

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Pariaman merupakan hamparan dataran rendah yang landai terletak di pantai barat Sumatra dengan ketinggian antara 2 sampai dengan 35 meter di atas permukaan laut. Kota Pariaman memiliki luas daratan 73,36 km² dengan panjang pantai ±12,7 km serta luas perairan laut 282,69 km² dengan 6 buah pulau-pulau kecil di antaranya Pulau Bando, Pulau Gosong, Pulau Ujung, Pulau Tengah, Pulau Angso dan Pulau Kasiak (Wikipedia, 2022). Pantai Sunur terletak di Desa Pasir Sunur Kecamatan Pariaman Selatan Kota Pariaman Provinsi Sumatera Barat. Lokasi ini bertepatan setelah Pantai Kata dan Pantai Binasi dan berbatasan dengan Muara Sunur yang langsung berbatasan dengan Kabupaten Padang Pariaman.

Pantai Sunur yang terletak paling selatan di Kota Pariaman merupakan salah satu daerah tujuan wisata yang potensial di Kota Pariaman. Pantai Sunur dimanfaatkan oleh masyarakat untuk wisata bahari dan wisata kuliner. Pada beberapa kawasan pantai Kota Pariaman sudah dilakukan pemasangan bangunan pengaman pantai seperti groin dan *jetty* untuk mengurangi abrasi pantai. Di Pantai Sunur belum ada dibangun bangunan pengaman pantai.

Pada studi ini, penulis tertarik melakukan simulasi untuk menentukan jenis bangunan pantai yang cocok untuk melindungi Pantai Sunur dari abrasi pantai. Simulasi dilakukan dengan menggunakan program jadi yaitu program *Surface Water Modeling System* (SMS). Pemilihan lokasi studi berdasarkan pada faktor yaitu PUPR (2010) dalam Pedoman Penilaian Kerusakan Pantai dan Prioritas. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Lokasi Penelitian

1.2 Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian ini adalah menentukan jenis bangunan pengaman pantai yang efektif (groin dan *breakwaters*) untuk melindungi Pantai Sunur Kota Pariaman dari abrasi menggunakan program jadi *Surface Water Modeling System* (SMS).

Manfaat dari penelitian ini diharapkan bisa memberikan alternatif bangunan pelindung pantai untuk Pantai Sunur Kota Pariaman bagi Pemerintah Kota Pariaman.

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan dari penelitian ini dibatasi oleh:

1. Penelitian ini dilakukan di kawasan Pantai Sunur sepanjang ± 560 m, yaitu antara koordinat $00^{\circ}40'17,14''$ lintang selatan $100^{\circ} 09' 15,43''$ bujur timur dengan koordinat $00^{\circ}40'04,41''$ lintang selatan $100^{\circ} 09' 02,44''$ bujur timur. Lokasi Pantai Sunur yang dilindungi pada simulasi dilihat pada Gambar 1.3.



Gambar 1.2 Lokasi Pantai Sunur (Google Earth, 2022)

2. Data kontur yang digunakan dalam simulasi diperoleh dari hasil pengolahan data Batimetri Nasional dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS, elevasi kontur 1 meter. Data kontur diunduh melalui situs <http://tides.big.go.id/DEMNAS/> (diakses tanggal 20 Desember 2019), situasi kontur pada lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.4.



Gambar 1.3 Batimetri Pantai Sunur

3. Data angin yang digunakan adalah data angin maksimum harian selama 10 (sepuluh) tahun pengamatan (dari tahun 2010 sampai dengan tahun 2019) dari stasiun BMKG Minangkabau. Data ini diunduh melalui situs <http://dataonline.bmkg.go.id/> (diakses pada tanggal 2 Februari 2020).
4. Data elevasi pasang yang digunakan adalah data dari tanggal 22 sampai 26 Mei 2020. Data diperoleh dari Badan Informasi dan Geospasial (BIG) yang diunduh melalui situs <http://tides.big.go.id/pasut/> (diakses pada tanggal 17 Juli 2020). Pemilihan rentang waktu tersebut untuk elevasi pasang dalam simulasi karena dalam rentang waktu, terdapat kejadian pasang naik ekstrim (*flood tide*) pada tanggal 24 sampai dengan 25 Mei 2020, yang menyebabkan banjir rob pada daerah pesisir Kabupaten Padang Pariaman dan Kota Pariaman.
5. Simulasi numerik dilakukan dengan program jadi *Surface Water Modeling System* versi 10.1, dengan mensimulasikan keadaan selama 5 (lima) hari mulai dari tanggal 22 sampai 26 Mei 2020.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Solihuddin (2011) melakukan penelitian mengenai karakteristik pantai dan proses abrasi di pesisir Padang Pariaman, Sumatera Barat. Penelitian dilakukan dengan pengumpulan data sekunder berupa data angin dari BMKG Stasiun Meteorologi Tabing Padang selama 10 tahun pengamatan (1995-2005) untuk peramalan gelombang, pengumpulan hasil prediksi dan pengolahan data pasang, dan pengamatan langsung karakteristik pantai di lapangan.

