

Numerical Simulation to See the Performance of Groynes and Breakwaters as Shore-Protection Structures at Ketaping Beach, Padang Pariaman

Adean Hariatama¹, Mas Mera²

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

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

Groin; *Breakwaters*; Simulasi; Pantai; Abrasi.

***Correspondence email:**

adean.hariatama28@gmail.com¹,
mas_mera@eng.unand.ac.id²

Submitted: 11-10-2024

Revised: 24-01-2025

Accepted: 05-02-2025

Published: 05-02-2025

ABSTRAK

Penelitian ini adalah tentang simulasi numerik untuk melihat kinerja groin dan breakwaters sebagai bangunan pengaman pantai di Pantai Ketaping, Padang Pariaman (Sumatera Barat-Indonesia) dengan menggunakan program jadi. Efektivitas bangunan pelindung pantai dapat dilihat dari tinggi dan luas batimetri yang terbentuk akibat bangunan tersebut. Arah gelombang datang di laut dalam untuk semua simulasi berdasarkan arah gelombang dominan, yaitu dari arah barat. Kondisi pasang diambil pada saat Hari Raya Idul Fitri 1442 H karena pada waktu itu terjadi pasang ekstrim. Berdasarkan pertimbangan waktu running pada komputer, maka rentang waktu simulasi yang dipilih adalah 5 hari saja (22 sampai 26 Mei 2020). Simulasi selama 5 hari tersebut menunjukkan bahwa kinerja breakwaters lebih efektif dari groin dalam melindungi Pantai Ketaping dari abrasi. Sedimentasi yang terbentuk dibelakang breakwater setinggi 20 sampai 80 cm di atas elevasi awal. Sedangkan kinerja groin hanya efektif menahan sedimen sepanjang groin tersebut setinggi 10 cm sampai 30 cm di atas elevasi awal.

ABSTRACT

This research is about numerical simulation to find out the performance of groynes and breakwaters as shore-protection structures in Ketaping Beach, Padang Pariaman (West Sumatra-Indonesia) using an existing software. The effectiveness of a shore-protection structure can be seen from the height and area of the bathymetry formed by the structure. The direction of incoming waves in the deep sea for all simulations is based on the dominant wave direction, namely from the west. The tide conditions were taken during Eid al-Fitr 1442 H because at that time there was an extreme tide. Based on the consideration of running time on the computer, the selected simulation time span is only 5 days (22 to 26 May 2020). The simulation for 5 days shows that the performance of breakwaters is more effective than groynes in protecting Ketaping Beach from abrasion. Sedimentation formed behind the breakwater as high as 20 to 80 cm above the initial elevation. Meanwhile, groyne performance is only effective at holding sediment along the groyne as high as 10 cm to 30 cm above the initial elevation.

Keywords:

Groyne; *Breakwaters*;
Simulation; Beach; Abrasion.

PENDAHULUAN

Pantai Ketaping atau disebut juga dengan Pantai Ampek Karambie ini tidak jauh dari Bandara Internasional Minangkabau (BIM) dan tepatnya berada di Nagari Ketaping, Kecamatan Batang Anai, Kabupaten Padang Pariaman Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis Nagari Ketaping sebelah barat berbatasan dengan Samudra Hindia, sebelah timur dengan Nagari Sungai Buluah, sebelah utara dengan Kecamatan Ulakan Tapakis dan sebelah selatan berbatasan dengan Kota Padang. Nagari ini berada diketinggian 0 sampai 5 meter di atas permukaan laut (dpl). Nagari ini berada 35 km dari Kota Padang. Pantai Ketaping sebagai salah satu destinasi wisata pantai yang dimiliki Kabupaten Padang Pariaman. Menurut Badan Pusat Statistik, garis pantai pada kecamatan Batang Anai sepanjang 11,24 km². Permasalahan yang seringkali terjadi pada Pantai Ketaping adalah abrasi pantai atau pengikisan pantai akibat gelombang, terutama pada saat badai dan pasang naik.

Penulis tertarik untuk melakukan simulasi untuk melihat bangunan pelindung pantai apa yang cocok untuk melindungi Pantai Ketaping dari abrasi akibat ganasnya gelombang Samudra Hindia. Pemilihan lokasi studi didasarkan pada jenis pemanfaatan ruang, yaitu pariwisata yang mendatangkan devisa, tempat ibadah, tempat usaha, industri, fasilitas pertahanan dan keamanan, daerah perkotaan, jalan negara, bandar udara, pelabuhan, pulau-pulau terluar. Dimana pada lokasi studi berada dekat prasarana umum Bandara Internasional Minangkabau (BIM).

Kajian Teori

Akhir dan Mera (2011) melakukan penelitian tentang prediksi lintasan gelombang laut pada Pelabuhan Pulau Baai di Provinsi Bengkulu dengan memperhitungkan refraksi dan pendangkalan gelombang, dimana dibutuhkan

parameter seperti data batimetri (data sekunder), tinggi gelombang laut dalam diperoleh dari hubungan data angin (data sekunder) dengan skala Beaufort, periode gelombang diperoleh dari panjang fetch efektif dan kecepatan angin di laut (pengolahan dan analisis data angin). Dari hasil skenario simulasi dengan lima sudut gelombang datang yang berbeda (0° , 15° , 30° , 45° , dan 60°) diperoleh lintasan gelombang di sekitar *breakwater* terjadi pengumpulan energi (merapat) sehingga terjadi tinggi gelombang terbesar dengan ketinggian maksimum 3,16 meter. Tinggi gelombang pada mulut masuk Pelabuhan pada ketinggian minimum sebesar 1,24 meter (tinggi gelombang menjadi lebih kecil karena terjadi penyebaran energi).

