

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 PENGERTIAN UMUM GELOMBANG DAN GETARAN

2.1.1 Energi Laut (Gelombang laut)

Energi gelombang laut adalah energi yang dihasilkan dari pergerakan gelombang laut menuju daratan dan sebaliknya. Pada dasarnya pergerakan laut yang menghasilkan gelombang laut terjadi akibat dorongan pergerakan angin. Angin timbul akibat perbedaan tekanan pada dua titik yang diakibatkan oleh dampak pemanasan udara oleh matahari yang berbeda di kedua titik tersebut. Mengingat sifat tersebut maka energi gelombang laut dapat dikategorikan sebagai energi terbarukan.

Gelombang laut secara ideal dapat dipandang berbentuk gelombang yang memiliki ketinggian puncak maksimum dan lembah minimum. Pada selang waktu tertentu, ketinggian puncak yang dicapai serangkaian gelombang laut berbeda-beda, bahkan ketinggian puncak ini berbeda-beda untuk lokasi yang sama jika diukur pada hari yang berbeda. Meskipun demikian secara statistik dapat ditentukan ketinggian signifikan gelombang laut pada satu titik lokasi tertentu.

Bila waktu yang diperlukan untuk terjadi sebuah gelombang laut dihitung dari data jumlah gelombang laut yang teramati pada sebuah selang waktu tertentu, maka dapat diketahui potensi energi gelombang laut di titik lokasi tersebut. Potensi energi gelombang laut pada satu titik pengamatan dapat dihitung dalam tiap satuan luas permukaan sebuah gelombang laut.

Menghitung energi gelombang laut tiap satuan luas permukaan :

$$W = \frac{\rho \cdot g \cdot A}{4B} = 2,74 \times 10^{-3} \frac{\rho V^4}{g} \quad (2-1)$$

Dimana :

W : Energi gelombang persatuan luas permukaan (N. m / m²)

A : Pierson Moskowitz spektrum = $8,10 \times 10^{-3} \frac{g}{(2\pi)^4}$

B : $0,74 \frac{[g]^4}{2\pi V}$

V : Kecepatan angin diatas SWL (m/s)

g : Gravitasi bumi = 9,81 m/s²

ρ : Massa jenis air laut = 1030 kg / m³

Berdasarkan perhitungan ini dapat diprediksikan berbagai potensi energi dari gelombang laut di berbagai tempat di dunia, berapa potensi daya listrik yang dapat dihasilkan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$P = \frac{W}{t} \quad (2-2)$$

dimana : P : Daya (Watt atau N.m/sec)

W : Gelombang persatuan luas permukaan $N. m / m^2$

t : Waktu yang diperlukan (second / detik)

Dari data tersebut, diketahui bahwa pantai barat Pulau Sumatera bagian selatan dan pantai selatan Pulau Jawa bagian barat berpotensi memiliki energi gelombang laut sekitar 40 Kw/ m.

Pada dasarnya prinsip kerja teknologi yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar turbin generator. Karena itu sangat penting memilih lokasi yang secara topografi memungkinkan akumulasi energi. Meskipun penelitian untuk mendapatkan teknologi yang optimal dalam mengkonversi energi gelombang laut masih terus dilakukan, saat ini, ada beberapa alternatif teknologi yang dapat dipilih salah satunya adalah alat pembangkit listrik yang memanfaatkan gelombang air laut untuk menggerakkan bandul. Dimana gerakan bandul atau alat lainnya ini kemudian mampu menggerakkan generator dan dinamo melalui serangkaian transmisi sehingga mampu mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik .

2.1.2 Getaran

Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya berhubungan dengan gerak itu. Semua benda yang memiliki massa dan elastisitas mampu bergetar. Gerak osilasi bandul juga mengalami getaran sampai derajat tertentu, dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya. Getaran bandul

yang merupakan sistem yang beresilasi secara luas dapat digolongkan sebagai linier tidak linier. Untuk sistem linier prinsip superposisi berlaku, dan teknik matematika yang dapat menghitungnya. Untuk sistem tidak linier tetap dibutuhkan sebab semua sistem cenderung menjadi tidak linier dengan bertambahnya amplitudo osilasi.

