

## POTENSI ENERGI ARUS LAUT PADA BERBAGAI KEDALAMAN UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK DI SELAT BADUNG, BALI

Tonny AdamTheoyana<sup>[1]</sup>, Purwanto<sup>[1]</sup>, Widodo Setiyo Pranowo<sup>[2]</sup>

<sup>[1]</sup>Program Studi Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan,  
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,  
Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang,

<sup>[2]</sup>Laboratorium Data Laut dan Pesisir, Pusat Litbang Sumberdaya Laut dan Pesisir,  
Badan Litbang Kementerian Kelautan dan Perikanan, Ancol Timur, Jakarta.  
Telp/Fax. (024) 7476498, 0812326091280,

Email: [adam\\_osteon@rocketmail.com](mailto:adam_osteon@rocketmail.com), [purwantoirh@yahoo.co.id](mailto:purwantoirh@yahoo.co.id),  
[widodo.pranowo@gmail.com](mailto:widodo.pranowo@gmail.com)

### ABSTRAK

Selat Badung merupakan percabangan *outlet* dari Selat Lombok yang berada di antara Pulau Bali dan Pulau Nusa Penida. Kecepatan arus di Selat Badung berkisar dari 0,2 cm/s - 204,3 cm/s. Kajian arus di lokasi ini diperlukan untuk mengetahui potensinya sebagai pembangkit listrik mengingat kebutuhan akan listrik setiap tahun terus meningkat sekitar 9%. Pengukuran data di perairan lokasi penelitian dilaksanakan pada tanggal 20 Juni 2014 - 5 Juli 2014 dengan interval perekaman 30 menit. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *software Matlab* dengan *toolbox t\_tide* yang dapat memisahkan data arus perekaman menjadi data arus harmonik dan non-harmonik dengan mengeluarkan komponen yang berpengaruh nyata menghasilkan energi. Ketiga data arus ini akan dianalisis untuk dikonversi. Konversi energi menggunakan persamaan Fraenkel dengan asumsi-asumsi. Potensi daya terbesar yang dapat dihasilkan pada lokasi penelitian adalah 43.701,76 W yang berada pada kedalaman 13 m sedangkan potensi daya rata-rata terbesarnya adalah 71,52 W berada di kedalaman 3 m dari permukaan. Akumulasi potensi daya yang didapat berada pada kedalaman 13 meter dengan besar daya 95.125,32 W.

**Kata Kunci** : Arus Laut, Potensi Energi, Pembangkit Listrik, Komponen Harmonik, Persamaan Fraenkel.

### ABSTRACT

Badung Strait is a branch outlet of the Lombok Strait which located between Bali Island and Nusa Penida Island. Current velocity at Badung Strait are between 0,2 cm/s - 204,3 cm/s . The current study in this location is needed to determine the potential as a power plant considering the demand for electricity to increased around 9 % every year. Data akuitition in the waters of the study site was held on June 20th, 2014 – July 5th, 2014 with 30 minutes of interval record. The method used in this study is Matlab software with *t\_tide* toolbox which can separate the record stream data into harmonic stream data and non-harmonic by releasing an influential component. The third data of the stream will be analyzed to be converted. Energy conversion using Fraenkel equation with assumptions. Potential maximum power was 43.701,76 W at the 13 m depth and the potential average power was 71,52 W at the 3 meters from surface . The accumulated of power potential that was found is at the depth of 13 meters with the power of 95.125,32 W.

**Keywords** : Sea current, Energy Potential, Electrical generated, harmonic component, Fraenkel Equation

---

## Pendahuluan

Peningkatnya kebutuhan akan energi listrik yang terjadi di Indonesia perlu adanya pasokan sumber pembangkit listrik yang terbarukan dan ramah lingkungan mengingat sumber pembangkitnya semakin menipis. Menurut data PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN, 2008), kenaikan kebutuhan energi listrik terjadi pada tahun 2001 sebesar 6,4% dan pada tahun 2002 sebesar 12,8% ini diprediksikan akan terus meningkat sebesar 9% tiap tahunnya. Kondisinya diperparah oleh pasokan listrik yang sejauh ini masih berasal dari fosil dimana persediaannya semakin menipis dari tahun ke tahun. Minyak bumi masih menjadi sumber terbesar dalam memasok energi listrik ini yakni sekitar 51,66% dan gas alam menjadi sumber kedua setelahnya. Sangat disayangkan, justru pasokan dari energi yang dapat diperbaharui hanya berkisar 4% saja, yang bersumber antara lain dari tenaga angin, tenaga surya, mikro hidro air dan lain-lain. Padahal Indonesia dengan laut yang luas, menyimpan sumber pembangkit listrik yang sangat berpotensi (Yuningsih dan Masduki, 2011).

Menurut Blunden *et al* (2013), Indonesia dengan banyaknya selat dan perubahan pasang surut yang besar sangat berpotensi untuk kajian energi dari laut. Ada banyak selat di Indonesia yang berpotensi sebagai pembangkit listrik. Contohnya adalah berbagai selat yang berada di selatan Indonesia mulai dari Selat Lombok sampai ke timur seperti Selat Alas dengan perairannya yang tidak terlalu dalam dan jauh dari jalur kapal.

Selat Badung merupakan percabangan *outlet* dari Selat Lombok yang berada di antara Pulau Bali dan Pulau Nusa Penida. Hal ini diduga menjadikannya sebagai jalur keluar Arlindo bagian barat dari Selat Lombok. Arlindo adalah arus yang mengalir dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia. Menurut Safitri *et al.*, (2012), Arlindo membawa banyak massa air dari Samudra Pasifik ke Samudra Hindia sehingga diduga berpotensi untuk pembangkit listrik. Menurut Wyrcki (1961), Arlindo masuk ke Indonesia melalui Laut Sulawesi dan juga Laut Banda dan keluar menuju Samudra Hindia melalui Selat Timor, Selat Alor dan juga Selat Lombok yang merupakan selat utama dengan salah satu cabangnya adalah Selat Badung. Arlindo juga terjadi sepanjang musim di Indonesia, namun transpor massanya yang berbeda, maksimum pada musim timur. Kajian tentang Arlindo di Selat Badung diharapkan dapat melengkapi kajian Arlindo di Selat Lombok yang sudah dilakukan oleh tim ekspedisi INSTANT (*International Nusantara Stratification and Transport*) (Pranowo *et al.*, 2005).

Penelitian dan pemetaan potensi energi arus laut merupakan salah satu upaya penting dalam mengeksplorasi sumber energi non-konvensional dari laut. Menurut Erwandi (2006), energi arus laut sebagai energi terbarukan adalah energi yang cukup potensial di wilayah pesisir terutama pulau-pulau kecil di kawasan timur. Pembangkit listrik tenaga arus laut termasuk dalam pembangkit listrik tenaga pasang surut karena derasnya arus dan tingginya gelombang dipengaruhi oleh interaksi Bulan-Bumi sehingga arus pasang surut terjadi secara terus-menerus. Mekanisme kerja pembangkit ini tidak jauh berbeda dengan pembangkit listrik tipe lainnya yaitu dengan memutar rotor pada turbin. Kecepatan yang direkomendasikan adalah sekitar 4-5 knots atau 2-2,5 m/s (Fraenkel, 2001).



Gambar 1. Peta potensi energi arus laut di Indonesia. Tanda bintang putih menunjukkan lokasi kecepatan arus antara 2-3 m/s. (Sumber: PPPGL)

## Materi Metode

Materi dalam penelitian ini menggunakan data primer sebagai data utama dan data sekunder sebagai data pendukung. Data primer adalah data arus laut pada 6 layer kedalaman dengan interval 30 menit yang diambil secara *insitu* menggunakan ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) *SonTek Argonaut – XR*. Data sekunder yaitu peta laut DISHIDROS. Penelitian dilakukan di perairan Selat Badung, Provinsi Bali pada tanggal 20 Juni-5 Juli 2014. Waktu penelitian meliputi perekaman data arus laut, pengumpulan data pendukung, pengolahan data, analisis data hasil penelitian dan penyusunan laporan penelitian.

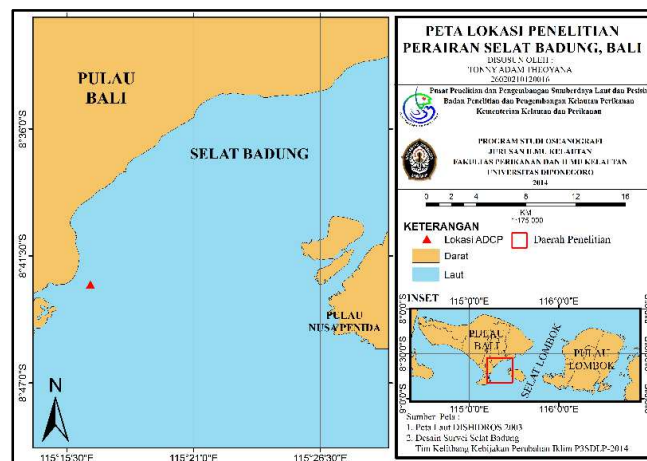
## Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode yang bersifat eksploratif. Eksploratif yaitu mencari tahu seberapa besar keadaan di lokasi penelitian yang berpengaruh terhadap suatu variabel terkait di lingkungan sekitarnya. Dalam hal ini, penelitian ini bertujuan untuk mencari tahu potensi arus laut yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik. Perekaman data menggunakan ADCP di lokasi penelitian termasuk menggunakan metode eularian berdasarkan Emery dan Thompson (1998). Penentuan lokasi peletakan ADCP menggunakan pertimbangan teknis dari tim penelitian dan syarat lokasi yang dikemukakan oleh Fraenkel (2001) yaitu berada di kedalaman 15 meter saat surut terendah dan kedalaman 40-50 meter saat pasang tertinggi.

## Arus

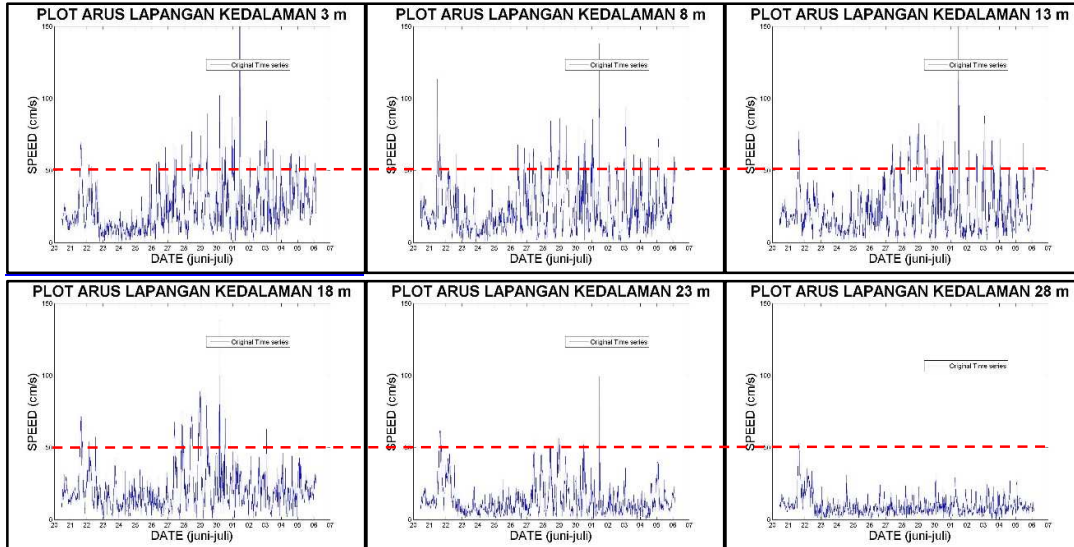
Pengukuran arus laut dilakukan selama 15 x 24 jam dengan interval perekaman setiap 30 menit. Pengukuran dilakukan menggunakan *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) *SonTek Argonaut – XR* dengan panjang gelombang sensor *beam* 750 kHz pada kedalaman 30 m dan datar. Pengukuran arus ini dibagi dalam beberapa kedalaman yaitu 3 m, 8 m, 13 m, 18 m, 23 m dan 28 m. Koordinat titik pengukuran berada di 8° 42' 37,86505" LS dan 115° 16' 18,74789" BT. Arus pengukuran yang didapat kemudian akan dipisahkan menjadi arus harmonik atau arus pasangsurut dan arus non-harmonik atau arus residu. Pemisahan ini dilakukan untuk mengetahui potensi daya yang dibangkitkan oleh masing-masing arus tersebut. Menurut Erwandi (2006), arus pasangsurut adalah arus yang berpotensi untuk membangkitkan listrik karena arus ini terjadi sepanjang masa periodenya mengikuti periode pasangsurut.

Pemisahan arus pengukuran menjadi arus pasangsurut dan arus residu menggunakan program *Matlab* dengan *toolbox t\_tide*. Selain dapat memisahkan arus, *t\_tide* juga dapat memunculkan komponen pasangsurut yang diprediksi mempengaruhi kondisi arus di lokasi penelitian. Adapun batasan dalam penggunaan *toolbox t\_tide*. Menurut Pawlowicz (2002), *t\_tide* dapat bekerja dengan data inputan minimal 14,77 hari dan interval perekaman maksimal 1 jam. Selain itu, inputan pada *t\_tide* adalah komponen arah arus yaitu komponen *u* (timur-barat) dan komponen *v* (utara-selatan) bukan arus total dengan arahnya.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian





Gambar 4. Grafik *timeseries* arus pengukuran (Pengolahan Data, 2014).

### Konversi Energi dari Arus

Hasil konversi energi dari data arus pengukuran lapangan dan pemisahannya menjadi arus pasangsurut dan non-pasangsurut disajikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3. Konversi daya dari kecepatan arus dilakukan menggunakan persamaan Fraenkel (2001). Pemisahan jenis arus laut ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar potensi masing-masing jenis arus untuk dapat menjadi tenaga pembangkit listrik dalam setiap kolom kedalamannya. Dilihat dari hasil tabel pemisahan, potensi terbesar dihasilkan dari arus non-pasangsurut atau arus residu (Tabel 2). Daya dalam *watt* didapat dari penjumlahan data daya setiap perekaman yang kemudian diakumulasikan (Tabel 3).

Tabel 2. Data Kecepatan dan Daya yang Dihasilkan

		28 m	23 m	18 m	13 m	8 m	3 m	
velocity (cm/s)	min	har	0.09	0.16	0.40	0.47	0.61	0.23
		res	0.40	0.02	1.07	0.41	0.85	0.48
		lap	0.30	0.50	0.50	0.30	0.50	0.20
	rata2	har	4.18	6.13	8.97	11.74	10.61	11.41
		res	8.43	12.82	20.07	22.10	22.13	23.87
		lap	9.47	13.72	20.89	23.41	23.73	24.08
max	har	9.69	16.06	24.09	28.13	27.80	25.17	
	res	46.33	98.21	298.40	187.50	127.06	414.33	
	lap	52.90	99.00	137.70	204.30	137.70	161.70	
	min	har	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
res		0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	
lap		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
power (watt)	rata2	har	0.37	1.18	3.69	8.29	6.13	7.60
		res	3.07	10.79	41.45	55.35	55.56	69.68
		lap	4.35	13.24	46.70	65.71	68.48	71.52
	max	har	4.66	21.22	71.62	114.09	110.14	81.75
		res	509.51	4855.22	136177.24	33783.76	10512.29	36454.94
		lap	758.68	4972.78	13381.22	43701.76	13381.22	21668.25

Tabel 3. Data Potensi Daya Selama 15 hari

depth / time	TOTAL POWER (watt)
28m	5502.41
23m	21289.81
18 m	60984.99
13 m	95125.32
8 m	83532.14
3 m	94463.23

### **Daya Arus Laut di Selat Badung**

Berdasarkan hasil pengukuran dan perekaman data arus di Selat Badung, pada setiap *layer* kedalamannya menunjukkan adanya pengurangan nilai kecepatan arus seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini terjadi karena adanya gaya gesek antar kolom perairan. Arus pada permukaan cenderung digerakan oleh faktor eksternal sebagai contohnya tenaga angin. Angin yang bertiup di permukaan laut sedikit demi sedikit menciptakan gaya gesek dan pada akhirnya akan menciptakan daya gerak terhadap perairan itu sendiri sehingga tercipta aliran massa air dipermukaan. Partikel air pada setiap kedalaman ini saling berhubungan, sehingga terjadi gesekan antara lapisan permukaan laut dengan lapisan yang berada dibawahnya. Gesekan ini membuat kecepatan arus di perairan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini disampaikan pula oleh Azis (2006) dalam jurnalnya. Berkurangnya nilai kecepatan arus terhadap kedalaman juga berkaitan dengan teori Ekman dan gaya Coriolis.

Dari hasil konversi dengan menggunakan persamaan yang diterapkan oleh Fraenkel (2001) dalam penelitiannya, tersaji hasil potensi daya yang dapat dibangkitkan oleh jenis arus pasangsurut dan non-pasangsurut juga arus totalnya pada berbagai kolom kedalaman dalam Tabel 2. Menurut Poerbandono dan Djunarsjah(2005), kecepatan arus berbanding lurus dengan hasil daya yang diciptakannya. Semakin besar kecepatan arusnya, maka besar daya yang tercipta juga semakin besar.Keuntungan lain dalam penggunaan arus laut sebagai penggerakan turbin pembangkit listrik selain ramah lingkungan dan dapat diprediksi adalah arus memiliki energi kinetik yang besar karena densitas air laut 830 kali dibandingkan densitas angin (Setiawan dan Qisthy, 2011).

Daya rata-rata yang dihasilkan tiap kedalaman merupakan hasil dari penjumlahan seluruh daya hasil konversi dari arus pengukuran sesuai kolom kedalaman yang kemudian dirata-ratakan. Daya rata-rata yang dihasilkan pada kedalaman 3 m adalah sekitar 71,52 W; pada kedalaman 8 m daya rata-ratanya adalah 68,48 W; pada kedalaman 13 m adalah 65,71 W; pada kedalaman 18 m adalah 46,7 W; pada kedalaman 23 m sebesar 13,24 W dan pada kedalaman 28 m sebesar 4,35 W.

Daya maksimal yang dihasilkan tiap kedalaman merupakan hasil tertinggi konversi daya dari arus pengukuran yang tercatat selama pengukuran. Pada kedalaman 3 m, daya maksimal yang dapat diperoleh adalah 21.668,25 W; pada kedalaman 8 m adalah 13.381,22 W; kedalaman selanjutnya sekitar 43.701,76 W; di kedalaman 18 m 13.381,22 W; pada kedalaman 23 m besarnya 4.972,78 W dan pada kedalaman 28 m hanya 758,68 W.

Daya minimal yang dihasilkan pada setiap kolom kedalaman adalah 0 W. Hal ini terkait dengan kecepatan arus yang sangat kecil, sehingga tidak bisa menghasilkan daya untuk pembangkit energi listrik. Dari konversi kecepatan arus laut menjadi energi listrik, akumulasi potensi daya terbesar yang dapat dihasilkan selama 15 hari pengukuran adalah 95.125,32 W pada kedalaman 13 m. Keadaan ini didukung oleh pendapat Fraenkel (2001) yang mengatakan bahwa kolom kedalaman yang terbaik untuk peletakan turbin pembangkit listrik adalah sekitar 15 m dari permukaan laut.

Pada Gambar 3, kemunculan nilai kecepatan arus diatas syarat batas turbin Gorlov yaitu 50 cm/s adalah sangat kecil, yakni tidak lebih dari 10%. Kemunculan kecepatan diatas syarat batas terbesar berada pada kedalaman 8 m dari permukaan yaitu sebesar 9,6% dari total seluruh data terekam pada kedalaman tersebut.[Kemunculan nilai diatas batas ini terbilang kecil. Nilai arus pasangsurut dilokasi setelah pengolahan tercatat maksimal mencapai 28,13 cm/s dengan hasil asumsi potensi dayanya 114,09 W dan nilai kecepatan rata-ratanya adalah 11,74 cm/s dengan asumsi potensi](#)

dayanya adalah 8,29 W. Arus pasang surut adalah arus yang berlangsung sepanjang masa. Nilai arus pasang surut di lokasi inilah yang akan menjadi masukan bagi pengembang turbin pembangkit listrik tenaga arus laut untuk membuat turbin pembangkit dengan kondisi seperti yang ada. Prosentase kemunculan yang kecil ini mengindikasikan bahwa perlu kajian untuk pembuatan turbin dengan syarat batas kecepatan arus lautnya sekitar 10 cm/s mengingat banyaknya selat yang memisahkan berbagai pulau di Indonesia memiliki kecepatan arus yang cenderung kecil untuk penggunaan Turbin Gorlov sebagai alat transpor energi kinetiknya.

### **Kesimpulan**

Potensi daya terbesar yang dapat dihasilkan pada Selat Badung adalah 43.701,76 W yang berada pada kedalaman 13 m dari permukaan sedangkan potensi daya rata-rata terbesarnya adalah 71,52 W berada di kedalaman 3 m dari permukaan. Akumulasi potensi daya terbesar berada pada kedalaman 13 m yaitu 95.125,32 W selama pengukuran.

### **Ucapan Terima Kasih**

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Dr. Anastasia Rita Tisiana D. K. Selaku Ketua Kelompok Litbang Kebijakan Perubahan Iklim dan sekaligus sebagai ketua tim survei laut Balitbang KP yang telah memberikan kesempatan mengikuti proses penelitian dalam penelitian ini.

Survei pengukuran arus ini dibiayai oleh DIPA APBN TA. 2014 di Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir (P3SDLP), Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Kelautan dan Perikanan untuk kegiatan litbang "Kajian Hidrodinamika Perairan Indonesia dan Dampaknya Terhadap Migrasi Musiman Ikan Pelagis" (TIMIT). Pengolahan dan analisis data dilakukan di Laboratorium Data Laut dan Pesisir P3SDLP. Penerbitan artikel ilmiah ini juga dibiayai dari DIPA APBN pada pusat yang sama.

### **Daftar Pustaka**

- Azis, M.F. 2006. Gerak Air di Laut. Oseanografi, Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Blunden, L.S., A.S. Bahaj, and N.S. Aziz. 2013. Tidal Current Power for Indonesia? An Initial Resource Estimation For The Alas Strait. *J. Renewable Energy.*, 49(2013)137-142.
- Emery, W.J. and R.E. Thompson. 1998. *Data Analysis Method in Phisycal Oceanography*. Elsevier Science. Amsterdam.
- Fraenkel, P.L. 2001. Power from Marine Currents. *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers. Journal of Power and Energy.*, 216(A1): 1-14.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). 2011. Pengembangan Energi Arus Laut [internet]. [diunduh pada 2014 Okt 23] tersedia pada: <http://ebtke.esdm.go.id/post/2011/04/25/138/pengembangan.energi.arus.laut>.
- Pawlowicz, R., B. Beardsley, and S. Lentz. 2002. Classical Tidal Harmonic Analysis Including Error Estimates in Matlab using T\_TIDE. *J. Computer and Geoscience.*, 28(2002):929-937.
- Poerbandono dan E. Djunasjah. 2005. *Survei Hidrografi*. Refika Aditama, Bandung, 166 hlm.
- Pranowo, W.S., A.R.T.D. Kuswardhani, T.L. Kepel, U.R. Kadarwati, S. Makarim dan S. Husrin. 2005. *Menguak Arus Lintas Indonesia*. Departemen Kelautan dan Perikanan: Jakarta.
- Safitri, M., S.Y. Cahyarini, dan M.R. Putri. 2012. Variasi Arus Arlindo dan Parameter Oseanografi di laut Timor sebagai Indikasi kejadian ENSO. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis.*, 4(2):369-377.

- Setiawan, F. dan A. Qisthy. 2011. Pengembangan Energi Terbarukan dengan Identifikasi Kecepatan Arus Lintas Indonesia di Wilayah Timur Indonesia [internet]. [diunduh pada 2013 Nov 17]. Tersedia pada : <http://firmans08.files.wordpress.com/2011/12/paper-enarindo-versi-indo.pdf>.
- Wyrтки, K. 1961. Physical Oceanography of Southeast Asian Waters. Naga Report. Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, USA.
- Yuningsih, A. dan A. Masduki. 2011. Potensi Arus Laut untuk Pembangkit Tenaga Listrik di Kawasan Pesisir Flores Timur, NTT. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis., 3(1):13-25.