

KONDISI GELOMBANG DI WILAYAH PERAIRAN PANTAI LABUHAN HAJI *The Wave Conditions in Labuhan Haji Beach Coastal Territory*

Baiq Septiarini Lanura *, Eko Pradjoko **, Bambang Harianto**

Abstrak

Gelombang yang merambat dari perairan dalam (laut) menuju ke perairan dangkal (pantai) akan mengalami perubahan perilaku gelombang (transformasi) dari sifat dan parameter gelombang, seperti proses refraksi, shoaling, refleksi, maupun difraksi akibat pengaruh karakteristik serta ada atau tidaknya bangunan yang menghalanginya. Adanya bangunan pelabuhan menyebabkan gelombang menjadi terganggu. Seperti yang terjadi pada salah satu pantai yang terletak di Kabupaten Lombok Timur, tepatnya di Pantai Labuhan Haji, bangunan pelabuhan yang dibangun sekitar tahun 2009 menyebabkan kondisi gelombang di sekitar pelabuhan menjadi tidak stabil yang ditunjukkan dengan adanya erosi dan sedimentasi pada kedua sisi bangunan pelabuhan. Kondisi gelombang yang tidak stabil kemudian mempengaruhi besar kecilnya laju sedimen arah sejajar pantai pada kedua sisi bangunan tersebut.

Analisa kondisi gelombang akibat bangunan pelabuhan dilakukan dengan mensimulasikan gelombang hasil prakiraan NOAA/NWS/NCEP Marine Modelling And Analysis Branch tahun 2007-2008 dengan 3 (tiga) variasi gelombang. Simulasi dilakukan 7 tahap untuk 1 kali simulasi tahap validasi, serta masing-masing 3 tahap untuk simulasi sebelum dan sesudah adanya bangunan pelabuhan. Simulasi gelombang ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SMS 8.0 model CGWAVE.

Bangunan pelabuhan mengakibatkan tinggi gelombang di depan bangunan pelabuhan meningkat hingga 31,06 % yaitu dari 1,32 m menjadi 1,73 m akibat proses refleksi, dan menurun hingga 24,741 % yaitu dari 1,063 m menjadi 0,8 m akibat proses difraksi apabila gelombang datang dari arah tegak lurus pantai. Sementara itu, saat gelombang disimulasikan datang dari arah kanan bangunan, tinggi gelombang menurun hingga 79,9 % dari 0,835 m menjadi 0,1681 m di sisi kanan dan dalam kolam pelabuhan akibat proses difraksi, serta meningkat hingga 27,7 % dari 0,8073 m menjadi 1,031 m akibat proses refleksi. Berdasarkan hasil analisa pola sedimen transpor, diperoleh bahwa pola gelombang di sisi kanan bangunan menyebabkan sedimentasi akibat mengendapnya sedimen karena terhalang oleh bangunan. Sedangkan di sisi kiri bangunan pelabuhan terjadi erosi akibat meningkatnya pola transportasi sedimen.

Kata kunci : Gelombang, Bangunan pelabuhan, Tinggi gelombang, Simulasi, Labuhan Haji

PENDAHULUAN

Pantai merupakan daerah tepi perairan yang di pengaruhi oleh muka air pasang tertinggi dan muka air surut terendah serta tempat terjadinya penghancuran energi gelombang. Gelombang yang menyerang pantai dapat menimbulkan arus dan transportasi sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, yang kemudian dalam waktu tertentu dapat menimbulkan perubahan profil pantai. Perubahan profil pantai yang terjadi ditunjukkan dengan adanya erosi dan sedimentasi di wilayah pantai tersebut, yang kemudian membentuk suatu profil pantai yang sesuai dengan kondisi wilayah pantai dan karakteristik gelombang yang terjadi.

Gelombang yang merambat dari perairan dalam (laut) menuju ke perairan dangkal (pantai) akan mengalami perubahan perilaku gelombang (transformasi) dari sifat dan parameter gelombang, seperti proses refraksi, shoaling, refleksi, maupun difraksi akibat pengaruh karakteristik dan bentuk pantai. Gelombang yang merambat menuju pantai pada suatu kedalaman tertentu akan pecah karena adanya ketidakstabilan perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Di daerah gelombang

* Alumni Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram

** Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram

pecah inilah kemudian akan terjadi transportasi sedimen yang selanjutnya akan menyebabkan perubahan profil pantai yang di tunjukkan dengan erosi dan sedimentasi di wilayah tersebut.

Suatu pantai mengalami erosi, sedimentasi atau tetap stabil tergantung pada sedimen yang masuk dan yang meninggalkan pantai tersebut yang terjadi secara alami oleh aktifitas gelombang. Erosi dan sedimentasi ini juga dapat terjadi karena faktor buatan yang di sebabkan oleh kegiatan manusia seperti salah satunya adalah pembangunan pelabuhan. Di Kabupaten Lombok Timur, tepatnya di desa Labuhan haji yakni Pantai Labuhan Haji, sekitar tahun 2009 telah dibangun sebuah konstruksi pelabuhan lengkap dengan prasarana penunjang lainnya seperti pemecah gelombang dan bangunan-bangunan penunjang pelabuhan lainnya. Hasil survey kedalaman laut (bathymetri) menunjukkan bahwa kedalaman perairan di sekitar lokasi konstruksi Pelabuhan Labuhan Haji memiliki kondisi yang cukup landai dengan kedalaman 0.00-13.00 m sejauh ± 1 km.

Konstruksi pelabuhan mempengaruhi karakteristik dan arah gelombang yang terhalang oleh bangunan tersebut sehingga mempengaruhi laju transportasi sedimen khususnya arah sejajar pantai. Hal ini di tunjukkan dengan adanya pendangkalan di bagian selatan pelabuhan dan erosi di bagian utara pelabuhan. Erosi ini kemudian mengakibatkan mundurnya garis pantai. Memperhatikan kondisi tersebut, maka perlu diadakan kajian lebih lanjut mengenai kondisi gelombang di wilayah perairan pantai Labuhan Haji setelah adanya pembangunan konstruksi pelabuhan serta pengaruhnya terhadap kapasitas transportasi sedimen di bagian utara dan selatan pelabuhan, yang kemudian dimungkinkan dapat memberikan solusi penanganannya. Mengingat bahwa pantai Labuhan Haji ini merupakan salah satu pantai yang di dimanfaatkan sebagai tempat wisata yang banyak di kunjungi oleh masyarakat, serta merupakan daerah tangkapan ikan yang banyak di dimanfaatkan oleh warga Labuhan Haji yang memiliki mata pencaharian sebagai nelayan.

TINJAUAN PUSTAKA

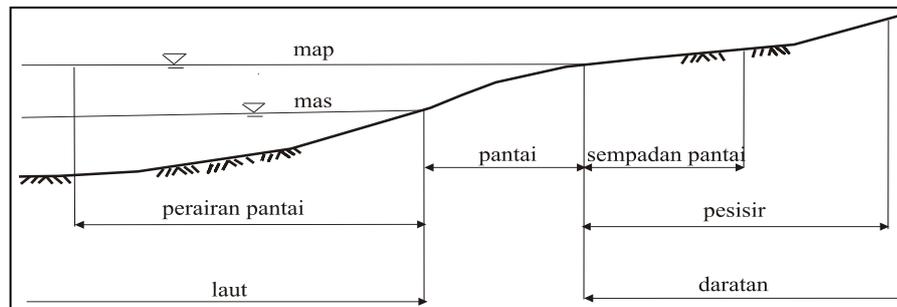
Bambang Triadmojo (1999), dalam bukunya Teknik Pantai menyebutkan bahwa transportasi sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya.

Transportasi sedimen pantai di bedakan menjadi dua jenis yakni transpor menuju dan meninggalkan pantai (onshore-offshore transport) yang mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai, dan transpor sepanjang pantai (longshore transport) mempunyai arah rata-rata sejajar pantai.

