

PENGARUH ANGIN TERHADAP TINGGI GELOMBANG PADA STRUKTUR BANGUNAN *BREAKWATER* DI TAPAK PADERI KOTA BENGKULU

Prima Nadia¹⁾, Muhammad Ali²⁾, Besperi³⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNIB, Jl. W. R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38371, Telp. (0736)344087, e-mail : primanadia@rocketmail.com

^{2,3)} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNIB, Bengkulu

Abstrak

Keadaan Pantai Tapak Paderi Bengkulu telah banyak mengalami kerusakan berupa abrasi, dan sedimentasi yang disebabkan oleh hempasan gelombang. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin sebagai data sekunder untuk perhitungan tinggi gelombang signifikan (H_s) dan desain struktur bangunan (*breakwater*) di Tapak Paderi Bengkulu. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa data angin 10 tahun terakhir (2002-2012) dan data pasang surut (bulan Mei data terbesar di tahun 2009). Data ini diperoleh dari Badan Meteriologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) kelas II pulau Baai Bengkulu, dan data dimensi bangunan (*breakwater*) diperoleh dari PT. Waskita Karya cabang Bengkulu. Data primer berupa pencatatan tinggi gelombang secara langsung di lapangan di daerah Tapak Paderi Bengkulu. Analisis data ini menggunakan perhitungan pemecah gelombang tipe sisi miring. Proses perhitungan menggunakan program *worksheet* yang selanjutnya hasil dari penelitian ini diperoleh tinggi gelombang signifikan (H_s) sebesar 2,832 meter, periode gelombang signifikan (T_s) sebesar 8,399 detik. Hasil perhitungan yang lain adalah kondisi gelombang direncana lokasi pemecah gelombang (*breakwater*) mengalami gelombang pecah karena $db > dLWL > dHWL$, elevasi puncak *breakwater* sebesar 5,385 meter dan tinggi *breakwater* sebesar 6,432 meter, berat batu (W) sebesar 3,867 ton, lebar puncak sebesar 3,913 meter, tebal lapis lindung (t) terdiri dari 3 lapisan yaitu t_1 sebesar 2,609 m, t_2 sebesar 1,211 meter, t_3 sebesar 0,446 meter, dan jumlah butiran batu setiap luasan 10 m^2 (N) adalah sebesar 16 butir batu. Nilai-nilai dari perhitungan ini digunakan untuk desain ulang tampang melintang *breakwater*.

Kata kunci : kecepatan angin, tinggi gelombang signifikan (H_s), Tapak Paderi.

Abstract

Tapak Paderi Beach have got many damages, such as abrasion, and sedimentation by waves. This research was made to find out wind effect as the secondary within significant wave height (H_s) and the structure of breakwater design at Tapak Paderi. This research used secondary data from the last ten years wind circulation (2002-2012) and a rising-subsiding data (May as the strongest one in 2009). The resources of data come from Meteorology and Geophysics Corporation (BMKG) II class Pulau Baai and Waskita Karya Manufactory for a dimensional data includes an illustration of breakwater construction. Also, primary data involves a report survey of wave height directly to Tapak Paderi location, Bengkulu. In accordance to the analysis, those data were obtained through the calculation of breakwater within sideway type. The calculation process resorted to worksheet program, 2,832 meters for significant wave height (H_s), and 8,399 seconds for significant period (T_s). The other calculation result is a set of wave condition which devised in the breakwater field will get breaking wave because of $db > dLWL > dHWL$, 5,385 meters for the peak of breakwater elevation, 6,435 meters for

breakwater height, 3,867 tons for stones weight (W), 3,913 meters for peak width (B), and for the thickness of shelter layer (t) which made from three layers, 2,609 meters t_1 , 1,211 meters t_2 , 0,446 meters for t_3 , and total of stones for each 10 m^2 (N) is sixteen grain of stones. The last, these value have been used for redesign of sideway type.

Keyword: wind speed, breakwater, significant wave height (H_s), Tapak Paderi.

PENDAHULUAN

Kota Bengkulu merupakan daerah pantai yang sangat berpotensi menjadi objek wisata unggulan. Seluruh objek wisata pantai di Kota Bengkulu menjadi daya tarik bagi wisatawan untuk menikmati keindahan panoramanya. Selain panorama yang indah salah satu objek wisata pantai di Kota Bengkulu yaitu Tapak Paderi juga merupakan daerah wisata sejarah dimana terdapat bangunan bersejarah benteng *Malbrough* dan pelabuhan lama sekarang dinamakan Pelabuhan Marina yang kini berfungsi sebagai kolam wisata. Namun pada kenyataannya saat ini, objek wisata pantai di Kota Bengkulu mengalami perubahan pada tepi pantai yang dipengaruhi oleh hempasan gelombang laut.

Pantai Tapak Paderi, telah banyak mengalami perubahan yaitu kerusakan berupa erosi, abrasi dan sedimentasi yang disebabkan oleh adanya hempasan gelombang yang sangat besar tersebut. Erosi, abrasi dan sedimentasi yang terjadi di daerah-daerah pesisir pantai ini, keadaanya sudah sangat memprihatinkan, karena semakin menipisnya daerah pingir pantai. Ada beberapa solusinya yaitu melakukan pembangunan pengaman pantai berupa bangunan pantai pemecah ombak (*breakwater*), *revetment*, dan pembentukan tembok laut (*groin*), dan hutan *mangrove* di sekitar pantai yang terkena dampak erosi dan abrasi tersebut.

Gelombang laut merupakan faktor penting di dalam perencanaan bangunan pantai terkhusus *breakwater* tipe sisi miring. Gelombang laut bisa dibangkitkan oleh

angin (gelombang angin), gaya tarik menarik matahari, dan bulan (pasang surut), letusan gunung berapi, atau gempa di laut (*tsunami*), kapal yang bergerak dan sebagainya. Kecepatan angin memungkinkan penyebab terjadinya fenomena alam yaitu erosi, abrasi dan sedimentasi di sepanjang pantai.

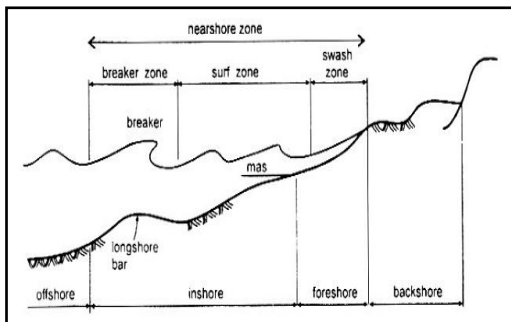
Berdasarkan permasalahan yang ada, maka penelitian tentang Pengaruh Angin Terhadap Tinggi Gelombang Pada Struktur Bangunan *Breakwater* di Tapak Paderi Kota Bengkulu menjadi kajian menarik untuk dibahas. Pembahasan ini berupa adalah pengaruh kecepatan angin terhadap tinggi gelombang, mencari tinggi gelombang signifikan (H_s), kondisi gelombang di rencana lokasi pemecah gelombang (*breakwater*), elevasi puncak pemecah gelombang (*breakwater*), berat butir lapis pelindung (W), lebar puncak pemecah gelombang (B), tebal lapis pelindung (t), dan jumlah batu pelindung (N), setelah didapat gelombang signifikan (H_s) dilakukan perhitungan dan pendesainan tampang melintang pada bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) di Tapak Paderi Kota Bengkulu.

