

# EFEKTIVITAS *DETACHED BREAKWATER* DAN *GROIN* TERHADAP PERUBAHAN MORFOLOGI PANTAI PASIR PANJANG SINGKAWANG

## *EFFECTIVENESS OF DETACHED BREAKWATER AND GROIN ON MORPHOLOGICAL CHANGES OF PASIR PANJANG BEACH, SINGKAWANG*

Nikodemus<sup>1</sup>, Khusnul Setia Wardani<sup>2</sup>, Handika Setya Wijaya<sup>3</sup>, Dian Noorvy Khaerudin<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tunggaladewi

<sup>2</sup>Pusat Riset Teknologi Hidrodinamika Organisasi Riset Energi dan Manufaktur, Badan Riset dan Inovasi Nasional

<sup>1</sup>nikodemus.mrd19@gmail.com, <sup>2</sup>khus001@brin.go.id, <sup>3</sup>handika.civilunitri@gmail.com, <sup>4</sup>dnoorvy@gmail.com

### Abstrak

Pantai Pasir Panjang merupakan destinasi wisata di Provinsi Kalimantan Barat yang sedang berkembang dicirikan oleh proses erosi dan sedimentasi pantai. Untuk melindungi pantai dari permasalahan tersebut telah dibangun struktur pelindung pantai. Tujuan dalam penelitian ini yaitu mendapatkan karakteristik gelombang signifikan, pasang surut, dan arus; mendapatkan laju erosi dan sedimentasi; dan mengetahui efektivitas bangunan pantai eksisting terhadap erosi dan sedimentasi. Penelitian ini diawali dengan survei identifikasi kondisi bangunan pantai selanjutnya dilakukan model numerik Delft3D dengan coupling modul flow-morphology dan wave dengan mempertimbangkan dua musim, yaitu muson barat dan muson timur; kondisi tidak ada struktur dan adanya struktur; dan waktu simulasi dari tanggal 17 September hingga 1 Oktober 2022. Berdasarkan hasil simulasi numerik dalam waktu yang relatif singkat, perbedaan perubahan topografi setelah mengerahkan gelombang muson barat deposisi sedimen terjadi di belakang detached breakwater karena transpor sedimen menuju laut terhambat oleh bangunan detached breakwater; sementara itu penumpukan sedimen di sekitaran Groin tidak terlalu signifikan. Sedimen bergerak sepanjang pantai ke arah Barat Daya pada masing-masing struktur tergantung pada perubahan musim arah gelombang lepas pantai. Struktur detached breakwater dan groin terlihat efektif pada saat mengerahkan gelombang muson timur dengan cenderung terjadi keseimbangan pada pantai. Sedangkan setelah mengerahkan gelombang muson barat struktur groin terlihat kurang efektif cenderung terjadi erosi pada pantai dan sedimentasi terjadi di belakang struktur detached breakwater.

**Kata kunci:** Morfologi; Delft3D; Pantai Pasir Panjang.

### Abstract

Pasir Panjang Beach is a growing tourist destination in West Kalimantan Province characterised by coastal erosion and sedimentation processes. To protect the beach from these problems, a coastal protection structure has been built. The objectives in this study are to obtain the characteristics of significant waves, tides, and currents; obtain erosion and sedimentation rates; and determine the effectiveness of existing coastal buildings against erosion and sedimentation. This research begins with a survey to identify the condition of coastal buildings, then a Delft3D numerical model is carried out by coupling the flow-morphology and wave modules by considering two seasons, namely the west monsoon and the east monsoon; conditions of no structure and the presence of structures; and simulation time from 17 September to 1 October 2022. Based on the results of numerical simulations in a relatively short time, the difference in topographic changes after exerting west monsoon waves sediment deposition occurs behind the detached breakwater because sediment transport to the sea is inhibited by the detached

*breakwater building, while the accumulation of sediment around the Groin is not very significant. Sediment moves along the coast to the southwest at each structure depending on seasonal changes in offshore wave direction. The detached breakwater and groin structures appear effective when deploying east monsoon waves with a tendency to balance on the beach. Whereas after deploying west monsoon waves the groin structure looks less effective, it tends to erode the beach and sedimentation occurs behind the detached breakwater structure.*

**Keywords:** Morphology; Delft3D; Pasir Panjang Beach.

## PENDAHULUAN

Saat ini aktivitas manusia di kawasan pesisir semakin meningkat. Hal ini berdampak pada pembangunan infrastruktur secara besar-besaran, yang tidak jarang mengabaikan faktor lingkungan. Perubahan bentuk alam akibat dari pemanasan global juga akan memberikan pengaruh yang cukup signifikan yaitu terjadinya gelombang besar, kenaikan pasang dan naiknya permukaan air laut yang akan menggenangi banyak kawasan ekonomi penting, seperti kawasan pemukiman, infrastruktur kawasan, lahan pertanian, tambak, *resort*, pariwisata, dan pelabuhan. (Hasan, 2016).

Pantai merupakan bagian yang bersifat dinamis dari wilayah pesisir. Dinamika lingkungan pesisir dipengaruhi oleh iklim (suhu, hujan), hidro-oseanografi (gelombang, arus, pasang surut), suplai sedimen (sungai, erosi pantai), perubahan muka air laut (tektonik, pemanasan global) dan aktivitas manusia seperti reklamasi pantai dan penambangan pasir (Solihuddin, 2006).

Demikian juga yang terjadi di Pantai Pasir Panjang Singkawang. Pantai ini terbentang kurang lebih sepanjang 3 kilo meter dari Utara ke Selatan. Lokasi studi secara administratif termasuk dalam wilayah Kabupaten Bengkayang dan wilayah Kota Singkawang Provinsi Kalimantan Barat dan letak secara geografis pada koordinat 108°48'E - 108°51'E dan 0°48 'N - 0°51'N. Tata guna lahan pesisir Singkawang umumnya dikembangkan sebagai perikanan tambak pesisir, perkebunan kelapa sawit pesisir, agregat konstruksi pesisir dan pariwisata pesisir. Oseanografi fisik (gelombang

signifikan, pasang surut, batimetri, arus) merupakan salah satu aspek yang membentuk karakteristik pantai (Tanto, et al., 2016). Karakteristik pantai dianalisis berdasarkan morfologi, garis pantai, proses geologi dan oseanografi. Morfologi pantai merupakan daerah yang selalu berubah karena banyaknya proses yang terjadi di dalamnya, baik proses yang berasal dari daratan maupun dari lautan, kedua proses tersebut bertemu di pantai. Pantai Pasir Panjang di Singkawang umumnya merupakan daerah yang sedang berkembang dan dicirikan oleh proses erosi dan sedimentasi pantai (Darlan, Kamiludin, & Aryanto, 2012). Untuk melindungi pantai dari permasalahan tersebut telah dibangun bangunan pantai *detached breakwater* dan groin di Pantai Pasir Panjang Singkawang. Bangunan pelindung pantai tersebut belum efektif menanggulangi permasalahan pantai karena perubahan hidrodinamis pantai tersebut (Hamid & Danial, 2016).

Dalam riset ini memiliki tujuan, yaitu 1) mendapatkan karakteristik gelombang signifikan, pasang surut dan arus; 2) mendapatkan laju erosi dan sedimentasi jika dilakukan simulasi terhadap bangunan *detached breakwater* dan groin; dan 3) untuk mengetahui efektivitas bangunan pantai yang ada saat ini terhadap erosi dan sedimentasi pantai di Pantai Pasir Panjang, Singkawang. Proses erosi dan sedimentasi di pesisir merupakan masalah yang baik untuk dijadikan kajian dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik wilayah pesisir dan dapat memberikan informasi kepada Pemerintah Daerah Bengkayang dan Pemerintah Kota Singkawang dalam

menentukan kebijakan pengelolaan dan perencanaan wilayah pantai, Pantai Pasir Panjang Singkawang.

