

PERSAMAAN ENERGI UNTUK PERHITUNGAN DAN PEMETAAN AREA YANG BERPOTENSI UNTUK PENGEMBANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT

Energy Equation for Calculating and Mapping Area that Potensial in Development of Wave Power Energy Generation

Jamrud Aminuddin, R. Farzand Abdullatif, dan Wihantoro

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. dr. Suparno 61, Karangwangkal-Purwokerto, Jawa Tengah, 53123, Indonesia
e-mail: jamrud.aminuddin@unsoed.ac.id

Diterima: 16 Juni 2015; Direvisi: 23 Juni 2015; Disetujui: 30 Juni 2015

Abstrak

Gelombang laut merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) secara umum bekerja dengan mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi mekanik, kemudian energi mekanik tersebut selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik. Perhitungan energi gelombang laut membutuhkan persamaan yang mampu menghubungkan antara parameter gelombang laut yang diukur secara langsung dengan parameter energi rata-rata gelombang laut tersebut. Perumusan persamaan tersebut telah dilakukan dengan memanfaatkan konsep gelombang mekanis dimana energi total sebuah gelombang adalah penjumlahan linear antara energi kinetik dan energi potensial. Berdasarkan perumusan yang telah dilakukan diketahui bahwa parameter-parameter yang berpengaruh terhadap nilai rata-rata energi gelombang laut persatuan luas adalah massa jenis air laut, percepatan gravitasi, dan amplitudo gelombang laut. Selain itu, melalui perhitungan pada beberapa sampel data diketahui bahwa nilai energi rata-rata gelombang laut mendekati dua kali lipat ketinggian gelombang tersebut.

Kata Kunci: Gelombang, PLTGL, Energi, Amplitudo, Gravitasi.

Abstract

Ocean wave is an alternatif energy resources that can be used to generate the electrical power. Wave Power Energy Generation (WPEG) generally work by converting wave energy to mechanical energy, it is converted to electrical energy. Calculation of ocean wave energy require equation that can correlate between parameters of ocean wave measured directly and parameter of the average ocean wave energy. Formulation of the equation has been carried out using mechanical wave concept where the total energy of wave is linear summation between the kinetic and potential energies. Based on the formulation the known parameters which has affected to the value of average ocean wave energy per unit of wide are density of sea water, acceleration of gravity, and sea wave amplitude. Besides, through calculation to the data samples is known that the value of average ocean wave energy is almost two times of its high.

Keywords: Wave, WPEG, Energy, Amplitude, Gravity.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan gelombang laut sebagai pembangkit listrik terbarukan yang hemat energi dan ramah lingkungan telah dilakukan beberapa peneliti sebelumnya. Sistem konverter yang pernah dikembangkan di Eropa sangat beragam (Drew et.al, 2009). Di Indonesia hingga saat ini ada dua sistem konverter yang populer, yaitu *Oscillating Water Column* (OWC) dan Sistem Pendulum (SP) atau Sistem Bandul (SB). Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan menggunakan *Oscillating Water Column* dikenal dengan nama PLTGL-OWC (Wijaya, 2010) sedangkan yang menggunakan Sistem Pendulum atau Sistem Bandul dikenal dengan istilah PLTGL-SP atau PLTGL-SB (Utomo dkk, 2008).

Gelombang laut merupakan salah satu sumber energi baru dan terbarukan yang bernilai ekonomis, serta ramah lingkungan karena tidak menghasilkan polusi dan mudah ditemukan di daerah pesisir pantai (Nielsen, 2006; Aziz, 2006). Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) secara umum bekerja dengan mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi mekanik, kemudian energi mekanik tersebut selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik. Permasalahan utama dalam pengembangan PLTGL adalah fluktuatifnya gelombang laut yang dapat menyebabkan tidak optimalnya sistem ini pada saat gelombang memberi gaya dorong yang kecil. Pada saat gaya dorong yang bersumber dari gelombang besar maka sistem dapat bekerja secara optimal tetapi proses ini tidak terjadi secara kontinu (Abdullatif dkk, 2013). Untuk itu diperlukan kajian lebih mendalam terkait dengan sistem yang mampu beradaptasi terhadap fluktuatifnya gaya dorong gelombang laut. Selain itu, kajian mendalam terhadap karakteristik gelombang juga perlu dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja PLTGL dalam proses konversi energi gelombang menjadi energi mekanik yang selanjutnya menjadi energi listrik.

