

Pemilihan Groin dan Breakwater sebagai Bangunan Pengaman Pantai Tiram Padang Pariaman

Muhammad Yusuf¹, Mas Mera²

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas^{1,2}

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

Simulasi; Groin; *Breakwaters*;
Abrasi; Sedimen.

***Correspondence email:**

suf1984lv@gmail.com¹,
mas_mera@eng.unand.ac.id²

Submitted: 11-10-2024

Revised: 24-01-2025

Accepted: 06-02-2025

Published: 06-02-2025

ABSTRAK

Penelitian ini adalah tentang simulasi numerik untuk memperkirakan efektivitas groin dan breakwaters sebagai bangunan pelindung Pantai Tiram Kabupaten Padang Pariaman (Sumatera Barat-Indonesia) dengan menggunakan program jadi untuk penanganan abrasi. Efektivitas bangunan pelindung dapat dilihat berdasarkan batimetri yang terbentuk akibat struktur tersebut. Simulasi dilakukan pada kondisi gelombang maksimum, dengan arah gelombang datang dominan pada laut dalam adalah dari arah barat. Simulasi dilakukan dengan dengan 2 skenario, yaitu dengan penambahan struktur groin (skenario 1), dan dengan penambahan struktur breakwaters (skenario 2). Waktu simulasi adalah 5 hari saja yaitu mulai dari tanggal 22 Mei sampai dengan 26 Mei 2020 karena pada saat itu gelombang ekstrim. Hasil simulasi menunjukkan bahwa breakwaters dengan panjang 80m dan jarak dari garis pantai 70m lebih efektif dalam melindungi Pantai Tiram dari abrasi. Simulasi menggunakan groin hanya efektif menahan angkutan sedimen di sepanjang groin saja. Groin juga tidak mampu mereduksi energi gelombang yang datang dari arah barat.

ABSTRACT

This study is about numerical simulations to predict the effectiveness of groynes and breakwaters as protective structures for Tiram Beach, Padang Pariaman Regency (West Sumatra-Indonesia) using an existing software for abrasion management. The effectiveness of a shore-protective structure can be seen based on the bathymetry formed due to the structure. The numerical simulation is carried out at maximum wave conditions, with the dominant direction of the incoming wave in the deep sea being from the west. The simulation are carried out with 2 scenarios, namely with the addition of groynes (scenario 1), and with the addition of breakwaterse (scenario 2. The simulation time is only 5 days, starting from May 22 to May 26, 2020 because at that time the waves were extreme. The simulation results show that the breakwaters with a length of 80m and a distance of 70m from the shoreline are more effective in protecting Tiram Beach from abrasion. The simulation using groynes is only effective at holding sediment transport along the structures. The groynes are also unable to reduce wave energy coming from the west.

Keywords:

Simulation; Groynes; *Breakwaters*;
Abration; Sediments.

PENDAHULUAN

Secara administratif Pantai Tiram terletak di wilayah Kecamatan Ulakan Tapakis, Kabupaten Padang Pariaman, Sumatera Barat. Luas Pantai Tiram yaitu sekitar 10,5 hektar serta memiliki hamparan pasir yang memanjang. Lokasi pantai juga dekat dengan Bandara Internasional Minangkabau (BIM) yaitu sekitar 12 km dan sekolah kedinasan di bawah pembinaan Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Perhubungan (BPSDMP) yaitu Sekolah Politeknik Pelayaran Sumatera Barat. Pantai Tiram juga termasuk salah satu objek wisata alam (Wikipedia, 2020). Namun Pantai Tiram juga memiliki masalah utama yang sering kali terjadi, yaitu abrasi. Abrasi ini dapat mengancam kondisi pesisir Pantai Tiram yang menyebabkan mundurnya garis pantai.

Penulis tertarik melakukan penelitian untuk memberikan alternatif solusi perlindungan Pantai Tiram atas kerusakan bagi instasi terkait dengan memilih bangunan pantai antara groin dan *breakwater* yang paling efektif untuk melindungi Pantai Tiram dengan cara simulasi menggunakan program jadi *Surface Water Modeling System (SMS)* versi 10.1. Modul yang digunakan *CMS-wave* dan *CMS Flow*.

Kajian Teori

Perencanaan tata letak groin meliputi penentuan jarak antara groin serta penempatan groin pada lokasi. Jarak antar groin didefinisikan sebagai fungsi dari panjang groin untuk spasi. Selain itu juga merupakan fungsi sudut datang gelombang, selisih pasang surut, material dan kelandaian pasir. Jarak groin yang terlalu dekat akan memberikan system groin yang mahal, selain itu dari segi artistik akan mengganggu keindahan pantai. Sedangkan jarak yang terlalu jauh akan menghasilkan suatu sistem groin yang tidak efektif dan erosi akan tetap berlanjut, sehingga fungsi

groin untuk menangkap sedimen tidak tercapai. Jarak antar groin pada pantai berpasir secara spesifik adalah 2 sampai 3 kali panjang groin (Erlich and Kulhawy, 1982).

Solihuddin (2011) melakukan penelitian mengenai karakteristik pantai dan proses abrasi pada pesisir Padang Pariaman dan sebagian pesisir Kota Pariaman. Metode penelitian dilakukan dengan pengumpulan data sekunder berupa data angin selama 10 tahun pengamatan (1995-2005) dari BMKG Stasiun Meteorologi Tabin Padang untuk peramalan gelombang, pengumpulan hasil prediksi dan pengolahan data pasang, dan pengamatan langsung karakteristik pantai di lapangan. Karakteristik pantai yang didapatkan dari hasil penelitian adalah 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%. Tipe gelombang pasang pesisir Padang Pariaman menurut Solihuddin adalah pasang campuran condong keharian ganda dengan perbedaan antara pasang naik dengan pasang surut sebesar 6109,57cm. Secara keseluruhan karakteristik pantai pesisir Padang Pariaman termasuk jenis pantai berpasir (sandy beach).

