



Studi Laju Sedimentasi di Muara Sungai Perancak Menggunakan Pemodelan Numerik

Pandu Pratama Putra^{a*}, I Wayan Arthana^a, I Gede Hendrawan^a

^aProgram Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

*Corresponding author, email: pandupratama879@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received : 16 Agustus 2022

Received in revised form : 05 September 2022

Accepted : 21 Oktober 2022

Available online : 28 Agustus 2023

ABSTRACT

Perancak is an estuary area with land use in mangroves and ponds. Land changes that have occurred at the Perancak River estuary and tidal flooding in recent years have increased the potential for sedimentation problems that can cause silting of the riverbed. This study aims to determine the sedimentation rate and identify the potential for siltation in the estuary of the Perancak River. Sediment modeling uses the Finite Volume Coastal Ocean Model (FVCOM) by entering primary and secondary data such as bathymetry, tides, temperature, salinity, river discharge, sediment type, and Total Suspended Solid (TSS) concentration. Modeling for 33 days (January - February 2022). The results showed that the sedimentation rate in the Perancak River estuary ranged from 0.25 to 18.8 kg/m²/day, with an average of 3.83 kg/m²/day. Sedimentation rates are high in the estuary areas and riverbanks bordering the mainland. The potential for siltation shows that it occurs at river mouths with a silting value of about 0.01 m/year to more than 0.05 m/year.

Keywords:

Perancak

Sedimentation Rate

Silting

FVCOM

Kata Kunci:

Perancak

Laju Sedimentasi

Pendangkalan

FVCOM

A B S T R A K

Perancak merupakan kawasan estuari yang memiliki penggunaan lahan mangrove dan lahan tambak. Perubahan lahan yang telah terjadi di muara Sungai Perancak serta terjadinya banjir rob beberapa tahun belakangan ini meningkatkan potensi terjadinya masalah sedimentasi yang dapat menyebabkan pendangkalan dasar sungai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju sedimentasi serta mengidentifikasi potensi pendangkalan di wilayah muara Sungai Perancak. Pemodelan sedimen dilakukan menggunakan *Finite Volume Coastal Ocean Model* (FVCOM) dengan memasukkan data primer dan sekunder seperti batimetri, pasang surut, suhu, salinitas, debit sungai, jenis sedimen dan konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS). Pemodelan dilakukan selama 33 hari (Januari - Februari 2022). Hasil penelitian menunjukkan laju sedimentasi di muara Sungai Perancak memiliki nilai yang berkisar antara 0,25 sampai 18,8 kg/m²/hari, dengan rata-rata 3,83 kg/m²/hari. Laju sedimentasi tinggi pada daerah muara sungai dan pada daerah pinggir sungai yang berbatasan dengan daratan. Potensi pendangkalan menunjukkan terjadi pada muara sungai dengan nilai pendangkalan sekitar 0,01 m/tahun sampai melebihi 0,05 m/tahun.

2022 JMRT. All rights reserved.

1. Pendahuluan

Perancak merupakan salah satu kawasan estuari di Bali yang memiliki luasan yang cukup besar dengan penggunaan lahan sekitar 78,6 ha merupakan hutan mangrove dan lebih dari 390 ha merupakan lahan tambak (BROK, 2009). Mangrove pada kawasan estuari Perancak menyebar secara merata dengan jenis mangrove yang mendominasi adalah spesies *Rhizophora* serta sebagian kecil *Avicennia alba*, *Avicennia marina* dan *Bruguiera gymnorrhiza* (Proisy *et al.*, 2017). Muara sungai Perancak merupakan salah satu muara sungai yang banyak terdapat aktivitas manusia sebagai sarana rekreasi/pariwisata, aktivitas industri, pelabuhan dan penangkapan sumber daya perikanan (Eryani *et al.*, 2014; Aziz *et al.*, 2014).

Pada dua tahun belakangan ini banyak diberitakan bahwa pesisir dan Muara sungai Perancak mengalami banjir rob yang mengakibatkan air merendam akses jalan dan pekarangan warga hingga menyebabkan erosi di bantaran sungai (Balipost, 2020; Balitribune, 2021). Masalah ini dikhawatirkan akan semakin parah dengan adanya perubahan alih fungsi lahan pertanian menjadi bangunan seperti perumahan, hotel dan restoran yang banyak terjadi di kawasan muara sungai Perancak (Eryani *et al.*, 2014). Perubahan alih fungsi lahan ini menyebabkan peningkatan volume air sungai yang terbuang ke laut di musim hujan akibat lahan penyerap air hujan berkurang sehingga daya kikis permukaan tanah meningkat, pada akhirnya akan menuju sungai dan menyebabkan masalah sedimentasi, sedimentasi tersebut menyebabkan terjadinya penyempitan bantaran sungai dan pendangkalan dasar sungai, sehingga mengurangi kapasitas atau

daya tampung sungai (Zulfahmi *et al.*, 2016; Jannah dan Itratip, 2017).

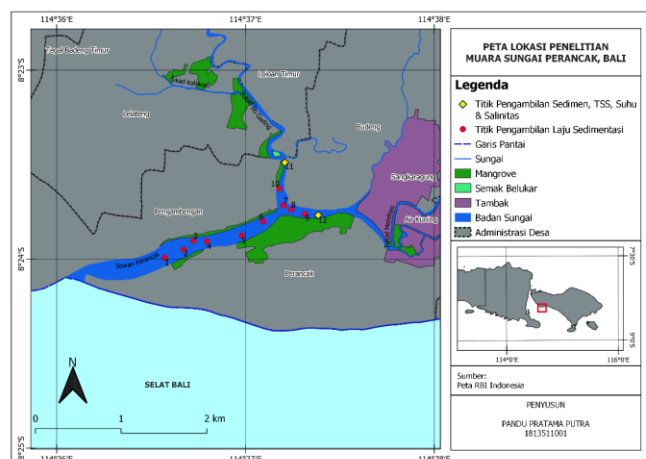
Beberapa daerah memiliki tingkat sedimentasi yang tinggi, ditandai dengan konsentrasi sedimen tersuspensi yang tinggi seperti pada *Hau River* (Nguyen, *et al.*, 2020), *Huanghe River Estuary* (Li *et al.*, 2020), Sungai Porong, Sidoarjo (Budianto dan Hariyanto, 2017), Muara Sungai Lumpur, Sumatera Selatan (Arifelia *et al.*, 2017) dan Teluk Benoa (Risuana *et al.*, 2017). Menurut penelitian dari Fergie dan Sukojo (2013) sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi di muara Perancak pada tahun 2008 berkisar antara 1-243 mg/L, tahun 2010 berkisar antara 1-135 mg/L dan tahun 2012 berkisar antara 1-192 mg/L serta adanya akresi yang terjadi akibat persebaran sedimen tersuspensi menyebabkan terjadinya perubahan bentuk garis pantai di daerah pesisir Muara Perancak, sedangkan menurut Suniada dan Aden (2019) menunjukkan konsentrasi sedimen tersuspensi di muara Perancak pada tahun 2016 dapat berkisar antara 15,75 mg/l sampai 447,28 mg/l. Hasil ini menunjukkan tingginya konsentrasi sedimen tersuspensi setiap tahunnya yang mengindikasikan adanya potensi terjadi masalah sedimentasi di muara sungai Perancak hingga dapat menyebabkan akresi dan perubahan garis pantai.