Getaran adalah gerak bolak-balik atau gerak periodik disekitar titik tertentu secara periodik. Gerak Periodik adalah suatu getaran atau gerakan yang dilakukan benda secara bolak-balik melalui jalan tertentu yang kembali lagi ke tiap kedudukan dan kecepatan setelah selang waktu tertentu. Simpangan adalah jarak antara kedudukan benda yang bergetar pada suatu saat sampai kembali pada kedudukan seimbangya. Amplitudo adalah simpangan maksimum yang dilakukan pada peristiwa getaran. Periode adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan satu kali getaran penuh. Frekuensi adalah banyaknya getaran penuh yang dapat dilakukan dalam waktu satu detik.

2.2 MEKANISME GERAKAN BANDUL DAN SISTEMATIKA PERHITUNGANNYA

Ayunan sederhana atau disebut bandul melakukan gerakan bolak balik sepanjang busur A-B. Waktu yang diperlukan oleh benda untuk bergerak dari titik A ke titik A lagi disebut satu Periode. Sedangkan banyaknya getaran atau gerak bolak-balik yang dapat dilakukan dalam waktu satu detik disebut frekuensi. Frekuensi yang dihasilkan bandul disebut frekuensi alamiah, dimana frekuensi alamiah adalah frekuensi yang ditimbulkan dari ayunan tanpa adanya pengaruh luar.

2.2.1 Jenis Gerak Harmonik Sederhana

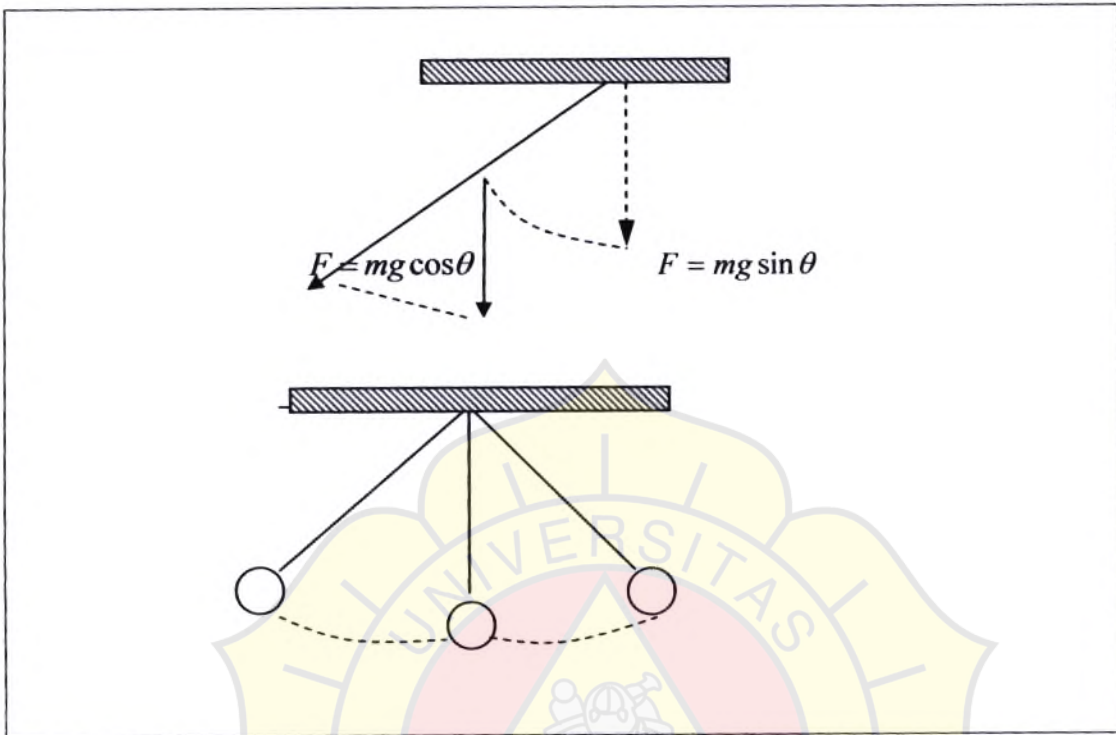
Gerak Harmonik Sederhana dapat dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu :

1. Gerak Harmonik Sederhana (GHS) Linier, misalnya penghisap dalam silinder gas, gerak osilasi air raksa atau air dalam pipa U, gerak horizontal atau vertikal dari pegas, dan sebagainya.
2. Gerak Harmonik Sederhana (GHS) Angular, misalnya gerak bandul atau bandul fisis, osilasi ayunan torsi, dan sebagainya.

Maka bisa disebutkan dalam penulisan ini bahwa gerakan bandul akibat gerakan ponton atau perahu akibat dari gelombang laut akan selalu mencari titik keseimbangan, inilah yang disebut sebagai getaran. Getaran inilah yang menggerakkan bandul menjadi gerak harmonik sederhana angular dimana gerakan bandul akan kembali lagi ke titik awal bandul bergerak, karena memiliki jarak inilah bandul mengalami osilasi ayunan torsi.

2.2.2 Perhitungan Gaya, Frekuensi, dan Perioda Gerak Harmonik Angular pada Bandul

Ketika beban digantungkan pada ayunan dan tidak diberikan gaya, maka benda akan diam di titik keseimbangan B. Jika beban ditarik ke titik A dan dilepaskan, maka beban akan bergerak ke B, C, lalu kembali lagi ke A. Gerakan beban akan terjadi berulang secara periodik, dengan kata lain beban pada ayunan di atas melakukan gerak harmonik sederhana.



Gambar 2.1 Gaya pada Ayunan Sederhana

Untuk mengetahui besarnya gaya yang mempengaruhi gerak ayunan dapat digunakan persamaan berikut ini :

$$F = mg \sin \theta \quad (2-3)$$

$$F = \frac{mg}{l} . x \quad (2-4)$$

Dimana F : Gaya (N)

m : Massa benda (Kg)

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

θ : Sudut simpangan (derajat $^{\circ}$)

l : Panjang tali (m)

x : Simpangan getar (m)

Simpangan getar (A) dapat diketahui besarnya melalui persamaan sebagai berikut:

$$A = l \sin \theta \quad (2-5)$$

dimana A : Simpangan getar (Amplitudo / m)

θ : Sudut deviasi (derajat $^{\circ}$)

l : Panjang tali (m)

Perioda getaran pada ayunan sederhana dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (2-6)$$

Dimana T : Perioda getaran (sec)

π : 3,14 (22/7)

l : Panjang tali (m)

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

Frekuensi getaran dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\omega n = 2\pi f \quad (2-7)$$

$$\omega n = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (2-8)$$

$$\sqrt{\frac{g}{l}} = 2\pi f \quad (2-9)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (2-10)$$

Dimana : ω : Frekuensi natural (hertz atau per satuan detik)

g : Gravitasi bumi ($9,81 \text{ m / s}^2$)

l : Panjang lengan bandul (m)

f : Frekuensi (Hertz)

Bandul merupakan sistem dari getaran bebas dimana sistem yang memiliki massa dan elastisitas mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan luar. Hal pertama yang menarik untuk sistem ini adalah frekuensi natural getarnya, dimana dalam menghitung frekuensi natural getarnya merupakan fungsi massa dan kekakuan (*stiffness*) sistem.

Redaman dalam jumlah yang sedang mempunyai pengaruh yang kecil pada frekuensi natural dan dapat diabaikan dalam perhitungannya. Sistem getaran bebas dapat dianggap sebagai sistem konservatif dan prinsip kekekalan energi memberikan pendekatan lain untuk menghitung frekuensi naturalnya. Pengaruh redaman sangat jelas pada berkurangnya amplitudo getaran terhadap waktu.