## Gelombang

Gelombang adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva atau grafik sinusoidal. Untuk perencanaan bangunan pantai perlu dipilih tinggi dan periode gelombang individu (*individual wave*) yang dapat mewakili suatu spektrum gelombang. Gelombang tersebut dikenal dengan gelombang representatif (Triatmodjo, 2016). Gelombang representatif dihitung untuk setiap bulan dari Januari hingga Desember menggunakan persamaan (Goda, 2010). Persamaan menentukan tinggi gelombang representatif ( $H_{rep}$ ); periode gelombang representatif ( $T_{rep}$ ); dan sudut atau arah gelombang representatif ( $\theta_{rep}$ ) sebagai berikut:

$$H_{rep} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N H_i^2 T_i}{\sum_{i=1}^N T_i}} \quad (1)$$

$$T_{rep} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \quad (2)$$

$$\theta_{rep} = \frac{\sum_{i=1}^N \theta_i H_i^2 T_i}{\sum_{i=1}^N H_i^2 T_i} \quad (3)$$

Dengan  $H_{rep}$  = tinggi gelombang representatif (m);  $T_{rep}$  = periode gelombang representatif (det);  $\theta_{rep}$  = sudut atau arah gelombang representatif (°);  $T_i$  = lama pengamatan serangkaian gelombang (det); dan  $N_i$  = jumlah pengamatan gelombang.

## Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Berdasarkan pada periode dan keteraturannya, pasang surut air laut dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

$F < 0.25$	$0.25 < F < 1.50$	$1.50 < F < 3.00$	$F > 3.00$
(Pasang ganda)	1.50 Pasang campuran (ganda dominan)	3.00 Pasang campuran (tunggal dominan)	(Pasang tunggal)

## Arus

Arus laut adalah gerakan massa air dari suatu tempat (posisi) ke tempat yang lain. Arus laut terjadi dimana saja di laut. Pada kondisi saat yang sebenarnya, arus tidak selalu bergerak ke arah horizontal karena bisa juga arus yang bergerak secara vertikal seperti angin yang berhembus di atas permukaan air.

## Perangkat Lunak Delft3D

Delft3D merupakan perangkat lunak (*software*) simulasi atau pemodelan hidrodinamik multidimensi (2D atau 3D) yang berfungsi untuk perhitungan daerah pesisir, sungai, dan muara. Aplikasi Delft3D tergolong aplikasi *open-source software* (OSS) yang dikembangkan di *Delft University of Technology* di Belanda.



**Gambar 1.** Tampilan *software* Delft3D

Sumber: Deltares, 2022

Delft3D-FLOW menggunakan penyelesaian persamaan Navier-Stokes menggunakan asumsi Boussinesq. Persamaan kontinuitas (Deltares, 2022), yaitu:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial((d+\zeta) U \sqrt{G_{\eta\eta}})}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial((d+\zeta) V \sqrt{G_{\xi\xi}})}{\partial \eta} = (d + \zeta)Q, \quad (4)$$

dengan  $U$  dan  $V$  kecepatan rata-rata kedalaman:

$$U = \frac{1}{d + \zeta} \int_d^\zeta u \, dz = \int_{-1}^0 u \, d\sigma$$

$$V = \frac{1}{d + \zeta} \int_d^\zeta v \, dz = \int_{-1}^0 v \, d\sigma$$

Dengan ikhtisar tentang simbol yang digunakan dalam persamaan, yaitu  $\zeta$  = ketinggian air di atas beberapa bidang referensi horizontal (datum) (m);  $U$  = kecepatan rata-rata kedalaman dalam arah  $\xi$  (m/s);  $V$  = kecepatan rata-rata kedalaman dalam arah  $y$  atau  $\eta$  (m/s);  $\sqrt{G_{\eta\eta}}$  = koefisien yang digunakan untuk mengubah koordinat lengkung persegi panjang (m);  $\sqrt{G_{\xi\xi}}$  = koefisien yang digunakan untuk mengubah koordinat lengkung ke persegi panjang (m);  $d$  = kedalaman di bawah beberapa bidang referensi horizontal (datum) (m);  $\xi, \eta$  = koordinat horizontal, lengkung;  $\partial$  = turunan parsial;  $t$  = waktu (s);  $Q$  = *global source or*

*sink per unit area* (m/s);  $u$  = kecepatan aliran dalam arah  $x$  atau  $\xi$  (m/s);  $v$  = kecepatan fluida dalam arah  $y$  atau  $\eta$  (m/s);  $\sigma$  = konstanta Stefan-Boltzmann ( $J/(m^2s \, K^4)$ ); dan  $\sigma$  = koordinat vertikal berskala;  $\sigma = \frac{z-\zeta}{d+\zeta}$  (permukaan,  $\sigma = 0$ ; tingkat dasar,  $\sigma = 1$ ).

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan survei identifikasi kondisi bangunan pantai dan selanjutnya dilakukan model numerik Delft3D. Data batimetri, pasang surut, gelombang dan karakteristik sedimen mengacu pada data sekunder dengan referensi yang jelas. Permodelan numerik dilakukan dengan *coupling* modul *flow-morphology* dan *wave* dengan mempertimbangkan, yaitu sebagai berikut:

- Dua musim, yaitu muson barat dan muson timur.
- Kondisi tidak ada struktur dan adanya struktur bangunan pelindung pantai.
- Simulasi dilakukan selama 15 hari (17 September hingga 1 Oktober 2022).

## Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada 1 Juli 2022 sampai dengan 1 Oktober 2022. Lokasi studi di Pantai Pasir Panjang, wilayah Kabupaten Bengkayang dan wilayah Kota Singkawang, Kalimantan Barat.

## Alat dan Bahan Lapangan

**Tabel 1. Alat dan bahan lapangan**

Nama alat dan bahan	Fungsi
Global Positioning System (GPS)	Untuk mengetahui koordinat di lokasi pengambilan data garis pantai
Roll meter	Mengukur jarak
Kompas	Mengukur arah mata angin
Kertas dan alat tulis	Mencatat hasil pengukuran dan pengamatan
Camera Handphone	Untuk mendokumentasikan kegiatan
Laptop Asus VivoBook 14	Untuk melakukan pengolahan data

Sumber: Analisa Penulis, 2022

## Data yang Diperlukan

**Tabel 2. Alat dan Bahan Lapangan**

Data	Fungsi
Data pengukuran volume dan luas bangunan pantai saat ini	Survei lapangan

Sumber: Analisa Penulis, 2022

**Tabel 3. Data Sekunder**

Data	Sumber
Gelombang	ECMWF ERA5 <i>Reanalysis</i>
Pasang surut	Badan Informasi Geospasial (BIG)
Batimetri	Batimetri Nasional (BATNAS)
Sedimen	Penelitian terdahulu dari Siswanto (Siswanto, Kartini, & Herawati, 2021)
Digitasi <i>land boundary</i>	<i>Google Earth Pro 2022</i>

Sumber: Analisa Penulis, 2022

## Sarana dan Prasarana Pengolahan Data

**Tabel 4. Sarana dan Prasarana Pengolahan Data**

Nama alat dan bahan	Fungsi
<i>Google Earth Pro</i>	Membantu mendapatkan peta dasar
<i>Global Mapper 22.0</i>	Pengolahan data citra satelit dan data batimetri
<i>Ocean Data View</i>	Pengolahan data angin dan gelombang
<i>WRPLOT_View</i>	Memplotkan data arah dan tinggi gelombang menerapkan sistem <i>waverose</i> manual
<i>Delft3D</i>	Simulasi model numerik khususnya mengenai hidrodinamika dan transpor sedimen
<i>Microsoft Office Excel 2019</i>	Pengolahan data gelombang dan data pasang surut
Notepad++	Penyunting teks, mengedit, membuka atau menampilkan format hasil pemodelan
AutoCAD 2013	Menggambar desain 2D
MATLAB R2013a	Analisis data <i>bed level</i>