Berdasarkan dari hasil penelitian, arah angin dominan berasal dari arah barat atau hampir tegak lurus pantai dengan persentase 8,49%, arah gelombang dominan sama dengan arah angin dominan yaitu arah barat dengan persentase 8,47%. Menurut Solihuddin tipe gelombang pasang pesisir Padang Pariaman adalah pasang campuran condong ke harian ganda dengan perbedaan antara pasang naik dengan pasang surut sebesar 109,57 cm. Karakteristik pantai pesisir Padang Pariaman secara keseluruhan termasuk jenis pantai berpasir (*sandy beach*) dengan kemiringan pantai antara 4°-15° dan proses pantai dominan adalah abrasi.

Efendi dkk (2015) melakukan studi tentang evolusi perubahan garis pantai setelah pemasangan bangunan pantai di Pantai Sanur Pulau Bali. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data-data diantaranya data garis pantai (*shoreline*), data batimetri, data topografi dan data gelombang. Metodologi dari kegiatan penelitian ini adalah membandingkan hasil keluaran model perubahan garis pantai dengan hasil pengukuran yang telah terjadi pada tahun 2012. Untuk groin yang mengalami evolusi garis pantai mundur yang lebih besar, dilakukan modifikasi bentuk groin dan penambahan bangunan pantai baru yaitu dengan menambahkan *breakwater*. Dari hasil penelitian Effendi dkk melakukan modifikasi dan penambahan bangunan pantai secara pendekatan model maka kemunduran garis pantai akan berkurang.

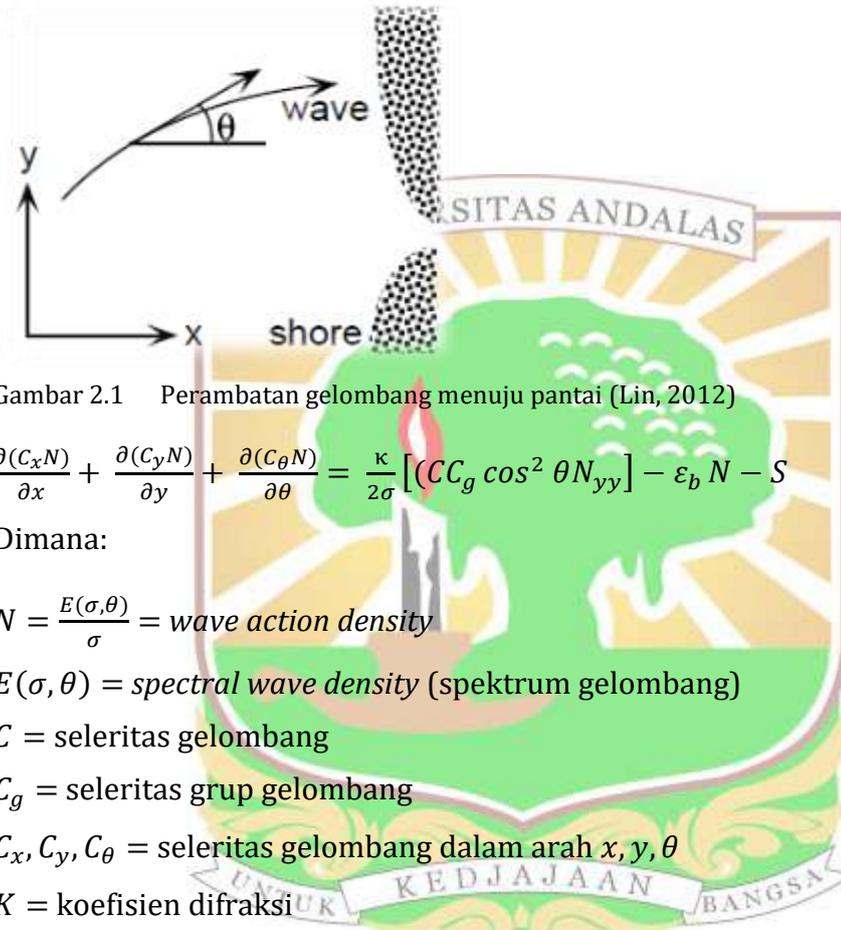
Aziz dkk (2016) menjelaskan program SMS dirancang untuk mensimulasikan kondisi oseonografi yang terjadi di alam ke dalam sebuah model satu dimensi, dua dimensi, atau tiga dimensi dengan *finite element method* (metode elemen hingga). Dalam pemilihan bangunan pelindung pantai digunakan empat alternatif bangunan pelindung yaitu *jetty*, *revetment*, *groin*, dan *breakwaters*. Analisis kesesuaian bangunan pelindung pantai dilakukan berdasarkan karakteristik wilayah dan morfologi pantai.

