

## **ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI DENGAN SKEMATISASI MODEL NUMERIK 2D (STUDI KASUS PENANGANAN PANTAI MANGGAR SEGARASARI, BALIKPAPAN)**

Irham Adrie Hakiki\*, Cahyo Nur Rahmat Nugroho, Rd. Indra Anggun Gemilang,  
M. Hendro Setiawan, Adi Prasetyo

Balai Teknik Pantai, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

\*adriehakiki@pu.go.id

Pemasukan: 10 September 2023 Perbaikan: 9 Nopember 2023 Diterima: 14 Nopember 2023

### **Intisari**

Kemunduran garis pantai adalah permasalahan yang mendominasi kerusakan pantai di Indonesia. Penanganannya memerlukan analisis yang tepat, sehingga solusi terpilih mampu menjawab permasalahan yang ada. Untuk kemunduran garis pantai akibat erosi, model numerik merupakan alat yang sesuai karena dapat digunakan untuk memprediksi kejadian dalam jangka waktu panjang serta mencakup wilayah yang luas. Model 1D merupakan yang sering digunakan karena penggunaannya yang relatif mudah dan perilakunya mudah diprediksi. Namun, model ini memiliki keterbatasan dalam meninjau dampak dari adanya bangunan pantai, terutama yang melibatkan proses morfologi di area *downdrift* bangunan pantai atau *bypassing* sedimen. Oleh karena itu, penggunaan model 2D menjadi alternatif dalam proses analisis perubahan garis pantai akibat melibatkan proses fisik yang lebih detil dalam simulasinya. Namun, penggunaan model 2D terkendala oleh lebih banyaknya sumber daya komputasi yang diperlukan. Pada penelitian ini, kinerja hasil simulasi dengan penggunaan skematisasi pada model 2D dikaji untuk mengetahui dampak penyederhanaan pengaturan model dalam analisis perubahan garis pantai akibat penanganan dengan bangunan pantai dengan kasus pada Pantai Manggar Segarasari menjadi daerah percontohan. Penyederhanaan ini mencakup metode *forcing* dan interaksi dari tiap kejadian fisik yang mengatur perubahan morfologi. Hasil dari simulasi dengan beberapa kombinasi bangunan menunjukkan bahwa model cukup sensitif terhadap konfigurasi bangunan yang disimulasikan. Tiap skenario menghasilkan respon yang cukup berbeda untuk dapat diambil sebuah kesimpulan. Namun, teramati juga hasil yang tidak realistis akibat efek dari tidak adanya umpan balik dari perubahan morfologi terhadap respon hidrodinamika, sehingga metode ini lebih disarankan untuk analisis kualitatif, namun tetap perlu diiringi dengan suatu kuantifikasi untuk mempermudah perbandingan kinerja.

Kata Kunci: Bangunan pantai, Erosi, Simulasi *offline*, Angkutan sedimen, Model 2D

### **Latar Belakang**

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki garis pantai terpanjang di dunia dengan panjang mencapai 108.000 km (Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi, 2020). Menurut Kementerian Pekerjaan Umum (PU),

20 persen dari keseluruhan garis pantai di Indonesia mengalami kerusakan akibat berbagai masalah. Salah satu masalah utamanya adalah kemunduran garis pantai yang umumnya disebabkan oleh kejadian erosi, baik yang disebabkan faktor alam maupun faktor manusia (Van Rijn, 2011; Kementerian PUPR, 2021). Sebagai contoh, berdasarkan informasi dari Balai Wilayah Sungai Bali Penida, pada tahun 2011 erosi garis pantai di Pulau Bali mencapai 210 km dari total panjang garis pantai Pulau Bali 633 km (Sulaiman dkk., 2011).

Perlindungan pantai akibat erosi dapat melalui 2 metode yaitu alami dan buatan (Triatmodjo, 2012). Perlindungan pantai secara alami dapat berupa mangrove, *dunes* maupun karang laut ataupun lamun yang tumbuh secara alami. Perlindungan pantai buatan dapat berupa struktur bangunan pengaman pantai. Dalam penerapannya, metode yang dipilih menyesuaikan dengan kondisi dan karakteristik pantai yang akan dilindungi. Ketidaksihesuaian metode penanganan pantai dengan kondisi dan karakteristik pantai yang akan dilindungi dapat menyebabkan kegagalan struktur pengaman pantai atau memperparah kejadian erosi atau sedimentasi (Azhar dkk., 2018). Kegagalan ini dapat berupa umur bangunan pantai pendek ataupun struktur bangunan pantai tidak optimal berfungsi (Do dkk., 2021).

Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap suatu wilayah fenomena yang aktualnya terjadi sehingga dapat diperoleh metode penanganan yang tepat atau diketahui efektivitas kinerja bangunan yang dipilih sebagai metode penanganannya. Umumnya, analisis perubahan garis pantai dengan membandingkan dua garis pantai dengan waktu yang berbeda dilakukan untuk mengidentifikasi kejadian erosi (Arjasakusuma dkk., 2021; Yan dkk., 2021). Pemetaan garis pantai dapat dilakukan dari citra satelit atau foto udara. Selain itu, model numerik juga umum digunakan untuk memprediksi perubahan garis pantai, terutama untuk memeriksa dampak dari konstruksi bangunan pantai.