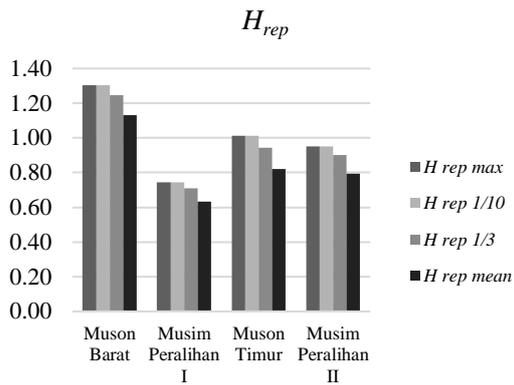
Sumber: Analisa Penulis, 2022

## HASIL DAN PEMBAHASAN

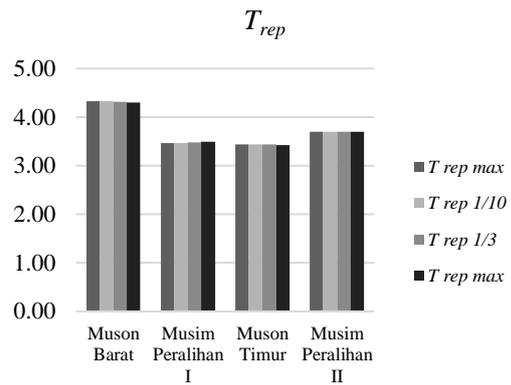
### Perhitungan Musim Gelombang Representatif

Gelombang representatif di muson barat untuk tinggi gelombang signifikan adalah  $H_{1/3}$

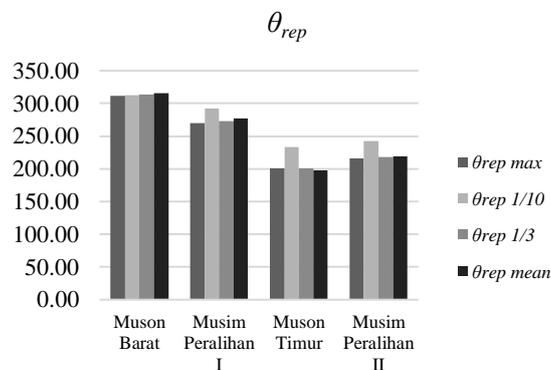
= 1.25 m, periode gelombang signifikan adalah  $T_{1/3} = 4.31$  s dan arah gelombang adalah  $\theta = 313.79^\circ$ . Sedangkan gelombang representatif di muson timur untuk tinggi gelombang signifikan adalah  $H_{1/3} = 0.94$  m, periode gelombang signifikan adalah  $T_{1/3} = 3.44$  s dan arah gelombang adalah  $\theta = 200.37^\circ$ .



**Gambar 2. Tinggi Gelombang Representatif Musiman di Pantai Pasir Panjang**  
 Sumber: Analisa Penulis, 2022

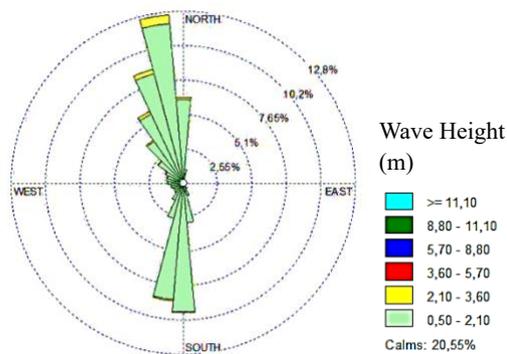


**Gambar 3. Periode Gelombang Representatif Musiman di Pantai Pasir Panjang**  
 Sumber: Analisa Penulis, 2022

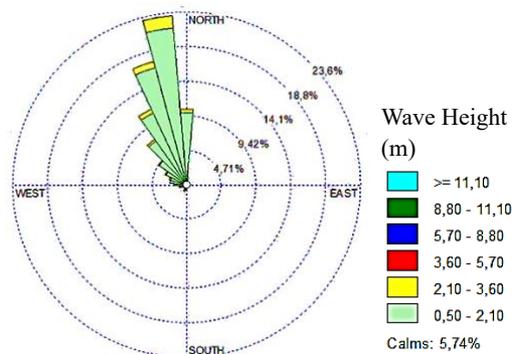


**Gambar 4. Sudut Atau Arah Gelombang Representatif Musiman di Pantai Pasir Panjang**  
 Sumber: Analisa Penulis, 2022

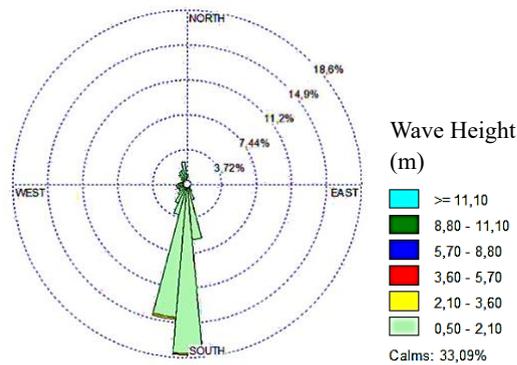
**Diagram Mawar Gelombang**



**Gambar 5. Mawar Gelombang di Pantai Pasir Panjang, Singawang Tahun 2017 Hingga 2021**  
 Sumber: Analisa Penulis, 2022



**Gambar 6. Mawar Gelombang Muson Barat di Pantai Pasir Panjang, Singawang Tahun 2017 Hingga 2021**  
 Sumber: Analisa Penulis, 2022



**Gambar 7. Mawar Gelombang Muson Timur di Pantai Pasir Panjang, Singkawang Tahun 2017 Hingga 2021**  
 Sumber: Analisa Penulis, 2022

**Tabel 5. Gelombang kala ulang dari tahun 2016 hingga 2021 Pantai Pasir Panjang**

Periode Ulang	Metode Fisher Tippet Type I					
	$(H_{sr}, T_{sr}) - 1,28\sigma FT-1$		$(H_{sr}, T_{sr}) FT-1$		$(H_{sr}, T_{sr}) + 1,28\sigma FT-1$	
Tahun	$H_{sr}$ (m)	$T_{sr}$ (s)	$H_{sr}$ (m)	$T_{sr}$ (s)	$H_{sr}$ (m)	$T_{sr}$ (s)
5	1.07	3.73	1.15	3.89	1.23	4.05
10	1.07	3.74	1.19	3.96	1.31	4.19
20	1.08	3.74	1.23	4.03	1.38	4.33
25	1.08	3.74	1.24	4.05	1.40	4.37
50	1.08	3.74	1.28	4.12	1.47	4.50

Sumber: Analisa Penulis, 2022

Pola perubahan profil pantai pada daerah studi dipengaruhi oleh arah gelombang yang menuju ke pantai.

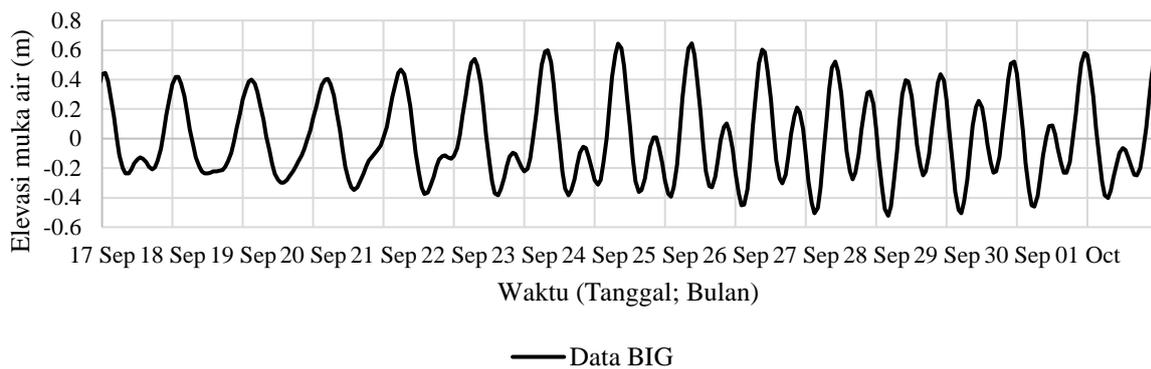
Dari diagram gelombang Gambar 5 dapat diketahui bahwa tinggi gelombang pantai Pantai Pasir Panjang Singkawang tahun 2017 hingga 2021 paling dominan cenderung dari arah Barat Laut. Sedangkan pada muson barat dapat dilihat Gambar 6 bahwa tinggi gelombang dari arah Barat Laut dan pada muson timur dapat dilihat Gambar 7 tinggi gelombang dari arah Barat Daya.