Pada penelitian ini, penulis mencoba untuk mensimulasikan bangunan pengaman pantai yang sesuai sebagai pengaman Pantai Sunur di Kota Pariaman dengan menggunakan program *Surface Water Modeling System* (SMS) versi 10.1. Dalam penelitian ini dilakukan pada satu arah angin dominan yaitu pada arah barat.

Surface Water Modeling System (SMS) adalah salah satu software untuk pemodelan lingkungan dengan model satu, dua atau tiga dimensi yang dikembangkan oleh Environmental Modeling Research Laboratory (EMRL) di Brigham Young University (lebih dikenal dengan *Engineering Computer Graphics Laboratory*) bekerjasama dengan the *U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station* (USACE-WES), dan the *U.S. Federal Highway Administration* (FHWA).

Surface Water Modeling System dalam perkembangannya pada versi 10.1 tahun 2010 mulai memperkenalkan modul *CMS-Wave* (pengembangan dari WABED pada SMS versi 9.2) untuk pemodelan gelombang, dan modul *CMS-Flow* (pengembangan dari M2D pada SMS versi 8.1) untuk pemodelan hidrodinamika, sedimentasi dan perubahan morfologi. Kedua modul ini dikembangkan oleh *Coastal Inlet Research Program* (CIRP) *US. Army Corps of Engineer*. *CMS-Wave* dan *CMS-Flow* merupakan dua modul yang berbeda tetapi terintegrasi sebagai satu kesatuan dalam *Coastal Modeling System*, yaitu model numerik terintegrasi untuk mensimulasikan transformasi gelombang, arus, elevasi, angkutan sedimen dan perubahan morfologi pada inlet dan pesisir (Li, 2018).

CMS-Wave menggunakan model gelombang phase rata-rata (*averaged phase*) berdasarkan persamaan pengatur “*wave action balance equation*” yang telah dimodifikasi oleh Mase (2001) dengan menambahkan faktor kehilangan energi (*energy dissipation*) saat gelombang pecah dan faktor difraksi gelombang (Lin dkk, 2008).



Gambar 2.1 Perambatan gelombang menuju pantai (Lin, 2012)

$$\frac{\partial(C_x N)}{\partial x} + \frac{\partial(C_y N)}{\partial y} + \frac{\partial(C_\theta N)}{\partial \theta} = \frac{\kappa}{2\sigma} [(C C_g \cos^2 \theta N_{yy})] - \varepsilon_b N - S \quad (1)$$

Dimana:

$$N = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma} = \text{wave action density}$$

$E(\sigma, \theta)$ = spectral wave density (spektrum gelombang)