Pantai

Pantai adalah wilayah yang menjadi batas antara daratan dan lautan. Bentuk-bentuk pantai berbeda-beda. Pesisir adalah wilayah antara batas pasang tertinggi hingga batas air laut yang terendah pada saat surut. Pesisir dipengaruhi oleh gelombang air laut. Pesisir juga merupakan zona yang menjadi tempat pengendapan hasil pengikisan air laut dan merupakan bagian dari pantai (<http://id.shvoong.com/exactsciences/earth->

sciences/2143460-pantai-dan-ekosistem-pantai, 2012).

Menurut Triatmodjo (1999), Definisi *coast* (pesisir) adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut. Sedangkan *shore* (pantai) adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Ditinjau dari profil pantai, daerah ke arah pantai dari garis gelombang pecah dibagi menjadi tiga daerah yaitu *inshore*, *foreshore* dan *backshore* (Gambar 1).



Sumber: Triatmodjo, 1999.

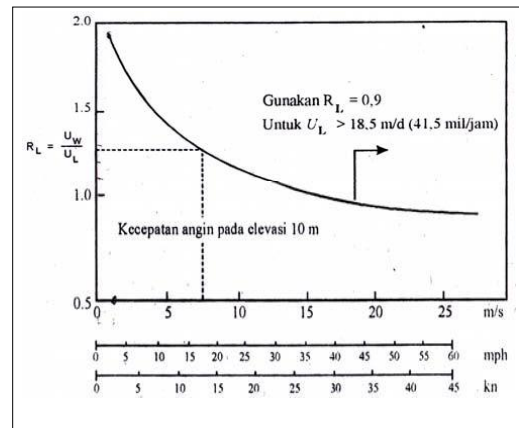
Gambar 1. Definisi dan Karakteristik Gelombang di Daerah Pantai Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah (<http://id.wikipedia.org/wiki/Angin>, 2012). Menurut Triatmodjo (1999), sirkulasi yang kurang lebih sejajar dengan permukaan bumi disebut angin. Kecepatan angin diukur dengan anemometer, dan biasanya dinyatakan dengan knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui khatulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau 1 knot = 1,852 km/jm = 0,5m/detik lagi.

Pembangkitan Gelombang oleh Angin

Gelombang yang terjadi di lautan dapat dibangkitkan atau diakibatkan oleh berbagai gaya. Beberapa jenis gaya pembangkit

gelombang antara lain angin, gaya gravitasi benda-benda langit, letusan gunung berapi, gempa bumi, dsb (Nur, dkk, 2011). Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk. Tinggi dan periode gelombang yang dibangkitkan dipengaruhi oleh kecepatan angin (U), lama hembusan angin (D), *fetch* (F) dan arah angin (Gambar 2).

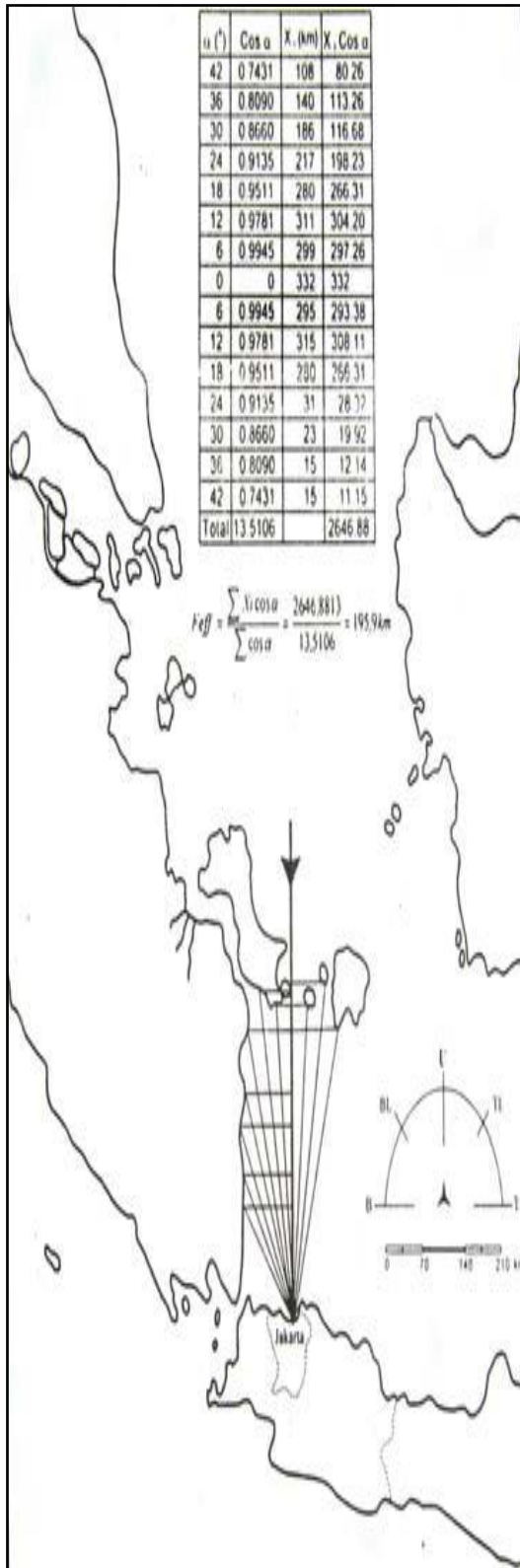


Sumber: Triatmodjo, 1999.

Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin di Laut dan di Darat

Mawar Angin/Wind Rose dan Fetch

Data angin yang digunakan untuk analisis angin merupakan data yang diperoleh dari stasiun pengamatan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika yakni BMKG terdekat yang tersedia yaitu BMKG kelas II Pulau Baai Bengkulu. Data yang diperoleh dari stasiun tersebut berupa data angin maksimum dan arah angin terbanyak bulanan dengan panjang data 10 tahun terakhir (2002-2011). Data yang diperoleh tersebut selanjutnya dilakukan pengelompokkan berdasarkan arah dan kecepatan. Hasil pengelompokkan (pengolahan) dibuat dalam bentuk tabel atau diagram yang disebut dengan mawar angin atau *wind rose* (Saputro, dkk, 2010). Dengan tabel atau mawar angin, maka karakteristik angin dapat dibaca dengan tepat (Triatmodjo, 1999). Contoh panjang *fetch* di Kemayoran Jakarta (Gambar 3).



Sumber: Triatmodjo, 1999.

