

EVALUASI KINERJA *BREAKWATER* TERHADAP GELOMBANG DI KAWASAN PELABUHAN MANADO

Annisa Rimadantia Samudra

M. Ihsan Jasin, Fuad Halim

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: annisa.samudra95@gmail.com

ABSTRAK

*Kota Manado merupakan kota yang terletak ditepi pantai dan berada di jalur laut yang menghubungkan pulau-pulau disekitarnya dalam wilayah kesatuan Republik Indonesia. Kondisi ini menyebabkan sarana transportasi laut sangat diperlukan sebagai sarana mobilitas orang dan barang sepanjang pantai, pesisir serta antar pulau-pulau kecil dalam rangka pemberdayaan potensi daerah serta distribusi bahan pokok dan hasil-hasil pertanian serta pemerataan hasil-hasil pembangunan. Dalam sistem transportasi, pelabuhan merupakan suatu simpul dari mata rantai kelancaran muatan angkutan laut. Pelabuhan Manado merupakan salah satu pelabuhan yang memiliki sarana transportasi laut dengan alur pelayaran dan kolam pelabuhan. Agar alur pelayaran dan kolam pelabuhan menjadi perairan yang tenang dan terlindung dari ombak biasanya dilindungi dengan pemecah gelombang (*breakwater*). Seiring dengan berjalannya waktu, perubahan kondisi alam serta terjadinya pemanasan global yang mengakibatkan terjadinya kenaikan elevasi muka air laut yang berpengaruh terhadap efektifitas kinerja dari *breakwater* di Pelabuhan Manado.*

*Evaluasi dilakukan dengan menganalisis data sekunder untuk kinerja bangunan pantai pemecah gelombang (*breakwater*) yang ada. Peramalan gelombang dianalisis dengan metode hindcasting gelombang menggunakan data angin selama 10 tahun dari BMKG Maritim Bitung untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang signifikan serta elevasi muka air laut yang terjadi di pelabuhan Manado, transformasi gelombang, run-up dan overtopping gelombang.*

*Hasil analisis gelombang di perairan pelabuhan Manado didominasi oleh gelombang arah Barat dengan gelombang maksimum terjadi pada bulan Januari 2014 dengan $H = 1,483$ m dan $T = 5,118$ det, pada perhitungan run-up diperoleh tinggi run-up 1,398 m sampai 1,933 m. Untuk kala ulang(10,20,30,50, dan 100 tahun) tinggi run-up diperoleh 1,995 m sampai 2,456 m. Berdasarkan hasil analisis tidak terjadi overtopping dan hasil penelitian terhadap *breakwater* eksisting pada area pengembangan yang berada di arah utara, menunjukkan bahwa *breakwater* dikatakan Aman terhadap gelombang yang ada sekarang, maka efektifitas kinerja *breakwater* dikatakan masih efektif dalam melindungi ketenangan dalam kolam pelabuhan.*

Kata kunci: *pelabuhan manado, karakteristik gelombang, transformasi gelombang, run-up gelombang, overtopping gelombang.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kota Manado yang memiliki bentang alam dengan karakteristik pantai, daratan dan perbukitan menjadi nilai tambah untuk kemajuan kota Manado kedepan. Khususnya, dalam pengembangan area pantai sebagai area pelabuhan baik dalam skala makro atau mikro untuk menunjang transportasi laut dengan fungsi pelayaran antar daerah, pulau-pulau dan kota manado khususnya.

Pelabuhan Laut Manado berada pada posisi $01^{\circ} 30' 02''$ LU dan $124^{\circ} 50' 12''$ BT di Teluk

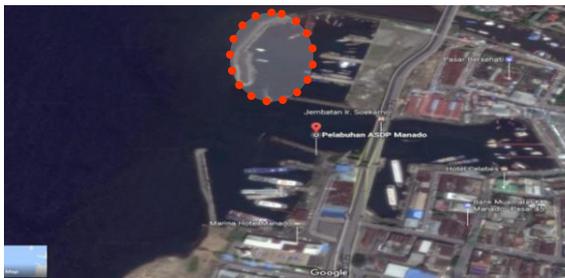
Manado, berhadapan langsung dengan P. Bunaken dan P. Manado Tua di Provinsi Sulawesi Utara. Pelabuhan Laut Manado merupakan sarana transportasi laut yang memegang peranan dan fungsi yang penting dalam roda transportasi laut di daerah Sulawesi Utara. Pelabuhan ini merupakan simpul utama arus lalu lintas barang dan penumpang dari dan ke kepulauan Sangihe, Talaud, Maluku Utara, serta perairan Indonesia Timur. Keberadaan pelabuhan Manado berada di posisi yang strategis karena berada pada Ibukota Provinsi Sulawesi Utara sebagai pusat kegiatan pendidikan, pemerintahan, perdagangan, jasa dan

pengembangan kawasan wisata. Hal ini menunjukkan bahwa peran pelayaran harus mampu dioptimalkan guna mempertahankan kesatuan antar pulau dan menjaga kesinambungan kegiatan-kegiatan dalam pelayaran. Demi mencapai tujuan tersebut, sarana dan prasarana yang mendukung sangat diperlukan. Sarana kegiatan pelayaran berupa kapal memiliki peranan yang sangat penting dalam kegiatan angkutan laut. Sedangkan prasarana yang tentunya sangat dibutuhkan dalam kegiatan pelayaran angkutan laut adalah pelabuhan beserta fasilitas di dalamnya.

Pelabuhan merupakan daerah perairan yang terlindung terhadap gelombang, dilengkapi dengan fasilitas terminal laut meliputi dermaga di mana kapal dapat bertambat untuk bongkar muat barang (Triatmojo, 2003).

Untuk memudahkan kapal bersandar ke dermaga dan memudahkan proses bongkar muat sangatlah dipengaruhi oleh ketenangan kondisi lingkungan perairan seperti angin, arus dan gelombang serta pasang surut. Pengaruh kondisi perairan yang buruk dapat menjadi halangan bagi kapal-kapal yang akan bersandar ke dermaga.

Dalam penataan serta pengembangan fasilitas pelabuhan tersebut salah satu elemen yang sangat penting ialah bangunan pengaman pantai dalam hal ini *BREAKWATER*. Dimana fungsi *breakwater* adalah bangunan penahan/meredam gelombang yang akan masuk kedalam kolam dan alur pelabuhan. Perencanaan *breakwater* yang baik dapat menjadi pelindung pelabuhan sehingga perairan menjadi lebih tenang.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber : [Informasi Pelabuhan Manado](#)

Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang, maka akan dilakukan evaluasi kinerja bangunan *breakwater* yang sudah ada berdasarkan analisis yang dilakukan dengan memperhitungkan gaya alam yang terdapat di sekitar pantai untuk mengetahui

bangunan pantai tersebut aman/tidak aman dari pengaruh gelombang.

Batasan Masalah

Dalam penulisan ini, masalah dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

- a. Penelitian hanya dilakukan di Kawasan Pelabuhan Manado.
- b. Data-data yang digunakan dalam evaluasi kinerja bangunan pantai *breakwater* adalah data sekunder dan data primer.
- c. Analisis finansial tidak diperhitungkan.
- d. Tidak menghitung besarnya sedimentasi yang terjadi.
- e. Gelombang yang dihitung adalah gelombang yang diakibatkan oleh angin.
- f. Karakteristik Gelombang yang ditinjau adalah tinggi gelombang, periode gelombang, refraksi gelombang, shoaling dan gelombang pecah.
- g. Mengabaikan faktor-faktor bencana alam seperti gelombang tsunami, gempa dan lain-lain.
- h. Data Angin yang digunakan adalah data angin 10 tahun terakhir.
- i. Tidak menganalisa stabilitas konstruksi terhadap penurunan tanah (*settlement*).
- j. Kajian kinerja *breakwater* hanya dengan memperhitungkan pengaruh transformasi gelombang, pengaruh *run-up* dan overtopping.
- k. Tinggi dan periode gelombang diperoleh dengan metode hindcasting gelombang.
- l. Tidak menghitung gaya-gaya lain akibat pengaruh dari muara sungai

Maksud dan Tujuan Penelitian.