C = seleritas gelombang

C_g = seleritas grup gelombang

C_x, C_y, C_θ = seleritas gelombang dalam arah x, y, θ

K = koefisien difraksi

ε_b = koefisien energi dissipasi gelombang pecah

S = wind forcing, bottom friction dan jenis kehilangan energi lainnya

Dalam interaksi gelombang dengan arus, seleritas gelombang C_x, C_y, C_θ pada persamaan (1) dapat diuraikan menjadi:

$$C_x = C_g \cos \theta + U \quad (2)$$

$$C_y = C_g \sin \theta + V \quad (3)$$

$$C_\theta = \frac{\sigma}{\sinh 2kh} \left(\sin \theta \frac{\partial h}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \cos \theta \sin \theta \frac{\partial U}{\partial x} - \cos^2 \theta \frac{\partial U}{\partial y} + \sin^2 \theta \frac{\partial V}{\partial x} - \sin \theta \cos \theta \frac{\partial V}{\partial y} \quad (4)$$

Dimana:

U = kecepatan arus dalam arah x

V = kecepatan arus dalam arah y

k = angka gelombang

h = kedalaman air

Gambar 2.1 mengilustrasikan proses perambatan gelombang menuju pantai, di mana pada *Surface Water Modeling System* (SMS) versi 10.1 perambatan gelombang hanya tersedia untuk mode *half plane* atau gelombang hanya merambat menuju pantai. Sebagai syarat batas (*boundary condition*) pada *offshore*, *spectral wave density* $E(\sigma, \theta)$ dihitung dengan model spektrum parametric.

Beberapa pilihan model spektrum gelombang *CMS-Wave* yang digunakan dalam *Surface-Water Modeling System* (SMS) versi 10.1 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Persamaan pengatur pada *CMS-Wave* diselesaikan dengan metode beda hingga (*finite difference method*), dengan membagi domain ke dalam sistem grid yang ukurannya dapat divariasikan (*variable rectangular grid*). Output simulasi adalah ketinggian, periode dan arah gelombang pada tiap-tiap grid yang telah memperhitungkan proses transformasi gelombang seperti refraksi, difraksi, refleksi dan gelombang pecah.

Tabel 2.1 Model spektrum gelombang *CMS-Wave* pada SMS versi 10.1 (Lindik, 2008)

Metode	Parameter yang dibutuhkan
TMA Spectrum	Tinggi Gelombang signifikan (H_s)
	Periode puncak gelombang (T_p)
	Gamma (γ)
	Arah gelombang
	Sebaran arah (nn)
JONSWAP spectrum	H_s dan T_{api} atau kecepatan angin dan <i>fetch</i>
	Gamma (γ)
	Arah gelombang
	Sebaran arah (nn)
Bretschneider (ITTC) spectrum	Tinggi Gelombang signifikan (H_s)
	Periode puncak gelombang (T_p)
	Arah gelombang

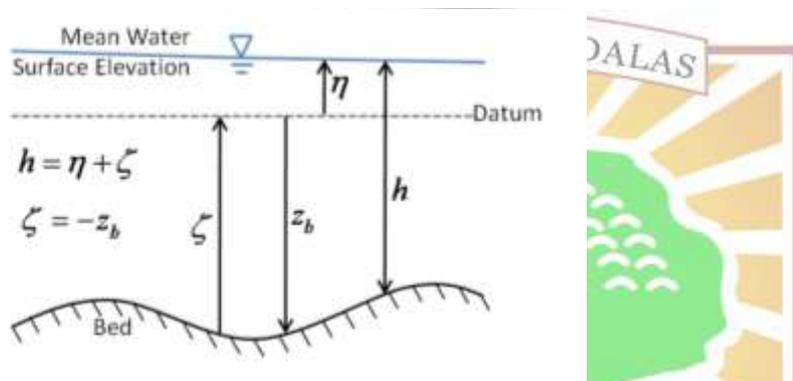
Metode	Parameter yang dibutuhkan
Pierson-Moskowitz spectrum	Sebaran arah (nn)
	Kecepatan angin atau H_s dan T_{pi}
	Periode gelombang minimum (T_{min})
	Arah gelombang
Ochie Hubble spektrum dengan puncak ganda	Sebaran arah (nn)
	H_s untuk frekuensi rendah
	H_s untuk frekuensi tinggi
	T_p untuk frekuensi rendah
	T_p untuk frekuensi tinggi
	Gamma (γ)
	Arah gelombang untuk frekuensi rendah
Arah gelombang untuk frekuensi tinggi	
	Sebaran arah (nn) untuk frekuensi rendah dan frekuensi tinggi