Model numerik yang sering digunakan oleh praktisi di Indonesia adalah model 1D, yang merupakan model yang meninjau perubahan garis pantai berdasarkan perubahan laju angkutan sedimen pada bidang penampang (Hanson, 1989; Sutikno dkk., 2016). Model ini banyak digunakan karena pengaturannya yang mudah, perilakunya dapat diprediksi, serta dapat menganalisis kejadian jangka panjang dalam waktu relatif singkat. Namun, model 1D kurang dapat menangkap secara akurat beberapa proses yang terjadi di sekitar struktur, contohnya kejadian erosi di area *downdrift* yang tidak memperhitungkan efek *bypassing* sedimen (Van Koningsveld dkk., 2006; Leach dkk., 2021)

Kelemahan tersebut dapat dieliminasi dengan menggunakan model 2D karena melibatkan proses fisik yang lebih banyak dan spasial yang lebih luas. Akan tetapi, penggunaan model 2D masih memiliki kelemahan yang cukup fatal, yaitu tingkat kesulitan dalam proses simulasi dan kalibrasinya serta waktu simulasinya yang cukup lama (Triatmadja, 2016). Untuk mengatasi hal tersebut, Roelvink dkk. (2004) mengusulkan untuk menyederhanakan pemodelan pada model kompleks dengan cara melakukan pengaturan skema numerik dan kondisi batas pada model. Berdasarkan hal tersebut, skematisasi asumsi serta langkah pemodelan digunakan untuk mengevaluasi kinerja pendekatan ini dalam analisis perubahan garis pantai

sehingga dapat diperoleh teknik penyederhanaan terbaik bila menggunakan model 2D. Pemodelan ini dilakukan pada studi kasus penanganan erosi Pantai Manggar Segarasari (selanjutnya disebut Pantai Manggar) di Kota Balikpapan.

Pantai Manggar merupakan pantai wisata yang terletak di Kota Balikpapan, Provinsi Kalimantan Timur. Menurut data unit pelaksanaan Teknis Dinas (UPTD) Dinas Pariwisata Pantai Manggar tercatat jumlah kunjungan rata – rata 3.000 hingga 5.000 orang tiap pekan (DPMPT Pemkot Balikpapan, 2023). Lokasi Pantai Manggar yang terletak di Jalur Selat Makasar menyebabkan garis pantai terpapar gelombang dan arus laut yang cukup besar secara terus menerus dan membawa volume sedimen yang signifikan searah sejajar pantai. Kondisi ini menyebabkan terjadinya erosi di Pantai Manggar yang semakin parah dan mengancam keberadaan wilayah pantai apabila tidak dilakukan penanganan. Meninjau fungsi Pantai Manggar sebagai tempat wisata, maka penanganan yang dilakukan harus menunjang keberlanjutan wilayah tersebut. Oleh karena itu, kombinasi struktur revetmen dan groin dikaji untuk metode penanganannya (Van Rijn, 2012).

### Metodologi Studi

Kemunduran garis pantai di Pantai Manggar telah mencapai titik kritisnya karena telah berdampak pada wilayah infrastruktur. Oleh karena itu, revetmen merupakan bentuk pengamanan yang harus dipilih dalam melindungi Pantai Manggar karena menjadi garis pertahanan terakhir. Penggunaan revetmen ini menjadi skenario dasar dalam peninjauan kinerja dan menjadi *benchmark* untuk skenario uji lainnya.

Skenario uji lainnya dimaksudkan untuk mencari manfaat tambahan terbaik yang dapat diperoleh dengan rekayasa lain di luar revetmen. Pada kasus ini groin merupakan opsi bangunan yang digunakan karena merupakan satu – satunya bangunan yang memungkinkan untuk dibangun terkait batasan yang ada. Groin dengan bentuk T diketahui lebih efektif untuk diterapkan di Pantai Manggar karena dapat menangkap sedimen yang lebih banyak dan juga dapat memitigasi efek rip current yang terbentuk (Van Rijn, 2013; Zhang dkk., 2022).

Kinerja bangunan dianalisis dengan menggunakan model morfologi 2D dari paket perangkat lunak MIKE21. Modul yang digunakan adalah modul *Spectral Wave* (SW) untuk memperoleh *radiation stress* yang membangkitkan arus akibat gelombang, modul *Hydrodynamic* (HD) untuk mensimulasikan *flow field* akibat efek gelombang, dan *Sand Transport* (ST) untuk mensimulasikan angkutan sedimen non-kohefif. Skematisasi dilakukan untuk mempercepat proses simulasi meskipun menggunakan model 2D. Secara umum, skematisasi ini melibatkan penentuan area model, gaya pembangkit, dan proses pemodelan.

Area model disederhanakan dengan melakukan tinjauan di wilayah Pantai Manggar saja sehubungan dengan *coastal cell* cenderung pendek, hanya terbentang dari muara Sungai Manggar sampai perbatasan Pantai Lamaru akibat pengaruh adanya sungai dan groin eksisting.

Kemudian gaya pembangkit dipilih pada suatu kejadian yang bersifat representatif sehingga gaya dapat diberlakukan secara konstan namun masih dapat memperoleh respon yang dinamik. Gaya pembangkit yang digunakan berupa pasang surut pada

saat kondisi *spring tide* dan gelombang dari arah datang 138° dengan tinggi gelombang,  $H_s = 1$  m dan periode gelombang,  $T_p = 5$  s. Gelombang tersebut merupakan gelombang yang datang pada musim timur. Analisis kinerja ditinjau pada kondisi musim timur dengan pertimbangan bahwa gelombang musim timur merupakan gelombang yang lebih dominan sehingga respon morfologi Pantai Manggar lebih dipengaruhi oleh gelombang tersebut.

Selanjutnya, simulasi dilakukan secara *offline* (terpisah) antara gelombang dan hidrodinamika serta angkutan sedimennya. Hal ini dapat mempercepat waktu simulasi secara eksponensial, namun dengan konsekuensi tidak adanya umpan balik dari kejadian di tiap model. Oleh karenanya, metode ini lebih sesuai untuk analisis secara kualitatif untuk meninjau trend yang terjadi.