Maksud dan Tujuan Penelitian dengan judul Evaluasi Kinerja *Breakwater* terhadap Gelombang di Kawasan Pelabuhan Manado ini adalah: Untuk mengevaluasi efektifitas kinerja *breakwater* pada kawasan pelabuhan Manado terhadap pengaruh gelombang laut dalam meredam energi gelombang.

Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

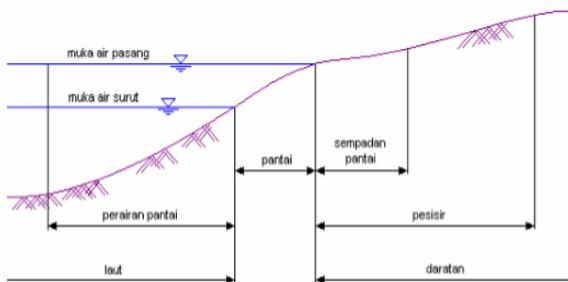
- a. Mengetahui bangunan pantai *breakwater* aman/ tidak aman dari pengaruh gelombang.
- b. Memberikan Informasi yang dicermati dengan memperhatikan gejala yang ditimbulkan terhadap pantai dan obyek yang dilindungi.

- c. Menambah pengetahuan bagi penulis untuk memperdalam ilmu dalam bidang teknik pantai khususnya bangunan pengaman pantai.

LANDASAN TEORI

Gambaran Umum Pantai

Istilah pantai sering rancu dalam pemakaiannya yaitu antara *coast* (pesisir) dan *shore* (pantai).



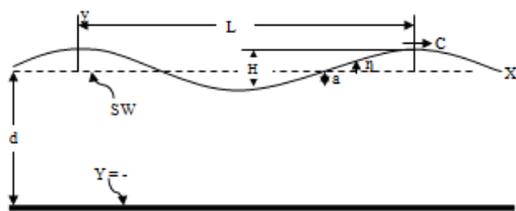
Gambar 2. Definisi Pantai dan Batasan Pantai
Sumber : Triatmodjo B. “Teknik Pantai”

Gelombang

Gelombang laut adalah satu fenomena alam yang sering terjadi di laut. Gelombang laut merupakan peristiwa naik turunnya permukaan laut secara vertikal yang membentuk kurva/grafik sinusoidal.

Teori Gelombang Amplitudo Kecil (Airy)

Teori paling sederhana adalah teori gelombang Airy, yang juga disebut teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil, yang pertama kali dikemukakan oleh Sir. George Biddell Airy pada tahun 1845. Selain mudah dipahami, teori tersebut sudah dapat digunakan sebagai dasar dalam merencanakan bangunan pantai.



Gambar 3. Sketsa Definisi Gelombang
Sumber : Triatmodjo B. “Perencanaan Bangunan Pantai”

Hindcasting Gelombang

Hindcasting gelombang adalah teknik peramalan gelombang yang akan datang dengan

menggunakan data angin dimasa lampau. Data angin dapat digunakan untuk memperkirakan tinggi dan periode gelombang di laut. Terjadinya gelombang di laut paling dipengaruhi oleh tiupan angin.

Fetch

Fetch adalah daerah pembangkit gelombang laut yang dibatasi oleh daratan yang mengelilingi laut tersebut. Daerah *fetch* adalah daerah dengan kecepatan angin konstan. Sedangkan jarak *fetch* merupakan jarak tanpa rintangan dimana angin sedang bertiup. Arah *fetch* bisa datang dari segala arah, yang besarnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$F_{eff} = \frac{\sum F \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- F_{eff} : *Fetch* efektif
- F : Panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*.
- α : Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

Estimasi Angin Permukaan Untuk Peramalan Gelombang

Sebagai langkah awal dalam menganalisis data angin, hal yang harus diperhatikan adalah mendapatkan nilai *Wind Stress Factor* (U_A), sebagai nilai yang akan digunakan dalam melakukan peramalan gelombang. Prosedur untuk mendapatkan *Wind Stress Factor* (U_A) adalah dengan melakukan koreksi – koreksi terhadap data angin yang kita miliki sebagai berikut:

❖ Koreksi Elevasi

Kecepatan angin yang digunakan adalah kecepatan angin yang diukur pada elevasi 10 meter. Jika data angin didapat dari pengukuran pada elevasi yang lain (misalnya y meter), maka dapat dikonversi dengan persamaan :

$$U_{(10)} = U(y) \left(\frac{10}{y} \right)^{\frac{1}{7}} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana : $U_{(10)}$ = Kecepatan angin pada ketinggian 10 m.

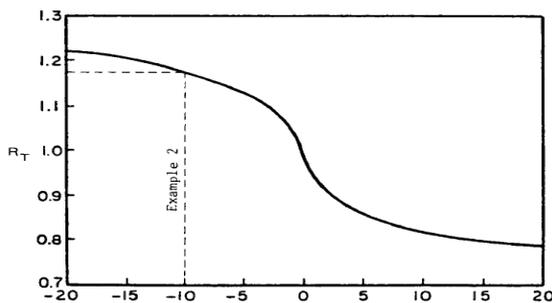
y = Ketinggian pengukuran angin ($y < 20$ m)

❖ Koreksi Stabilitas

Koreksi ini diperlukan, jika terdapat perbedaan temperatur antara udara dan air laut. Besarnya koreksi dilambangkan dengan R_T , dimana :

$$U = R_T \times U_{10} \dots \dots \dots (3)$$

Jika tidak terdapat perbedaan data temperature, maka $R_T = 1.1$ (SPM'88, hal 3-30)

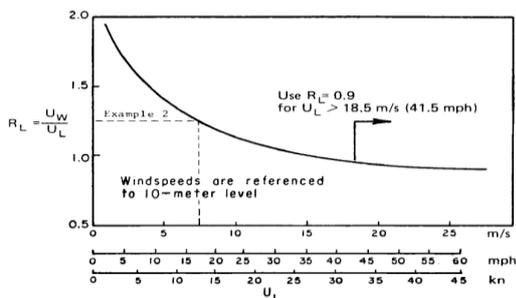


Gambar 4. Faktor koreksi beda suhu di laut dan di darat.
Sumber : SPM' 84

❖ Koreksi Lokasi Pengamatan

Jika data angin yang dimiliki adalah data angin pengukuran di darat, perlu dilakukan koreksi untuk mendapatkan nilai kecepatan di laut. Faktor koreksi dilambangkan dengan R_L , yang nilainya disajikan Gambar 5. Di dalam gambar tersebut, U_w adalah kecepatan angin di atas laut, sedangkan U_L adalah kecepatan angin di darat. Apabila data kecepatan angin disuatu perairan memerlukan penyesuaian atau koreksi terhadap elevasi, koreksi stabilitas dan efek lokasi maka dapat digunakan persamaan:

$$U = R_T \times R_L \times U_{10} \dots \dots \dots (4)$$



Gambar 5. Hubungan antara kecepatan angin di laut dan di darat
Sumber : SPM'84

Pembentukan Gelombang di Laut Dalam

Peramalan gelombang di laut dalam dilakukan dengan metode SMB (Sverdrup Munk Bretschneider). Bagan *hindcasting* gelombang diperlihatkan pada Gambar 6.