CMS-Flow adalah komponen Sistem Pemodelan Pesisir yang dikembangkan oleh Laboratorium Pesisir dan Hidraulik Korps Angkatan Darat AS. *CMS-Flow* adalah aproksimasi numerik dua dimensi, perbedaan hingga dari persamaan kontinuitas dan momentum yang terintegrasi dengan kedalaman. *Cell* didefinisikan pada kisi bujur sangkar yang terhubung dan dapat memiliki panjang sisi yang konstan atau bervariasi. Persamaan momentum diselesaikan dengan cara time-stepping terlebih dahulu, diikuti dengan solusi persamaan kontinuitas, dimana kecepatan yang diperbarui yang dihitung dengan persamaan momentum diterapkan. Model tersebut mensimulasikan arus, ketinggian air, transpor sedimen, dan morfologi di zona pesisir.

CMS-Flow merupakan pemodelan hidrodinamika dan sedimentasi 2D berdasarkan kedalaman rata-rata (*depth averaged*). Dalam hal ini berarti kecepatan arus dan angkutan sedimen dalam arah vertikal tidak diperhitungkan (Sanchez dkk, 2012). Metode numerik yang digunakan dalam *CMS-Flow* adalah metode volume hingga (*finite volume method*), dan pada SMS versi 10. 1 hanya tersedia skema eksplisit, sehingga langkah waktu (*time step*) yang digunakan dalam pemodelan dapat ditentukan dari *Courant Number* yang dikemukakan oleh Richtmayer dan Morton (1967) (lihat Buttolph dkk, 2006). Langkah waktu (*time step*) dalam simulasi tidak boleh

terlalu besar, agar tidak terjadi ketidak-stabilan numerik dalam perhitungan. Sebagai konsekuensi dari skema eksplisit ini, Triatmodjo (1992) menjelaskan bahwa waktu untuk simulasi akan menjadi sangat panjang dan lama.

Persamaan pengatur untuk hidrodinamika diturunkan dari persamaan kedalaman rata-rata pada air dangkal (*depth-averaged shallow-water equations*) dalam koordinat Cartesian (Sanchez dkk, 2012). Konvensi vertikal untuk elevasi muka air dan dasar dalam simulasi ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Konvensi vertikal untuk elevasi muka air dan dasar (Sanchez dkk, 2012)

CMS-Flow dengan skema eksplisit menggunakan persamaan pengatur sebagaimana dalam (Wu dkk, 2010):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (hu)}{\partial x} + \frac{\partial (hv)}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial (hu)}{\partial t} + \frac{\partial (huv)}{\partial x} + \frac{\partial (huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_t h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_t h \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sx} + \tau_{wx} - \tau_{bx}}{\rho} + f_c hv \quad (6)$$

$$\frac{\partial (hv)}{\partial t} + \frac{\partial (huv)}{\partial x} + \frac{\partial (hvv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_t h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_t h \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sy} + \tau_{wy} - \tau_{by}}{\rho} - f_c hu \quad (7)$$

Dimana:

t = waktu (s)

f_c = parameter *Coriolis*

h = kedalaman total berdasarkan waktu ($h = \eta + \zeta$)

η = elevasi muka air rata-rata terhadap datum (m)

u = kecepatan arus pada kedalaman rata-rata dalam arah x (m/s)

v = kecepatan arus pada kedalaman rata-rata dalam arah y (m/s)

$$u = \frac{q_x}{h} \quad v = \frac{q_y}{h}$$

q_x = debit persatuan lebar dalam arah x

q_y = debit persatuan lebar dalam arah y

g = percepatan gravitasi (m/s²)

ρ = massa jenis air (1025 kg/m³)

ν_t = turbulent eddy viscosity (m²/s)

τ_{sx}, τ_{sy} = tekanan radiasi gelombang (*radiation stress*) pada arah x dan y

τ_{bx}, τ_{by} = tegangan geser dasar (*bed shear stress*) pada arah x dan y

τ_{wx}, τ_{wy} = tegangan permukaan akibat gaya angin pada arah x dan y

Proses angkutan sedimen pada *CMS-Flow* adalah dengan konsep tegangan geser dasar (*bed shear stress*) yang terjadi akibat arus, gelombang dan angin, sehingga koefisien gesekan sangat berpengaruh untuk menentukan angkutan sedimen. Formula untuk menentukan angkutan sedimen yang dapat digunakan antara lain Watanabe, Lund-CIRP, Van Rijn, *Exponential* dan *Advection-Diffusion* (AD). Khusus formula *Advection-Diffusion* (AD) hanya digunakan untuk perhitungan sedimen layang (*suspended sediment*).

