



JURNAL SEGARA

<http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/segara>

ISSN : 1907-0659

e-ISSN : 2461-1166

Nomor Akreditasi: 766/AU3/P2MI-LIPI/10/2016

MEKANISME TRANSPORTASI SEDIMEN DAN POLA ARUS PASANG SURUT DI TELUK BUNGUS, KOTA PADANG

SEDIMENT TRANSPORT MECHANISMS AND TIDAL CURRENT PATTERNS WITHIN BUNGUS BAY, PADANG CITY

Guntur Adhi Rahmawan, Ulung Jantama Wisna, dan Wisnu Arya Gemilang

Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, Kementerian Kelautan dan Perikanan
Jl. Raya Padang- Painan km 16, PPS Bungus 25245, Padang, Sumatra Barat

Diterima: 8 Juni 2020; Diterima Setelah Perbaikan: 10 Desember 2020; Disetujui Terbit: 12 Desember 2020

ABSTRAK

Teluk bungus merupakan kawasan teluk yang ada di kawasan pesisir kota Sumatra Barat yang cukup sibuk dengan kegiatan kepelabuhanan dan perikanan. Kegiatan tersebut menyebabkan degradasi lingkungan perairan kawasan pesisir, meningkatkan pemanfaatan lahan, menimbulkan berbagai kerusakan ekosistem dan sedimentasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola arus dan mekanisme transportasi sedimen di Teluk Bungus. Survei lapangan dilakukan dengan menggunakan alat *echosounder single beam dual frequency* untuk merekam data batimetri dan pemodelan arus. Kedalaman perairan teluk bungus berkisar antara 0- 28 meter dan termasuk dalam kategori perairan dangkal. Perbedaan morfologi antara *channel 1* (Frekuensi Tinggi) maupun *channel 2* (Frekuensi Rendah) berkisar antara 0,3 sd 1,5 meter tersebar di beberapa titik lokasi. Rata-rata ketebalan sedimen teluk bungus sebesar 0,24 meter. Secara umum jenis sedimen Teluk Bungus didominasi oleh jenis pasir dan lempung pasiran. Laju sedimentasi rata-rata tertinggi berasal dari sedimen melayang $0,09 \text{ g.m}^{-2}.\text{hari}^{-1}$. Saat pasang purnama kecepatan arus berkisar antara 0-2,15 m/detik dengan arah dominan menuju daratan, pada kondisi surut purnama kecepatan arus berkisar antara 0-2,11 m/detik Kecepatan arus saat pasang perbani berkisar antara 0-2 m/detik Pada saat surut perbani kecepatan arus menjadi sangat rendah berkisar 0-0,56 m/detik dengan arah dominan menuju barat daya. Karakteristik arus yang lemah saat kondisi perbani cenderung memicu sedimentasi di dalam teluk. Namun, beberapa area juga mengalami abrasi dibuktikan dengan teridentifikasinya komposisi sedimen pasir di sepanjang Teluk Bungus. Gerakan bolak-balik dari arus pasang surut semidiurnal memiliki peran dalam peningkatan sedimentasi pada beberapa area di dalam teluk.

Kata kunci : Mekanisme transportasi sedimen, pola arus pasang surut, Teluk Bungus, batimetri.

ABSTRACT

Bungus Bay is a coastal bay in the coastline of West Sumatra province, which is busy with port and fisheries activities. Those activities cause environmental degradation in the coastal area, land use changes, various ecosystem damages, and sedimentation. This study aimed to determine current patterns and sediment transport mechanisms within Bungus Bay. A direct survey has been done using a single-beam dual-frequency echosounder to record bathymetry data, and we also simulated a hydrodynamic model. Water depth within Bungus Bay ranged from 0-28 meters; it is categorized into shallow waters. The bottom morphology differences recorded by channel 1 (high frequency) and channel 2 (low frequency) ranged around 0.3 up to 1.5 meters scattered in several locations. The average sediment thickness reaches 0.24 meters. Generally, the sediment type of Bungus Bay is dominated by sand and sandy silt. The highest sedimentation rate sourced from suspended load reaches $0.09 \text{ g.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$. At the high spring tidal condition, the current speed ranged from 0 -2.15 m/s moving toward the coast, while at the low spring tidal condition, the magnitude ranged from 0-2.11 m/s with the opposite directions. During the neap tidal state, the current speed ranged from 0-2 m/s at flood tide and became tremendously low at ebb tide ranging from 0-0.56 m/s with the direction rotated southwestward. The weak sea current profile at the neap condition tended to trigger sedimentation. Otherwise, some areas are undergoing abrasion proved by the sand composition along Bungus coastal bay. The oscillation of semidiurnal tidal current has a role in evoking sedimentation in several locations within the bay.

Corresponding author:
Jl. Pasir Putih I Ancol Timur, Jakarta Utara 14430. Email: guntura06@gmail.com

PENDAHULUAN

Teluk merupakan bentukan laut yang menjorok ke wilayah daratan yang terlihat sebagai daratan yang terkunci oleh wilayah laut (Rahmawan & Dhiuddin, 2018). Beberapa kawasan teluk di Indonesia dijadikan sebagai pusat ibu kota seperti Teluk Kendari maupun Teluk Ambon. Peningkatan kegiatan yang terjadi di wilayah teluk akan meningkatkan pemanfaatan lahan sehingga akan menimbulkan berbagai permasalahan seperti kerusakan mangrove, sedimentasi (pendangkalan), dan perubahan ekosistem pesisir (Asyiwati, 2010).

Pendangkalan yang disebabkan oleh proses sedimentasi di sekitar kolam pelabuhan akan menyebabkan terganggunya aktifitas bongkar muat di sekitar jetty karena banyak perahu yang kandas saat melewati kawasan pelabuhan. Abrasi dan sedimentasi di sekitar pantai umumnya terjadi karena terganggunya keseimbangan suplai sedimen keluar dan masuk perairan (Arifin *et al.*, 2016). Kondisi pasang surut di luar area gelombang pecah, arus sejajar pantai di dalam area gelombang pecah sangat mempengaruhi proses pengangkutan sedimen.

Teluk Bungus merupakan salah satu teluk yang ada di kawasan pesisir perairan Sumatera Barat. Perairan Teluk Bungus berhadapan langsung dengan Samudera Hindia, merupakan wilayah administrasi dari Kecamatan Bungus - Teluk Kabung, Kota Padang (Yulius *et al.*, 2011). Banyak aktifitas yang dilakukan di wilayah tersebut diantaranya adalah pelabuhan penyeberangan, Pelabuhan Perikanan Samudra untuk pendaratan ikan, aktifitas kapal Pertamina, kapal batubara untuk PLTU dan kapal angkut penumpang serta perikanan budidaya dan kegiatan pariwisata yang cukup ramai (Tanto, 2016). Sebagai kawasan teluk yang ramai dengan berbagai kegiatan tentunya diperlukan suatu monitoring untuk meminimalisir dampak kerusakan yang bisa menimbulkan bahaya baik secara lingkungan, sosial maupun ekonomi pada kawasan tersebut.

Beberapa penelitian terdahulu terkait dengan perubahan morfologi dasar perairan serta mekanisme sedimentasi di Teluk Bungus telah dipublikasikan. Putra *et al.*, 2020 melakukan penelitian strategis kawasan Teluk Bungus dengan pendekatan SIG. Tanto *et al.*, 2017 melakukan pendugaan laju sedimentasi Teluk Benoa, Bali menggunakan pendekatan citra satelit. Ramdhan, 2012 mengemukakan bahwa toponimi di Teluk Bungus belum mengacu pada aturan UNCLOS 1982. Tanto *et al.*, 2017 melakukan skoring kesesuaian wisata di Pulau Pasumpahan, Teluk Bungus. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui mekanisme transportasi sedimen dan pola arus pasang surut di

Teluk Bungus.

METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian dilakukan di perairan kecamatan Bungus, Teluk Kabung dengan menggunakan metode kuantitatif yaitu pengambilan data dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan dan menggunakan data sekunder berupa data pasut realtime yang disediakan oleh web IOC *sea level monitoring* dengan periode pengukuran selama 30 hari dan diolah dengan untuk mendapatkan nilai konstanta harmonik *Mean Sea Level* (MSL) dan keadaan pasang surut pengolahan data pasut dengan menggunakan analisis harmonik. Jenis pasut perairan teluk bungus didapatkan dengan melakukan hitungan bilangan *Formzahl* (Richasari *et al.*, 2019) dengan menghitung komponen beberapa komponen pasut.

Data kedalaman didapatkan dari kegiatan survei batimetri, survei batimetri merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui kedalaman suatu perairan. Data kedalaman sangat penting untuk pemanfaatan ruang di wilayah pantai (Masrukhin, 2014). Pemetaan kondisi permukaan dasar laut sangat berguna untuk penyediaan data spasial di bidang kelautan (Darminto, 2017). Perubahan nilai kedalaman juga sangat penting untuk mengetahui sedimentasi wilayah laut (Rahmawan *et al.*, 2019). Ibrahim *et al.*, 2018 dalam penelitiannya menjeaskan komponen hidroakustik dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran pipa. Peralatan yang digunakan untuk survei batimetri adalah *echotrack odometer single beam dual frequency*, dimana frekuensi tinggi berada pada kisaran gelombang tinggi: 100 kHz-340 kHz, dan gelombang rendah : 24 kHz-50 kHz yang mampu menembus lapisan lumpur dasar perairan dengan *draft transducer* 0,45 meter dibawah permukaan laut. Indramawan (2018) menjelaskan bahwa nilai hambur balik *echosounder* dapat digunakan untuk mendeteksi material kapal karam. Sedangkan posisi kedalaman direkam menggunakan GPS Trimble SPS461 yang terkoneksi dengan *transducer*. Survei batimetri dilakukan pada bulan Mei tahun 2019 Data perekaman pasut yang telah didapatkan nilai MSL selanjutnya digunakan untuk melakukan reduksi pasang surut disesuaikan dengan waktu perekaman oleh transducer untuk mereduksi kedalaman selama pengukuran berlangsung. Saputra, 2016 menjelaskan bahwa salinitas dan temperatur sangat mempengaruhi *Sound Velocity* yang digunakan untuk koreksi pada MBES. Reduksi kedalaman dapat dihitung menggunakan rumus (Rahmawan *et al.*, 2019) sebagai berikut:

$$rt = TWL_t - MSL \dots\dots\dots 1)$$

dimana :

Rt = Reduksi pasang surut

TWLT = Waktu perekaman pasang surut
 MSL = Mean Sea Level

Nilai kedalaman yang didapatkan dari hasil pemeruman diperlukan filterisasi kesalahan kedalaman dengan melakukan eliminasi jika terdapat nilai kedalaman menyimpang dari data-data terdekatnya (Maulana *et al.*, 2015). Setelah filtering dilakukan maka dilakukan proses reduksi terhadap pasang surut dari data hasil pembacaan pasang surut terhadap data pemeruman yang didapatkan. Data kedalaman setelah dikoreksi pasang surut kemudian direferensikan terhadap nilai Mean Sea Level yang didapatkan dari pengukuran pasut. Nilai kedalaman yang telah direferensikan terhadap MSL merupakan nilai kedalaman *fix*. Selanjutnya dilakukan gridding untuk mendapatkan sebaran data kedalaman yang akan diolah menggunakan aplikasi *surfer* untuk dilakukan analisa secara spasial tentang sebaran kedalaman berdasarkan kontur yang dihasilkan. Data yang digunakan merupakan data kedalaman yang dihasilkan dari *channel 1* maupun *channel 2* untuk menampilkan keadaan morfologi dari masing-masing data yang dihasilkan, kemudian dari kedua data tersebut di *overlay channel 1* terhadap *channel 2* untuk melihat perbedaan dari kedua chanel tersebut. Lalu dilakukan perhitungan volume antara *channel 2* (frekuensi rendah) terhadap *channel 1* (frekuensi tinggi) dan didapatkan rata-rata ketebalan sedimen di Teluk Bungus

Data batimetri yang didapatkan dari survei lapangan bersama dengan prediksi pasang surut global kemudian diaplikasikan sebagai data masukan model. Hasil simulasi model tersebut akan menggambarkan pola arus pasang surut untuk 4 kondisi ekstrim pasang surut. Hasil model akan divalidasi menggunakan data pengukuran lapangan. Untuk mengevaluasi hasil model, maka digunakan rumus *root mean square error* (RMSE) sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - yi)^2} \dots\dots\dots 2)$$

dimana:

- n = jumlah data yang divalidasi
- y = data hasil model
- yi = data pengukuran lapangan

Flow model flexible mesh digunakan untuk mensimulasikan pola arus pasang surut dalam bentuk model dua dimensi. Model tersebut didasarkan pada solusi dan bilangan *Reynold* yang tidak tertekan yang dirata-ratakan menggunakan persamaan *Navier-Stokes* yang terdiri dari persamaan kontinuitas dan momentum. Persamaan kontinuitas lokal dan kedua

persamaan momentum *horizontal* dijabarkan sebagai berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \dots\dots\dots 3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_o} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_o h} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + Fu + \frac{\partial}{\partial z} \left(vt \frac{\partial u}{\partial z} \right) + U_s \dots\dots\dots 4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = -fv - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_o} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_o h} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + Fv + \frac{\partial}{\partial z} \left(vt \frac{\partial v}{\partial z} \right) + V_s S \dots\dots\dots 5)$$

dimana:

- t : satuan waktu
- x, y, z : koordinat kartesius
- η : elevasi permukaan
- d : kedalaman perairan
- u, v, w : komponen kecepatan pada arah x, y, dan z
- f : $2\Omega \sin \phi \approx 0$ (parameter Coriolis 47S)
- g : percepatan gravitasi
- ρ : densitas air laut (konstan)
- $S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$: komponen dari radiasi tekanan
- vt : viskositas Eddy vertikal
- Pa : tekanan atmosfer
- ρ_o : densitas referensi (1020-2029 kg/m³) (Isdale & Morris, 1972)
- S : besarnya debit aliran pada sumber pembangkitan
- (U_s, V_s) : kecepatan pada kondisi yang disesuaikan dengan lingkungan

Simulasi dijalankan selama 15 hari karena dengan periode tersebut sudah mewakili 4 kondisi ekstrim pasang surut saat kondisi perbani dan kondisi purnama. Prediksi pasang surut digunakan sebagai data batasan model yang didapatkan melalui simulasi Naotide karena model yang digunakan akan mengaplikasikan prediksi pasang surut pada setiap batasan model yang berada pada bagian Utara, Barat dan Selatan area model dan dirasa model Naotide dapat mewakili kondisi elevasi muka air di setiap area batasan model tersebut. Dalam studi ini tidak dapat dilakukan pengukuran data oseanografi secara langsung karena masalah teknis sehingga data lapangan tidak dapat digunakan. Oleh karena itu, untuk validasi hasil model akan menggunakan data pasang surut dari *IOC sea level monitoring*. Pengaturan

simulasi model hidrodinamika ditampilkan dalam Tabel 1.