Peramalan Gelombang Dengan Periode Ulang (Analisis Frekuensi)

Metode Gumbel

Untuk menentukan periode ulang dipergunakan analisis harga-harga ekstrim tinggi gelombang, biasanya diambil satu gelombang tertinggi tiap tahunnya. Pada metode Gumbel, tinggi gelombang pada periode ulang di tuliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut (Nur Yuwono, 1992):

$$H_{sT} = \bar{H}_s + \frac{\sigma H_s}{\sigma n} (Y - Y_n) \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

- \bar{H}_s : rata-rata tinggi gelombang signifikan dari seluruh data yang ada
- σH_s :deviasi standard tinggi gelombang signifikan

Nilai $Y, Y_n, \sigma n$ berdasarkan periode ulang dan jumlah data dapat dilihat pada tabel-tabel berikut:

Tabel 1 Nilai Y Untuk Masing-Masing Periode Ulang

Periode Ulang (Tahun)	Y
2	0.3665
5	1.4999
10	2.2502
20	2.9702
25	3.1985
50	3.9019
100	4.6001

Sumber : Nur Yuwono (1992)

Tabel 2 Nilai Y_n Untuk Masing-Masing Jumlah Data N

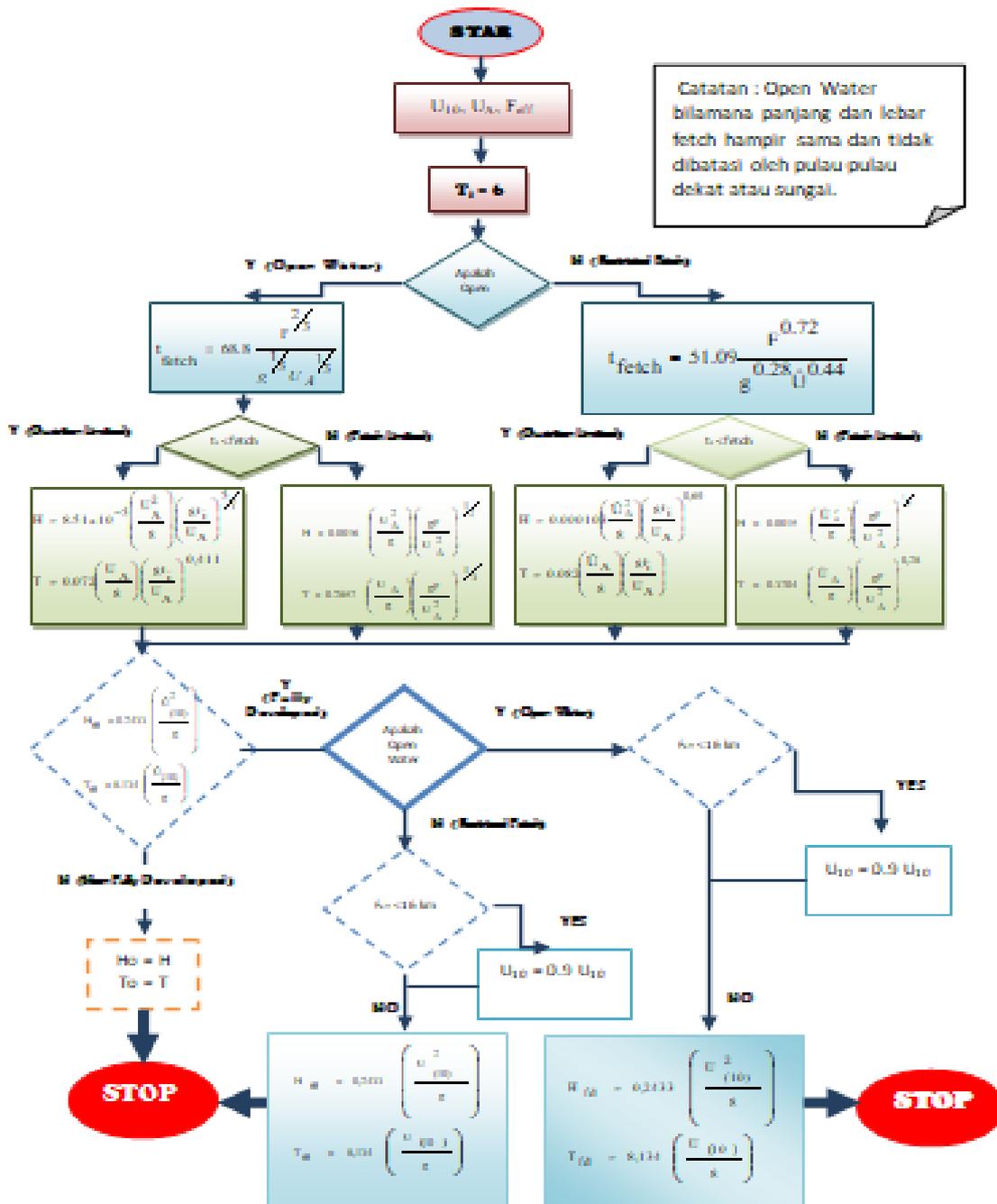
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.495	0.499	0.503	0.507	0.510	0.512	0.515	0.518	0.520	0.522
20	0.523	0.525	0.526	0.528	0.529	0.530	0.532	0.533	0.534	0.535
30	0.536	0.537	0.538	0.538	0.539	0.540	0.541	0.541	0.542	0.543

Sumber : Nur Yuwono (1992)

Tabel 3 Nilai σn Untuk Masing-Masing Jumlah Data N

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.94	0.96	0.98	0.99	1.00	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05
20	1.06	1.06	1.07	1.08	1.08	1.09	1.09	1.10	1.10	1.10
30	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.12	1.13	1.13	1.13	1.13

Sumber : Nur Yuwono (1992)



Gambar 6. Bagan hindcasting gelombang

Transformasi Gelombang

Proses Refraksi

Pengaruh perubahan kedalaman laut akan menyebabkan refraksi. Di laut dalam, daerah dimana kedalaman air lebih besar dari setengah panjang gelombang, gelombang menjalar tanpa dipengaruhi dasar laut. Koefisien refraksi dirumuskan sbb:

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}} \dots \dots \dots (6)$$

Pendangkalan Gelombang (Wave Shoaling)

Koefisien pendangkalan K_s merupakan fungsi panjang gelombang dan kedalaman air. Koefisien Shoaling dirumuskan sbb :

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{nL}} \dots\dots\dots(7)$$

Gelombang Pecah

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang.

Pasang Surut

Apabila seseorang mengamati pantai dalam waktu yang cukup lama, maka orang tersebut akan melihat bahwa kedalaman selalu berubah-ubah sepanjang waktu. Pada mulanya muka air rendah, beberapa waktu kemudian menjadi tinggi dan akhirnya mencapai maksimum. Setelah itu muka air turun kembali sampai elevasi terendah dan kemudian naik kembali. Perubahan elevasi muka air laut sebagai fungsi waktu tersebut disebabkan oleh adanya pasang surut.

Elevasi Muka Air rencana

Elevasi Muka Air Rencana diperlukan untuk pengembangan dan pengelolaan daerah pantai. Mengingat elevasi muka air laut selalu berubah setiap saat, maka diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasarkan data pasang surut, beberapa elevasi tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Muka air tinggi (*high water level, HWL*), muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
- b. Muka air rendah (*low water level, LWL*), kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
- c. Muka air tinggi rerata (*mean high water level, MHWL*), adalah rerata dari muka air tinggi.
- d. Muka air rendah rerata (*mean low water level, MLWL*), adalah rerata dari muka air rendah.
- e. Muka air laut rerata (*mean sea level, MSL*), adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata.
- f. Muka air tinggi tertinggi (*highest high water level, HHWL*), adalah air tinggi tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
- g. Muka air rendah terendah (*lowest low water level, LLWL*), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.

- h. *Higher high water level (HHWL)*, adalah air tertinggi dari dua air tinggi dalam satu hari, seperti dalam pasang surut tipe campuran.
- i. *Lower low water level (LLWL)*, adalah air terendah dari dua air rendah dalam satu hari.

