

**PENGARUH POWER DINAMIKA OSEANOGRAFI TERHADAP PERUBAHAN MORFOLOGI  
MUARA SUNGAI AIR RAMI DAN SELAGAN JAYA, PROVINSI BENGKULU**

*(The Influence of Oceanographic Power Dynamics on Morphological Changes of Air Rami  
and Selagan Jaya Estuary, Bengkulu Province)*

Supiyati<sup>1\*</sup>, Suwarsono<sup>1</sup>, Septi Johan<sup>1</sup>, Dea Apriliani<sup>1</sup>, Elmiati<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Universitas Bengkulu, Bengkulu

\*Email: [supiyati\\_116@unib.ac.id](mailto:supiyati_116@unib.ac.id)

Diterima: 23 Desember 2023, Direvisi: 1 Maret 2024, Disetujui: 13 Juni 2024

**ABSTRACT**

*Bengkulu Province has many river estuaries that experience rapid morphological change, making it a watershed problem because it can trigger sedimentation downstream. This research determined the characteristics and influence of oceanographic power dynamics on morphological changes of river estuaries in Bengkulu. The methods are in situ measurements of oceanographic dynamics parameters, visual aerial photography from drones, and maps of the Air Rami and Selagan Jaya Estuary from USGS Landsat-8 satellite imagery. Based on the study's results, the characteristics of the study area have a mixed tidal type leaning to double daily with a formzhal value of 0.509 in the Air Rami and 0.491 in Selagan Jaya. Morphological changes in the estuary are caused by sedimentation, which is influenced by the interaction of oceanographic power dynamics in the form of tides, waves, currents from the watershed, tidal currents, longshore currents, and sediment. This condition is due to the weakening of the current at the mouth of the estuary due to the confluence of tidal currents, currents from upstream of the watershed, and longshore currents so that sediment transport caused by longshore currents is retained and accumulates at the mouth of the estuary. At high tide, the current enters the estuary carrying sediment that has accumulated at the mouth of the estuary. At low tide, when the current speed is slower, it cannot bring the sediment back, so it settles in the estuary. In addition, the inflow of sediment from the upstream watershed into the estuary also contributes to the increasing sedimentation.*

**Keywords:** *Bengkulu; oceanographic dynamics; morphology; estuary*

**ABSTRAK**

Provinsi Bengkulu memiliki banyak muara sungai dengan perubahan morfologi yang sangat cepat, menjadi salah satu permasalahan DAS karena dapat memicu terjadinya sedimentasi di bagian hilir. Tujuan penelitian ini adalah menentukan karakteristik dan pengaruh power dinamika oseanografi terhadap perubahan morfologi muara sungai di Bengkulu. Metode

yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran in situ parameter dinamika oseanografi, visual foto udara dari drone, dan peta Muara Sungai Air Rami dan Selagan Jaya dari citra satelit USGS Landsat-8. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh karakteristik Muara Sungai Air Rami dan Selagan Jaya memiliki tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda dengan bilangan formzhal 0,509 di Muara Sungai Air Rami dan 0,491 di Selagan Jaya. Perubahan morfologi muara sungai ini disebabkan oleh terjadinya sedimentasi di muara, yang dipengaruhi oleh interaksi power dinamika oseanografi berupa pasang surut, gelombang, arus dari arah hulu DAS, arus pasang surut, *longshore current*, dan sedimen. Kondisi ini akibat adanya pelemahan arus di mulut muara karena pertemuan arus pasang surut, arus dari arah hulu DAS, dan *longshore current* sehingga transport sedimen yang diakibatkan *longshore current* tertahan dan menumpuk di mulut muara. Saat pasang, arus masuk ke muara membawa sedimen yang tertumpuk di mulut muara. Saat arus surut, kecepatan arus lebih lambat, sehingga tidak dapat membawa sedimen kembali keluar dan mengendap di muara. Selain itu adanya influks sedimen dari hulu DAS yang masuk ke muara juga berkontribusi meningkatkan sedimentasi di muara.

**Kata kunci: Bengkulu; dinamika oseanografi; morfologi; muara sungai**

## I. PENDAHULUAN

Provinsi Bengkulu merupakan wilayah pesisir yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia, sehingga semua aktifitas di pesisir akan dipengaruhi oleh dinamika oseanografi baik secara langsung maupun tidak langsung. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa Provinsi Bengkulu memiliki banyak muara Sungai, lebih kurang 52 mulai dari perbatasan Provinsi Lampung, yaitu Kabupaten Kaur sampai dengan perbatasan Provinsi Sumatera Barat, yaitu Kabupaten Mukomuko (Suwarsono *et al.*, 2009; Supiyati *et al.*, 2021). Muara adalah bagian akhir dari sebuah sungai atau aliran air lainnya yang mengalir ke laut, danau, atau sungai lain. Di muara, air dari sungai bertemu dengan air dari badan air yang lebih besar, sehingga terjadi percampuran air tawar dan air asin jika muara tersebut bertemu dengan laut. Muara sungai merupakan wilayah yang sangat dinamis, karena terjadinya suatu proses dan perubahan,

baik lingkungan fisik maupun biologis. Selain itu muara juga merupakan sumber zat hara dan bahan organik yang diangkut lewat sirkulasi pasang surut, serta sebagai tempat berlindung, tempat mencari makanan, tempat untuk bereproduksi, dan/atau tempat tumbuh besar terutama bagi sejumlah spesies ikan (Purba, Lizalidiawati, & Sugianto, 2021).

Berdasarkan hasil pengamatan melalui *google earth* dan survei langsung di lapangan terlihat bahwa sebagian besar muara sungai di Provinsi Bengkulu mengalami perubahan morfologi dan arah aliran yang sangat cepat, terutama muara sungai di Bengkulu bagian utara. Perubahan yang terjadi ini disebabkan adanya sedimentasi di sekitar muara yang diduga disebabkan oleh *power* dinamika oseanografi perairan tersebut. *Power* dinamika oseanografi adalah kekuatan parameter oseanografi berupa pasang surut, arus (arus pasang surut dan *longshore current*), gelombang, angin,

debit sungai, dan sedimen. Morfologi muara sungai sendiri merupakan geometri (bentuk dan ukuran), jenis, sifat dan perilaku di muara sungai dengan segala aspek dan perubahannya dalam dimensi ruang dan waktu (Kurniawan, Sutikno, & Sujatmoko, 2017). Perubahan morfologi ini akan mengakibatkan banjir dan rob sekitar pesisir (Pattiselanno, 2017; Setiyono *et al.* 2020).

Menurut Saputra *et al.* (2022), proses sedimentasi yang terjadi di muara disebabkan oleh faktor fisis dan non-fisis. Faktor fisis berupa pasang surut, arus laut, dan debit sungai. Sedangkan non-fisis berupa adanya kegiatan pembangunan di wilayah lain yang mengakibatkan berubahnya pola hidrodinamika perairan tersebut sehingga terjadi penumpukan sedimen di tempat tertentu. Proses sedimentasi mengakibatkan pembelokan suatu muara sungai, apabila ini terjadi terus menerus maka sedimen akan menutupi muara sungai dan muka air di muara yang merupakan bagian dari hilir DAS (Daerah Aliran Sungai) akan naik (Vironita, Rispiningtati, & Marsudi, 2012; Tarigan, 2022). Faktor fisis berupa arus sejajar pantai (*longshore current*) dapat menggerakkan massa air pada saat arus menuju ke arah pantai, sehingga menyebabkan terjadinya pengangkutan sedimen dari dasar laut berpindah ke tempat lain, yaitu mengendap di muara (Suhana, 2015). Selain itu transport sedimen yang dibangkitkan oleh arus dan gelombang laut juga dapat menyebabkan perubahan morfologi pantai akibat adanya sedimentasi dan abrasi (Supiyati *et al.*, 2022; Supiyati & Ekawita, 2019).