Yuldi (2016) dengan melakukan simulasi numerik hidrodinamika dan sedimentasi pada Batang Anai dengan menggunakan *surface water modelling system*. Secara bertahap menggunakan modul *GFGEN* untuk membuat geometri dan *file meshlemen*, modul *RMA-2* (Resources Management Associates-2) untuk pemodelan hidrodinamika dengan output elevasi dan arus, kemudian modul *SED-2D* untuk mensimulasikan proses angkutan sedimen pada muara sungai Batang Anai. Sebagai input data untuk syarat batas (boundary condition) adalah elevasi pasang (tide elevation) pada muara sungai untuk kondisi batas di hilir dan debit dari aliran sungai Batang Anai untuk kondisi batas di sebelah hulu. Simulasi yang dilakukan Yuldi tidak memperhitungkan interaksi gelombang dengan arus dan sedimentasi.

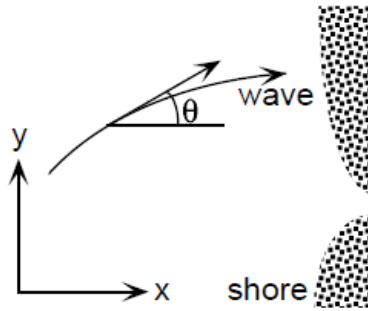
Ondara dkk (2018) melakukan penelitian kerentanan pesisir Kota Pariaman dimana dalam kurun waktu delapan tahun (2005 sampai 2017) terlihat penurunan kualitas pesisir Kota Pariaman, yang ditandai dengan semakin bertambahnya jumlah garis pantai yang terabrasi dibandingkan dengan garis pantai yang mengalami akresi. Chrisnatilova (2020) melakukan simulasi numerik untuk melihat efektifitas groin dan breakwater sebagai bangunan pengaman Pantai Tiram Kabupaten Padang Pariaman dengan menggunakan software *Surface Water Modelling System*. Mereka melakukan simulasi pada dua kondisi gelombang yaitu kondisi gelombang normal dan kondisi gelombang badai, dengan arah gelombang datang pada syarat batas offshore adalah dari arah barat (arah dominan), barat daya, selatan dan barat laut dengan mendapatkan 3 total skenario, berdasarkan hasil simulasi baik dalam kondisi gelombang normal maupun kondisi gelombang badai terjadi abrasi dan diperlukan penanganan terhadap Pantai Tiram Kabupaten Padang Pariaman. *Surface-Water Modelling System* (SMS) adalah prosesor *pra* dan *pasca* untuk pemodelan elemen hingga dan elemen beda hingga yang merupakan *software* buatan Aquaveo, LLC yang memiliki antarmuka pengguna grafis (GUI/ *Graphical User Interface*) dan *tool* analisis.

Surface Water Modelling System (SMS) awalnya dikembangkan oleh Laboratorium Teknik Komputer Grafis di Universitas Brigham Young (kemudian berganti nama pada September 1998 menjadi Laboratorium Penelitian Pemodelan Lingkungan atau EMRL) pada akhir 1980-an di stasiun kerja Unix. Pengembangan SMS didanai terutama oleh Korps Insinyur Angkatan Darat Amerika Serikat dan masih dikenal sebagai Sistem Pemodelan Air Permukaan Departemen Pertahanan. Pada tahun 2007 program SMS dikelola oleh perusahaan Aquaveo yang sampai sekarang terus berusaha melakukan pengembangan perangkat lunak SMS Aquaveo, 2015. SMS adalah perangkat lunak yang dapat melakukan pemodelan hidrodinamika dan mensimulasikan elevasi muka air baik pada sungai, muara, *inlet* maupun pesisir (*coastal*). SMS terdiri dari beberapa modul yang dapat digunakan untuk pemodelan hidrodinamika sungai, muara dan pesisir.

Surface-Water Modelling System (SMS) versi 10.1 tahun 2010 dikembangkan oleh *Coastal Inlet Research Program* (CIRP) *US. Army Corps of Engineer* mulai memperkenalkan modul *CMS-Wave* dan modul *CMS-Flow* untuk generasi jaringan dan model pengaturan serta untuk merencanakan proses akhir. *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).

Mwanuzi dan Vanacher (2006) melakukan penelitian pada bagian hilir sungai Simuyu di Tanzania bertujuan untuk mempelajari aliran dan sedimentasi dengan membandingkan hasil simulasi dua perangkat lunak yang berbeda yaitu SMS dengan menggunakan modul *RMA-2* dan *SED-2D* dan perangkat lunak *SCALDIS* yang dikembangkan oleh Free University of Brussels. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *SCALDIS* lebih mudah dikalibrasi karena parameter yang paling berpengaruh hanya koefisien kekasaran Manning, sementara SMS memerlukan informasi yang detail mengenai beragam parameter sebagai input data. Selain itu *SCALDIS* dapat memodelkan hidrodinamika dan sedimentasi dalam waktu bersamaan sedangkan SMS harus melalui 2 (dua) tahap pemodelan, pertama menggunakan modul *RMA-2* untuk pemodelan hidrodinamika kemudian baru dilanjutkan dengan modul *SED-2D* untuk mensimulasikan proses sedimentasi.

