out</sub> dan selisih BPP (Biaya Pokok Penyediaan) dengan BP (Biaya Pembangkitan) atau dengan kata lain KP (Keuntungan Penjualan). Pembangkit ini direncanakan akan melalui saluran tegangan menengah, untuk daerah Banten. Perhitungan pendapatan per tahun dapat dihitung menggunakan persamaan (11) [4].

$$CIF = \text{kWh}_{\text{out}} \times KP \quad (11)$$

$$CIF = \text{kWh}_{\text{out}} \times (BPP - TC)$$

2.5.5 ROR (*Rate or Return*)

ROR menunjukkan perbandingan laba tahunan terhadap investasi. Dengan demikian merupakan cara sederhana untuk mengukur keberhasilan suatu investasi. Bank Dunia menetapkan suatu proyek dianggap layak jika mempunyai ROR lebih dari 8%. Kelemahan kriteria ini tidak mempertimbangkan nilai waktu dari uang [8]. ROR dapat dapat dihitung menggunakan persamaan (12).

$$ROR = \frac{CIF}{\text{Biaya Investasi}} \times 100\% \quad (12)$$

2.5.6 ROI (*Return of Investment*)

ROI (*Return of Investment*) adalah kemampuan pembangkit untuk mengembalikan dana investasi dalam menghasilkan tingkat keuntungan yang digunakan untuk menutup investasi yang dikeluarkan. Perhitungan ROI (*Return of Investment*) dengan menggunakan suku bunga 10,04% dapat dihitung menggunakan persamaan (13) [4]

$$ROI = \frac{\sum_t^n \text{Bennefit}_t - \text{Investment Cost}}{\text{Investment Cost}} \quad (13)$$

$$\text{Bennefit} = (CIF_t - COF_t)$$

Dimana : CIF<sub>t</sub> = Pemasukan tahun ke-t  
 COF<sub>t</sub> = Pengeluaran tahun ke-t

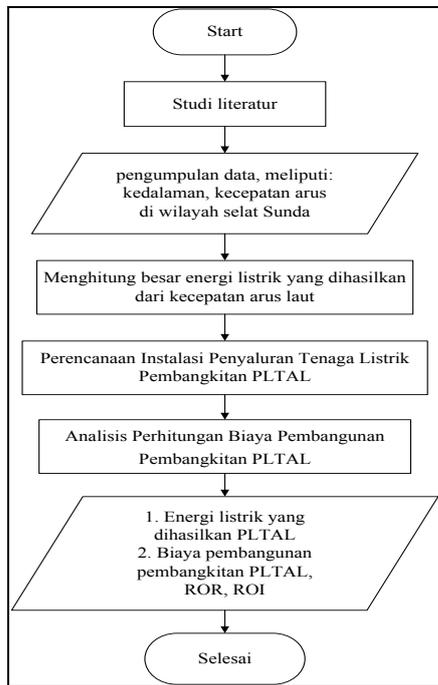
III. METODOLOGI PENELITIAN

Secara sederhana, proses studi kasus pemanfaatan arus laut sebagai sumber energi listrik alternatif dapat dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 2.

3.1 Data

Data yang digunakan pada penelitian berupa data geografis meliputi data kecepatan arus laut di wilayah

selat Sunda dalam se-tahun terakhir, yaitu pada bulan Januari-Desember 2012 yang tercatat di Dinas Hidro-Oceanografi TNI AL dengan memberikan letak lintang dan bujur lokasi wilayah selat Sunda, data kecepatan arus di wilayah selat Sunda dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan Penelitian

Tabel 4. Kecepatan Arus Laut di Wilayah Selat Sunda

No.	Data/Bulan	Kecepatan Arus Laut Rata-Rata dalam m/s
1	Januari	1,04
2	Februari	0,73
3	Maret	0,66
4	April	0,71
5	Mei	0,97
6	Juni	1,02
7	Juli	0,87
8	Agustus	0,70
9	September	0,67
10	Oktober	0,72
11	Nopember	0,90
12	Januari	1,10
Rata-rata		0,84