Perubahan morfologi di muara sungai juga dipengaruhi oleh pasang surut dan aliran air yang masuk ke dalam muara sungai, karena saat pasang terjadi pertemuan arus pasang surut yang masuk ke muara dengan aliran dari hulu yang menuju ke laut (Kisnarti & prasista, 2014; Wiguna *et al.*, 2020; Kurniawan, Sutikno, & Sujatmoko, 2017). Indrayanti *et al.*, (2021) menjelaskan bahwa arus pasang surut yang merupakan gerak horizontal badan air menuju dan menjauhi pantai bersamaan dengan perubahan naik turunnya muka air yang disebabkan oleh gaya pembangkit pasang surut. Fenomena arus pasang surut ini lebih terasa pada daerah perairan semi tertutup seperti teluk, perairan dangkal, dan muara sungai.

Perubahan morfologi akibat sedimentasi yang terjadi di muara ini, diduga merupakan kontribusi di dalam DAS, karena sedimen dari DAS yang merupakan material hasil erosi di hulu akan terbawa oleh arus menuju ke muara. Material yang terbawa oleh arus ini akan semakin meningkat jika di hulu DAS terjadi hujan. Jika pada saat yang bersamaan terjadi kondisi pasang, maka arus dari laut juga masuk ke muara dan bertemu dengan arus dari DAS. Kondisi ini akan mengakibatkan arus menjadi stagnan atau melemah, sehingga material sedimen yang terbawa oleh arus akan mengendap di lokasi arus yang melemah ini. Selanjutnya terjadilah penumpukan sedimen yang mengakibatkan terjadi pendangkalan atau sedimentasi di muara dan akhirnya semakin lama akan menyebabkan perubahan morfologi muara. Dampak yang ditimbulkan akibat kondisi ini adalah

banjir dan terganggunya ekosistem di muara (Sauda, Nugraha, & Hani'ah, 2019).

Saat ini, penelitian yang melakukan kajian secara ilmiah mengenai penyebab perubahan morfologi muara di Bengkulu, khususnya mengenai *power* dinamika oseanografi yang mempengaruhi perubahan morfologi muara sungai berkaitan dengan permasalahan DAS belum pernah dilakukan. Selama ini kajian dinamika oseanografi pernah dilakukan hanya di pesisir pantai Bengkulu yang lebih memfokuskan pada perubahan garis pantai dan kecepatan abrasi yang terjadi. Kurangnya informasi mengenai *power* dinamika oseanografi sebagai faktor yang mempengaruhi perubahan morfologi muara sungai di Bengkulu akan berdampak pada semakin besarnya kerugian yang terjadi, diantaranya banjir, terganggunya ekosistem di hilir DAS, dan akibat sedimentasi yang tinggi ini juga akan mengganggu aktifitas nelayan yang keluar masuk muara dari atau menuju ke laut.

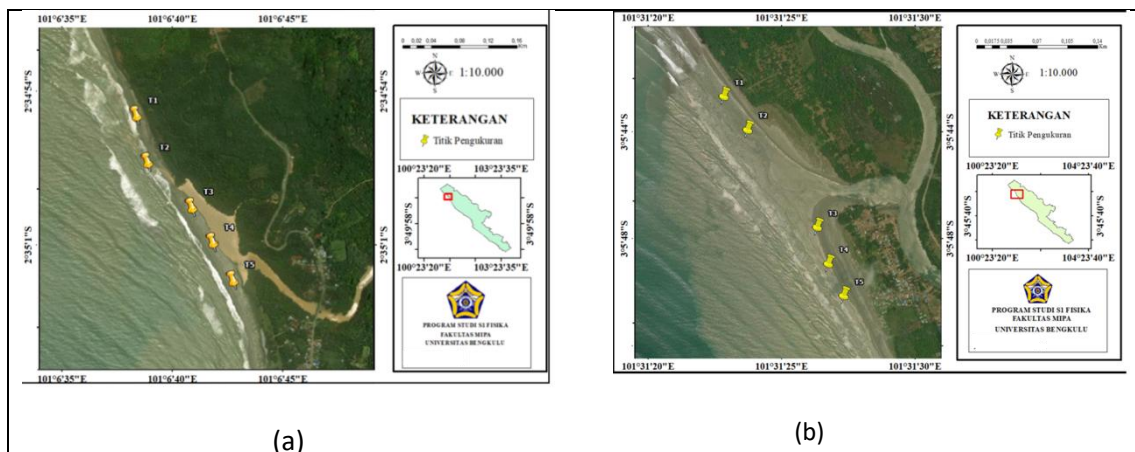
Berdasarkan permasalahan di atas dan beberapa penelitian sebelumnya, serta

sebagai upaya mitigasi menjaga kesetabilan lingkungan muara dan meminimalkan kerugian akibat perubahan morfologi muara yang sangat cepat, maka perlu dilakukan penelitian untuk menentukan karakteristik dan pengaruh *power* dinamika oseanografi terhadap perubahan morfologi muara sungai di Bengkulu.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan dari bulan Maret sampai Oktober 2023 dengan meninjau dua muara sungai yang memiliki arah aliran yang berbeda di Bengkulu bagian utara, tepatnya di Muara Sungai Air Rami, Kecamatan Ipuh yang berada pada koordinat  $3^{\circ}5'39,34''$ -  $3^{\circ}5'45,84''$  LS dan  $101^{\circ}31'20,24''$  –  $101^{\circ}31'27,30''$  BT dan Muara Sungai Selagan Jaya, Kecamatan Kota Mukomuko, Kabupaten Mukomuko dengan titik koordinat  $2^{\circ}34'56,89''$ -  $2^{\circ}34'55,35''$  LS dan  $101^{\circ}6'37,58''$  -  $101^{\circ}6'47,12''$  BT. Adapun lokasi penelitian seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar (Figure)1. Lokasi penelitian (Research Location) a) Muara Sungai Air Rami (Air Rami Estuary), b) Muara Sungai Selagan Jaya (Selagan Jaya Estuary)  
 Sumber (Source): Google Earth, diakses: 1 Februari 2023

## B. Bahan dan Alat

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah, *Tide Gauge*, *Current Meter*, *Barometer*, *Drone*, *GPS*, *Arcgis 10.3*, *GrADS*, *SMB (Sverdrup Munk Bretchneider)*, *Laptop*, *WRPLOT*, *Citra satelit USGS (United States Geological Survey)* *Landsat-8*, *Data Marine Copernicus*, dan *Tidal Model Driver (TMD) berbasis Matlab*.

## C. Metode Penelitian

Sebelum pengambilan data, pada penelitian ini dilakukan studi literatur terlebih dahulu untuk mendukung kegiatan penelitian secara teori dan survei awal. Pada penelitian ini data yang digunakan ada dua, yaitu data sekunder dan data primer. Data sekunder berupa data angin dari *Marine Copernicus*, data pasang surut dari TMD 15 hari, dan data foto bentuk muara dari *USGS* 10 tahun terakhir, sedangkan data primer merupakan data hasil pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan.

Pengukuran lapangan dilakukan untuk memperoleh data-data *power* dinamika oseanografi berupa data kecepatan dan arah *longshore current* ( arus sejajajr pantai), kecepatan arus pasang surut, ketinggian dan periode gelombang laut, serta parameter debit sungai. Kecepatan *longshore current* ( arus sejajajr pantai) diukur di bagian pantai di depan muara menggunakan *Current Metter*. Pengukuran ketinggian gelombang laut diukur menggunakan *Tide Gauge* yang dilakukan mulai pukul 07.09 WIB sampai dengan pukul 19.00 WIB dengan interval satu menit. Selanjutnya pengukuran periode gelombang laut menggunakan

*stopwatch* dengan pengulangan sebanyak 20 kali. Tahap berikutnya pengukuran parameter debit sungai berupa pengukuran kecepatan arus di muara menggunakan *current meter* pada 9 titik setiap lokasi penelitian sebagai perwakilan dari mulut, hilir, dan hulu muara sungai dengan interval waktu 1 menit setiap titik. Nilai luas penampang melintang muara sungai diperoleh dengan mengukur lebar permukaan muara sungai dan kedalaman muara sungai, dan menurut (Pradipta, Saputro, & Satriadi, 2013) debit sungai dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$Q = v \times A \quad (1)$$

dimana  $Q$  adalah debit,

$v$  adalah kecepatan arus, dan

$A$  adalah luas penampang sungai.

Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel sedimen yang berupa sedimen dasar dan sedimen layang di 3 titik (tengah muara,  $\frac{3}{4}$  sisi kiri muara,  $\frac{3}{4}$  sisi kanan muara) masing-masing lokasi mewakili mulut, hilir, dan hulu muara.

Dalam penelitian ini data sekunder angin dan arus bulanan diperoleh dari *Marine Copernicus*, selama 10 tahun terakhir (2013-2022) dengan resolusi  $0,25^0 \times 0,25^0$ . Data arus dan angin ini diolah dengan software *GrADS* untuk dipetakan dalam bentuk vektor sebaran kecepatan dan arah angin, serta kecepatan dan arah arus. Data angin ini kemudian diolah menggunakan metode *SMB*, dimana data angin ( $U$ ) dikoreksi pada ketinggian 10 meter ( $U$ )<sub>(10)</sub> kemudian ditransformasikan menjadi angin laut ( $U$ )<sub>(w)</sub>, sehingga diperoleh periode gelombang signifikan ramalan ( $T_s$ ) dan tinggi gelombang

signifikan (Hs) ramalan. Selanjutnya dilakukan verifikasi data lapangan dan data peramalan dengan penentuan nilai *Mean Relative Error* (MRE) menggunakan Persamaan 2.

$$MRE = \frac{|X-C|}{X} \times 100\% \quad (2)$$

Presentase kebenaran dihitung menggunakan persamaan 3.

$$\text{Kebenaran \%} = 100 - \frac{\text{Total MRE}}{\text{Jumlah Data}} \quad (3)$$

Data pasang surut dari TMD selama 15 hari diolah menggunakan metode *admiralty* untuk mendapatkan komponen harmonik, kemudian dilakukan perhitungan bilangan *Formzal* berdasarkan Persamaan 4 (Triatmodjo, 2016; Schureman, 1958; Supriyadi, Siswanto, Widodo, & Pranowo. 2018; Ichsari *et al.*, 2020; Indrastuti dan Chen, 2022).

$$F = \frac{O_1}{M_2} + \frac{K_1}{S_2} \quad (4)$$

Keterangan (*remarks*):

- F = bilangan Formzahl
- O<sub>1</sub> = unsur pasut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
- K<sub>1</sub> = unsur pasut tunggal yang disebabkan oleh gaya tarik matahari
- M<sub>2</sub> = unsur pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
- S<sub>2</sub> = unsur pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

Setelah diperoleh bilangan *Formzal*, selanjutnya ditentukan tipe pasang surut masing - masing muara. Pengolahan data primer pasang surut, arus, dan gelombang ditampilkan dalam bentuk grafik *time series*, yang kemudian dilakukan

perhitungan energi gelombang laut dan debit sungai di masing-masing muara. Tahap berikutnya pengolahan data sedimen, diolah di laboratorium untuk memperoleh konsentrasi sedimen dari *suspended load* (sedimen layang) dan diameter sedimen untuk *bad load* (sedimen dasar). Selanjutnya dilakukan perhitungan kecepatan jatuh sedimen dan *influks* sedimen menggunakan Persamaan 5 dan Persamaan 6 (Supiyati, Suwarsono, & Asterika, 2015; Driyogo *et al.*, 2013).

$$V_s = \sqrt{\frac{4g}{3C_D} \left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)} \quad (5)$$

$$\text{Influks sedimen} \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{Q_{total} - V_s}{\rho_s} \quad (6)$$

Keterangan (*remarks*):

- V<sub>s</sub> = Kecepatan sedimen mengendap
- D = Diameter partikel sedimen
- C<sub>D</sub> = Koefisien hambatan sedimen (C<sub>D</sub> = 0,4)
- ρ<sub>s</sub> = Massa jenis sedimen
- ρ = Massa jenis air
- g = Gaya gravitasi
- Q<sub>total</sub> = Debit sedimen total

Selanjutnya adalah pengambilan foto menggunakan *drone* di ketinggian 50 meter di atas permukaan pantai dengan pengulangan sebanyak 10 kali, hasil foto *drone* kemudian diolah menggunakan *ArcGis* untuk melihat visualisasi arah dominan *longshore current*, sedangkan kecepatan *longshore current* menurut Kristanto *et al.* (2022) dapat dihitung berdasarkan Persamaan 7.

$$v = 1,17 (g \cdot H_b \cdot \sin \alpha_b \cdot \cos \alpha_b)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Keterangan (*remarks*):

- v = Kecepatan *longshore current*
- H<sub>b</sub> = Ketinggian Gelombang pecah
- α<sub>b</sub> = Sudut datang gelombang pecah

Hasil pengolahan data *power* oseanografi berupa pasang surut, *longshore current*, arus di muara, ketinggian dan periode gelombang, angin, debit, dan sedimen dianalisis secara kuantitatif dan deskriptif selanjutnya analisis dihubungkan terhadap perubahan morfologi muara dari data citra satelit USGS Landsat-8.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Gelombang Laut

Hasil pengukuran tinggi gelombang dan periode gelombang yang dilakukan pada pukul 07:09 WIB sampai dengan 18:00 WIB menunjukkan bahwa tinggi gelombang di pantai Air Rami lebih besar dari pada Pantai Selagan Jaya. Hal ini disebabkan karena pengaruh angin pada saat penelitian serta kedalaman perairan yang berbeda dari kedua pantai ini. Menurut Triatmodjo (2012) ketinggian gelombang laut akan menimbulkan gelombang pecah yang tinggi. Gelombang pecah yang tinggi ini jika membentuk sudut tertentu terhadap garis pantai dapat menimbulkan arus *longshore current*. Selain hasil pengukuran lapangan secara langsung, ketinggian gelombang juga diperoleh dari hasil peramalan menggunakan data sekunder yaitu data angin selama 10 tahun terakhir (2013-2022) yang hasilnya tersaji pada Tabel 1.

Verifikasi data ketinggian dan periode gelombang hasil pengukuran lapangan

dengan hasil ramalan diperoleh nilai kebenaran 98,9% untuk Pantai Air Rami, sedangkan pada Pantai Selagan Jaya sebesar 99,43%. Hal ini menunjukkan bahwa data hasil pengukuran lapangan cukup bersesuaian dengan data ramalan, walaupun masih terlihat tinggi dan periode gelombang hasil ramalan lebih kecil dari hasil pengukuran lapangan karena data pengukuran lapangan hanya data hasil pengukuran sesaat di musim peralihan I. Terlihat pada Tabel 1 periode gelombang laut Pantai Air Rami lebih besar dari pada Pantai Selagan Jaya.

#### B. Arus

Hasil pengukuran kecepatan arus rata-rata diperoleh pada Muara Sungai Air Rami saat pasang sebesar 0,50 m/s dan saat surut sebesar 0,30 m/s. Sedangkan pada Muara Sungai Selagan Jaya kecepatan arus rata – rata saat pasang sebesar 0,41 m/s dan saat arus surut sebesar 0,19 m/s.

Kecepatan arus pada Muara Sungai Air Rami lebih besar dibandingkan dengan kecepatan arus pada Muara Sungai Selagan Jaya, kondisi ini dipengaruhi oleh kondisi di lapangan karena ketika pengambilan data berlangsung, kecepatan angin berhembus di Muara Sungai Air Rami lebih besar dibandingkan dengan kecepatan angin di Muara Sungai Selagan Jaya, karena angin adalah salah satu faktor pembangkit arus.