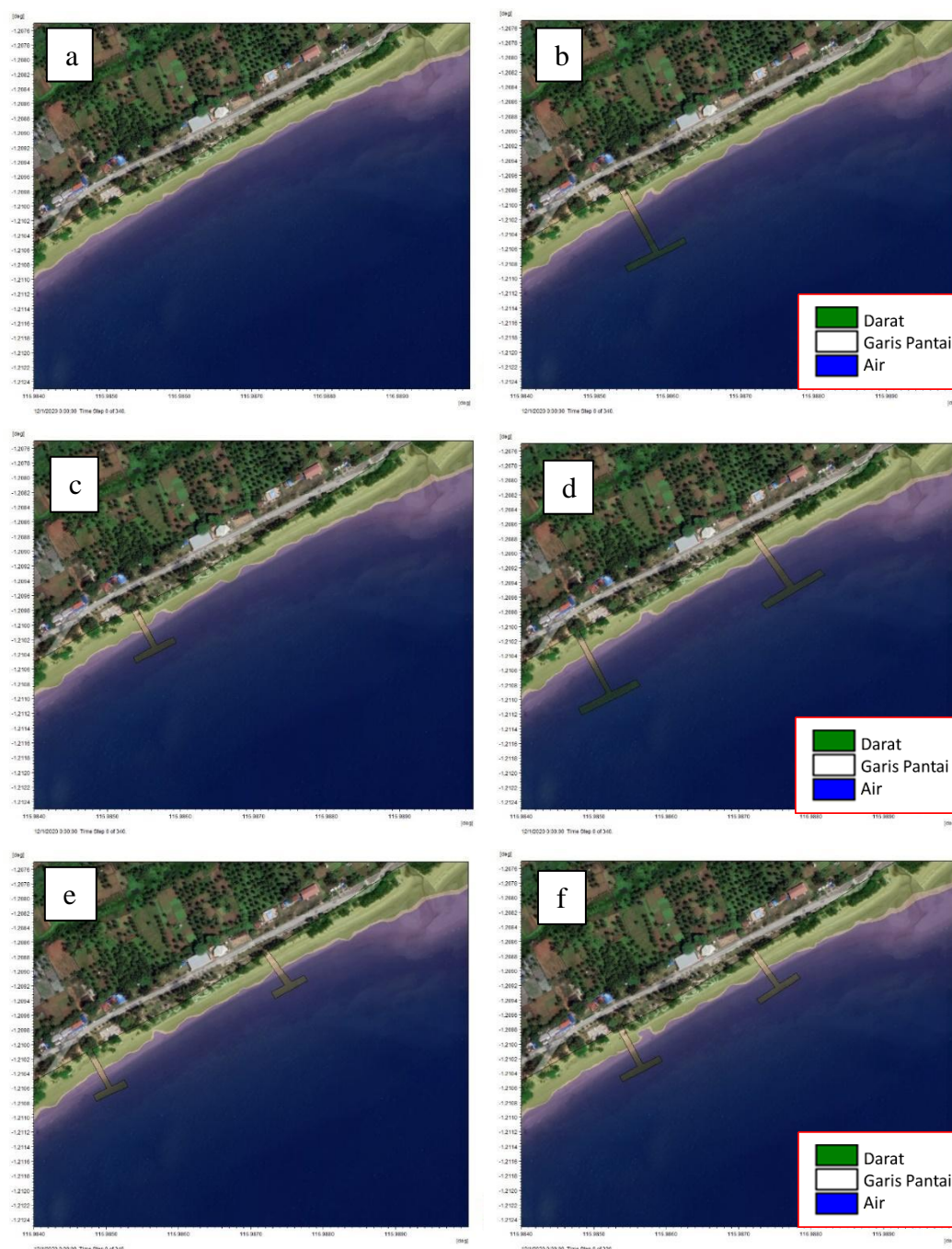
Seluruh skenario ditinjau dengan melihat respon morfologinya setelah dikenakan gaya penggerak selama 15 hari. Namun, untuk melihat dampak yang signifikan, perubahan morfologi dipercepat dengan 3 kali *speed-up factor*.

Kinerja bangunan dinilai dengan membandingkan perubahan garis pantai pada kondisi awal dengan kondisi akhir setelah menerima gaya penggerak. Pada analisis ini, garis pantai didefinisikan sebagai garis kontur pada kedalaman +0 m MSL. Adapun skenario uji yang dibandingkan dirangkum pada Tabel 1, dengan layout untuk masing – masing skenario tersebut disajikan pada Gambar 1. Pada gambar tersebut, penyajian disederhanakan untuk memudahkan analisis dengan mendefinisikan nilai elevasi dasar yang lebih kecil dari 0 sebagai air (warna biru) dan nilai sebaliknya sebagai daratan (warna hijau).

Tabel 1. Rangkuman skenario uji kinerja bangunan

No	Nama Skenario	Jenis Bangunan						
		Revetmen	Groin (m)				Jumlah	Spasi
			Bentuk	Panjang Badan	Panjang Kepala			
1	SK0	Ya	-	-	-	-	-	
2	SK1	Ya	T	100	100	1	-	
3	SK2	Ya	T	50	50	1	-	
4	SK3	Ya	T	100	100	2	260	
5	SK4	Ya	T	50	50	2	260	
6	SK5	Ya	T	50	50	2	150	

Delineasi dilakukan pada hasil untuk mengetahui area yang mengalami perubahan luas. Luas dihitung dengan membuat poligon area pantai terhadap garis pantainya. Kemudian luas dengan garis pantai awal ini dibandingkan dengan luas dengan garis pantai akhir. Luas pantai yang berkurang ditandai dengan poligon berwarna merah dan diasosiasikan dengan erosi. Sedangkan, area yang bertambah ditandai oleh poligon hijau dan diasosiasikan sebagai sedimentasi. Perubahan luasan dikuantifikasi untuk area yang mengalami sedimentasi dan erosi. Selanjutnya dihitung juga perubahan luasan bersih (*nett*) yang terjadi untuk area Pantai Manggar. Proses ini dilakukan untuk mengkuantifikasi hasil simulasi agar lebih mudah untuk dilakukan perbandingan antar skenarionya.