3.2 Pemilihan Jenis Turbin

Dalam suatu sistem pembangkit tenaga listrik dengan tenaga arus laut, turbin merupakan salah satu peralatan utama selain generator. Pergerakan turbin ditentukan oleh arus laut. Dengan nilai kecepatan arus laut di wilayah selat Sunda yang diperoleh, dapat dilihat pada Tabel 4, jenis turbin yang digunakan dapat ditentukan menggunakan Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, dengan kecepatan arus laut di wilayah selat Sunda rata-rata sebesar 0,84m/s, maka jenis turbin yang dipilih

adalah turbin Gorlov. Turbin Gorlov memiliki karakteristik di antaranya mempunyai efisiensi yang dikatakan paling tinggi dan konstan dibandingkan jenis turbin arus laut lainnya sebesar 35%.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Energi Listrik yang Dihasilkan

4.1.1 Perhitungan Energi Listrik yang Dihasilkan Tanpa Nilai Konstanta Efisiensi Turbin

Berdasarkan data kecepatan arus di wilayah selat Sunda yang diperoleh, maka dapat dihitung energi listrik yang dihasilkan tanpa nilai konstanta efisiensi turbin menggunakan data pada Tabel 4 dan menggunakan persamaan (1). Seperti pada contoh perhitungan energi listrik yang dihasilkan tanpa nilai konstanta efisiensi turbin pada bulan ke-1 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 P &= 0,5\rho AV^3 \\
 &= 0,5.1025.40.1,04^3 \\
 &= 23059,71W \sim 23,05kW
 \end{aligned}$$

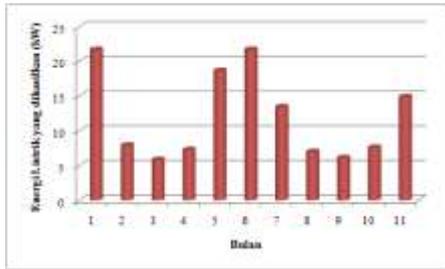
Hasil perhitungan energi listrik yang dihasilkan tanpa nilai konstanta efisiensi turbin pada bulan berikutnya hingga bulan ke-12 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Energi Listrik yang Dihasilkan Tanpa Nilai Konstanta Efisiensi Turbin

No.	Bulan	Energi Listrik yang Dihasilkan (kW)
1	Januari	23,05
2	Februari	7,97
3	Maret	5,89
4	April	7,33
5	Mei	18,7
6	Juni	21,75
7	Juli	13,49
8	Agustus	7,03
9	September	6,16
10	Oktober	7,65
11	Nopember	14,94
12	Desember	27,28
Min		5,89
Rata-rata		13,43
Max		27,28

Hasil perhitungan pada Tabel 5 dapat dilihat nilai minimum energi listrik yang dihasilkan tanpa nilai konstanta efisiensi turbin terjadi pada bulan Maret sebesar 5,89kW. Untuk nilai maksimum energi listrik yang dihasilkan tanpa nilai konstanta efisiensi turbin terjadi pada bulan Desember sebesar 27,28kW. Dengan nilai rata-rata energi listrik yang dihasilkan tanpa nilai konstanta efisiensi turbin sebesar 13,43kW. Mengacu pada hasil energi listrik yang dihasilkan tanpa nilai konstanta efisiensi turbin, dibuatlah sebuah grafik

hubungan perbandingan antara bulan dan nilai energi listrik yang dihasilkan tanpa nilai konstanta efisiensi turbin, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan antara Bulan dan Energi Listrik yang Dihasilkan Tanpa Nilai Konstanta Efisiensi Turbin