Tabel (Table) 1. Perbandingan Ts dan Hs peramalan dengan pengukuran di lapangan (*Comparison of Ts and Hs of forecasting with the field measurements*)

Lokasi	Gelombang	Ts(s)	Hs(m)
Air Rami	Lapangan	8,14-9,8	1,15-1,33
	Peramalan	4,04	0,77
Selagan Jaya	Lapangan	7,22-7,54	0,53-0,66
	Peramalan	3,1	0,4

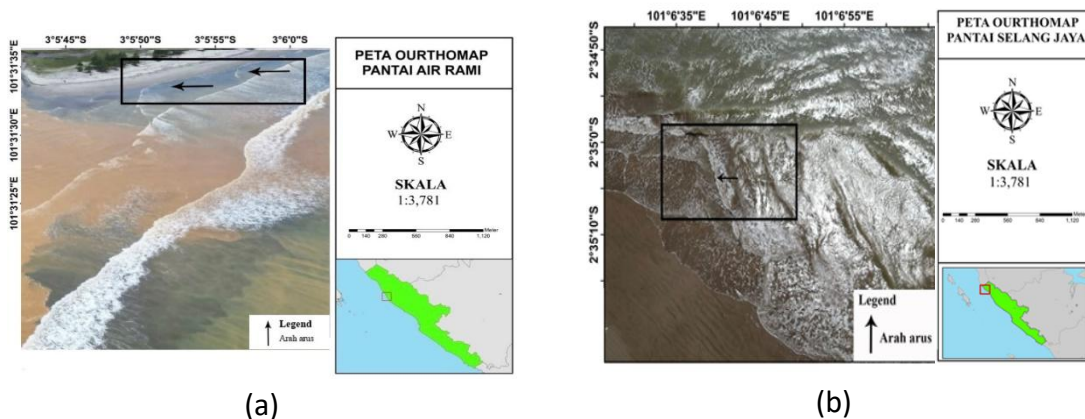
Menurut Bernawis (2000), faktor pembangkit arus permukaan adalah angin yang bertiup di atasnya, dan tenaga angin dapat memberikan pengaruh terhadap arus permukaan sebesar 2% dari kecepatan angin itu sendiri. Faktor lain yang menjadi penyebab perbedaan kecepatan arus Muara Sungai Air Rami dengan Muara Sungai Selagan Jaya adalah pada bagian sebelah kanan Muara Sungai Selagan Jaya terdapat sampah berupa kayu kayu kecil, sedangkan pada Muara Sungai Air Rami kondisi di muara cenderung bersih sehingga tidak ada hambatan yang dapat mempengaruhi arus. Hal ini sesuai dengan Putra & Marfai (2012) yang menyatakan bahwa kecepatan arus dipengaruhi oleh gesekan dengan daratan, angin, kontur sungai, lokasi Sungai, dan juga gangguan seperti gulma, sampah, atau juga tanaman ganggang yang tumbuh di sekitar sungai.

Selain kecepatan arus di muara, terdapat juga kecepatan arus di pantai yang mempengaruhi perubahan morfologi muara, yaitu *longshore current*. Hasil visualisasi *longshore current*

menggunakan *drone* pada ketinggian 50-meter menunjukkan bahwa *longshore current* di perairan pantai Air Rami dan Selagan Jaya dominan bergerak dari arah selatan ke utara seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Berdasarkan visualisasi Gambar 2 kemunculan *longshore current* di perairan Pantai Air Rami lebih jelas dibandingkan dengan di perairan Pantai Selagan Jaya, hal itu dikarenakan sudut gelombang pecah di Pantai Air Rami lebih besar. Kemunculan *longshore current* dipengaruhi oleh sudut dan tinggi gelombang pecah. Semakin besar sudut gelombang pecah maka akan semakin besar pula *longshore current* yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengamatan *longshore current* di Muara Sungai Selagan Jaya dan Muara Sungai Air Rami dapat ditentukan kecepatan *longshore current* berdasarkan Persamaan 4 yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

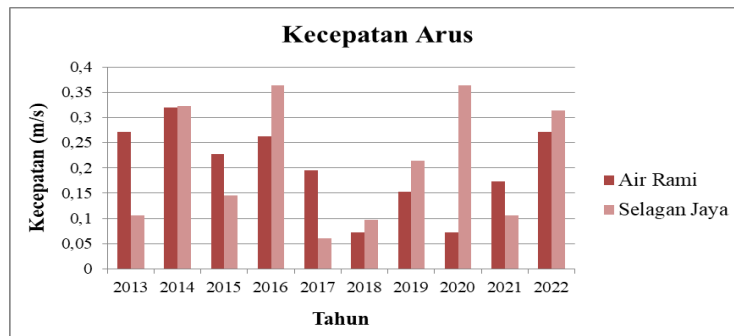
Grafik pola kecepatan arus dari *Marine Copernicus* pada musim peralihan 1 yang diwakili bulan Maret selama 10 tahun dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2 (Figure 2). Visualisasi longshore current menggunakan drone (*Visualization of longshore current using drone*) (a) Muara Sungai Air Rami (*Air Rami Estuary*); (b) Muara Sungai Selagan Jaya (*Selagan Jaya Estuary*)

Tabel 2 (Table 2). Kecepatan longshore current (Longshore current velocity)

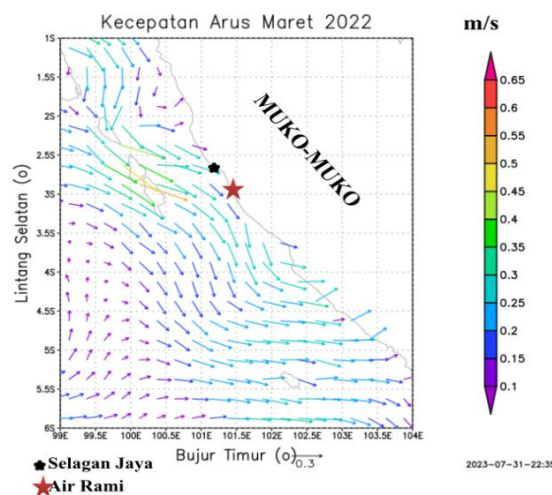
Data Lapangan (Field Data)	Parameter (Parameters)		
	Sudut datang gelombang ( $\alpha_o$ )	Sudut gelombang pecah ( $\alpha_b$ )	V(m/s)
Pantai Air Rami (Air Rami Coast)	265	9,69	0,96
Pantai Selagan Jaya (Selagan Jaya Coast)	115	7,44	0,78



Gambar 3 (Figure 3). Kecepatan Arus Muara Sungai Air Rami dan Muara Sungai Selagan Jaya (Current Velocity of Air Rami Estuary and Selagan Jaya Estuary)

Kecepatan arus tertinggi pada musim peralihan 1 di Muara Sungai Air Rami tahun 2014 yaitu 0,319 m/s dan kecepatan arus terendah yaitu 0,072 m/s pada tahun 2018, dengan pergerakan arah arus dari barat laut. Sedangkan di Muara Sungai Selagan Jaya kecepatan arus tertinggi pada tahun 2016 dan tahun 2020 yaitu 0,363 m/s dan kecepatan arus terendah yaitu 0,061 m/s pada tahun 2017, dengan pergerakan arah arus dari tenggara. Hal ini bersesuaian dengan Setiawan, Prasita, & Widagdo (2019) yang menyatakan bahwa

arus yang disebabkan oleh angin biasanya bersifat musiman yang mana pada satu musim arus mengalir pada satu arah tetap dan di musim lainnya akan berubah arah sesuai perubahan arah angin yang terjadi. Menurut Bayhaqi, Iskandar, & Surinati (2017) di permukaan, arus laut cenderung dipengaruhi oleh respon angin yang bertiup di atasnya seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4 pola arah arus bulanan di Muara Selagan Jaya dan Muara Air Rami musim peralihan I yang diwakili bulan Maret tahun 2022.