### Perhitungan Gelombang Kala Ulang

Gelombang untuk kala ulang 25 tahun untuk tinggi gelombang kala ulang adalah  $H_{sr} = 1.08\text{m}$  hingga  $1.40\text{m}$ , periode gelombang kala ulang adalah  $T_{sr} = 3.74\text{s}$  hingga  $4.37\text{s}$ .

### Karakteristik Pasang Surut

Karakteristik pasang surut pada pantai tersebut adalah tipe campuran (ganda dominan) dengan *tidal range* =  $1.26\text{ m}$ .



**Gambar 8. Grafik Pasang Surut Pasir Panjang Singkawang Tanggal 17 September Hingga 1 Oktober 2022**

Sumber: Analisa Penulis, 2022

**Tabel 6. Amplitudo dan Fasa Konstituen Hasil Delft3D-Flow**

<i>Name</i>	<i>Amplitude</i>	<i>Phase (G)</i>	<i>Frequency (OM)</i>	<i>V0 + U</i>	<i>F</i>
K1	0.238	86.46	15.04	304.6	1.09
O1	0.182	358.07	13.94	169.6	1.14
P1	0.492	161.60	14.95	124.4	1.00
Q1	0.065	58.80	13.39	294.3	1.14
M2	0.287	91.66	28.98	111.9	0.97
S2	0.088	128.08	30.00	74.7	1.00
N2	0.192	107.60	28.44	236.6	0.97
K2	0.273	231.30	30.08	68.6	1.23

Sumber: Analisa Penulis, 2022

**Parameter Input pada Delft3D-Flow + Morpho dan Delft3D-Wave.**

**Tabel 7. Parameter Input Pada Delft3D-Flow + Morpho**

<b>Parameter</b>	<b>Jenis Data</b>	<b>Nilai</b>
<i>Domain</i>	Grid	185 x 48 petak
	Batimetri	dep
<i>Time Frame</i>	Waktu simulasi dimulai	16 September 2022 jam 23.00
	Waktu simulasi berakhir	01 Oktober 2022 jam 23.00
	<i>Local Time Zone</i>	-7
<i>Initial Condition</i>	<i>Water Level</i>	0 m
	<i>Sediment Cohesive</i>	0 kg/m <sup>3</sup>
	<i>Boundaries</i>	<i>Type of Boundary</i>
<i>West - Water Level</i>		<i>Astronomic</i>
<i>South - Neumann</i>		<i>Time-series</i>
<i>Physical Parameters</i>	<i>North - Neumann</i>	<i>Time-series</i>
	Gravitasi	9.81 m/s <sup>2</sup>
	Massa Jenis Air Laut	1025 kg/m <sup>3</sup>
	Kekerasan dasar	Chezy
	<i>Morphology Scale Factor</i>	1

Sumber: Analisa Penulis, 2022

**Tabel 8. Parameter Input pada Delft3D-Wave**

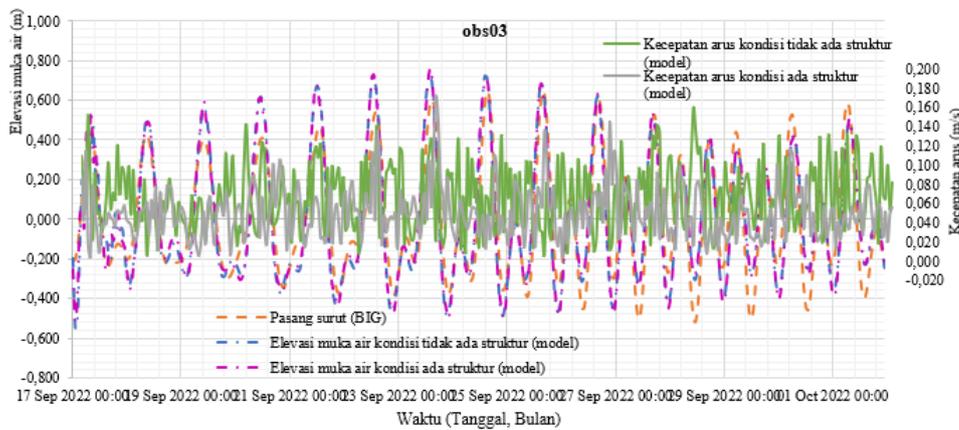
Skenario	Muson Barat	Muson Timur
tidak ada struktur dan ada struktur	$H_{1/3} = 1.25 \text{ m}$	$H_{1/3} = 0.94 \text{ m}$
	$T_{1/3} = 4.31 \text{ s}$	$T_{1/3} = 3.44 \text{ s}$
	$\theta_{1/3} = 313.79^\circ$	$\theta_{1/3} = 200.37^\circ$

Sumber: Analisa Penulis, 2022

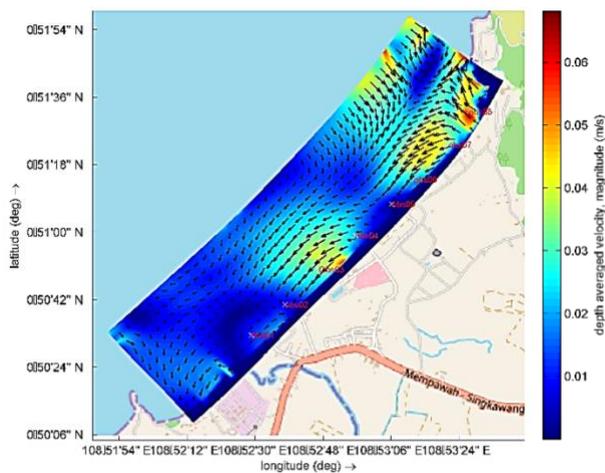
**Hasil Simulasi Numerik**

Pada simulasi ini menggunakan 2 skenario. Skenario 1 dampak perubahan morfologi pantai tidak ada struktur dan pada skenario 2 dampak perubahan morfologi

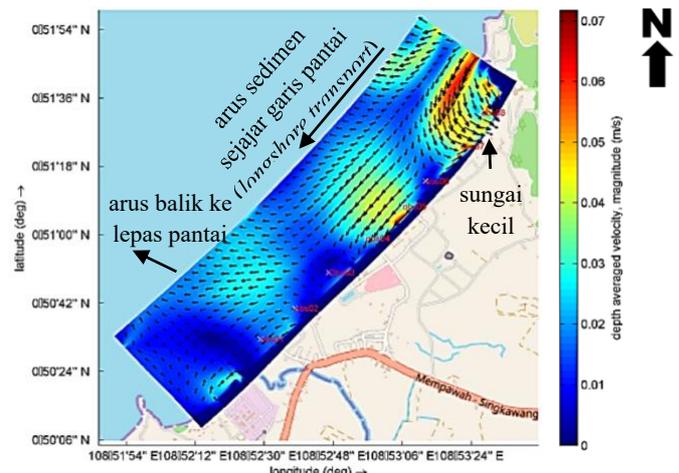
pantai dengan ada struktur. Berdasarkan hasil simulasi *software* Delft3D selama 15 hari yang telah dilakukan, kondisi arus pada titik observasi.