Gambar 3. Fetch

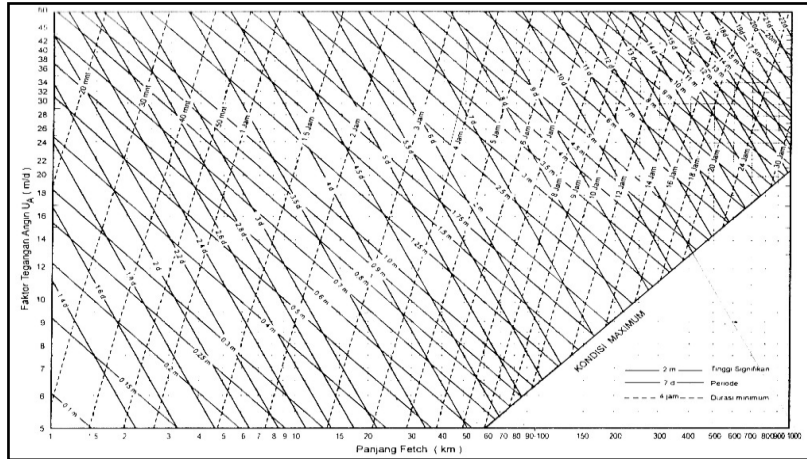
Fetch adalah panjang keseluruhan suatu daerah pembangkitan gelombang dimana angin berhembus dengan arah dan kecepatan

yang konstan. Panjang *fetch* dapat ditentukan dari peta (Saputro, dkk, 2010). Arah angin masih dianggap konstan apabila perubahannya tidak sampai 150. sedangkan kecepatan angin masih dianggap konstan apabila perubahannya tidak lebih dari 5 knot (2,5 m/dt) (Triatmodjo, 1999). Di dalam peninjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh daratan yang mengelilingi laut. Menurut Widjiharti dalam Soehedy (2011), didalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Jika data untuk menghitung *fetch* terbatas (di laut lepas), maka panjang *fetch* di laut lepas adalah 200 km.

Gelombang

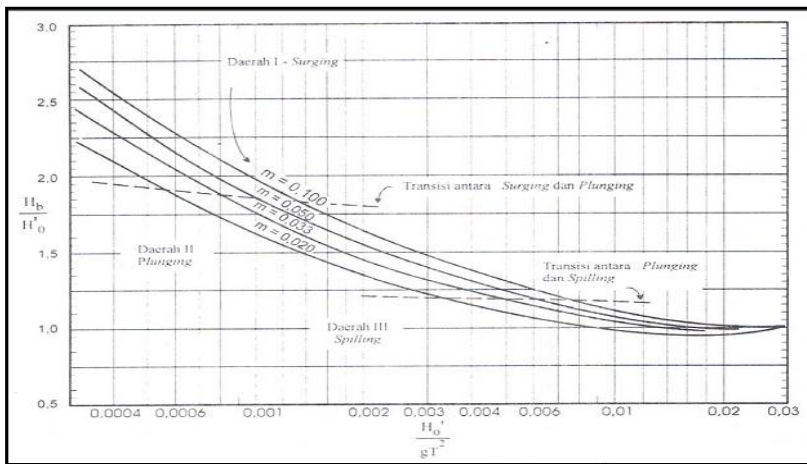
Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin (gelombang yang dibangkitkan oleh tiupan angin), gelombang pasang surut adalah gelombang yang dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama gaya tarik matahari dan bulan terhadap bumi), gelombang tsunami (gelombang yang terjadi akibat letusan gunung berapi atau gempa didasar laut), gelombang kecil (misalkan gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak), dan sebagainya (Triatmodjo, 1999).

Peramalan data gelombang di laut dalam (tinggi dan periode gelombang), dapat didasarkan pada faktor tegangan angin/*wind stress factor* (UA) dan panjang *fetch* (F), selanjutnya dilakukan peramalan gelombang di laut dalam dengan menggunakan grafik peramalan gelombang. Dari grafik peramalan gelombang, apabila panjang *fetch* (F), factor tegangan angin (UA), dan durasi diketahui, maka tinggi dan periode gelombang signifikan (Hs) dapat dihitung (Triatmodjo, 1999). Grafik peramalan gelombang (Gambar 4).



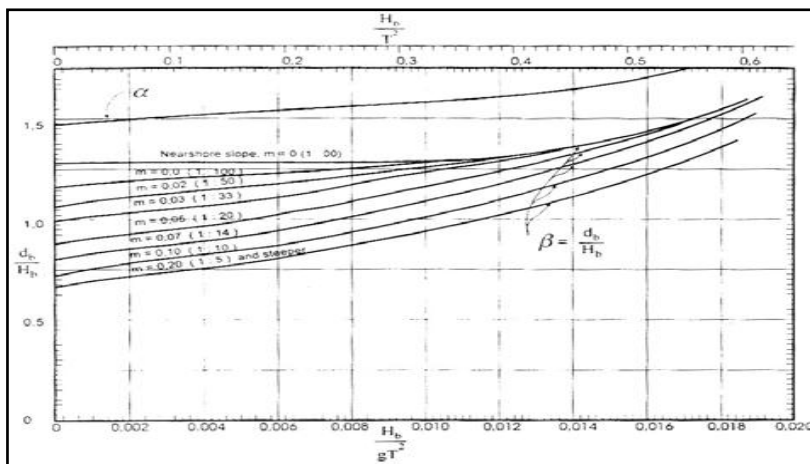
Sumber: Triatmodjo, 1999.

Gambar 4. Grafik Peramalan Gelombang



Sumber: Triatmodjo, 1999.

Gambar 5. Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah



Sumber: Triatmodjo, 1999.

Gambar 6. Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah

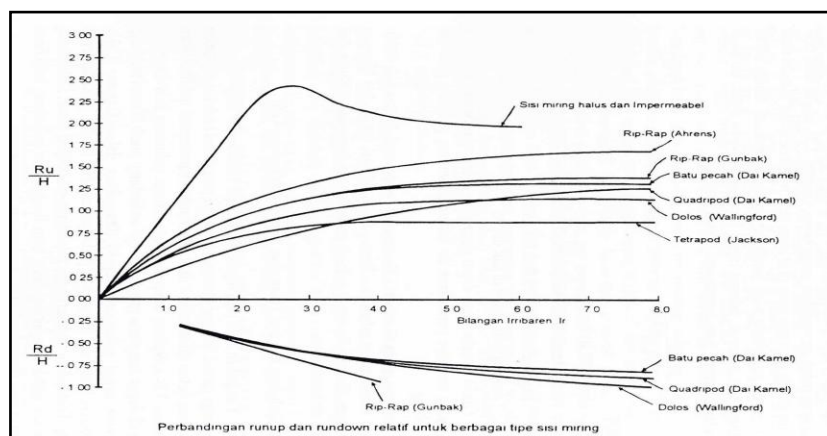
Refraksi gelombang adalah perubahan bentuk pada gelombang akibat adanya perubahan kedalaman laut. Di laut dalam, gelombang menjalar tanpa dipengaruhi dasar laut, akan tetapi di laut transisi dan laut dangkal, dasar laut mempengaruhi bentuk gelombang (Triatmodjo, 1999). Proses refraksi gelombang lebih kompleks karena mengalami perubahan tinggi dan arah gelombang bersamaan yang disebabkan perubahan dan perbedaan kedalaman dasar laut. Perubahan dasar laut menyebabkan perubahan kecepatan rambat gelombang sehingga mengakibatkan berubahnya tinggi gelombang dan arah perambatan gelombang.