Untuk mengetahui jenis dan karakteristik sedimen, sebanyak 5 titik pengambilan sampel sedimen dasar dilakukan disepanjang pesisir Teluk Bungus dengan menggunakan grab sampler. Kemudian sampel-sampel tersebut di analisis di laboratorium Loka Riset Sumber daya dan kerentanan Pesisir dengan mengadopsi metode *sieve shaker (granulometri)* untuk mengetahui distribusi ukuran butir sedimen serta karakteristiknya. Selain itu, pemasangan alat perangkap sedimen melayang (*sediment trap*) dilakukan di beberapa muara sungai di dalam teluk Bungus dengan mempertimbangkan masukan sedimen tersuspensi (*suspended load*) maupun pengadukan sedimen dasar (*bed load*). Sediment trap dibuat dari pipa berbahan *acrylic* yang tertutup pada

bagian bawahnya dengan tinggi pipa 30 cm dan diameter 5 cm ($r = 2,5$ cm) dan tinggi besi 1.5m, botol penambat sedimen di pasang sebanyak 3 bagian sebanyak 5 buah pada satu batang besi dengan posisi yang berbeda

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pasang Surut

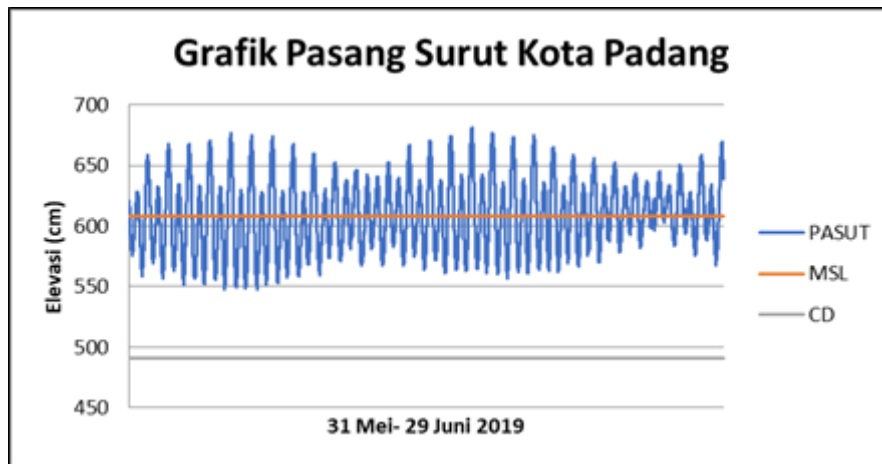
Dari grafik pasang surut (Gambar 1) didapatkan nilai *Mean Sea Level* sebesar 608,35 cm dengan fluktuasi pasang surut terjadi dua kali pasang dan dua kali surutan dalam satu hari, hal tersebut dapat dibuktikan dengan perhitungan Indeks Formzahl pasut kota padang sebesar 0,52, dimana nilai $0,25 < f < 1,5$ merupakan tipe pasut campuran condong ke harian ganda. Nilai komponen N2 mempunyai nilai amplitudo yang paling tinggi yaitu sebesar 32,92 dengan beda

Tabel 1. Pengaturan simulasi hidrodinamika

Parameter	Diterapkan dalam simulasi
Waktu Simulasi	Jumlah tahapan waktu = 500 Interval tahapan waktu = 1800 sec Simulasi mulai = 10/07/2019 09.00 AM Simulasi selesai = 20/07/2019 09.00 AM
Batasan Model (<i>Mesh</i>)	Data batimetri = Hasil pengukuran Garis Pantai = Digitasi Citra Google Earth
<i>Flood and dry</i>	<i>Drying depth</i> = 0,005 m <i>Flooding depth</i> = 0,05 m <i>Wetting depth</i> = 0,1 m
Kondisi batas model	<i>Type</i> = Level tertentu <i>Format</i> = Variasi terhadap waktu, konstan sepanjang batas model <i>Time Series</i> = Prediksi Pasang Surut dengan koordinat sebagai berikut: 1. <i>Longitude</i> : 100,3602°BT, <i>Latitude</i> : -1,02977°LS 2. <i>Longitude</i> : 100,3453°BT, <i>Latitude</i> : -1,05001°LS 3. <i>Longitude</i> : 100,3600°BT, <i>Latitude</i> : -1,06962°LS

Tabel 2. Pengaturan simulasi hidrodinamika

Konstanta Pasang Surut	Amplitudo (cm)	Beda fasa (°)
M2	32,92	214,81
S2	13,46	-67,62
N2	10,15	245,46
K2	16,49	229,26
K1	18,18	26,62
O1	5,87	96,3
P1	18,51	18,87
M4	1,16	159,01
MS4	0,91	-30,4
SO	608,35	



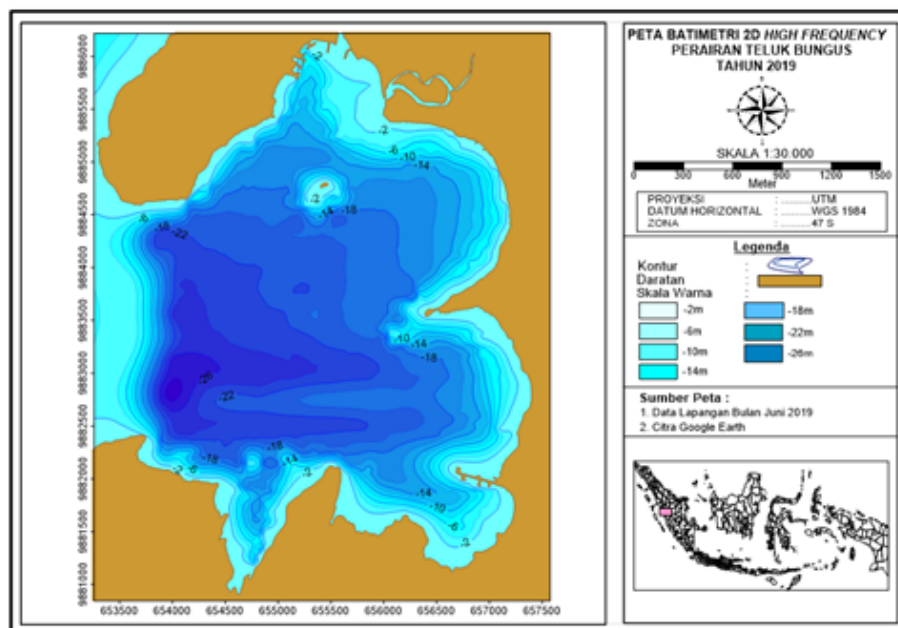
Gambar 1. Grafik pasang surut Teluk Bungus. MSL (*Mean Sea Level*), CD (*Chart Datum*)

fasa 214, 81 komponen N2 merupakan komponen pasut ganda (*semi diurnal*) (Rahmawan *et al.*, 2017) (Tabel 2).