Secara eksperimental data-data yang terkait dengan sifat fisis gelombang laut dapat diperoleh dengan cara pengambilan data-data parameter gelombang secara manual dandengan cara pengambilan data-data sekunder dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Pengambilan data secara manual dilakukan dengan menggunakan peralatan rambu ukur gelombang yaitu tongkat berskala yang ditempatkan pada daerah pecah gelombang dan berfungsi untuk mengukur tinggi gelombang, stopwatch untuk mengukur waktu atau periode gelombang, serta kompas untuk mengukur sudut datang gelombang terhadap pantai (Noya, 2009). Data parameter gelombang dapat pula berasal dari data sekunder dari BMKG yang diperoleh menggunakan software Windwaves-05 sehingga diperoleh data ketinggian gelombang, periode gelombang, dan panjang gelombang (Kurniawan dkk, 2011). Data-data tersebut belum menunjukkan adanya hubungan secara

langsung terhadap energi gelombang. Untuk itu, dalam tinjauan ini dilakukan perumusan matematis terkait dengan persamaan yang menghubungkan antara parameter fisis yang diperoleh secara eksperimental dengan besarnya potensi energi gelombang laut tersebut.

Analisis energi gelombang laut yang merambat dari laut lepas menuju tepi pantai, secara teoretis dapat dihitung dengan memanfaatkan konsep-konsep fisika yang terkait dengan gelombang mekanik. Deskripsi paling sederhana gelombang laut dinyatakan dalam bentuk sinusoidal yang terdiri dari beberapa komponen, yaitu titik tertinggi dinamakan puncak dan titik terendah dinamakan lembah. Parameter fisis yang terkait dengan gelombang adalah panjang gelombang, ketinggian gelombang, periode gelombang, dan kedalaman laut. Gelombang dengan amplitudo kecil atau linier, jarak dari puncak gelombang ke SWL (*Still Water Level*) atau muka air normal dan jarak dari lembah ke SWL sama dengan amplitudo gelombang (Sorensen, 2006). Deskripsi lainnya tentang gelombang adalah pada saat permukaan muka laut mendapatkan tekanan angin (*wind stress*), terbentuklah tinggi gelombang dan selanjutnya arus permukaan terbentuk (Hadikusumah, 2009). Besar kecilnya energi gelombang sangat dipengaruhi oleh parameter-parameter gelombang seperti tinggi gelombang, periode gelombang, panjang gelombang, dan kecepatan gelombang (Noya, 2009).

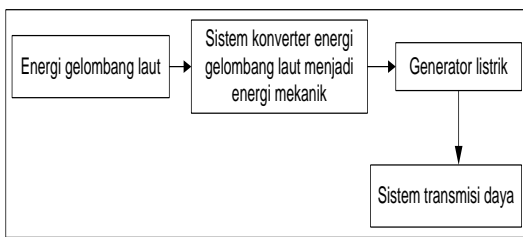
Berdasarkan beberapa deskripsi terkait dengan karakteristik gelombang laut, belum ada informasi yang menghubungkan antara parameter gelombang yang dapat diukur dengan besarnya energi gelombang. Untuk itu, dalam tinjauan ini dilakukan perumusan persamaan yang mampu menghubungkan antara parameter gelombang terukur dengan energi gelombang. Perumusan tersebut dilakukan dengan memanfaatkan beberapa parameter fisis yang mampu menghubungkan antara parameter gelombang yang diukur dengan parameter energi gelombang. Hasil perumusan tersebut diharapkan dapat dimanfaatkan dalam proses pemetaan area yang berpotensi untuk pengembangan PLTGL.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Prinsip Dasar PLTGL