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang (Gambar 5 dan Gambar 6). Gelombang pecah dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu, *Spilling* biasanya terjadi apabila gelombang dengan kemiringan kecil menuju ke pantai yang datar (kemiringan kecil). *Plunging* Apabila kemiringan gelombang dan dasar bertambah, gelombang akan pecah dan puncak gelombang akan memutar dengan massa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan. *Surging* terjadi pada pantai dengan kemiringan yang sangat besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang (Triatmodjo, 1999).

Analisis transformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekuivalen. Pemakaian gelombang ini bertujuan untuk menetapkan tinggi gelombang yang mengalami refraksi, difraksi, dan transformasi lainnya, sehingga perkiraan transformasi dan deformasi gelombang dapat dilakukan dengan lebih mudah. Konsep tinggi gelombang laut dalam ekuivalen ini digunakan dalam analisis gelombang pecah, kenaikan (*runup*) gelombang, limpasan gelombang dan proses lain (Saputro, dkk, 2010).

Runup Gelombang

Pada waktu gelombang menghantam suatu bangunan, maka gelombang penting untuk perencanaan bangunan pantai. Elevasi bangunan yang direncanakan tergantung pada *runup* dan limpasan yang diijinkan (Gambar 7). *Runup* tergantung pada bentuk dan kekasaran bangunan, kedalaman air pada kaki bangunan, kemiringan dasar laut di depan bangunan dan karakteristik gelombang. Karena banyaknya variable yang berpengaruh, maka besarnya *runup* dapat didekati dengan bilangan *Irribaren*, seperti berikut (Triatmodjo, 1999).



Sumber: Triatmodjo, 1999.

Gambar 7. Grafik *Runup* Gelombang

Gelombang Signifikan

Untuk keperluan perencanaan bangunan-bangunan pantai, perlu dipilih tinggi dan periode gelombang individu (*individual wave*) yang dapat mewakili suatu deretan (spektrum) gelombang. Gelombang tersebut dikenal dengan gelombang representatif / gelombang signifikan. Apabila tinggi gelombang dari suatu pencatatan diurutkan dari nilai tertinggi hingga nilai terendah atau sebaliknya, maka akan dapat ditentukan nilai dari tinggi gelombang signifikan (H_s), dengan s merupakan rerata dari n persen gelombang tertinggi yang telah diurutkan.

Bentuk yang paling banyak dipakai adalah H_{33} atau rerata dari 33% gelombang tertinggi dari pencatatan gelombang yang telah diurutkan. Karena sering dipakai dalam perencanaan, maka H_{33} sering disebut sebagai tinggi gelombang signifikan ($H_{33} = H_s$) (Triatmodjo, 1999).

Pasang Surut

Menurut Pariwono (1989), fenomena pasang surut diartikan sebagai naik turunnya muka laut secara berkala akibat adanya gaya tarik benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan terhadap massa air di bumi. Sedangkan menurut Dronkers (1964), pasang surut laut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan. Pengaruh benda angkasa lainnya dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil.

Perairan laut memberikan respon yang berbeda terhadap gaya pembangkit pasang surut, sehingga terjadi tipe pasut yang berlainan di sepanjang pesisir. Menurut Dronkers (1964) ada tiga tipe pasut yang dapat diketahui, yaitu: pasang surut diurnal, pasang surut semi diurnal, Pasang surut

campuran. Menurut Wyrтки (1961). Pasang surut di Indonesia dibagi menjadi 4 yaitu: Pasang surut harian tunggal (*Diurnal Tide*), Pasang surut harian ganda (*Semi Diurnal Tide*), Pasang surut campuran condong harian tunggal (*Mixed Tide, Prevailing Diurnal*), Pasang surut campuran condong harian ganda (*Mixed Tide, Prevailing Semi Diurnal*).

Elevasi Muka Air

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap masa air laut di bumi (Triatmodjo, 1999). Elevasi muka air tertinggi (pasang) sangat menentukan elevasi puncak bangunan, sedangkan elevasi muka air terendah sangat menentukan elevasi dasar suatu bangunan pengaman pantai. Oleh karena itu, pengetahuan tentang pasang surut sangat penting didalam perencanaan bangunan pengaman pantai. Selain itu, diperlukan data hasil pengamatan muka air yang telah dianalisa, sehingga didapat elevasi dari muka air seperti (Triatmodjo, 1999):

1. Muka air tinggi (*high water level*, HWL), yaitu muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
2. Muka air rendah (*low water level*, LWL), yaitu kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
3. Muka air tinggi rata-rata (*Mean High Water Level*, MHWL), yaitu tinggi rata-rata dari air tinggi selama periode 19 tahun.
4. Muka air rendah rata-rata (*Mean Low Water Level*, MLWL), yaitu tinggi air rata-rata dari air rendah selama 19 tahun.
5. Muka air rata-rata (*Mean Sea Level*, MSL/MWL), yaitu muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata. Elevasi ini digunakan

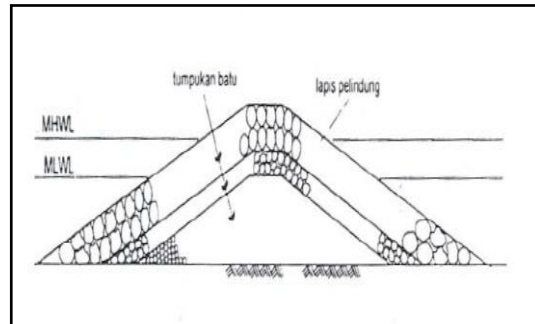
sebagai referensi untuk elevasi didaratan.

6. Muka air tertinggi (*Higest High Water Level*, HHWL), yaitu muka air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati (*spring tides*).
7. Muka air terendah (*Lowest Low Water Level*, LLWL), yaitu air terendah pada saat pasang surut bulan purnama atau bulan mati (*spring tides*).

Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Pemecah gelombang adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan dari gangguan gelombang. Pemecah gelombang dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang sambung pantai dan lepas pantai. Tipe pertama digunakan untuk perlindungan perairan pelabuhan sedang tipe kedua untuk perlindungan pantai terhadap erosi. Pemecah gelombang lepas pantai bisa dibuat dari satu pemecah gelombang atau suatu seri bangunan yang terdiri dari beberapa ruas pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah. Pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi 3 tipe (Triatmodjo, 1999), yaitu:

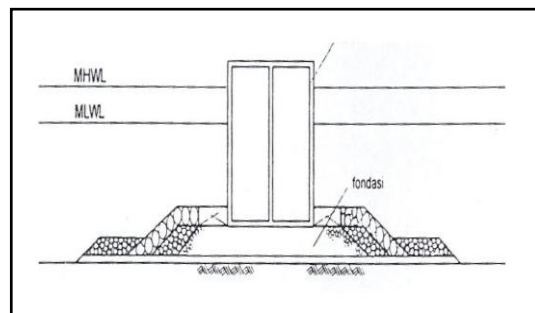
- a. Pemecah gelombang tipe sisi miring
Pemecah gelombang ini biasanya terbuat dari tumpukan batu alam, blok beton, gabungan antara batu pecah dan blok beton, batu buatan dari beton dengan bentuk khusus seperti tetrapod, quadripods, tribars, dolos, dan sebagainya. Menurut Soedjono dalam Soehedy (2011), semakin dalam suatu perairan maka semakin besar dan kekuatan gelombang makin kecil atau berkurang (Gambar 8).