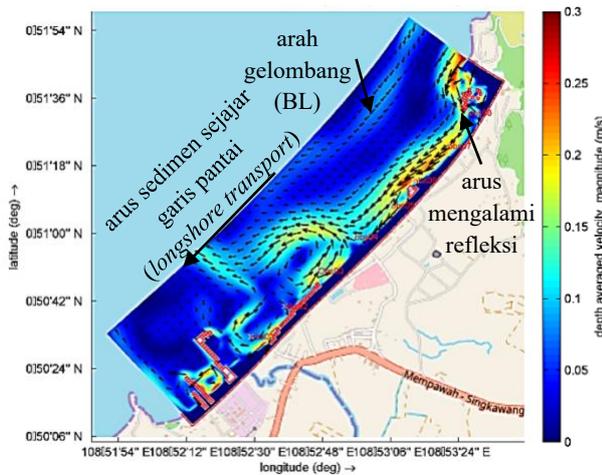
**Gambar 9. Perbandingan data pasang surut (BIG), elevasi muka air (model), dan kecepatan arus (model) kondisi tidak ada struktur dan ada struktur pada obs03**  
 Sumber: Analisa Penulis, 2022



**Gambar 10. Depth Average Velocity Kondisi Tidak Ada Struktur pada Saat Pasang Tertinggi pada Tanggal 23 Sep 2022 14:00**  
 Sumber: Analisa Penulis, 2022

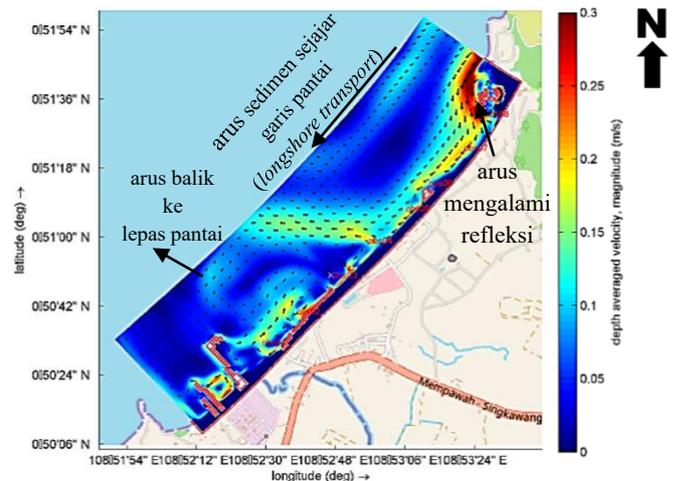


**Gambar 11. Depth Average Velocity Kondisi Tidak Ada Struktur pada Saat Surut Terendah pada Tanggal 23 Sep 2022 22:00**  
 Sumber: Analisa Penulis, 2022



**Gambar 12. Depth Average Velocity Kondisi Ada Struktur pada Saat Pasang Tertinggi pada Tanggal 23 Sep 2022 14:00**

Sumber: Analisa Penulis, 2022



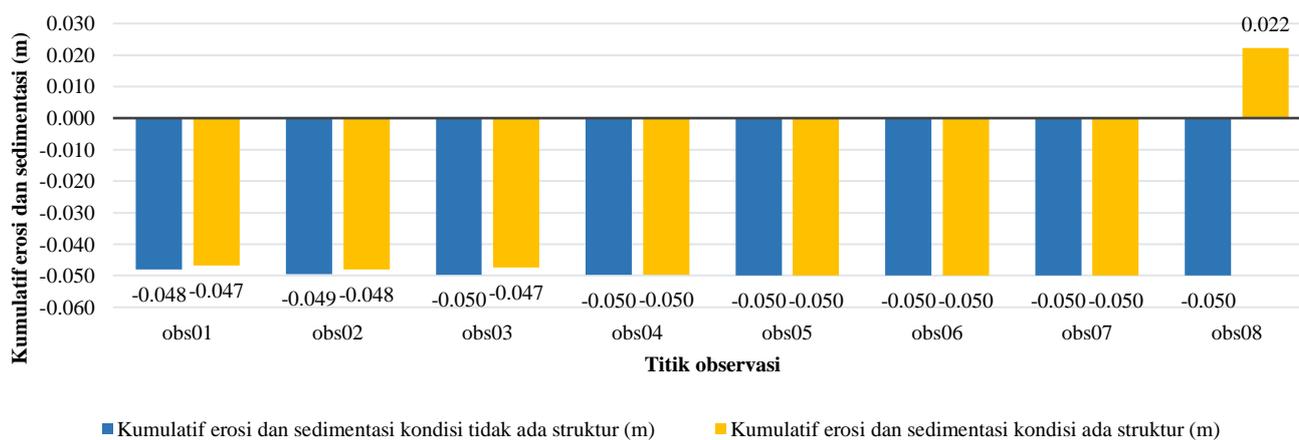
**Gambar 13. Depth Average Velocity Kondisi Ada Struktur pada Saat Surut Terendah pada Tanggal 23 Sep 2022 22:00**

Sumber: Analisa Penulis, 2022

Pada Gambar 9 menampilkan grafik pasang surut yang terjadi pada kawasan Pantai Pasir Panjang. Tinggi elevasi puncak air pasang dari siklus pasang surut adalah berada pada 0,76 m yang terjadi pada yang terjadi pada tanggal 23 September 2022 pada jam 14.00 WIB dan elevasi surut terendah dari siklus pasang surut berada pada -0,50 m yang terjadi pada tanggal 23 September 2022 pada jam 22.00 WIB.

Pada Gambar 10 dan 11 menampilkan kondisi arus pada saat pasang dan surut ketika tidak ada struktur. Saat pasang arus berasal dari arah Barat Laut bergerak sepanjang pantai (*longshore*) menuju arah Barat Daya, sedangkan saat surut arus cenderung bergerak sepanjang pantai (*longshore*) dan kembali ke lepas pantai. Pada Gambar 12 dan 13 menampilkan kondisi arus pada saat pasang dan surut ketika ada struktur. Saat pasang arus berasal dari arah Barat Laut bergerak sepanjang pantai (*longshore*) menuju arah

Barat Daya, sedangkan saat surut arus cenderung bergerak sepanjang pantai (*longshore*) dan kembali ke lepas pantai, hal ini disebabkan oleh gaya gelombang dari arah yang lebih dominan sehingga arah vektor arus mengikuti arah gelombang dominan yaitu dari arah Barat Laut ke Barat Daya. Untuk kecepatan arus pada kondisi pasang ketika tidak ada struktur besarannya yaitu 0.01 m/s hingga 0.06 m/s sedangkan pada saat kondisi surut ketika tidak ada struktur yaitu 0.01 m/s hingga 0.07 m/s. Untuk kecepatan arus pada kondisi pasang dan kondisi surut ketika ada struktur besarannya yaitu 0.05 m/s hingga 0.3 m/s. Sehingga ketika kondisi ada struktur kecepatan arus lebih besar dibandingkan ketika tidak ada struktur. Hal ini bisa terjadi karena gelombang datang membentur suatu bangunan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Refleksi gelombang akan menyebabkan ketidaktenangan di sekitaran struktur tersebut.