Saat ini banyak metode yang telah dikembangkan dalam studi pengukuran laju sedimentasi seperti menggunakan profil *Unsupported* ²¹⁰Pb Isotop (Susanti *et al.*, 2019; Gemilang *et al.*, 2020), namun metode ini memerlukan sumber daya dan biaya yang cukup besar. Pemodelan numerik adalah salah satu metode yang banyak digunakan dalam proses hidrodinamika yang ada di perairan, metode ini tidak membutuhkan biaya yang besar dan waktu yang lama namun perlu dilakukan validasi untuk mendapatkan nilai pendekatan yang baik (Prasetya *et al.*, 2017; Astuti *et al.*, 2018). Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, menurut Maharta *et al.* (2019) menjelaskan bahwa penggunaan pemodelan numerik menggunakan FVCOM dapat digunakan untuk mengetahui laju sedimentasi secara spasial, dan dengan menghitung selisih antara deposisi dan erosi dari hasil pemodelan FVCOM, daerah yang berpotensi mengalami pendangkalan pada suatu perairan dapat diketahui. Beberapa penelitian sebelumnya juga tentang sebaran sedimen di muara sungai Perancak hanya menggunakan penginderaan jauh, namun belum pernah mensimulasikan laju sedimentasi di muara sungai Perancak (Fergie dan Sukojo, 2013). Oleh karena itu, dengan adanya potensi peningkatan proses sedimentasi di muara sungai Perancak yang mengakibatkan terjadinya pendangkalan sehingga dapat menyebabkan banjir serta mengganggu ekosistem dan aktivitas manusia, maka perlu dilakukan studi mengenai laju sedimentasi secara spasial untuk mengetahui daerah yang berpotensi mengalami pendangkalan.

2. Metode Penelitian

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di muara sungai Perancak, Kabupaten Jembrana, Bali. Pengambilan data *insitu* dilakukan pada bulan Januari 2022 dengan menggunakan sebanyak 12 titik pengambilan sampel di sungai Perancak yang terbagi menjadi tiga bagian yaitu bagian hulu, tengah dan muara sungai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pada simulasi model dilakukan pada musim hujan yaitu mulai dari tanggal 20 Januari 2022 sampai 28 Februari 2022, hal ini dilakukan karena pola sebaran sedimen pada musim hujan memiliki konsentrasi yang sangat tinggi akibat besarnya debit air yang mengalir pada sungai hingga banyak membawa sedimen menuju ke arah muara (Bachtiar *et al.*, 2016).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Metode Penelitian

2.2.1 Pengumpulan Data

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan berupa data pengukuran lapangan (*insitu*) seperti salinitas, suhu, *Total Suspended Solid* (TSS), jenis dan berat sedimen, laju sedimentasi dengan menggunakan *sediment trap*. Data sekunder yang digunakan yaitu data elevasi pasang surut dari *Tidal Model Driver* (TMD) – TPXO 8, batimetri dan debit sungai. Berikut data beserta sumber yang digunakan pada penelitian ini lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sumber Data Model

Data	Sumber	Keterangan
Batimetri	1. Batimetri Nasional (Badan Informasi Geospasial)	1. Data input model untuk area perairan selat Bali dengan resolusi spasial 6 arc-second (1/3600°).
	2. Balai Riset dan Observasi Laut (BROL)	2. Data input model untuk area badan sungai, merupakan data pengukuran lapangan dengan menggunakan <i>echosounder</i> yang dilakukan pada tahun 2016
Elevasi pasang surut	Tidal Model Driver (TMD) – TPXO 8	Data input model dengan resolusi spasial 1/30° yang terdiri dari komponen S2, M2, N2, K2, K1, P1, O1 dan M1.
Debit sungai	Badan Wilayah Sungai Bali-Penida (BWSBP)	Data input model dengan satuan m ³ /s, rentang data 10 tahun (2009-2019).
Suhu dan Salinitas	Data <i>insitu</i>	Data input model hidrodinamika.

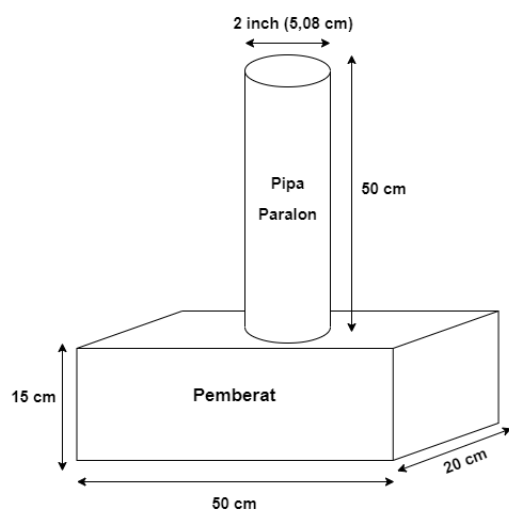
Elevasi pasang surut	Badan Informasi Geospasial	Data validasi model.
Data laju sedimentasi	Data <i>insitu</i>	Data validasi model

2.2.2 Pengukuran Total Suspended Solid (TSS) dan Jenis Sedimen

Pengambilan sampel *Total Suspended Solid* (TSS) dilakukan pada 2 titik stasiun yaitu pada titik stasiun 11 dan 12 (Gambar 1) pada tanggal 26 Januari 2022. Untuk pengambilan data konsentrasi TSS untuk *suspended load* dengan mengambil sampel air dilakukan bersama dengan pengambilan data jenis sedimen, suhu, salinitas pada tanggal 26 Januari 2022. Pengambilan data salinitas dan suhu dilakukan pada saat pengambilan sedimen dan pengambilan TSS. Dengan mengasumsikan bahwa jenis sedimen yang mengendap pada dasar sungai mempunyai ukuran butir yang sama dengan sedimen yang terangkut dari sungai ke laut. Pengukuran jenis sedimen yang berada di dasar sungai (*bed load*) diambil dengan menggunakan Ekman grab. Sampel air untuk padatan tersuspensi dibawa ke Balai Laboratorium Kesehatan Provinsi Bali untuk diperoleh data TSS pada permukaan untuk stasiun 11 dan 12 (Gambar 1) dan untuk hasil pengambilan sampel sedimen dasar sungai dianalisis di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, untuk diperoleh data jenis sedimen, ukuran butir dari setiap jenis sedimen, dan berat dari masing-masing jenis sedimen.