Perhitungan frekuensi natural sistem getaran bebas pada bandul :

$$\sum M_o = 0 \quad (2-11)$$

$$m_l \ddot{\theta} + m \cdot g \cdot l \theta = 0 \quad (2-11.1)$$

$$\ddot{\theta} = \omega^2 \theta \quad (2-11.2)$$

$$- m_l^2 \omega^2 \theta + m g l \theta = 0 \quad (2-11.3)$$

$$(m g l - m_l^2 \omega^2) \theta = 0 \quad (2-11.4)$$

$$\omega^2 m_l^2 = m g l \quad (2-11.5)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (2-11.6)$$

Dimana ω_n : Frekuensi natural (hertz atau per satuan detik)

g : Gravitasi bumi (9,81 m/s²)

l : Panjang lengan bandul (m)

2.2.3 Hukum Kekekalan Energi Mekanik pada Getaran

Besarnya energi mekanik dari suatu benda yang bergerak secara periodik adalah tetap. Energi mekanik adalah jumlah dari energi kinetik dan energi potensial. Di dalam setiap getaran energi potensial dan energi kinetik besarnya selalu berubah-ubah tetapi memiliki jumlah yang tetap. Besarnya energi potensial dari benda yang bergetar secara periodik dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut :

Hukum Kekekalan Energi Mekanik :

$$EM = EP + EK \quad (2-12)$$

$$EM_1 = EM_2 \quad (2-12.1)$$

$$EP_1 + EK_1 = EP_2 + EK_2 \quad (2-12.2)$$

$$(mgh)_1 + \left(\frac{1}{2}mv^2\right)_1 = (mgh)_2 + \left(\frac{1}{2}mv^2\right)_2 \quad (2-12.3)$$

Dimana :

EM : Energi Mekanik (Joule)

EK : Energi kinetik (Joule)

EP : Energi potensial (Joule)

m : Masa (kg)

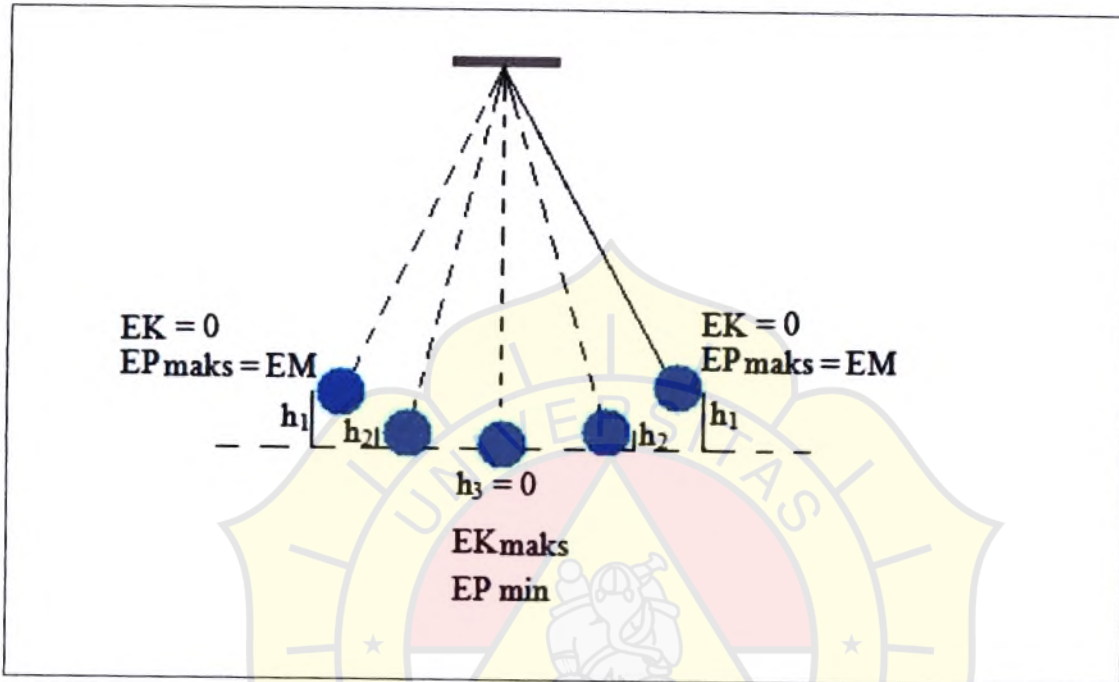
g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

h : Jarak vertikal / tinggi (m)

v : Kecepatan (m/s)

