

STUDI PEMILIHAN DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT (PLTAL) MENGGUNAKAN METODE *ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS* (AHP)

Fivid Rivantoro, Irfan Syarif Arief

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail : irfansya@its.ac.id

Abstrak— Desain dari Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) secara umum terdiri dari turbin dan *mooring*. Pemilihan desain PLTAL ini mengacu pada kondisi yang ada di Selat Nusa Penida, Bali. Pemilihan desain terbaik dari PLTAL, yaitu memilih jenis turbin dan jenis *mooring* yang terbaik menggunakan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Metode AHP merupakan salah satu metode pemilihan dengan menggunakan hirarki, langkah pertama adalah menentukan kriteria yang dibandingkan baik untuk turbin dan *mooring*. Kriteria pemilihan untuk turbin adalah daya yang dibangkitkan, keandalan, perawatan, faktor lingkungan, lokasi, biaya. Sementara kriteria untuk *mooring* adalah teknologi, biaya investasi, perawatan dan lokasi. Langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data mengenai pilihan – pilihan baik turbin dan *mooring*. Pilihan untuk turbin adalah *straight axis*, *inclined axis*, *savonnius turbine*, *darrieus turbine* dan *h-rotor turbine*. Sementara pilihan untuk *mooring* adalah *vertical lift*, *monopole*, dan *tripod pile*. Langkah terakhir adalah penyebaran kuesioner, kuesioner disebar kepada para ahli energi laut. Hasil perhitungan menghasilkan urutan pilihan turbin adalah *h-rotor turbine*, *straight axis*, *inclined axis*, *darrieus turbine* dan *savonnius turbine*. Sementara urutan dari *mooring* adalah *vertical lift*, *tripod pile* dan *mono pile*. Sehingga desain PLTAL di Nusa Penida yang akan dibangun menggunakan *h-rotor turbine* dan *vertical lift mooring*.

Kata Kunci — PLTAL, turbin, *mooring*, AHP.

I. PENDAHULUAN

Keterbatasan akan adanya sumber energi saat ini telah memicu para peneliti untuk meneliti dan mengembangkan sumber energi terbarukan. Beberapa contoh sumber energi yang terbarukan seperti, pemanfaatan energi surya, energi angin, energi laut dll. Energi laut merupakan salah satu energi bersih, terbarukan dan melimpah.

Di Indonesia, potensi energi arus laut yang cukup besar terdapat di wilayah perairan Jawa Bali dengan kecepatan arus laut sekitar $2,5\text{ m/s}$. Energi arus laut dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL). PLTAL pada dasarnya menggunakan turbin sebagai alat untuk mengubah energi kinetik menjadi energi listrik yang disalurkan menuju *electrical generator*. Terdapat beberapa jenis turbin yang bisa dipakai untuk PLTAL, yaitu *horizontal axis turbine* dan *vertical axis turbine*. Selain kebutuhan turbin, teknologi yang tidak kalah penting adalah *mooring*, *mooring* merupakan alat yang digunakan menahan turbin agar tidak terbawa arus

laut, jenis *mooring* yang bisa digunakan untuk turbin arus laut, yaitu *pile* dan *vertical lift mooring*.

Pemilihan desain yang terbaik dari PLTAL jelas perlu dilakukan, agar ketika PLTAL telah dibangun dapat menghasilkan energi yang optimal dan juga harapannya tidak terjadi kerugian yang sia-sia. Pada tugas akhir ini akan dilakukan studi pemilihan mengenai turbin dan *mooring* untuk PLTAL dengan membandingkan kelebihan dan kekurangan jenis – jenis turbin dan *mooring*.

Dalam menentukan jenis turbin dan *mooring* yang akan dipakai sebagai PLTAL, terdapat beberapa faktor yang diperhitungkan, diantaranya kecepatan arus laut, lokasi, energi yang dihasilkan, keandalan, dan lain – lain. Maka dalam penelitian ini akan diulas mengenai pemilihan desain Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) yang terbaik dengan membandingkan jenis – jenis turbin dan *mooring* dengan memperhitungkan faktor – faktor yang bersangkutan.

Penelitian ini diambil berdasarkan data yang diambil dari arus laut di wilayah perairan selat Nusa Penida, Bali. Karena di wilayah Nusa Penida merupakan daerah yang kebutuhan listriknya belum tersuplai dengan bagus dan perairan sekitarnya mempunyai kecepatan arus laut yang tinggi dan cocok untuk dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL).