Dalam perkembangan *Surface Water Modelling System*, pada versi 10.1 tahun 2010 mulai diperkenalkan 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 tapi 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 1. Perambatan gelombang menuju pantai

Sumber: Lin, L (2012)

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

Di mana:

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

$E(\sigma, \theta)$ = 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:

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

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

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

Di mana:

U = kecepatan arus dalam arah x

V = kecepatan arus dalam arah y

k = angka gelombang

h = kedalaman air

Gambar 2 mengilustrasikan proses perambatan gelombang menuju pantai, di mana pada 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

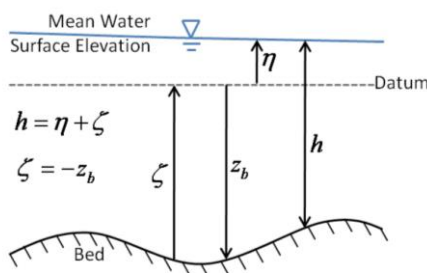
spektrum parametric. Beberapa pilihan model spektrum gelombang *CMS-Wave* yang digunakan dalam SMS versi 10.1 dapat dilihat pada Tabel 1. Persamaan pengatur pada *CMS-Wave* diselesaikan dengan metode beda hingga (*finite difference method*), dengan membagi domain ke dalam sistem grid yang ukurannya dapat 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 1. Model spektrum gelombang *CMS-Wave* pada SMS versi 10.1

Metode	Parameter yang dibutuhkan
TMA spectrum	Tinggi gelombang signifikan (H_s) Periode puncak gelombang (T_p) Gamma (γ) Arah gelombang
JONSWAP spectrum	Sebaran arah (nm) Hs dan Tp atau kecepatan angin dan fetch Gamma (γ) Arah gelombang
Bretschneider (ITTC) spectrum	Sebaran arah (nm) Tinggi gelombang signifikan (H_s) Perode gelombang minimum (T_p) Arah gelombang
Pierson-moskowitz spectrum	Sebaran arah (nm) Kecepatan angin hs dan tp Periode gelombang minimum (T_{Min}) Arah gelombang
Ochie hubble spektrum dengan puncak ganda	Sebaran arah (nm) Hs untuk frekuensi tinggi Tp untuk frekuensi rendah Tp untuk frekuensi tinggi Gamma (γ) Arah gelombang untuk frekuensi rendah Arah gelombang untuk frekuensi tinggi
	Sebaran arah (nm) untuk frekuensi rendah dan frekuensi tinggi

Sumber: Lin, dkk (2008)

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.



Gambar 2. Konvensi vertikal untuk elevasi muka air dan dasar (Sanchez dkk, 2012)

Sumber: Sanchez dkk (2012)

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

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

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

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

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/s^2)

ρ = massa jenis air (1025 kg/m^3)

ν_t = turbulent eddy viscosity (m^2/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

Prinsip 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, di mana 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* (model Exner) 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 sediment transport model*

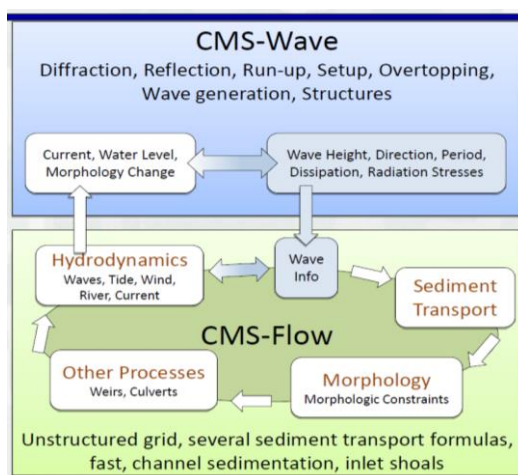
Merupakan pengembangan dari model *equilibrium total load*, di mana pada model kedua ini, diasumsikan hanya sedimen dasar (*bed load*) yang berada dalam keadaan seimbang, sementara sedimen layang tidak (kondisi *non equilibrium*). Angkutan sedimen layang dihitung dengan formula *Advection-Diffusion* (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).

Nam dkk 2009 melakukan simulasi untuk pemodelan laju sedimentasi pada lima seri benda uji, dengan menggunakan formula angkutan sedimen yang berbeda. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kombinasi formula *Advection-Diffusion* (AD) untuk sedimen layang - Lund CIRP untuk sedimen dasar memberikan prediksi hasil terbaik untuk angkutan sedimen sepanjang pantai, dibandingkan dengan pemakaian single formula Lund CIRP atau Watanabe.

Buttolph dkk (2006) menyatakan bahwa formula Lund-CIRP memiliki kemampuan untuk menghasilkan efek transisi angkutan sedimen yang halus (*smooth*) antara daerah gelombang tidak pecah-pecah serta daerah yang angkutan sedimennya hanya dipengaruhi arus dan yang dipengaruhi oleh arus-gelombang.

Syarat batas (*boundary condition*) pada *CMS-Flow* versi 3.75 adalah pemilihan antara elevasi muka air, konstituen pasang atau kombinasi elevasi muka air dan arus.

Pembuatan grid, memasukkan syarat batas (*boundary condition*) dan parameter yang diperlukan, masing-masing dilakukan secara terpisah pada modul *CMS-Wave* dan *CMS-Flow*, tetapi 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. Gambar 3 mengilustrasikan proses *coupling* antara *CMS-Wave* dan *CMS-Flow* selama proses *running* program.