2.2.4 Hukum Kekekalan Energi Mekanik pada Gerak Harmonik Sederhana

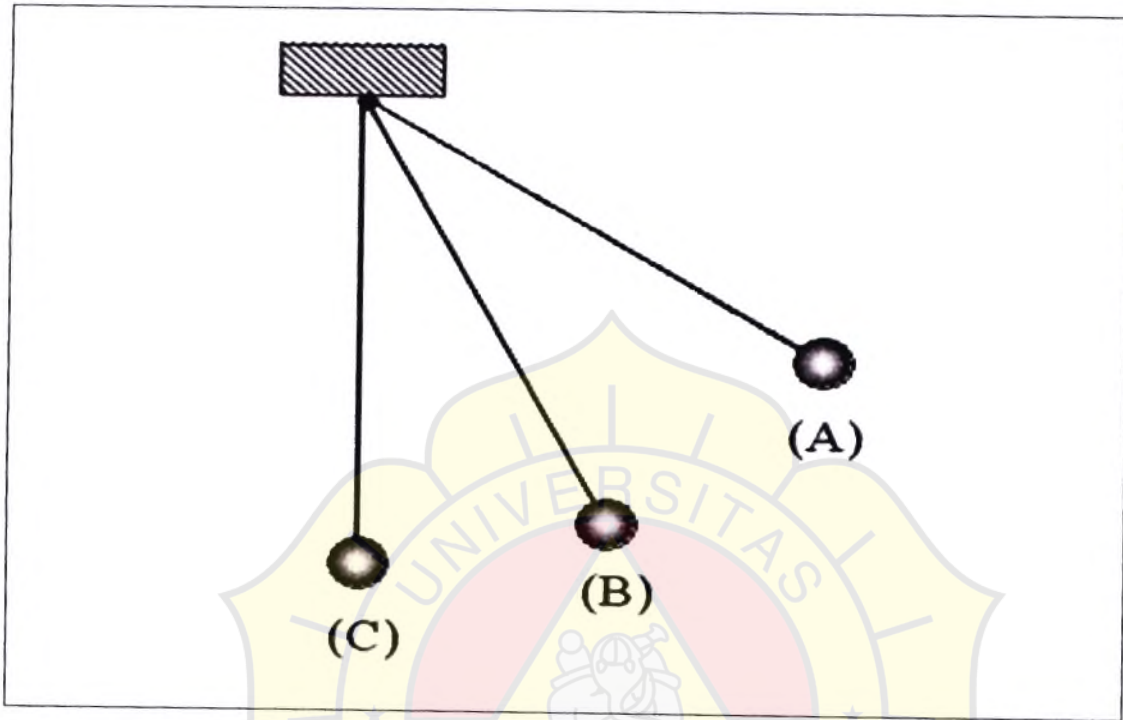
Kita tinjau Hukum Kekekalan Energi pada ayunan sederhana :



Gambar 2.2 titik tertinggi dan titik terendah pada ayunan bandul

Ketika benda berada pada simpangan terjauh dengan ketinggian h_1 , jumlah EP bernilai maksimum, sedangkan EK bernilai nol. Total $EM = EP$. Ketika berada pada titik terendah, EP bernilai minimum sedangkan EK bernilai maksimum. Sepanjang lintasan benda, terjadi perubahan energi kinetik menjadi energi potensial dan sebaliknya energi potensial menjadi energi kinetik. Jumlah EK dan $EP = EM$ sepanjang lintasan bernilai tetap.