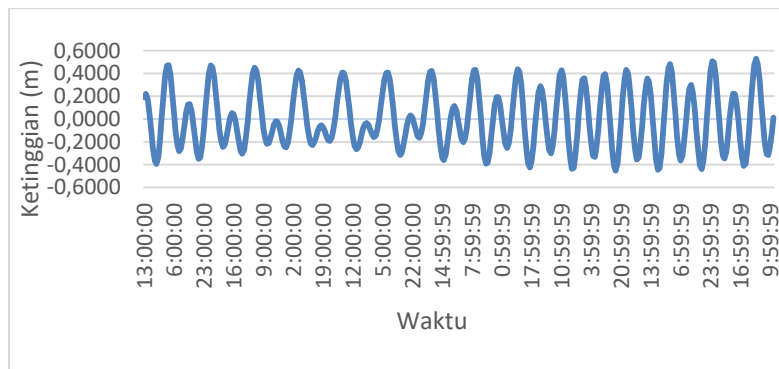
Gambar 4 (Figure 4). Pola arah arus Muara Sungai Air Rami dan Muara Sungai Selagan Jaya (Current Direction Pattern in Air Rami Estuary and Selagan Jaya Estuary)

### C. Pasang Surut

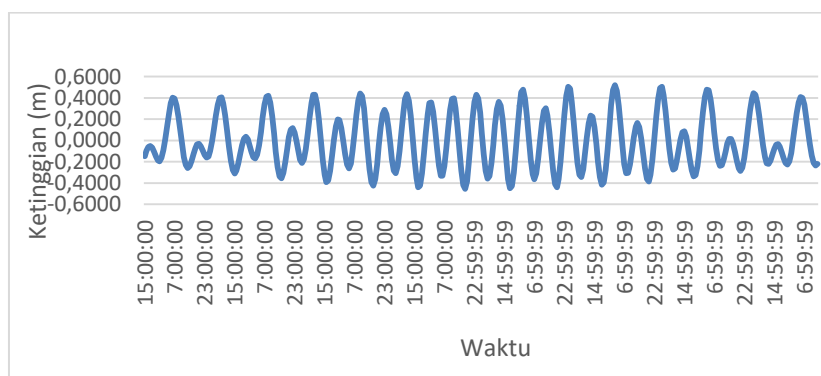
Dalam penelitian ini data pasang surut yang digunakan adalah data pasang surut 15 hari dari data TMD (*Tidal Model Driver*) yang ditunjukkan oleh Gambar 5 dan 6. Data TMD menggunakan konstanta pasang surut global dalam perhitungan prediksi pasang surutnya (Ramdhan, 2011). Berdasarkan data pasang surut TMD ini diperoleh komponen harmonik untuk Muara Sungai Air Rami adalah  $S_2$  sebesar 0,114  $K_1$  sebesar 0,132  $O_1$  sebesar 0,080 dan  $M_2$  sebesar 0,302. Sedangkan Muara Sungai Selagan Jaya didapatkan komponen harmonik  $S_2$  sebesar 0,116  $K_1$  sebesar 0,128  $O_1$  sebesar 0,078 dan  $M_2$  sebesar 0,302.

Selanjutnya dari nilai komponen

harmonik ini dilakukan perhitungan bilangan *formzal* menggunakan Persamaan (4), dan diperoleh bilangan *formzhal* untuk Muara Sungai Air Rami sebesar 0,509 dan Muara Sungai Selagan Jaya sebesar 0,491, sehingga tipe pasang surut dari kedua muara ini adalah campuran condong harian ganda. Menurut menurut Supriyadi, *et al.*, 2018; Ichsari *et al.*, 2020; Indrastuti dan Chen (2022) tipe pasang surut ini memiliki karakteristik dalam satu hari terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda. Sesuai dengan Ichsari *et al.* (2020) tipe pasang surut ditentukan selain dari faktor astronomi tetapi juga oleh faktor dari luar misalnya bentuk morfologi pantai.



Gambar 5 (Figure 5). Grafik Time Series Pasang Surut di Muara Sungai Air Rami (*Tidal Time Series Graph of Air Rami Estuary*)



Gambar 6 (Figure 6). Grafik Time Series Pasang Surut di Muara Sungai Selagan Jaya (*Tidal Time Series Graph of Selagan Jaya Estuary*)

#### D. Debit Sungai

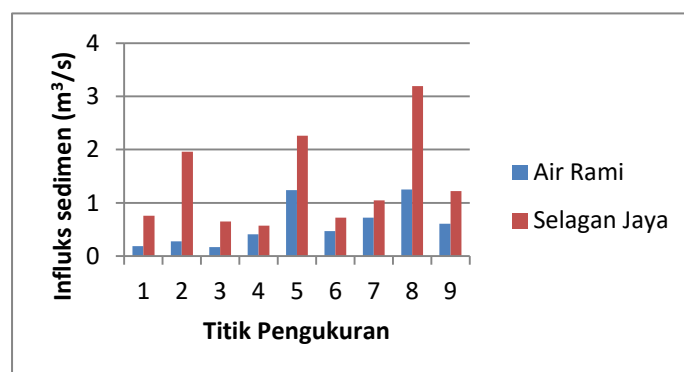
Berdasarkan parameter yang diperoleh dari pengukuran lapangan berupa kedalaman sungai, lebar permukaan sungai, dan kecepatan aliran sungai, diperoleh debit rata-rata Muara Sungai Air yaitu 23,85 m<sup>3</sup>/s dan Muara Sungai Selagan Jaya sebesar 73,83 m<sup>3</sup>/s. Terlihat debit sungai Muara Sungai Selagan Jaya lebih besar dibandingkan dengan Muara Sungai Air Rami, hal ini disebabkan karena luas penampang sungai yang besar. Luas penampang sungai yang besar ini dipengaruhi juga oleh kedalaman, lebar dan luasnya DAS. Hal ini bersesuaian dengan Puteri, Putra, & Adriat (2020) yang menyatakan bahwa besar kecilnya nilai debit aliran tergantung pada luas penampang aliran dan kecepatan arus rata-rata, dimana luas penampang dipengaruhi oleh kedalaman dan lebar dari sungai.

#### E. Sedimen

Sedimen yang ditinjau dalam penelitian ini adalah sedimen layang dan sedimen dasar yang ada dimuara Sungai Air Rami dan Muara Sungai Selagan Jaya. Sedimen ini adalah akumulasi dari sedimen angkutan dari arah laut hasil dari abrasi dan juga sedimen hasil erosi dari

hulu (DAS). Perubahan morfologi muara salah satunya dapat dilihat dari besarnya influx sedimen yang terdapat di muara tersebut. *Influks* sedimen merupakan jumlah besaran massa sedimen yang mengalir menuju suatu wilayah melalui daerah tertentu yang tegak lurus terhadap aliran per satuan waktu, dan dapat dihitung berdasarkan Persamaan 6 (Pradipta *et al.*, 2013; Driyogo *et al.*, 2013). Grafik hasil perhitungan influks sedimen tersaji pada Gambar 7.

Terlihat bahwa *Influks* sedimen di Muara Sungai Selagan Jaya dominan lebih tinggi dibandingkan dengan Muara Sungai Air Rami. *Influks* sedimen di Muara Sungai Selagan Jaya tertinggi sebesar 3,19 m<sup>3</sup>/s pada titik 8 yang terletak di hulu muara sungai dan terendah sebesar 0,57 m<sup>3</sup>/s terjadi pada titik 4 yang terletak di tengah muara sungai. Hal ini disebabkan karena besarnya debit sungai dan debit sedimen dari bagian hulu muara (DAS). *Influks* sedimen dipengaruhi oleh debit sedimen yang tertahan oleh debit air laut yang masuk melalui mulut muara sungai, sehingga kecepatan arus melemah yang mengakibatkan banyaknya *influks* sedimen yang mengendap dan akhirnya terbentuk sedimentasi (pendangkalan).



Gambar 7 (Figure 7). Influks Sedimen (Sedimentation Influks)

Hal ini bersesuaian dengan Driyogo *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa jika muatan sedimen dari DAS lebih besar daripada sedimen yang terendap, dan nilai debit muatan sedimen lebih besar daripada laju sedimentasi maka akan ada influks sedimen yang masuk ke laut pada daerah tersebut.

Sedimentasi dipengaruhi oleh besarnya massa jenis sedimen, diameter sedimen, dan kecepatan arus, karena sedimen akan lebih cepat mengendap pada arus yang tenang seperti di Muara Sungai Selagan Jaya. Selain itu karena aliran sungai yang tidak terlalu dalam menyebabkan sedimen cepat mengendap di dasar sungai sehingga lama kelamaan akan mengakibatkan perubahan morfologi muara. Hal ini bersesuaian dengan Rosyadewi & Hidayah (2020) yang menyatakan bahwa debit suspensi juga mempengaruhi laju sedimentasi yang terdapat di muara sungai. Karena debit tersebut membawa sedimen tersuspensi yang akan terendapkan di dasar perairan saat kecepatan aliran sungai menuju laut tidak mampu lagi membawa material sedimen maka akan terjadi pendangkalan pada daerah muara.