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) secara umum terdiri atas 4 (empat) komponen utama, yaitu: energi gelombang, sistem konverter yang merubah energi gelombang menjadi energi mekanik, generator listrik, dan transmisi. Secara skematik sistem kerja PLTGL diperlihatkan pada Gambar 1. Gelombang laut yang bergerak membawa energi yang dikonversi oleh mesin konversi menjadi energi kinetik sebagai pemutar sistem turbin, sedangkan turbin memutar generator untuk menghasilkan energi listrik melalui energi mekanik

(Nielsen, 2006). Dari keempat bagian tersebut, yang menjadi fokus bagi para peneliti adalah sistem konverter energi gelombang laut yang terintegrasi dengan generator listrik. Sistem konverter yang pernah dikembangkan di Eropa sangat beragam (Drew et.al, 2009) sedangkan di Indonesia hingga saat ini ada dua sistem konverter yang populer, yaitu *Oscillating Water Column* (OWC) dan Sistem Pendulum (SP) atau Sistem Bandul (SB). Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan menggunakan *Oscillating Converter Wave* dikenal dengan nama PLTGL-OCW (Wijaya, 2010) sedangkan yang menggunakan Sistem Pendulum atau Sistem Bandul dikenal dengan istilah PLTGL-SP atau PLTGL-SB (Utomo dkk, 2008). Dalam penelitian ini akan dikembangkan sistem turbin cross flow yang dinamakan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Turbin Cross Flow (PLTGL-STCF).



Gambar 1. Skema umum pembangkit listrik tenaga gelombang laut.

2. Sistem PLTGL-OCW

Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut *Oscillating Water Column* (OWC) yang telah dicobakan di Pantai Selatan Bali mampu menghasilkan daya listrik sebesar 14 kW. Sistem konverter pembangkit ini bekerja dengan menyerap energi gelombang laut melalui kolom osilasi. Kolom osilasi tersebut berupa bangunan permanen di lepas pantai yang tahan terhadap dorongan energi gelombang laut sehingga biaya yang dibutuhkan untuk membangun PLTGL-OCW cukup besar (Wijaya, 2010). Sistem ini juga telah berhasil direalisasikan di Namibia dan Rhode Island dengan daya 100-1500kW. Dengan kalkulasi biasa, sistem ini diperkirakan mampu melayani pasokan listrik sekitar 100-1500 Kepala Keluarga untuk ukuran penduduk Indonesia, namun sistem pembangkit tersebut diperkirakan menghabiskan dana sekitar 2-3 Juta Dollar Amerika (Burman and Walker, 2009). Hal ini tidak sesuai diterapkan di wilayah pesisir yang terpencil dengan kebutuhan listrik yang lebih kecil. Salah satu bentuk PLTGL-OCW diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Salah satu bentuk PLTGL-OCW (Burman and Walker, 2009)

3. Sistem PLTGL-SP

Sistem pembangkit lainnya yang dinilai ideal jika diterapkan di Indonesia khususnya di wilayah pesisir yang terpencil adalah Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Pendulum atau Sistem Bandul (PLTGL-SP) atau (PLTGL-SB). Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip bahwa bandul dapat berosilasi mengikuti pola gerakan laut. Cara kerja alat ini sangat sederhana dan mudah direalisasikan. Energi gelombang laut akan menggoyangkan ponton yang terintegrasi dengan bandul sehingga

mengerakkan *double-freewheel* untuk memutar dinamo yang selanjutnya akan menghasilkan energi listrik (Utomo dkk, 2008; Drew et.al, 2009, Ogai et.al, 2010). Salah satu bentuk PLTGL-SP diperlihatkan pada Gambar 3. Realisasi PLTGL-SP pernah dilakukan di perairan Mentawai Sumatera Barat dengan ketinggian gelombang 2,0-3,5 meter (Utomo dkk, 2008). Sistem ini dinilai ideal untuk wilayah pesisir yang terpencil khususnya di Indonesia tetapi daya yang dihasilkan sangat fluktuatif karena bergantung pada fluktuasinya gelombang laut (Abdullatif dkk, 2013).