2.2.5 Hukum Kekekalan Energi Mekanik pada Ayunan Sederhana.



Gambar 2.3 gerakan ayunan bandul berdasarkan hukum kekekalan energi mekanik.

Untuk menggerakkan benda yang diikatkan pada ujung tali, benda tersebut kita tarik ke kanan hingga mencapai titik A. Ketika benda belum dilepaskan (benda masih diam), Energi Potensial benda bernilai maksimum, sedangkan $EK = 0$ ($EK = 0$, karena benda diam). Pada posisi ini, $EM = EP$. Ingat bahwa pada benda bekerja gaya berat $w = mg$. Karena benda diikatkan pada tali, maka ketika benda dilepaskan, gaya gravitasi sebesar $w = mg \cos \theta$ (teta) menggerakkan benda menuju posisi setimbang (titik B). Ketika benda bergerak dari titik A, EP menjadi berkurang karena h makin kecil. Sebaliknya EK benda bertambah karena benda telah bergerak. Pada saat benda

mencapai posisi B, kecepatan benda bernilai maksimum, sehingga pada titik B, Energi Kinetik menjadi bernilai maksimum sedangkan EP bernilai minimum. Karena pada titik B, adalah kecepatan benda maksimum, maka benda bergerak terus ke titik C. Semakin mendekati titik C, kecepatan benda makin berkurang, sedangkan h makin besar. Kecepatan berkurang akibat adanya gaya berat benda sebesar $w = mg \cos \theta$ (teta), yang menarik benda kembali ke posisi setimbangnya di titik B. Ketika tepat berada di titik C, benda berhenti sesaat sehingga $v = 0$. Karena $v = 0$ maka $E_K = 0$. Pada posisi ini, EP bernilai maksimum karena h bernilai maksimum. EM pada titik C = EP. Akibat tarikan gaya berat sebesar $w = mg \cos \theta$, maka benda bergerak kembali menuju titik B. Semakin mendekati titik B, kecepatan gerak benda makin besar, karenanya EK semakin bertambah dan bernilai maksimum pada saat benda tepat berada pada titik B. Demikian seterusnya, selalu terjadi perubahan antara EK dan EP. Total Energi Mekanik bernilai tetap ($EM = EP + EK$).

2.3 PERHITUNGAN GELOMBANG BERDASARKAN INPUT SUDUT GELOMBANG

Gelombang didefinisikan sebagai energi getaran yang merambat. Dalam kehidupan sehari-hari banyak orang berfikir bahwa yang merambat dalam gelombang adalah getarannya atau partikelnya, hal ini sedikit tidak benar karena yang merambat dalam gelombang adalah energi yang dipunyai getaran tersebut. Dari sini timbul pertanyaan, benarkah medium yang digunakan gelombang tidak ikut merambat ?

padahal pada kenyataannya terjadi aliran air di laut yang luas. Menurut aliran air dilaut itu tidak disebabkan oleh gelombang tetapi lebih disebabkan oleh perbedaan suhu pada air laut. Tapi juga akan terjadi perpindahan partikel medium, ketika gelombang melalui medium zat gas yang ikatan antar partikelnya sangat lemah maka sangat dimungkinkan partikel udara tersebut berpindah posisi karena terkena energi gelombang. Walau perpindahan partikelnya tidak akan bisa jauh tetapi sudah bisa dikatakan bahwa partikel medium ikut berpindah.

Gelombang laut merupakan energi dalam transisi, energi yang terbawakan oleh sifat aslinya. Gelombang permukaan merupakan gambaran yang sederhana untuk menunjukkan bentuk dari suatu energi lautan. Adapun gejala dari energi gelombang bersumber pada fenomena-fenomena berikut :

1. Benda (*body*) yang bergerak pada atau dekat permukaan yang menyebabkan terjadinya gelombang dengan periode kecil, energi kecil pula.
2. Angin yang merupakan sumber penyebab utama gelombang lautan.
3. Gangguan seismik yang menyebabkan terjadinya gelombang pasang atau tsunami.
4. Medan gravitasi bumi dan bulan penyebab gelombang besar, terutama menyebabkan gelombang besar yang tinggi.