2.2.3 Pengukuran Laju Sedimentasi

Pengukuran laju sedimentasi dilakukan dengan menangkap sedimen yang terdeposisi di dasar sungai menggunakan alat *sediment trap*, sehingga diperoleh data laju sedimentasi untuk digunakan sebagai data validasi model. Berikut bentuk desain *sediment trap* yang digunakan dalam penelitian ini seperti pada Gambar 2. Bentuk desain *sediment trap* ini mengikuti penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Maharta *et al.* (2019) dan Roswaty *et al.* (2014) dengan modifikasi bentuk panjang dan tinggi pemberat *sediment trap* sehingga pemberat menjadi lebih berat dan tidak mudah roboh di dasar perairan akibat banyaknya aktivitas kapal nelayan yang melintas di muara sungai Perancak.



Gambar 2. Desain Sediment Trap

Alat *sediment trap* ini diletakkan selama 33 hari pada tanggal 25 Januari 2022 sampai 26 Februari 2022 di dasar sungai.

Pengambilan sampel dilakukan sekali pada saat pengambilan *sediment trap* setelah 33 hari. Sedimen yang terperangkap pada alat *sediment trap* kemudian dibawa ke Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Udayana untuk dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 250°C selama 48 jam lalu dianalisis untuk diperoleh data laju sedimentasi untuk validasi model.

2.2.4 Model Hidrodinamika

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan numerik melalui dua tahap yaitu model hidrodinamika dan dilanjutkan dengan model transport sedimen dengan menggunakan *Finite Volume Coastal Ocean Model* (FVCOM). Model hidrodinamika dilakukan untuk mengetahui pola pergerakan massa air pada domain model. Pada model transport sedimen berupa model transport *bed load* dan *suspended load* telah terdapat dalam FVCOM (Chen *et al.*, 2006).

Pada model hidrodinamika input elevasi pasang surut dari Model *Tidal Model Driver* (TMD) – TPXO 8 dengan komponen S2, M2, N2, K2, K1, P1, O1, M1 (Tabel 2) digunakan pada batas terbuka selama waktu simulasi model. Input elevasi pasang surut yang berasal dari *Tidal Model Driver* (TMD) memiliki resolusi spasial 1/30° dengan resolusi temporal 10 menit selama waktu simulasi model hidrodinamika yaitu dari tanggal 20 Januari 2022 sampai 28 Februari 2022. Berikut merupakan tabel delapan komponen utama pasang surut seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Komponen Pasang Surut

Komponen	Periode (Jam)	Keterangan
M2	12,42	Komponen utama semi diurnal bulan
S2	12,00	Komponen utama semi diurnal matahari
N2	12,66	Komponen bulan akibat variasi bulanan jarak bumi-bulan
K2	11,97	Komponen matahari bulan akibat perubahan sudut deklinasi matahari bulan
K1	23,93	Komponen matahari bulan
O1	25,82	Komponen utama diurnal bulan
P1	24,07	Komponen utama diurnal matahari
M1	327,86	Komponen bulan dwi-mingguan

Data batimetri yang digunakan yaitu dari data sekunder dari Balai Riset dan Observasi Laut (BROL) yang diukur dengan menggunakan *echosounder* untuk area badan sungai sampai hulu pada tahun 2016 dan untuk laut terbuka menggunakan Batimetri Nasional (BATNAS) dengan resolusi spasial 6 arc-second (1/3600°). Data batimetri nasional (BATNAS) ini diolah dengan *software* QGIS untuk dilakukan *raster pixels to points* sehingga menjadi bentuk *point* dengan koordinat *xy* dengan nilai batimetri dari batimetri nasional (BATNAS). Kedua data ini digabungkan dengan *Excel* lalu diinterpolasikan dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) ke setiap *node* domain model dengan menggunakan *software* Surface Modelling System 8.1.

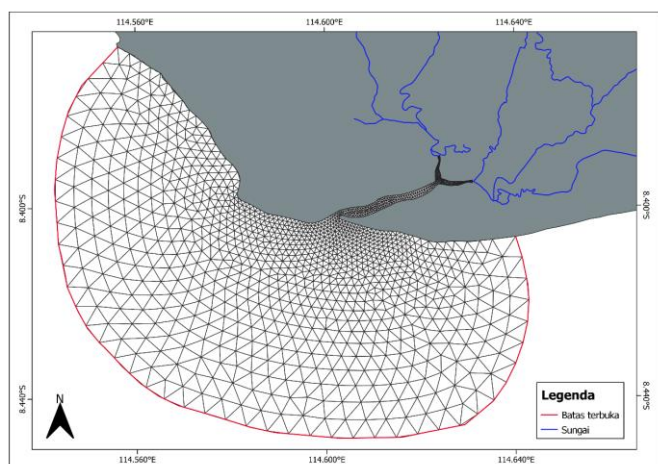
Suhu dan salinitas yang diambil menggunakan data lapangan pada tanggal 26 Januari 2022 pada titik seperti pada Gambar 1, serta diinputkan pada *close boundary* yang berada pada hulu

domain model. Nilai suhu dan salinitas diinputkan sebagai *initial condition* pada model hidrodinamika yang dimasukkan pada *setup running* model hidrodinamika. *River discharge* pada model yaitu 2 sungai yang terdiri dari sungai Ijogading dan sungai Sowan Perancak.