Angkutan tegak lurus pantai terutama ditentukan oleh kemiringan gelombang, ukuran sedimen dan kemiringan pantai. Pada umumnya, gelombang dengan kemiringan besar menggerakkan material ke arah laut, sedangkan gelombang kecil dengan periode panjang menggerakkan material ke arah darat. Angkutan sedimen sepanjang pantai banyak menyebabkan permasalahan seperti pendangkalan di pelabuhan, erosi pantai dan sebagainya.

Iswahyudia (2007), mengungkapkan bahwa berdasarkan analisa data lapangan di pantai kawasan Tanjung Kayangan, menunjukkan bahwa gelombang menghasilkan arus sejajar pantai dan mengakibatkan erosi – sedimentasi di pantai sebelah timur Tanjung Kayangan. Pengendapan di ujung Tanjung Kayangan merupakan hasil indikasi akumulasi angkutan sedimen yang berasal dari pantai timur Tanjung Kayangan.

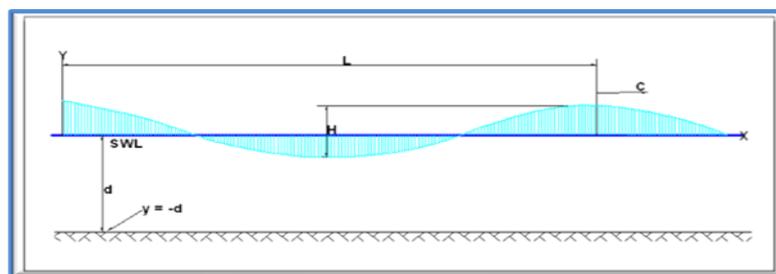
Isnati (2009), dalam penelitiannya terhadap perubahan garis pantai akibat adanya konstruksi pelabuhan di pantai Labuhan Haji Lombok Timur, melalui hasil permodelan garis pantai dengan menggunakan GENESIS dan groin sebagai alternative penanggulangannya, memperkirakan bahwa sedimentasi terbesar terjadi pada tahun ke tiga di tandai dengan majunya garis pantai sejauh 118.82 m pada pias 16 (utara pelabuhan) dari garis pantai awal. Sedangkan erosi terbesar terjadi pada pias 51 (selatan pelabuhan) dan ditandai dengan mundurnya garis pantai 5.16 m dari posisi garis pantai awal.



Gambar 1 Definisi pantai (Bambang Triadmojo, 1990)

Ada dua istilah tentang kepantaian dalam bahasa Indonesia yang masih rancu pemakaiannya, yaitu pesisir (coast) dan pantai (shore). Pesisir, merupakan daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut, dan perembesan air laut, sedangkan pantai merupakan daerah di tepi perairan yang di pengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Ditunjukkan oleh Gambar 1.

Gelombang adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut. Gelombang laut disebabkan oleh angin. Angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan, menyebabkan riak-riak, alun/bukit, dan berubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transport sedimen, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pelindung pantai.



Gambar 2 Sketsa definisi gelombang (Sumber: Triatmodjo 1999)

Gambar 2 menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem koordinat x-y dimana gelombang menjalar pada arah sumbu x.

Beberapa notasi yang digunakan adalah:

d : jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut), a : amplitudo gelombang, H : tinggi gelombang = $2a$, L : panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan, T

: periode gelombang, yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya, C : kecepatan rambat gelombang = L/T

Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air d dan panjang gelombang L , (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu:

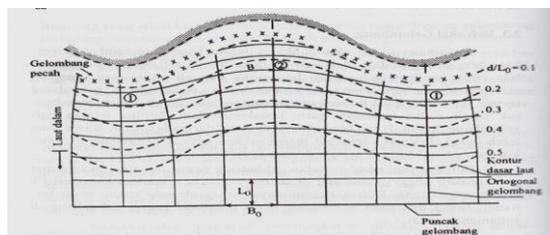
- Gelombang di laut dangkal jika $d/L \leq 1/20$
- Gelombang di laut transisi jika $1/20 < d/L < 1/2$
- Gelombang di laut dalam jika $d/L \geq 1/2$

Gelombang dapat dibedakan menurut gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dapat dibandingkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak, dan sebagainya.

Gelombang yang bergerak menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi dan pendangkalan gelombang, difraksi, refleksi dan gelombang pecah.

Refraksi dan pengaruh pendangkalan, difraksi, refleksi gelombang, dan gelombang pecah akan menentukan tinggi gelombang dan pola (bentuk) garis puncak gelombang di suatu tempat di daerah pantai. Tinggi gelombang dan arah datangnya gelombang di pantai adalah penting, misalnya di dalam menentukan arus dan transport sedimen di daerah pantai.

Refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Di daerah dimana kedalaman air lebih besar dari setengah panjang gelombang, yaitu di laut dalam, gelombang menjalar tanpa dipengaruhi dasar laut. Tetapi di laut transisi dan dangkal, dasar laut mempengaruhi gelombang. Refraksi dan pendangkalan gelombang (wave shoaling) akan dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai. Perubahan arah gelombang karena refraksi tersebut menghasilkan konvergensi (penguncupan) atau divergensi (penyebaran) energi gelombang dan mempengaruhi energi gelombang yang terjadi di suatu tempat di daerah pantai. Refraksi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Refraksi Gelombang

Gambar 3 menunjukkan contoh refraksi gelombang di daerah pantai yang mempunyai garis kontur dasar laut dan garis pantai yang tidak teratur. Suatu deretan gelombang yang di laut dalam mempunyai panjang gelombang L_0 dan garis puncak gelombang sejajar bergerak menuju pantai.

Anggapan yang di gunakan dalam studi refraksi gelombang adalah :

1. Energi gelombang antara dua ortogonal adalah konstan

2. Arah penjalaran gelombang tegak lurus pada puncak gelombang, yaitu dalam arah ortogonal gelombang.
3. Cepat rambat gelombang yang mempunyai periode tertentu di suatu tempat hanya tergantung pada kedalaman di tempat tersebut.
4. Perubahan topografi dasar adalah berangsur-angsur
5. Gelombang mempunyai puncak yang panjang, periode konstan, amplitude kecil dan monokromatik
6. Pengaruh arus, angin dan refleksi dari pantai dan perubahan topografi dasar laut di abaikan.
7. Persamaan cepat rambat gelombang adalah :

$$C^2 = \frac{gL}{2\pi} \tan h \frac{2\pi d}{L} \dots\dots\dots (1)$$

Didalam laut dalam, persamaan menjadi :

$$C_0^2 = \frac{gL}{2L} \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa C_0 tidak tergantung pada kedalaman, jadi di laut dalam gelombang tidak mengalami refraksi. Di laut transisi dan laut dangkal, pengaruh refraksi semakin besar.

Di laut transisi, kecepatan rambat di hitung dengan persamaan, sedang dilaut dangkal persamaan tersebut menjadi :

$$C = \sqrt{gd} \dots\dots\dots (3)$$

Energi total gelombang tiap satuan lebar gelombang adalah :

$$E = \frac{\rho g H^2 L}{8} \dots\dots\dots (4)$$

Sedang tenaga gelombang adalah :

$$P = \frac{nE}{T} \dots\dots\dots (5)$$

Di pandang dari garis ortogonal yang melintas dari laut dalam menuju pantai dan dianggap tidak ada energi gelombang yang keluar dari lintasan tersebut. Tenaga yang terkandung diantara dua garis ortogonal dapat dianggap konstan. Apabila jarak antar garis ortogonal adalah b, maka tenaga gelombang di laut dalam dan di sautu titik di laut yang lebih dangkal adalah :

$$P_0 = \frac{n_0 E_0 b_0}{T_0} \dots\dots\dots (6)$$

$$P = \frac{n E b}{T} \dots\dots\dots (7)$$

Tenaga gelombang yang tersimpan diantara dua garis ortogonal gelombang sepanjang lintasannya adalah konstan.