Samulano dan Mera (2011) juga melakukan simulasi numeris untuk memperoleh pola refraksi dan difraksi gelombang menggunakan program *RCPWave (Regional Coastal Process Wave Propagation Model)* dengan domain model di sepanjang Pantai Pariaman, yaitu pantai Padang Birik-Birik di utara sampai dengan pantai Sunur di selatan dengan jarak 14 km dan sejauh 13,50 km ke arah lepas pantai. Pada Domain model terdapat lima pulau kecil di depan pantai Pariaman, yaitu Pulau Kasiak, Pulau Angso Duo, Pulau Tengah, Pulau Ujuang dan yang terakhir Pulau Gosong Sibarat dimana persamaan pengatur yang digunakan adalah *mild-slope equation*. Samulano dan Mera juga menggunakan program pendukung lainnya, yaitu untuk mengolah data bathymetry menggunakan *Grid Generation*, mengolah data angin menggunakan *Dina Hindcastin*, *WWWL (Wind, Wave and Water Level Data)*. Hasil dari simulasi diperoleh bahwa tinggi gelombang yang besar terjadi di depan semua pulau dan dekat garis pantai Pariaman disebabkan adanya pengaruh pendangkalan. Untuk arah gelombang di dekat sepanjang garis pantai Pariaman hampir membentuk sudut tegak lurus dengan garis pantai, kecuali pada pantai di Padang Birik-Birik, Pauh Barat dan Taluak.

Fitria (2015) menggunakan *software Surface Water Modeling System (SMS)* untuk menganalisis pola pergerakan arus di sekitar Pantai Utara Nusa Penida. Dari hasil analisis pola pergerakan arus menggunakan model hidrodinamika SMS diperoleh pola pergerakan arus pasut di perairan sekitar Pantai Utara Nusa Penida bergerak menuju ke Barat Daya pada saat pasang dan bergerak menuju Utara dengan nilai kecepatan rata-rata arus pasut sekitar 4,28 cm/s (tahun 2006) dan bekisar antara 1,22-1,8 cm/s (tahun 2015).

Zulkifli (2017) melakukan simulasi gelombang perairan Sulaa Kota Baubau menggunakan *Surface Water Modeling System (SMS)* untuk mengetahui hasil analisis gelombang dan tinggi gelombang. Dari hasil simulasi diperoleh secara umum gelombang di perairan Sulaa dipengaruhi angin dari arah Barat Laut dengan tinggi gelombang 3,60 meter, arah Barat 1,17 meter, dan arah Barat Daya 1,98 meter.

Putri dkk (2019) melakukan pemodelan karakteristik gelombang dengan *Surface Water Modeling System (SMS)* pada pantai pulau Maginti yang terletak di Kabupaten Muna Barat. Analisa dari simulasi model perangkat lunak *Surface Water Modeling System (SMS) 10.0.10* dengan model penjalaran *CGWave*, dimana elevasi muka air laut 1,72 meter dan kondisi arah angin dominan adalah arah Timur Laut yang menghasilkan nilai tinggi gelombang sebesar 0,6-5,5 meter dimana rata-rata nilai tinggi gelombang 2,15 meter dengan nilai tinggi gelombang 1,6-2,3 meter disekitar garis pantai.

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.

Chrisnatilova (2020) melakukan penelitian menggunakan simulasi numerik dengan program *Surface Water Modeling System (SMS)* untuk melihat efektivitas groin dan *breakwaters* sebagai bangunan pelindung Pantai Gandorih dari abrasi pantai. Dari hasil penelitian, bangunan pengaman pantai yang paling efektif untuk melindungi Pantai Gandorih adalah *breakwaters* dengan pertimbangan arah angin dominan dari barat dan data angin maksimum harian.

Surface-Water Modeling 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 Modeling 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).

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.

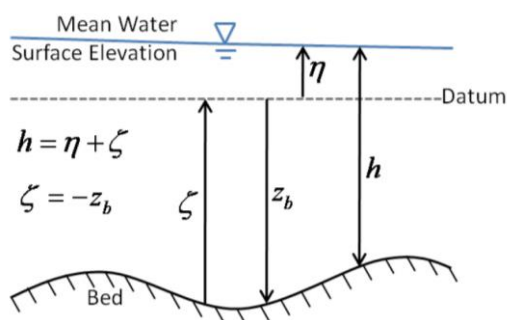
Tabel 1. Model spektrum gelombang *CMS-Wave* pada SMS versi 10.1

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_p 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 Sebaran arah (nn)
Pierson-Moskowitz spectrum	Kecepatan angin tau H_s dan T_p Periode puncak gelombang (T_{min}) Arah gelombang Sebaran arah (nn)
Ochie spektrum puncak ganda	Hubble dengan 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

Sumber: Lin dkk (2008)

Metode numerik yang digunakan dalam *CMS-Flow* adalah metode volume hingga (*finite volume method*), dan pada *Surface-Water Modeling System* (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) (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 1.