Domain model yang digunakan pada simulasi di muara sungai Perancak menggunakan *unstructured triangular grid* yang terdiri dari dua batas yaitu batas terbuka yang bersinggungan langsung dengan laut dan batas tertutup yang bersinggungan dengan daratan. Grid yang digunakan pada desain model memiliki resolusi 30-meter pada bagian hulu sungai, 100-meter pada bagian muara sungai dan 500-meter pada daerah *open boundary* (batas terbuka) (Gambar 3). Resolusi grid ini ditentukan sesuai dengan fokus area penelitian ini yang berada pada sungai sehingga diperlukan resolusi domain model yang tinggi. Pengaturan kondisi untuk model lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaturan Model Hidrodinamika

Item	Keterangan
Grid	<i>Unstructural triangular grid</i> dengan resolusi 30-500 m (resolusi yang dimaksud merupakan jarak antara 2 node terdekat).
Layer	<i>Uniform layer</i> dengan 21 <i>sigma layers</i> .
Batas terbuka (<i>open boundary</i>)	Elevasi pasang surut Model TMD-TPXO 8 (S2, M2, N2, K2, K1, P1, O1 dan M1).
Batas tertutup (<i>close boundary</i>)	<i>River discharge</i> dari Sungai Ijogading dan Sungai Sowan Perancak, Suhu dan Salinitas. Pada <i>close boundary</i> diasumsikan sebagai daratan dan tidak ada mangrove.
Kondisi meteorologis	Diasumsikan tidak ada
Batimetri	Balai Riset dan Observasi Laut (BROL) dan Batimetri Nasional (BATNAS).
Waktu simulasi	40 hari
Langkah waktu (<i>time step</i>)	1 detik



Gambar 3. Desain Domain Model

2.2.5 Model Transport Sedimen

Pada pemodelan numerik transport sedimen digunakan *initial condition* dengan asumsi bahwa konsentrasi sedimen berasal dari 2 sungai yang bermuara ke muara Perancak, inputannya yaitu berupa debit sungai yang telah dirata-ratakan selama 10 tahun (2009-2019) serta konsentrasi TSS dari setiap jenis sedimen yang berasal dari data *insitu*. Input dari konsentrasi TSS dan debit sungai dimasukkan sepanjang waktu simulasi. Untuk pengaturan jenis sedimen disesuaikan dengan hasil data yang diambil di lapangan. Adapun parameter yang terdapat dalam input tersebut dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Input Model Transport Sedimen

Parameter	Satuan	Nilai / Rentang Nilai Spesifik	Sumber
<i>Median sediment grain diameter</i>	mm	10 ⁻⁴ - 10	Sherwood <i>et al.</i> , 2018
<i>Sediment concentration</i>	kg/m ³	0 - 50	Data <i>Insitu</i>
<i>Sediment grain density</i>	kg/m ³	2650	Sherwood <i>et al.</i> , 2018
<i>Particle settling velocity</i>	mm/s	10 ⁻² - 100	Sherwood <i>et al.</i> , 2018
<i>Erosion rate coefficient</i>	kg m ⁻² s ⁻¹	10 ⁻³ - 10 ⁻²	Sherwood <i>et al.</i> , 2018
<i>Critical shear stress for erosion</i>	N/m ²	0.02 - 5	Sherwood <i>et al.</i> , 2018
<i>Critical shear stress for deposition</i>	N/m ²	0.02 - 5	Sherwood <i>et al.</i> , 2018
<i>Porosity</i>	m ³ /m ³	0.1 - 0.9	Sherwood <i>et al.</i> , 2018

2.3 Analisis Data

2.3.1 Total Suspended Solid (TSS)

Pada pengujian dan analisa sampel TSS menggunakan metode sesuai prosedur Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 06-6989.3-2004 tentang cara uji padatan tersuspensi total (TSS) secara gravimetri. Perhitungan TSS sesuai prosedur Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 06-6989.3-2004 ditentukan dengan persamaan 1.

$$TSS = \frac{(A - B)}{1 \text{ liter}} \times 1000 \quad (1)$$

Dengan TSS merupakan Total Suspended Solid (kg/m³), A yaitu berat kertas saring + residu kering (kg), dan B merupakan berat kertas saring (kg).

2.3.2 Laju Sedimentasi

Dengan menggunakan alat *sediment trap* didapatkan data berat sedimen sehingga dapat dilakukan perhitungan laju

sedimentasi. Perhitungan laju sedimentasi yang dikembangkan oleh Eaton *et al.* (1995) seperti pada persamaan 2.

$$LS = \frac{\pi \times r \times r \times BS}{Lama\ peletakan\ Sedimen\ Trap\ (hari)} \quad (2)$$

Dengan LS sebagai laju sedimentasi ($kg/m^2/hari$), $\pi = \frac{22}{7}$, r merupakan jari-jari sediment trap (m) serta BS yaitu berat sedimen (kg).

Untuk laju sedimentasi hasil pemodelan didapatkan dari hasil penjumlahan massa sedimen yang mengendap ke dasar perairan selama 33 hari simulasi model sehingga akan didapatkan nilai laju sedimentasi ($kg/m^2/hari$). Periode 33 hari ini menyesuaikan dengan data validasi *sediment trap* yang diambil setelah 33 hari peletakan *sediment trap*. Hasil nilai laju sedimentasi ($kg/m^2/hari$) di setiap titik *node* domain model diinterpolasi dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) menggunakan *software* QGIS.

2.3.3 Prediksi Pendangkalan

Hasil pemodelan sedimen yang dilakukan di Muara Sungai Perancak didapatkan *output* berupa deposisi dan erosi (m). Terjadinya proses pendangkalan pada suatu perairan juga dapat ditinjau dari nilai selisih antara deposisi dan erosi yang terjadi, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Maharta *et al.* (2019) dari penelitian ini diketahui bahwa pola pendangkalan memiliki kesamaan dengan pola selisih deposisi dan erosi sehingga dapat diketahui bahwa deposisi dan erosi berpengaruh terhadap perubahan kedalaman suatu perairan. Juliano *et al.* (2021) menjelaskan bahwa pendangkalan dapat terjadi jika jumlah sedimen yang masuk lebih besar dibandingkan jumlah sedimen yang keluar, jika jumlah sedimen yang keluar lebih kecil maka daerah tersebut akan terjadi erosi, sebaliknya jika jumlah sedimen yang keluar lebih besar maka akan terjadi akresi.

Pada hasil pemodelan sedimen, *output* pada setiap titik *node* pada domain model diketahui terjadinya deposisi atau erosi (m) selama waktu simulasi model. Dengan menjumlahkan nilai deposisi dan erosi selama 31 hari atau 1 bulan didapatkan selisih antara deposisi dan erosi yang terjadi (m/bulan) dan dikali 12 bulan sehingga didapatkan nilai prediksi pendangkalan selama 1 tahun (m/tahun). Deposisi diketahui dengan nilai positif atau terjadi penambahan ketinggian dasar perairan (m) dan erosi diketahui dengan nilai negatif atau terjadi pengurangan ketinggian dasar perairan (m). Hasil nilai prediksi pendangkalan (m/tahun) di setiap titik *node* domain model diinterpolasi dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) menggunakan *software* QGIS.