4.1.1 Perhitungan Energi Listrik yang Dihasilkan dengan Nilai Konstanta Efisiensi Turbin

Berdasarkan data kecepatan arus di wilayah selat Sunda yang diperoleh, maka dapat dihitung energi listrik yang dihasilkan dengan nilai konstanta efisiensi turbin menggunakan data pada Tabel 4 dan menggunakan persamaan (2). Seperti pada contoh perhitungan energi listrik yang dihasilkan dengan nilai konstanta efisiensi turbin pada bulan ke-1 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 P &= 0,5\rho AV^3\eta \\
 &= 0,5.1025.40.1,04^3.0,35 \\
 &= 8070,89W \sim 8,07kW
 \end{aligned}$$

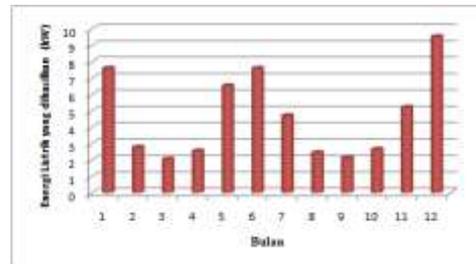
Hasil perhitungan energi listrik yang dihasilkan dengan nilai konstanta efisiensi turbin pada bulan berikutnya hingga bulan ke-12 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Energi Listrik yang Dihasilkan dengan Nilai Konstanta Efisiensi Turbin

No.	Bulan	Energi Listrik yang Dihasilkan (kW)
1	Januari	8,07
2	Februari	2,79
3	Maret	2,06
4	April	2,56
5	Mei	6,54
6	Juni	7,61
7	Juli	4,72
8	Agustus	2,46
9	September	2,15
10	Oktober	2,67
11	Nopember	5,23
12	Desember	9,54
Min		2,06
Rata-rata		4,70
Max		9,54

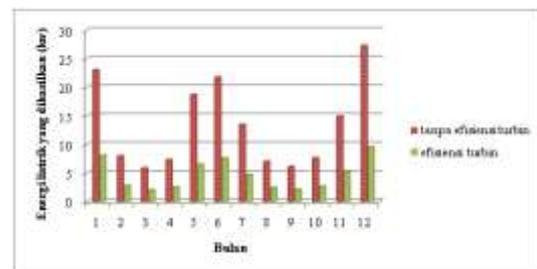
Hasil perhitungan pada Tabel 5 dapat dilihat nilai minimum energi listrik yang dihasilkan dengan nilai konstanta efisiensi turbin terjadi pada bulan Maret sebesar 2,06kW. Untuk nilai maksimum energi listrik yang

dihasilkan dengan nilai konstanta efisiensi turbin terjadi pada bulan Desember sebesar 9,54kW. Dengan nilai rata-rata energi listrik yang dihasilkan dengan konstanta efisiensi turbin yang dihasilkan sebesar 4,70kW. Mengacu pada hasil perhitungan energi listrik yang dihasilkan dengan nilai konstanta efisiensi turbin, dibuatlah sebuah grafik hubungan perbandingan antara bulan dan nilai energi listrik yang dihasilkan dengan nilai konstanta efisiensi turbin, dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Bulan dan Energi Listrik yang Dihasilkan dengan Nilai Konstanta Efisiensi Turbin

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 5 dan Tabel 6 dengan memperlihatkan nilai energi listrik yang dihasilkan, dibuatlah sebuah grafik hubungan perbandingan antara bulan dan nilai energi listrik yang dihasilkan dengan nilai tanpa konstanta efisiensi turbin dan sesudah dengan nilai konstanta efisiensi turbin, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Perbandingan antara Bulan dan Energi Listrik yang Dihasilkan Tanpa dan Sesudah Menggunakan Nilai Konstanta Efisiensi Turbin

4.2 Perencanaan Instalasi Penyaluran Tenaga Listrik Pembangkitan PLTAL

Prinsip sederhana dari pemanfaatan energi alternatif arus laut adalah memakai energi kinetik untuk memutar turbin selanjutnya menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik, dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Prinsip Proses Konversi Energi Arus Laut

Komponen utama yang dipergunakan dalam penyaluran daya listrik adalah: kabel penghantar, tiang listrik, dan sistem pentanahan. Penjelasannya sebagai berikut:

1. Kabel Penghantar

Kabel Penghantar menggunakan jaringan JTR (Jaringan Tegangan Rendah) 220/380V. Untuk menentukan jenis penghantar harus diperhatikan besarnya arus listrik yang akan disalurkan dan besarnya drop tegangan yang terjadi. Penghantar yang dipilih harus mempunyai KHA (Kuat Hantar Arus) lebih besar daripada arus nominalnya. Sehingga drop tegangan diharapkan tidak melebihi 5% KHA dari penghantar dipengaruhi oleh jenis dari material penghantar, penampang penghantar, jenis beban dan suhu dikelilingi penghantar. Untuk kapasitas dari pembangkit adalah 9,54kW dengan sistem 3 phasa tegangan 380V, faktor daya beban adalah 0,8, maka arus nominal dihitung dengan persamaan 14 berikut:

$$\begin{aligned}
 I_{nom} &= \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \text{Cos}\phi} & (14) \\
 &= \frac{9540}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,8} \\
 &= \frac{9540}{263,1} = 36,26 \text{ A} \\
 \text{KHA} &= 1,1 \times I_{nominal} = 1,1 \times 36,26 = 39,89 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Jenis penghantar pada jaringan distribusi untuk tegangan 220/380V direncanakan menggunakan kabel bawah laut (*sub marine cable*) dengan kabel berinti tiga berisolasi XLPE dan berselubung PE/PVC (SPLN No.43-5-6, tahun 1995) dan kabel udara dengan menggunakan jenis kabel LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*) (SPLN No. 42-10, tahun 1993).

2. Tiang

Sebagai penopang kabel digunakan tiang beton JTR 9 meter, dengan jarak tiang (span) rata-rata 40 meter. Mengingat letak jaringan di daerah pantai maka digunakan jenis tiang beton untuk menghindari terjadinya korosi yang bisa terjadi pada tiang besi.

3. Sistem Pentanahan Netral Pengaman

Sebagai pengaman terhadap tegangan lebih dari luar sistem dan terjadinya kegagalan isolasi agar tidak terjadi tegangan sentuh yang tinggi dan berlangsung lama, maka perlu digunakan sistem pentanahan yang baik yaitu dengan pemasangan arde 5 ohm setiap jarak 250 meter atau 6 gawang. Dengan suatu tindakan pengamanan berubah menghubungkan badan peralatan atau instalasi yang diamankan dengan hantaran netral tahanan netral yang ditanahkan (SPLN No. 3 tahun 1978).

4.3 Analisis Perhitungan Biaya Pembangunan Pembangkitan PLTAL

Pembangunan PLTAL di wilayah Selat Sunda, akan diambil asumsi secara umum bahwa pembangunan PLTAL dengan kapasitas total daya terpasang sebesar

9,54kW memiliki faktor daya sebesar 80% dan memiliki umur pembangkit 20 tahun.

4.3.1 Biaya Modal (*Capital Cost*)

Perhitungan biaya modal, tergantung pada tingkat suku bunga (*discount rate*) dan umur ekonomis. Besarnya biaya investasi PLTAL dengan kapasitas daya terpasang 9,54kW untuk waktu umur pembangkit 20 tahun dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 7. Investasi Pembangkitan PLTAL

Komponen Elektrikal dan Mekanikal	
Komponen	Harga
Generator Sinkron 3 fasa	US\$8000
Turbin	US\$5000
Bouyance/rumah storage	US\$6000
Instalasi Alat	US\$3000
Aksesoris	US\$3500
<b>Total</b>	<b>US\$25500</b>

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui biaya investasi pembangkitan PLTAL di wilayah selat Sunda dengan kapasitas daya terpasang 9,54kW ini sebesar US\$25500 atau Rp.255.000.000 (dengan kurs Rp.10000,- per USD).

a. perhitungan CRF (*Capital Recovery Factor*)