Gambar 3. Proses *coupling* *CMS-Wave* dan *CMS-Flow*

Sumber: Brown (2010)

Berbagai validasi model telah dilakukan pada *CMS-Wave* dan *CMS-Flow*, dengan cara membandingkan hasil simulasi numerik dengan data hasil pengujian di laboratorium dan pengukuran lapangan. Selain validasi model, simulasi permasalahan nyata di lapangan dengan *Coastal Modeling System* juga telah banyak dilakukan oleh para peneliti terdahulu. Lin dkk 2019 melakukan simulasi numerik dengan *Coastal Modeling System* pada Pelabuhan Rota di sebelah utara Pulau Mariana untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi *existing* pelabuhan terhadap pengaruh gelombang, arus dan angkutan sedimen. Kondisi *existing* selanjutnya dimanfaatkan sebagai data dasar dalam peningkatan fungsi pelabuhan dan saluran pelayaran.

METODE

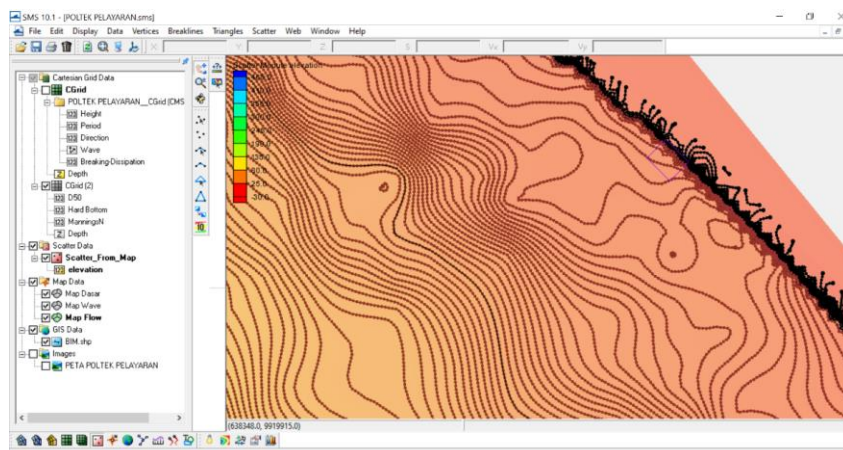
Data yang akan dikumpulkan adalah data sekunder yang terdiri dari data batimetri, data kecepatan dan arah angin, dan data elevasi pasang. Data batimetri yang akan digunakan adalah data Batimetri Nasional (BATNAS). Batimetri Nasional mempunyai akurasi terbaik di daerah pantai Kepulauan Indonesia dibandingkan dengan data model batimetri lainnya seperti GEBCO30s edisi tahun 2014, SRTM30 dan SRTM15 plus, karena telah dilakukan asimilasi data pemeruman di perairan dangkal dan daerah pantai dari data hasil survey Pusat Kelautan dan Lingkungan Pantai (BIG, 2019). Data angin diunduh dari situs Badan Meteorologi dan Geofisika <http://dataonline.bmkg.go.id/>, untuk 10 tahun pengamatan pada Stasiun Meteorologi Minangkabau Padang Pariaman, parameter data yang dibutuhkan antara lain kecepatan dan arah angin. Elevasi pasang yang digunakan untuk simulasi adalah data pada tanggal 22 sampai 31 Mei 2020.

HASIL

Pengolahan Data Awal

Data Bathimetri

Untuk melakukan simulasi ini maka diperlukan data bathimetri. Kemudian data yang telah diunduh diproses lagi menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Data bathimetri ini yang digunakan dalam proses simulasi harus memiliki nilai elevasi pada setiap garis konturnya sehingga dapat di baca pada software SMS 10.1. jika data bathimetri yang di gunakan tidak memiliki nilai elevasi pada setiap kontur maka pada proses simulasi akan mengalami kegagalan atau *error*.

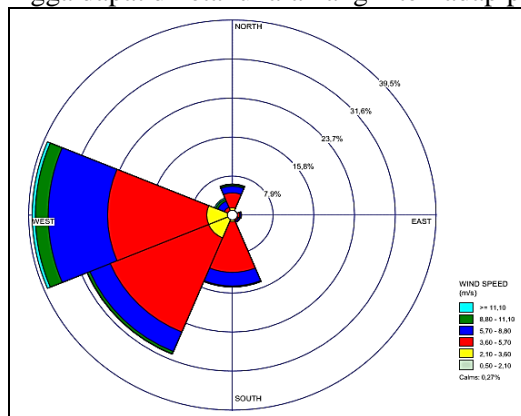


Gambar 4. Data kontur

Sumber: Olahan Data SMS versi 10.1 (2022)

Data Angin

Data angin yang digunakan diperoleh selama 10 tahun pengamatan (2012 sampai dengan 2021) kemudian di proses dengan program WRPlot. Hasil rekapitulasi data angin digambarkan pada mawar angin (*wind rose*) seperti yang ditampilkan pada Gambar 4 sehingga dapat diketahui arah angin terhadap pembangkitan gelombang.



Gambar 5. Wind rose data angin 2012-2021

Sumber: Chrisnatilova, 2020

Berdasarkan *wind rose* dapat diketahui bahwa arah angin dominan berasal dari barat dengan persentase kejadian angin sebesar 38,72%

Menentukan Daerah Pembentukan Gelombang *Fetch*

Fetch adalah daerah pembentukan gelombang yang diasumsikan memiliki kecepatan dan arah angin yang relatif konstan. Di dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin (Triatmodjo, 2008, p.155). Dalam penelitian, setelah digambarkan ke dalam peta, hanya ada 4 (empat) arah mata angin yang berpengaruh terhadap pembangkitan gelombang, yaitu dari barat, barat daya, selatan dan barat laut. Arah angin dari utara tidak memungkinkan untuk membentuk *fetch*, karena langsung berhadapan dengan daratan.