## **F. Morfologi Muara**

Morfologi Muara Sungai Air Rami dan Muara Sungai Selagan Jaya selama 10 tahun terakhir (2014 – 2023) dapat dilihat dengan bantuan citra satelit dari situs USGS seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9 untuk perubahan morfologi Muara Sungai Air Rami, dan Muara Sungai Selagan Jaya.

Perubahan morfologi Muara Sungai Air Rami selama 10 tahun yang diwakili oleh

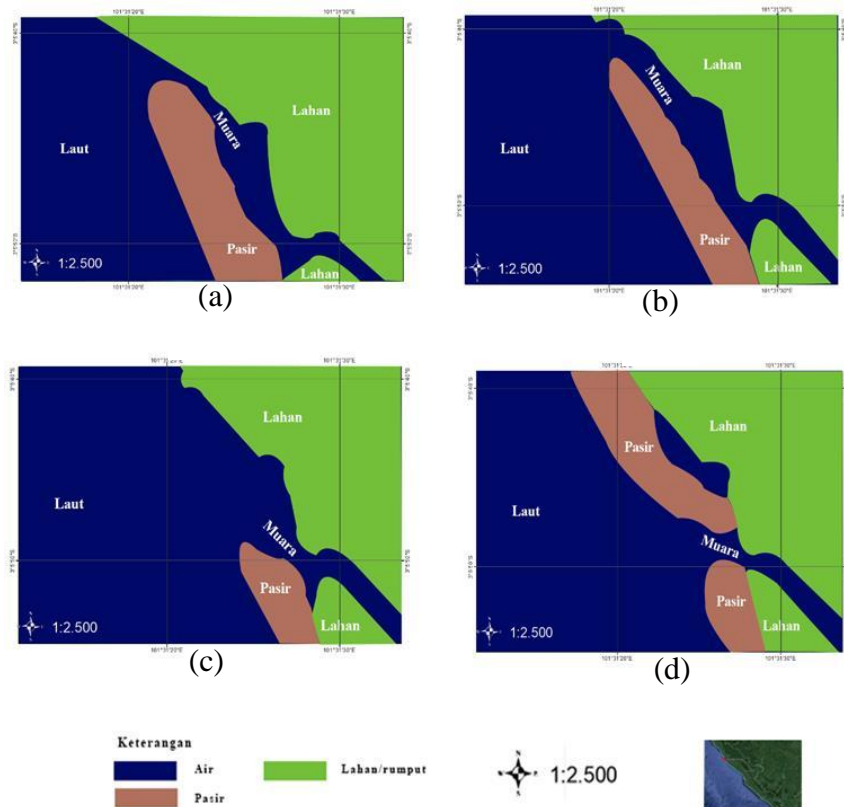
tahun 2014, 2017, 2020, dan 2023. Perubahan yang terjadi pada Muara Sungai Air Rami dipengaruhi adanya pendangkalan akibat interaksi arus, gelombang, pasang surut, dan sedimentasi. Terlihat pada tahun 2014 perubahan morfologi yang terjadi yaitu mengecilnya aliran muara. Tahun 2017 lidah pasir terlihat mengecil dan terjadi perubahan morfologi muara yaitu melebarnya aliran muara yang ditunjukkan oleh Gambar 8 (b). Tahun 2020 terjadi pergerakan sedimen pada bagian mulut muara, sehingga lidah pasir menjadi lebih pendek, yang menyebabkan bagian tengah muara berubah menjadi mulut muara seperti yang terlihat pada Gambar 8 (c). Sedangkan di tahun 2023 perubahan morfologi muara terjadi pada aliran bagian mulut, hulu dan tengah muara sedikit menyempit, yang kemudian terjadi penumpukan sedimen dibagian mulut muara bagian kiri dan kanan muara yang menyebabkan terbentuknya genangan air di sebelah mulut muara seperti yang terlihat pada Gambar 8 (d).

Perubahan morfologi Muara Sungai Selagan Jaya selama 10 tahun seperti yang dapat dilihat pada Gambar 9, dimana perubahan dari tahun 2014 yang ditunjukkan oleh Gambar 9 (a) ke tahun 2017 yang ditunjukkan oleh Gambar 9 (b) terlihat mulut, tengah dan hulu muara menjadi lebih lebar dan sedimentasi bertambah disisi kanan dan kiri mulut muara. Tahun 2020 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9 (c) terjadi perubahan morfologi muara dibagian mulut dan tengah namun tidak terlalu signifikan, dan tampak di bagian mulut muara sedimentasi terlihat lebih banyak

dari pada tahun 2017. Sedangkan pada tahun 2023 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 (d) terlihat perubahan pada bagian mulut, tengah dan hulu muara, yaitu bagian mulut lebih banyak penumpukan sedimen, bagian tengah lebih menyempit dan bagian hulu lebih melebar dibandingkan dengan tahun 2020.

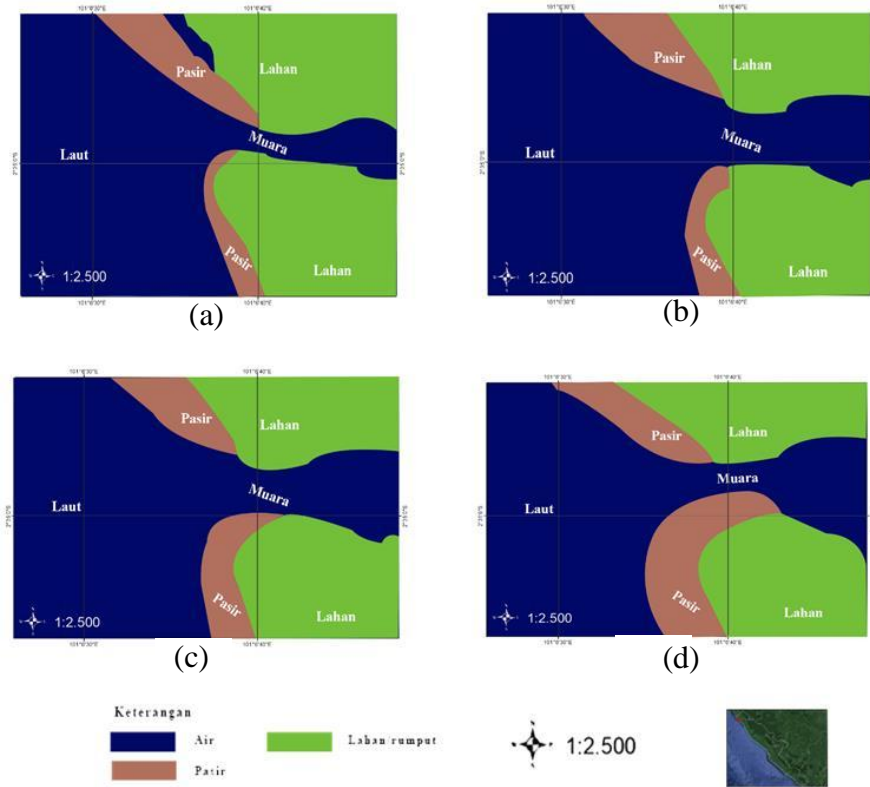
Perubahan yang terjadi pada kedua muara ini disebabkan oleh faktor transport sedimen yang digerakan oleh arus baik itu arus longshore current dari perairan pantai dan fenomena pasang surut yang menghasilkan arus pasang surut di muara. Terlihat perubahan morfologi muara lebih signifikan terjadi di Muara Sungai Air Rami dari pada perubahan morfologi Muara Sungai

Selagan Jaya. Hal ini disebabkan oleh ketinggian gelombang dan kecepatan angin yang membangkitkan arus dan juga ketinggian pasang surut pada Muara Sungai Air Rami lebih besar dari pada Muara Sungai Selagan Jaya. Selain itu berat jenis sedimen pada Muara Sungai Air Rami lebih kecil dari pada Muara Sungai Selagan Jaya, dimana berat jenis sedimen yang kecil lebih mudah digerakan oleh arus yang besar, pergerakan sedimen ini dapat mempengaruhi perubahan yang signifikan pada Muara Sungai Air Rami. Hal ini bersesuaian dengan penelitian Kurniawan, Sutikno, & Sujatmoko (2017) yang menyatakan bahwa arus pasang surut mempengaruhi pergerakan sedimen yang terdapat pada suatu perairan.