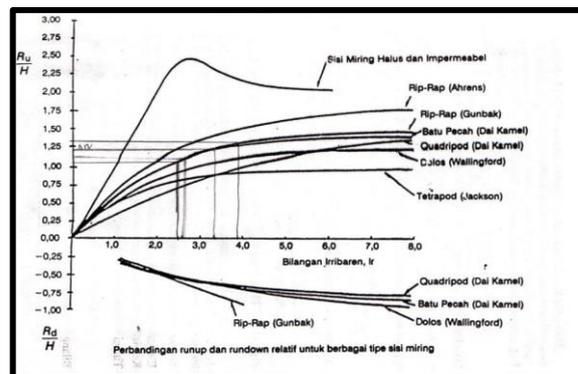
Wave Run-up

Pada waktu gelombang menghantam suatu bangunan, gelombang tersebut akan naik (*run-up*) pada permukaan bangunan. Elevasi (tinggi) bangunan yang direncanakan tergantung pada *run-up* dan limpasan yang diijinkan. *Run-up* tergantung pada bentuk dan kekasaran bangunan, kemiringan dasar laut di depan bangunan, dan karakteristik gelombang.

$$I_r = \frac{\tan \theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{0,5}} \text{ (Triatmodjo,2003)}$$

Dengan :

- I_r : bilangan Iribaren
- θ_r : sudut Kemiringan sisi *breakwater*
- H : tinggi gelombang di lokasi bangunan
- L_0 : panjang gelombang di laut dalam



Gambar 7. Grafik Run-up Gelombang
Sumber : Triatmodjo B. “Pelabuhan, 2003”

Penentuan *run-up* juga dapat dilakukan dengan menggunakan grafik yang ditunjukkan oleh figure 7-8 sampai figure 7-12 dan figure 7-14 sampai figure 7-18 dalam SPM 1984 vol 2. Grafik-grafik tersebut merupakan hasil riset yang dilakukan terhadap beberapa kasus *run-up* yang terjadi di masa lampau.

Overtopping (Limpasan Gelombang)

Berdasarkan SPM 1984 vol 2. Nilai *overtopping* merupakan kelanjutan dari hasil perhitungan *run-up* yang dihitung sebelumnya, dimana *overtopping* dapat terjadi bila besar *run-up* gelombang lebih tinggi dari tinggi bangunan. Dan dapat ditulis sebagai berikut :

$$0 \leq \frac{h-ds}{R} < 1,0$$

Dengan :

- h : tinggi bangunan
- ds : kedalaman air di kaki bangunan
- R : besar *run-up* gelombang

Perhitungan kategori *overtopping* atau *non overtopping*, dengan syarat jika nilai (h-ds) lebih besar daripada nilai *run-up* (R), maka dapat dikategorikan dalam *non overtopping breakwater* dan sebaliknya jika nilai (h-ds) lebih kecil daripada *run-up* (R) maka *overtopping*.

Menurut SPM 1984 vol 2 besar *overtopping* dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

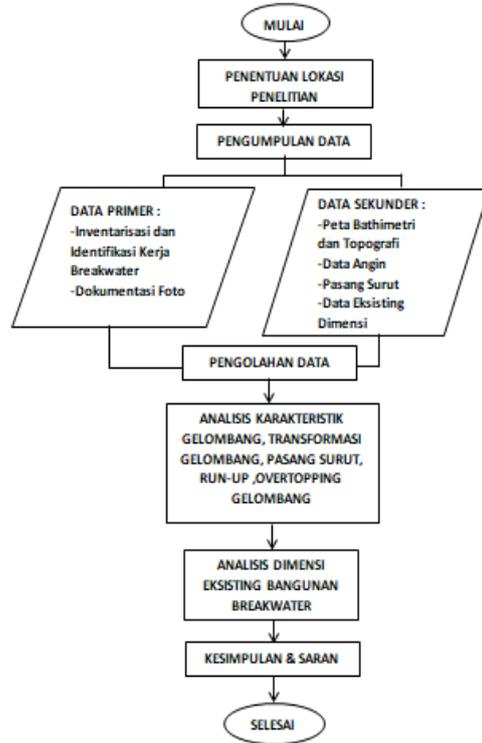
$$Q = (g \times Q_0^* \times H_0^3)^{1/2} e^{-\left[\frac{0,217}{\alpha} \tanh^{-1}\left(\frac{h-ds}{R}\right)\right]} \dots\dots\dots 8 \text{ (SPM 84,Vol 2)}$$

Dengan :

- Q : besar *overtopping* (m³/det)
- g : percepatan gravitasi (m/det²)
- H₀ : tinggi gelombang laut dalam ekuivalen (m)
- h : elevasi puncak struktur (m)
- R : Run-up gelombang (m)
- ds : tinggi muka air di kaki bangunan (m)
- α dan Q₀ : koefisien empiris yang bergantung pada karakteristik gelombang datang dan geometrik bangunan. (*figure 7-24 sampai figure 7-32,SPM 1984 Vol 2*).

METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan pelaksanaan studi :



Gambar 8. Tahapan Pelaksanaan Studi ANALISA DAN PEMBAHASAN

Analisa Data

Perhitungan Fetch Efektif



Gambar 9. Fetch Arah Barat, Barat Daya, Utara dan Barat laut

Perhitungan Fetch :

Tabel 4. Perhitungan Panjang Fetch Untuk Delapan Arah Mata Angin

Arah Mata Angin	(α)	Jarak	Jarak	Fcos(α)	cos(α)	Feff (km)
		Sebenarnya (cm)	Sebenarnya (km)			
BARAT (W)	-20	6,4	1280	1202,807	0,940	1295,2
	-15	6,5	1300	1225,704	0,965	
	-10	6,6	1320	1299,945	0,985	
	-5	6,7	1340	1334,901	0,995	
	0	7,1	1420	1420	1	
	5	7,6	1520	1514,216	0,995	
	10	8,1	1620	1595,389	0,985	
	15	8,2	1640	1584,118	0,965	
20	8,3	1660	156,2844	0,940		
BARAT LAUT (NW)	-20	4,7	940	883,3111	0,940	1190,73
	-15	4,9	980	946,6073	0,965	
	-10	5,2	1040	1024,2	0,985	
	-5	5,5	1100	1095,814	0,995	
	0	6,8	1360	1360	1	
	5	6,9	1380	1374,749	0,995	
	10	7,1	1420	1398,427	0,985	
	15	6,3	1260	1217,067	0,965	
20	6,1	1220	1146,425	0,940		
UTARA (N)	-20	0	0	0	0,940	250,949
	-15	0	0	0	0,965	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,995	
	0	5	1000	1000	1	
	5	2,4	480	478,1725	0,995	
	10	2,3	460	453,0116	0,985	
	15	1,4	280	270,4592	0,965	
20	0	0	0	0,940		
TIMUR LAUT (NE)	-20	0	0	0	0,940	0
	-15	0	0	0	0,965	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,995	
	0	0	0	0	1	
	5	0	0	0	0,995	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,965	
20	0	0	0	0,940		

Tabel 4. Lanjutan

TIMUR (E)	-20	0	0	0	0,940	0
	-15	0	0	0	0,965	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,995	
	0	0	0	0	1	
	5	0	0	0	0,995	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,965	
20	0	0	0	0,940		
TENGGARA (SE)	-20	0	0	0	0,940	0
	-15	0	0	0	0,965	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,995	
	0	0	0	0	1	
	5	0	0	0	0,995	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,965	
20	0	0	0	0,940		
BARAT DAYA (SW)	-20	7,7	1540	1447,127	0,940	808,5661
	-15	7,8	1560	1506,844	0,965	
	-10	6,9	1380	1359,035	0,985	
	-5	3,8	760	757,108	0,995	
	0	2,9	580	580	1	
	5	2,5	500	498,0973	0,995	
	10	1,8	360	354,5308	0,985	
	15	1,6	320	309,0963	0,965	
20	1,5	300	281,9078	0,940		
SELATAN (S)	-20	0	0	0	0,940	0
	-15	0	0	0	0,965	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,995	
	0	0	0	0	1	
	5	0	0	0	0,995	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,965	
20	0	0	0	0,940		

Analisa Angin

Data angin yang dianalisa adalah data angin maksimum harian dalam 10 tahun terakhir. Data angin diambil dari BMKG Maritim Bitung, yakni data angin pada tahun 2007-2016.