Simulasi Tahap I: Melakukan simulasi CMS-Wave pada Parent Grid (Grid Induk)

Pada simulasi awal ini dilakukan simulasi menggunakan CMS-Wave pada grid induk simulasi menggunakan data bathimetri yang telah di masukkan ke perangkat lunak SMS 10.1 kemudian dijalankan proses *running* dengan memasukkan data gelombang dan periode yang telah diperoleh sebelumnya yaitu $h = 2,0$ m dan periode 12 detik.

Langkah selanjutnya yaitu melakukan input data pada *spectral energy* untuk menentukan berapa nilai h awal dan periode yang akan kita simulasikan pada proses *running CMS-Wave*. Hasil simulasi diperoleh gelombang pecah pada Pantai Tiram.

Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai

Lebar surfzone (daerah gelombang pecah) untuk perencanaan groin dan breakwaters ditentukan dari hasil simulasi gelombang arah barat. Diasumsikan gelombang dari arah barat dapat mewakili lebar surfzone untuk keseluruhan arah gelombang. Lebar *surfzone* yang diperoleh dari hasil simulasi rata-rata adalah 40m.

Perencanaan Groin

Groin adalah bangunan yang menjorok dari pantai ke arah laut, yang digunakan untuk menangkap/menahan gerak sedimen sepanjang pantai, sehingga transpor sedimen sepanjang pantai berkurang atau berhenti. Perlindungan pantai dengan menggunakan satu buah groin tidak efektif. Biasanya bangunan pelindung groin dibuat seri yang terdiri dari beberapa groin yang ditempatkan pada jarak tertentu. Dengan menggunakan satu sistem groin perubahan garis pantai yang terjadi tidak terlalu besar (Triadmojo, 2008). Pada simulasi ini penulis melakukan simulasi dengan membuat 3 buah groin di Pantai Tiram dengan panjang groin melewati lebar dari *surfzone* yaitu 50 m dengan jarak antar groin sama dengan panjangnya.

Perencanaan Breakwaters

Breakwaters atau yang disebut pemecah gelombang lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Bangunan ini bertujuan untuk mengurangi energi gelombang yang terjadi dibelakang struktur sehingga gelombang melemah menuju pantai dan menimbulkan sedimen disekitar bangunan *breakwaters*. Penempatan *breakwaters* direncanakan berada di luar *surfzone*, sehingga pada kondisi gelombang maksimum, breakwaters dapat berfungsi untuk melemahkan energi gelombang yang datang dari arah barat. Pada simulasi ini penulis melakukan simulasi dengan membuat 3 buah breakwater di Pantai Tiram dengan panjang dan jarak antar *breakwaters* yaitu 80 m, dengan jarak *breakwaters* dari garis pantai 70m.

Numerical Set-Up untuk Child Grid: CMS Wave

Koefisien Refleksi

Koefisien refleksi untuk simulasi pada kondisi tanpa struktur (eksisting) pada *child grid* sama dengan *parent grid*, yaitu 0,025 untuk semua arah dan kondisi gelombang. Koefisien refleksi untuk struktur groin dan *breakwaters* ditentukan sebagai tipe bangunan tumpukan batu sisi miring (lihat Triatmodjo, 1999 Tabel 3.3 Koefisien Refleksi), sehingga dalam simulasi digunakan nilai koefisien refleksi = 0,3 untuk semua arah dan kondisi gelombang.

Koefisien Difraksi

Khusus untuk struktur *breakwaters*, nilai koefisien difraksi antara 3 sampai dengan 4, tergantung antara perbandingan panjang gelombang dengan lebar celah (*gap breakwaters*). Apabila panjang gelombang lebih besar dari celah terjadi difraksi kuat, sehingga koefisien difraksi = 4 dan apabila panjang gelombang lebih kecil dari lebar celah, koefisien difraksi = 3 (Lin dkk, 2008). Nilai koefisien difraksi untuk kondisi tanpa struktur pada *child grid* sama dengan *parent grid* yaitu 1, sedangkan koefisien difraksi pada struktur groin adalah 2 untuk semua arah dan kondisi gelombang.

Koefisien Kekasaran Manning

Nilai koefisien kekasaran Manning untuk sedimen dengan diameter butiran rata-rata (D_{50}) 0,2 mm adalah 0,025 berdasarkan nilai default modul CMS dan (Barua, 2017).