Jika persamaan di distribusikan kedalam persamaan diatas, maka :

$$\frac{H^2}{H_0^2} = \frac{n_0 E_0 b_0}{b n L} \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{m_0 L_0}{n L}} \sqrt{\frac{b_0}{b}} \dots\dots\dots (9)$$

Suku pertama pada persamaan diatas adalah pengaruh pendangkalan, sedangkan suku kedua adlah pengaruh garis ortogonal konvergen atau divergen yang di sebabkan oleh refraksi gelombang. Kedua suku tersebut dikenal sebagai koefisien pendangkalan K_s dan koefisien refraksi K_r sehingga persamaan menjadi

$$H = K_s K_r H_0 \dots\dots\dots (9)$$

Koefisien pendangkalan K_s merupakan fungsi panjang gelombang dan kedalaman air. Koefisien tersebut untuk berbagai nilai d/L_0 di berikan dalam tabel L-1. Persamaan dapat digunakan untuk menghitung tinggi gelombang di laut transisi dan dangkal, berdasarkan tinggi gelombang di laut dalam dan jika jarak antara dua ortogonal (b dan b_0) di ketahui dari (studi refraksi).

Karena $K_s = H/H'_0$, sehingga persamaan dapat ditulis menjadi :

$$\frac{H}{H_0} = \frac{H}{H'_0} K_r \dots\dots\dots (10)$$

$$\frac{H'_0}{H_0} = K_r \dots\dots\dots (11)$$

$$H'_0 = K_r H_0 \dots\dots\dots (12)$$

Salah satu persamaan yang di gunakan untuk memodelkan transformasi gelombang seperti difraksi, refraksi dan shoaling adalah bersifat linier dan pertama kali di usulkan oleh Berkhoff (1982) yang dikenal sebagai persamaan *mild slope equation*. Persamaan ini, di teliti kembali oleh Balas dan Inan 2002 untuk bathimetri yang tidak teratur (irregular) dengan tipe persamaan parabolic (*parabolic mild slope equation*). Persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

$$\nabla(cc_g \nabla \eta) + k^2 cc_g \eta = 0 \dots\dots\dots (13)$$

dengan : ∇ : operator matematik ($\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}$), c : kecepatan gelombang (m/detik), c_g :kecepatan kelompok gelombang (m/detik), k : angka gelombang ($2\pi/L$), η : elevasi muka air laut (m)

Transportasi sedimen sepanjang pantai banyak menyebabkan permasalahan seperti pendangkalan di pelabuhan, erosi pantai dan sebagainya. Oleh karena itu prediksi jumlah angkutan sedimen sepanjang pantai penting untuk di lakukan.

Salah satu rumus yang ada untuk menghitung transpor sedimen sepanjang pantai adalah merupakan hubungan sederhana antara transpor sedimen dengan komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai dalam bentuk :

$$P_1 = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \dots\dots\dots (14)$$

dimana : Q_s : angkutan sedimen sepanjang pantai ($m^3/hari$), P_1 : komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah (Nm/dt/m), ρ : rapat massa air laut (kg/m^3), H_b : tinggi gelombang pecah (m), C_b : cepat rambat gelombang pecah (m/dt) = $\sqrt{g d_b}$, α_b : sudut datang gelombang pecah, K, n : konstanta

CERC (1984) memberikan hubungan berikut:

$$Q_s = 1290 P_1 \dots\dots\dots (15)$$

Angkutan sedimen merupakan fungsi dari fluks energi gelombang yaitu tinggi gelombang, cepat rambat gelombang pecah, dan sudut datang gelombang pecah.

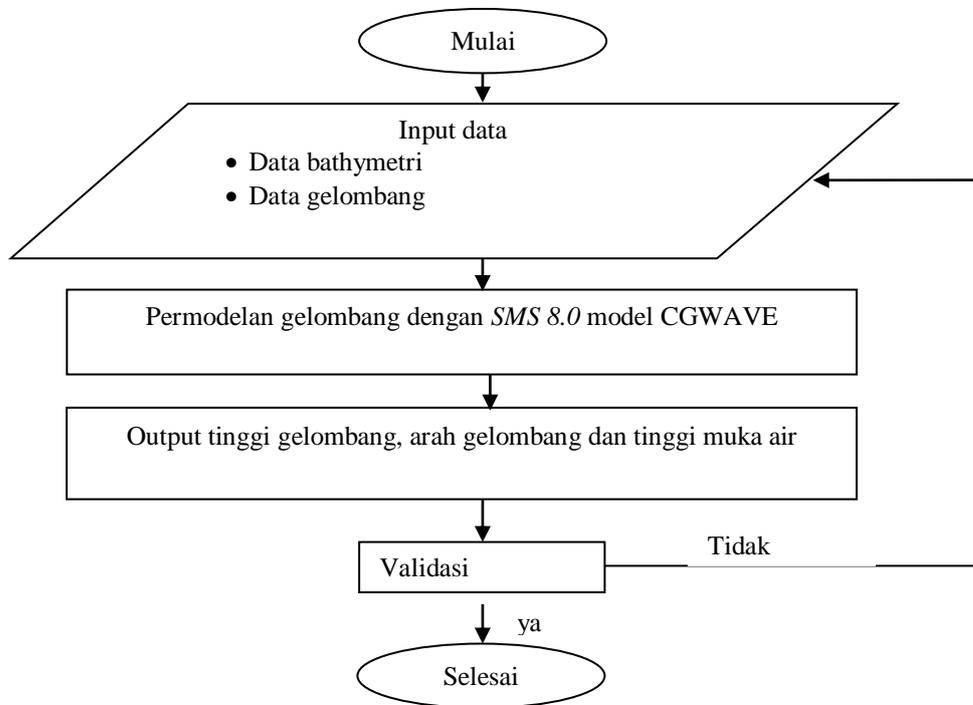
Dengan Q_s mempunyai satuan $m^3/tahun$. Apabila dikehendaki Q_s dalam $m^3/hari$, maka persamaan tersebut menjadi:

$$Q_s = 3,534 P_1 \dots\dots\dots (16)$$

Program SMS (Surface Water Modeling System 8.0) adalah Pra-dan Paska-Prosesor untuk sistem pemodelan air permukaan. Program ini diperkenalkan kembali oleh Brigham Young University.

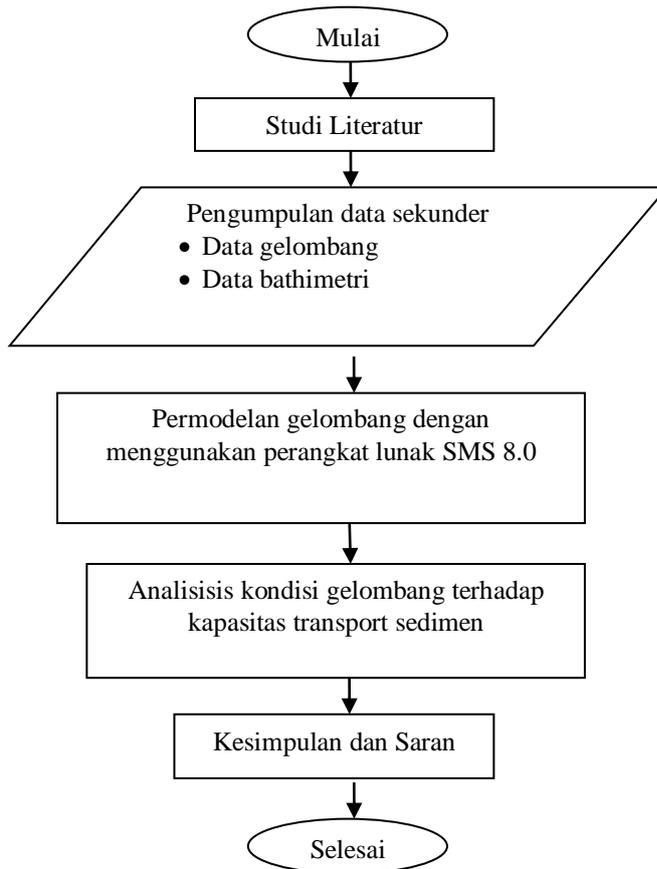
METODE PENELITIAN

Proses simulasi gelombang menggunakan SMS 8.0 dilakukan sesuai dengan bagan alir penelitian seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Bagan alir pemodelan SMS 8.0