Selanjutnya gelombang lautan ditinjau dari sifat pengukurannya dibedakan menurut ketinggian serta perioda alunannya. Dari kebanyakan data yang ada, tinggi

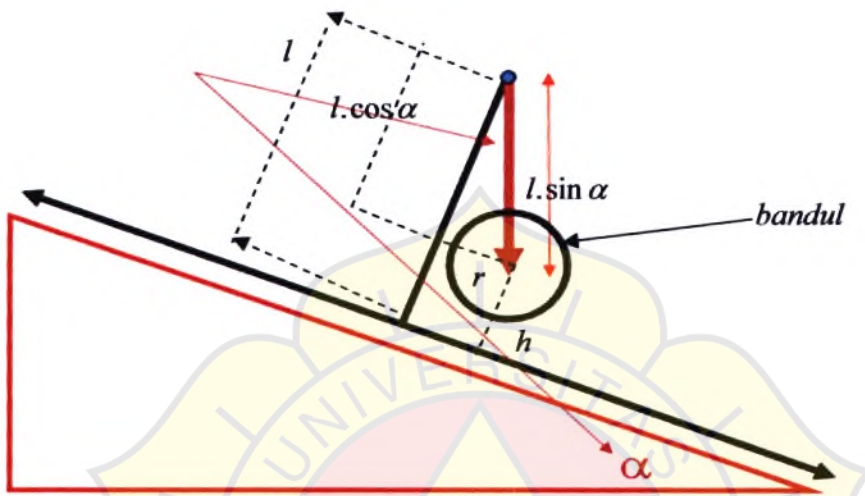
gelombang lautan dapat diukur melalui alat ukur gelombang ataupun dengan cara visual dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan. Menurut pengamatan para ahli, tinggi gelombang sama sekali tidaklah berkaitan dengan tinggi rata-ratanya, melainkan berkaitan dengan sepertiga rata-rata tinggi gelombang maksimumnya.

Secara matematis gelombang laut sukar dijabarkan dengan pasti, namun tetap diformulasikan dengan pendekatan. Suatu teori sederhana mengenai gelombang lautan dikenal sebagai teori Airy atau teori gelombang linear. Para ahli membagi sifat gelombang laut dalam dua kategori, yaitu gelombang linear dan gelombang non-linear.

Gelombang linear adalah gelombang dalam bentuk sinusoidal dengan panjang gelombang yang lebih besar dari tinggi gelombangnya.

Gelombang non-linear adalah gelombang yang memiliki ciri khusus yakni berbentuk sinusoidal yang sama seperti gelombang linear, namun saat mencapai kedangkalan tertentu maka profil gelombangnya akan berubah, dengan puncak gelombang yang meruncing disertai dengan panjang gelombang yang mengecil. Perubahan tersebut disebabkan oleh pengaruh dasar lautan, profil gelombang tersebut yang disebut gelombang non-linear.

2.3.1 Hubungan sudut gelombang dan sudut bandul, kecepatan, daya dan masa bandul



Gambar 2.4 Sudut ponton dan sudut bandul

Keterangan rumus perhitungannya :

Rumus ini digunakan untuk mengetahui pengaruh panjang lengan bandul dan berat bandul terhadap daya listrik yang dihasilkan.

$$r = l \cdot \sin \alpha \quad (2-12)$$

$$t = m \cdot g \cdot r \quad (2-12.1)$$

$$v = \sqrt{(2 \cdot g \cdot h)} \text{ dengan } h = l - (l \cos \alpha) \quad (2-12.2)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (2-12.3)$$

$$f = \text{Rpm} / 60 \quad (2-12.4)$$

$$P = t \cdot \omega \quad (2-13)$$

Keterangan :

- P : Daya listrik (Watt)
f : Frekuensi (Hertz)
Rpm : Rotasi per menit
 ω : Kecepatan sudut (rad / detik)
t : Torsi (N.m)