Sumber: google, 2012.

Gambar 8. Pemecah Gelombang Tipe Sisi Miring

- b. Pemecah gelombang tipe sisi tegak.
Pemecah ini biasanya ditempatkan di laut dengan kedalaman lebih besar dari tinggi gelombang, akan memantulkan gelombang tersebut. Superposisi antara gelombang datang dan gelombang pantul akan menyebabkan terjadinya gelombang stasioner yang disebut dengan klapotis. Kedalaman maksimum pemecah gelombang ini masih bisa dibangun antara kedalaman 15-20 meter (Gambar 9).

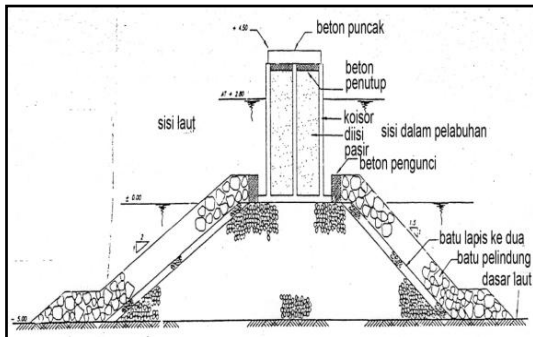


Sumber: google, 2012.

Gambar 9. Pemecah Gelombang Tipe Sisi Tegak

- c. Pemecah gelombang tipe campuran.
Pemecah gelombang campuran ini terdiri dari pemecah gelombang sisi tegak yang dibuat di atas pemecah gelombang tumpukan batu. Bangunan ini dibuat apabila kedalaman air sangat besar dan tanah dasar tidak mampu menahan beban dari pemecah gelombang sisi tegak. Pemecah gelombang ini juga harus

mampu menahan serangan gelombang pecah. Tipe ini dibuat digunakan pada kedalaman air yang besar dan apabila pemecah gelombang sisi miring dan sisi tegak dinilai tidak ekonomis. Bahan yang digunakan merupakan kombinasi dari kedua tipe sebelumnya (Gambar 10).



Sumber: google, 2012.

Gambar 10. Pemecah Gelombang Tipe Campuran.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian tentang Pengaruh Angin Terhadap Tinggi Gelombang Pada Struktur Bangunan *Breakwater* di Tapak Paderi kota Bengkulu berlokasi dalam lingkungan objek wisata pantai Tapak Paderi di dekat Pelabuhan Marina Jalan Pariwisata dan *Bencoolen Street* Bengkulu.

Metode pengolahan data pada penelitian ini adalah dengan menggunakan data-data primer dan sekunder. Data sekunder yang berupa data angin dan data pasang surut didapat dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) kelas II Pulau Baai Bengkulu. Dalam penelitian ini digunakan data angin maksimum, arah angin terbanyak, dan data angin rata-rata bulanan dengan panjang data 10 tahun terakhir yaitu dari tahun 2002-2011. Data pasang surut digunakan 1 bulan terbesar selama 30 hari dari 1 tahun 2009 yaitu bulan Mei. Data dimensi pemecah gelombang berupa gambar meliputi data lebar, lebar puncak, tinggi, dan elevasi dasar laut yang digunakan untuk

kedalaman rencana. Data-data ini didapat dari PT. Waskita Karya.

Data primer yang berupa data tinggi gelombang yang didapat dari survei langsung ke lapangan selama 1 hari dalam rentan waktu pagi selama 15 menit, siang selama 15 menit, sore selama 15 menit. Penelitian ini dilakukan dengan bantuan alat sederhana pipa dan meteran ± 3 meter. Pencatatanya dilakukan dengan menentukan muka air laut tenang terlebih dahulu dan titik gelombang pertama sampai di membentuk puncak dan lembah, kemudian di catat tinggi gelombang dan periodenya. Tahapan analisis perhitungan pada penelitian ini adalah :

1. Menganalisis data angin

Pengelompokan persentase terlebih dahulu data angin berdasar kan arah dan besarnya angin, kemudian di lakukan pembuatan mawar angin.

2. Penentu nilai faktor tegangan angin dengan rumus:

$$R_L = U_w / U_L \quad (1)$$

$$U_w = R_L \cdot U_L \quad (2)$$

$$U_A = 0,71 U_w^{1,23} \quad (3)$$

3. Menentukan nilai gelombang signifikan (H_s) dan periode signifikan (T_s) dengan menggunakan grafik pada Gambar 4.

4. Perhitungan refraksi menggunakan rumus:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (4)$$

$$C_0 = \frac{L_0}{T_s} \quad (5)$$

$$\frac{d}{L_0} = \quad (6)$$

$$\sin \alpha = \left(\frac{c}{C_0} \right) \sin \alpha^0 \quad (7)$$

$$K_r = \frac{\sqrt{\cos \alpha^0}}{\cos \alpha} \quad (8)$$

5. Perhitungan tinggi gelombang di laut dalam dengan rumus :

$$H_0 = \frac{H_s}{K_s K_r} \quad (9)$$

6. Perhitungan tinggi gelombang ekuivalen dengan rumus :

$$H'_0 = K_r \times H_0 \quad (10)$$

7. Perhitungan Penentuan Elevasi Puncak Pemecah Gelombang (*Breakwater*) dengan rumus :

$$L_0 = 1,56 T^2 \quad (11)$$

$$I_r = \frac{\text{tg}\theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (12)$$