Untuk mencapai tujuan dalam pelaksanaan penelitian ini sehingga dapat berjalan secara benar dan sistematis, maka di buat tahapan kegiatan penelitian seperti pada gambar 5 sebagai berikut :

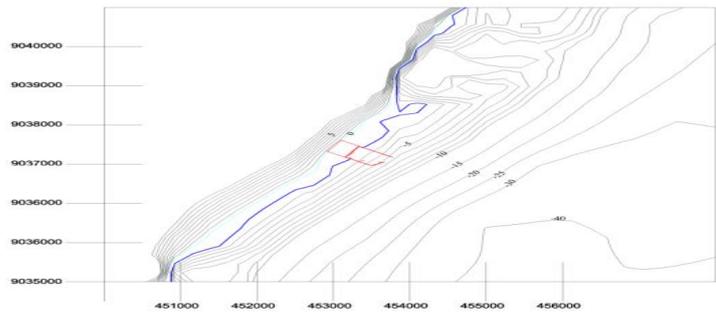


Gambar 5 Bagan alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil survey langsung di lapangan, Desa Labuhan Haji merupakan desa yang berdekatan langsung dengan wilayah pantai Labuhan Haji. Desa ini berada pada garis batas 8° 40' LS dan 116° 34' BT, yakni 7 km dari wilayah pusat pemerintahan Kabupaten Lombok Timur di Selong. Pantai Labuhan Haji adalah pantai yang berbentuk lurus dengan jenis pantai berpasir. Adanya bangunan pelabuhan yang dibangun sekitar tahun 2009 lalu juga membuat kawasan ini ramai dikunjungi oleh masyarakat setempat. Bangunan Pelabuhan Labuhan Haji secara keseluruhan memiliki panjang ± 808,460 m kearah laut dan lebar ± 335,02 m mengikuti garis pantai, dengan luas keseluruhan bangunan adalah ± 247.544,69 m². Bangunan pelabuhan dilengkapi dengan dua buah breakwater dengan masing-masing panjang ± 516,60 m dan ± 556,32 m. Pada umumnya kondisi bathymetri perairan pantai Labuhan Haji di sekitar pelabuhan relatif datar dengan kedalaman 0 - 5 m terhadap muka air surut maksimum sejauh kurang lebih 758 m, setelah itu menuju kedalaman 10 – 13 m di bawah permukaan air laut. Kondisi bathymetri Labuhan haji ditunjukkan pada gambar 6.

Simulasi gelombang dengan SMS 8.0 menggunakan input data berupa amplitudo gelombang, sudut dan periode. Input data yang digunakan dapat di lihat pada tabel 1.



Gambar 6. Peta bathymetri Labuhan Haji

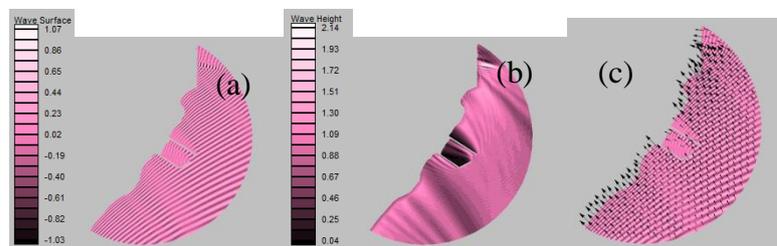
Tabel 1. Parameter gelombang simulasi

No	Tinggi Gelombang Dalam Satuan Meter	Periode Gelombang Dalam Satuan Detik	Sudut Datang Gelombang	Arah
1	1.5	14	90°	Kanan pelabuhan
2	1	13	135°	Tegak lurus
3	1	13	225°	Kiri pelabuhan
4	1	9	107°	Kiri pelabuhan

Pada penelitian ini, simulasi dilakukan sebanyak 7 kali yakni 1 kali simulasi untuk validasi, 3 kali simulasi gelombang sebelum ada bangunan pelabuhan dan 3 kali simulasi gelombang setelah adanya bangunan pelabuhan.

Validasi

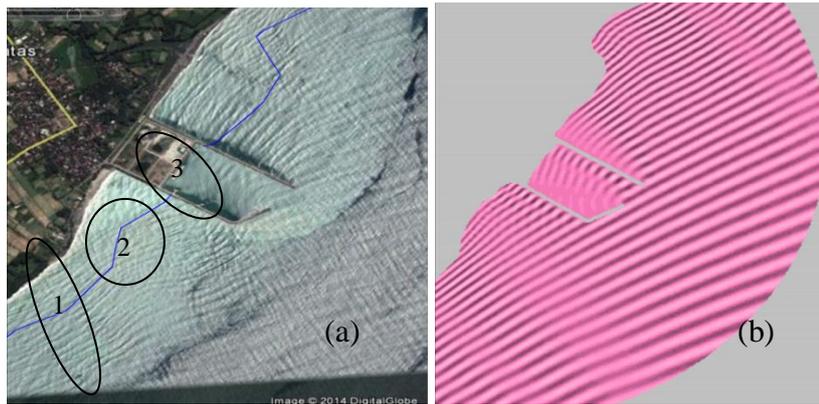
Validasi dilakukan dengan mensimulasikan gelombang setinggi 1 meter, periode 9 detik dengan sudut datang gelombang 107°. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7 Hasil simulasi gelombang berupa (a) muka air, (b) tinggi dan (c) arah gelombang

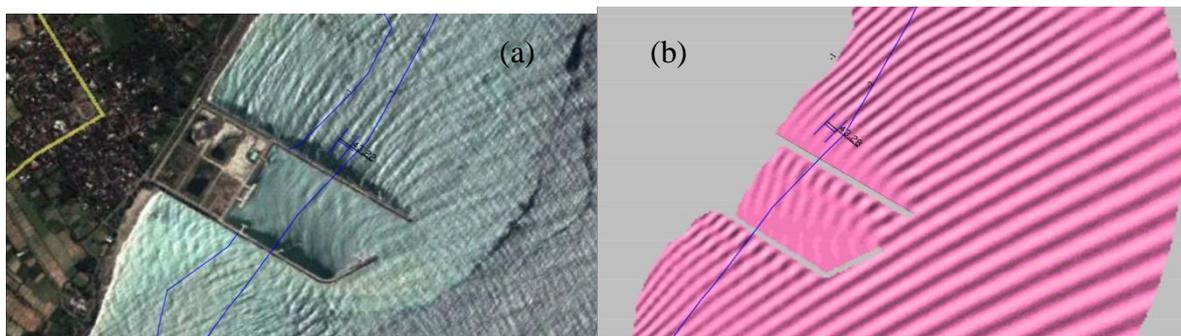
Dari hasil simulasi di peroleh bahwa bentuk atau pola gelombang yang ditunjukkan pada gambar diatas memiliki pola yang hampir sama dengan gambar Google Earth yang dibahas sebelumnya. Untuk lebih jelasnya, perbandingan tersebut ditampilkan pada gambar 8.

Nomor 1, 2 dan 3 pada gambar 8 di atas menunjukkan beberapa bagian yang memiliki pola gelombang yang sama antara kedua gambar tersebut. Nomor 1 pada gambar terlihat bahwa warnanya lebih muda dari daerah yang lain, hal ini disebabkan karena pada daerah tersebut memiliki elevasi yang lebih rendah sehingga terjadi perbedaan muka air. Sedangkan untuk daerah yang diberi angka 2 dan 3 merupakan daerah tempat terjadinya difraksi gelombang, terlihat bahwa kedua gambar memiliki pola difraksi yang sama.