Data angin dinyatakan dalam satuan knot, 1 knot = 1,852 km/jam = 0,5144 m/d.

Perhitungan faktor tegangan angin

Perhitungan untuk mendapatkan nilai U_A (perhitungan pada data angin tgl 16 November 2016) :

Tabel 5. Perhitungan *Hindcasting* Gelombang Maksimum Bulan November 2016

Tanggal	Arah	U_z m/d	U_{10} m/d	R_L	U_A m/d	F_{EFF} Km	t_s D
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
01/11/2016	WSW	7,41	7,41	1,3	10,59	0,000	21600
02/11/2016	WSW	5,11	5,11	1,4	7,88	0,000	21600
03/11/2016	ENE	2,37	2,37	1,69	4,41	0,000	21600
04/11/2016	N	3,01	3,01	1,61	5,33	250,95	21600
05/11/2016	W	3,03	3,03	1,61	5,37	1295,23	21600
06/11/2016	W	6,80	6,80	1,3	9,73	1295,23	21600
07/11/2016	WSW	7,74	7,74	1,25	10,64	0,000	21600
08/11/2016	SW	6,41	6,41	1,31	9,24	808,57	21600
09/11/2016	ENE	2,76	2,76	1,63	4,94	0,000	21600
10/11/2016	NE	2,64	2,64	1,66	4,81	0,000	21600
11/11/2016	N	1,66	1,66	1,83	3,35	250,95	21600
12/11/2016	WNW	3,87	3,87	1,51	6,43	0,000	21600
13/11/2016	WSW	3,96	3,96	1,5	6,53	0,000	21600
14/11/2016	WSW	4,41	4,41	1,47	7,14	0,000	21600
15/11/2016	WSW	3,34	3,34	1,57	5,76	0,000	21600
16/11/2016	W	4,21	4,21	1,48	6,85	1295,23	21600
17/11/2016	WSW	5,16	5,16	1,4	7,94	0,000	21600
18/11/2016	SW	4,00	4,00	1,5	6,59	808,57	21600
19/11/2016	N	2,57	2,57	1,66	4,69	250,95	21600
20/11/2016	WNW	2,86	2,86	1,62	5,10	0,000	21600
21/11/2016	NE	4,84	4,84	1,43	7,61	0,000	21600
22/11/2016	W	3,33	3,33	1,57	5,75	1295,23	21600
23/11/2016	WSW	6,07	6,07	1,33	8,88	0,000	21600
24/11/2016	WSW	6,06	6,06	1,33	8,87	0,000	21600
25/11/2016	SW	2,72	2,72	1,65	4,94	808,57	21600
26/11/2016	NNE	2,52	2,52	1,68	4,66	0,000	21600
27/11/2016	NNE	3,81	3,81	1,52	6,37	0,000	21600
28/11/2016	WNW	2,64	2,64	1,66	4,82	0,000	21600
29/11/2016	NNW	3,43	3,43	1,56	5,89	0,000	21600
30/11/2016	NNE	2,55	2,55	1,66	4,66	0,000	21600

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. Lanjutan

Open Water/ Restricted Fetch	t_{FETCH}	Kondisi Gelombang	H_0 (1)	T_0 (1)
	D		m	D
[9]	[10]	[11]	[12]	[13]
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
Open Water	73216,79	Duration Limited	0,474927	3,037892

Tabel 5. Lanjutan

$\frac{gH}{U^2}$ [14]	$\frac{gT}{U}$ [15]	$\frac{g^2 t_s}{U^3}$ [16]	Fully/Non fully Developed [17]	H_0 M [18]	T_0 D [19]
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
0,164217	5,595033	39781,77	Non Fully Developed	0,474927	3,037892
0,16322	5,575463	39444,07	Non Fully Developed	0,480161	3,053184
0,106796	4,367994	21780,94	Non Fully Developed	1,030336	4,331707

Hindcasting gelombang dilakukan untuk setiap data angin maksimum harian selama 10 tahun. Dari hasil *hindcasting* ini disusun rekapitulasi tinggi, periode dan arah gelombang terbesar dan dominan bulanan dari tahun 2007 s/d 2016.

Tabel 6. Tabel rekapitulasi arah, tinggi dan periode gelombang dari masing-masing fetch berdasarkan Hindcasting Gelombang tahun 2007 – 2016.

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang				MAX TIAP BULAN	
		B	BL	BD	U	ARAH DOMINAN	H-T
JANUARI	H (m)	1,483	0,000	0,000	1,372	B	1,483
	T (det)	5,118	0,000	0,000	4,939		5,118
FEBRUARI	H (m)	1,437	0,000	0,000	0,933	B	1,437
	T (det)	5,044	0,000	0,000	4,138		5,044
MARET	H (m)	1,254	0,000	0,000	1,012	B	1,254
	T (det)	4,740	0,000	0,000	4,297		4,740
APRIL	H (m)	1,282	0,000	0,833	0,776	B	1,282
	T (det)	4,788	0,000	3,929	3,804		4,788
MEI	H (m)	1,238	0,260	1,045	0,000	B	1,238
	T (det)	4,712	2,307	4,360	0,000		4,712
JUNI	H (m)	1,463	0,000	0,869	0,000	B	1,463
	T (det)	5,087	0,000	4,007	0,000		5,087
JULI	H (m)	1,373	0,000	0,894	0,000	B	1,373
	T (det)	4,941	0,000	4,060	0,000		4,941
AGUSTUS	H (m)	0,528	0,372	0,827	0,000	BD	0,827
	T (det)	3,188	2,716	3,916	0,000		3,916
SEPTEMBER	H (m)	0,867	0,000	0,678	0,410	B	0,867
	T (det)	4,002	0,000	3,577	2,839		4,002
OKTOBER	H (m)	1,165	0,000	0,618	0,000	B	1,165
	T (det)	4,582	0,000	3,427	0,000		4,582
NOVEMBER	H (m)	1,451	0,738	0,864	0,604	B	1,451
	T (det)	5,068	3,719	3,996	3,392		5,068
DESEMBER	H (m)	1,252	0,000	0,000	0,664	BD	0,249
	T (det)	4,736	0,000	0,000	3,541		2,259
MAX TIAP ARAH	H (m)	1,483	0,738	1,045	1,372	B	1,483
	T (det)	5,118	3,719	4,360	4,939		5,118

Dari tabel rekapitulasi di atas dapat diketahui bahwa gelombang dominan dan maksimum berasal dari arah barat. Hal ini disebabkan gelombang dari arah barat mempunyai daerah pembangkitan gelombang yang lebih besar.

Analisa Gelombang Dengan Periode Ulang Metode Gumbel

Hasil perhitungan analisis frekuensi gelombang dengan kala ulang Metode Gumbel dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Analisa Frekuensi Gelombang

NO	Tahun	H Max (m)			T Max (det)		
		H (m)	$H - \bar{H}_e$	$(H - \bar{H}_e)^2$	T	$(T - \bar{T}_e)$	$(T - \bar{T}_e)^2$
1	2007	1,282	-0,097	0,009	4,788	-0,161	0,026
2	2008	1,454	0,075	0,006	5,071	0,122	0,015
3	2009	1,451	0,072	0,005	5,068	0,119	0,014
4	2010	1,261	-0,118	0,014	4,752	-0,197	0,039
5	2011	1,282	-0,097	0,009	4,788	-0,161	0,026
6	2012	1,463	0,084	0,007	5,087	0,138	0,019
7	2013	1,417	0,038	0,001	5,013	0,064	0,004
8	2014	1,483	0,104	0,011	5,118	0,169	0,029
9	2015	1,257	-0,122	0,015	4,745	-0,204	0,041
10	2016	1,444	0,065	0,004	5,057	0,108	0,012
Σ		13,794		0,082	49,487		0,225
\bar{H}_e		1,379		\bar{T}_e	4,949		

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 8. Perhitungan Tinggi Gelombang Dengan Kala Ulang Tertentu (Metode Gumbel)