Gambar 3. Salah satu bentuk PLTGL-SP (Utomo dkk, 2008)

4. Teori Gelombang Laut

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva atau grafik sinusoidal (Kurniawan dkk, 2011). Gelombang laut terjadi karena adanya gaya pembangkit yang bekerja di laut. Menurut Bhattacharyya (1972) dalam Andriarto dkk (2011), gelombang laut merupakan gelombang irregular yang permukaannya tidak beraturan atau selalu berubah dari waktu ke waktu dan bervariasi dari suatu tempat ke tempat lain, tergantung dari kecepatan angin. Gelombang irregular tidak dapat didefinisikan menurut pola atau bentuknya, tetapi menurut energi total dari gelombang yang membentuknya.

Energi gelombang bergerak dari suatu wilayah pembentukan gelombang ke arah pantai. Gelombang tersebut akhirnya terburai sebagai gelombang pecah dan sebagian lagi dipantulkan (Rahayu, 2000). Dalam menjelaskan gelombang, Horikawa (1978) dalam Rahayu (2000) gelombang terbagi menjadi 4 macam yaitu:

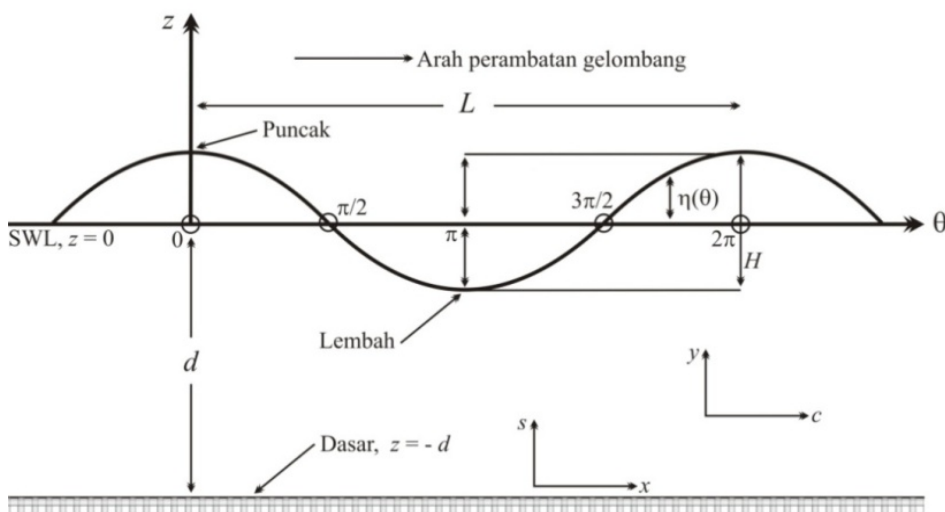
1. gelombang maksimum yaitu gelombang yang mempunyai tinggi maksimum dalam suatu grup gelombang. Tinggi dan periode gelombang dinotasikan dalam bentuk H_{maks} dan T_{maks} .
2. Gelombang sepersepuluh tertinggi, yaitu rata-rata dari sepersepuluh gelombang tertinggi dalam satu grup gelombang. Tinggi dan periode gelombang dinotasikan dalam bentuk $H_{1/10}$ dan $T_{1/10}$.
3. Gelombang signifikan atau gelombang sepertiga tertinggi, yaitu rata-rata dari sepertiga gelombang tertinggi dalam satu grup gelombang. Tinggi dan periode gelombang dinotasikan dalam bentuk $H_{1/3}$ dan $T_{1/3}$.

4. Gelombang rata-rata, yaitu gelombang rata-rata seluruh tinggi dan periode gelombang dalam satu record. Tinggi dan periode gelombang dinotasikan dalam bentuk \bar{H} dan \bar{T} .