Gambar 1. Skenario pengujian kinerja bangunan. a) SK0; b) SK1; c) SK2; d) SK3; e) SK4; f) SK5

## Hasil Studi dan Pembahasan

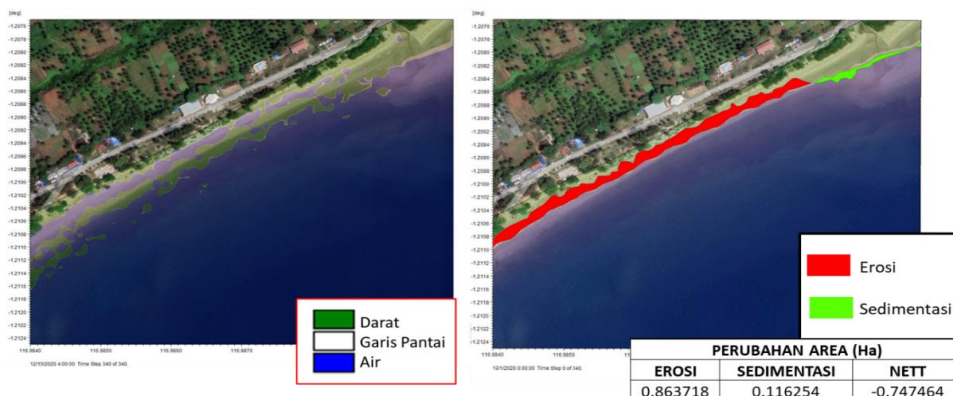
### Hasil Simulasi

Kinerja untuk masing – masing skenario disajikan pada Gambar 2 – Gambar 7. Berdasarkan hasil tersebut, diketahui bahwa penggunaan revetmen saja sebagai pengaman hanya akan melindungi garis pantai sehingga tidak mundur. Sedimen

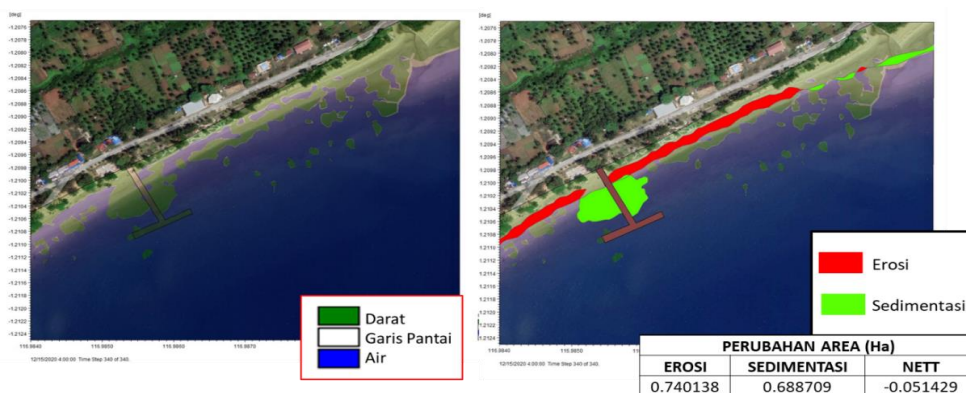
yang ada di bibir pantai tetap berpindah dan menyebabkan area pantai berkurang (Gambar 2). Revetmen ini menjadi garis terakhir perlindungan pantai yang menjaga keberadaan pantai. Hanya saja, revetmen tidak mencegah sedimen di depan pantai berpindah, sedimen akan terus terambil oleh gelombang dan lambat laut akan membuat profil pantai semakin landai dan membentuk berm pada sisi lautnya. Sedimen di bibir pantai yang terambil ini berpotensi untuk menghilangkan pantai pada kondisi pasang. Pada akhirnya, revetmen akan berbatasan langsung dengan air saat kondisi pasang dan aktivitas di pantai hanya bisa dilakukan saat kondisi surut.

Groin ditambahkan untuk mengurangi hilangnya wilayah pantai. Groin-T dipilih akibat kinerjanya yang lebih baik dalam menghadapi gelombang di sesuai dengan kajian yang ada sebelumnya (Van Rijn, 2013; Zhang dkk., 2022), sehingga pada studi ini analisis dilakukan untuk mengetahui konfigurasi groin terbaik.