II. DASAR TEORI

A. Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut

Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) memanfaatkan energi arus laut sebagai sumber energi, arus laut yang merupakan energi kinetik dimanfaatkan untuk menggerakkan sudu turbin. Pengembangan teknologi konversi energi arus laut pada dasarnya mengadopsi prinsip kerja konversi energi angin yang telah berkembang.

Arus laut didefinisikan sebagai aliran massa air laut dari suatu tempat ke tempat lain. Potensi sumber yang ada pada arus laut tidak semuanya bisa dikonversikan menjadi energi listrik, terdapat banyak jenis arus laut ditinjau dari letak, penyebab, dan suhu.

Jika ditinjau dari letaknya, arus laut dibedakan menjadi 3, yaitu :

1. Arus Permukaan
Arus laut jenis ini terletak di permukaan laut, dengan kedalaman < 20 m..
2. Arus Sedang
Arus sedang berada pada kedalaman air laut 20-40m.
3. Arus Dalam
Sementara arus ini terletak di kedalaman >40 m.

Secara garis besar teknologi yang dibutuhkan untuk membangkitkan listrik dari energi arus laut adalah turbin,

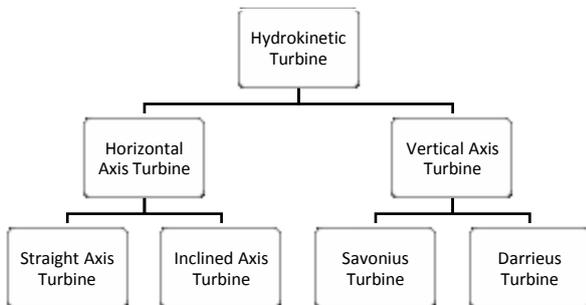
mooring, sistem transmisi dan generator. Namun pada penelitian ini teknologi hanya dibatasi untuk turbin & mooring.



Gambar 1. Contoh PLTAL Sea Flow [1]

B. Turbin Arus Laut

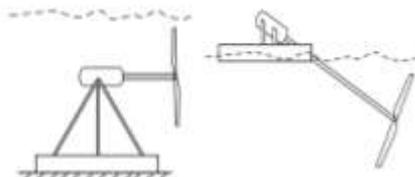
Turbin diputar oleh arus laut, putaran turbin tersebut digunakan untuk membangkitkan energi listrik generator, terdapat beberapa jenis turbin yang digunakan pada konversi energi arus laut, yang dijelaskan dalam bagan dibawah ini.



Gambar 2. Bagan macam – macam turbin air laut

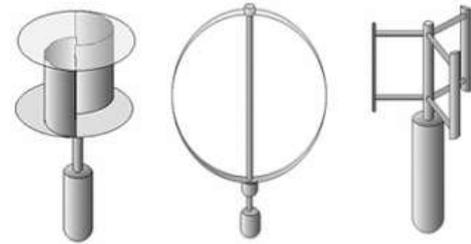
Dari bagan diatas, turbin air dibagi menjadi 2 jenis turbin berdasarkan arah putaran turbinnya yaitu turbin *horizontal axis* dan turbin *vertical axis*.

Turbin horizontal axis berputar terhadap sumbu horizontalnya, Jenis turbin ini dibagi menjadi 2 , yaitu *straight axis turbine* yang poros turbinnya sejajar dengan sumbu x nya, dan *inclined axis* yang poros turbinnya mempunyai sudut kemiringan tertentu dengan sumbu x-nya.



Gambar 2. Horizontal axis turbine [2]

Sementara *vertical axis turbine* dibagi menjadi 3 jenis turbin yaitu, *savonius turbine*, *darrieus turbine* dan *h-rotor turbine*. Ketiga jenis turbin itu dibedakan berdasarkan jenis *blade*-nya.