2.3.4 Validasi Data

Dalam mengetahui hubungan antara hasil model dan data observasi perlu dilakukan memvalidasi data antara hasil model dengan data observasi dengan menghitung korelasi (r) serta menghitung nilai *root mean square error* (RMSE) untuk melihat akurasi perhitungan. Rumus yang digunakan dalam korelasi menurut persamaan dari Sugiyono (2012). Berikut persamaan 3 dan 4 yang digunakan dalam menghitung korelasi dan *error* dalam model, yaitu:

$$r = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sqrt{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})}} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{insitu,i} - X_{model,i})^2}{n}} \quad (4)$$

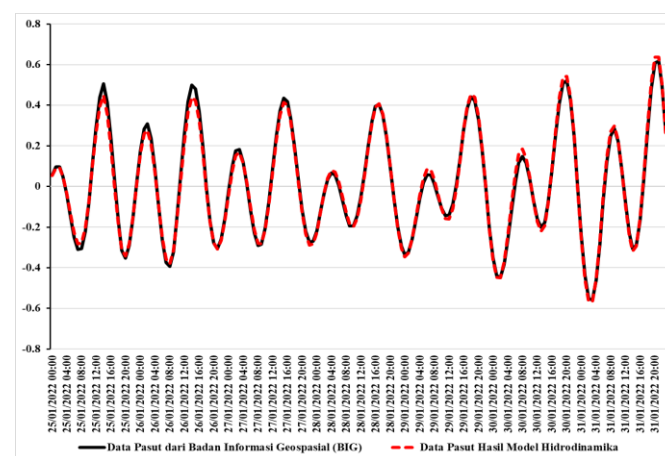
Dimana r merupakan koefisien korelasi, x merupakan nilai hasil pengamatan lapangan dan y adalah nilai dari hasil model serta n yaitu jumlah data lalu $X_{insitu,i}$ merupakan nilai hasil pengamatan lapangan dan $X_{model,i}$ nilai dari hasil model.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Validasi Hasil Model

3.1.1 Validasi Pasang Surut

Pemodelan hidrodinamika pada penelitian ini menggunakan data inputan pasang surut dari model prediksi *Tidal Model Driver* (TMD) – TPXO 8 dari tanggal 20 Januari 2022 sampai dengan 28 Februari 2022 dengan periode interval selama 10 menit. Data pasang surut digunakan sebagai input pada *open boundary* sebagai pembangkit model arus dan transpor sedimen. Hasil dari elevasi pasang surut model hidrodinamika divalidasi dengan data pasang surut yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Validasi model dilakukan pada titik stasiun pengamatan pasang surut yang ada di PPN Pengambangan dengan koordinat 114°34'23.95" BT dan 08°23'6.32" LS. Berikut hasil validasi data pasang surut hasil pemodelan dengan data BIG seperti pada Gambar 4.

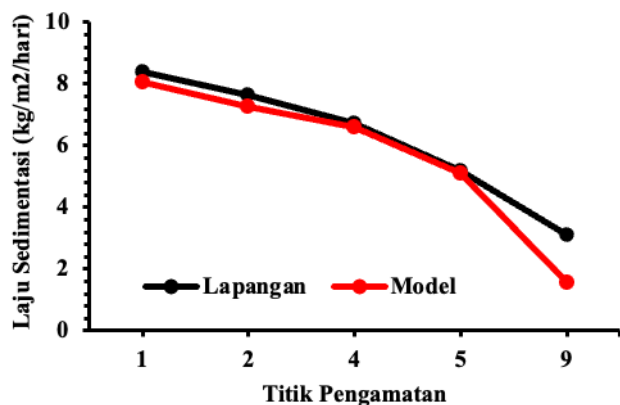


Gambar 4. Grafik Validasi Elevasi Pasang Surut

Validasi dilakukan dengan menghitung *Root Mean Square Error* (RMSE). Hasil pemodelan dapat dikatakan valid jika nilai RMSE mendekati 0. Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa secara umum kedua data elevasi model memiliki pola yang sama, dengan melakukan perhitungan rumus RMSE didapatkan bahwa nilai mendekati 0 yaitu 0,02 m, sehingga dapat dikatakan bahwa hasil pemodelan yang dijalankan adalah baik dan valid. Korelasi juga dilakukan antara data hasil model dan data pengamatan BIG didapatkan hasil korelasi sangat kuat dengan nilai korelasi 0,99.

3.1.2 Validasi Laju Sedimentasi

Berdasarkan pemodelan sedimen yang dilakukan di Muara Sungai Perancak didapatkan *output* berupa total massa sedimen yang mengendap selama 33 hari simulasi model ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{hari}$). Hasil laju sedimentasi ini divalidasi dengan data laju sedimentasi pengambilan lapangan dengan *sediment trap*. Berikut hasil validasi laju sedimentasi hasil pemodelan dengan data *sediment trap* seperti pada Gambar 5.

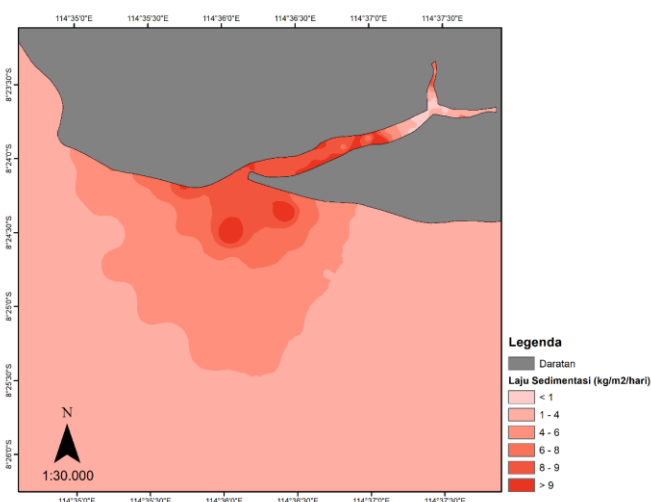


Gambar 5. Validasi Laju Sedimentasi

Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan bahwa secara umum kedua data laju sedimentasi lapangan dan model memiliki pola yang sama, dengan melakukan perhitungan rumus RMSE didapatkan bahwa nilai mendekati 0 yaitu $0,72 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{hari}$. Korelasi juga dilakukan antara data hasil model dan data lapangan didapatkan hasil korelasi sangat kuat dengan nilai korelasi 0,99. Perbedaan laju sedimentasi lapangan dengan hasil model dapat terjadi karena pada model yang tidak memperhitungkan aktivitas yang terjadi di lapangan seperti aktivitas kapal serta kondisi mangrove yang tidak dipertimbangkan dalam pemodelan. Turbulen yang kecil pada model dapat disebabkan oleh tidak adanya aktivitas kapal yang dapat meningkatkan erosi sehingga laju sedimentasi yang didapatkan akan lebih kecil.