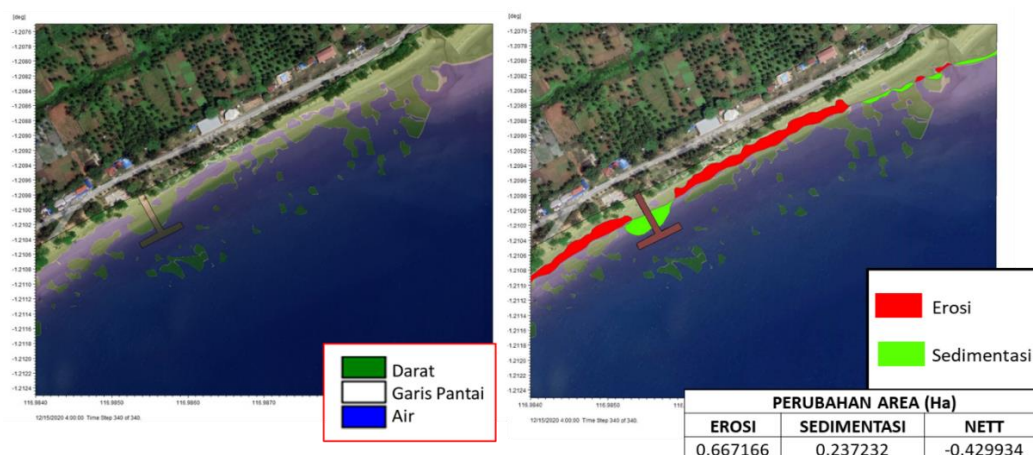
Untuk groin-T tunggal, groin dengan panjang 100 m (Gambar 3) dapat menampung sedimen yang lebih banyak daripada panjang 50 m (Gambar 4). Sedimen yang tertangkap cenderung berada di sekitar groin sedangkan pada sisi *updrift* dan *downdrift* nya masih berkurang. Perbedaannya dapat mencapai 10 kali lipat, namun keduanya masih mencatatkan *nett loss*. Hanya saja, untuk groin 100 m kondisinya cenderung lebih seimbang antara yang hilang dan yang terendapkan.



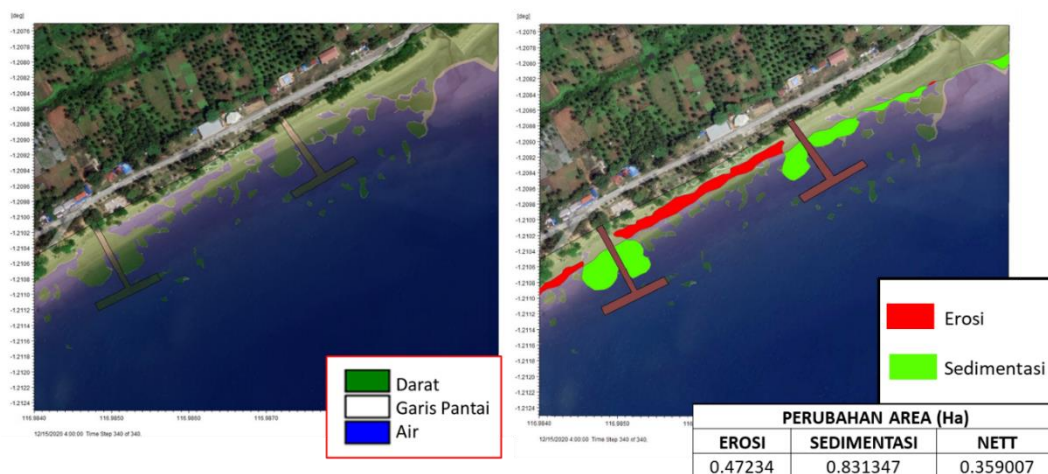
Gambar 2. Perubahan garis pantai skenario SK0 (kiri) dan delineasi area (kanan). Inset: Tabulasi perubahan area



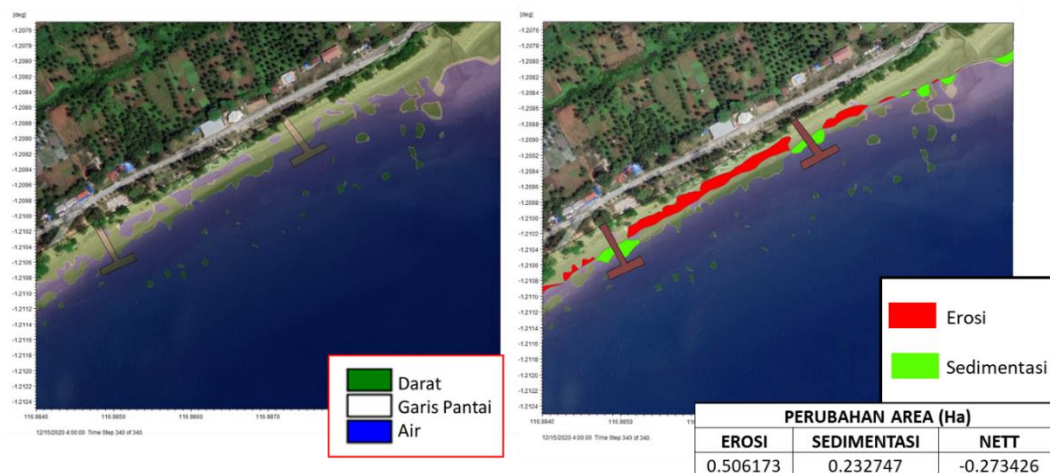
Gambar 3. Perubahan Garis Pantai skenario SK1 (kiri) dan Delineasi Area (kanan). Inset: Tabulasi Perubahan Area