Gambar 8 (Figure 8). Perubahan Morfologi Muara Sungai Air Rami (Morphological Changes of the Air Rami Estuary) (a) tahun 2014 (year 2014); (b) tahun 2017 (year 2017); (c) tahun 2020 (year 2020); (d) tahun 2023 (year 2023)

Sumber (Source): USGS, 2023



Gambar 9 (Figure 9). Perubahan Morfologi Muara Sungai Selagan Jaya (*Morphological Changes of the Selagan Jaya Estuary*) (a) tahun 2014 (*year 2014*); (b) tahun 2017 (*year 2017*); (c) tahun 2020 (*year 2020*); (d) tahun 2023 (*year 2023*)

Sumber (Source): USGS, 2023

Menurut Rosyadewi & Hidayah (2020) kecepatan arus akan cenderung melemah ketika mencapai ke daerah muara sungai karena interaksi arus dari laut dengan arus dari sungai yang arahnya saling berlawanan terjadi percampuran, sehingga sedimen yang terangkut akan mengendap pada daerah tersebut atau disekitar muara yang dikenal dengan sedimentasi. Kondisi oseanografi sangat berpengaruh terhadap proses sedimentasi dan abrasi di pantai (Handoyo & Suryputro, 2015).

Selain itu kondisi aliran sungai juga dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan di muara sungai akibat banyaknya endapan di sekitar sungai. Menurut Pangestu, Kushadiwijayanto, &

Nurrahman (2020) yang menyatakan bahwa faktor fisik yang berasal dari daerah sungai cenderung dipengaruhi oleh aliran sungai dan kecepatan arus di muara, sedangkan dari daerah laut cenderung dipengaruhi oleh pasang surut dan gelombang. Gelombang yang terjadi juga mempengaruhi terjadinya *longshore current*, yang secara tidak langsung juga mempengaruhi perubahan morfologi muara. Berdasarkan hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa power dinamika oseanografi berupa pasang surut, gelombang, arus sungai, arus pasut, *longshore current* dan sedimen sangat mempengaruhi perubahan morfologi muara, yang mengakibatkan terjadinya perubahan morfologi Muara Sungai Air

Rami dan Muara Sungai Selagan Jaya, Karena transport sedimen yang diakibatkan *longshore current* tertahan dan menumpuk di mulut muara, karena terjadi pelemahan arus akibat interaksi pertemuan arus didaerah mulut muara. Saat pasang arus masuk pada muara membawa sedimen yang tertumpuk di mulut muara masuk ke dalam muara, dan saat arus surut kecepatan arus lebih lambat, sehingga tidak dapat membawa sedimen kembali keluar dan terjadi pengendapan di bagian arus yg mengecil di muara.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan morfologi muara disebabkan oleh sedimentasi sebagai akibat akumulasi interaksi yang kompleks dari semua parameter *power* oseanografi di muara, baik dari laut maupun dari DAS. Kondisi ini jika dibiarkan tanpa penanganan yang tepat, maka akan semakin meningkatkan kerugian. Oleh sebab itu untuk pengembangan muara sungai kedepannya dan tetap menjaga kesetabilan muara, maka perlu diperhatikan semua aspek yang berpengaruh di muara, baik dari laut terutama peisir pantainya dan juga di daerah DAS, terutama tutupan lahan di sekitar DAS bagian hulu. Semakin berkurang tutupan lahan di bagian hulu DAS maka saat hujan di hulu, akan meningkatkan transport sedimen dan debit air dari DAS yang masuk ke muara, sehingga akan mengakibatkan terjadinya banjir. Banjir akan semakin lama surut jika disaat bersamaan dari laut juga terjadi kondisi pasang.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh karakteristik Muara Sungai Air Rami dan Muara Sungai Selagan Jaya memiliki tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda dengan bilangan *formzhal* 0,509 di Muara Sungai Air Rami dan 0,491 di Muara Sungai Selagan Jaya. Perubahan morfologi muara sungai di Bengkulu disebabkan oleh terjadinya sedimentasi di muara, yang sangat di pengaruhi oleh interaksi *power* dinamika oseanografi berupa pasang surut, gelombang, arus dari DAS, arus pasang surut, *longshore current*, dan sedimen. Hal ini akibat adanya pelemahan arus di mulut muara karena interaksi pertemuan arus pasang surut, arus sungai, dan *longshore current* sehingga transport sedimen yang diakibatkan *longshore current* tertahan dan menumpuk di bagian mulut muara. Saat pasang, arus masuk ke muara membawa sedimen yang tertumpuk di mulut muara masuk ke dalam muara, dan saat arus surut kecepatan arus lebih lambat, sehingga tidak dapat membawa sedimen kembali keluar dan terjadi pengendapan di bagian arus yang melemah di muara. Selain itu adanya influks sedimen dari DAS yang masuk ke muara juga berkontribusi terhadap sedimentasi yang terjadi di muara. Untuk pengembangan muara sungai kedepannya dan tetap menjaga kestabilan muara, perlu diperhatikan tidak hanya kondisi dinamika oseanografi dari pantai tapi juga dari DAS terutama tutupan lahan sekitar hulu DAS.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan pada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat Universitas Bengkulu, melalui pendanaan Hibah Fundamental LPPM UNIB tahun 2023 sesuai nomor kontrak: 2088/UN30.15/PP/2022. Kami juga mengucapkan terima kasih pada semua pihak yang telah membantu terlaksananya kegiatan penelitian ini.

## KONTRIBUSI

Supiyati, Suwarsono, dan Septi Johan merencanakan tema penelitian, mengumpulkan dan mengolah data, menyusun draf awal, dan membuat peta. April membantu dalam pengukuran dan pengolahan data lapangan. Elmi membantu mengumpulkan dan mengolah data sekunder. Supiyati sebagai korespondensi adalah koordinator penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bayhaqi, A., Iskandar, M.R., & Surinati, D. 2017. Pola Arus Permukaan dan Kondisi Fisika Perairan di Sekitar Pulau Selayar pada Musim Peralihan 1 dan Musim Timur. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 2(1), 83-95
- Bernawis, L. 2000. Temperature and Pressure Responses on El-Nino(1977) and La-Nina(1998) in Lombok Strait. Proc. *The JSPS-DGHE international symposium on Fisheries Science in Tropical Area*
- Driyogo, Y.W., Satriadi, A. and Hariadi (2013) 'Influks Sedimen dan Laju Sedimentasi di Perairan Muara Sungai Banger, Pekalongan Jawa Tengah', *Jurnal Oseanografi*, 2(3), pp. 293–298.
- Handoyo, G., & Suryoputro, A. D. 2015. Kondisi Arus Dan Gelombang Pada

Berbagai Kondisi Morfologi Pantai Di Perairan Pantai Kendal Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Tropis* 18(1), 33–37.

<https://doi.org/10.14710/jkt.v18i1.511>

- Ichsari, Fauzi, L., Handoyo, G., Setiyono, H., Ismanto, A., Marwoto, J., Yusuf, M., & Rifai A. 2020. Studi Komparasi Hasil Pengolahan Pasang Surut Dengan 3 Metode (Admiralty, *Least Square* Dan *Fast Fourier Transform*) Di Pelabuhan Malahayati, Banda Aceh. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(2),1–8. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i2.7985>

- Indrastuti, & Chen. N. 2022. Analisis Karakteristik Pasang Surut Air Laut terhadap Elevasi pada Pelabuhan Perairan Tanjung Uncang. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 19(1), 20 - 27. <https://doi.org/10.30630/jirs.v19i1.763>

- Indrayanti, E., Sugianto, D., Purwanto, P., & Siagian, H. 2021. Identifikasi Arus Pasang Surut di Perairan Kemujan, Karimunjawa Berdasarkan Data Pengukuran Acoustic Doppler Current Profiler. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(2), 247–254. <https://doi.org/10.14710/jkt.v24i2.11049>

- Kisnarti, E.A. and Prasita, V.D. 2014. Perubahan Morfologi di Muara Sungai Kali Porong, Sidoarjo. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan X ISOI*. (November 2014), pp. 381–387.