Deskripsi paling sederhana dalam bentuk grafik, gelombang laut dinyatakan dalam bentuk sinusoidal seperti pada Gambar 4. Pada Gambar 4 diperlihatkan beberapa bagian dan parameter gelombang laut, yaitu titik tertinggi dinamakan puncak (*crest*), titik terendah dinamakan lembah (*trough*), panjang gelombang L , ketinggian H , periode T , dan kedalaman laut d . Gelombang dengan amplitudo kecil atau linier, jarak dari puncak gelombang ke SWL (*Still Water Level*) atau muka air normal dan jarak dari lembah ke SWL sama dengan amplitudo gelombang a . Secara matematis dinyatakan dalam bentuk $a=H/2$, dengan H adalah tinggi gelombang (Sorensen, 2006; Aminuddin dkk, 2011). Secara matematis persamaan gelombang dasar dinyatakan dalam bentuk:

$$\eta = a \cos(kx - \omega t) = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (1)$$

Dengan η adalah fungsi selubung gelombang, k adalah bilangan gelombang, x adalah jarak tempuh atau perambatan gelombang, ω adalah kecepatan fasa gelombang, dan t adalah waktu perambatan gelombang. Deskripsi lainnya tentang gelombang adalah pada saat permukaan muka laut mendapatkan tekanan angin (*wind stress*), terbentuklah tinggi gelombang dan selanjutnya arus permukaan terbentuk (Hadikusumah, 2009). Besar kecilnya energi gelombang sangat dipengaruhi oleh parameter-parameter gelombang seperti tinggi gelombang, periode gelombang, panjang gelombang, dan kecepatan gelombang (Noya, 2009).



Gambar 4. Model dasar perambatan gelombang (Aminuddin dkk, 2011)

METODE PENELITIAN

Perumusan persamaan yang dapat menghubungkan antara besaran-besaran terukur dengan besaran energi gelombang dilakukan dengan menggunakan asumsi dasar bahwa proses perambatan gelombang di permukaan laut terjadi karena adanya energi yang menggerakannya, yaitu energi kinetik dan energi potensial (Rahayu, 2000 dan Sorensen, 2006). Energi kinetik (E_k) merupakan gerak melingkar molekul air, sedangkan energi potensial (E_p) merupakan energi yang dihasilkan oleh pergerakan gelombang di atas muka laut. Energi potensial tidak hanya terpusat pada satu titik, tetapi menyebar pada seluruh bagian-bagian gelombang.

Konsep dasar yang terkait dengan karakteristik gelombang laut tersebut digunakan dalam perumusan persamaan untuk menentukan besarnya energi gelombang laut. Pengembangan dan penyederhanaan dalam perumusan persamaan yang menghubungkan antara parameter gelombang yang terukur dengan energi gelombang laut dikembangkan berdasarkan beberapa asumsi dasar yang digunakan oleh Rahayu (2000), yaitu:

1. Zat cair atau partikel gelombang adalah homogeny dan tidak termampatkan, sehingga rapat massa dianggap konstan
2. Tegangan permukaan diabaikan
3. Gaya coriolis atau gaya yang terjadi akibat perputaran bumi diabaikan
4. Gerak partikel air berada dalam keadaan irrotational
5. Dasar laut dianggap datar, tetap, dan impermeable sehingga kecepatan vertical dasar bernilai nol
6. Tekanan permukaan air dianggap seragam dan konstan
7. Kecepatan partikel air relative lebih kecil daripada kecepatan jalar gelombang
8. Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjalaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perumusan persamaan energi gelombang dimulai dari teorema dasar energi total gelombang mekanik. Berdasarkan teorema dasar energi total gelombang mekanik, maka energi total gelombang laut adalah jumlah dari energi kinetik (E_k) dan energi potensial (E_p).

$$E = E_k + E_p$$

Energi kinetik dipengaruhi oleh komponen massa yang terdiri atas massa jenis (ρ) dan volume dalam tinjauan vertikal dan horisontal ($dx dz$) serta kuadrat

kecepatan dalam arah vertikal dan horisontal ($u^2 + w^2$) yang dinyatakan dalam bentuk

$$E_k = \int_0^L \int_{-d}^0 \rho dx dz (u^2 + w^2) \quad (3)$$

Energi potensial secara eksplisit dipengaruhi oleh parameter kedalaman laut (d), panjang gelombang (L), fluktuasi muka air laut rata-rata (η), ketinggian gelombang (H), percepatan gravitasi (g) yang dinyatakan dalam bentuk

$$E_p = \int_0^L \rho g (d + \eta) \left(\frac{d + \eta}{2} \right) dx - \rho g L d \left(\frac{d}{2} \right) \quad (4)$$