**Keterangan:**

- Arah y positif (y+) = sedimentasi
- Arah y positif (y-) = erosi
- Arah (-) = kondisi seimbang (equilibrium)

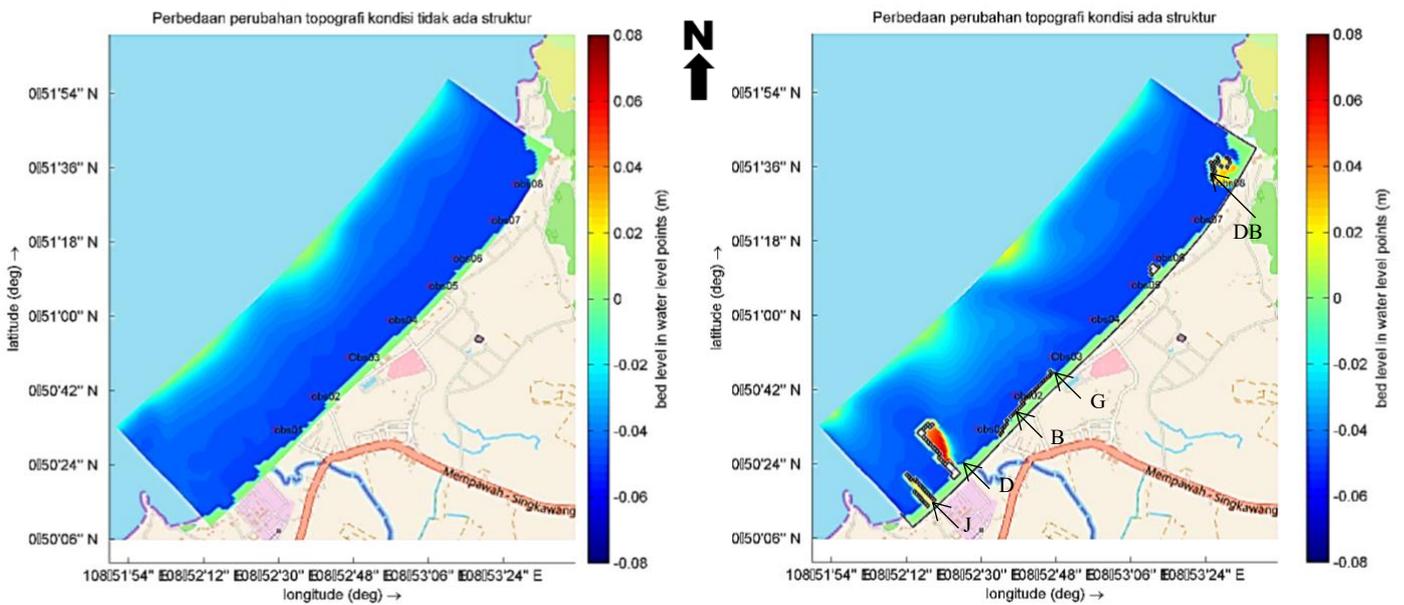
**Gambar 14. Kumulatif Kecenderungan Erosi dan Sedimentasi Kondisi Tidak Ada Struktur dan Ada Struktur pada Muson Barat**

Sumber: Analisa Penulis, 2022

Pada Gambar 14 dapat dilihat kumulatif erosi dan sedimentasi hasil simulasi selama 15 hari kondisi tidak ada struktur dan ada struktur pada muson barat. Pada titik obs01 cenderung terjadi erosi pada kedua skenario. Erosi yang terjadi untuk skenario 1 (tidak ada struktur) adalah -0.048 m dan skenario 2 (ada struktur) adalah -0.047 m. Pada obs02 hampir relatif sama pada obs01 dimana pada obs02 cenderung terjadi erosi pada kedua skenario. Erosi yang terjadi untuk skenario 1 (tidak ada struktur) adalah -0.049 m dan skenario 2 (ada struktur) adalah -0.048 m. Pada obs03 hampir relatif sama pada obs01 dan obs02 dimana pada obs03 cenderung terjadi erosi pada kedua skenario. Erosi yang terjadi untuk skenario 1 (tidak ada struktur) adalah -0.049 m dan skenario 2 (ada struktur) adalah -0.048 m. Sedangkan untuk obs04, obs05, obs06, dan obs07 mengalami erosi dengan kumulatif yang sama pada kedua skenario. Erosi yang terjadi yang terjadi pada skenario 1 (tidak ada struktur) dan skenario 2 (ada struktur) mencapai angka maksimum -0.050 m.

Sedangkan obs08 cenderung terjadi erosi ketika tidak ada struktur dan cenderung terjadi sedimentasi ketika ada struktur. Pada skenario 1 (tidak ada struktur) mencapai angka maksimum -0.050 m mengalami erosi dan pada skenario 2 (ada struktur) mencapai angka maksimum 0.022 m mengalami sedimentasi.

Pada Gambar 15 menunjukkan perubahan topografi hasil simulasi selama 15 hari di setiap skenario setelah mengerahkan kondisi gelombang muson barat. Pada kondisi tidak ada struktur dan ada struktur menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada luas area erosi yang terbentuk pada obs01, obs02, obs03, obs04, obs05, obs06, dan obs07. Sedangkan pada obs08 karena transpor sedimen menuju laut terhambat maka terjadi penumpukan sedimen di belakang bangunan detached breakwater. Penumpukan sedimen menyebabkan naiknya elevasi dasar di belakang detached breakwater setinggi 0.022 m, sedangkan jika detached breakwater tidak dipasang maka terjadi penurunan elevasi sedalam -0.050 m.



(a) Perbedaan perubahan topografi kondisi tidak ada struktur muson barat

(b) Perbedaan perubahan topografi kondisi ada struktur muson barat

**Keterangan:**

Titik observasi:

obs01: Pantai Gratis

obs02: Pantai Samudera Indah

obs03: Pantai Pasir Panjang

Struktur:

J: Jetty (outlet PLTU 3 PBSB)

D: Dermaga (PLTU 3 PBSB)

obs04: Pantai Pasir Panjang

obs05: Pantai Pasir Panjang

obs06: Pantai Pasir Panjang

B: Breakwater

G: Groin

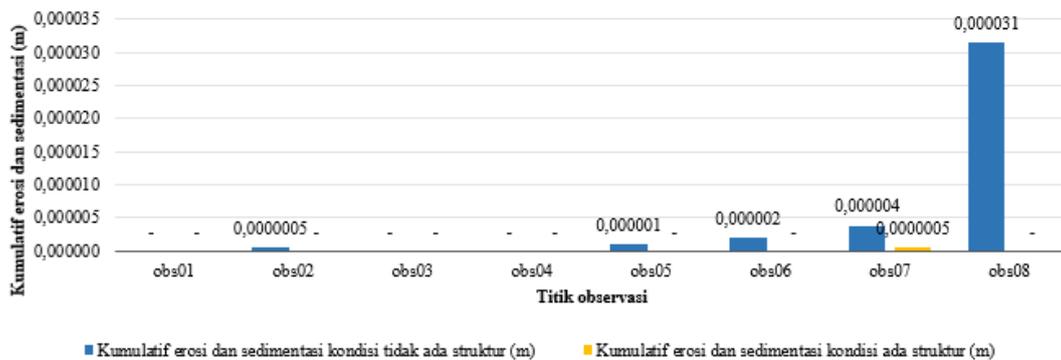
obs07: Pantai Pasir Panjang

obs08: Pantai Bajau

DB: Detached Breakwater

**Gambar 15. Perbedaan Perubahan Topografi antara Tidak Ada Struktur dan Ada Struktur Ketika Muson Barat**

Sumber: Analisa Penulis, 2022



**Keterangan:**

Arah y positif (y+) = sedimentasi

Arah y positif (y-) = erosi

Arah (-) = kondisi seimbang (equilibrium)

**Gambar 16. Kumulatif Kecenderungan Erosi dan Sedimentasi Kondisi Tidak Ada Struktur dan Ada Struktur pada Muson Timur**

Sumber: Analisa Penulis, 2022

Pada Gambar 16 dapat dilihat kumulatif erosi dan sedimentasi hasil simulasi selama 15 hari kondisi tidak ada struktur dan ada struktur pada muson timur. Pada titik obs01 pada kedua skenario terjadi keseimbangan. Pada obs02 ketika tidak ada struktur mengalami sedimentasi sebesar  $0.5 \times 10^{-6}$  m dan ketika ada struktur mengalami kondisi seimbang. Sedangkan pada obs03 dan obs04 juga mengalami kondisi seimbang pada kedua skenario. Pada obs05 ketika tidak ada struktur mengalami sedimentasi sebesar  $0.1 \times 10^{-5}$  m dan ketika ada struktur mengalami kondisi seimbang. Pada obs06 ketika tidak ada struktur mengalami sedimentasi sebesar  $0.2 \times 10^{-5}$  m dan ketika ada struktur mengalami kondisi seimbang. Sedangkan pada obs07 ketika tidak ada struktur mengalami sedimentasi sebesar  $0.4 \times 10^{-5}$  m dan ketika ada struktur juga mengalami sedimentasi sebesar  $0.5 \times 10^{-6}$  m. Pada obs08 ketika tidak ada struktur mengalami sedimentasi sebesar  $3.1 \times 10^{-5}$  m dan ketika ada struktur mengalami kondisi seimbang.