PLTAL yang akan dikembangkan pada penelitian ini, diasumsikan beroperasi selama 20 tahun. Besarnya tingkat diskonto (i) yang dipergunakan untuk menghitung nilai sekarang pada penelitian ini adalah sebesar 10,04%. Penentuan tingkat diskonto ini mengacu kepada tingkat suku bunga kredit bank pada tahun 2012 yaitu rata-rata sebesar 10,04% (BPS, 2012).

$$\begin{aligned}
 CRF &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\
 &= \frac{0,1004(1 + 0,1004)^{20}}{(1 + 0,1004)^{20} - 1} \\
 &= \frac{0,680}{5,776} \\
 &= 0,117
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan biaya pembangunan

Berdasarkan biaya investasi dan kapasitas daya terpasang yang telah diketahui sehingga didapatkan biaya pembangunan/*capital investment cost* adalah sebesar:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya pembangunan} &= \frac{\text{biaya investasi}}{\text{kapasitas daya terpasang}} \\
 &= \frac{\text{US\$25500}}{9,54\text{kW}} \\
 &= \text{US\$2672,9/kW}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapat untuk nilai biaya pembangunan pembangkit adalah US\$2672,9/kW.

c. Perhitungan jumlah pembangkitan tenaga listrik (kWh/tahun)

PLTAL yang dioperasikan selama 24 jam, dengan daya terpasang 9,54kW dan faktor daya 80% maka jumlah total tenaga listrik yang terbangkitkan dapat dihitung menggunakan persamaan (9).

$$\begin{aligned} kWh_{out} &= \text{daya terpasang} \times \text{faktor daya} \times \text{jam} \times \text{hari} \\ &= 9,54 \times 0,8 \times 24 \times 365 \\ &= 66856,32 \text{ kWh/tahun} \end{aligned}$$

Sehingga dengan menggunakan persamaan (7) didapatkan hasil perhitungan biaya modal (*CC/Capital Cost*) setelah dipengaruhi oleh nilai kWh<sub>out</sub> dan besar nilai CRF sebagai berikut:

$$\begin{aligned} CC &= \frac{2672,9 \times 9,54 \times 0,117}{66856,32} \\ &= 0,044 \text{ US\$/kWh} \sim 4,4 \text{ centUS\$/kWh} \end{aligned}$$

#### 4.3.2 Perhitungan Biaya Bahan Bakar

Meskipun PLTAL tidak memerlukan bahan bakar fosil sebagai sumber energinya, tetapi PLTAL tetap memerlukan minyak yang digunakan sebagai pelumas mesin-mesinnya. Biaya minyak pelumas yang digunakan untuk PLTAL ini adalah sebesar Rp. 9/kWh atau sebanding dengan 0,09 centUS\$/kWh.

#### 4.3.3 Perhitungan Biaya Operasi dan Perawatan (*Operation and Maintenance Cost/O&M*)

Biaya operasi dan perawatan adalah biaya yang dikeluarkan untuk pengoperasian pembangkit dan perawatan berkala, dapat dilihat pada Tabel 8. Berdasarkan Tabel 8 dapat diketahui bahwa biaya operasi dan perawatan PLTAL Selat Sunda 9,54kW ini adalah sebesar 0,03 centUS\$/kWh.

Tabel 8. Perbandingan Biaya O&M Berdasarkan Power Source (*retscreen.net*)

Sumber Daya	O&M Cost (centUS\$/kWh)
Panas Bumi	0,40-1,40
Tenaga Air	0,70
Arus Laut	0,03
Batubara	0,46
Nuklir	1,90

#### 4.3.4 Perhitungan Biaya Pembangkitan Total

Perhitungan biaya pembangkitan dalam pembangkitan tahunan dapat dihitung menggunakan persamaan (5).

$$\begin{aligned} TC &= CC + FC + O\&M \\ TC &= 4,4 \text{ centUS\$/kWh} + 0,09 \text{ centUS\$/kW} + 0,03 \text{ centUS\$/kWh} \\ &= 4,52 \text{ centUS\$/kWh} \\ &= 0,0452 \text{ US\$/kWh} \\ &= \text{Rp. 452/kWh} \end{aligned}$$