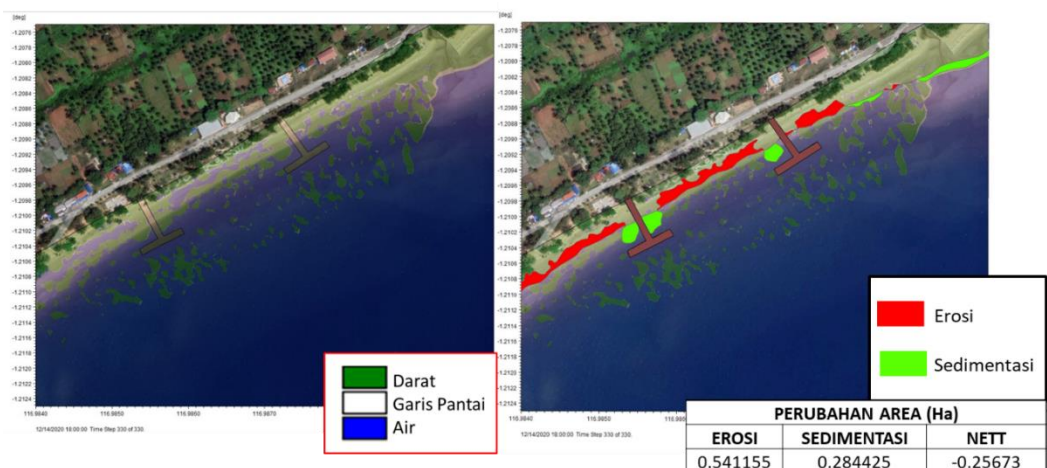
Gambar 4. Perubahan garis pantai skenario sk2 (kiri) dan delineasi area (kanan). Inset: tabulasi perubahan area



Gambar 5. Perubahan garis pantai skenario sk3 (kiri) dan delineasi area (kanan). Inset: tabulasi perubahan area



Gambar 6. Perubahan garis pantai skenario SK4 (kiri) dan delineasi area (kanan). Inset: tabulasi perubahan area



Gambar 7. Perubahan garis pantai skenario SK5 (kiri) dan deliniasi area (kanan). Inset: tabulasi perubahan area

Performa lebih baik ditunjukkan untuk konfigurasi groin-T ganda. Secara umum, area yang terdeposisi cenderung sama yaitu di sekitar groin. Akan tetapi, groin T ganda dengan panjang 100 m (Gambar 5) lebih mampu untuk menangkap sedimen di sisi timur pantai. Kinerja groin timur ini lebih baik daripada groin barat yang menyebabkan luasan pantai dengan skenario ini cenderung bertambah. Sedangkan, untuk konfigurasi ganda dengan panjang 50 m (Gambar 6), kinerja kedua groin tersebut cenderung mirip. Hanya menangkap sedimen di sekitar groin saja.

Efek spasi antar groin ditinjau pada skenario selanjutnya (Gambar 7) dengan perbandingan pada groin ganda dengan panjang 50. Secara relatif, perbandingan tersebut merupakan perbandingan jarak pasang 3L (3 kali panjang groin) dan 5L (3 kali panjang groin). Dari hasil ini diketahui bahwa jarak 3L memberikan kinerja yang lebih baik tetapi perbedaannya tidak signifikan. Secara pola perubahan morfologi, keduanya memberikan hasil yang mirip.

Tabel 2. Kinerja relatif bangunan pantai terhadap kondisi awal

Skenario	Keterangan	Luasan Garis Pantai (Ha)	Persentase Perubahan
-	Kondisi awal	2.997958	-
SK0	Revetmen	2.249559	-25.0
SK1	Revetmen + Groin-T 100 m	2.939636	-1.9
SK2	Revetmen + Groin-T 50 m	2.567089	-14.4
SK3	Revetmen + 2 Groin-T 100 m jarak pasang 260 m	3.356047	11.9
SK4	Revetmen + 2 Groin T-50 m jarak pasang 260 m	2.723597	-9.2
SK5	Revetmen + 2 Groin T-50 m jarak pasang 150 m	2.740292	-8.6

Untuk memudahkan perbandingan, hasil simulasi ini dirangkumkan dalam tabel yang menyatakan perbedaan luasan area pantai dibandingkan dengan kondisi awal

(Tabel 2). Secara umum, penggunaan revetmen saja berpotensi mengurangi area pantai sampai 25%. Penggunaan groin mampu untuk mengurangi orde luasan yang berkurang dengan penggunaan groin T dengan panjang 100 m merupakan solusi yang lebih efektif. Groin tersebut mampu mengurangi luasan yang hilang sehingga tinggal 2% saja, kemudian dengan pemasangan 2 groin mampu menambah luasan pantai. Penggunaan panjang 50 m menunjukkan kinerja yang jauh berbeda. Area pantai masih dapat berkurang di sekitar 8% – 15%. Selain itu efek jarak pemasangan berbeda hanya menghasilkan beda kinerja yang minor, tidak sampai 1%. Perlu dicatat bahwa sebagian besar penambahan luasan terjadi di sekitar groin, pada area pantainya sendiri, garis pantainya masih cenderung berkurang.

### Diskusi

Pada dasarnya penggunaan model 2 dimensi dapat mensimulasikan transport pada arah x dan y sehingga perubahan yang terjadi bukan hanya di garis pantai saja. Secara umum, hasil dari model adalah perubahan kedalaman akibat adanya transport tersebut, sehingga hasil yang umumnya dikuantifikasi adalah nilai perubahan kedalaman. Garis pantai merupakan definisi yang diturunkan dari kondisi kontur kedalaman yang ada. Oleh karena itu, untuk dapat mengetahui garis pantai perlu ditentukan garis kontur yang menjadi definisi dari garis pantai tersebut. Pada kasus ini garis pantai didefinisikan pada kontur 0 m MSL, dan untuk membantu identifikasi tersebut legenda warna pada model disederhanakan sehingga terlihat jelas perbedaan blok darat dan blok air. Dari hasil identifikasi tersebut terlihat munculnya daerah - daerah hijau (daratan) di area *offshore* yang dapat diartikan sebagai munculnya *sand bar* di daerah *offshore*. Namun hal tersebut belum tentu merupakan fenomena yang akurat terjadi.