Selain parameter-parameter yang berpengaruh secara eksplisit terhadap energi kinetik dan energi potensial, parameter implisit lainnya seperti kecepatan dalam arah vertikal dan horisontal serta fluktuasi muka air laut rata-rata, juga diperhitungkan dalam perumusan energi gelombang laut (Rahayu, 2000 dan Sorensen, 2006).

Perumusan energi kinetik gelombang laut ditentukan berdasarkan potensial kecepatan (ϕ) yang telah dirumuskan sebelumnya dalam bentuk

$$\phi = \frac{gH \cosh k(d+z)}{2\omega \cosh kd} \sin(kx - \omega t) \quad (5)$$

dengan $\omega = 2\pi/T$ dan $k = 2\pi/L$. Berdasarkan kondisi ini, maka bentuk dasar komponen kecepatan dalam arah horisontal ($u = \partial\phi/\partial x$) dapat dituliskan dalam bentuk

$$u = \frac{gHT \cosh \frac{2\pi}{L}(d+z)}{2L \cosh \frac{2\pi}{L}d} \cos \left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t \right) \quad (6)$$

Parameter L pada persamaan (6) diperoleh melalui penamaan parameter frekuensi angular gelombang

$$\sigma^2 = gk \tanh kd \quad (7)$$

dan parameter kecepatan gelombang

$$C = \frac{L}{T} = \frac{\sigma}{k} \quad (8)$$

Dengan menggunakan persamaan (7) ke persamaan (3), maka diperoleh parameter panjang gelombang dalam bentuk

$$(2) \quad L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi}{L} d \quad (9)$$

Parameter L pada persamaan (9) digunakan pada persamaan (6) sehingga diperoleh komponen kecepatan dalam arah horisontal dalam bentuk

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cos(kx - \omega t) \quad (10)$$

Selanjutnya, hasil yang diperoleh dari komponen kecepatan dalam arah vertikal ($w = \partial\phi/\partial x$) dengan melibatkan L dari persamaan (9) maka diperoleh bentuk

$$w = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \sin(kx - \omega t) \quad (11)$$

Bentuk tak berdimensi komponen kecepatan dalam arah vertikal dan horisontal diperoleh dengan menamakan beberapa parameter berikut:

$$\frac{\cosh(d+z)}{\sinh kd} = \frac{1}{kd} \quad (12)$$

$$\frac{\sinh(d+z)}{\sinh kd} = 1 + \frac{z}{d} \quad (13)$$

$$C = \sqrt{gd} \quad (14)$$

$$L = T\sqrt{gd} \quad (15)$$

Dengan menambahkan parameter-parameter tak berdimensi ke persamaan (10) dan (11) secara berurutan, maka diperoleh persamaan umum kecepatan dalam arah horisontal (u) dan vertikal (w) dalam bentuk:

$$u = \frac{H}{2} \sqrt{gd} \cos(kx - \omega t) \quad (16)$$

$$w = \frac{\pi H}{T} \left(1 + \frac{z}{d}\right) \sin(kx - \omega t) \quad (17)$$

Persamaan (16) dan (17) digunakan pada persamaan (3) untuk mendapatkan fungsi energi kinetik gelombang laut dalam bentuk

$$E_k = \frac{\rho H^2 g L}{16} \quad (18)$$

Dari persamaan (18), diketahui bahwa energi kinetik gelombang laut dipengaruhi secara eksplisit oleh parameter-parameter: percepatan gravitasi (g), tinggi gelombang laut (H), massa jenis air laut (ρ), dan panjang gelombang (L).