3.2 Laju Sedimentasi di Muara Sungai Perancak

Berdasarkan pola sebaran laju sedimentasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, diketahui bahwa laju sedimentasi di Muara Sungai Perancak memiliki kisaran nilai antara 0,25 sampai $18,8 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{hari}$. Rata-rata laju sedimentasi yang didapatkan di muara sungai Perancak sebesar $3,83 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{hari}$. Nilai laju sedimentasi yang tinggi didapatkan pada daerah muara sungai dan pada daerah pinggir sungai yang berbatasan dengan daratan.



Gambar 6. Pola Sebaran Laju Sedimentasi

Umumnya pada daerah tersebut memiliki konsentrasi TSS yang tinggi pada dasar perairan serta merupakan daerah yang sering terjadi aktivitas kapal nelayan sehingga memiliki laju sedimentasi yang tinggi. Menurut penelitian yang dilakukan Ge *et al.* (2015), Maharta *et al.* (2019) dan Agustian *et al.* (2020) didapatkan bahwa pada daerah dengan konsentrasi sedimen tersuspensi yang tinggi akan mempengaruhi laju sedimentasi menjadi tinggi, hal ini dapat terjadi karena arus yang cenderung lemah sehingga sedimen tersuspensi mudah untuk mengendap. Pada daerah yang sering terjadi aktivitas pelayaran menyebabkan sering terjadi erosi yang menyebabkan tingginya laju sedimentasi pada daerah tersebut.

Pada bagian pertemuan dua daerah aliran sungai seperti pada Gambar 6 menunjukkan laju sedimentasi yang rendah jika dibandingkan pada daerah lain di badan sungai, hal ini dapat terjadi karena pengaruh yang masih dominan dari aliran debit sungai untuk menuju ke muara mulut sungai jika dibandingkan dengan arus dari laut. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Pratiwi (2021) dimana pengaruh dominan antara debit sungai dan arus yang berasal dari laut akan mempengaruhi lokasi pengendapan sedimen pada muara sungai. Kedalaman sungai pada daerah ini yang lebih dalam juga menyebabkan sedimen yang teraduk akibat pertemuan kedua daerah aliran sungai ini lebih lambat untuk kembali mengendap ke dasar sungai. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Rauf (2018) kedalaman air akan sebanding dengan waktu pengendapan sedimen, sehingga semakin dalam kedalaman sungai makan waktu pengendapan sedimen semakin lambat. Hal ini menjadikan sedimen banyak terangkut oleh aliran sungai sebelum mengendap ke dasar sungai.

Dari pola sebaran laju sedimentasi pada Gambar 6 juga diketahui bahwa sebaran laju sedimentasi yang tersebar hingga ke arah laut. Hal ini disebabkan oleh sedimen yang didominasi oleh jenis sedimen pasir halus (*fine sand*), jenis sedimen yang halus akan memudahkan proses terjadinya suspensi serta terangkutnya sedimen oleh debit sungai, pasang surut dan arus (Fajarin *et al.*, 2014; Pratomo *et al.*, 2017). Menurut Asatidz *et al.* (2021) ukuran sedimen yang lebih halus akan mudah untuk terbawa oleh arus hingga menuju perairan lepas sehingga ada terendapkan pada perairan yang dalam.

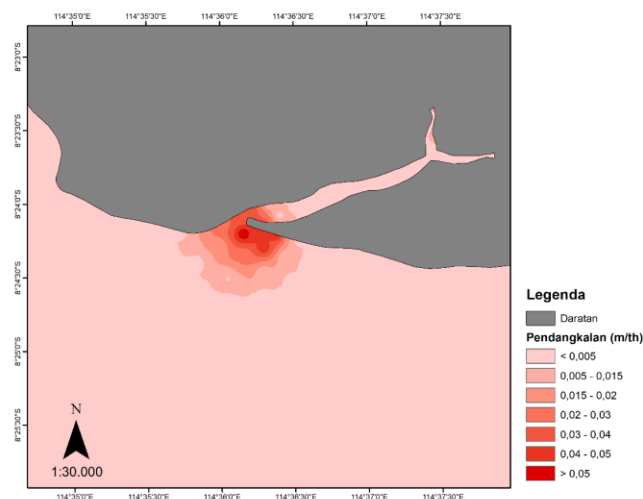
Jika dibandingkan pada penelitian-penelitian sebelumnya terkait laju sedimentasi, laju sedimentasi yang ada di Muara Sungai Perancak termasuk memiliki nilai yang tinggi. Pada penelitian yang dilakukan oleh Maharta *et al.* (2019) di Teluk

Benoa, rata-rata laju sedimentasi memiliki kisaran nilai 0,57 kg/m²/hari. Pada penelitian yang dilakukan Rosyadewi dan Hidayah (2020) pada muara Socah Bangkalan dan Porong Sidoarjo didapatkan rata-rata laju sedimentasi pada muara Socah yaitu 1,79 kg/m²/hari dan muara Porong yaitu 3,47 kg/m²/hari sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Pradipta *et al.* (2013) di muara sungai Slamaran Pekalongan dan Srijadi *et al.* (2017) di muara sungai Waridin masing-masing mendapatkan nilai laju sedimentasi terbesarnya yaitu mencapai 1,70 kg/m²/hari di muara sungai Slamaran dan 0,655 kg/m²/hari di muara sungai Waridin.

Pada penelitian lainnya dengan daerah yang memiliki kondisi geografis serta debit sungai yang mirip dan berdekatan dengan kawasan Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN) memiliki laju sedimentasi yang lebih tinggi dari Muara Sungai Perancak. Pada penelitian yang dilakukan oleh Saputra *et al.* (2022) di muara Sungai Sambas memiliki rata-rata laju sedimentasi yang lebih besar yaitu sebesar 156,76 kg/m²/hari. Perbedaan ini dapat terjadi karena curah hujan yang tinggi pada saat penelitian jika dibandingkan pada muara sungai Perancak. Dengan mempertimbangkan faktor curah hujan akan mempengaruhi hasil laju sedimentasi, hal ini dapat terjadi karena curah hujan yang tinggi akan meningkatkan debit sungai serta erosi yang terjadi di hulu sehingga debit sungai akan banyak membawa sedimen tersuspensi menuju ke muara sungai (Fajarin *et al.*, 2014). Secara keseluruhan laju sedimentasi pada muara sungai perancak termasuk memiliki nilai yang tinggi khususnya pada daerah muara sungai. Menurut Asatidz *et al.* (2021) pada daerah muara sungai sedimen lebih banyak mengendap pada muara sungai hal ini terjadi karena arus yang semakin kecil pada saat di muara dan bertemu dengan arus yang berasal dari laut menyebabkan sedimen akan mudah mengendap pada muara sungai dan daerah pantai di sekitarnya.