Simulasi secara konstan dan *offline* dari tiap model menghasilkan sebuah *force field* yang konstan untuk kejadian yang disimulasikan. Artinya kejadian di simulasikan pada kondisi awal dan untuk waktu selanjutnya tidak memperhitungkan perubahan yang terjadi di waktu sebelumnya. Gaya yang terjadi dianggap konstan dengan kondisi batas dan awal yang konstan pula serta tidak ada umpan balik yang terjadi. Akibatnya ada error numerik yang terbentuk dan akan semakin besar seiring berjalannya waktu bila umpan balik ini merupakan hal yang signifikan. Untuk hubungan gelombang dan pola arus hal tersebut tidak menjadi masalah karena simulasi diatur pada satu kejadian konstan. Pada akhirnya transformasi gelombang dan pola aliran akan mencapai kondisi steady dan eror numerik yang ada tidak akan banyak mengubah kondisi ini. Namun, pada kasus angkutan yang memberikan respon morfologi, eror akan terbentuk dengan cepat terutama dengan adanya *speed-up factor* yang bersifat multiplikatif linear.

Pada simulasi *online*, perubahan morfologi akan direspon dengan perubahan pola transformasi gelombang dan pola aliran. Sebagai contoh, dengan adanya pendangkalan, gelombang yang merambat cenderung mengecil yang menyebabkan arus pun mengecil. Dengan mengecilnya arus maka transport akan mengecil juga dan respon morfologi menjadi lambat. Hal tersebut terus terjadi sampai akhirnya daerah menjadi kering dan tidak mampu dilalui aliran. Akan tetapi, pada simulasi *offline* hal tersebut tidak terjadi. Gelombang, arus, dan transport tidak berubah

akibat perubahan morfologi, sehingga titik yang tersedimentasi atau tererosi akan terus mengalami kejadian tersebut dengan laju yang sama. Error seperti ini yang perlu diperhatikan dalam analisis hasil simulasi *offline*.

Berdasarkan hal tersebut, penilaian kuantitatif yang berasal langsung dari keluaran model seperti perubahan kedalaman, rentan terhadap nilai *error* yang besar. Sehingga jika tidak ada data pembandingan untuk validasi model, nilai kuantitatif ini tidak dapat dipercaya begitu saja. Alternatifnya, evaluasi model dilakukan secara kualitatif dengan meninjau tendensi perubahan yang terjadi yang digabungkan dengan pemahaman yang baik untuk menentukan hal yang wajar terjadi.

Kemudian, dalam hal evaluasi kinerja untuk berbagai macam skenario, suatu kuantifikasi disarankan untuk tetap dilakukan meskipun menggunakan pendekatan kualitatif karena perbandingan antar skenario kualitatif akan sulit dilakukan jika perbedaan yang terjadi tidak kasat mata. Metode yang disarankan adalah dengan membandingkan skenario uji dengan skenario *benchmark* yang pada kasus ini adalah SK0. Parameter yang dikuantifikasi bersifat subjektif tergantung definisi oleh pemodel namun harus masih dapat terkontrol. *Engineering common sense* sangat diperlukan pada tahap ini sehingga parameter kontrol yang dipilih adalah hal yang wajar. Pada kasus ini, perbandingan dilakukan terhadap luas daratan di belakang garis pantai terhadap suatu garis bantu imajiner. Dengan pendekatan ini respon dari tiap skenario dapat lebih mudah dievaluasi.

Secara kualitatif, pola yang terbentuk di sekitar groin menunjukkan pola yang mirip dengan pola teoritis, sehingga metode skematisasi ini masih cukup baik untuk memperkirakan pola perubahan yang terjadi. Dengan melakukan kuantifikasi untuk tiap skenario kualitatif ini, perbandingan kinerja dari tiap skenario lebih mudah untuk diidentifikasi sehingga memudahkan dalam proses penarikan kesimpulan.

## **Kesimpulan**

Simulasi dengan metode skematisasi ini mampu mempersingkat dan menghemat sumber daya simulasi dengan menyederhanakan proses fisik yang dihitung serta mengurangi interaksi antar model sehingga jumlah perhitungan yang dilakukan berkurang secara signifikan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perubahan garis pantai pada metode ini menunjukkan pola yang mirip dengan pola teoritis. Model dapat memprediksi daerah berpotensi mengalami perubahan morfologi, baik itu tererosi atau tersedimentasi. Dengan melakukan simulasi bangunan pantai, teramati bahwa respon morfologi pada model cukup sensitif terhadap jenis bangunan yang digunakan. Pada penggunaan revetmen, sedimen yang ada di bibir pantai tetap berpindah terambil oleh arus dan membuat profil pantai semakin landai dan membentuk berm pada sisi lautnya akibat arah datang gelombang yang cenderung tegak lurus pantai. Kemudian, simulasi menggunakan groin T menunjukkan pola perubahan morfologi yang lebih kompleks dengan terbentuknya sedimentasi di sekitar groin yang bervariasi tergantung dimensi dan penempatan bangunan. Berdasarkan hasil ini, pemodelan garis pantai dengan skematisasi 2D cukup baik untuk memperkirakan pola perubahan yang terjadi akibat keberadaan bangunan pantai. Namun, masih teramati hasil yang tidak realistis akibat efek dari tidak adanya umpan balik dari perubahan morfologi terhadap respon hidrodinamika

sehingga nilai yang dikeluarkan dari model tidak dapat digunakan begitu saja. Oleh karena itu penggunaan pendekatan kualitatif lebih tepat untuk evaluasi kinerja skema ini. Namun, ketika terdapat skenario uji yang dibandingkan, penilaian kualitatif saja akan sulit untuk menjelaskan performa dari tiap skenario. Kuantifikasi relatif dari suatu parameter sebaiknya digunakan untuk mempermudah proses evaluasi. Pada kasus ini, perubahan luas di daerah darat menjadi parameter yang digunakan. Dengan terjadinya perubahan garis pantai, penggunaan revetmen saja dievaluasi menyebabkan area pantai berkurang sampai 25%. Penambahan groin-T menunjukkan bahwa pengurangan area dapat diminimalisir. Groin-T dengan panjang 50 m menyebabkan area pantai berkurang sebanyak 8% – 15% dan Groin-T dengan panjang 100 m lebih efektif dengan hanya sekitar 2% area pantai yang berkurang. Berdasarkan kriteria evaluasi tersebut, disimpulkan bahwa groin-T dengan panjang 100 m adalah bangunan yang sebaiknya digunakan.