Gambar 8 Perbandingan antara (a) foto Google Earth dengan (b) hasil simulasi SMS 8.0

Selain dengan membandingkan pola pada kedua gambar, juga dilakukan perbandingan antara panjang gelombang hasil simulasi dengan panjang gelombang pada gambar Google Earth. Panjang gelombang diukur pada kedalaman antara 1 – 2 meter pada sisi kiri pelabuhan, yakni pada daerah yang diberi notasi angka 3. Adapun tampilan pengukuran panjang pada kedua gambar 9 adalah sebagai berikut.



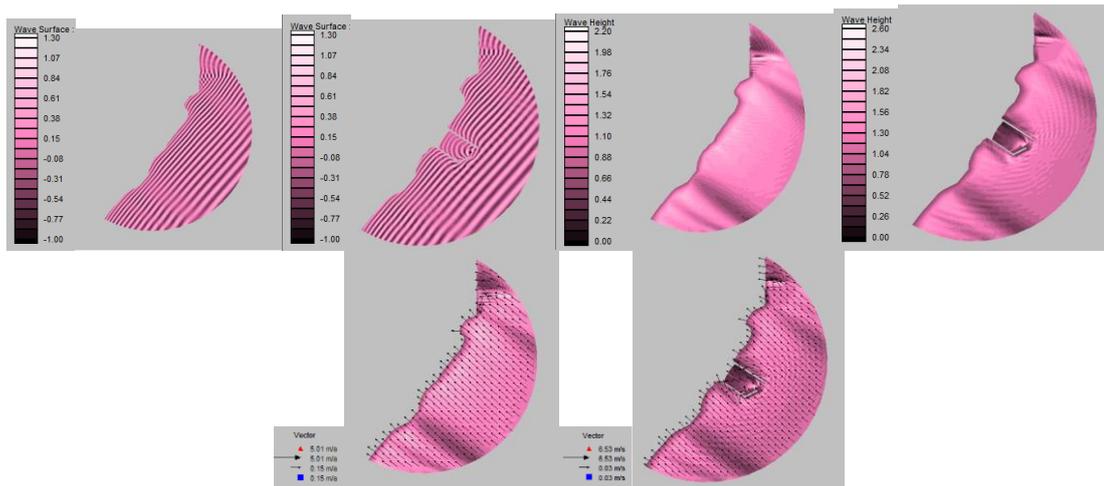
Gambar 9 Validasi panjang (a) foto satelit Google Earth dan (b) hasil simulasi SMS 8.0

Dari hasil pengukuran pada kedua gambar diatas, diperoleh panjang gelombang dengan selisih $\pm 0,06$ m. Dimana panjang gelombang hasil pengukuran dari foto satelit Google Earth adalah $\pm 43,22$ m, sementara panjang gelombang hasil simulasi pada kedalaman yang sama adalah $\pm 43,28$ m. Dengan selisih angka tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi memiliki kemiripan nilai sesuai dengan di lapangan.

Simulasi Gelombang Arah Tegak Lurus

Data masukan yang digunakan pada simulasi ini adalah gelombang dengan tinggi awal 1 m dan periode 13 detik dengan sudut datang gelombang sebesar 135° . Hasil simulasi pada gambar 10.

Perbedaan pola gelombang yang dihasilkan ditunjukkan dengan adanya perbedaan tinggi gelombang pada kedua hasil simulasi. Untuk menunjukkan hal tersebut, di bawah ini ditampilkan tinggi gelombang pada 4 (empat) titik yang sama untuk kedua simulasi.



Gambar 10 Hasil simulasi gelombang arah tegak lurus, dimana (a) merupakan tinggi muka air (b) tinggi gelombang dan (c) arah gelombang

Tabel 2 Tinggi gelombang hasil simulasi gelombang arah tegak lurus

No	Lokasi Yang Ditinjau	Koordinat (x)	Koordinat (y)	Kedalaman (z)	tinggi gelombang (H) dalam meter (m)	
					sebelum ada bangunan	setelah ada bangunan
1	Kanan bangunan	453101.380	9038135.731	1.699	1,063	0,80
2	Dalam kolam	453598.789	9038123.877	4.443	1,402	1,18
3	Kiri bangunan	453411.894	9038508.093	1.656	1,05	0,80
4	Depan bangunan	453730.788	9037994.477	6.297393209	1,32	1,73

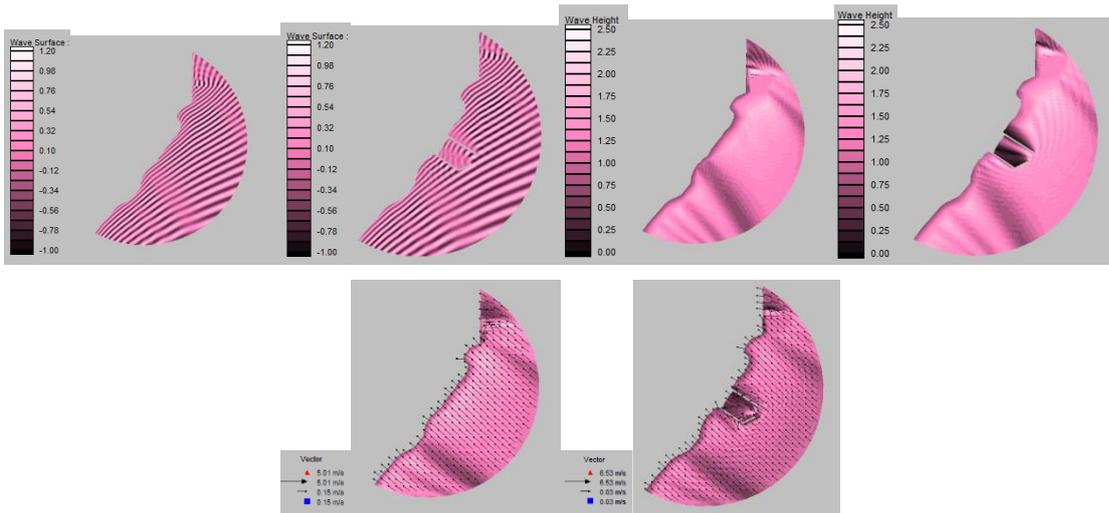
(sumber : hasil simulasi sms 8.0)

Pada tabel 2 dapat dilihat bahwa tinggi gelombang yang dihasilkan pada simulasi sebelum adanya bangunan pelabuhan relatif seragam pada satu garis kontur yakni 1,05 m dan 1,063 m pada kedalaman 1,6 m. Pada kedalaman 6,29 m menuju 4,4 m gelombang masih mengalami peningkatan tinggi yakni dari 1,32 m menjadi 1,4 m. Sesuai dengan teori bahwa menuju laut dangkal, gelombang semakin meningkat sebelum akhirnya sampai pada kedalaman gelombang pecah kemudian tinggi gelombang berkurang saat sampai pada garis pantai.

Dibandingkan dengan tinggi gelombang setelah adanya bangunan pelabuhan yang menunjukkan tinggi yang bervariasi pada setiap titik untuk sisi bangunan yang berbeda. Tinggi gelombang pada kedalaman 1,6 m di sisi kanan dan kiri bangunan adalah sama yaitu 0,8 m. Nilai tersebut lebih kecil dari tinggi gelombang hasil simulasi sebelum adanya bangunan pelabuhan. Hal ini disebabkan karena di kedua sisi bangunan gelombang mengalami difraksi, sehingga energi gelombang terurai. Proses difraksi juga terjadi di dalam kolam pelabuhan, hal ini ditunjukkan dengan tinggi gelombang yang lebih kecil dari tinggi gelombang sebelum ada bangunan yaitu 1,18 m pada kedalaman 4,4 m. Sementara itu, di bagian depan bangunan pelabuhan gelombang yang dihasilkan lebih tinggi yaitu 1,73 m pada kedalaman 6,29 m yang disebabkan oleh proses refleksi.