Gambar 1. Konvensi vertikal untuk elevasi muka air dan dasar

Sumber: Sanchez dkk, (2012)

METODE

Pengumpulan 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). Data 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 26 Mei 2020 dari Badan Informasi dan Geospasial.

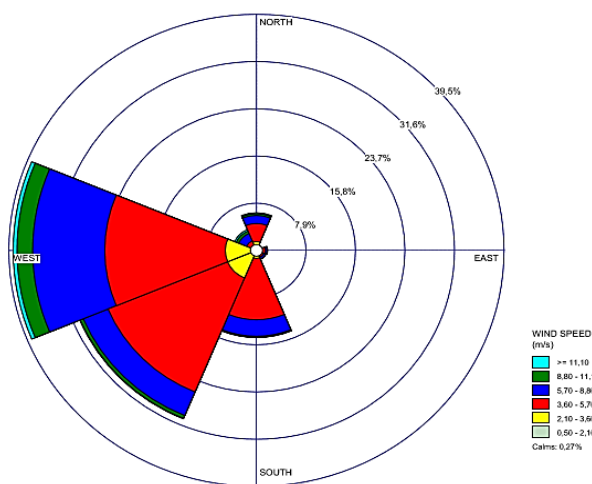
HASIL

Pembangkitan Gelombang Oleh Angin Pengelompokan Data Angin

Proses pembangkitan gelombang dari data angin, yang berasal dari sumber pengamatan di daratan (BMKG bandara) akan dilakukan sesuai prosedur CERC (1984) dan Triatmodjo (1999):

- 1 Mengelompokkan data angin dalam bentuk mawar angin (wind rose) untuk mengetahui persentase kejadian angin dengan kecepatan tertentu dari berbagai arah dalam periode waktu pencatatan. Pada penelitian ini pengelompokan data angin untuk mendapatkan wind rose dilakukan dengan perangkat lunak WRPlot.
- 2 Kejadian angin dari berbagai arah dalam data wind rose kemudian digambarkan pada peta untuk mengetahui panjang fetch, yaitu jarak jempit gelombang oleh angin atau jarak perjalanan yang ditempuh oleh gelombang dari titik awal pembangkitannya sampai menuju pantai. Fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut.

Hasil rekapitulasi data angin seperti yang digambarkan Chrisnatilova (2020) pada mawar angin (*wind rose*) ditampilkan pada Gambar dibawah ini, sehingga dapat diketahui arah angin yang berpengaruh terhadap pembangkitan gelombang. Pengelompokan data angin selama 10 tahun pengamatan (2012-2021) dilakukan dengan program jadi WRPlot.



Gambar 2. Wind rose

Sumber: Chrisnatilova (2020)

Berdasarkan *wind rose* dapat diketahui bahwa arah angin dominan berasal dari barat dengan persentase kejadian angin sebesar 38,72%, kemudian barat daya 30,44%, selatan 14,57%, utara 6,30% dan barat laut 3,78%. Arah angin dari daratan yaitu dari timur laut, timur dan tenggara tidak diperhitungkan dalam pengukuran panjang *fetch*.

Fetch Efektif

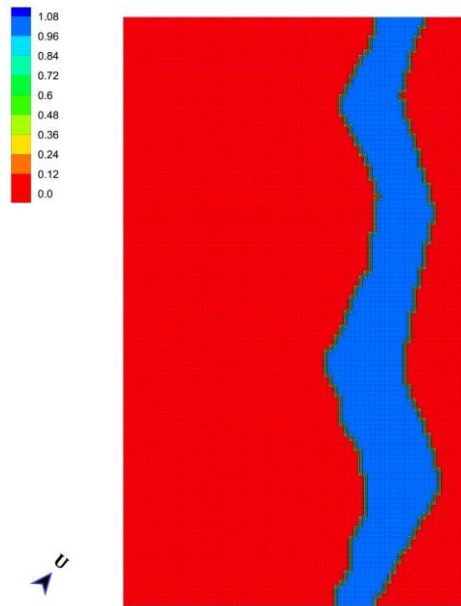
Arah angin yang berpengaruh terhadap pembangkitan gelombang digambarkan ke dalam peta, untuk mengetahui jarak jempit gelombang oleh angin (*fetch*). Dalam penelitian, setelah digambarkan ke dalam peta, hanya ada 4 (empat) arah mata angin yang berpengaruh terhadap pembangkitan gelombang, yaitu dari barat, barat daya, selatan dan barat laut. Arah angin dari utara tidak memungkinkan untuk membentuk *fetch*, karena langsung berhadapan dengan daratan.

Simulasi Tahap I: CMS-Wave

Simulasi yang dilakukan hanya menggunakan arah angin dominan saja, yaitu dari arah barat. Simulasi dilakukan pada kondisi batimetri eksisting tanpa penambahan struktur pengaman pantai.

Perencanaan Groin dan Breakwaters

Gelombang pecah (*surfzone*) diperoleh dari hasil simulasi pemodelan CMS-Wave, dimana lebar rata-rata *surfzone* adalah 70 m. Lebar daerah gelombang pecah (*surfzone*) untuk perencanaan groin dan *breakwaters*. Daerah *surfzone* hasil simulasi gelombang dapat dilihat pada gambar 3.