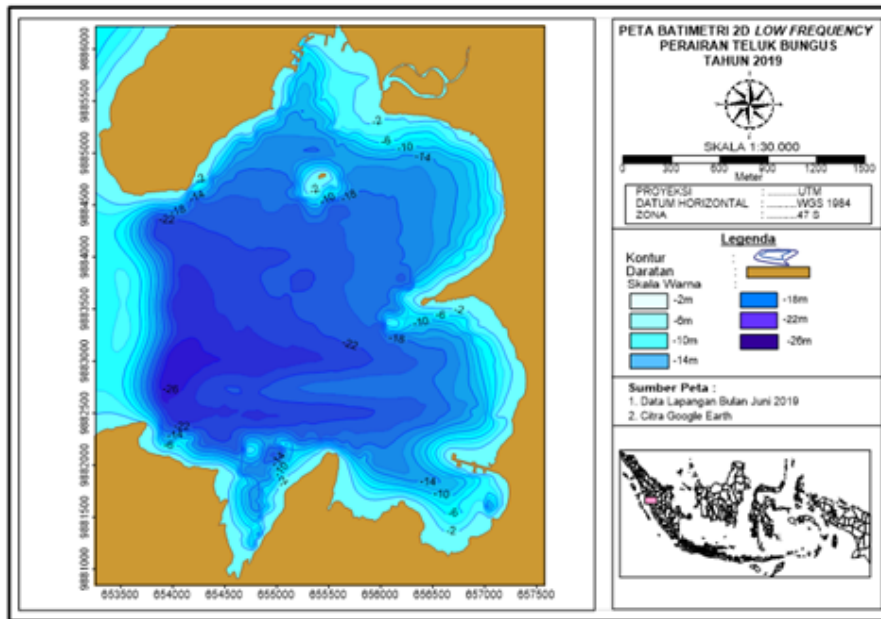
Seperti yang telah disebutkan pada metode penelitian, hasil dari survei batimetri yang telah dilakukan di Teluk Bungus akan berupa dua buah data kedalaman yakni data kedalaman hasil perekaman dengan menggunakan frekuensi tinggi (*channel 1*) dan frekuensi rendah (*channel 2*). Kedalaman perairan teluk bungus pada frekuensi *channel 1* maupun *channel 2* berada diantara 0-26 meter dengan kontur yang hampir sejajar yang menandakan morfologi perairan dangkal namun terdapat beberapa perubahan garis kontur yang ditunjukkan oleh *channel 1* maupun *channel 2* pada beberapa titik lokasi lokasi yang menandakan ada sedimentasi pada kawasan tersebut

ditandai dengan perubahan nilai dari kedalaman dan perubahan warna yang ditampilkan. Frekuensi *channel 1* yang dipancarkan oleh *transducer* merupakan frekuensi tinggi yang hanya mampu merekam data pada dasar perairan saja, sedangkan *channel 2* merupakan saluran dengan frekuensi rendah yang mampu merekam data hingga menembus ke lapisan lumpur. Perubahan morfologi bisa disebabkan salah satunya adalah adanya transport sedimen (Marhendi, 2018) yang menyebabkan pengendapan sedimen.

Kerentanan pantai menggambarkan keadaan sosial pantai yang sangat mudah terpapar terhadap bencana alami (Rahmawan, 2017). Lingkaran hitam merupakan lokasi yang diidentifikasi sebagai kawasan yang mengalami perubahan morfologi yang ditandai dengan berubahnya bentukan garis kontur pada area



Gambar 2. Kedalaman Teluk Bungus pada *channel 1* (*High Frequency*) dengan lokasi yang diduga mengalami perubahan morfologi.

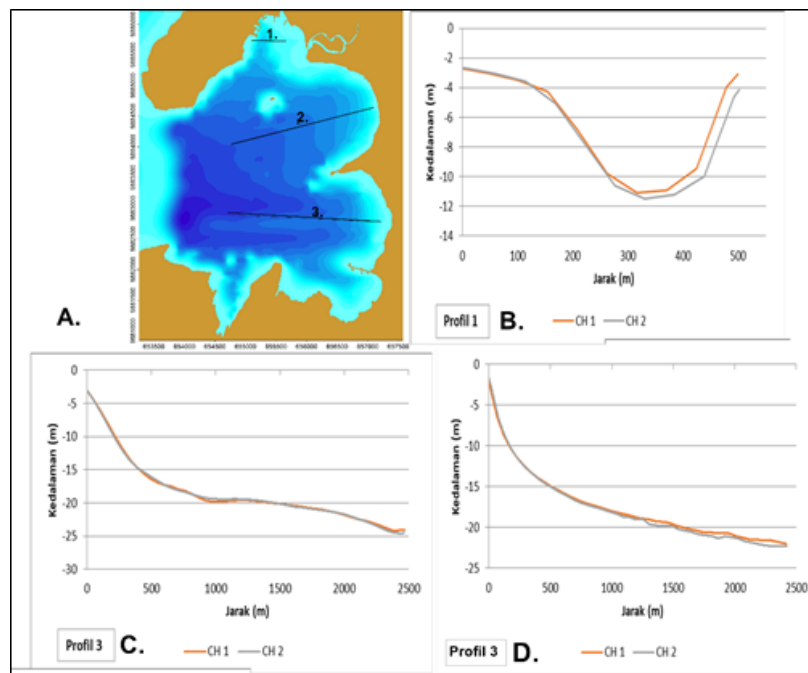


Gambar 3. Kedalaman Teluk Bungus *channel 2* (*Low Frequency*) dengan lokasi yang diduga mengalami perubahan morfologi.

tersebut (Gambar 2 & 3, Kedalaman Teluk Bungus *channel 1* & *channel 2*). Untuk melihat perbandingan morfologi perairan Teluk Bungus antara *channel 1* maupun *channel 2* maka dilakukan overlay dengan membagi beberapa irisan yang dianggap mewakili keadaan yang mengalami perubahan paling menonjol (Gambar 4).

Overlay keadaan tiap-tiap irisan menandakan adanya perbedaan morfologi pada kawasan tersebut.

Perbedaan morfologi dapat dipengaruhi oleh komposisi sedimen dan dasar laut yang dipengaruhi oleh berbagai hal, baik kondisi geologi, morfologi, iklim maupun proses yang bekerja (Rahmat *et al.*, 2019). Sedangkan proses yang paling berpengaruh dalam sedimentasi di daerah pantai perairan dangkal adalah pasokan sedimen dari sungai, gelombang, pasang surut, arus dan sebagainya (Zuraida *et al.*, 2017).



Gambar 4. Irisan melintang morfologi dasar Teluk Bungus (A). Hasil *overlay* kedalaman *channel 2* terhadap *channel 1* pada profil melintang; B. Profil melintang bagian utara; C. Profil melintang bagian tengah; dan D. Profil melintang bagian selatan.

Sementara hasil potongan melintang menunjukkan bahwa rata-rata terjadi perubahan dasar perairan dengan posisi jauh dari garis pantai hal ini menunjukkan bahwa arus dengan kecepatan lebih besar berada di luar teluk dan di sekitar mulut teluk, pola arus di Teluk Bungus dapat dilihat pada Gambar 7. Semakin besar mekanisme *transport* yang dipicu oleh perpindahan massa air, maka semakin besar proses penggesekan dasar dan turbulensi, itulah megpa pada area yang jauh dari garis pantai, perbedaan level dasar perairan teridentifikasi, hal ini karena pengaruh arus yang cukup kuat pada area tersebut.

Dari profil 1 yaitu posisi sebelah utara merupakan kawasan Pelabuhan Perikanan Samudra Bungus dan terdapat 2 muara sungai pada kawasan tersebut. Sementara dari overlay grafik menunjukkan bahwa pada kawasan tersebut terdapat perbedaan kedalaman yang signifikan antara *channel* 1 dan *channel* 2 terutama dari 100 meter pertama dari bibir pantai hingga 500 meter dengan perbedaan kedalaman berkisar antara 0,3 hingga 1,5 meter.

Profil 2 dan 3 mempunyai kondisi yang berbeda dimana kedua profil tersebut mempunyai perbedaan kedalaman namun tidak begitu signifikan dan dapat dilihat pada, profil 2 mempunyai nilai kedalaman yang hampir sama pada jarak 0 hingga 500 meter ke arah laut, selanjutnya kedalaman mulai berbeda pada jarak 500 meter hingga 2 km dari bibir pantai. Kondisi sangat berbeda ditunjukkan pada profil 3 dimana nilai kedalaman pada potongan tersebut bernilai hampir sama hingga jarak 2 km dari darat.