$$El_{P.G} = \text{HWL} + R_u + t. \text{kebebasan}. \quad (13)$$

$$Hl_{P.G} = El_{P.G} - El_{D.laut}. \quad (14)$$

8. Perhitungan Berat Butir Lapis Lindung Pemecah Gelombang (*Breakwater*) dengan rumus

$$W = \frac{\gamma_b H^3}{K_D (S_r - 1) \cot \theta} \quad (15)$$

9. Perhitungan Lebar Puncak Pemecah Gelombang (*Breakwater*) dengan rumus:

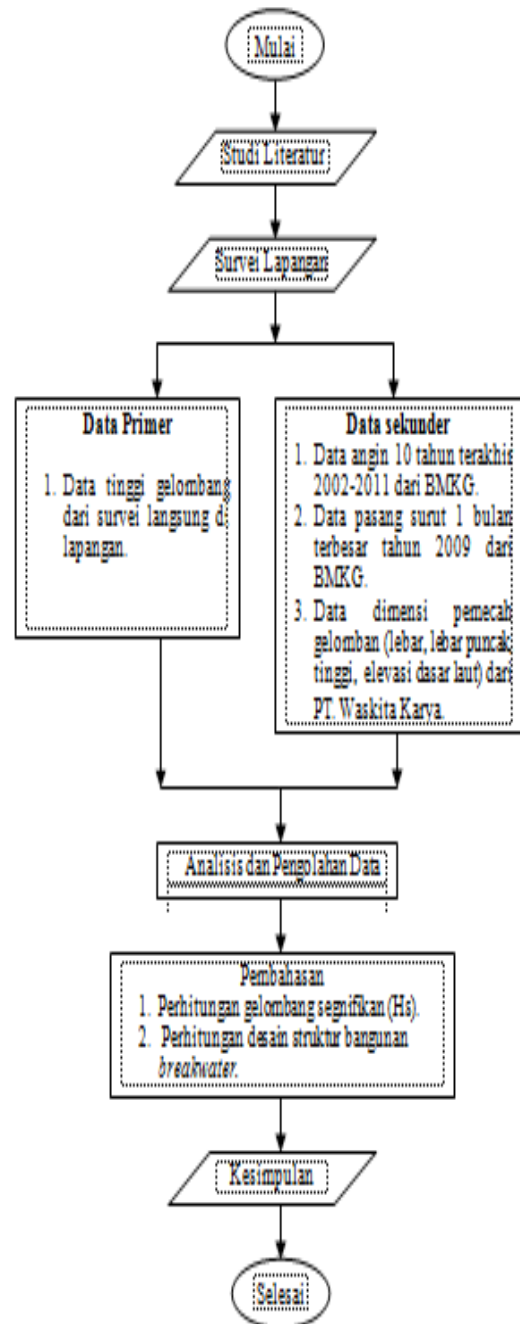
$$B = n \cdot k_\Delta \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \quad (16)$$

10. Perhitungan Tebal Lapis Lindung Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

$$t = n \cdot k_\Delta \left[\frac{W}{\gamma_b} \right]^{1/3} \quad (17)$$

11. Perhitungan Jumlah Batu Pelindung Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

$$N = A \cdot n \cdot k_\Delta \left(1 - \frac{P}{100} \right) \left(\frac{\gamma_b}{W} \right)^{2/3} \quad (18)$$



Gambar 11. Bagan Alir Penelitian (*Flowchart*)

Bagan Alir Penelitian (*Flowchart*)

Penelitian ini dilakukan menurut alur di bawah ini (Gambar 11).

HASIL DAN PEMBAHASAN

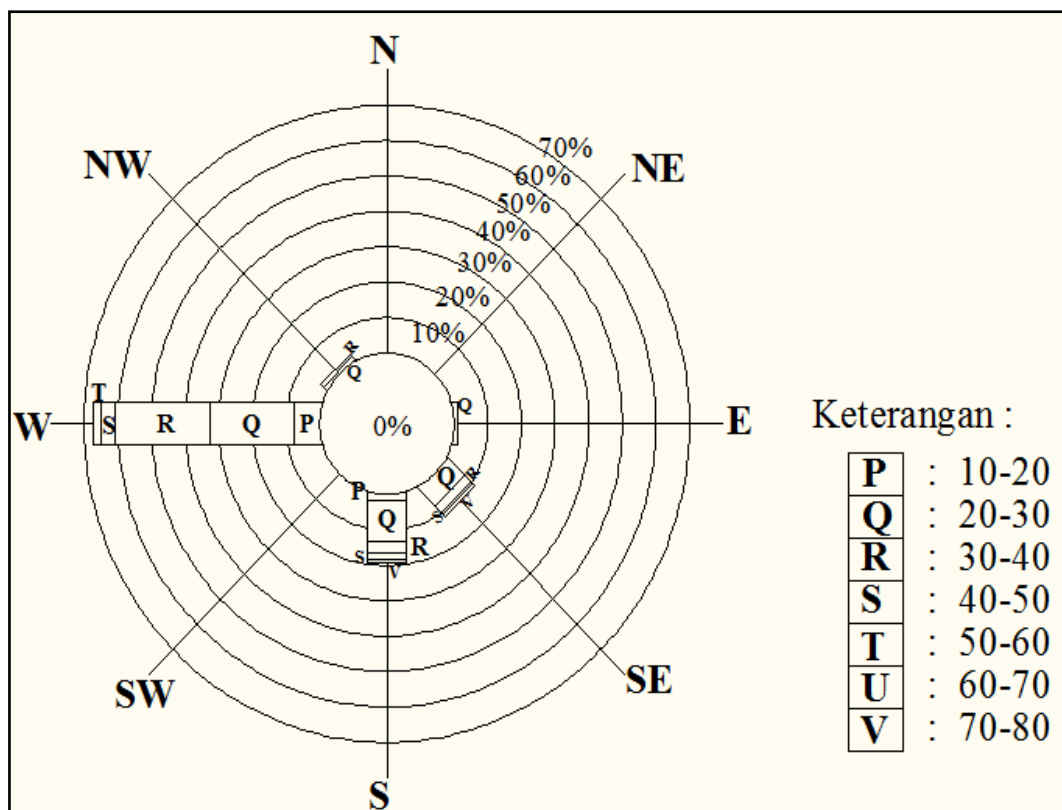
Hasil Pengolahan Data Angin

Setelah di lakukan pengelompokan dan persentase , maka arah barat (*west*) adalah arah angin dominan. Bisa di lihat pada Tabel 1 dan Gambar 12.

Tabel 1. Data Persentase (%) Kejadian Angin di Pantai Tapak Paderi Bengkulu

| Kecepatan (km/jam) | Arah Angin (%) | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|----|------|-------|-------|----|-------|------|
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
| 0 - 10 | 0% | | | | | | | |
| 10 - 20 | - | - | - | - | 1,67 | - | 7,50 | - |
| 20 - 30 | - | - | 0,83 | 6,67 | 11,67 | - | 25,00 | 0,83 |
| 30 - 40 | - | - | - | 2,50 | 3,33 | - | 28,33 | 0,83 |
| 40 - 50 | - | - | - | 0,83 | 1,67 | - | 4,17 | - |
| 50 - 60 | - | - | - | - | - | - | 2,50 | - |
| 60 - 70 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 70 - 80 | - | - | - | 0,83 | 0,83 | - | - | - |
| Jumlah | | | 0,83 | 10,83 | 19,17 | | 67,50 | 1,67 |
| Jumlah | 100,00 | | | | | | | |