## Pembahasan

Hasil simulasi yang telah dilakukan selama 15 hari didapatkan kondisi pasang surut di Pantai Pasir Panjang untuk kedua skenario. Pada skenario 1 (tidak ada struktur) dan skenario 2 (ada struktur) didapatkan dalam sehari terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut dengan ketinggian berbeda. Pada kawasan Pantai Pasir Panjang tinggi elevasi puncak air pasang dari siklus pasang surut adalah berada pada 0.76 m dan elevasi surut terendah dari siklus pasang surut berada pada -0.50 m. Hasil ini sesuai dengan penelitian dari Syamsudin, dkk. (Syamsudin, Kushadiwijayanto, & Risiko, 2019).

Berdasarkan hasil simulasi dalam waktu relatif singkat didapatkan kondisi arus di Pantai Gratis, Pantai Samudera Indah, Pantai Pasir Panjang, dan Pantai Bajau untuk kedua skenario. Saat pasang kondisi tidak ada

struktur arus berasal dari arah Barat Laut bergerak sepanjang pantai (*longshore*) menuju arah Barat Daya, sedangkan saat surut kondisi tidak ada struktur arus cenderung bergerak sepanjang pantai (*longshore*) dan kembali ke lepas pantai. Saat pasang kondisi ada struktur arus berasal dari arah Barat Laut bergerak sepanjang pantai (*longshore*) menuju arah Barat Daya, sedangkan saat surut kondisi ada struktur arus cenderung bergerak sepanjang pantai (*longshore*) dan kembali ke lepas pantai, hal ini disebabkan oleh gaya gelombang dari arah yang lebih dominan sehingga arah vektor arus mengikuti arah gelombang dominan yaitu dari arah Barat Laut ke Barat Daya. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian dari Wiyadi, dkk. (Wiyadi, Muslim, & Marwoto, 2022).

Gelombang representatif pada muson barat untuk tinggi gelombang signifikan adalah  $H_{1/3} = 1.25$  m, periode gelombang signifikan adalah  $T_{1/3} = 4.31$  s dan arah gelombang adalah  $\theta = 313.79^\circ$  dengan persamaan Goda. Gelombang representatif pada muson timur untuk tinggi gelombang signifikan adalah  $H_{1/3} = 0.94$  m, periode gelombang signifikan adalah  $T_{1/3} = 3.44$  s dan arah gelombang adalah  $\theta = 200.37^\circ$ . Tinggi gelombang Pantai Bengkayang hingga Singkawang tahun 2017 hingga 2021 paling dominan cenderung dari arah Barat. Sedangkan pada muson barat tinggi gelombang dominan cenderung dari arah Barat dan pada muson timur tinggi gelombang dominan cenderung dari arah Selatan. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian dari Prasetya Rahmat Pratama, dkk. (Pratama, Apriansyah, & Risiko, 2020).

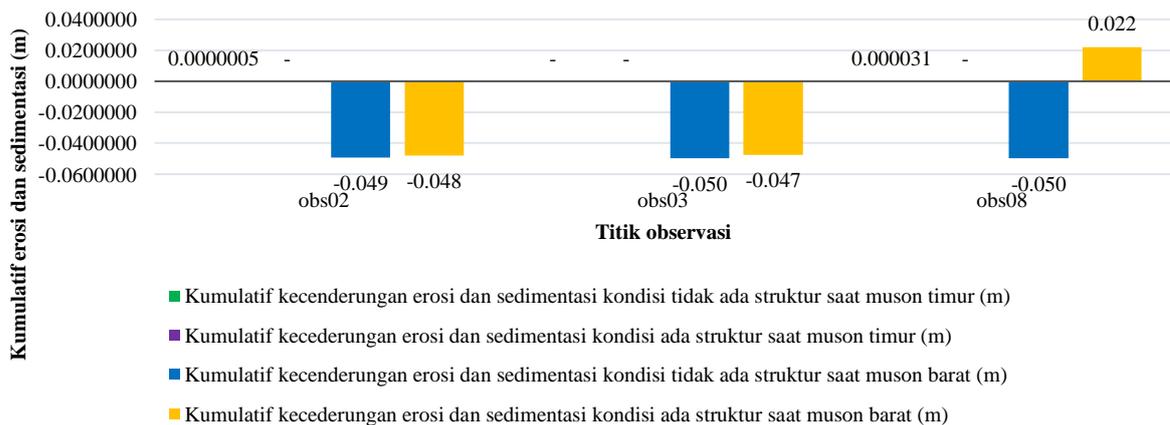
Perbedaan perubahan topografi setelah mengerahkan gelombang muson barat, daerah sedimentasi terbentuk pada sisi hulu transpor sedimen sejajar pantai pada dermaga PLTU 3 PBSB, penumpukan sedimen juga terjadi di mulut jetty pada outlet PLTU 3 PBSB, selain itu deposisi sedimen juga terjadi di belakang

*detached breakwater* karena transpor sedimen menuju laut terhambat oleh bangunan *detached breakwater*, sementara itu penumpukan sedimen di sekitaran Groin tidak terlalu signifikan. Perbedaan perubahan topografi setelah mengerahkan gelombang muson timur mendapati terjadi keseimbangan di sekitar pantai dan juga tidak ada daerah sedimentasi yang signifikan di sekitar struktur. Hasil ini memiliki keterkaitan dengan hasil penelitian dari Yudi Darlan, dkk. (Darlan, Kamiludin, & Aryanto, 2012).

Untuk melihat efektivitas bangunan pantai pada muson barat dan muson timur berikut ini disajikan grafik dengan mengambil contoh pada Pantai Samudera Indah, Pantai Pasir Panjang (terdapat groin), dan Pantai Bajau (terdapat *detached breakwater*) pada Gambar 17.

Pada dasarnya kondisi tidak ada struktur dan ada struktur cenderung erosi hanya sedimentasi terjadi di Pantai Bajau. Struktur *detached breakwater* dan groin terlihat efektif pada saat mengerahkan gelombang muson timur dengan cenderung terjadi keseimbangan

pada Pantai Samudera Indah, Pantai Pasir Panjang, dan Pantai Bajau. Sedangkan setelah mengerahkan gelombang muson barat struktur groin terlihat kurang efektif cenderung terjadi erosi pada Pantai Samudera Indah dan Pantai Pasir Panjang hanya sedimentasi terjadi di Pantai Bajau yang terdapat struktur *detached breakwater*. Struktur groin digunakan sebagai penanggulangan terhadap masalah erosi pantai. Struktur ini bertujuan untuk mengurangi laju transpor sedimen sejajar pantai dari hulu ke hilir dan bertujuan untuk membuat garis pantai maju. Pantai Pasir Panjang telah menderita masalah erosi pantai. Struktur groin dan *detached breakwater* telah diterapkan sebagai penanggulangan. Struktur groin tidak diperpanjang ke panjang yang dirancang karena sulitnya konsensus lokal yang memiliki keterkaitan dengan penelitian Khusnul Setia Wardani (Wardani & Murakami, 2019). Selain sistem groin, terdapat sebuah dermaga PLTU 3 PBSB dan bangunan *detached breakwater* yang direncanakan untuk melindungi area destinasi wisata Pantai Bajau.