### Saran

Skematisasi pemodelan 2 dimensi ini menekankan pada simulasi secara *offline/uncoupled* sehingga tidak memperhitungkan umpan balik dari respon model terhadap proses fisik yang terjadi yang dapat menyebabkan munculnya respon morfologi yang tidak wajar. Pendekatan ini lebih baik digunakan untuk analisis kualitatif dan dilakukan oleh pemodel yang memiliki pemahaman yang baik untuk dapat menginterpretasikan hasil model dengan benar. Peningkatan akurasi dapat dilakukan dengan proses validasi.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Balai Teknik Pantai dan Bappeda Litbang Kota Balikpapan yang telah membantu dalam penyediaan data dan pengukuran di lapangan sehingga kajian ini dapat diselesaikan. Semoga tulisan ini dapat digunakan sebagai rujukan dalam penanganan erosi di Pantai Manggar.

### Daftar Referensi

- Arjasakusuma, S., Kusuma, S.S., Saringatin, S., Wicaksono, P., Mutaqin, B.W. and Rafif, R., (2021). Shoreline dynamics in East Java Province, Indonesia, from 2000 to 2019 using multi-sensor remote sensing data. *Land*, 10(2):1–17. <https://doi.org/10.3390/land10020100>.
- Azhar, R. M., Suprpto, Gemilang, R. I. A., Prasetyo, A., (2018). Skematisasi Penanganan Erosi Pantai. *Prosiding PIT HATHI 35*.
- Do, J.D., Jin, J.-Y., Jeong, W.M., Lee, B., Choi, J.Y. and Chang, Y.S., (2021). Collapse of a coastal revetment due to the combined effect of anthropogenic and natural disturbances. *Sustainability*, 13(7):3712. <https://doi.org/10.3390/su13073712>.
- DPMPT Pemkot Balikpapan, 2023. *Pantai Manggar*. <http://investasi.balikpapan.go.id/halaman/detail/pantai-manggar>. [diakses pada tanggal 10 Mei 2023].

- Hanson, H., (1989). GENESIS: a generalized shoreline change numerical model. *Journal of Coastal research*, pp:1–27. <https://doi.org/10.1061/9780872626874.095>.
- Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi, (2020). *Rencana Strategis Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi Tahun 2020 - 2024*. Jakarta.
- Kementerian PUPR, (2021). *SE Dirjen Sumber Daya Air Kementerian PUPR No 11/SE/D/2021 tentang Pedoman Kriteria Perencanaan Pengaman Pantai*. Jakarta.
- Leach, C., Coulthard, T., Barkwith, A., Parsons, D.R. and Manson, S., (2021). The Coastline Evolution Model 2D (CEM2D) V1.1. *Geoscientific Model Development*, 14(9):5507–5523. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-5507-2021>.
- Van Koningsveld, M., Van Kessel, T. and Walstra, D.J.R., (2006). A hybrid modelling approach to coastal morphology. *Coastal Dynamics 2005 - Proceedings of the Fifth Coastal Dynamics International Conference*,:1–11. [https://doi.org/10.1061/40855\(214\)46](https://doi.org/10.1061/40855(214)46).
- Van Rijn, L.C., (2011). Coastal erosion and control. *Ocean & Coastal Management*, 54(12):867–887. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.05.004>.
- Van Rijn, L.C., (2012). *Coastal Erosion based on the concept of sediment cells*. <https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Coastalerosion2012.pdf> [diakses pada tanggal 1 Mei 2023].
- Van Rijn, L.C., (2013). *Design of hard coastal structures against erosion*. <https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Coastalstructures2013.pdf> [diakses pada tanggal 1 Mei 2023].
- Roelvink, D., Walstra, D.-J., Roelvink, J.A. and Walstra, D.-J., (2004). Keeping It Simple By Using Complex Models. *Advances in Hydro-Science and – Engineering*, VI(August):1–11.
- Sulaiman, D.M., Triweko, R.W. and Yudianto, D., (2011). Dampak peningkatan badai tropis terhadap erosi pantai di Pulau Bali. *Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XXVIII. Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI)*. 28-30 Oktober 2011, Ambon.
- Sutikno, S., Handoyo, D.P., Fauzi, M. and Murakami, K., (2016). Model Numerik Untuk Simulasi Alternatif Perlindungan Pantai Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Proceedings ACES (Annual Civil Engineering Seminar)*, 1(2004):227–234.
- Triatmadja, R., (2016). *Model Matematik Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B., (2012). *Perencanaan Bangunan Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Yan, G., Ruoyu, T., Lijun, Y. and Tao, J., (2021). Long-term evolution analysis of coastal geomorphology in Jiangsu based on Google Earth Engine. *Journal of Physics: Conference Series*, 2006(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2006/1/012045>
- Zhang, L., Xu, J., Zhang, F., Cai, A. and Song, Z., (2022). Numerical simulation of hydraulic characteristics of an upstream wing submerged T-shaped groyne. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 49(10):1655-1668. <https://doi.org/10.1139/cjce-2021-0521>.