No	Periode Ulang Gelombang (Tahun)	\bar{H}_e (meter)	σ_{H_e}	σ_e	Y	Y_e	H_{1T} (meter)	\bar{T}_e (detik)	σ_{T_e}	T_{5T}
1	H ₁₀	1,379	0,095	0,94	2,2502	0,495	1,558	4,949	0,158	5,244
2	H ₂₀	1,379	0,095	1,06	2,9702	0,523	1,600	4,949	0,158	5,314
3	H ₃₀	1,379	0,095	1,11	3,3392	0,536	1,620	4,949	0,158	5,348
4	H ₅₀	1,379	0,095	1,16	3,9019	0,548	1,655	4,949	0,158	5,406
5	H ₁₀₀	1,379	0,095	1,20	4,6001	0,560	1,701	4,949	0,158	5,481

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 9. Tinggi dan Periode Beberapa Kala Ulang

Kala Ulang	Tinggi Gelombang (meter)	Periode (detik)
10	1,558	5,244
20	1,600	5,314
30	1,620	5,348
50	1,655	5,406
100	1,701	5,481

Analisa Transformasi Gelombang

Perhitungan Koefisien Refraksi (Metode Perhitungan Analitis)

Diambil contoh perhitungan potongan 6 dengan kala ulang 10 tahun, berdasarkan arah dominan dari gelombang yaitu arah barat.

Untuk arah Barat Potongan 6 :

$H_o = 1,558 \text{ m}$

$T = 5,244 \text{ detik}$

Analisis berikutnya dibuat pada tabel 10.

Perhitungan Koefisien Refraksi

Tabel 10. Perhitungan Refraksi Untuk Potongan 6 Arah Barat

ao	d	H _o	T	L _o	d/L _o	d/L
35	25	1,5580	5,2440	42,8993	0,5828	0,5836
34,94	20	1,5511	4,8089	36,0761	0,5544	0,5554
34,87	15	1,5419	4,8144	36,1578	0,4148	0,4191
34,46	10	1,5057	4,8319	36,4212	0,2746	0,2894
32,46	5	1,4000	4,8479	36,6627	0,1364	0,1719
25,20	1	1,2374	4,7705	35,5025	0,0282	0,0690
10,00	0,5	1,3526	4,8381	36,5148	0,0137	0,0474

Ket : untuk nilai d/L, nilai tersebut didapat secara manual menggunakan tabel pembacaan d/L dari buku Triatmodjo B, "Teknik Pantai"

Tabel 10. Lanjutan

L	Co	C	sin a	a	cos ao/cos a	Kr
42,8376	8,1806	8,1689	0,5728	34,9423	0,9993	0,9996
36,0077	7,5019	7,4877	0,5717	34,8664	0,9991	0,9995
35,7903	7,5104	7,4341	0,5659	34,4617	0,9951	0,9976
34,5485	7,5377	7,1501	0,5368	32,4633	0,9772	0,9885
29,0806	7,5627	5,9986	0,4258	25,1984	0,9325	0,9656
14,4848	7,4420	3,0363	0,1737	10,0033	0,9188	0,9585
10,5485	7,5474	2,1803	0,0502	2,8763	0,9860	0,9930

Perhitungan Koefisien Shoaling

Tabel 11. Perhitungan Shoaling Untuk Potongan 6 Arah Barat

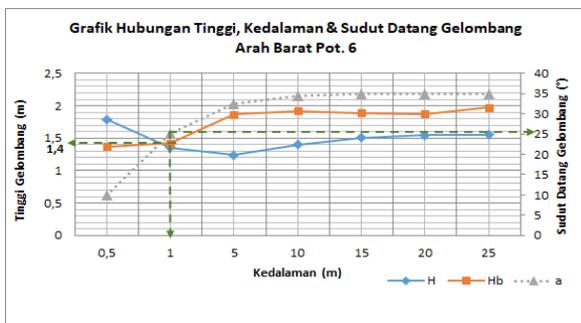
Lo	d/Lo	d/L	L	Kr	Ks	H
42,8993	0,5828	0,5836	42,8376	0,9996	0,9960	1,5511
36,0761	0,5544	0,5554	36,0077	0,9995	0,9945	1,5419
36,1578	0,4148	0,4191	35,7903	0,9976	0,9789	1,5057
36,4212	0,2746	0,2894	34,5485	0,9885	0,9406	1,4000
36,6627	0,1364	0,1719	29,0806	0,9656	0,9153	1,2374
35,5025	0,0282	0,0690	14,4848	0,9585	1,1404	1,3526
36,5148	0,0137	0,0474	10,5485	0,9930	1,3347	1,7926

Perhitungan Gelombang Pecah

Tabel 12. Perhitungan Gelombang Pecah Untuk Potongan 6 Arah Barat

H'o	Ho'/gT ²	m	Hb/Ho'	Hb
1,5643	0,0058	0,091	1,260	1,9711
1,5597	0,0069	0,091	1,200	1,8717
1,5752	0,0069	0,091	1,200	1,8902
1,6008	0,0070	0,091	1,200	1,9210
1,5295	0,0066	0,091	1,220	1,8660
1,0851	0,0049	0,091	1,310	1,4215
1,0134	0,0044	0,091	1,350	1,3681

Selanjutnya dibuat grafik hubungan tinggi, kedalaman dan sudut datang gelombang.



Gambar 10. Grafik Hubungan Tinggi, Kedalaman & Sudut Datang Gelombang Arah Barat Pot. 6

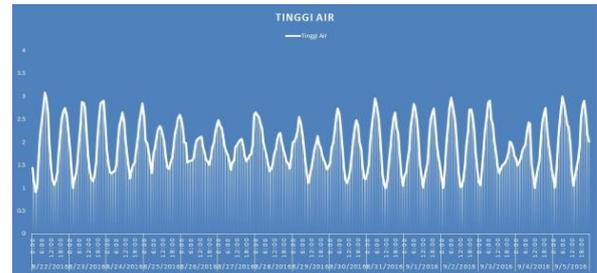
Berdasarkan grafik hubungan tinggi, kedalaman, dan sudut datang gelombang di potongan 6 maka diperoleh :

Gelombang pecah pada kedalaman = 1 m

Analisa Pasang Surut

Bidang muka air acuan di lokasi pekerjaan dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Muka Air Tertinggi (Highest Water Spring/HWS) : 3.17 m atau 2.55 m LWS
2. Muka Air Rata-Rata (Mean Sea Level/MSL) : 1.92 m atau 1.29 m LWS
3. Muka Air Terendah (Lowest Water Spring/LWS) : 0.62 m atau 0.00 m LWS



Gambar 12. Grafik Pasang Surut di Pelabuhan Manado

Sumber : Hasil Survei Lapangan dan Analisa Konsultan, 2016

Tabel 13. Nilai Elevasi Penting Sesuai Metode Admiralty

Nilai Elevasi-elevasi Penting	rambu	LWS	MSL	Jumlah Kejadian
Highest Water Spring (HWS)	317.14	255.07	125.12	Jumlah Kejadian 1
Mean High Water Spring (MHWS)	296.14	234.07	104.12	Jumlah Kejadian 493
Mean High Water Level (MHWL)	247.93	185.86	55.91	Jumlah Kejadian 14093
Mean Sea Level (MSL)	192.02	129.95	0	Jumlah Kejadian 175200
Mean Low Water Level (MLWL)	134.78	72.71	-57.24	Jumlah Kejadian 14102
Mean Low Water Spring (MLWS)	86.95	24.88	-105.07	Jumlah Kejadian 493
Lowest Water Spring (LWS)	62.07	0	-129.95	Jumlah Kejadian 1

Sumber : Hasil Perhitungan dan Analisa Konsultan, 2016.

Analisa Perhitungan Run-up dan Overtopping

Perhitungan Run-up pada Rubble Mound Breakwater .