Numerical Set-Up untuk Child Grid: CMS Wave: CMS Flow

Input data parameter untuk CMS Flow ditampilkan pada Tabel 6

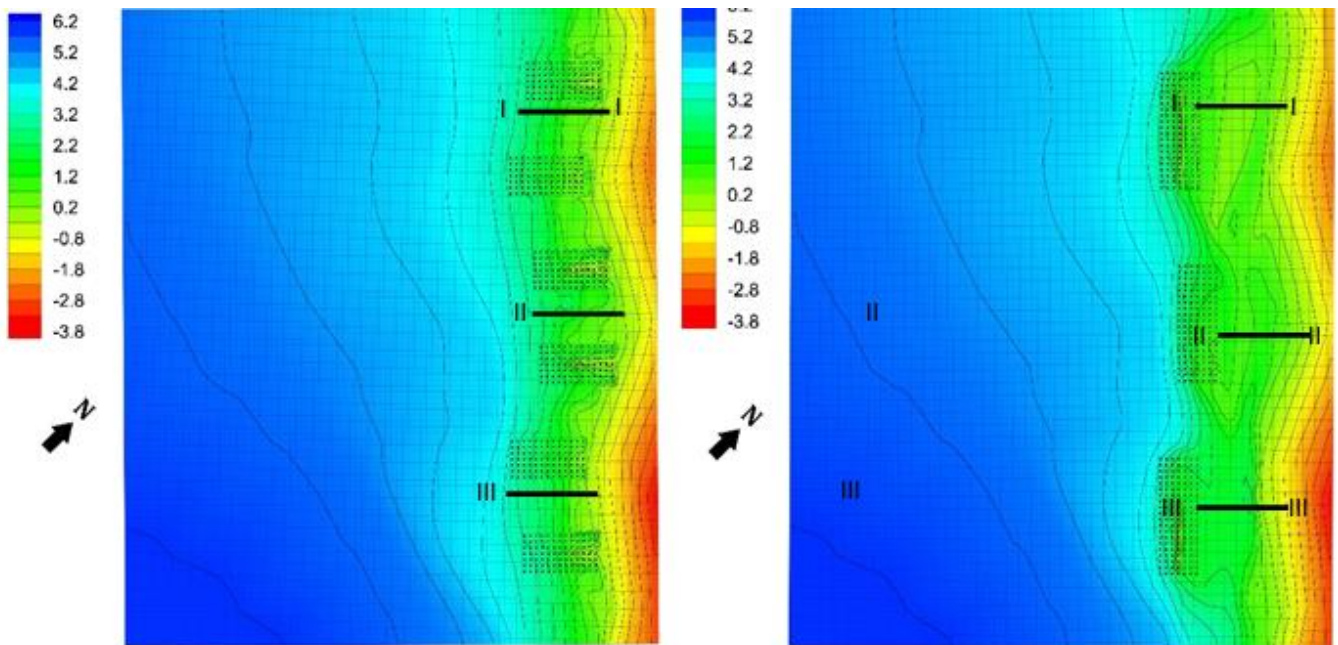
Tabel 6. Input data parameter CMS Flow

Parameter	Data Input	Keterangan
D_{50}	0,2 mm	Pasir halus
Koefisien kekasaran manning (pasir halus)	0,025	n pasir halus
Koefisien kekasaran manning (struktur groyne dan breakwaters)	0,032	n rubble mound
Massa jenis air	1025 kg/m ³	
Massa jenis sedimen	2650 kg/m ³	
Hydrodynamic time step (Δt)	0,1 s	

Sumber: Barua (2017)