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 12. Mawar Angin/Wind Rose

Konversi Kecepatan Angin

Berdasarkan peta Provinsi Bengkulu daerah pantai panjang terutama Tapak Paderi langsung berhubungan dengan laut lepas,

maka nilai *fecth* adalah 200 km. Dari hasil perhitungan di dapat nilai *Hs* sebesar 2,832 m dan *Ts* sebesar 8,339 m. Untuk mengetahui nilai faktor tegangan angin, *Hs*, dan *Ts* adalah seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Peramalan Tinggi Gelombang Signifikan (Hs) Dan Periode Gelombang Signifikan (Ts) Rata-Rata Tahun 2002-2011

| Bulan | Kec. Dominan | | Arah | R _L | U _w (m/dt) | U _A (m/dt) | H _s (m) | T _s (dt) |
|-----------------|--------------------|-------|------|----------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| | (km/jam) | (m/s) | | | | | | |
| | Kecepatan Angin UL | | | | | | | |
| 2002 | 33,92 | 9,42 | W | 1,20 | 10,64 | 13,18 | 3,09 | 8,59 |
| 2003 | 42,00 | 11,67 | W | 1,10 | 12,58 | 16,07 | 3,72 | 9,21 |
| 2004 | 35,08 | 9,75 | W | 1,17 | 11,07 | 13,74 | 3,24 | 8,80 |
| 2005 | 30,79 | 8,55 | W | 1,22 | 10,40 | 12,44 | 2,91 | 8,51 |
| 2006 | 26,68 | 7,41 | W | 1,28 | 9,25 | 11,03 | 2,58 | 8,25 |
| 2007 | 26,58 | 7,38 | W | 1,28 | 9,26 | 11,00 | 2,57 | 8,18 |
| 2008 | 28,03 | 7,78 | W | 1,24 | 9,53 | 11,39 | 2,65 | 8,28 |
| 2009 | 25,88 | 7,19 | W | 1,28 | 9,14 | 10,81 | 2,54 | 8,15 |
| 2010 | 24,25 | 6,74 | W | 1,32 | 8,49 | 9,96 | 2,32 | 7,69 |
| 2011 | 27,50 | 7,64 | W | 1,28 | 9,65 | 11,58 | 2,71 | 8,32 |
| Nilai Rata-rata | 30,070 | 8,353 | W | 1,236 | 10,001 | 12,120 | 2,832 | 8,399 |

Hasil Hs dan Ts

Hasil perhitungan dari survei langsung adalah tinggi gelombang signifikan (Hs) = 2,610 meter dan periode gelombang signifikan (Ts) = 11,942 detik. Dari hasil perhitungan data BMKG adalah Hs = 2,832 meter dan Ts = 8,339 detik. Jadi dapat kita lihat bahwa nilai yang terbesar dari data BMKG, maka untuk perhitungan bangunan *breakwater* menggunakan data dari BMKG.

Refraksi

Untuk menghitung tinggi gelombang signifikan (Hs), kondisi gelombang direncana lokasi pemecah gelombang (*breakwater*), elevasi puncak pemecah gelombang (*breakwater*), berat butir lapisan pelindung (W), lebar puncak pemecah gelombang (B), tebal lapis lindung (t), dan jumlah batu pelindung (N) pada bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) di Tapak Paderi Kota Bengkulu dibutuhkan nilai-nilai pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai-Nilai yang Dibutuhkan dalam perhitungan

| L ₀ (m) | C ₀ (m/dt) | d/L ₀ | d/L | K _s | L (m) | C (m/dt) | α | K _r |
|--------------------|-----------------------|------------------|--------|----------------|--------|----------|--------|----------------|
| 110,187 | 13,120 | 0,0136 | 0,0488 | 1,3362 | 30,735 | 3,659 | 8,511° | 0,930 |

Keterangan:

- L₀ = panjang gelombang di laut dalam.
- C₀ = cepat rambat gelombang di lautdalam.
- C = cepat rambat gelombang.
- α = sudut datang gelombang.
- K_r = koefisien refraksi.

Jadi, hasil dari koefisien refraksi ini akan digunakan dalam perhitungan tinggi gelombang di laut dalam.

Tinggi Gelombang di Laut Dalam

Nilai tinggi gelombang di laut dalam (H₀) = 2,278 meter. maka didapat hasil nilai tinggi gelombang ekivalen sebesar H'₀ = 2,119 meter.

Penentuan Kondisi Gelombang di rencana Lokasi Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Untuk kemiringan dasar laut 1: 0,03 atau 1:30. Hasil yang didapat adalah :

$L_0 = 110,039$ meter dan nilai $d/L_0 = 0,0182$. Jadi nilai d/L adalah sebesar 0,0549 dan nilai K_s adalah 1,252. Sehingga, dari hasil tersebut dapat digunakan dalam perhitungan mencari tinggi gelombang di laut dalam (H_0) = 2,432 meter.

Dengan diketahui nilai H_0 maka, kita dapat melakukan perhitungan untuk tinggi gelombang ekuivalen (H'_0). Hasil yang didapat adalah $H'_0 = 2,262$ meter. Dari Gambar 5 dan Gambar 6 didapat hasil dibawah ini.

$$\frac{H'_0}{gT^2} = 0,003$$
$$\frac{H_b}{H'_0} = 1,33 \rightarrow H_b = 3,008 \text{ meter}$$
$$\frac{H_b}{gT^2} = 0,004$$
$$\frac{d_b}{H_b} = 1,08 \rightarrow d_b = 3,249 \text{ meter}$$

Jadi diketahui bahwa gelombang pecah akan terjadi pada kedalaman 3,249 meter karena $d_b > d_{LWL} > d_{HWL}$ berarti di lokasi bangunan pada kedalaman -1,150 meter gelombang pecah.

Perhitungan Penentuan Elevasi Puncak Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Elevasi puncak pemecah gelombang dihitung berdasarkan tinggi *runup*. Kemiringan sisi pemecah gelombang ditetapkan 1:2.

Diketahui panjang gelombang di laut dalam (L_0) adalah sebesar 110,039 meter. Dari nilai L_0 dapat dicari nilai bilangan irribaren. Hasil bilangan irribaren (I_r) = 3,117.

Dengan menggunakan Gambar 8. Untuk lapis lindung dari batu pecah (*quarry stone*) didapat:

$$\frac{R_u}{H} = 1,16 \rightarrow R_u = 3,285$$

Elevasi puncak pemecah gelombang (*breakwater*) dengan memperhitungkan tinggi kebebasan 0,5 meter adalah $El_{P,G} = 5,385$ meter. Sehingga, didapat hasil tinggi pemecah gelombang (*breakwater*) adalah $Hl_{P,G} = 6,435$ meter.

Butir Lapis Lindung Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Kekuatan gelombang tergantung pada tingkat kedalaman laut, yang artinya bahwa semakin dalam, maka besar dan kekuatan gelombang pun semakin berkurang (mengecil). Berdasarkan keadaan ini guna memecahkan energi gelombang tersebut, berat batu (W) yang di gunakan makin bertambah ke dalam (dasar) bangunan makin mengecil sesuai dengan mengecilnya tekanan gelombang tersebut. Hasil berat butir yang didapat adalah $W = 3,867$ ton.

Lebar Puncak Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Hasil perhitungan lebar puncak pemecah gelombang (*breakwater*), telah didapat nilai $B = 3,913$ meter.