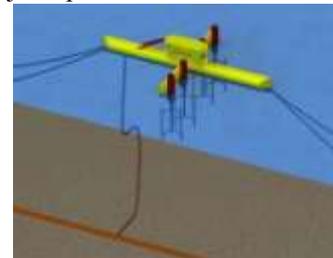


Gambar 3. Horizontal axis turbine [3]

C. Mooring

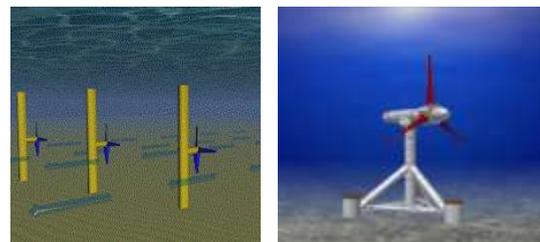
Dalam Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL), selain penggunaan turbin juga ada penggunaan *mooring*. *Mooring* digunakan untuk menahan turbin dari pengaruh arus laut sendiri, sehingga turbin tidak bergerak akibat pengaruh arus laut. Terdapat 2 jenis *mooring* yang sering digunakan, yaitu *vertical lift* dan *pile*.

Jenis *mooring vertical lift* bisa dipakai untuk penggunaan turbin di segala jenis permukaan laut, karena jenis ini melayang di laut sehingga bisa digunakan dan tidak tergantung pada jenis permukaan laut



Gambar 4. Vertical Lift Mooring [4]

Sedangkan jenis *pile* dibagi menjadi 2, yaitu *mono pile* dan *tripod pile*. jenis *pile* diletakkan di dasar permukaan laut.



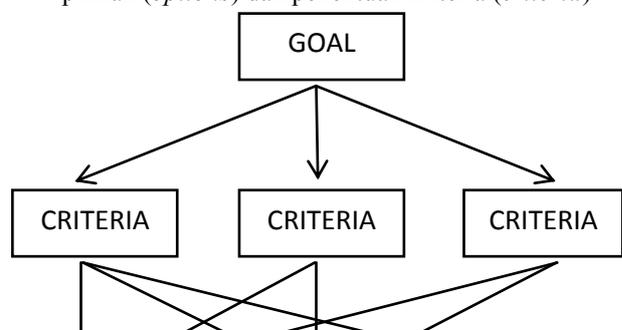
Gambar 5. Mono Pile dan Tripod Pile [5]

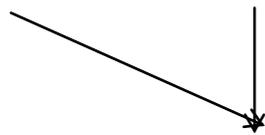
D. ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP)

Analytical Hierarchy Process merupakan salah satu metode *decision making* dengan menyusun prioritas dari berbagai pilihan berdasarkan kriteria tertentu. Metode AHP didasarkan pada penyusunan yang terstruktur.

Terdapat 3 tahapan AHP dalam menyusun prioritas, yaitu:

1. Dekomposisi masalah
 Pada tahap ini ditentukan tujuan (*goal*), identifikasi pilihan (*options*) dan penentuan kriteria (*criteria*)





Gambar 6. Bagan Contoh Dekomposisi Masalah

2. Penilaian Elemen
Setelah masalah terdekomposisi, tahapan selanjutnya adalah penilaian elemen, terdapat 2 tahap penilaian elemen, yaitu perbandingan antar kriteria dan perbandingan antar pilihan untuk setiap kriteria. Untuk aturan penilaian dalam metode ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Skala Penilaian AHP

Definisi	Nilai
Kedua pilihan mempunyai nilai yang sama	1
Salah satu pilihan mempunyai nilai sedikit lebih baik dibanding pilihan lain	3
Salah satu pilihan mempunyai nilai lebih baik dibanding pilihan lain	5
Salah satu pilihan mempunyai nilai jauh lebih baik dibanding pilihan lain	7
Salah satu pilihan mempunyai nilai sangat jauh lebih baik dibanding pilihan lain	9
Nilai dimana salah satu pilihan berada diantara kriteria – kriteria diatas	2,4,6,8

Penilaian dilakukan terhadap perbandingan antar kriteria, maupun antar pilihan. Sebagai contoh tabel penilaian dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Antar Kriteria

Kriteria	CR ₁	CR ₂	CR ₃	CR ₄	Jumlah	Nilai
CR ₁	-	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁	C ₁ /C
CR ₂	C ₂₁	-	C ₂₃	C ₂₄	C ₂	C ₂ /C
CR ₃	C ₃₁	C ₃₂	-	C ₃₄	C ₃	C ₃ /C
CR ₄	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	-	C ₄	C ₄ /C
Jumlah					C	

Keterangan :

- C_{ij} : hasil penilaian antar kriteria i dengan j
- C_i : penjumlahan nilai dari kriteria ke i
- C : merupakan penjumlahan semua nilai C_i.