- Kristanto, O., Ismanto, A., Satriadi, A., Setiyono, H., & Atmodjo, W. 2022. Analisis Longshore Current dan Pengaruhnya Terhadap Transpor Sedimen Dasar di Perairan Teluk Awur, Jawa Tengah. *Indonesia Journal of Oceanography*. 4(1), pp. 59–68

- Kurniawan, R., Sutikno, S., & Sujatmoko, B. 2017. Analisis Perubahan Morfologi

- Sungai Rokan Berbasis Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh. *Jurnal Online Mahasiswa*. 4(1), 1–10.
- Pattiselanno, S.R.R. 2017. Mitigasi karakter muka air banjir dari morfometri DAS Wai Loning – Negeri Laha, berbasis Geographic Information System (GIS), *Jurnal Simetrik*, 7(2),1–7. <https://doi.org/10.31959/js.v7i2.48>.
- Pangestu, N.J., Kushadiwijayanto, A.A., & Nurrahman, Y.A. 2020. Studi Batimetri dan Morfologi Muara Sungai Mempawah Kabupaten Mempawah, Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 3(2), 69-76. <https://doi.org/10.26418/lkuntan.v3i2.41150>
- Pradana, M. G. A. P., Prasakti, R., Worsito, S. B., & Fajaryati, N. 2016. Single Propeller Drone (Singrone): Inovasi Rancang Bangun Drone Single Propeller sebagai Wahana Pemetaan Lahan Berbasis UAV, *Jurnal Electronics, Informatics, and Vocational Education (ELINVO)*. 1(3)
- Pradipta, Y., Saputro, S. and Satriadi, A. 2013. Laju Sedimentasi di Muara Sungai Slamaran Pekalongan", *Jurnal Oseanografi*, 2(4), pp. 378–386.
- DOI: <https://doi.org/10.21831/ELINVO.V1I3.12822>.
- Putra, D. R., & M. A. Marfai. 2012. Identifikasi Dampak Banjir Genangan (Rob) Terhadap Lingkungan Permukiman Di Kecamatan Pademangan Jakarta Utara. *Jurnal Bumi Indonesia*, 1 (1), 1–10.
- Puteri, M.F.D., Putra, Y.S., & Adriat, R. 2020. Penentuan Debit Aliran di Muara Sungai Pawan Kabupaten Ketapang Berdasarkan Parameter Kecepatan Arus dan Kedalaman Sungai. *Prisma Fisika*, 7(3), 326-330. <https://doi.org/10.26418/pf.v7i3.38939>.
- Purba, V.D., Lizalidiawati and Sugianto, N. (2021) "Pemetaan Sebaran Indeks Pencemaran Air di Perairan Muara Sungai Jenggalu Kota Bengkulu", *Newton Maxwell Journal of Physics*, pp. 60–71.
- Ramdhan, M. 2011. *Komparasi Hasil Pengamatan Pasang Surut di Perairan Pulau Pramuka dan Kabupaten Pati Dengan Prediksi Pasang Surut Tide Model Drive*. Jurnal Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Pesisir dan Laut. Jakarta. Volume 7 nomor 11 ISSN: 2337-6732 (tidak ada pada sitasi)
- Rosyadewi, R., & Hidayah, Z. 2020. Perbandingan Laju Sedimentasi Dan Karakteristik Sedimen Di Muara Socah Bangkalan Dan Porong Sidoarjo. *Juvenil:Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 1(1), pp. 75–86. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v1i1.6832>
- Saputra, D.W., Muliadi, Risiko, Kushadiwijayanto, A.A., & Nurrahman, Y.A. 2022. Analisis Laju Sedimentasi di Kawasan Perairan Muara Sungai Sambas Kalimantan Barat, *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 5(1), 31–38.
- Sauda, R, A. Nugraha, & Hani'ah, H. 2019. Kajian Pemetaan Kerentanan banjir Rob Di Kabupaten Pekalongan. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 466-474. DOI: <https://doi.org/10.14710/igundip.2019.22777> .
- Schureman, P. 1958. *Manual Of Harmonic Analysis And Prediction Of Tides*. U.S, Department Of Commerce Coast And Geodetic Survey Special Publ. 98. U.S. Government Printing Office, 317 pp.
- Setiawan, F., Prasita, D, V., & Widagdo, S. 2019. Pergerakan Arus Permukaan Laut

- Selat Bali Berdasarkan Parameter Angin Dan Cuaca. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research (J-Tropimar))*, 1(2), 63-76.
- Setiyono, H., Helmi, M., Prasetyawan, I. B., Yusuf, M. & Rifai, A. 2020. Perubahan Morfologi Muara Sungai di Pesisir Kota Semarang Dalam Penanggulangan Banjir dan Rob', *Indonesian Journal of Oceanography*. 2(2), 113-120. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i2.7984.20>
- Suhana, M. P. 2015, Kajian Hidro-Oseanografi Untuk Deteksi Proses-proses Dinamika Pantai (Abrasi dan Sedimentasi), Tesis *Pasca sarjana Ilmu Kelautan*, Insititut Pertanian Bogor. Bogor.
- Supiyati, Suwarsono & Asteriqa, M. 2015. Analisis Transport Sedimen di Muara Sungai Serut Kota Bengkulu. *Prosiding Bidang Fisika. Semirata Bidang MIPA BKS-PTN Barat*. 354-362
- Supiyati & Ekawita R., 2019. Analisis Arus dan Energi Gelombang berbasis Sensor Ultrasonik di Perairan Pantai Tapak Paderi. *Prosiding Bidang Fisika. Semirata Bidang MIPA BKS-PTN Barat*. 597-608
- Supiyati, Suwarsono, & Setiawan 1., 2021, *Numerical Model of Coastline Changing Caused by Ocean Waves on Every Beach Segment in Coastal Area of North Bengkulu, Indonesia*. IP Conference Proceedings. 2320(1),10.1063/5.0037641 (2021).
- supiyati, Suwarsono, Abdullah, M.I, & Setiawan I. 2022. Beach Morphology Changes Due to Sediment Transport Generated by Wave and Current in The Sea Waters of Bengkulu City, Indonesia. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 27(3), 240-252.
- Supriyadi, E., Siswanto, Widodo S., & Pranowo. 2018. Karakteristik Pasang Surut Di Perairan Pameungpeuk, Belitung, Dan Sarmi Berdasarkan Metode Admiralty, *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 19(1), 29 – 38.
- Suwarsono, Supiyati, & Suwardi. 2009. Zonasi karakteristik Kecepatan Abrasi dan rancangan Teknik Penangan Jalan Lintas Barat Bengkulu bagian Utara Sebagai Jalur Transportasi Vital. *Jurnal Makara Seri Teknologi*. Vol. 15, April, 31-38. <https://dx.doi.org/10.7454/mst.v15i1.854>.
- Tarigan, L.A. 2022. Analisis Karakteristik Bentuk Aliran Sungai Tuntungan Desa Sei Beras Sekata, Kecamatan Sunggal, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. *Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 5(1), 84-89.
- Triatmodjo, B. 2012. *Perencanaan Bangunan Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2016. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset. 95 p.
- Vironita, F., Rispiningtati, R., & Marsudi S. 2012. Analisis Stabilitas Penyumbatan Muara Sungai Akibat Fenomena Gelombang, Pasang Surut, Aliran Sungai dan Pola Pergerakan Sedimen pada Muara Sungai Bang, Kabupaten Malang. *Jurnal Teknik Pengairan*. 1(2), 1-13.
- Wiguna, E., Wibowo, M. Rachman, R.A. Aziz, H. & Nugroho, S. 2020. Kondisi Hidrooseanografi Muara Sungai Jelitik, Sungailiat, Bangka Provinsi Bangka Belitung, *Buletin Oseanografi Marina*, 9(1), 9-18. DOI: <https://doi.org/10.14710/buloma.v9i1.23363>