Perumusan persamaan energi potensial dilakukan dengan memanfaatkan persamaan (4). Pada persamaan tersebut terdapat parameter fluktuasi muka air laut rata-rata (η) yang secara eksplisit dipengaruhi oleh parameter-parameter: ketinggian gelombang (H), bilangan gelombang (k), jarak tempuh gelombang (x), kecepatan fasa gelombang (ω) dan waktu perambatan

gelombang (t). Bentuk matematis parameter fluktuasi muka air laut rata-rata adalah

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) \quad (19)$$

Persamaan (19) digunakan pada persamaan (4) sehingga diperoleh fungsi energi potensial gelombang laut dalam bentuk

$$E_p = \frac{\rho H^2 g L}{16} \quad (20)$$

Fungsi energi potensial dan energi kinetik gelombang laut mempunyai bentuk yang sama sehingga besarnya energi total gelombang laut dua kali lipat dari energi kinetik atau energi potensial gelombang laut tersebut. Dengan menjumlahkan secara linear kedua bentuk energi gelombang pada persamaan (18) dan (20) serta melibatkan asumsi bahwa energi gelombang dapat berubah pada titik tertentu ($\bar{E} = E/L$) (Noya, 2009) dan asumsi bahwa besarnya ketinggian gelombang laut dua kali lipat dari amplitudonya ($A=H/2$) (Sorensen, 2006; Aminuddin dkk, 2011) maka diperoleh energi rata-rata total gelombang laut dalam bentuk

$$\bar{E} = \frac{1}{2} \rho g A^2 \quad (21)$$

dengan \bar{E} adalah energi rata-rata persatuan luas (J/m^2), H adalah tinggi gelombang (m), A adalah amplitudo gelombang (m), ρ adalah rapat massa (kg/m^3), dan g adalah percepatan gravitasi (m/s^2). Berdasarkan persamaan (20), maka diketahui bahwa energi rata-rata gelombang laut diketahui melalui pengukuran tinggi gelombang laut (H) secara langsung di lapangan atau melalui satelit. Dari data tinggi gelombang laut tersebut diketahui amplitudo gelombang laut (A) yang selanjutnya digunakan untuk menghitung besarnya energi gelombang laut per satuan luas.

Persamaan tersebut dapat dimanfaatkan untuk membuat peta area yang berpotensi untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL). Permanasari (2014) telah melakukan pemetaan potensi energi gelombang laut dengan memetakan besarnya ketinggian gelombang laut yang terukur secara langsung melalui satelit. Pada penelitian tersebut belum dilakukan perhitungan atau pemetaan besarnya energi gelombang laut. Salah satu cuplikan data perhitungan dan pemetaan area yang berpotensi untuk pengembangan PLTGL diperlihatkan pada Tabel 1. Dengan memanfaatkan persamaan (20), maka energi rata-rata gelombang laut per satuan luas dapat ditentukan dengan hasil seperti pada Tabel 2. Hasil perumusan yang telah dilakukan diharapkan menjadi persamaan yang dapat digunakan dalam perhitungan

potensi energi gelombang laut. Persamaan tersebut dapat menghubungkan antara besar energi gelombang laut dengan parameter gelombang yang diukur secara langsung yaitu tinggi gelombang laut.

Tabel 1. Tinggi Gelombang (H) pada bulan April 2011 (m)
(Sumber: Permanasari, 2014)

Koordinat	0	1	2	3
0	2,73	2,84	2,89	2,88
1	2,51	2,51	2,63	2,62
2	2,83	2,84	2,73	2,84
3	2,91	2,93	2,91	2,94
4	2,68	2,67	2,64	2,65

Tabel 2. Nilai energi gelombang pada bulan April 2011
(J/m^2)

Koordinat	0	1	2	3
0	6,825	7,100	7,225	7,200
1	6,275	6,275	6,575	6,550
2	7,075	7,100	6,825	7,100
3	7,275	7,325	7,275	7,350
4	6,700	6,675	6,600	6,625