Perubahan morfologi ditentukan berdasarkan persamaan kontinuitas sedimen, dimana laju angkutan sedimen dihitung berdasarkan salah satu formula di atas. Model angkutan sedimen pada modul *CMS-Flow* versi 3.75:

1. Equilibrium transport model

Model ini mengasumsikan bahwa sedimen dasar dan sedimen layang selalu berada dalam kondisi seimbang (*equilibrium*). Persamaan kontinuitas sedimen yang dapat digunakan untuk menghitung perubahan morfologi adalah *equilibrium total load* dan *equilibrium Advection-Diffusion* (AD). *Equilibrium total load*

merupakan pemodelan sedimen yang sederhana dan paling sering digunakan, tetapi terdapat beberapa kekurangan dari model ini, yaitu hanya terdiri dari satu ukuran sedimen dan seringkali terjadi ketidak stabilan numerik dalam perhitungan. Angkutan sedimen pada persamaan kontinuitas sedimen *equilibrium total load* dihitung dengan pemilihan formula Lund-CIRP atau Watanabe, sedangkan *equilibrium Advection-Diffusion* (AD) menggunakan pemilihan antara formula Van Rijn, Lund-CIRP dan *Exponential*.

2. Equilibrium bed load dan non equilibrium suspended sedimen transport model

Model ini merupakan pengembangan dari model *equilibrium total load*, di mana pada model kedua ini, diasumsikan hanya sedimen dasar (*bed load*) yang berada dalam keadaan seimbang, sementara sedimen layang tidak (kondisi *non equilibrium*). Angkutan sedimen layang tidak dihitung dengan formula *Advection-Diffusion* (AD), sedangkan angkutan sedimen dasar ditentukan berdasarkan pilihan dengan formula Watanabe, Lund-CIRP atau Van Rijn. Persamaan kontinuitas sedimen untuk perubahan morfologi adalah *Advection-Diffusion* (AD).

Pada modul *CMS-Wave* dan *CMS-Flow* membuat grid, memasukkan syarat batas (*boundary condition*) dan parameter yang diperlukan masing-masing dilakukan secara bersamaan. Untuk menjalankan (*running*) program, SMS versi 10.1 menyediakan fitur untuk menjalankan modul *CMS-Wave* dan *CMS-Flow* secara bersamaan (*coupling*). Pada proses *coupling*, data akan diteruskan secara dua arah sesuai dengan pengaturan selang waktu. *CMS-Wave* akan diproses terlebih dahulu, setelah itu data gelombang dari *CMS-Wave* akan diteruskan kepada *CMS-Flow*, output *CMS-Flow* berupa elevasi muka air, arus, angkutan sedimen serta perubahan morfologi yang terjadi telah memperhitungkan pengaruh dari gelombang, output kembali diteruskan pada *CMS-Wave*, sehingga perubahan elevasi muka air dan arus

diperhitungkan dalam simulasi gelombang yang dilakukan oleh *CMS-Wave*, termasuk *update* batimetri akibat perubahan morfologi, demikian seterusnya sampai akhir waktu simulasi yang ditentukan.

Hasil pemodelan *CMS-Wave* dan *CMS-Flow* dapat menggambarkan proses fisik pantai dan sesuai dengan kebutuhan untuk perencanaan bangunan pantai, validasi model telah dilakukan. Selain itu simulasi numerik juga dilakukan terhadap permasalahan nyata di lapangan, sehingga penulis tertarik untuk menggunakan modul *CMS-Wave* dan *CMS-Flow* pada program *SMS* versi 10.1 untuk mensimulasikan bangunan pengaman Pantai Sunur Kota Pariaman.