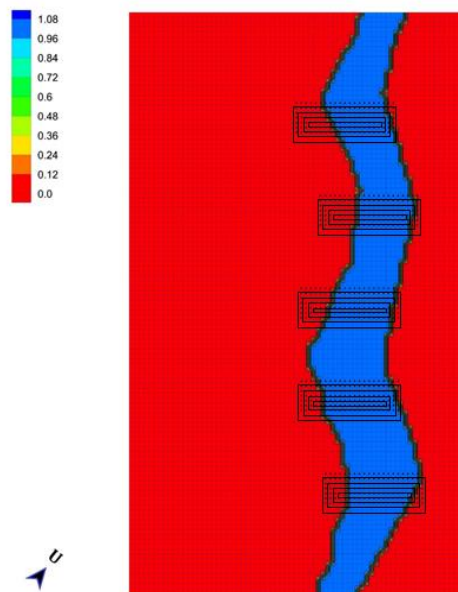


Gambar 3. Gelombang pecah (surfzone)

Sumber: Olahan Data SMS versi 10.1 (2022)

Perencanaan Groyne

Perencanaan panjang groyne direncanakan melewati *surfzone*. Apabila konstruksi groyne berada pada *surfzone* maka konstruksi tidak akan bertahan lama, karena gelombang akan pecah pada ujung konstruksi groyne. Panjang groyne yang direncanakan yaitu 80 m dan jarak antar groyne ditentukan sama dengan panjang groyne seperti pada gambar 4.

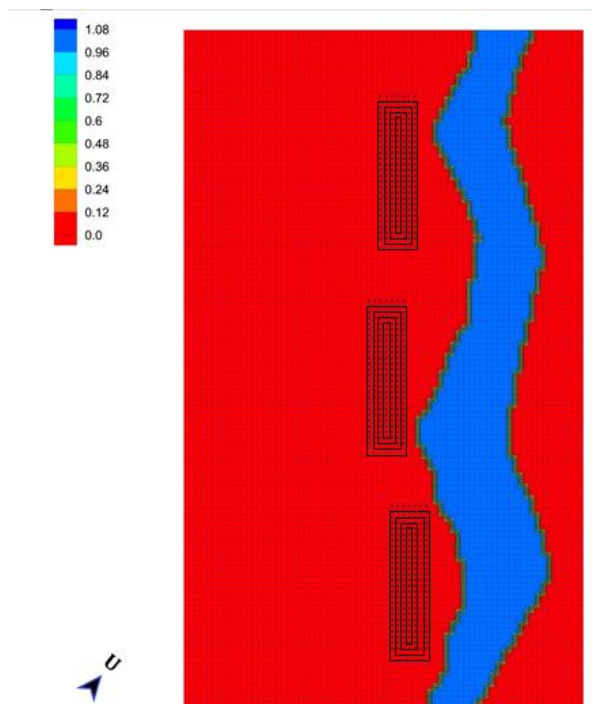


Gambar 4. Penempatan groyne

Sumber: Olahan Data SMS versi 10.1 (2022)

Perencanaan Breakwaters

Penempatan *breakwaters* direncanakan berada di luar *surfzone*. Panjang *breakwaters* yang direncanakan adalah 100 m, dapat dilihat pada gambar 5.



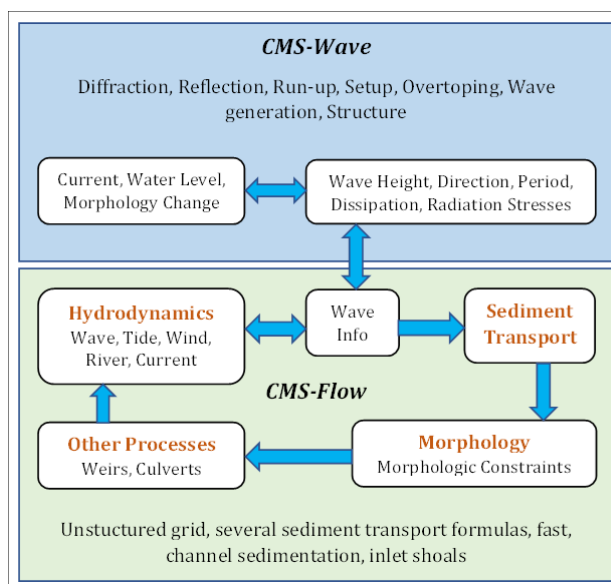
Gambar 5. Penempatan *breakwaters*

Sumber: Olahan Data SMS versi 10.1 (2022)

Hal ini dilakukan sesuai dengan fungsinya untuk melemahkan energi gelombang sebelum gelombang itu pecah, apabila konstruksi *breakwaters* berada pada *surfzone* maka *breakwaters* akan cepat rusak karena gelombang akan pecah pada konstruksi *breakwaters*.

Simulasi Tahap II: Coupling CMS-Wave dan CMS-Flow pada Child Grid

Gambar 6 mengilustrasikan proses *coupling* antara CMS-Wave dan CMS-Flow selama proses running program.