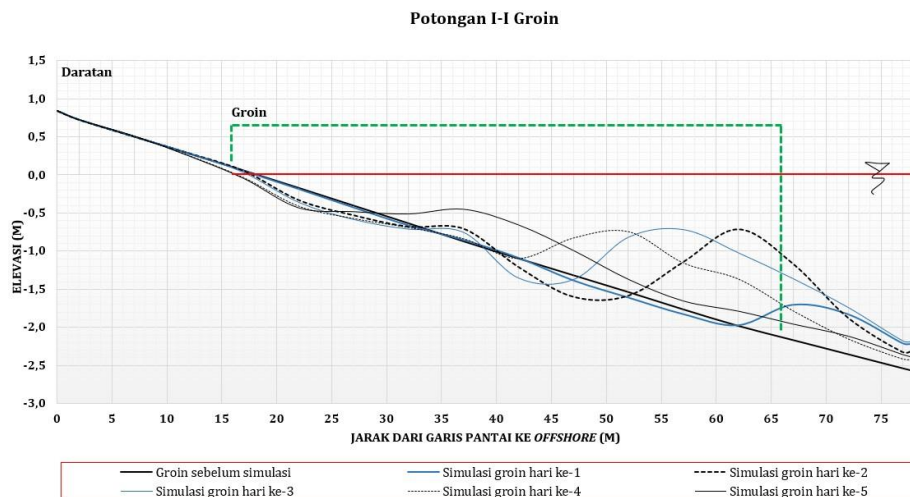
Perubahan Morfologi setelah simulasi

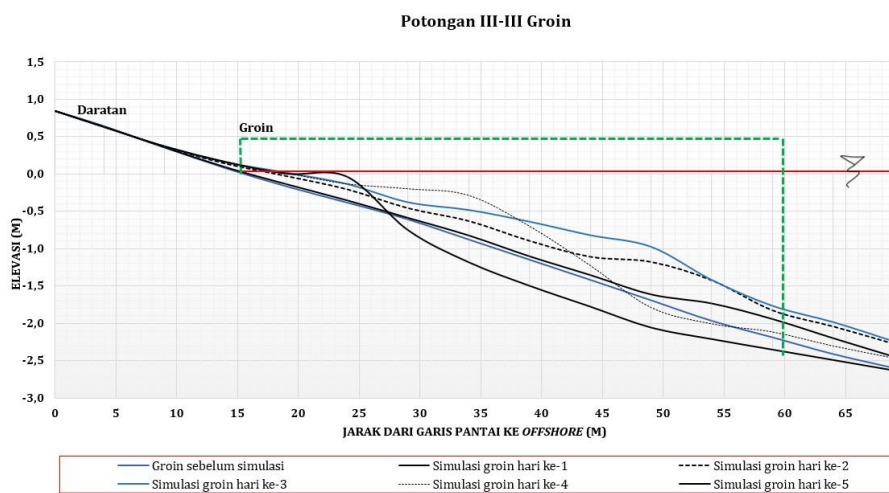
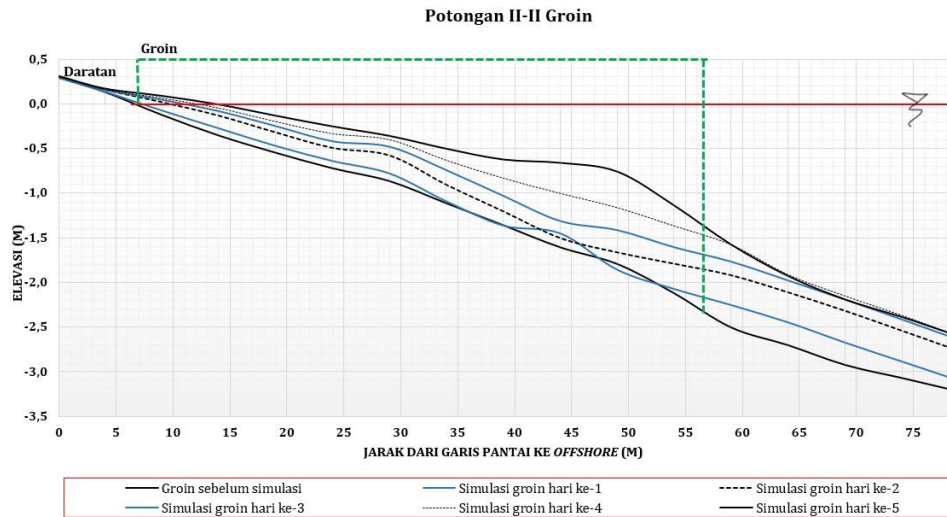
Perubahan morfologi setelah simulasi hari ke-5 dapat dilihat pada Gambar 24 untuk lebih detail dapat dilihat dari potongan melintang pada Gambar 24 untuk groyne dan Gambar 26 untuk *breakwaters*.



Gambar 24. Hasil simulasi hari ke-5 groyne dan breakwater

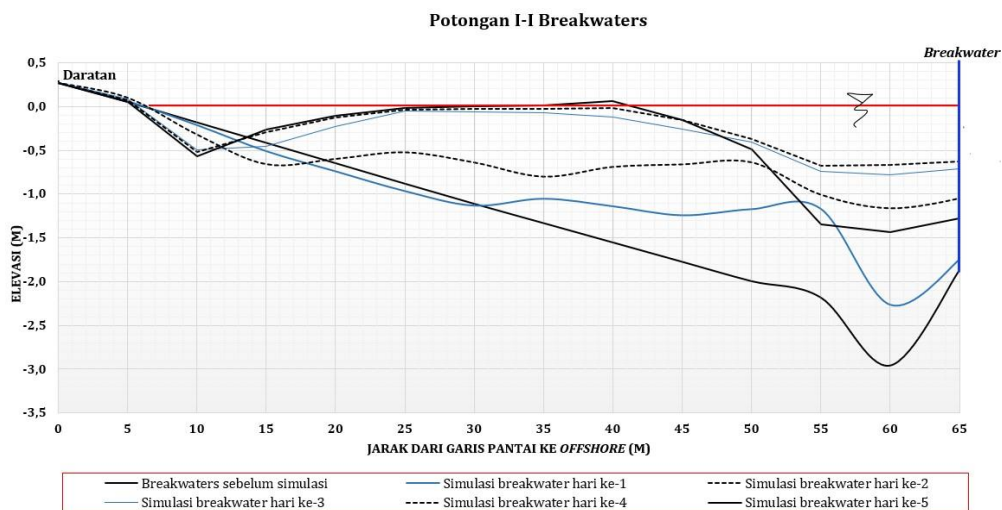
Sumber: Olahan Data SMS versi 10.1 (2022)