Tabel 14. Perhitungan Tinggi Run-up pada Kedalaman 3,5 m dengan Grafik SPM

Muka Air Diam (SWL)	Sea Level Rise	Ho	Koefisien Refraksi	Tinggi Gelombang	Periode Gelombang	H'o/gT ²
(m)	(SLR)	(m)	(Kr)	[H'o (m)=Ho*Kr]	[T[det]]	
HHWL	0,05	1,483	1	1,483	4,8397	0,0065
MSL	0,05	1,483	1	1,483	4,8397	0,0065
LLWL	0,05	1,483	1	1,483	4,8397	0,0065

Tabel 14. Lanjutan

Kedalaman di kaki Bangunan [ds(m)]	ds/H'o	R/H'o	Faktor Koreksi (k)	Run-up Gelombang [R (m)]	Tinggi Bangunan [h (m)]	ds (m)+R (m)	Keterangan
6,1	4,11	0,90	1,164	1,554	10,3	7,654	Non Overtopping :h>ds+R
4,85	3,27	0,96	1,164	1,657	10,3	6,507	Non Overtopping :h>ds+R
3,55	2,39	1,099	1,164	1,897	10,3	5,447	Non Overtopping :h>ds+R

Tabel 15. Perhitungan Tinggi *Run-up* pada Kedalaman 3,5 m dengan Grafik *Run-up* Gelombang Iribaren

Sea Level Rise (SLR) (m)	Sudut Kemiringan (θr) (derajat)	Ho (m)	Koefisien Refraksi (Kr)	Tinggi Gelombang Ekuivalen [H'o (m)=Ho*Kr]	Periode Gelombang [T (det)]	Lo
0,05	33,7	1,483	1	1,483	4,8397	36,5394
0,05	33,7	1,483	1	1,483	4,8397	36,5394
0,05	33,7	1,483	1	1,483	4,8397	36,5394

Tabel 15. Lanjutan

Kedalaman di Kaki Bangunan [ds(m)]	Ir	Ru/H	Run-up Gelombang [R (m)]	Tinggi Bangunan [h (m)]	ds (m)+ R (m)	Keterangan
6,1	3,31	1,246	1,848	10,3	7,948	Non Overtopping h>ds+R
4,85	3,31	1,246	1,848	10,3	6,697	Non Overtopping h>ds+R
3,55	3,31	1,246	1,848	10,3	5,398	Non Overtopping h>ds+R

Perhitungan Overtopping

Tabel 16. Hasil Perhitungan *Overtopping* pada *Breakwater*

Muka Air Diam (SWL) (m)	Kedalaman Laut (m)	Run-up Gelombang [R(m)]	Tinggi Bangunan [h(m)]	Kedalaman di Kaki Bangunan [ds(m)]	h(m)-ds(m)	Syarat [0<(h-ds)<R]	Keterangan
HHWL	2,2	1,692	9	4,8	4,2	0<(4,2),R<(4,2)	Tidak Terjadi Overtopping
	2,8	1,536	9,3	5,4	3,9	0<(3,9),R<(3,9)	Tidak Terjadi Overtopping
	3	1,519	9,8	5,6	4,2	0<(4,2),R<(4,2)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,5	1,554	10,3	6,1	4,2	0<(4,2),R<(4,2)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,6	1,552	10,4	6,2	4,2	0<(4,2),R<(4,2)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,7	1,533	10,3	6,2	4,2	0<(4,2),R<(4,2)	Tidak Terjadi Overtopping
MSL	3,8	1,415	10,6	6,4	4,2	0<(4,2),R<(4,2)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,9	1,398	10,7	6,5	4,2	0<(4,2),R<(4,2)	Tidak Terjadi Overtopping
	2,2	1,897	9	3,55	5,45	0<(5,45),R<(5,45)	Tidak Terjadi Overtopping
	2,8	1,885	9,3	4,15	5,15	0<(5,15),R<(5,15)	Tidak Terjadi Overtopping
	3	1,882	9,8	4,35	5,45	0<(5,45),R<(5,45)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,5	1,657	10,3	4,85	5,45	0<(5,45),R<(5,45)	Tidak Terjadi Overtopping
LLWL	3,6	1,650	10,4	4,95	5,45	0<(5,45),R<(5,45)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,7	1,647	10,5	5,05	5,45	0<(5,45),R<(5,45)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,8	1,643	10,6	5,15	5,45	0<(5,45),R<(5,45)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,9	1,640	10,7	5,25	5,45	0<(5,45),R<(5,45)	Tidak Terjadi Overtopping
	2,2	1,933	9	2,25	6,75	0<(6,75),R<(6,75)	Tidak Terjadi Overtopping
	2,8	1,930	9,3	2,85	6,45	0<(6,45),R<(6,45)	Tidak Terjadi Overtopping
LLWL	3	1,899	9,8	3,05	6,75	0<(6,75),R<(6,75)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,5	1,897	10,3	3,55	6,75	0<(6,75),R<(6,75)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,6	1,895	10,4	3,65	6,75	0<(6,75),R<(6,75)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,7	1,892	10,5	3,75	6,75	0<(6,75),R<(6,75)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,8	1,888	10,6	3,85	6,75	0<(6,75),R<(6,75)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,9	1,885	10,7	3,95	6,75	0<(6,75),R<(6,75)	Tidak Terjadi Overtopping

Perhitungan *Run-up* pada Rubble Mound Breakwater Berdasarkan Periode Ulang

Tabel 17. Perhitungan Tinggi *Run-up* pada Kedalaman 3,5 m dengan Grafik SPM

Periode Ulang (Tr)	Sea Level Rise (SLR) (m)	Koefisien Refraksi (Kr)	Tinggi gelombang [H'o(m)=Ho*Kr]	Periode Gelombang [T (det)]	H'o/gT ²
10	0,05	1,00	1,558	5,244	0,0058
20	0,05	1,00	1,600	5,314	0,0058
30	0,05	1,00	1,620	5,348	0,0058
50	0,05	1,00	1,655	5,406	0,0058
100	0,05	1,00	1,701	5,481	0,0058

Tabel 17. Lanjutan

Kedalaman di kaki bangunan [ds(m)]	ds/H'o	Run-up Gelombang [R (m)]	Tinggi Bangunan [h (m)]	ds (m)+ R (m)	Keterangan
6,1	3,915	2,089	10,3	8,189	Non Overtopping h>ds+R
6,1	3,813	2,146	10,3	8,246	Non Overtopping h>ds+R
6,1	3,765	2,173	10,3	8,273	Non Overtopping h>ds+R
6,1	3,686	2,220	10,3	8,320	Non Overtopping h>ds+R
6,1	3,586	2,282	10,3	8,382	Non Overtopping h>ds+R

Tabel 18. Perhitungan Tinggi *Run-up* pada Kedalaman 3,5 m dengan Grafik *Run-up* Gelombang Iribaren

Periode Ulang (Tr)	Sea Level Rise (SLR) (m)	Koefisien Refraksi (Kr)	Sudut Kemiringan (θr) (derajat)	Tinggi gelombang [H'o(m)=Ho*Kr]	Periode Gelombang [T (det)]	Lo
10	0,05	1	33,7	1,558	5,244	42,8993
20	0,05	1	33,7	1,600	5,314	44,0522
30	0,05	1	33,7	1,620	5,348	44,6177
50	0,05	1	33,7	1,655	5,406	45,5907
100	0,05	1	33,7	1,701	5,481	46,8645

Tabel 18. Lanjutan

Kedalaman di Kaki Bangunan [ds(m)]	Ir	Ru/H	Run-up Gelombang [R (m)]	Tinggi Bangunan [h (m)]	ds (m)+ R (m)	Keterangan
4,85	3,4996	1,2394	1,931	10,3	6,780	Non Overtopping h>ds+R
4,85	3,4994	1,2396	1,933	10,3	6,833	Non Overtopping h>ds+R
4,85	3,5000	1,2400	2,009	10,3	6,858	Non Overtopping h>ds+R
4,85	3,5003	1,2403	2,053	10,3	6,902	Non Overtopping h>ds+R
4,85	3,5006	1,2404	2,110	10,3	6,959	Non Overtopping h>ds+R