#### 4.3.5 Perhitungan Harga Jual Listrik (*COE/ Cost Of Energy*)

Perhitungan harga jual listrik dari PLTAL Selat Sunda dapat dilakukan dengan memperhitungkan nilai keuntungan yang besarnya 15% dari biaya pembangkitan total. Perhitungan harga jual listrik dapat dihitung menggunakan persamaan (10).

$$\begin{aligned} COE &= TC + (15\% \times TC) \\ COE &= 0,0452 \text{ US\$/kWh} + (0,15 \times 0,0452 \text{ US\$/kWh}) \\ &= 0,0452 \text{ US\$/kWh} + 0,0067 \text{ US\$/kWh} \\ &= 0,0519 \text{ US\$/kWh} \\ &= \text{Rp. 519/kWh} \end{aligned}$$

#### 4.3.6 Perhitungan Pendapatan per-Tahun (*CIF/Cash In Flow*)

Jumlah pendapatan pertahun/*CIF (Cash In Flow)* dapat dihitung dari kWh<sub>out</sub> dan selisih BPP (Biaya Pokok Penyediaan) dengan BP (Biaya Pembangkitan) atau dengan kata lain KP (Keuntungan Penjualan). Pembangkit ini direncanakan akan melalui saluran tegangan rendah, untuk wilayah Jawa dan Bali dengan biaya pokok penyediaan atau tarif tenaga listrik sebesar Rp.1325/kWh (ESDM, 2012). Perhitungan pendapatan per tahun dapat dihitung menggunakan persamaan (11).

$$\begin{aligned} CIF &= kWh_{out} \times KP \\ CIF &= kWh_{out} \times (BPP - TC) \\ CIF &= 66856,32 \times (\text{Rp. 1325} - \text{Rp. 452}) \\ CIF &= \text{Rp. 58.365.576,36/tahun} \end{aligned}$$

#### 4.3.7 ROR (*Rate Or Return*)

ROR menunjukkan perbandingan laba tahunan terhadap investasi. Dengan demikian merupakan cara sederhana untuk mengukur keberhasilan suatu investasi. Bank Dunia menetapkan suatu proyek dianggap layak jika mempunyai ROR lebih dari 8%. Kelemahan kriteria ini tidak mempertimbangkan nilai waktu dari uang. ROR dapat diketahui dengan melakukan perhitungan seperti persamaan (12).

$$\begin{aligned} ROR &= \frac{CIF}{\text{Biaya Investasi}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{Rp. 58.365.576,36}}{\text{Rp. 255.000.000}} \times 100\% \\ &= 22,88\% \end{aligned}$$

#### 4.3.8 Laba Investasi (*ROI/Return of Investement*)

ROI (*Return of Investment*) adalah kemampuan pembangkit untuk mengembalikan dana investasi dalam menghasilkan tingkat keuntungan yang digunakan untuk menutup investasi yang dikeluarkan. Perhitungan ROI (*Return of Investment*) dapat dihitung menggunakan persamaan (13).

$$\begin{aligned} \text{1. Pada tahun pertama (t=1)} \\ ROI &= \frac{(58.365.576,36 - 0) - 255.000.000}{255.000.000} \\ &= -77,11\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan ROI (*Return of Investment*) dengan menggunakan suku bunga 10,04% pada tahun berikutnya hingga tahun ke-20 dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil perhitungan ROI (*Return of Investment*) PLTAL di Selat Sunda 9,54kW