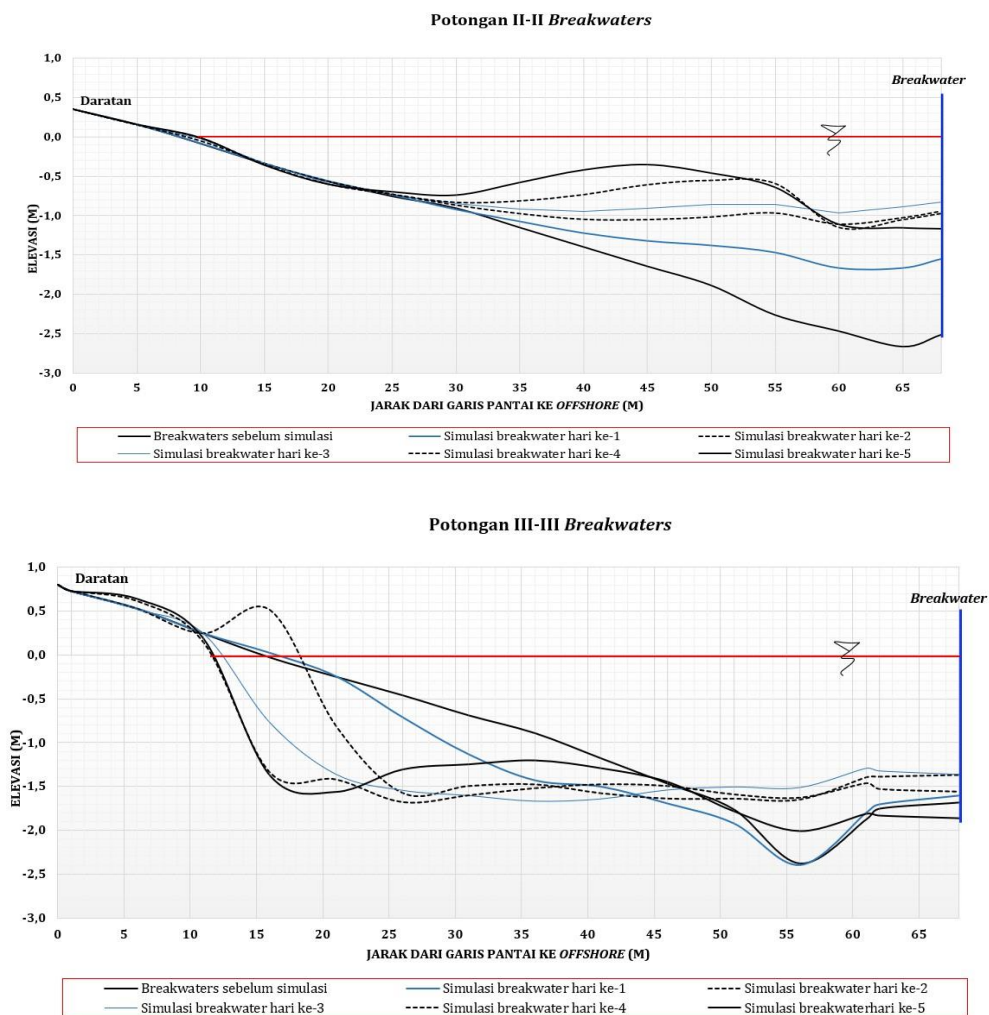




Gambar 25. Potongan groyan

Sumber: Olahan Data (2022)





Gambar 26. Potongan Breakwaters

Sumber: Olahan Data (2022)

SIMPULAN

Simulasi dilakukan selama 5 hari yaitu mulai dari tanggal 22 sampai 26 Mei 2020. Pada waktu itu dipilih karena terjadi gelombang pasang. Hasil simulasi menunjukkan bahwa bangunan pemecah gelombang (*breakwaters*) dengan panjang 80m dan jarak dari garis pantai 70m lebih efektif dalam upaya perlindungan terhadap abrasi pantai yang terjadi di sekitar Pantai Tiram dari pada menggunakan bangunan groin.

DAFTAR PUSTAKA

- Barua, D.K. (2017). *Seabed Roughness of Coastal Waters*. Encyclopedia of Coastal Science. DOI 10.1007/978-3-319-48657-4_360-1.
- Brown, M. (2010). *Overview of the Coastal Modeling System. Materi Webinar*. Vicksburg, Mississippi: Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineer Coastal Engineering Research Center.
- Chrisnatilova, D., 2020. Simulasi Numerik untuk Melihat Efektivitas Groin dan Breakwaters sebagai Bangunan Pengaman Pantai Gandoriah Kota Pariaman. Tesis Magister pada Program Studi Teknik Sipil, Universitas Andalas.
- L., Z. Demirbilek, H. Mase, J. Zheng, & F. Yamada. (2008). *CMS-Wave: A Nearshore Spectral Wave Processes Model for Coastal Inlets and Navigation Projects*. ERDC/CHL TR-08-13. Vicksburg, Mississippi: US Army Corps of Engineers, Engineers Research and Development Center.
- Lin, L. (2012). *CMS Wave - Background and Capabilities. Materi Webinar*, Vicksburg, Mississippi: US Army Corps of Engineers, Engineers Research and Development Center.
- Mase, H. (2001). "Multi-Directional Random Wave Transformation Model Based on Energy Balance Equation". Coastal Engineering Journal, 43(4), p. 317–337. <https://doi.org/10.1142/S0578563401000396>.
- Mera, M., 2020. Proses Pantai. Padang: Andalas University Press.

- Ondara, K., G.A. Rahmawan & Y.A. Pitri, 2018. "Kerentanan Pesisir Kota Pariaman Sumatera Barat Menggunakan Pemodelan Numerik Hidro-Oseanografi. Prosiding Seminar Nasional Kelautan dan Perikanan IV, 2018, Swis Bellin, Tunjungan Surabaya 5 September 2018, 13-24.
- Sánchez, A., T. Beck, L. Lin, Z. Demirbilek, M. Brown & H. Li., 2012. *Coastal Modeling System Draft User Manual*. Vicksburg, Mississippi: US Army Corps of Engineers, Engineers Research and Development Center.
- Sánchez, A., W. Wu, H. Li, M. Brown, C. Reed, J.D. Rosati & Z. Demirbilek, 2014. *Coastal Modeling System Mathematical Formulations and Numerical Methods*. Vicksburg, Mississippi: US Army Corps of Engineers, Engineers Research and Development Center.
- Solihuddin, T., 2011. Karakteristik Pantai Dan Proses Abrasi di Pesisir Padang Pariaman, Sumatera Barat. *Majalah Ilmiah Globe*, 13(2), 112–120. <http://jurnal.big.go.id/index.php/GL/article/view/93/90>.
- SE No. 08/SE/M/2010. Tentang Pedoman Penilaian Kerusakan Pantai dan Prioritas Penanganannya. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Triatmodjo, B., 1992. *Metode Numerik*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Yuldi, H., 2016. *Prediksi Debit Banjir Rencana Penyebab Sedimentasi di Muara Batang Anai*. Tesis Magister pada Program Studi Teknik Sipil, Universitas Andalas