**Keterangan:**  
 Arah y positif (y+) = sedimentasi  
 Arah y positif (y-) = erosi  
 Arah (-) = kondisi seimbang (equilibrium)

**Gambar 17. Kumulatif Kecenderungan Erosi dan Sedimentasi Kondisi Tidak Ada Struktur dan Ada Struktur pada Muson Barat dan Muson Timur**

Sumber: Analisa Penulis, 2022

## SIMPULAN

Karakteristik gelombang signifikan, pasang surut dan arus di Pantai Pasir Panjang, Singkawang. Untuk karakteristik pasang surut pada pantai tersebut adalah tipe campuran (ganda dominan) dengan *tidal range* = 1.26 m. Karakteristik gelombang representatif pada muson barat untuk tinggi gelombang signifikan adalah  $H_{1/3} = 1.25$  m, periode gelombang signifikan adalah  $T_{1/3} = 4.31$  s dan arah gelombang adalah  $\theta = 313.79^\circ$  dengan persamaan Goda. Gelombang representatif pada muson timur untuk tinggi gelombang signifikan adalah  $H_{1/3} = 0.94$  m, periode gelombang signifikan adalah  $T_{1/3} = 3.44$  s dan arah gelombang adalah  $\theta = 200.37^\circ$ . Kecepatan arus pada kondisi pasang ketika tidak ada struktur besarnya yaitu 0.01 m/s hingga 0.06 m/s sedangkan pada saat kondisi surut ketika tidak ada struktur yaitu 0.01 m/s hingga 0.07 m/s. Untuk kecepatan arus pada kondisi pasang dan kondisi surut ketika ada struktur besarnya yaitu 0.05 m/s hingga 0.3 m/s. Sehingga ketika kondisi ada struktur kecepatan arus lebih besar dibandingkan ketika tidak ada struktur.

Kumulatif laju erosi dan sedimentasi kondisi tidak ada struktur dan ada struktur pada muson barat yaitu pada Pantai Pasir Panjang kumulatif laju erosi yang terjadi untuk kondisi tidak ada struktur adalah -0.049 m hingga -0.050 m dan kondisi ada struktur adalah -0.048 m hingga -0.050 m. Sedangkan pada Pantai Bajau pada kondisi tidak ada struktur kumulatif laju erosi mencapai angka maksimum -0.050 m dan pada kondisi ada struktur kumulatif laju sedimentasi mencapai angka maksimum 0.022 m. Sedangkan muson timur yaitu pada Pantai Pasir Panjang ketika tidak ada struktur kumulatif laju sedimentasi sebesar  $0.1 \times 10^{-5}$  m hingga  $0.4 \times 10^{-5}$  m dan ketika ada struktur mengalami kondisi seimbang. Pada Pantai Bajau ketika tidak ada struktur mengalami sedimentasi sebesar  $3.1 \times 10^{-5}$  m dan ketika ada struktur mengalami kondisi seimbang. Sedimen bergerak

sepanjang pantai (*longshore*) ke arah Barat Daya pada masing-masing struktur tergantung pada perubahan musim arah gelombang lepas pantai. Kecenderungan sedimentasi di sekitar struktur terlihat lebih kuat pada kondisi gelombang muson barat dibandingkan pada kondisi gelombang muson timur.

Berdasarkan hasil simulasi numerik dalam waktu yang relatif singkat, perbedaan perubahan topografi setelah mengerahkan gelombang muson barat deposisi sedimen terjadi di belakang *detached breakwater* karena transpor sedimen menuju laut terhambat oleh bangunan *detached breakwater*, sementara itu penumpukan sedimen di sekitaran Groin tidak terlalu signifikan. Pada dasarnya kondisi tidak ada struktur dan ada struktur cenderung erosi hanya sedimentasi terjadi di Pantai Bajau. Struktur *detached breakwater* dan groin terlihat efektif pada saat mengerahkan gelombang muson timur dengan cenderung terjadi keseimbangan pada Pantai Samudera Indah, Pantai Pasir Panjang, dan Pantai Bajau. Sedangkan setelah mengerahkan gelombang muson barat struktur groin terlihat kurang efektif cenderung terjadi erosi pada Pantai Samudera Indah dan Pantai Pasir Panjang hanya sedimentasi terjadi di Pantai Bajau yang terdapat struktur *detached breakwater*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Darlan, Y., Kamiludin, U., & Aryanto, N. C. (2012). Coastal Dynamics of Singkawang, West Kalimantan. *Bulletin of the Marine Geology*, Vol. 27, No. 2, Hal. pp. 77 to 85.
- Deltares. (2020). QUICKIN, Generation and manipulation of grid-related parameters such as bathymetry, initial conditions and roughness. *User Manual*, Version: 4.00, SVN Revision: 66766, 14 May 2020.
- Deltares. (2020). RGFGRID, Generation and manipulation of structured and unstructured grids, suitable for Delft3D-

- FLOW, Delft3D-WAVE or D-Flow Flexible Mesh. *User Manual*, Version: 5.00, SVN Revision: 66766, 14 May 2020.
- Deltares. (2022). *Delft3D Hydro-Morphodynamics & Water Quality*. Delft: Deltares systems.
- Deltares. (2022). Delft3D-FLOW, Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. *User Manual*, Version 4.05, SVN Revision: 75129, 18 October 2022.
- Deltares. (2022). Delft3D-WAVE, Simulation of short-crested waves with SWAN. *User Manual*, Version: 4.05, SVN Revision: 76992, 18 October 2022.
- Goda, Y. (2010). Random seas and design of maritime structures. *World Scientific Publishing Company*, Vol. 33.
- Hamid, A., & Danial, M. M. (2016). Kegagalan Bangunan Pelindung Pantai (Studi Kasus di Wilayah Pantai Utara Kalimantan Barat). *Seminar Nasional II Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Universitas Tanjungpura*, 267-275.
- Hasan, R. S. (2016). *Analisis Perubahan Profil Pantai Parangtritis Dengan Menggunakan Software DELFT3D. Tugas Akhir*. Surabaya: Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Horhoruw, S. M., Atmadipoera, A. S., Purba, M., & Purwandana, A. (2015). Struktur Arus dan Variasi Spasial Arlindo di Selat Makassar dari EWIN2013. *Jurnal Ilmu Kelautan*, Vol. 20 (2): Hal. 87-100.
- Pratama, P. R., Apriansyah, & Risko. (2020). Perubahan Garis Pantai di Perairan Batu Burung Singkawang Singkawang Selatan. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, Vol.3 No. 1 Hal. 23-30.
- Solihuddin, T. (2006). Karakteristik Pantai dan Potensi Bencana Geologi Pantai Bilungala, Gorontalo. *Segara*, Vol II, No. 1, Jakarta. ISSN 1907-0659, Hal. 214-222.
- Syamsudin, Kushadiwijayanto, A. A., & Risko. (2019). Studi Batimetri dan Pasang Surut Di Kawasan Perairan Batu Burung Kota Singkawang Selatan Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 144-150.
- Tanto, T. A., Husrin, S., Wisha, U. J., Putra, A., Putri, R. K., & Ilham. (2016). Karakteristik Oseanografi Fisik (Batimetri, Pasang Surut, Gelombang Signifikan dan Arus Laut) Perairan Teluk Bungus. *Jurna Kelautan*, Volume 9, No. 2, Hal: 107-121.
- Triatmodjo, B. (2016). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wardani, K. S., & Murakami, K. (2019). The Effectiveness of Groin System on the Control of Sediment Transport. *Journal of Japan Society of Civil Engineers Ser B2 (Coastal Engineering)*, Vol. 75, No. 2, I\_535-I\_540.
- Wiyadi, H. T., Muslim, & Marwoto, J. (2022). Pemodelan Hidrodinamika pada Musim Barat di Pantai Gosong Kalimantan Barat sebagai Calon Tapak PLTN Pertama di Indonesia pada Tahun 2025. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*, Vol 04 No 02 : 97 - 106.