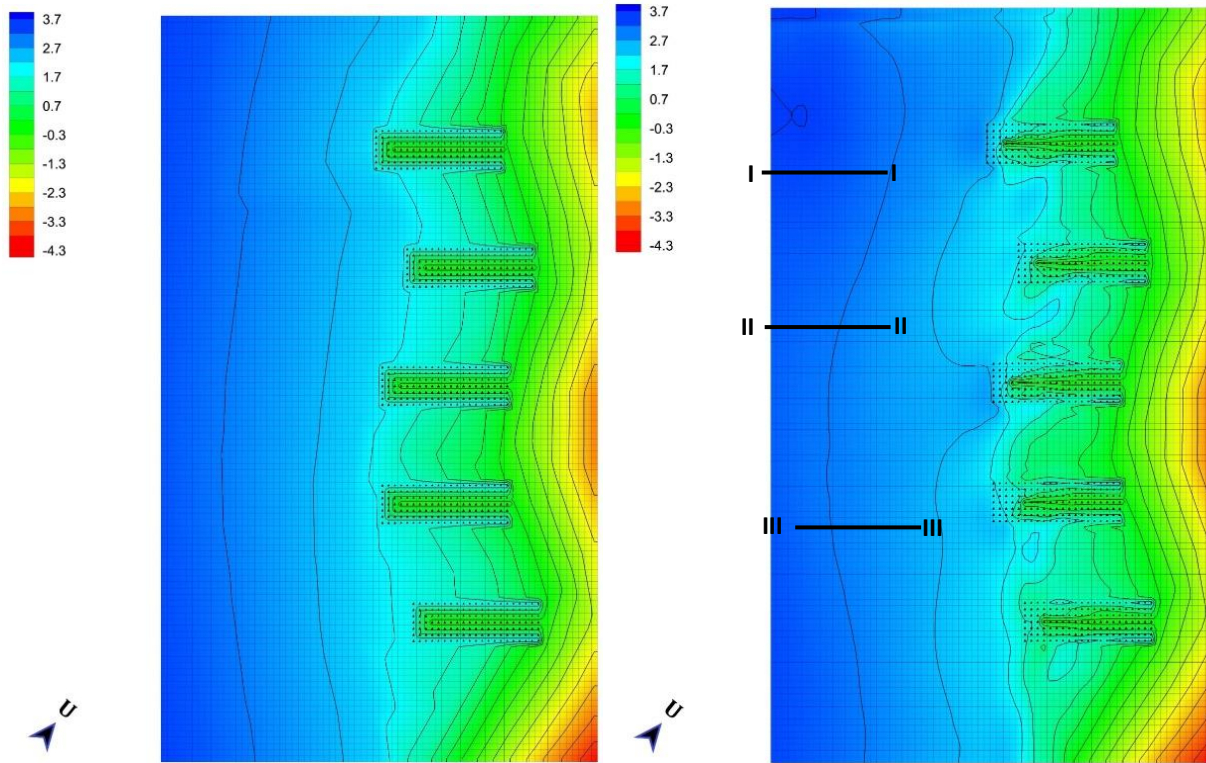


Gambar 6. Proses *coupling* CMS-Wave dan CMS-Flow

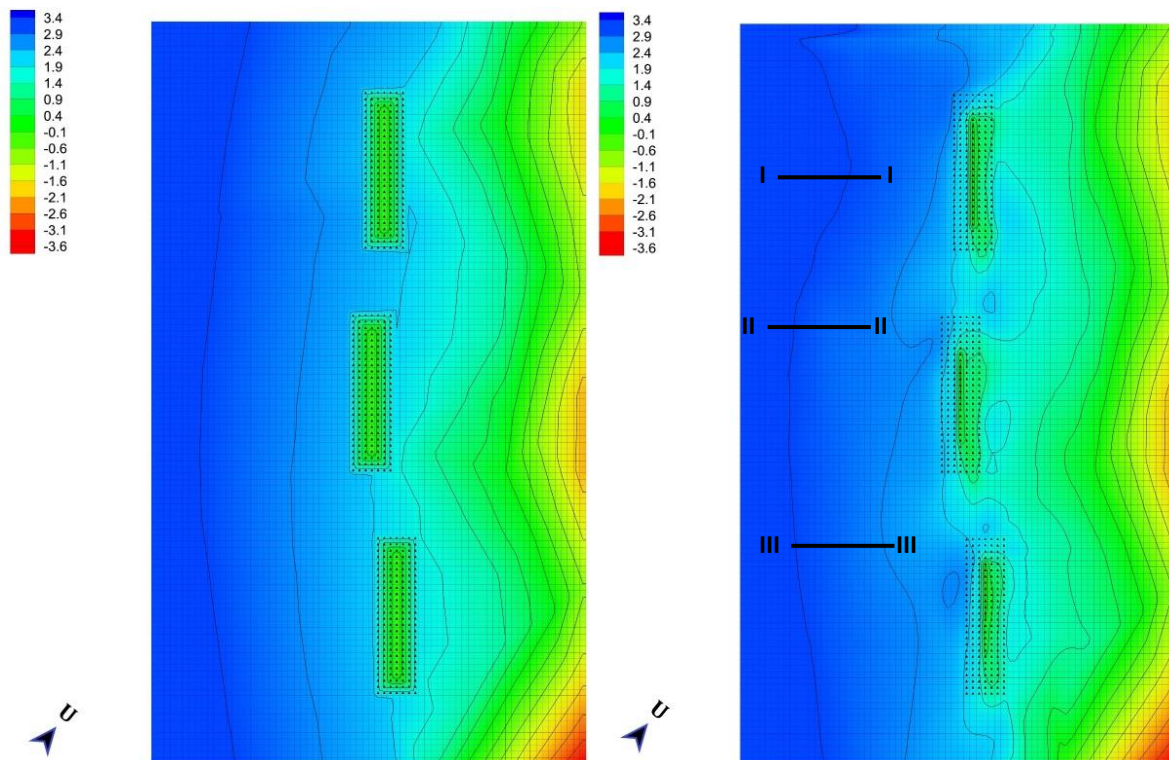
Sumber : Brown (2010)