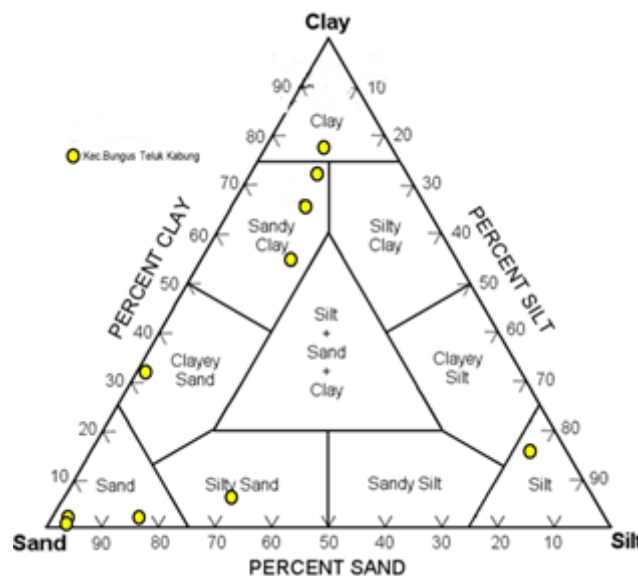
Dari hasil pengolahan volume sedimen di teluk Bungus didapatkan volume sedimen sebesar

3.247.382,03 m³, jika luasan Teluk Bungus 1.383,86 Ha maka rata-rata ketebalan sedimen Teluk Bungus sebesar 0,24 meter.

Karakteristik sedimen dan laju sedimentasi Teluk Bungus

Perairan Teluk Bungus didominasi oleh jenis sedimen dasar pasir hingga pasir lempungan. Kondisi perairan yang merupakan semi tertutup sangat mempengaruhi karakteristik jenis sedimen dasar perairannya. Morfologi sekitar perairan Teluk Bungus merupakan perbukitan terjal yang tersusun atas material batuan vulkanik berupa breksi, lava maupun bongkahan batu berukuran besar yang tertanam dalam masa dasar tuf terlapukkan. Berdasarkan hasil penelitian terdahulu terhadap karakteristik jenis sedimen dasar perairan Teluk Bungus oleh Yulius *et al.* (2011) bahwa terdapat 3 jenis satuan menurut klasifikasi Folk (1980) yaitu lempung-lempung lanauan, pasir dan lanau.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, hasil analisis terhadap sampel sedimen dasar perairan Teluk Bungus memiliki sedikit perbedaan pada klasifikasi jenis tekstur sedimen. Jenis sedimen dasar perairan Teluk Bungus terbagi atas 6 jenis tektur sedimen menurut klasifikasi Diagram Segitiga Shepard 1954. Enam jenis tekstur sedimen tersebut meliputi pasir (*sand*), pasir lanauan (*silty sand*), lanau (*silt*), pasir lempungan (*clayey sand*), lempung pasir (*sandy clay*) dan lempung (*clay*). Namun secara umum jenis sedimen Teluk Bungus didominasi oleh jenis pasir dan lempung pasir. Hasil klasifikasi tekstur sedimen Teluk Bungus memperlihatkan adanya perubahan jenis tekstur semakin menghalus menuju bagian mulut teluk dengan kedalaman yang signifikan (Gambar 5).



Gambar 5. Persentase dan jenis sedimen di Teluk Bungus (lingkaran kuning) yang di-overlay pada diagram Shepard (Shepard, 1954) dimodifikasi oleh penulis.

Tabel 3. Hasil perhitungan statistik sedimen

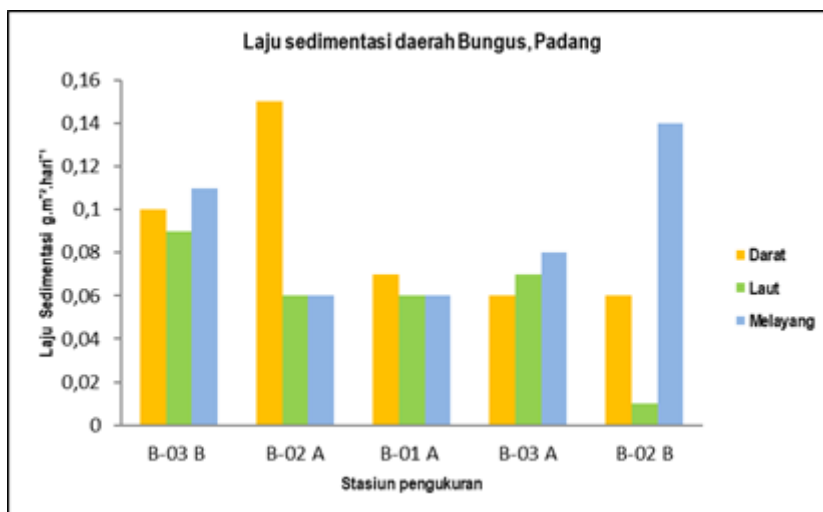
Sampel	Sk1 (Skewness)	Klasifikasi	Sortasi	Klasifikasi	KG (kurtosis)	Klasifikasi
ST 3	0,07	Menceng simetris	0,96	Terpilah sedang	1,3	Runcing
ST 6	-0,3	Menceng kasar	0,24	Terpilah sangat baik	1,68	Sangat runcing
ST 7	0,24	Menceng halus	1,16	Terpilah buruk	0,8	Tumpul
ST 4	-0,2	Menceng kasar	0,55	Terpilah sedang	1,57	Sangat runcing
ST 11	-0,36	Menceng sangat kasar	2,46	Terpilah sangat buruk	0,65	Sangat tumpul

Substrat dasar Teluk Bungus berupa pasir bercampur lanau dan lempung dan pasir (Tabel 3) berasal dari daratan dengan 2 muara yaitu Sungai Cindakir dan Sungai Bungus, akibatnya terjadi proses sedimentasi yang sangat tinggi di sekitar muara sungai Bungus yang mengakibatkan terbentuknya pulau delta dan sebuah tanjung hasil proses sedimentasi yang membawa material dari daratan, begitu pula dengan daerah Muara Sungai Cindakir terjadi penambahan daratan yang sangat dinamis pada daerah ujung sungai dengan ciri fisik yang landai. Helfinalis (2000) mengemukakan bahwa aliran Sungai Bungus dan Sungai Cindakir serta pola arus pasang surut sangat berperan dalam pengendapan sedimen dasar permukaan Teluk Bungus. Pengaruh pasang surut dalam transportasi sedimen terlihat dominan dibanding dengan asupan sedimen dari kedua sungai tersebut. Sungai Bungus dan Sungai Cindakir tidak banyak mempengaruhi sedimen dasar permukaan Teluk Bungus ditunjukkan oleh endapan sedimen umumnya lumpur.

Ukuran butir sedimen daerah Teluk Bungus masuk dalam fraksi kasar hingga halus sehingga dapat

diinterpretasikan bahwa jenis mekanisme transportasi sedimen berupa *bedload* dan *suspension* (*suspense*). Mekanisme transportasi *bedload* terjadi pada fraksi yang kasar melalui pergerakan transportasi arus traksi dalam bentuk *rolling* (menggelinding), *sliding* (terseret), *creep* (merayap) dan saltasi. *Suspension load* bekerja mentranspor sedimen halus (lempung, lanau hingga pasir sangat halus) berbentuk suspensi yang terangkut cukup jauh dalam aliran, sebelum pada akhirnya mengendap dengan kecepatan arus yang melemah (Nugroho & Basit, 2014).