3.3 Potensi Pendangkalan di Muara Sungai Perancak

Berdasarkan daerah potensi pendangkalan di muara sungai Perancak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, diketahui bahwa daerah dengan potensi pendangkalan tertinggi terjadi di daerah sekitar muara mulut sungai, pada daerah ini terjadi pendangkalan sekitar 0,01 m/tahun sampai melebihi 0,05 m/tahun. Pendangkalan maksimum pada muara sungai Perancak mencapai nilai 0,063 m/tahun dengan rata-rata pendangkalan sekitar 0,001 m/tahun.



Gambar 7. Potensi Pendangkalan di Muara Sungai Perancak

Pendangkalan yang terjadi di muara sungai Perancak ini memiliki nilai yang lebih rendah jika dibandingkan pendangkalan yang terjadi di Teluk Benoa yang dilakukan oleh Maharta *et al.* (2019), pada penelitian tersebut didapatkan nilai pendangkalan maksimum yang terjadi di Teluk Benoa mencapai 0,53 m/tahun. Hal ini dapat terjadi karena tingginya aktivitas manusia serta banyaknya aktivitas kapal yang lebih besar dibandingkan pada muara sungai Perancak.

Dari hasil daerah potensi pendangkalan ini, dapat terlihat bahwa daerah muara sungai merupakan daerah yang paling riskan mengalami pendangkalan, terutama pada daerah mulut sungai yang merupakan tempat yang sangat penting bagi aktivitas nelayan di sungai Perancak. Menurut Van Rijn (2016) pendangkalan umumnya akan semakin tinggi pada daerah mulut sungai, hal ini dapat terjadi karena mulai berkurangnya debit air sungai pada daerah ini. Mengingat bahwa sumber sedimen pada pemodelan yaitu berasal dari angkutan aliran sungai, maka mulut sungai atau muara menjadi tempat penumpukannya material-material sedimen yang dibawa dari daratan menuju muara.

Dari hasil ini diketahui, proses pendangkalan yang terjadi terkonsentrasi di sekitar muara sungai. Dengan kecenderungan kejadian demikian, diperkirakan dapat memperkecil lebar sungai, menghambat aktivitas para nelayan, mencemari kualitas perairan dan sangat berpotensi terjadi banjir tahunan. Pendangkalan ini juga dapat merusak ekosistem menyebabkan keragaman hewan ikut karena kapasitas sungai yang menurun sehingga aliran sungai menjadi kecil. Oleh karena itu, diperlukannya penyelesaian permasalahan tersebut untuk mencegah dan menormalisasi kembali fungsi utama muara sungai seperti pengerukan dan membangun berbagai macam bangunan air seperti tanggul dan jetty agar tidak berdampak yang lebih buruk lagi, sehingga merugikan bagi penduduk sekitar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang diperoleh yaitu laju sedimentasi di muara sungai Perancak memiliki nilai yang berkisar antara 0,25 sampai 18,8 kg/m²/hari. Rata-rata laju sedimentasi yang didapatkan di Muara Sungai Perancak sebesar 3,83 kg/m²/hari. Nilai laju sedimentasi tinggi didapatkan pada daerah muara sungai dan pada daerah pinggir sungai yang berbatasan dengan daratan. Daerah yang berpotensi untuk mengalami pendangkalan di muara sungai Perancak yaitu pada daerah sekitar muara mulut sungai, dimana pada daerah ini terjadi pendangkalan sekitar 0,01 m/tahun sampai melebihi 0,05 m/tahun. Hasil yang didapat pada penelitian ini menunjukkan validasi laju sedimentasi yang tergolong baik, adanya perbedaan laju sedimentasi lapangan dengan hasil model dapat terjadi karena pada model yang tidak memperhitungkan aktivitas yang terjadi di lapangan seperti adanya aktivitas kapal dan kondisi mangrove.

Daftar Pustaka

- Agustian, A., Rifardi, R., & Elizal, E. 2020. Analysis Of Sedimentation Rates In The Estuary Waters Of The Bokor River, Kepulauan Meranti District, Riau Province. *Berkala Perikanan Terubuk*, 48(3), 558-567.
- Arifelia, D. R., Dianysah, G., & Surbakti, H. 2017. Analisis kondisi perairan ditinjau dari konsentrasi Total Suspended Solid (TSS) dan sebaran klorofil-a di muara Sungai Lumpur, Sumatera Selatan. *Masparsi Journal: Marine Science Research*, 9(2), 95-104.