KESIMPULAN

Berdasarkan perumusan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa parameter yang berpengaruh terhadap nilai rata-rata energi gelombang laut persatuan luas adalah massa jenis air laut, percepatan gravitasi, dan amplitudo gelombang laut. Selain itu, melalui perhitungan pada beberapa sampel data diketahui bahwa nilai energi rata-rata gelombang laut mendekati dua kali lipat ketinggian gelombang tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada DP2M DIKTI dan LPPM UNSOED atas bantuan dalam bentuk pengadaan dan penyaluran dana penelitian dengan nama skim Hibah Bersaing Tahun 2015. Kepada BMKG Cilacap kami ucapkan terima kasih atas bantuannya dalam proses pengadaan data-data gelombang laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullatif R.F, J. Aminuddin, dan A.N. Aziz.2013. Pengembangan Sistem Komputasi dan Instrumentasi Fisis dalam Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Pendulum. *Seminar Nasional Pengembangan Pedesaan*, LPPM-UNSOED September 2013.
- Aminuddin J, Sehad, and Sunardi.2011. Pemodelan Gelombang Laut untuk Menunjang Pelestarian Pulau Nusakambangan. *Proc. Seminar Nasional Pengembangan Sumber Daya Pedesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan*, Nopember 17-18. UNSOED, Purwokerto: 70-82.
- Andriarto, H. K., Armono, H. D., dan Sembhodo Kriyo., 2011. Analisa Anchor Sandbag Pada Zig-Zag Floating Breakwater. *Tugas Akhir, Teknik Kelautan*. Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan: ITS Surabaya.
- Azis M.F. 2006. Gerak Air di Laut. *Oseana*.Vol31. No 4, 9-21.
- Burman K and A.Walker. 2009. Ocean Energy Technology Overview. *Federal Energy Management Program-USA*.DOE/GO-102009-2823.10-15.
- Drew B, A.R. Plummer, and M.N. Sahinkaya.2009. A Review of Wave Energy Converter Technology, *Journal of Power and Energy*, Vol 223, No 782. 887-902.
- Hadikusumah., 2009. Karakteristik Gelombang dan Arus di Eretan, Indramayu. *Jurnal Makara Sains*, 13 (2), pp.163-172.
- Kurniawan. R., Habibie.M. N., dan Suratno., 2011. Variasi Bulanan Gelombang Laut di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 12 (3), pp. 221-232.
- Nielsen K. 2006. Ocean Energy Conversion in Europe: recent advancements and prospects. *Centre for Renewable Energy Source*, Greece. 8-18.
- Nielsen K. 2006. Ocean Energy Conversion in Europe: recent advancements and prospects. *Centre for Renewable Energy Source*, Greece. Hal: 8-18.
- Noya. Y., 2009. Estimasi energi gelombang pada musim timur dan musim barat di perairan pantai desa Tawiri Teluk Ambon bagian timur. *Jurnal TRITON*, 5 (2), pp. 43-49.
- Ogai S, S. Umeda, and H. Ishida. 2010. An Experimental Study of Compressed Air Generation using a Pendulum Wave Energy Converter. *9th International Conference on Hydrodynamics*, October 11-15, Shanghai-China. 290-295
- Permanasari M.R. 2014. Pemetaan Area Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut di Perairan Cilacap dan Sekitarnya. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto.

- Rahayu. F., 2000. *Kondisi Gelombang dan Pengaruhnya Terhadap Pergerakan Sedimen di Perairan Pantai Yogyakarta-Cilacap Pada Bulan April-Mei 1999*. Skripsi Prodi Ilmu dan Teknologi Kelautan: IPB
- Sorensen, R.N., 2006. *Basic Coastal Engineering*. Department of Civil and Environmental Engineering Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania.
- Utomo A.R, L. Pasaribu, dan W. Handini.2008. Studi Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Penggerak Pendulum di Lautan Kepulauan Mentawai Sumatera barat. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II*, 17-18 November, Universitas Lampung. 26-34.
- Wijaya I.W.A. 2010. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Teknologi Oscilating Water Column di Perairan Bali. *Teknologi Elektro*, Vol.9, No.2, Hal: 55-64.