3. Penjumlahan Penilaian

Tahap ini adalah tahap akhir dari proses ini, tahap ini merupakan tahap penjumlahan dari bobot yang diperoleh saat setiap pilihan pada kriteria telah diberi nilai. Secara umum nilai suatu pilihan adalah sebagai berikut :

$$bop_i = \sum_{j=1}^n bo_{ij} * bc_j \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- bop_i = nilai untuk pilihan ke i

Tabel 3. Penjumlahan Penilaian

	CR ₁	CR ₂	CR ₃	CR ₄	Prioritas
OP ₁	bo ₁₁	bo ₁₂	bo ₁₃	bo ₁₄	bop ₁
OP ₂	bo ₂₁	bo ₂₂	bo ₂₃	bo ₂₄	bop ₂
OP ₃	bo ₃₁	bo ₃₂	bo ₃₃	bo ₃₄	bop ₃
OP ₄	bo ₄₁	bo ₄₂	bo ₄₃	bo ₄₄	bop ₄

4. Penyebaran Kuesioner

Kuesioner bisa digunakan pada metode AHP, penyebaran kuesioner harus dilakukan kepada para ahli dalam energi laut. Langkah – langkah dalam mengolah hasil dari kuesioner adalah sebagai berikut :

1. Menghitung rata – rata geometri hasil kuesioner.

$$GM = \sqrt[n]{(X_1)(X_2) \dots (X_n)} \dots \dots (2)$$

Dimana : GM = Geometric Mean

X₁ = Pakar ke-1

X₂ = Pakar ke-2

2. Menyusun matriks perbandingan

Tabel 4. Matriks Perbandingan

Kriteria	1	2	3	n
1	1	GM ₁₂	GM ₁₃	GM _{1n}
2	GM ₂₁	1	GM ₂₃	GM _{2n}
3	GM ₃₁	GM ₃₂	1	O _{3n}
n	GM _{n1}	GM _{n2}	GM _{n3}	1

3. Menghitung bobot relatif ternormalisasi

Tabel 5. Bobot Relatif Ternormalisasi

Kriteria	1	2	n
1	1/ GM _{11-n1}	GM ₁₂ / GM _{12-n2}	GM _{1n} / GM _{14-n4}
2	GM ₂₁ / GM _{11-n1}	1/ GM _{12-n2}	GM _{2n} / GM _{14-n4}
n	GM _{n1} / GM _{11-n1}	GM _{n2} / GM _{12-n2}	1/ GM _{14-n4}

4. Menghitung CI (consistency index)

Nilai CI digunakan untuk menentukan apakah nilai dari kuesioner konsisten atau tidak. CI akan konsisten bila memiliki nilai 0

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana : CI = consistency index

λ_{max} = nilai jumlah eigen faktor dari matriks berordo n.

$$\lambda_{max} = \sum GM_{11-n1} \times X_1 + \dots + \sum GM_{1n-n1} \times X_n$$

Jika nilai CI lebih besar dari 0, maka harus diuji dengan consistency ratio (CR).

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots \dots \dots (4)$$

Nilai RI berdasarkan ordo matriks

III. METODOLOGI

Dalam penelitian ini, akan dilakukan pemilihan desain yaitu pemilihan jenis turbin dan mooring dari PLTAL yang akan ditempatkan di Nusa Penida, Bali.

Sesuai dengan metode yang digunakan , yaitu AHP. Maka langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan kriteria dan pilihanbaik dari turbin dan mooring. Kriteria untuk pemilihan turbin adalah : daya , keandalan, perawatan, biaya , lingkungan dan lokasi. Sementara jenis pilihan , seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, yaitu : *straight axis, inclined axis, savonnius, egg-beater, dan h-rotor*. Sedangkan kriteria untuk pemilihan *mooring* adalah teknologi, biaya, perawatan dan lokasi. Sedangkan jenis pilihannya adalah *vertical lift, single pile, dan tripod pile*.