Simulasi Gelombang Arah Kanan

Pada simulasi ini gelombang disimulasikan dengan tinggi awal 1,5 m pada periode 14 detik dengan sudut datang gelombang adalah 90° yang dihitung dari titik nol yang sudah ditetapkan program. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11 Hasil simulasi gelombang kanan, dimana (a) merupakan tinggi muka air (b) tinggi gelombang dan (c) arah gelombang

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sebelum adanya bangunan pelabuhan, terlihat bahwa kondisi gelombang masih stabil, dimana gelombang bergerak teratur menuju pantai karena hanya dipengaruhi oleh kedalaman. Berbeda dengan hasil simulasi setelah adanya bangunan pelabuhan yang menunjukkan kondisi yang tidak stabil di sekitar bangunan. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 11 (a2) bahwa pola gelombang dibagian kiri dan kanan bangunan berbeda dengan pola gelombang di dalam kolam pelabuhan.

Perbedaan pola gelombang juga ditunjukkan dengan adanya perbedaan tinggi gelombang di sekitar bangunan dibandingkan dengan tinggi gelombang tanpa adanya bangunan pelabuhan. Untuk menunjukkan hal tersebut, di bawah ini ditampilkan tinggi gelombang pada 4 (empat) titik yang sama untuk kedua simulasi.

Tabel 3 Tinggi gelombang hasil simulasi gelombang arah tegak lurus

No	Lokasi Yang Ditinjau	Koordinat (x)	Koordinat (y)	Kedalaman (z)	tinggi gelombang (H) dalam meter (m)	
					sebelum ada bangunan	setelah ada bangunan
1	Kanan bangunan	453101.380	9038135.731	1.699	1,063	0,80
2	Dalam kolam	453598.789	9038123.877	4.443	1,402	1,18
3	Kiri bangunan	453411.894	9038508.093	1.656	1,05	0,80
4	Depan bangunan	453730.788	9037994.477	6.297393209	1,32	1,73

(sumber : hasil simulasi sms 8.0)

Pada tabel, dapat dilihat bahwa tinggi gelombang yang dihasilkan pada simulasi sebelum adanya bangunan pelabuhan relatif seragam pada satu garis kontur yakni 1,05 m dan 1,063 m pada kedalaman 1,6 m. Pada kedalaman 6,29 m menuju 4,4 m gelombang masih mengalami peningkatan tinggi yakni dari 1,32 m menjadi 1,4 m. Sesuai dengan teori bahwa menuju laut dangkal, gelombang semakin meningkat sebelum akhirnya sampai pada kedalaman gelombang pecah kemudian tinggi gelombang berkurang saat sampai pada garis pantai.

Dibandingkan dengan tinggi gelombang setelah adanya bangunan pelabuhan yang menunjukkan tinggi yang bervariasi pada setiap titik untuk sisi bangunan yang berbeda. Tinggi gelombang pada kedalaman 1,6 m di sisi kanan dan kiri bangunan adalah sama yaitu 0,8 m. Nilai tersebut lebih kecil dari tinggi gelombang hasil simulasi sebelum adanya bangunan pelabuhan. Hal ini disebabkan karena di kedua sisi bangunan gelombang mengalami difraksi, sehingga energi

gelombang terurai. Proses difraksi juga terjadi di dalam kolam pelabuhan, hal ini ditunjukkan dengan tinggi gelombang yang lebih kecil dari tinggi gelombang sebelum ada bangunan yaitu 1,18 m pada kedalaman 4,4 m. Sementara itu, di bagian depan bangunan pelabuhan gelombang yang dihasilkan lebih tinggi yaitu 1,73 m pada kedalaman 6,29 m yang disebabkan oleh proses refleksi.

Simulasi Gelombang Arah Kiri

Pada tahap ini, gelombang disimulasikan dengan tinggi gelombang awal 1 m pada periode 13 detik dengan sudut datang gelombang 225° . Berikut adalah hasil simulasi gelombang arah kiri yang ditampilkan dalam bentuk gambar 12.

Hasil simulasi ini juga menunjukkan kondisi gelombang yang relatif stabil saat bangunan pelabuhan belum ada, hal ini disebabkan karena ketika gelombang merambat menuju pantai, gelombang hanya dipengaruhi oleh kedalaman. Hal ini menyebabkan tinggi dan arah gelombang tidak mengalami perubahan yang signifikan saat merambat menuju pantai, sebelum akhirnya sampai pada kedalaman gelombang pecah.

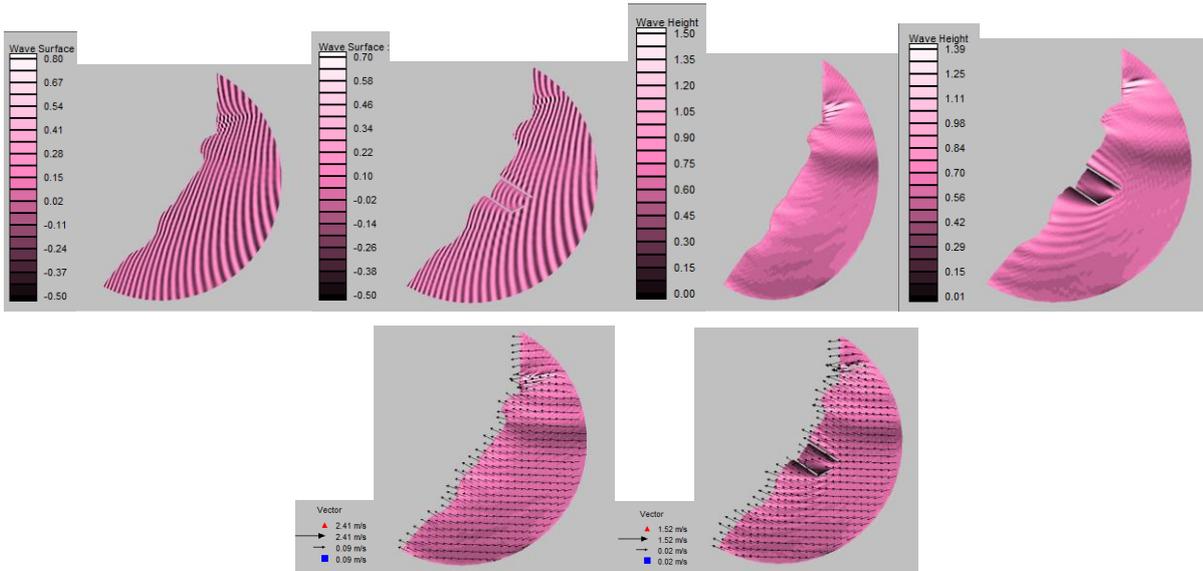
Sementara itu, hasil simulasi setelah adanya bangunan pelabuhan menunjukkan perbedaan kondisi gelombang pada sisi kanan dan kiri bangunan akibat proses refleksi dan difraksi. Proses refleksi terjadi dibagian kiri pelabuhan sehingga tinggi gelombang disisi kiri pelabuhan lebih besar dari tinggi gelombang dibagian kanan pelabuhan yang mengalami proses difraksi terhadap bangunan pelabuhan. Untuk sisi dalam dan depan bangunan, kondisi gelombang sama dengan hasil simulasi gelombang arah kanan. Hal ini disebabkan karena pada bagian dalam kolam, gelombang juga mengalami proses difraksi akibat berbeloknya gelombang saat melewati bangunan.