Perubahan Batimetri Setelah Simulasi

Perubahan batimetri setelah 5 hari simulasi, maka dapat dilihat kinerja dari bangunan pengaman pantai groin dan *breakwaters*. Dari perbandingan morfologi dan arus yang terbentuk pada bangunan pengaman pantai groin dan *breakwaters* seperti Gambar 7 dan Gambar 8, maka kinerja *breakwaters* lebih efektif untuk pengaman Pantai Ketaping.

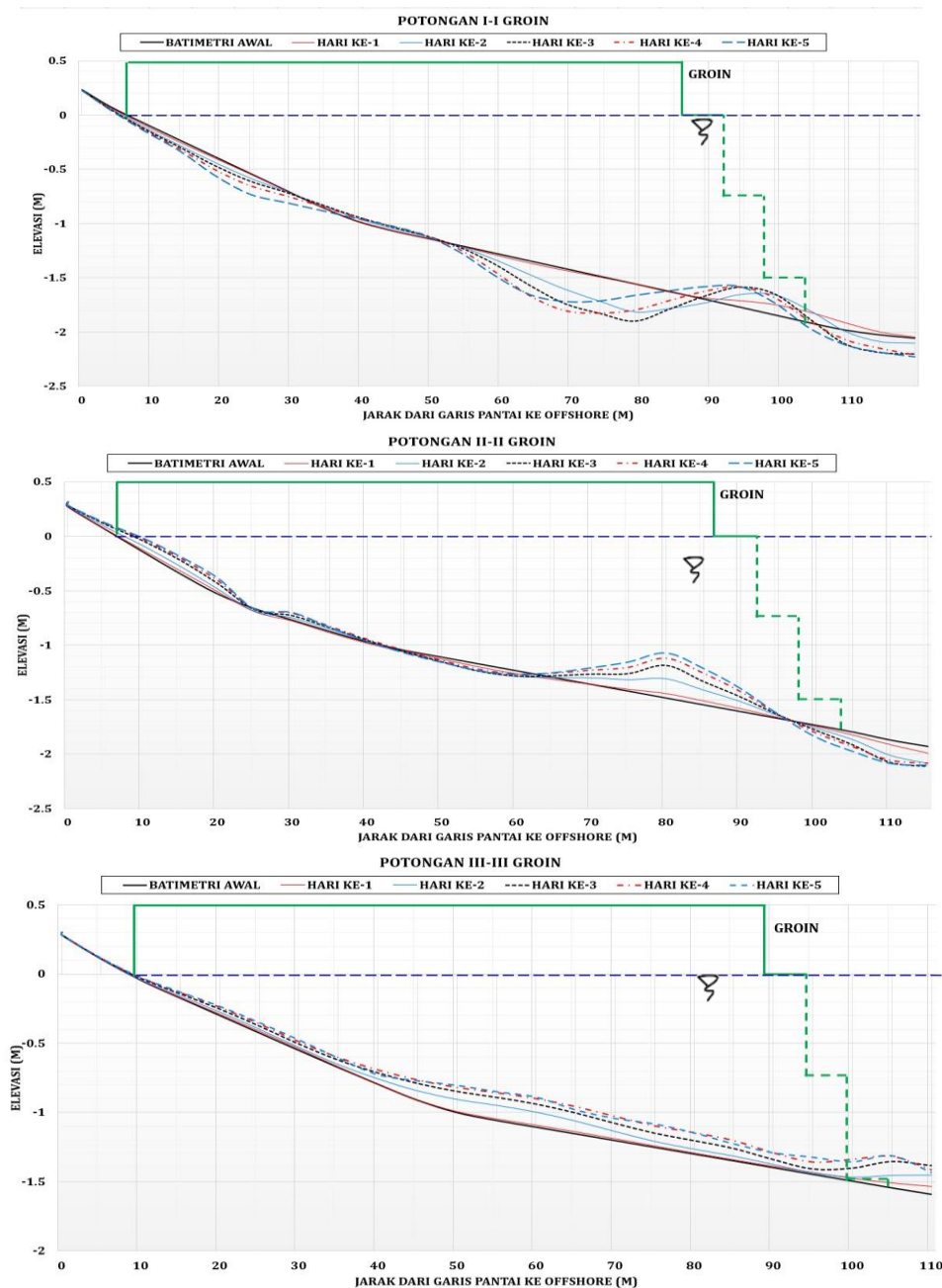


Gambar 7. Perubahan morfologi groin dari kondisi awal (kiri) sampai kondisi simulasi hari kelima (kanan)
Sumber: Olahan Data SMS versi 10.1 (2022)