Langkah selanjutnya adalah penyebaran kuesioner , kuesioner disebarakan kepada para ahli energi laut. Kemudian menghitung nilai *consistency index* sesuai langkah sebelumnya.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Kriteria Pemilihan Turbin



Gambar 7. Hirarki Pemilihan Turbin

Nilai *consistency ratio* dari pengolahan kuesioner sebesar 2 %, sehingga hasil kuesioner konsisten. Pengolahan kuesioner menghasilkan urutan kriteria dan nilai : perawatan (0,32), biaya (0,28), lokasi (0,12), keandalan (0,11), lingkungan (0,09), daya(0,07).

B. Analisa Pilihan Turbin

1. Analisa Daya

Estimasi nilai daya yang bisa dihasilkan dari setiap turbin adalah sebagai berikut :

$$P = \frac{(\eta p.A.v^3)}{2} \tag{5}$$

Dimana :

P = Daya yang dibangkitkan

η = Efisiensi turbin

p = Massa jenis air laut ($1025 \frac{kg}{m^3}$)

A = Swept area

v = Kecepatan arus

Untuk kecepatan arus diasumsikan kecepatan rata-rata arus laut Nusa Penida yaitu 2,5 m/s sedangkan diameter turbin 4m.

Tabel 6. Perkiraan daya yang dibangkitkan turbin

Jenis Turbin	<i>Inclined Axis</i>	<i>Straight Axis</i>	<i>Savonnius</i>	<i>Egg Beater</i>	<i>H-Rotor</i>
Daya	24 KW	26 KW	7 KW	25 KW	38 KW

2. Analisa Keandalan

Tabel 7. Penjabaran keandalan turbin

Jenis Turbin	Keterangan
<i>Inclined Axis Turbine</i>	Torsi dan fatigue bagus, kontroling mudah.

<i>Straight Axis Turbine</i>	Torsi dan fatigue bagus, kontroling mudah, penggunaan pada kondisi ekstrem
<i>Savonnius Turbine</i>	Putaran tidak tergantung arus, torsi bagus
<i>Egg Beater Turbine</i>	Putaran tidak tergantung arus, penggunaan pada kondisi ekstrem
<i>H-Rotor Turbine</i>	Putaran tidak tergantung arus, fatigue bagus, penggunaan pada kondisi ekstrem

3. Analisa Biaya

Secara umum jenis *horizontal axis* lebih mempunyai biaya pembuatan yang lebih murah, karena horizontal axis mempunyai desain lebih mudah karena menggunakan *straight blade* jika dibandingkan *vertical axis*.

4. Analisa Perawatan

Tabel 8. Penjabaran perawatan turbin

Jenis Turbin	Keterangan
<i>Inclined Axis Turbine</i>	Kavitasi rendah, fatigue bagus.
<i>Straight Axis Turbine</i>	Kavitasi rendah, fatigue bagus, penggunaan di kondisi ekstrem
<i>Savonnius Turbine</i>	Kavitasi tinggi, perawatan murah
<i>Egg Beater Turbine</i>	Kavitasi tinggi, perawatan murah, penggunaan kondisi ekstrem
<i>H-Rotor Turbine</i>	Kavitasi tinggi, perawatan murah, fatigue tinggi.

5. Analisa lingkungan

Faktor ini dipengaruhi oleh RPM dari turbin, sehingga langkah yang dilakukan adalah mengestimasi nilai RPM.

Tabel 9. Perkiraan RPM Turbin

Jenis Turbin	<i>Inclined Axis</i>	<i>Straight Axis</i>	<i>Savonnius</i>	<i>Egg Beater</i>	<i>H-Rotor</i>
RPM	69	49	7	34	34

6. Analisa lokasi

Lokasi yang digunakan berada pada 18meter kedalaman dibawah permukaan air laut. Secara umum yang paling bagus adalah jenis *inclined axis* karena cocok digunakan pada arus permukaan.

7. Hasil Penilaian

Berikut ini hasil penilaian dari pengolahan kuesioner yang telah dilakukan.

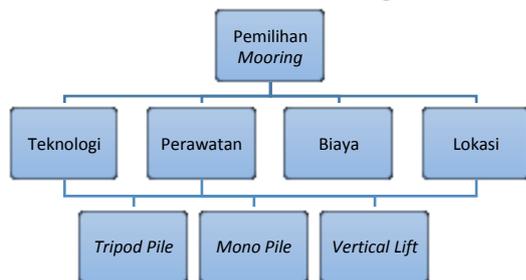
Tabel 10. Hasil Penilaian

Jenis Turbin	<i>Inclined Axis</i>	<i>Straight Axis</i>	<i>Savonnius</i>	<i>Egg Beater</i>	<i>H-Rotor</i>
Nilai	0,16	0,22	0,14	0,14	0,33

Hasil perhitungan akhir dari nilai kriteria dan nilai pilihan sebagai berikut : H-Rotor (033) ,

Straight Axis (0,22), Inclined Axis (0,16) , Savonnius (0,14) dan Egg Beater (0,14).

C. Analisa Kriteria Pemilihan Mooring



Gambar 8. Hirarki Pemilihan Mooring

Nilai *consistency ratio* dari pengolahan kuesioner sebesar 4 %, sehingga hasil kuesioner konsisten. Pengolahan kuesioner menghasilkan urutan kriteria dan nilai : lokasi (0,37), biaya (0,33), perawatan (0,19), teknologi (0,11) .

D. Analisa Pilihan Mooring

1. Analisa Teknologi
Analisa ini dimaksudkan pada kelebihan yang diberikan antar *mooring*.
2. Analisa Perawatan
Secara umum perawatan mengenai *mooring* PLTAL akan dilakukan secara berkala dalam jangka waktu tertentu bisa setiap 1 bulan sekali, ataupun dalam jangka waktu 6 bulan . Dari segi kemudahan perawatan sudah jelas jenis *vertical lift* lebih menguntungkan karena letaknya berada di permukaan laut, sehingga saat dilakukan survey akan lebih mudah , begitu pula jika terjadi kerusakan akan mudah untuk menggantinya.
3. Analisa Biaya
Secara umum biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan sebuah item ditentukan dari kemudahan pembuatan, untuk *mooring* yang paling murah adalah *vertical lift*
4. Analisa Lokasi
Peletaka lokasi ditentukan pada kedalaman 18 meter dibawah permukaan air laut. Masing – masing jenis *mooring* mempunyai karakteristik masing – masing pada setiap lokasinya.

Tabel 11. Perbandingan analisa lokasi

Jenis	Permukaan Tanah	Kedalaman
Vertical Lift	-Bisa dipakai pada semua jenis permukaan tanah	-Cocok dipakai pada arus permukaan
Mono Pile	-Kurang cocok dipakai pada permukaan berbatu -Tidak cocok pada permukaan lumpur	-Bagus dipakai pada arus permukaan
Tripod Pile	-Kurang cocok dipakai pada permukaan berbatu -Tidak cocok pada lumpur	-Cocok pada semua kedalaman

5. Hasil Penilaian

Tabel 12. Hasil Penilaian

Jenis Mooring	Vertical Lift	Mono Pile	Tripod Pile
Nilai	0,69	0,21	0,10

Hasil perhitungan akhir dari nilai kriteria dan nilai pilihan sebagai berikut : *vertical lift* (0,69), *mono pile* (0,21) dan *tripod pile* (0,10).

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan di atas, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Urutan perbandingan turbin dengan memakai kriteria daya yang dibangkitkan, keandalan, perawatan, biaya, dampak terhadap lingkungan dan lokasi adalah *H-Rotor* turbin, *Straight* turbin, *Inclined Axis*, *Egg beater* (*Darrieus*) dan *Savonnius* turbin.
2. Urutan perbandingan *mooring* dengan memakai kriteria teknologi, perawatan , biaya, lokasi adalah *Vertical Lift*, *Tripod Pile*, *Mono Pile*
3. Jenis PLTAL (Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut) yang dipilih untuk selat Nusa Penida pada kedalaman 18 meter adalah *H-Rotor Turbine* dengan jenis *mooring Vertical Lift*.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. STTPLN.(2014). Arus laut sebagai sumber energi listrik. [http://www. Getsttpln .com/2014/03 / arus-laut-sebagai-sumber-energi-listrik.html](http://www.Getsttpln.com/2014/03/ arus-laut-sebagai-sumber-energi-listrik.html)

[2]. Khan M.J. (2009). *Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review*

[3]. Alam Jahangir. (2009). Design and Development of a marine current energy conversion system using hybrid vertical axis turbine.

[4]. MECORKNEY.2008.*Tidal Devices*. [http :// www.emec.org.uk](http://www.emec.org.uk)

[5]. Scottish Enterprise.(2005).*Marine Renewable (Wave and Tidal) Opportunity Review*.