Untuk mengetahui kesamaan dan perbedaan kondisi gelombang tersebut, berikut ditampilkan tinggi gelombang pada 4 (empat) titik yang diambil. Perbedaan kondisi gelombang ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4 Tinggi gelombang hasil simulasi gelombang arah kiri

No	lokasi yang ditinjau	koordinat (x)	koordinat (y)	kedalaman (z)	tinggi gelombang (H) dalam meter (m)	
					sebelum ada bangunan	setelah ada bangunan
1	Kanan bangunan	453124.5052	9038152.533	1.628508907	0,8350	0,1681
2	Dalam kolam	453556.8729	9038117.323	4.209438679	0,710	0,570
3	Kiri bangunan	453388.6682	9038517.189	1.611445784	0,8073	1,031
4	Depan bangunan	453695.9355	9038010.01	5.894829873	0,63	0,69

(sumber : hasil simulasi sms 8.0)



Gambar 12 Hasil simulasi gelombang arah kiri sebelum dan sesudah adanya bangunan pelabuhan

Tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi gelombang arah kanan, tinggi gelombang yang dihasilkan pada simulasi ini juga relatif sama pada sisi kanan dan kiri di kedalaman 1,6 m, yaitu mencapai tinggi 0,8 m. Kesamaan yang terjadi juga terdapat pada kedalaman 5,89 m menuju kedalaman 4,2 m yang menunjukkan bahwa tinggi gelombang meningkat dari 0,63 m menjadi 0,710 m akibat pendangkalan (*shoaling*).

Berbeda dengan tinggi gelombang hasil simulasi gelombang arah kiri yang menunjukkan bahwa tinggi gelombang sisi kiri bangunan lebih besar dari tinggi gelombang sisi kanan bangunan. Dimana pada kedalaman 1,6 m di sisi kiri bangunan, gelombang mencapai tinggi 1,031 m akibat proses refleksi, dan 0,1681 m di sisi kanan bangunan akibat proses difraksi. Proses difraksi juga terjadi dibagian dalam kolam pelabuhan, sehingga tinggi gelombang lebih rendah dari tinggi gelombang sebelum ada bangunan yaitu 0,570 m pada kedalaman 4,29 m. Sementara itu, dibagian depan bangunan, tinggi gelombang setelah adanya bangunan pelabuhan hampir sama dengan tinggi gelombang sebelum adanya bangunan, yaitu 0,69 m pada kedalaman 5,89 m.

Dari ketiga hasil simulasi diatas, dapat disimpulkan bahwa adanya bangunan pelabuhan menyebabkan kondisi gelombang menjadi tidak stabil disekitar bangunan yang ditunjukkan dengan adanya tinggi serta arah gelombang yang bervariasi disetiap sisi bangunan. Selain itu, kesimpulan lain yang dapat diambil adalah, besarnya sudut datang gelombang mempengaruhi tinggi gelombang di suatu titik terhadap kedalaman akibat proses refraksi gelombang.

Besar kecilnya sedimen transport yang terjadi pada suatu titik dipengaruhi oleh besar kecilnya tinggi gelombang pecah. Rumus kapasitas angkut sedimen akibat gelombang.

$$P_1 = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \dots\dots\dots (15)$$

dimana: P_1 : komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah (Nm/dt/m), ρ : rapat massa air laut (kg/m^3), H_b : tinggi gelombang pecah (m), C_b : cepat rambat gelombang pecah (m/dt) = $\sqrt{g d_b}$, α_b : sudut datang gelombang pecah, K, n : konstanta

Tinggi gelombang pecah merupakan komponen utama yang mempengaruhi besar kecilnya kapasitas angkut sedimen pada daerah tertentu. Dimana, besar kecilnya gelombang pecah dipengaruhi oleh tinggi rendahnya gelombang pada daerah tersebut. Semakin tinggi gelombang maka gelombang pecah pada daerah tersebut juga akan semakin tinggi.

Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh bahwa adanya bangunan pelabuhan menyebabkan kondisi gelombang disekitar pelabuhan menjadi tidak stabil yang ditunjukkan dengan pola gelombang yang berbeda pada setiap sisinya. Pada gambar 11 (b2) untuk hasil simulasi gelombang arah kanan akibat adanya bangunan pelabuhan, diperoleh hasil bahwa pola gelombang disisi kanan bangunan lebih tinggi dari sisi kiri bangunan. Berbeda dengan gambar 12 (b2) untuk hasil simulasi gelombang arah kiri akibat adanya bangunan pelabuhan yang menunjukkan hasil sebaliknya yakni pola gelombang yang tinggi pada sisi kiri pelabuhan dan rendah pada sisi kanan pelabuhan.

Berdasarkan hasil prakiraan gelombang NOAA, gelombang signifikan berasal dari arah selatan dan tenggara. Namun pada pemodelan ini, arah tenggara sama dengan arah tegak lurus, sehingga arus sejajar tidak terjadi. Untuk itu, gelombang arah selatan adalah gelombang yang digunakan sebagai analisa kapasitas angkut sedimen.

Gambar 11 (b2) menunjukkan pola gelombang tinggi di sisi kanan bangunan, serta rendah di sisi dalam kolam dan kiri bangunan. Pola gelombang tersebut kemudian dapat digunakan untuk menganalisa transport sedimen yang terjadi. Pola gelombang yang lebih tinggi akan menghasilkan arus yang lebih tinggi, sehingga kapasitas transport sedimen juga lebih tinggi dibandingkan dengan sisi bangunan dengan pola gelombang yang lebih rendah akan menghasilkan kapasitas transport yang rendah.

Daerah disisi kanan bangunan merupakan daerah dengan transport sedimen yang tinggi, dengan tingginya kapasitas transport sedimen yang terjadi menyebabkan angkutan sedimen di daerah tersebut lebih besar, tetapi karena terhalang oleh bangunan, maka sedimen yang dibawa oleh arus akan diendapkan pada sisi bangunan, sehingga dalam waktu yang lama di daerah tersebut kemungkinan terjadi sedimentasi. Sementara itu, karena pola gelombang di sisi kanan bangunan lebih tinggi dari bagian dalam kolam pelabuhan, kemungkinan yang terjadi adalah sedimen yang mengendap di sisi kanan terbawa masuk kedalam kolam oleh arus akibat perbedaan muka air pada kedua daerah tersebut. Berbeda dengan sisi kiri bangunan yang menunjukkan pola gelombang yang rendah kemudian meningkat kembali disisi setelahnya. Hal ini kemudian menyebabkan pola transport sedimen di sisi kanan semakin meningkat, dengan kurangnya pasokan sedimen yang tersedia, maka sedimen yang tersedia akan terus tergerus akibat terbawa oleh arus.

Sesuai dengan hasil simulasi arah selatan bangunan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa dalam jangka waktu tertentu, sedimentasi terjadi di sisi kanan bangunan, sedang di sisi kiri bangunan kemungkinan terjadi erosi akibat tingginya kapasitas transport dengan waktu yang berulang-ulang. Hal ini sesuai dengan keadaan di lapangan yang menunjukkan bahwa sedimentasi terjadi di sisi kanan bangunan, dan erosi di sisi kiri bangunan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Adanya bangunan pelabuhan mengakibatkan kondisi gelombang disekitar pelabuhan menjadi tidak stabil. Hal ini ditunjukkan dengan adanya variasi tinggi dan arah gelombang disekitar pelabuhan. Tinggi gelombang pada sisi bangunan yang mengalami proses refleksi lebih besar daripada sisi yang mengalami proses difraksi. Hal ini disebabkan karena pada proses refleksi energi gelombang terakumulasi, sementara proses difraksi mengakibatkan energi gelombang terurai. Hal ini dapat dilihat pada masing-masing tabel hasil simulasi sebelum dan sesudah adanya bangunan untuk tinggi gelombang hasil simulasi arah tegak lurus, kanan dan kiri.