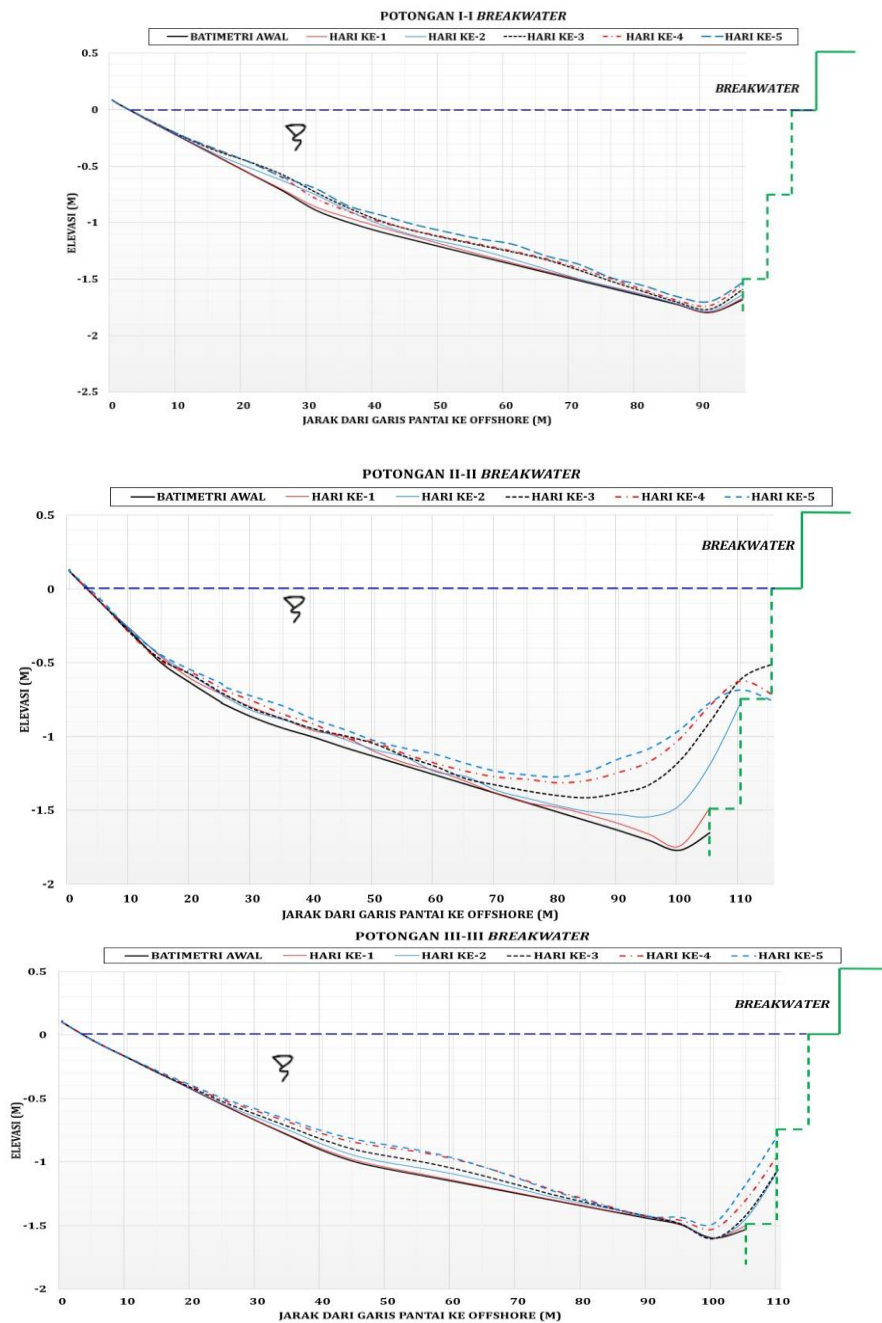
Gambar 8. Perubahan morfologi *breakwaters* dari kondisi awal (kiri) sampai kondisi simulasi hari kelima (kanan)
Sumber: Olahan Data SMS versi 10.1 (2022)

Kondisi detail morfologi pada bangunan pengaman pantai ditampilkan dengan potongan melintang groin dan *breakwaters* pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Detail potongan Groyn, potongan I-I (atas), potongan II-II (tengah), dan potongan III-III (bawah)
 Sumber: Olahan Data (2022)

Dari gambar detail potongan groyn dapat dilihat bahwa pada potongan I-I (posisi potongan yang diambil sebelah hilir groyn) terdapat gerusan pada pangkal groyn sepanjang 20 m dengan gerusan terdalam 20 cm dari elevasi dasar awal, dan ujung groyn gerusan yang terjadi sepanjang 35 m dengan gerusan terdalam 30 cm. Sedangkan pada potongan II-II dan potongan III-III (posisi potongan diambil sebelah hulu groyn) terdapat sedimentasi. Pada potongan II-II sedimentasi terjadi pada pangkal groyn sepanjang 15 m dengan tinggi sedimen 10 cm, dan mendekati ujung groyn sedimentasi terjadi sepanjang 30 m dengan sedimentasi tertinggi 30 cm dari elevasi awal. Untuk potongan III-III sedimentasi terjadi sepanjang groyn dengan tinggi rata-rata sedimen 25 cm dari elevasi awal. Terdapatnya gerusan dan sedimentasi pada hulu dan hilir groyn disebabkan karena suplai dari bagian hulu groyn terbatas oleh konstruksi bangunan, maka dapat memicu daerah hilir mengalami kekurangan sedimen yang dapat membuat pantai abrasi hingga muncul keseimbangan baru.