Tahun	Investasi = Rp.255.000.000		
	Benefit (Rp)	%	ROI Nominal (Rp)
0	0	0	-286.200.000
1	58.354.188,16	-77,11	-196.630.500
2	116.731.134,7	-54,22	-138.261.000
3	175.096.702,1	-31,33	-79.891.500
4	233.462.269,4	-8,44	-21.522.000
5	291.827.836,8	14,44	36.822.000
6	350.193.404,2	37,33	95.191.500
7	408.558.971,5	60,21	153.535.500
8	466.924.538,9	83,10	211.905.000
9	525.290.106,2	105,99	270.274.500
10	583.655.673,6	128,88	328.644.000
11	642.021.241	151,77	387.013.500
12	700.386.808,3	174,66	445.383.000
13	758.752.375,7	197,54	503.727.000
14	817.117.943	220,43	562.096.500
15	875.483.510,4	243,32	620.466.000
16	933.849.077,8	266,21	679.835.500
17	992.214.645,1	289,10	737.205.000
18	1.050.580.212	311,99	795.574.500
19	1.108.945.780	334,88	853.944.000
20	1.167.311.347	257,76	912.288.000

Hasil perhitungan pada Tabel 9, dapat diketahui bahwa dana investasi dengan suku bunga 10,04% dapat dikembalikan pada tahun ke-5, dengan nilai benefit dan ROI masing-masing sebesar Rp.291.827.836,8 dan 14,44% atau sebesar Rp.36.822.000.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian studi pemanfaatan energi arus laut di wilayah selat Sunda sebagai energi alternatif ini menghasilkan beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Energi listrik yang dihasilkan tanpa nilai konstanta efisiensi turbin untuk kecepatan arus laut minimum 0,66m/s sebesar 5,89kW dan maksimum 1,10m/s sebesar 27,28kW, sedangkan energi listrik yang dihasilkan dengan nilai konstanta efisiensi turbin untuk kecepatan arus laut minimum 0,66m/s sebesar 2,06kW dan maksimum 1,10m/s sebesar 9,54kW.
2. Biaya pembangkitan dengan suku bunga  $i=10,04\%$  sebesar 0,0452US\$/kWh atau Rp.452/kWh dan besarnya harga jual listrik sebesar 0,0519US\$/kWh atau Rp.519/kWh, dengan jumlah pendapatan pertahun/CIF (*Cash in Flow*) didapat sebesar Rp.58.365.567,36/tahun.

5.2 Saran

Masih terdapat kekurangan dalam penelitian ini sehingga perlu pengembangan agar menjadi lebih baik lagi. Saran yang penulis ingin sampaikan, yaitu:

1. Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai potensi pembangkit listrik alternatif lainnya yang dapat dimanfaatkan di wilayah selat Sunda.
2. Sebagai studi lebih lanjut, perlu adanya penelitian tentang perancangan sistem transmisi dan pendistribusiannya dalam aspek teknis agar perencanaan penyaluran tenaga listrik dapat optimal.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hardiansyah. 2012. *Perancangan Dual Axis Solar Tracker*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [2] Anonim. 2009. *Ocean currents*. [http://www.waterencyclopedia.com/ocean currents/](http://www.waterencyclopedia.com/ocean_currents/). [URL dikunjungi pada 15 Januari 2013].
- [3] Gross, M. 1972. *Oceanography sixth edition*. New Jersey: Prentice-Hall.Inc.
- [4] Azis, Asruldin. 2010. *Studi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Arus Laut di Selat Alas Kabupaten Lombok, NTB*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Novrinaldi, Aidil Haryanto, dan Umi Hanifah. 2011. *Rancang Bangun Turbin Heliks Aliran Datar Tipe L C500*. Prosiding SNaPP2011 Sains, Teknologi, dan Kesehatan.
- [6] Stiebler, Manfred. 2008. *Wind Energy System for Electric Power Generation*. Institute of Energy and Automation Technology.
- [7] Kurniawan, Adhy dkk. 2009. *Pedoman Studi Kelayakan Mekanikal Elektrikal (Buku 2C)*. Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- [8] Firmansyah, Ifhan. 2011. *Studi Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Dompjong 50kW di Desa Dompjong, Bendungan, Trenggalek untuk Mewujudkan Desa Mandiri Energi (DME)*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS.