

**Kajian Potensi Gelombang Laut Sebagai Sumber Energi Alternatif
Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan Sistem
Oscilattng Water Column (OWC) Di Perairan Pantai Bengkulu**

Lutfi Agung Mardiansyah, Aris Ismanto, Wahyu Budi Setyawan*)

Program Studi Oseanograi, Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Diponegoro Semarang

Jl. Prof. Sudarto, SH Tembalang Tlp. / Fax. (024)7474698 Semarang 50275

Email : aris.ismanto@gmail.com, wahyubudisetyawan@yahoo.com

Abstrak

Gelombang yang bergerak menjalar menuju pantai menimbulkan pergerakan partikel dan energi gelombang. Oscilattng water column (OWC) merupakan salah satu sistem dan peralatan yang dapat mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik dengan menggunakan kolom osilasi. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui potensi gelombang laut sebagai sumber energi alternatif sistem oscilattng water column di perairan pantai Bengkulu. Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 14-17 Juni 2013 di perairan pantai Bengkulu, yaitu berupa data gelombang yang diukur dengan menggunakan wave recorder RBR, sedangkan data sekunder berupa data angin dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Bengkulu. Pengolahan data angin dengan menggunakan software windrose, peramalan gelombang dengan metode SMB, persamaan gelombang dengan software grapher 10, dan kerapatan energi gelombang dengan persamaan untuk prototype yang sudah ada. Hasil pengukuran lapangan diperoleh tinggi dan periode gelombang signifikan 0,87 meter dan 3,53 detik, persamaan gelombang 0,89 meter dan 3,56 detik. Dengan lebar chamber prototype 2,4 meter, didapatkan potensi kerapatan energi gelombang tahunan terbesar terjadi pada musim Timur (2003-2012) yaitu 7600,64 (joule/m²) and 1661,76 (watt/m²).

Kata kunci: *Oscilattng Water Column, Energi Gelombang, Perairan Pantai Bengkulu.*

Abstract

Wave that moves toward the shore, make the movement of the particles and waves energy. Oscilattng water column (OWC) is one of the systems and equipment that can transform wave energy into electrical energy by using oscillating columns. The purpose of this study is determine the potential of ocean wave as alternative energy sources with oscilattng water column system in coastal waters Bengkulu. This study was conducted on June 14th until 17th, 2013 in the coastal waters of Bengkulu, which is in the form of wave data measure using wave recorder, while the secondary data from the wind of Bengkulu Agency for Meteorological, Climatological and Geophysics (BMKG). Processing wind data using software windrose, wave forecasting with SMB method, wave equation eith software grapher 10 and wave energy density with the equation for an existing prototype. The results of field measurements obtained significant wave height and period of 0.87 meters and 3.53 seconds, wave equation of 0.89 meters and 3.56 seconds. With a width of 2.4 meter prototype chamber, while the potential of wave energy density occurs at the annual season's largest is East (2003-2012) 7600,64 (joule/m²) and 1661,76 (watt/m²).

Keyword: *Oscilattng Water Column, Wave Energy, Coastal Waters Bengkulu.*

Pendahuluan

Semakin bertambahnya jumlah penduduk dunia yang diikuti dengan pertumbuhan ekonomi yang pesat, membuat kebutuhan energi semakin meningkat. Pemenuhan energi global sebagian besar masih bergantung pada penggunaan energi yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, seperti minyak bumi, gas alam, serta batubara. Para ahli memperkirakan dunia akan mengalami krisis energi global karena penggunaan energi yang terus menerus berasal dari bahan bakar fosil tidak dapat diperbaharui kembali sedangkan kebutuhan energi semakin meningkat (Langhamer *et. al.*, 2010 dalam Utami 2008).

Beberapa negara maju di dunia telah mengembangkan sumber energi alternatif dari laut yang ramah lingkungan. Skotlandia, tahun 2001 telah berhasil membuat desain pembangkit listrik tenaga gelombang laut secara komersial pertama di dunia yang diberi nama Limpet yang dibangun di pulau Islay dan mampu menghasilkan 500 kW, cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik 400 rumah di pulau tersebut (Sciencenews, 2001). Sementara itu, Indonesia telah berhasil membangun prototipe pertama Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut sistem *oscilating water column* (PLTGL-OWC) yang dibangun oleh Balai Pengkajian Dinamika Pantai – Universitas Gadjah Mada (BPDP-UGM) yang bekerjasama dengan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) di pantai Parang Racuk, Baron, Gunung Kidul, Yogyakarta. Prototipe OWC yang dibangun dengan luas *Chamber* 3 m x 3 m dan mampu menghasilkan 19 kW/panjang gelombang dengan efisiensi 11% (ASELI, 2011).

Wilayah perairan Indonesia yang menyimpan potensi energi gelombang besar, diantaranya adalah perairan yang membentang dari barat Sumatera, selatan Jawa, hingga Nusa Tenggara, perairan-perairan ini berbatasan langsung dengan Samudera Hindia (ASELI, 2011). Perairan pantai Bengkulu yang terletak disebelah barat Pulau Sumatera termasuk kawasan yang disebut memiliki potensi energi gelombang yang besar. Teknologi konversi gelombang laut sistem OWC dipilih karena selain tidak membutuhkan biaya yang besar, teknologi ini juga cocok di daerah dengan topografi pantai yang curam (Wijaya, 2010), Berkaitan dengan kondisi tersebut, penelitian ini mempelajari bagaimana potensi energi gelombang laut di perairan pantai Bengkulu untuk pengembangan pembangkit listrik sistem OWC.

Materi dan Metode

Batasan materi dalam penelitian ini adalah angin dan gelombang laut, yang kemudian digunakan untuk menghitung dan mensimulasikan potensi energi listrik dengan sistem *oscilating water column* (OWC) dengan menggunakan parameter-parameter dari *prototype* yang sudah ada dan disebut alat. Data terdiri dari 2 (dua) yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengukuran langsung di lapangan berupa data-data gelombang, meliputi tinggi, periode, arah, dan energi gelombang dengan menggunakan *waverecorder* tipe RBR. Sedang data sekunder adalah data angin yang meliputi kecepatan dan arah angin yang diperoleh dari pengukuran darat di stasiun Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Bengkulu dan Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Kabupaten dari Bakosurtanal 2006. Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 14-18 Juni 2013 di perairan pantai Bengkulu, secara geografis lokasi penelitian terletak pada 3° 7' 57,81" Lintang Selatan dan 102° 1' 74,04" Bujur Timur, penentuan lokasi dengan menggunakan *global positioning system* (GPS) Garmin 276 C.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengamatan dan pengukuran lapangan, pengolahan data, dan analisis data. Metode ini dilakukan untuk mendapatkan besar arah dan kecepatan angin yang dapat membangkitkan gelombang, tinggi dan periode gelombang untuk mendapatkan seberapa besar potensi energi listrik yang ada di lokasi penelitian yaitu dengan menyajikan data, menganalisis, dan menginterpretasikan ke dalam data sehingga diperoleh pemecahan masalah secara sistematis (Narbuko *et. al.*, 2005).

Metode pengukuran gelombang dengan menggunakan instrumen (*instrument observations*) yaitu *waverecorder* tipe RBR secara mooring yang di letakkan di dasar perairan untuk mendapatkan data yang mempunyai akurasi tinggi (Thomson *et. al.*, 1998 dalam sugianto, 2010). Pengolahan data angin dengan *software* windrose yang ditampilkan secara periode harian dan musiman selama 10 tahun (2003-2012), dari data angin dilakukan pengolahan data peramalan gelombang dengan menggunakan metode SMB (Sverdrup Munk Bretschneider) dan ditampilkan dalam gelombang representatif, meliputi tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s). Berikut rumus yang digunakan:

$$n = 33.33\% \times \text{jumlah data} \quad (1)$$

$$H_s = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)}{n} \quad (2)$$

$$T_s = \frac{(T_1 + T_2 + \dots + T_n)}{n} \quad (3)$$

Persamaan gelombang dengan fitting data menggunakan *software grapher* 10, yang mempresentasikan keadaan gelombang dilapangan. Perhitungan kerapatan energi gelombang sistem oscilating water column (OWC) dengan menggunakan spesifikasi *prototype* (lebar chamber 2,4 meter, $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, efisiensi 11%), sesuai *prototype* dioperasikan (BPDP-BPPT, 2005) di Parangracuk, Gunung Kidul, Yogyakarta. Berikut prosedur rumus yang digunakan dalam menghitung kerapatan energi gelombang sistem OWC (Nielsen, 1986 dalam Wijaya, 2010). Data gelombang berupa tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T), maka dilakukan perhitungan energi potensial (E_p),

$$E_p = \frac{1}{4} w \rho g a^2 \lambda \quad (4)$$

Dari energi potensial (E_p), kemudian dihitung densitas energi (E_{PD}),

$$E_{PD} = \frac{E_p}{\lambda w} = \frac{1}{2} \rho g a^2 \left(\frac{\text{Joule}}{\text{m}^2} \right) \quad (5)$$

Tenaga gelombang (P_w), dimana besar daya listrik yang mampu dihasilkan gelombang laut

$$P_w = \frac{E_p}{T} \text{ (Watt)} \quad (6)$$

Daya densitas (P_{WD}), daya listrik per satuan luas.

$$P_{WD} = \frac{P_w}{T} = \frac{1}{2T} \rho g a^2 \left(\frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \right) \quad (7)$$

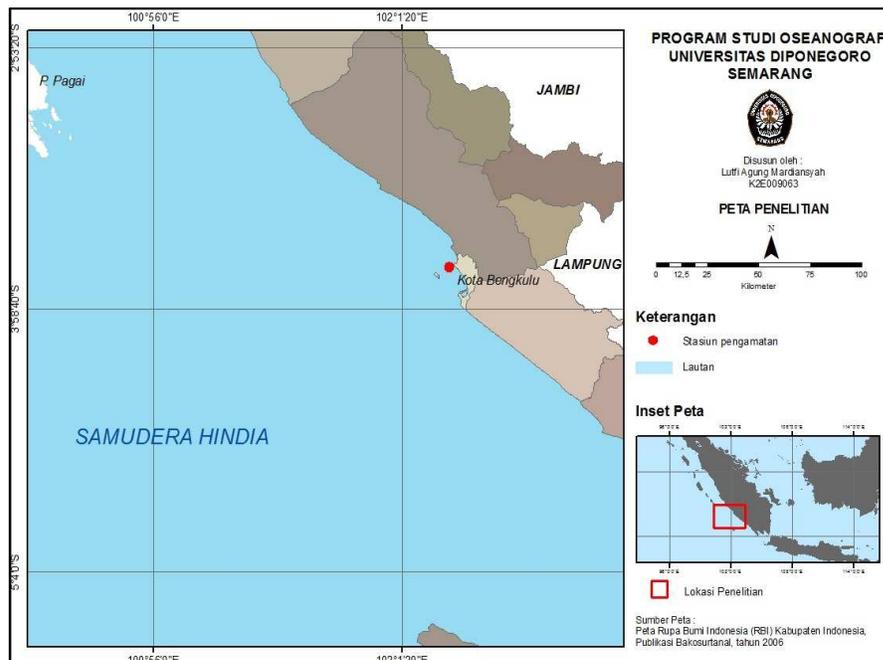
Verifikasi data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah data persamaan gelombang dan peramalan gelombang berupa tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) dengan data gelombang pengukuran di lapangan. Menurut Diposaptono *et al.*, (2006) koreksi kesalahan relatif dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$RE = \frac{|x-c|}{|x|} \times 100\% \quad (8)$$

$$MRE = \sum_0^n \frac{|RE|}{|n|} \quad (9)$$

Keterangan :

- RE = Kesalahan relatif (*Realtive Error*)
- MRE = Rata-rata kesalahan relatif (*Mean Relative Error*)
- X = data lapangan
- C = data hasil simulasi

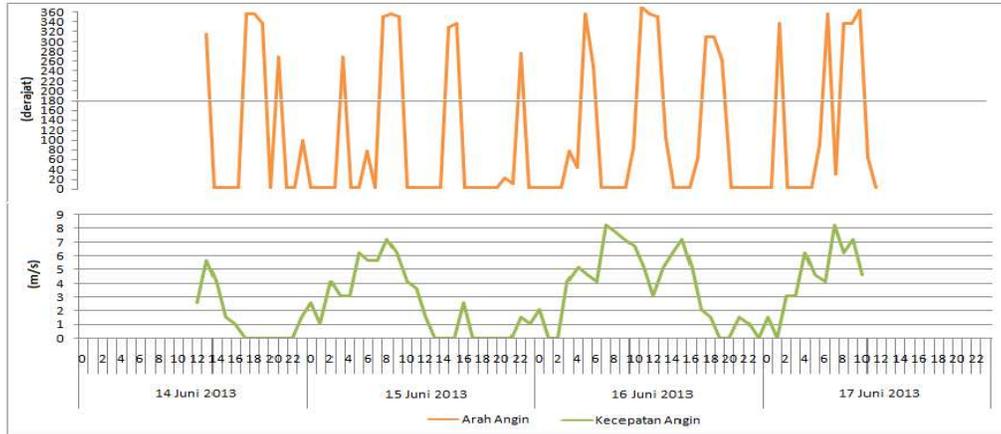


Gambar 1. Lokasi Penelitian

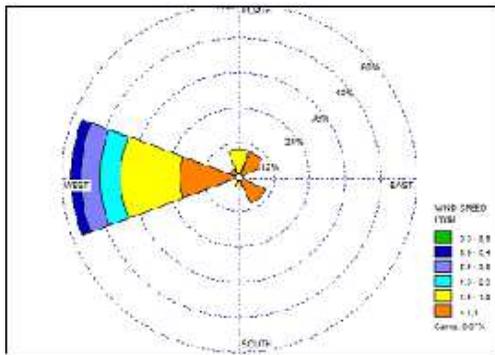
Hasil dan Pembahasan

Data angin yang diperoleh dari stasiun BMKG ini berdasarkan skala Beaufort, digolongkan ke dalam Angin sepoi (2,1 – 2,9 m/s), angin lemah (3 – 4,9 m/s), angin sedang (5 – 7,7 m/s), angin agak kuat

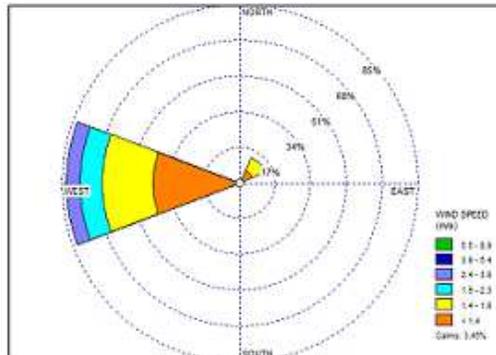
(7,8 – 10,5 m/s), angin kuat (11 – 13 m/s). Pada periode penelitian lapangan, data angin ditampilkan dalam distribusi arah dan kecepatan angin (Gambar 2). Sementara itu untuk diagram mawar angin permusim selama 10 tahun (2003-2012) pada musim barat, angin sedang dominan dari arah barat dengan rentang kecepatan 1,4 – 5,4 m/s (Gambar 3), pada musim peralihan I, angin lemah dominan dari arah barat dengan rentang kecepatan 1,4 m/s – 3,8 m/s (Gambar 4), musim timur, angin agak kuat dominan dari timur dengan rentang kecepatan 1,4 – 8,9 m/s (Gambar 5), musim peralihan II angin condong dari tenggara, dengan angin sangat lemah dominan dengan rentang 1,4 – 2,3 m/s (Gambar 6).



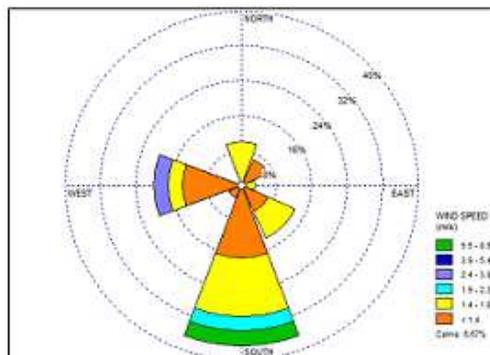
Gambar 2. Distribusi arah dan kecepatan angin periode penelitian lapangan



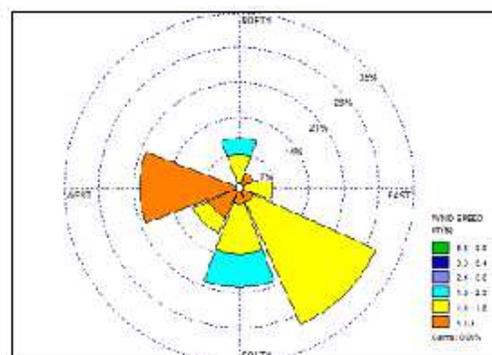
Gambar 3. Windrose musim Barat (2003-2012)



Gambar 4. Windrose musim Peralihan I (2003-2012)



Gambar 5. Windrose musim Timur (2003-2012)



Gambar 6. Windrose musim Peralihan II (2003-2012)

Arah dan kecepatan angin sangat mempengaruhi besar gelombang laut yang bisa dibangkitkan oleh angin, semakin besar angin yang berhembus di atas permukaan laut semakin besar tinggi gelombang yang dihasilkan (Hadi, 2005).

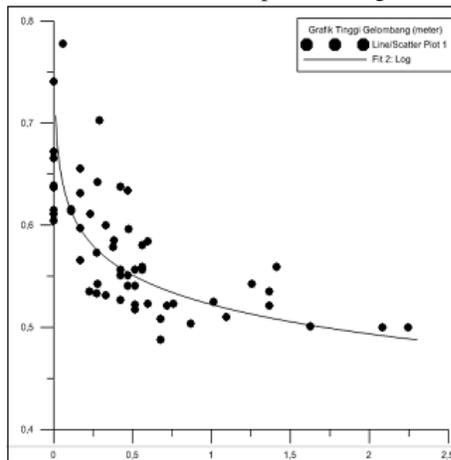
Gelombang representatif yaitu tinggi dan periode gelombang signifikan pengukuran lapangan sebesar 0,87 meter dan 3,53 detik, tinggi dan periode gelombang maksimum sebesar 2,34 meter dan 3,96 detik, tinggi dan periode gelombang minimum sebesar 0,41 meter dan 2,81 detik. Sedangkan gelombang representatif peramalan gelombang didapatkan nilai tinggi dan periode maksimal sebesar 2,30 meter dan 7,35 detik, tinggi dan periode signifikan sebesar 0,95 meter dan 4,48 detik, serta tinggi dan periode minimum 0. Berdasarkan periodenya (0,2 – 9 detik), gelombang tersebut termasuk ke dalam gelombang angin (Triadmodjo, 1999). Berikut Tabel 1. Perbedaan Gelombang representatif.

Tabel 1. Perbandingan gelombang representatif peramalan dan Lapangan

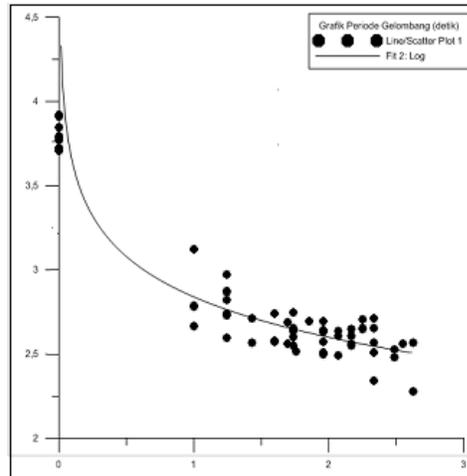
	Gelombang peramalan	Gelombang lapangan
H _{maks}	2,30	2,34
H _s	0,95	0,87
H _{min}	0	0,41
T _{maks}	7,35	3,96
T _s	4,48	3,53
T _{min}	0	2,81

Dari peramalan gelombang ini selanjutnya dilakukan fitting data dengan data gelombang yang terukur di lapangan, menurut Seber (2003) fitting data dilakukan untuk mendapatkan persamaan gelombang yang mengkondisikan gelombang sesungguhnya di lapangan (Gambar 7 dan 8). Fitting data dengan menggunakan *software* Grapher 10, menghasilkan persamaan gelombang; persamaan tinggi gelombang; $Y = -0,041 \times \ln(X) + 0,89$, sedang persamaan periode gelombang yaitu $Y = -0,034 \times \ln(X) + 3,36$, sementara itu nilai regresi (S) dan koefisien determinasi (R^2) yaitu 0,19 dan 0,74. Nilai koefisien determinasi (R^2) akan sempurna jika nilainya 1 atau 100%, sedangkan nilai regresi akan berbanding terbalik dengan nilai koefisien determinasi.

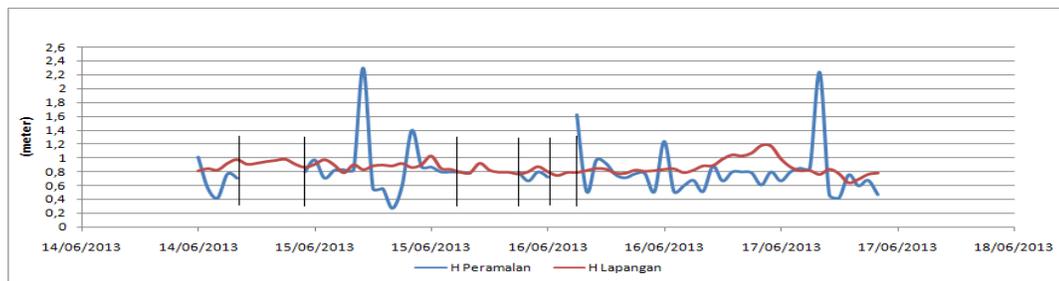
Nilai rata-rata kesalahan relatif (RME) untuk tinggi dan periode gelombang signifikan peramalan gelombang masing – masing sebesar 10% dan 27% dan persamaan gelombang 3% dan 4%.



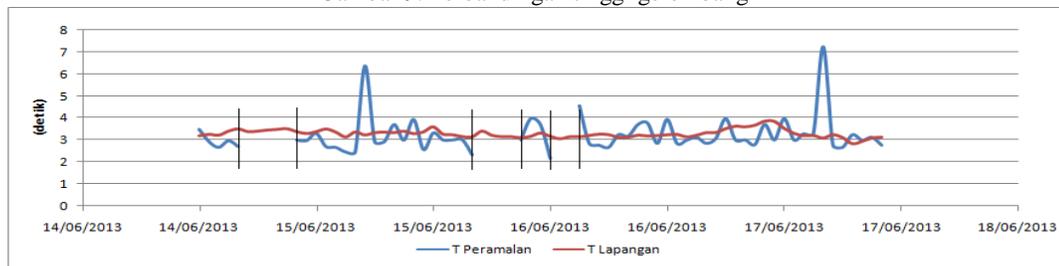
Gambar 7. Hasil fitting data Tinggi gelombang



Gambar 8. Hasil fitting data Periode gelombang

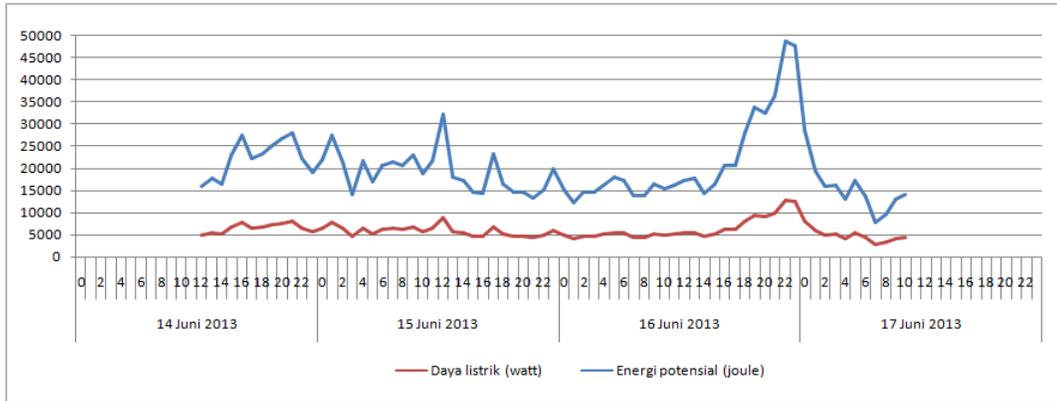


Gambar 9. Perbandingan tinggi gelombang

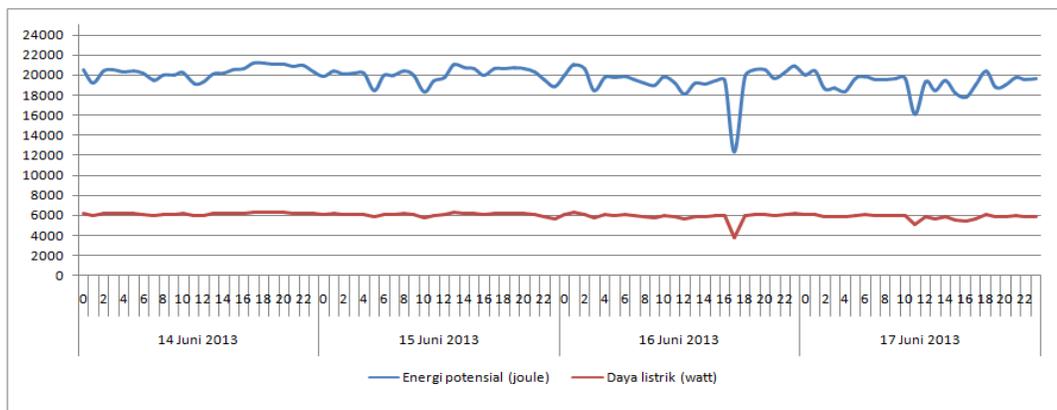


Gambar 10. Perbandingan periode gelombang

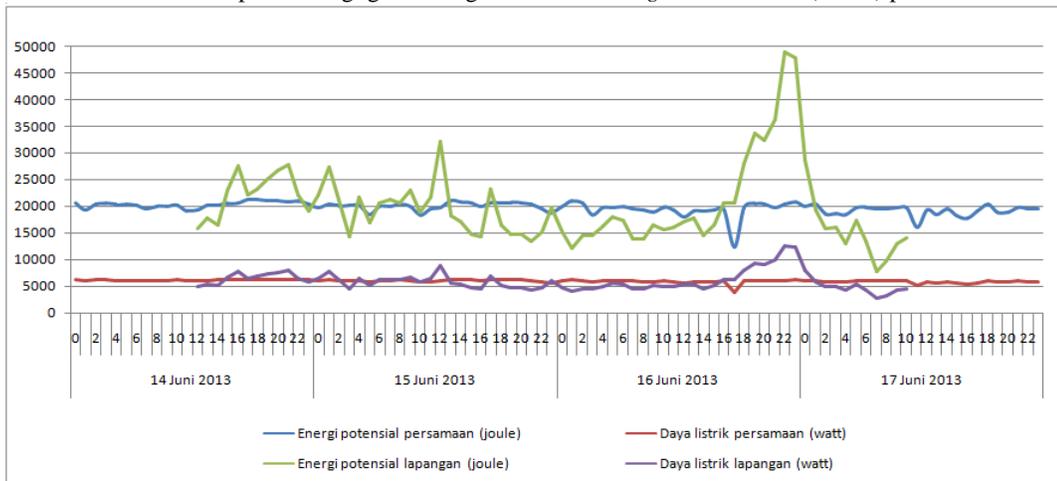
Hasil perhitungan kerapatan energi gelombang laut sistem *oscilattng water column* (OWC) diperoleh nilai energi potensial dan daya listrik rata-rata harian pengukuran lapangan tertinggi dan terendah terjadi pada tanggal 14 Juni 2013 dan 17 Juni 2013 yaitu 22252,77 joule - 6561,26 watt dan 15278,58 joule - 4771,81 watt (Gambar 11). Sedangkan kerapatan energi gelombang persamaan yaitu 20329,25 joule - 6155,17 watt dan 19141,73 joule - 5847,37 watt. (Gambar 12). Sementara itu, kerapatan energi gelombang tahunan (2003-2012) diperoleh nilai energi potensial rata-rata tertinggi dan terendah terdapat pada bulan Juli (2003-2012) dan bulan Maret (2003-2012) yaitu 18241,54 joule - 5505,65 watt dan 16792,30 joule - 5100,52 watt. (Gambar 14).



Gambar 11. Kerapatan energi gelombang sistem *oscilattng water column* (OWC) lapangan



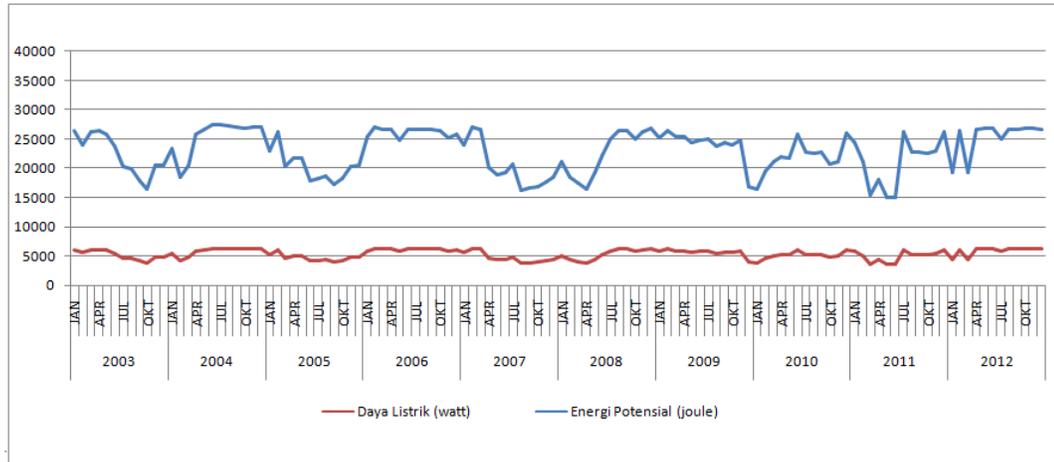
Gambar 12. Kerapatan energi gelombang sistem *oscilattng water column* (OWC) persamaan



Gambar 13. Perbedaan kerapatan energi gelombang sistem *oscilattng water column* (OWC)

Semakin besar tinggi gelombang yang ada di perairan, semakin besar pula energi potensial dan daya listrik yang dihasilkan, energi potensial gelombang yang ada di dalam sistem OWC berbanding lurus dengan daya listrik yang dihasilkan, dari grafik pada (Gambar 14) menunjukkan bahwa terjadi fluktuasi naik – turun kerapatan energi setahun tahun dalam kurun waktu 10 tahun (2003 – 2012), pada bulan Juli (2003-2012) nilai energi potensial terbesar, artinya pada musim Timur (Juni – Agustus) angin agak kuat berhembus dominan arah selatan (Gambar 5), keberadaan angin ini akan mempengaruhi besar kerapatan energi yang dihasilkan, karena energi potensial merupakan naik turunnya permukaan laut, yang mana permukaan air tersebut dipengaruhi oleh hembusan angin yang kemudian berpengaruh pada pembangkitan gelombang. Sedangkan energi potensial terendah terdapat pada bulan Maret (2003-2012), karena sesuai pergerakan angin, pada bulan Maret (musim peralihan I), kecepatan angin mulai berkurang,

menyebabkan pembangkitan gelombang yang diakibatkan angin ini akan melemah (Gambar 3). Dengan demikian, kerapatan energi dipengaruhi adanya distribusi angin di permukaan laut, angin akan mempengaruhi besar kerapatan energi gelombang yang dihasilkan, semakin besar angin di permukaan laut, semakin besar pula kerapatan energinya (Triadmodjo, 1999). Potensi energi gelombang sebagai pembangkit listrik sistem *oscilating water column* (OWC) ini ditentukan oleh besar kerapatan energi setiap panjang gelombang di dalam lubang *chamber* sistem OWC. Pada penelitian ini didapatkan bahwa potensi energi gelombang terbesar dan terkecil selama kurun waktu 10 tahun (2003-2012) yang bisa dibangkitkan oleh gelombang terdapat pada bulan Juli (2003-2012) dan Maret (2003-2012) yaitu 7600,64 (joule/m^2) - 1661,76 (watt/m^2) dan 6996,79 (joule/m^2) - 1549,48 (watt/m^2) (Gambar 15). Adapun Tabel 3 disajikan potensi pembangkit listrik sistem OWC pengukuran lapangan.



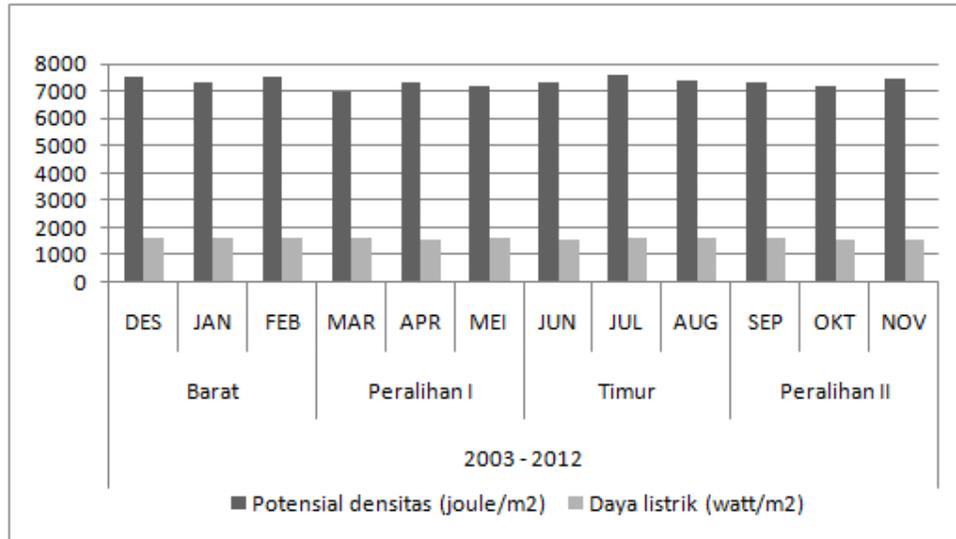
Gambar 14. Kerapatan energi gelombang sistem *oscilating water column* (OWC) tahunan

Tabel 2 Potensi kerapatan gelombang tahunan (2003-2012) yang memungkinkan

Musim (2003-2012)	Angin (m/s)		Tinggi Gelombang (m)		Daya listrik (watt)		Keterangan
	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	
Barat	5,3	1,12	0,83	0,82	1615,07	1641,29	
Peralihan I	3,7	1,14	0,84	0,81	1549,48	1660,67	
Timur	8,3	1,29	0,83	0,82	1687,37	1661,76	<i>Tertinggi</i>
Peralihan II	2,2	0,90	0,84	0,82	1576,30	1625,22	

Tabel 3. Potensi energi gelombang pembangkit listrik sistem OWC pengukuran lapangan

Juni 2013	Potensial Densitas (joule/m^2)			Daya Listrik Densitas (watt/m^2)		
	Min	Maks	Rata2	Min	Maks	Rata2
14	6586,84	11609,70	9271,99	1547,62	2257,72	1936,34
15	5555,20	13371,26	8036,29	1380,97	2486,15	1758,22
16	5086,70	20338,02	8986,35	1302,62	3281,09	1863,69
17	763,08	11898,60	5899,16	957,77	2295,89	1494,92



Menurut Utami (2010), berdasarkan *prototype* PLTGL – OWC, di Parangracuk, Yogyakarta dengan mengabaikan rugi daya dan efisiensi *prototype* sebesar 11, 917%, maka daya terkecil dan terbesar yang dapat dibangkitkan oleh gelombang laut di perairan pantai Bengkulu selama 10 tahun terakhir yaitu 1549,48 (watt/m²) dan 1661,76 (watt/m²). Kemampuan energi gelombang laut dalam menghasilkan daya listrik dapat dimanfaatkan untuk pasokan daya listrik baru di kawasan pantai. Daya listrik dapat digunakan untuk penerangan rumah nelayan sederhana dengan asumsi 100 watt (6 bola lampu 5 watt dan 1 tv 14 Inch 65 watt), jadi daya listrik dapat digunakan untuk 19 – 21 rumah penduduk.

Kesimpulan

Kecepatan angin pada waktu penelitian, pada tanggal 14 – 17 Juni 2013 dominan arah utara dengan rentang kecepatan 1,4 – 8,9 m/s, sedangkan untuk tahunan (2003-2012), angin dominan dari arah barat untuk Musim barat (Desember – Februari) dengan rentang kecepatan 1,4 – 5,4 m/s dan dominan dari arah Selatan untuk musim Timur (Juli – Agustus) dengan rentang kecepatan 1,4 – 8,9 m/s. Gelombang representatif pengukur lapangan 14 – 17 Juni 2013 yaitu H_s dan T_s sebesar 0,87 meter dan 3,53 detik, H_{maks} dan T_{maks} sebesar 2,34 meter dan 3,96 detik, H_{min} dan T_{min} sebesar 0,41 meter dan 2,28 detik. Kerapatan energi gelombang tertinggi dan terendah selama penelitian lapangan tanggal 14 – 17 Juni 2013 yaitu 22252,77 joule - 6561,26 watt dan 15278,58 joule - 4771,81 watt. Sedangkan potensi energi gelombang laut pembangkit listrik sistem OWC terbesar selama kurun waktu 10 tahun (2003-2012) terdapat pada musim Timur (Juni – Agustus) yaitu 7600,64 (joule/m²) - 1661,76 (watt/m²).

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada instansi Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) LIPI Jakarta dan instansi BMKG Bengkulu atas fasilitas serta sarana dan prasarana yang diberikan selama penelitian ini berlangsung.

Daftar Pustaka

- ASELI (Asosiasi Energi Laut Indonesia). 2011. *Energi Gelombang Laut*. <http://www.aseli.com>. (diakses 10 Mei 2013 21.00 WIB)
- BPDP UGM-BPPT (Balai Pengkajian Dinamika Pantai UGM – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi). 2005. *Dinamika Laut; Energi Gelombang Laut*. Yogyakarta
- Disaptono, S. dan Budiman. 2006. *Hidup Akrab dengan Gempa dan Tsunami*. Buku Ilmiah Populer, 383 hlm
- EBTKE (Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi). 2013. *Energi Gelombang Laut*. <http://www.esdm.gov>. 10 Mei 2013 21.00 WIB.
- Hadi, Safwan, Nining S. N., Kandaga P. 2005. Studi Awal Pemodelan Medan Gelombang di Laut Jawa dan Karakteristik Spektrum Energi Gelombang di Teluk Jakarta *Pusat Pengembangan Kawasan Pesisir dan Laut (PPKPL)*, Institut Teknologi Bandung Vol. 10 (3) : 169 -176
- Narbuko, C. dan A. Achmadi. 2005. *Metodologi Penelitian*. Jakarta: Bumi Aksara, hal. 44.
- Seber, G.A. and A. J. Lee. 2003. *Linear Regression Analysis*. Wiley Interscience.

- Science News, Volume 159, No. 15, April 14, 2011, p.234. http://www.phschool.com/science/science_news/articles/oceans_of_electricity.html (10/01/2014 20:37:39)
- Sugianto, D. N. 2010. Model Distribusi Data Kecepatan Angin dan Pemanfaatannya dalam Peramalan Gelombang di Perairan Laut Paciran, Jawa Timur, *vol. 15 (3)143-152*
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset: Yogyakarta.
- Utami, S.R. 2008. *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Menggunakan Sistem Oscilating Water Column (OWC) di tiga puluh Wilayah Kelautan Indonesia*. Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia: Jakarta.
- Wijaya, I.W.A. 2010. *Pembangkit listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Teknologi Oscilating Water Column di Perairan Bali*. Vol. 168 9 No.2 Juli - Desember 2010. Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana: Denpasar.