- Asatidz, S., Satriadi, A., Ismanto, A., Setiyono, H., & Purwanto, P. 2021. Pemodelan Sebaran Sedimen Dasar di Perairan Pelabuhan Branta, Pamekasan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(1), 64-75.
- Astuti, K. P., Wijaya, M. N., & Setyowulan, D. 2018. Studi Numerik Dan Eksperimental Distribusi Tegangan Dan Regangan Beton. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(1), pp-051.
- Aziz, A., Wulandari, S. Y., & Maslukah, L. 2014. Sebaran Konsentrasi Ortofosfat di Lapisan Permukaan Perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara Pengembangan dan Estuari Perancak, Bali. *Journal of Oceanography*, 3(4), 713-721.
- Bachtari, H., Novico, F., & Riandini, F. 2016. Model Sederhana 2-dimensi Arah Pergerakan Sedimen di Sungai Porong Jawa Timur. *Jurnal Geologi Kelautan*, 9(3), 175-184.
- Bali Tribune. 2021. Terjangan Ombak Rusak Infrastruktur, Warga Pesisir Was-was. [online] Tersedia di: <https://balitribune.co.id/content/terjangan-ombak-rusak-infrastruktur-warga-pesisir-was-was>, [diakses: 19 Juli 2021].
- Balipost. 2020. Gelombang Tinggi Disusul Banjir Rob Terjadi di Pesisir Pantai Jembrana. [online] Tersedia di: <https://www.balipost.com/news/2020/05/27/125419/Gelombang-Tinggi-Disusul-Banjir-Rob.html>, [diakses: 19 Juli 2021].
- BROK. 2009. Riset Observasi dan Kajian Pemanfaatan Kawasan Konservasi Laut di Estuari Perancak. Bali: Balai Riset dan Observasi Kelautan - DKP. 2009.
- Budianto, S. & Hariyanto, T. 2017. Analisis Perubahan Konsentrasi Total Suspended Solid (TSS) Dampak Bencana Lumpur Sidoarjo Menggunakan Citra Landsat Multitemporal (Studi Kasus: Sungai Porong, Sidoarjo). *Jurnal Teknik ITS*, 6(1).
- Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., & Franson, M. A. H. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, (19th Edition). Washington, DC., USA: *American Public Health Association*.
- Eryani, I. G. A. P., Sinarta, I. N., & Surayasa, I. N. 2014. Perubahan Fungsi Lahan Di Muara Sungai Terhadap Pelestarian Sumber Daya Air. *Bumi Lestari*, 14(1), 85-90.
- Fajarin, S. N., Saputro, S., & Hariadi, H. 2014. Laju Sedimentasi Di Muara Sungai Semat Jepara. *Journal of Oceanography*, 3(4), 560-565.
- Fergie, I. N., & Sukojo, B. M. 2013. Identifikasi Sebaran Sedimentasi Dan Perubahan Garis Pantai Di Pesisir Muara Perancak-Bali Menggunakan Data Citra Satelit Alos AVNIR-2 Dan SPOT-4. *Geoid*, 9(1), 73-80.
- Fergie, I. N., & Sukojo, B. M. 2013. Identifikasi Sebaran Sedimentasi Dan Perubahan Garis Pantai Di Pesisir Muara Perancak-Bali Menggunakan Data Citra Satelit Alos AVNIR-2 Dan SPOT-4. *Geoid*, 9(1), 73-80.
- Ge, J., Shen, F., Guo, W., Chen, C., & Ding, P. 2015. Estimation of critical shear stress for erosion in the Changjiang Estuary: A synergy research of observation, GOCI sensing and modeling. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(12), 8439-8465. doi:10.1002/2015jc010992
- Gemilang, W. A., Wisha, 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.
- Jannah, W., & Itratip, I. 2017. Analisa Penyebab Banjir Dan Normalisasi Sungai Unus Kota Mataram. *Jurnal Ilmiah Mandala Education*, 3(1), 242-249.
- Li, B., Jia, Y., Liu, J. P., Su, J., Liu, X., & Wen, M. 2020. The controlling factors of high suspended sediment concentration in the intertidal flat off the Huanghe River Estuary. *Acta Oceanologica Sinica*, 39(10), 96-106.
- Maharta, I. P. R. F., Hendrawan, I. G., & Suteja, Y. 2019. Prediksi laju sedimentasi di perairan Teluk Benoa menggunakan pemodelan numerik. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 5(1), 44-54.
- Nguyen, T. H. D., Phan, K. D., Nguyen, H. T. T., Tran, S. N., Tran, T. G., Tran, B. L., & Doan, T. N. 2020. Total Suspended Solid Distribution in Hau River Using Sentinel 2a Satellite Imagery. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 6, 91-97.
- Pradipta, Y., Saputro, S., & Satriadi, A. 2013. Laju Sedimentasi Di Muara Sungai Slamaran Pekalongan. *Journal of Oceanography*, 2(4), 378-386.
- Prasetya, A., Yudianto, D., & Guan, Y. 2017. Pemodelan Numerik 1-D Adveksi-Dispersi Untuk Memprediksi Konstrentrasi Polutan Dalam Badan Sungai. *Jurnal Teknik Sipil*, 14(3), 188-194.
- Pratiwi, M. D. 2021. Analisis Tekstur Dan Pola Distribusi Sedimen Di Perairan Teluk Tamiang Kabupaten Kotabaru. In *Prosiding Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan* (Vol. 6, No. 1, pp. 70-76).
- Pratomo, F. K., Hariadi, H., & Widada, S. 2017. Analisa Laju Sedimentasi Di Muara Sungai Cilauteureun Garut. *Journal of Oceanography*, 6(1), 54-60.
- Proisy, C., Viennois, G., Sidik, F., Andayani, A., Enright, J. A., Guitet, S., Gusmawati, N., Lemonnier, H., Muthusankar, G., Olagoke, A., Prospero, J., Rahmania, R., Ricout, A., Soulard, B., & Suhardjono. 2017. Monitoring mangrove forests after aquaculture abandonment using time series of very high spatial resolution satellite image: A case study from Perancak estuary, Bali, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 131(Part B), 61-71. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.056>.
- Rauf, A. 2018. Rancangan Teknis Kolam Pengendapan Pada Unit Pencucian Bauksit "Bukit 15" PT. Aneka Tambang (Persero) Tbk. Kecamatan Tayan Hilir. *ReTII*.
- Risuana, I. G. S., Hendrawan, I. G., & Suteja, Y. 2017. Distribusi spasial total padatan tersuspensi puncak musim hujan di permukaan perairan Teluk Benoa, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 3(2), 223-232.
- Roswaty, S., Muskananfolo, M. R., & Purnomo, P. W. 2014. Tingkat Sedimentasi di Muara Sungai Wedung Kecamatan Wedung, Demak. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 3(2), 129-137.
- 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), 75-86.
- Saputra, D. W., Muliadi, M., Risiko, R., 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.
- Srijati, S., Rochaddi, B., & Widada, S. 2017. Analisis laju sedimentasi di Perairan Muara Sungai Waridin Kabupaten Kendal. *Journal of Oceanography*, 6(1), 246- 253.
- Sugiyono. 2012. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Suniada, K. I., & Aden, L. Y. 2019. Pengaruh Perubahan Luas Hutan Mangrove terhadap Konsentrasi Total Suspended Matter (TSM) di Muara Perancak, Jembrana-Bali. *Jurnal Kelautan Nasional*, 14(1), 11-24.
- Susanti, S., Prartono, T., Zuraida, R., & Lubis, A. A. 2019. Estimasi Laju Akumulasi Sedimen di Perairan Laut Jawa Menggunakan Unsupported Pb-210. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 15(2), 83-91.
- Van Rijn, L. C. 2016. Harbour siltation and control measures. URL <http://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Harboursiltation2012.pdf>.
- Zulfahmi, Z., AS, N. S., & Jufriadi, J. 2016. Dampak Sedimentasi Sungai Tallo Terhadap Kerawanan Banjir Di Kota Makassar. *Plano Madani: Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 5(2), 180-191.