Tabel 19. Hasil Perhitungan *Overtopping* pada *Breakwater* Periode Ulang 10 Tahun

Muka Air Diam (SWL) (m)	Kedalaman Laut (m)	Run-up Gelombang [R(m)]	Tinggi Bangunan [h(m)]	Kedalaman di Kaki Bangunan [ds(m)]	h(m)-ds(m)	Syarat [0<(h-ds)<R]	Keterangan
HHWL	2,2	2,085	9	4,8	4,2	0<(4,2),R<(4,2)	Tidak Terjadi Overtopping
	2,8	2,067	9,3	5,4	3,9	0<(3,9),R<(3,9)	Tidak Terjadi Overtopping
	3	2,080	9,8	5,6	4,2	0<(4,2),R<(4,2)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,5	2,049	10,3	6,1	4,2	0<(4,2),R<(4,2)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,6	2,031	10,4	6,2	4,2	0<(4,2),R<(4,2)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,7	2,022	10,5	6,3	4,2	0<(4,2),R<(4,2)	Tidak Terjadi Overtopping
MSL	3,8	2,017	10,6	6,4	4,2	0<(4,2),R<(4,2)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,9	2,004	10,7	6,5	4,2	0<(4,2),R<(4,2)	Tidak Terjadi Overtopping
	2,2	2,246	9	3,55	5,45	0<(5,45),R<(5,45)	Tidak Terjadi Overtopping
	2,8	2,176	9,3	4,15	5,15	0<(5,15),R<(5,15)	Tidak Terjadi Overtopping
	3	2,212	9,8	4,35	5,45	0<(5,45),R<(5,45)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,5	2,013	10,3	4,85	5,45	0<(5,45),R<(5,45)	Tidak Terjadi Overtopping
LLWL	3,6	2,214	10,4	4,95	5,45	0<(5,45),R<(5,45)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,7	2,185	10,5	5,05	5,45	0<(5,45),R<(5,45)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,8	2,086	10,6	5,15	5,45	0<(5,45),R<(5,45)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,9	2,105	10,7	5,25	5,45	0<(5,45),R<(5,45)	Tidak Terjadi Overtopping
	2,2	1,995	9	2,25	6,75	0<(6,75),R<(6,75)	Tidak Terjadi Overtopping
	2,8	2,067	9,3	2,85	6,45	0<(6,45),R<(6,45)	Tidak Terjadi Overtopping
LLWL	3	2,031	9,8	3,05	6,75	0<(6,75),R<(6,75)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,5	2,018	10,3	3,55	6,75	0<(6,75),R<(6,75)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,6	2,008	10,4	3,65	6,75	0<(6,75),R<(6,75)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,7	2,022	10,5	3,75	6,75	0<(6,75),R<(6,75)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,8	2,069	10,6	3,85	6,75	0<(6,75),R<(6,75)	Tidak Terjadi Overtopping
	3,9	2,002	10,7	3,95	6,75	0<(6,75),R<(6,75)	Tidak Terjadi Overtopping

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian terhadap *breakwater* di kawasan Pelabuhan Manado pada area pengembangan melalui analisis data yang dilakukan terhadap pengaruh transformasi gelombang dan pengaruh *run-up* serta *overtopping* maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Gelombang di perairan Pelabuhan Manado didominasi oleh gelombang dari arah Barat dengan gelombang maksimum terjadi pada

- bulan Januari 2014 dengan tinggi 1,483 m dan periode 5,118 det.
2. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode analitis diperoleh nilai koefisien refraksi yang terjadi berkisar antara 0,8968 sampai 1,0000 dan koefisien shoaling berkisar pada 0,9147 sampai 1,3372.
 3. Tinggi gelombang pecah yang didapatkan dari hasil perhitungan berkisar pada 1,1706 m sampai 2,1578 m pada kedalaman 0,5 m sampai 25 m.
Tinggi gelombang pecah (H_b) = 2,1578 m
Gelombang pecah pada kedalaman (D_b) = 1m
 4. Bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) yang berada di bagian utara di Pelabuhan Manado berdasarkan tata letak bangunan yang ada sekarang, dari data analisis menggunakan data angin sebagai faktor pembangkit gelombang, di dapat dominan dari sudut Barat (270°) untuk sementara *breakwater* dapat meredam gelombang yang datang dari arah tersebut, namun masih ada kemungkinan bahwa gelombang yang datang dari arah barat bisa masuk ke dalam kolam pelabuhan. Sehingga untuk memaksimalkan fungsi dan kinerja dari *breakwater*. Maka, perlu adanya penambahan panjang dan tinggi *breakwater* yang berada di bagian selatan.
 5. Dari hasil perhitungan *run-up* terhadap eksisting *breakwater* di area pengembangan didapat tinggi *run-up* maksimum pada kedalaman 2,2 m yang di akibatkan oleh elevasi *Mean Sea Level (MSL)* yaitu sebesar 2,456 m dan tidak terjadi *overtopping* berdasarkan syarat $[0 \leq (h-ds) < R]$. (Kala ulang 100 Tahun)
 6. Berdasarkan hasil penelitian terhadap *breakwater* eksisting pada area

pengembangan yang berada di utara menunjukkan bahwa *breakwater* dikatakan aman terhadap gelombang yang ada sekarang. Maka, efektifitas kinerja *breakwater* dikatakan masih efektif dalam melindungi ketenangan dalam kolam pelabuhan.

Saran

1. Karena perhitungan mengenai transformasi gelombang yang dilakukan pada penelitian ini hanya dengan pendekatan empiris, maka perlu dilakukan penelitian tentang tinggi gelombang dengan menggunakan alat pencatat gelombang (*wave recorder*), serta penyelesaian analisa tranformasi gelombang dengan menggunakan software terkait seperti SMS (*Surface Modeling System*) yang dapat dijadikan sebagai nilai pembanding.
2. Dengan adanya pemecah gelombang, arus laut dan gelombang akan tereduksi dalam hal ini justru akan memicu terjadinya sedimentasi disekitar pemecah gelombang. Hal ini perlu dilakukan analisis mengenai kajian terhadap *breakwater* seperti pengaruh sedimentasi akibat adanya sungai Tondano dan dikaji lebih lanjut agar tidak terjadi pendangkalan dasar laut.
3. Meskipun tipe pemecah gelombang sisi miring lebih mudah diperbaiki, namun jika nanti terjadi kerusakan pada pemecah gelombang ini, perlu secara rutin diperhatikan karena kerusakannya dapat terjadi secara berangsur-angsur.
4. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan analisis mengenai kajian terhadap stabilitas daya dukung dari bangunan *breakwater*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2016. *Foto Satelit Lokasi Pelabuhan Manado*. Diakses, dari www.googlemaps.com, pada Desember 2016.
- Aya Duck. *Gelombang*.http://www.academia.edu/3250863/Gelombang_Laut, diakses Desember 2015.
- CERC. 1984. *Shore Protection Manual*. US Army Coastal Engineering, Research Center. Washington.
- Danial, 2008. "*Rekayasa Pantai*".

Dinas Hidro - Oseanografi TNI Angkatan Laur, 2017. *Daftar Pasang Surut Kepulauan Indonesia*. Jakarta : Dinas Hidro - Oseanografi

Hadikusumah. *Karakteristik Gelombang Dan Arus Di Eretan, Indramayu*. Bidang Dinamika Laut, Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI, Jakarta.

Nur Yuwono, 1992. "*Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai*", Vol. 1 dan 2, UGM. *Pantai Belang*", *Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado*.

Triatmodjo, B. 2003. "*Perencanaan Bangunan Pantai*". Beta offset. Yogyakarta.

Triatmodjo, B. 2003. "*Perencanaan Pelabuhan*", Beta offset. Yogyakarta.

Triatmodjo, B. 1999. "*Teknik Pantai*", Beta offset. Yogyakarta.

Halaman ini sengaja dikosongkan