Gambar 10 Detail potongan *breakwaters*, potongan I-I (atas), potongan II-II (tengah), dan potongan III-III (bawah)
 Sumber : Olahan Data (2022)

Detail potongan gambar *breakwaters* juga dapat dilihat bahwa pada semua potongan gambar yang diambil terjadi sedimentasi dibelakang konstruksi *breakwaters* itu sendiri. Pada potongan I-I terdapat sedimentasi rata-rata 20 cm dari garis pantai awal sampai bangunan pengaman pantai *breakwater*. Untuk potongan II-II sedimentasi yang terjadi penumpukan cukup banyak terlihat tepat dibelakang konstruksi *breakwater* itu sendiri dengan sedimentasi tertinggi 80 cm dari elevasi awal sepanjang 60 m dari tengah sampai konstruksi *breakwater*. Sedangkan pada potongan III-III rata-rata sedimentasi yang terjadi juga 20 cm.

Hasil simulasi selama 5 hari dapat menunjukkan kinerja bangunan pengaman *breakwaters* lebih efektif untuk melindungi pantai dari abrasi dengan sedimentasi yang terbentuk dibelakang konstruksi setinggi ± 20 sampai 80 cm dari elevasi awal. Sedangkan kinerja bangunan pelindung pantai groyne hanya efektif menahan sedimen sepanjang konstruksi groyne itu sendiri yaitu 80 m dari garis pantai awal, dan tinggi sedimen yang terbentuk ± 10 cm sampai 30 cm dari elevasi awal.

SIMPULAN

Arah gelombang datang didominasi dari arah barat, sehingga arah gelombang simulasi di laut dalam diambil dari arah barat saja. Kondisi pasang diambil pada saat Hari Raya Idul Fitri 1442 H. Karena waktu *running* model sangat memakan waktu, maka diputuskan waktu simulasi untuk 5 hari saja. (22 Mei sampai 27 Mei 2020) dan ini memakan waktu 24 jam. Rentang waktu itu dipilih karena terjadi pasang tinggi.

Dari hasil simulasi selama 5 hari dapat menunjukkan kinerja bangunan pengaman *breakwaters* lebih efektif untuk melindungi Pantai Ketaping dari abrasi dengan sedimentasi yang terbentuk dibelakang konstruksi setinggi ± 20 sampai 80 cm dari elevasi awal dengan jarak *braekwaters* dari garis pantai awal ± 100 m. Sedangkan kinerja bangunan pelindung pantai groin hanya efektif menahan sedimen sepanjang konstruksi groin itu sendiri yaitu ± 80 m dari garis pantai awal, dan tinggi sedimen yang terbentuk ± 10 cm sampai 30 cm dari elevasi awal.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhir, B., dan M. Mera, 2011. Lintasan Gelombang Laut Menuju Pelabuhan Pulau BAAI Bengkulu. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 7(2), 1. <https://doi.org/10.25077/jrs.7.2.47-60.2011>.
- Buttolph, A.M., C.W. Reed, N.C. Kraus, T.V. Wamsley, N. Ono, M. Larson & A.K. Zundel. (2006). Two Dimensional Depth Averaged Circulation Model CMS-M2D:Version 3.0, Report 2, Sediment Transport and Morphology Change. Vicksburg, Mississippi: US Army Corps of Engineers, Engineers Research and Development Center.
- CERC. (1984). *Shore Protection Manual*. 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.
- Fitria, S., 2015. Analisa Pola Pergerakan Arus di Perairan Sekitar Pantai Utara Nusa Penida dengan Menggunakan Software Surface-Water Modelling System (SMS). Skripsi pada Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya.
- Lin, 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., Z. Demirbilek, dan J. Podoski, 2019. *Wave and Circulation Modeling of Infrastructure Installation at Rota Harbor in Northern Marianna Islands*. Makalah disampaikan pada Konferensi American Society for Engineering Education Tahunan ke 126, 16-19 Juni 2019, Tampa Convention Center.
- Mera, M., 2020. Proses Pantai. Padang: Andalas University Press.
- PUPR., 2015 Kriteria Perencanaan Teknik Pantai (KP-07) Konsep Pengamanan Pantai Buatan. Jakarta:Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Putri, T.S., A.S. Sukri, dan M.I. Sina, 2019. "Pemodelan Karakteristik Gelombang dengan Surface Water Modelling System (SMS) pada Pantai Pulau Maginti". *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil (Stabilita)*, 7, 3. http://ojs.uho.ac.id/index.php/stabilita_jtsuho.
- 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.
- Samulano, I., dan M Mera, 2011. "Refraksi Dan Difraksi Gelombang Laut di Daerah Dekat Pantai Pariaman". *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.25077/jrs.7.1.1-10.2011>.
- 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.
- Zulkifli, H.M.A. Thaha, dan R. Karamma, 2017. Simulasi Gelombang Perairan Sulaa Kota Baubau menggunakan SMS (Surface Water Modelling System). <http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/24246>.