Perhitungan Tebal Lapis Lindung Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Dalam penelitian ini, jumlah lapis ketebalan bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) adalah 3 lapisan yaitu t_1 , t_2 , dan t_3 . Masing-masing ketebalan dari lapisan tersebut berbeda-beda. Nilai masing lapisan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai-Nilai Tebal Lapisan

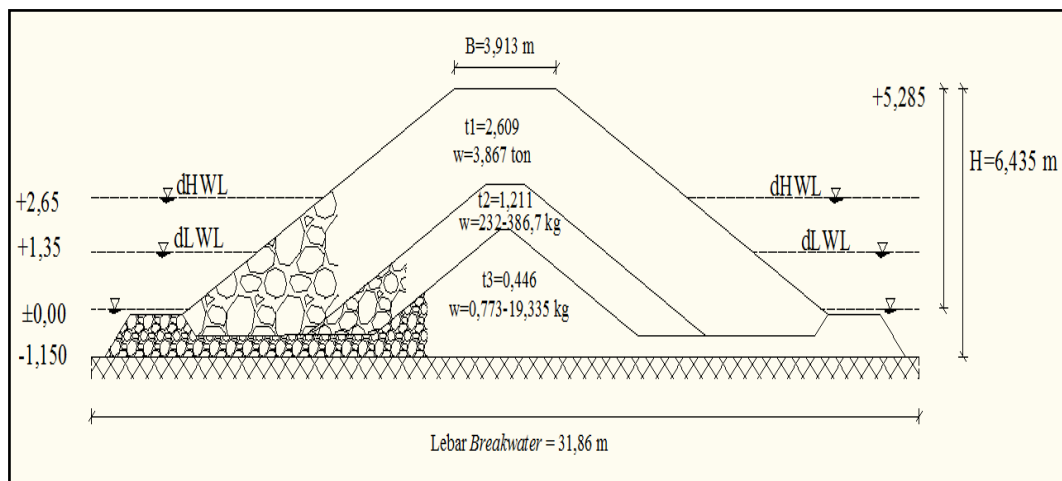
| | Tebal (t_1) | Tebal (t_2) | Tebal (t_3) |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Lapis | 2,609 m | 1,211 m | 0,446 m |

Jumlah Batu Pelindung Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Dalam penelitian ini, jumlah butir batu pelindung dihitung dengan tiap satuan luas

(10 m^2). Hasil perhitungan jumlah butir pelindung pemecah gelombang (*breakwater*) dengan tiap satuan luas (10 m^2) $N = 16$ butir batu.

Dibawah ini adalah gambar Tampang melintang bangunan *breakwater* hasil dari perhitungan (Gambar 13).



Gambar 13. Tampang Melintang Bangunan *Breakwater*

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian melalui analisis data yang dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kecepatan angin tertinggi terjadi pada bulan Mei tahun 2003 dengan arah tenggara (*south east*) dan terendah terjadi pada bulan April tahun 2002 dengan arah barat (*west*).
2. Kurun waktu 10 tahun antara tahun 2002-2011 berdasarkan data dari BMKG kelas II Pulau Baai Bengkulu tinggi gelombang signifikan (H_s) rata-rata adalah setinggi 2,832 meter dan periode gelombang signifikan (T_s) rata-rata adalah sebesar 8,399 detik.
3. Berdasarkan hasil pencatatan survei langsung ke lapangan tinggi gelombang signifikan (H_s) rata-rata adalah setinggi

2,610 meter dan periode gelombang signifikan (T_s) rata-rata adalah sebesar 11,942 detik.

4. Pada perhitungan pemecah gelombang (*breakwater*) ini menggunakan data dari BMKG dengan H_s setinggi 2,832 meter dan T_s sebesar 8,399 detik karena didapat hasil tertinggi dan lebih akurat.
5. Kedalam air di lokasi bangunan rencana adalah berdasarkan *high water level* (HWL) dan *low water level* (LWL) sebagai berikut dHWL sebesar 2,65 meter, dLWL sebesar 1,35 meter, dan dMWL sebesar 2,0 meter.
6. Gelombang pecah akan terjadi pada kedalaman 3,249 meter karena $db > dLWL > dHWL$ berarti di lokasi bangunan pada kedalaman - 1,150 meter gelombang pecah.

7. Elevasi puncak pemecah gelombang adalah sebesar +5,385 meter dan tinggi pemecah gelombang (*breakwater*) sebesar 6,435 meter.
8. Pemecah gelombang (*breakwater*) di Tapak Paderi Kota Bengkulu tergolong ke dalam kategori pemecah gelombang sisi miring dengan nilai berat batu (W) sebesar 3,867 ton.
9. Lebar puncak pemecah gelombang (*breakwater*) yaitu sebesar 3,913 meter, tebal lapis lindung (t) pemecah gelombang (*breakwater*) yaitu t_1 sebesar 2,609 meter, t_2 sebesar 1,211 meter, dan t_3 sebesar 0,446 meter.
10. Jumlah butir batu tiap satuan luas 10 m^2 (N) adalah sebesar 16 butir batu.
11. Hasil dari perhitungan terdapat perbedaan hasil yang di dapat dengan dimensi *existing* bangunan *breakwater*, yaitu lebar puncak (B) = *existing* (4 meter) dan hasil perhitungan (3,913 meter), dan elevasi puncak = *existing* (+4,5 meter) dan hasil perhitungan (+5,385 meter).

Saran

Saran yang dapat disampaikan oleh peneliti adalah sebagai berikut :

1. Hasil dari penelitian tinggi gelombang signifikan (H_s) di Bengkulu tergolong tinggi yaitu 2,832 meter, maka sebaiknya dilakukan pembangunan pelindung pantai seperti *breakwater*, *revetment*, *groin*.
2. Sebaiknya dilakukan desain ulang tampang melintang bangunan.
3. Sebaiknya dilakukan perawatan bangunan secara baik dan berkala agar bangunan tersebut tidak mudah rusak.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai sedimentasi pada daerah bangunan pemecah gelombang dengan menggunakan *software*.

DAFTAR PUSTAKA

- Dronkers, J. J., 1964. *Tidal Computations in rivers and coastal waters*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, <http://seputarteknologikelautan.blogspot.com/2011/05/pasang-surut.html>, 05-10-2012, 21:15 WIB.
- <http://id.shvoong.com/exact-sciences/earth-sciences/2143460-pantai-dan-ekosistem-pantai>, 04-10-2012, 22:42 WIB.
- <http://id.wikipedia.org/wiki/Angin>, 05-10-2012, 20:33 WIB.
- Nur , I. dan Juliawan, R. 2011. *Perencanaan Bangunan Pelindung Pantai Semarang Bagian Timur*, Tugas akhir Jurusan Teknik Sipil. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Pariwono, J.I., 1989. *Gaya Penggerak Pasang Suru, . Dalam Pasang Surut*, P3O-LIPI, Jakarta, <http://seputarteknologikelautan.blogspot.com/2011/05/pasang-surut.html>, 05-10-2012, 21:15 WIB.
- Saputro, M.S. dan Nawawi, M. 2010., *Analisis Abrasi Pantai Semarang Bagian Barat*, Tugas akhir, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Soehedy. 2011. *Analisis Kecepatan Angin Terhadap Panjang Pemecah Gelombang (Breakwater) Pada Alur Pelabuhan Pulau Baai Bengkulu*, Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Bengkulu. Bengkulu.
- Triatmodjo, B. 1999. *Pelabuhan*, Beta offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta offset. Yogyakarta.

Wyrтки, K. 1961. *Physical Oceanography of the South East Asian Waters. Naga Report Vol. 2 Scripps. Institute Oceanography. California.*
<http://seputarteknologikelautan.blogspot.com/2011/05/pasang-surut.html>,
05-10-2012, 21:15 WIB.