Pada perairan Teluk Bungus hanya pada bagian dekat dengan muara yang memiliki fraksi sedimen kasar, dikarenakan dominasi sungai berstadia muda sehingga hanya membawa partikel berukuran kasar. Kondisi tersebut bisa disebabkan oleh faktor keberadaan morfologi teluk yang memiliki komposisi sedimen pasir, sehingga mempengaruhi kondisi jenis sedimen dasar di sekitar muara sungai. Hal tersebut diinterpretasikan juga berpotensi membawa dampak semakin terjadinya proses pengikisan di daerah pantai (Bayhaqi & Caesar, 2015) dalam kasus ini terjadi pengikisan pada daerah



Gambar 6. Laju sedimentasi pesisir Teluk Bungus.

morfologi mulut teluk yang ada di daerah penelitian.

Hasil pengukuran sediment trap menunjukkan nilai rata-rata laju sedimentasi arah sedimen laut sebesar $0,058 \text{ g.m}^{-2}.\text{hari}^{-1}$, bagian arah sedimen sungai (darat) sebesar $0,088 \text{ g.m}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ sedangkan bagian sedimen melayang yaitu $0,09 \text{ g.m}^{-2}.\text{hari}^{-1}$. Laju sedimentasi rata-rata dari ketiga sumber sedimen tertinggi berasal dari sedimen melayang yaitu dengan rata-rata nilai laju sedimentasi mencapai $0,09 \text{ g.m}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ (Gambar 6).

Nilai laju sedimentasi tertinggi di kawasan pesisir Teluk Bungus berasal dari sedimen melayang yang dapat diinterpretasikan bahwa material sedimen dari darat berukuran sedimen halus hingga sangat halus. Masa jenis partikel yang berada pada aliran sungai memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan masa jenis air sungai, sehingga menyebabkan kecenderungan partikel sedimen terapung di permukaan. Selain itu juga energi aliran sungai yang lemah menjadi salah satu faktor penyebabnya hanya partikel sangat halus yang dapat terbawa oleh aliran sungai, sehingga memperlihatkan laju sedimentasi tinggi berasal dari sedimen melayang.

Nilai sortasi atau pemilahan ukuran butir sedimen yang terjadi di pesisir Teluk Bungus masuk dalam klasifikasi terpilah buruk hingga sangat buruk. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya fluktuasi energi pengendap, serta waktu pengendapan yang sangat singkat. Kondisi arus di kawasan teluk yang tertutup sangat dipengaruhi oleh sistem pasang-surut air laut dan kecepatan aliran sungai.

Adanya perbedaan dan fluktuasi energi arus sungai dan laut menyebabkan ketidakseragaman tekstur sedimen yang ada di kawasan pesisir Teluk Bungus. Secara megaskopis jenis sedimen yang ada disepanjang pantai Teluk Bungus berukuran pasir, namun hasil pengamatan sedimen dasar laut semakin mengarah bagian mulut teluk tekstur sedimen cenderung berukuran lebih halus, perbedaan slope gradient kedalaman teluk juga menjadi salah satu faktor penyebab terjadinya variasi tekstur sedimen. Hasil nilai laju sedimentasi pada lokasi penelitian nilai terbesar didominasi pada bagian pengukuran sungai, hal ini menunjukkan bahwa sumber aliran hulu menjadi faktor utama terjadinya sedimentasi di Muara Sungai di pesisir Teluk Bungus.

Aliran sungai dari hulu, ketika pasang, angkutan sedimen diendapkan di alur sungai ataupun muara sungai, sedangkan aliran sungai ketika surut, angkutan sedimen dibawa kembali ke laut. Namun tidak semua sedimen kembali ke laut melainkan sebagian akan mengendap di alur sungai dan muara sungai pada saat aliran melemah. Hal tersebut yang

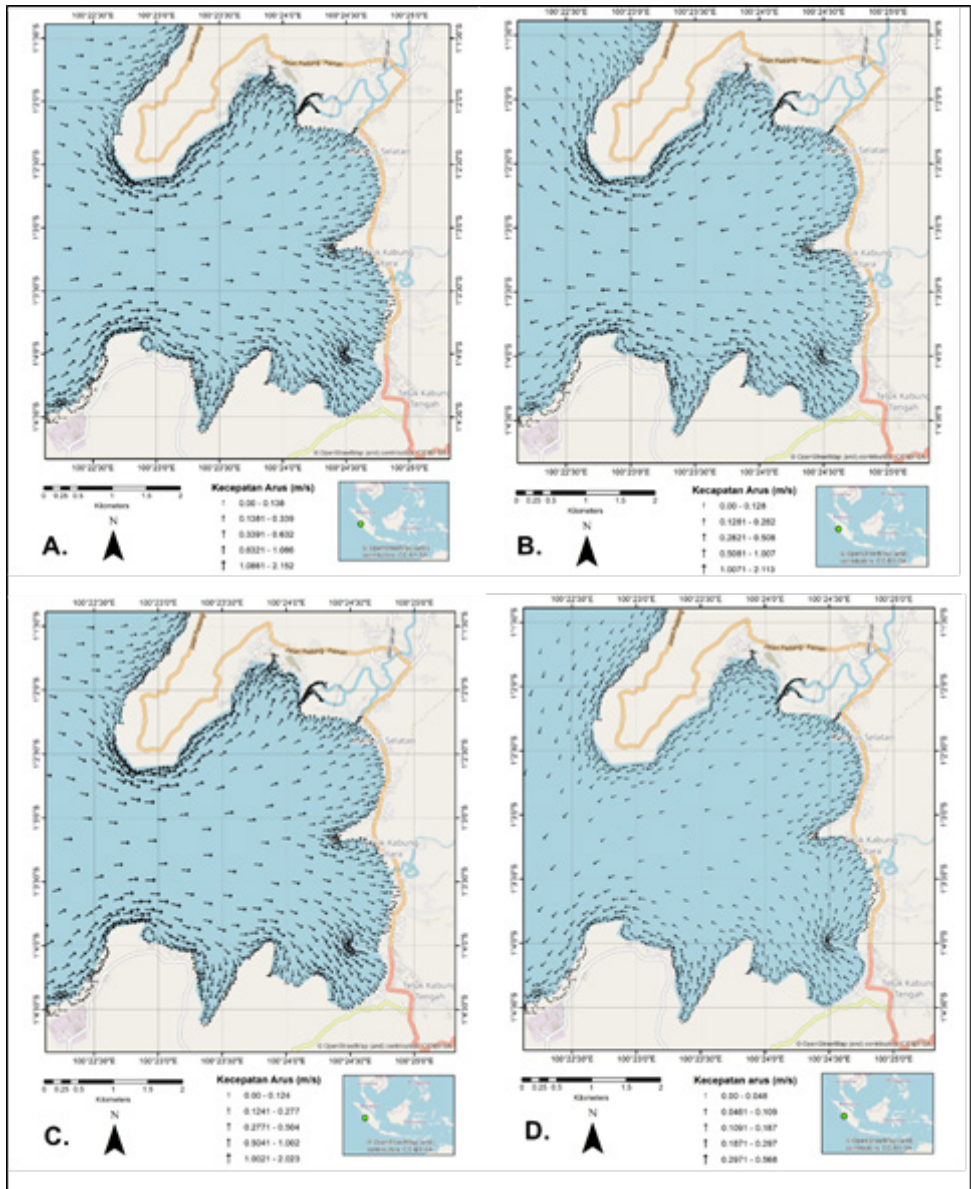
menyebabkan tingkat sedimentasi yang terjadi di alur sungai serta muara sungai daerah penelitian cukup tinggi. Tinggi dan rendahnya nilai laju sedimentasi yang terjadi di bagian sungai pesisir Teluk Bungus tidak terlepas karena adanya pengaruh debit sungai serta pendangkalan sungai-sungai. Selain itu mekanisme laju sedimentasi bagian pesisir Teluk Bungus yang didominasi oleh sungai, sehingga sungai memiliki peranan penting dalam proses penambahan daratan di sekitar pesisir Teluk Bungus. Upaya revitalisasi dan normalisasi sungai-sungai yang ada di Teluk Bungus sangat penting dilakukan untuk meningkatkan nilai laju sedimentasi dan menmabahkan suplai sedimen di bagian pesisir terabrasi.