Pada tabel terlihat bahwa simulasi gelombang arah tegak lurus menghasilkan perbedaan tinggi gelombang saat sebelum ada bangunan dan setelah adanya bangunan disisi kanan, kiri dan dalam kolam pelabuhan. Sebelum adanya bangunan pelabuhan pada kedalaman 1,6 m menghasilkan tinggi 1,05 dan 1,06 m, sementara itu setelah adanya bangunan tinggi gelombang lebih rendah yaitu 0,8 m di sisi kanan dan kiri bangunan. Perbedaan tinggi gelombang juga terjadi di dalam kolam pelabuhan, sebelum adanya bangunan pada kedalaman 4,43 m tinggi gelombang mencapai 1,402 m, dan setelah adanya bangunan menghasilkan tinggi yang lebih rendah yaitu 1,18 pada kedalaman yang sama. Sementara itu, di bagian depan bangunan pelabuhan simulasi setelah adanya bangunan menghasilkan tinggi gelombang yang lebih besar yaitu 1,73 m pada kedalaman 6,29 m, dibandingkan dengan tinggi gelombang sebelum adanya bangunan pelabuhan yang hanya mencapai tinggi 1,32 m pada kedalaman dan posisi yang sama. Hal ini disebabkan karena adanya proses difraksi di sisi kanan, kiri dan dalam kolam pelabuhan sehingga menyebabkan tinggi gelombang berkurang. Bertambahnya tinggi gelombang di depan bangunan disebabkan karena proses refleksi.

Perbedaan tinggi gelombang juga terlihat pada tabel 4.6 untuk simulasi gelombang arah kanan. Di sisi kanan bangunan pada kedalaman 1,6 m tinggi gelombang mencapai 1,04 m dan hanya mencapai 0,385 m di sisi kiri bangunan pada kedalaman yang sama. dibandingkan dengan tinggi gelombang sebelum adanya bangunan yang mencapai tinggi 1,07 m dan 1,06 m pada kedalaman dan posisi yang sama. Pada kedalaman 4,43 m sebelum adanya bangunan pelabuhan, gelombang mencapai tinggi 1,503 m dan setelah adanya bangunan menghasilkan tinggi gelombang yang lebih rendah yaitu 0,38 m pada posisi dan kedalaman yang sama yaitu di dalam kolam pelabuhan. Gelombang yang lebih rendah juga dihasilkan pada posisi didepan bangunan yaitu 1,456 m pada kedalaman 6,29 m dan 1,52 m sebelum adanya bangunan pelabuhan pada posisi dan kedalaman yang sama. Lebih rendahnya tinggi gelombang di sisi kiri, depan dan dalam kolam pelabuhan disebabkan karena proses difraksi gelombang, sedangkan bertambahnya tinggi gelombang di sisi kanan bangunan disebabkan karena proses refleksi gelombang.

Tidak jauh berbeda dengan tabel 4 untuk hasil simulasi gelombang arah kiri juga menghasilkan perbedaan tinggi gelombang sebelum dan sesudah adanya bangunan untuk sisi kanan, kiri, depan dan dalam kolam pelabuhan. Pada tabel terlihat bahwa tinggi gelombang sebelum adanya bangunan pada kedalaman 1,6 m menghasilkan tinggi gelombang 0,8 m lebih rendah dari tinggi gelombang setelah adanya bangunan pelabuhan yang menghasilkan tinggi gelombang 1,031 m pada

kedalaman dan posisi yang sama yaitu di sisi kiri bangunan. Berbeda dengan sisi kanan bangunan yang menghasilkan tinggi gelombang lebih rendah setelah adanya bangunan pelabuhan yaitu 0,38 m pada kedalaman dan posisi yang sama dengan simulasi gelombang sebelum adanya bangunan yang mencapai tinggi 0,8 m. Tinggi gelombang yang lebih rendah juga terjadi pada kedalaman 4,4 m di dalam kolam pelabuhan, tinggi gelombang hanya mencapai 0,1681 m lebih rendah dari sebelum adanya bangunan yang mencapai tinggi 0,710 pada kedalaman dan posisi yang sama. Hal tersebut disebabkan karena saat menuju bangunan, gelombang berbelok ke sisi kanan, depan dan dalam kolam pelabuhan sehingga menimbulkan proses difraksi. Berbeda dengan tinggi gelombang di sisi kiri bangunan yang menghasilkan tinggi gelombang yang lebih tinggi yaitu 1,031 m pada kedalaman 1,6 m setelah adanya bangunan dan 0,8 m sebelum adanya bangunan. Hal ini disebabkan karena di sisi kiri bangunan, gelombang mengalami proses refleksi gelombang akibat terbentur oleh bangunan.

Dari ketiga hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa tinggi gelombang akibat refleksi yang disebabkan oleh benturan gelombang datang didepan bangunan menghasilkan tinggi gelombang lebih besar atau sama dengan tinggi gelombang sebelum ada bangunan. Dibandingkan dengan tinggi gelombang di belakang bangunan tempat gelombang membelok arah akibat proses difraksi menghasilkan tinggi gelombang yang lebih kecil dari tinggi gelombang sebelum adanya bangunan pelabuhan.

Berdasarkan hasil persentase kejadian gelombang arah selatan dan analisa hasil simulasi gelombang arah kanan, diperkirakan bahwa perbedaan pola gelombang pada kedua sisi bangunan mengakibatkan perbedaan pola transport sedimen yang terjadi di sekitar bangunan pelabuhan. Besarnya pola gelombang di sisi kanan bangunan menimbulkan arus sejajar pantai yang besar pula di daerah tersebut. Besarnya arus kemudian membawa sedimen ke-arah sejajar pantai, dan terhenti disisi kanan bangunan akibat terhalang oleh bangunan pelabuhan. Hal ini kemudian menyebabkan sedimentasi di daerah tersebut. Sedimen yang terhalang oleh bangunan pelabuhan kemudian menyebabkan daerah di sisi kiri bangunan tidak mendapatkan pasokan sedimen, sehingga besarnya arus di sisi kiri bangunan mengakibatkan arus terus mengangkut sedimen ke arah utara bangunan yang kemudian mengakibatkan berkurangnya pasokan sedimen di sisi tersebut. Dalam angka waktu yang lama akan mengakibatkan erosi di daerah tersebut. Hal ini sesuai dengan keadaan di lapangan yang menunjukkan bahwa sedimentasi terjadi di sisi kanan bangunan, dan erosi di sisi kiri bangunan.

Saran

Dalam proses validasi, dibutuhkan ketelitian dalam mengukur panjang gelombang dan menentukan sudut datang gelombang. Dengan demikian akan dihasilkan pola gelombang dengan selisih yang lebih kecil dengan foto satelit Google Earth yang digunakan.

Perlu dilakukan simulasi menggunakan program yang lain untuk dapat menampilkan hasil berupa angka tinggi gelombang pecah, sehingga perhitungan kapasitas angkut sedimen dapat dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Isniati, Naela., 2009, *Perubahan Garis Pantai Labuhan Haji (Lombok Timur) Akibat Pengaruh Adanya Konstruksi Pelabuhan*. Tugas Akhir, Mataram.
- Iswahyudia Eric, 2007, *Perencanaan Groin Sebagai Bangunan Alternatif Pengendalian Sedimentasi-Erosi di Kawasan Pelabuhan Kayangan*, Program S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram.
- Triatmodjo, B., 1999, *Teknik Pantai*, Beta Offset. Yogyakarta.
- Messel, Jhon., 1988, *Encyclopedia Of Life Sciences. Germany*
- Akhyar., dkk., 2007, *Sedimentasi Akibat Pembangunan Sheet Pile Breakwater di Teluk Bintuni, Papua Barat*. E-Jurnal Inersia Vol.5 No.1.
- Balas, dkk., 2002, *Persamaan Mild Slope Equation*. E-Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, vol. 1, No . 2 Hal 60-71.
- Petthijohn, F. J, 1975, *Sedimentary Rock*. Newyork
- Berkhoff, 1982, *A Numerical Model Of Wave Propagation On Mild Slope Equation*, Brigham Young University.
- BRKP, 2004, *Laporan Ringkas Riset Kelautan Dan Perikanan, P3SDLP*
- NOAA/NWS/NCEP Marine Modelling And Analysis Branch 2008, *Product Tabel Wave Condition*. <http://polar.ncep.noaa.gov/>
- Google Earth, 2013, *Foto Satelit Labuhan Haji*
- Google Earth, 2012, *Foto Satelit Labuhan Haji*