Simulasi model hidrodinamika Teluk Bungus

Dari validasi model yang telah dilakukan didapatkan nilai RMSE sebesar 11,47 % yang menandakan bahwa model yang dibangun dapat mewakili kondisi sebenarnya di perairan. Gambar 7 menunjukkan pola arus pasang surut di Teluk Bungus pada 4 kondisi ekstrim pasang surut. Secara umum, osilasi aliran arus terjadi secara bergantian pada saat pasang dan surut, di dalam teluk kecepatan arus cenderung lemah karena pengaruh dari deformasi gelombang saat mencapai mulut teluk dan kondisi teluk yang semi tertutup (Al tanto *et al.*, 2017). Kecepatan arus yang cukup tinggi berada di luar teluk karena masih ada pengaruh dari aliran arus dari Samudera Hindia.

Pada kondisi pasang purnama kecepatan arus berkisar antara 0-2,15 m/detik dengan arah dominan menuju daratan (Gambar 7A), hal ini jelas karena saat pasang, elevasi permukaan air laut lebih tinggi sehingga aliran arus akan bergerak menuju area dengan elevasi lebih rendah. Saat memasuki mulut teluk, dengan kecepatan berkisar antara 1-2 m/s, aliran arus mengalami deformasi (pembelokan arah) karena morfologi dasar perairan dan pantai dengan kecepatan yang lebih rendah yakni berkisar antara 0-0,6 m/detik. Mekanisme transport yang cenderung lemah diduga akan meningkatkan potensi pengendapan sedimen (Gemilang *et al.*, 2020). Sedimen yang berasal dari daratan yang melalui sungai dan muara di dalam Teluk Bungus, akan mengendap dengan mudah karena tekanan aliran arus pasang yang menekan ke arah daratan dan rendahnya mekanisme transport dalam teluk.

Kondisi yang berbeda teridentifikasi pada kondisi surut purnama dimana kecepatan arus berkisar antara 0-2,11 m/detik (Gambar 7B). Arah dominan arus menuju ke luar teluk dengan peningkatan magnitudo pada mulut teluk yang disebabkan oleh pengaruh angin sehingga kecepatan arus permukaan meningkat secara signifikan. Kecepatan arus saat kondisi purnama lebih tinggi karena pengaruh gaya astronomis pembangkit



Gambar 7. Pola arus pasang surut di Teluk Bungus; A. Pada kondisi pasang purnama; B. Pada kondisi surut purnama; C. Pada kondisi pasang perbani; D. Pada kondisi surut perbani.

pasang surut yang bekerja saling menguatkan karena posisi bulan bumi dan matahari berada dalam satu garis lurus (Qarnain *et al.*, 2015). Mekanisme transport sedimen pada kondisi purnama akan lebih intens terjadi, kecepatan arus pasang surut yang cukup tinggi mampu memindahkan massa air yang membawa sedimen menuju area lain di sekitarnya, sehingga pada suatu kawan akan terjadi kesetimbangan antara sedimentasi maupun abrasi (Ramkumar *et al.*, 2016). Jika dilihat lebih mendetail, pada (Gambar 7A dan 7B), arus sepanjang pantai terbentuk dari pembelokan arah arus setelah melewati mulut teluk, dinamika arus sepanjang pantai ini merupakan faktor utama yang memicu pengikisan pantai, pada area lain di dalam teluk dimana kecepatan arus sepanjang pantainya lebih rendah, sedimen hasil pengikisan sebelumnya

akan didendapkan pada lingkungan pengendapan (sedimentasi) (Gemilang *et al.*, 2020).

Pada kondisi pasang perbani (Gambar 7C) kecepatan arus cukup signifikan walaupun kisarannya lebih rendah jika dibandingkan dengan kondisi pasang purnama, kecepatan arus berkisar antara 0 – 2 m/detik, dengan arah penjalaran arus yang sama dengan kondisi purnama. Hal ini menunjukkan bahwa pola arus tidak mengalami perubahan yang signifikan antara saat kondisi pasang perbani maupun purnama. Hal yang cukup menarik adalah saat surut perbani, kecepatan arus menjadi sangat rendah yakni berkisar antara 0-0,56 m/detik dengan arah dominan menuju barat daya (Gambar 7D). Sehingga dapat diindikasikan bahwa mekanisme transport saat kondisi perbani

cenderung lebih lemah dan sedimentasi di dalam teluk kemungkinan besar akan terjadi saat kondisi perbani terutama saat level air menurun.

KESIMPULAN

Terdapat anomali morfologi perairan Teluk Bungus terutama pada bagian Utara karena merupakan tempat bermuaranya 2 sungai dan terdapat beberapa aktifitas kegiatan pelabuhan. Perairan Teluk Bungus dikategorikan sebagai perairan dangkal. Sementara morfologi antara *channel* 1 dan *channel* 2 mengindikasikan adanya pendangkalan di beberapa titik lokasi di dalam Teluk Bungus. Tipe sedimen pasir dan lanau pasiran mendominasi Teluk Bungus dengan laju sedimentasi yang cukup tinggi. Komposisi sedimen pasir menunjukkan bahwa telah terjadi abrasi di beberapa area dalam teluk yang akhirnya tertransport oleh arus sepanjang pantai dan mengendap di lingkungan pengendapan. Mekanisme transport saat kondisi perbani cenderung lebih lemah yang memicu sedimentasi di dalam teluk terutama saat level air menurun. Gerakan osilasi dari perpindahan pasang dan surut yang terjadi dua kali dalam periode 24 jam, memiliki peran besar dalam peningkatan sedimentasi di dalam teluk. Sebagai perairan semi tertutup, Teluk Bungus saat ini cukup terancam dengan fenomena pendangkalan, terutama di beberapa muara sungai di dalam teluk.

PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir atas DIPA riset 2019 di Kota Padang, Sumatra Barat, kepada dewan editor yang telah memberikan banyak masukan dan kepada semua pihak yang telah membantu dalam pengumpulan data lapangan dan penyelesaian atikel ilmiah ini. Kontributor utama dalam tulisan ini adalah Guntur Adhi Rahmawan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Tanto, T., Husrin, S., Wisna, U. J., Putra, A., & Putri, R.K. (2016). Karakteristik Oseanografi Fisik (Batimetri, Pasang Surut, Gelombang Signifikan dan Arus Laut) Perairan Teluk Bungus. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(2), 107-121.
- Al Tanto, T., Putra, A., & Yulianda, F. (2017). Kesesuaian Ekowisata di Pulau Pasumpahan, Kota Padang. *Majalah Ilmiah Globè*, 19(2), 135-146.
- Al Tanto, T., Putra, A., Kusumah, G., Farhan, A.R., Pranowo, W.S., & Husrin, S. (2017). Pendugaan Laju Sedimentasi di Perairan Teluk Benoa-Bali Berdasarkan Citra Satelit. *Jurnal Kelautan Nasional*, 12(3), 101-107.
- Al Tanto, T., Wisna, U.J., Kusumah, G., Pranowo, W.S., Husrin, S., Ilham., & Putra, A. (2017). Karakteristik Arus Laut Perairan Teluk Benoa-Bali. *GEOMATIKA*, 23(1), 37-48.
- Arifin, L., & Rachmat, B. (2016). Abrasi Pantai dan Pendangkalan Kolam Pelabuhan Jetty Pertamina Balongan, Indramayu Melalui Analisis Arus Pasang Surut, Angin dan Gelombang. *Jurnal Geologi Kelautan*, 9(1), 15-28.
- Asmoro, N.W., Pratomo, D.G., Negara, A.K., & Santoso, A.I. (2018). Studi Penentuan Dimensi dan Posisi Wreck Menggunakan Data Batimetri-Data Kolom Air Multibeam Echosounder (Studi Kasus di Perairan Teluk Jakarta). *Jurnal Chart Datum*, 4(2), 117-126.
- Asyiwati, Y. (2010). Pengaruh Pemanfaatan Lahan Terhadap Ekosistem Pesisir di Kawasan Teluk Ambon. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 10(2), 1-5.
- Bayhaqi, A., & Caesar, M.A.D. (2015). Distribusi butiran sedimen di pantai Dalegan, Gresik, Jawa Timur. *Depik*, 4(3), 153-159.
- Darminto, D., Mulyadi, D.S., Prasetyo, A., & Setiyadi, J. (2017). Pengolahan Data Bathymetry dan Side Scan Sonar System Edgetech 6205 Untuk Pemetaan Kondisi Permukaan Dasar Laut (Studi Kasus Perairan Tanjungkubu, Kepulauan Riau). *Jurnal HIDROPILAR*, 3(1), 1-10.
- Gemilang, W.A., Wisna, U.J., Solihuddin, T., Arman, A., & Ondara, K. (2020). Sediment Accumulation Rate in Sayung Coast, Demak, Central Java Using Unsupported 210 Pb Isotope. *Atom Indonesia*, 46(1), 25-32.
- Helfinalis. (2000). *Pergerakan Sedimen Di Perairan Teluk Bayur dan Bungus Provinsi Sumatra Barat. Di dalam: Teluk Bayur dan Teluk Bungus Kajian Tentang Zat Hara serta Kaitannya dengan Lingkungan dan Sumberdaya Hayati*, editor. Jakarta: Balitbang Oseanografi, Puslitbang Oseanologi, LIPI; 63-71.
- Indramawan, B.S., Adi, A.P., Djunarsjah, E., & Pandoe, W.W. (2018). Analisis Nilai Hambur Balik pada Kapal Karam (Wreck) Menggunakan Data Multibeam Echosounder di Perairan Belawan. *Jurnal Chart Datum*, 4(1), 51-67.
- Isdale, J.D., & Morris, R. (1972). Physical properties of sea water solutions: density. *Desalination*, 10(4),

329-339.

- Marhendi, T. (2018). Prediksi Peningkatan Sedimentasi Dengan Metode Angkutan Sedimen (Studi Kasus Sedimentasi Di Waduk Mrica). *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 19(2), 87-94.
- Masrukhin, M.A.A., Sugianto, D.N., & Satriadi, A. (2014). Studi batimetri dan morfologi dasar laut dalam penentuan jalur peletakan pipa bawah laut (Perairan Larangan-Maribaya, Kabupaten Tegal). *Journal of Oceanography*, 3(1), 94-104.
- Nugroho, S.H., & Basit, A., 2014. Sebaran sedimen berdasarkan analisis ukuran butir di Teluk Weda, Maluku Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(1), 229-240.
- Putra, A., Baqi, A. I., Febria, F. A., Novarino, W., Hermon, D., Dewata, I., Damanhuri, H. (2020). Kesesuaian Pemanfaatan Ruang Pada Zona Khusus (Pelabuhan) di Kawasan Pesisir Teluk Bungus Kota Padang. *Jurnal Kelautan Nasional*, 15(2), 91-102.
- Qarnain, A.G.D., Satriadi, A., & Setiyono, H. (2014). Analisa pengaruh pasang purnama (spring) dan perbani (neap) terhadap laju sedimentasi di perairan Timbulsloko, Demak. *Journal of Oceanography*, 3(4), 540-548.
- Rahmat, E., & Koderi, K. (2019). Teknik Pengambilan Contoh Sedimen di Laut Cina Selatan Dengan Menggunakan Ponar Grab. *Buletin Teknik Litkayasa Sumber Daya dan Penangkapan*, 16(1), 27-31.
- Rahmawan, G.A., & Dhiauddin, R. (2018). Identifikasi Penentuan Teluk di Kawasan Mandeh Menurut Kriteria Unclos 1982. *In Seminar Nasional Geomatika*, 2, 585-590.
- Rahmawan, G.A., Gemilang, W.A., Wisha, U.J., Dhiauddin, R., & Ondara, K. (2019). Estimation of Sediment Distribution Based on Bathymetry Alteration (2014-2016) in the Inner Bay of Ambon, Maluku, Indonesia. *Jurnal Segara*, 15(2), 67-78.
- Rahmawan, G.A., Husrin, S., & Prihantono, J. Analisa Perubahan Batimeri di Perairan Kabupaten Serang Akibat Penambangan Pasir Laut. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1), 45-55.
- Ramdhan, M. (2012). Kriteria Penentuan Teluk Menurut United Nation Conventions on The Law of The Sea. *GEOMATIKA*, 18(2).
- Ramkumar, M., Menier, D., Mathew, M., & Santosh, M. (2016). *Geological, geophysical, and inherited tectonic imprints on the climate and contrasting coastal geomorphology of the Indian peninsula*. Gondwana Research, 36, 65-93.
- Richasari, D.S., Rohmawati, C.N., & Fitriana, D. (2019). Analisis Perbandingan Konstanta Harmonik Pasang Surut Air Laut Menggunakan Software GeoTide dan Toga (Studi Kasus: Stasiun Pasang Surut Surabaya, Jawa Timur, Indonesia). *In Seminar Nasional: Strategi Pengembangan Infrastruktur (SPI) 2019*.
- Saputra, E.P.A., Pranowo, W.S., Wiryawan, A.P., & Adrianto, D. (2016). Pengaruh Sound Velocity Terhadap Pengukuran Kedalaman Menggunakan Multibeam Echosounder di Perairan Surabaya. *Jurnal Chart Datum*, 2(2), 53-68.
- Sofiyani, I., Taofiqurrohman, A., & Purba, N.P. (2012). Analisis perubahan geomorfologi dasar laut akibat penambangan pasir laut di perairan timur Pulau Karimun Besar Provinsi Kepulauan Riau. *Jurnal Perikanan Kelautan*, 3(4), 327-336.
- Solahuddin, T., Triarso, E., Troa, R.A. (2006). Karakteristik tekstur sedimen berdasarkan analisis granulometri dan morfologi batupasir sepanjang Sungai Progo di Daerah Kalibawang-Pantai Trisik. D.I.Y. *Proceedings of International Conference on Earth Science and Technology Vol I*.
- Yulius., Kusumah, G., & Salim, H.L. (2011). Pola spasial sebaran material dasar perairan di Teluk Bungus, Kota Padang. *GEOMATIKA*, 17(2), 127-135.
- Zuraida, R., Gerhaneu, N.Y., & Sulistyawan, I.H. (2018). Karakteristik Sedimen Pantai dan Dasar Laut di Teluk Papela, Kabupaten Rote, Provinsi NTT. *Jurnal Geologi Kelautan*, 15(2), 81-93.