

DINAMIKA PERUBAHAN GARIS PANTAI DI PERAIRAN TELUK BANTEN DAN SEKITARNYA

DYNAMICS OF SHORELINE CHANGES IN THE COASTAL REGION OF BANTEN BAY AND SURROUNDING AREAS

Tubagus Solihuddin^{*}, Joko Prihantono, Eva Mustikasar, Semeidi Husrin

Pusat Riset Kelautan, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta, Indonesia 14430

^{*}email: solihuddin@gmail.com

Diterima : 02-07-2019, Disetujui : 05-10-2020

ABSTRAK

Penelitian ini berlokasi di Perairan Teluk Banten dan sekitarnya yang secara geografis terletak di ujung barat pantai utara Jawa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan garis pantai, dinamika sedimen, dan batas sel pantai melalui pengolahan data citra satelit, peta tematik, dan observasi lapangan. Karakteristik pantai Teluk Banten dan sekitarnya didominasi oleh pantai berlumpur yang sebagian besar ditumbuhi mangrove seperti di daerah Lontar, Pontang, Sawah Luhur, Kasemen, dan Kramatwatu. Karakteristik campuran pantai berbatu dan berpasir menempati bagian barat Teluk Banten, tepatnya di Bojonegara. Beberapa tempat seperti di Bojonegara kondisi pantainya sudah mengalami modifikasi berupa reklamasi, infrastruktur pelabuhan, jeti, dan struktur pantai lainnya. Dinamika pantai menunjukkan perubahan morfologi yang signifikan di daerah Tanjung Pontang akibat abrasi, serta Delta Ciujung Baru dan Sawah Luhur akibat akresi. Ketidakseimbangan sedimen yang dipicu oleh pengalihan Sungai Ciujung Lama dan alih fungsi lahan mangrove menjadi faktor pemicu terjadinya proses abrasi di Tanjung Pontang. Penempatan struktur *breakwater* dan *hybrid engineering* sebetulnya telah dilakukan untuk perlindungan pantai, namun dinilai kurang berhasil. Strategi rehabilitasi dengan membuka aliran air Sungai Ciujung Lama, pemasangan pemecah gelombang ambang rendah, dan penanaman mangrove sangat direkomendasikan untuk mengatasi permasalahan abrasi.

Kata kunci: dinamika, garis pantai, Teluk Banten, abrasi, transpor sedimen.

ABSTRACT

This research is located at Banten Bay and surrounding areas where geographically positioned on the western end of the north coast of Java. This study aims to determine the shoreline changes, sediment dynamics, and coastal cell boundaries through satellite and thematic map studies, and on-ground observations. The coastal characteristic of the Banten Bay and surrounding areas is dominated by the muddy coast with mangrove vegetation such as in Lontar, Pontang, Sawah Luhur, Kasemen, and Kramatwatu. Whilst, mixed rocky and sandy coasts occur on the west side of Banten bay such as in the Bojonegara industrial area. Some coasts, e.g. Bojonegara, have been modified becoming reclamation areas, ports, jetties, and other coastal structures. The coastal dynamics show significant morphological changes including at Tanjung Pontang due to abrasion, while at new Ciujung delta and Sawah Luhur were experiencing accretion. Sediment imbalances derived by the diversion of the Ciujung Lama River and mangrove area conversions are the main cause of the abrasion in Tanjung Pontang. The installation of the breakwater and hybrid engineering structures has been conducted for coastal protection but is considered to be less successful. Rehabilitation strategies by re-canalizing the Ciujung Lama River, installing submerge breakwaters, and planting mangroves are highly recommended to overcome the abrasion.

Keywords: dynamics, shoreline, Banten bay, abrasion, sediment transport.

Kontribusi:

Tubagus Solihuddin adalah sebagai kontributor utama pada artikel ini, sedangkan Joko Prihantono, Eva Mustikasar dan Semeidi Husrin adalah sebagai kontributor anggota.

PENDAHULUAN

Perairan Teluk Banten dan sekitarnya terletak di ujung barat Pantai Utara Jawa, merupakan bagian wilayah administrasi Kabupaten dan Kota Serang Provinsi Banten. Dimensi teluk berbentuk seperti mangkok dengan luas permukaan kira-kira 15 km panjang x 10 km lebar dan kedalaman laut rata-rata 7 m (Kusumah dkk., 2012). Endapan sedimen permukaan laut didominasi oleh lumpur yang berasal dari Sungai Ciujung (Solihuddin dkk., 2012). Kawasan teluk telah mengalami degradasi lingkungan yang cukup intensif dalam beberapa dekade terakhir ditandai dengan proses abrasi pantai di sekitar Tanjung Pontang (Hoitink & Hoekstra, 2003). Penyebab utama dari proses abrasi tersebut diduga karena berkurangnya suplai sedimen dari S. Ciujung Lama yang telah disodet ke arah timur sekitar tahun 1920an, sehingga perkembangan Delta Ciujung Lama terhenti dan terbentuk Delta Ciujung Baru di bagian timur (Hoitink & Hoekstra, 2003). Proses mundurnya garis pantai tersebut hingga sekarang masih terus berlangsung dan bertambah cepat dengan adanya alih fungsi lahan mangrove menjadi tambak di sekitar Tanjung Pontang dalam kurun waktu 1998–2008 (Solihuddin dkk., 2018). Selain itu, lajunya perkembangan kawasan industri dan permukiman di sekitar Bojonegara dibarengi dengan intensifnya pembangunan infrastruktur pantai dalam beberapa dekade terakhir, turut berkontribusi terhadap degradasi lingkungan pantai Perairan Teluk Banten dan sekitarnya (Solihuddin dkk., 2018).

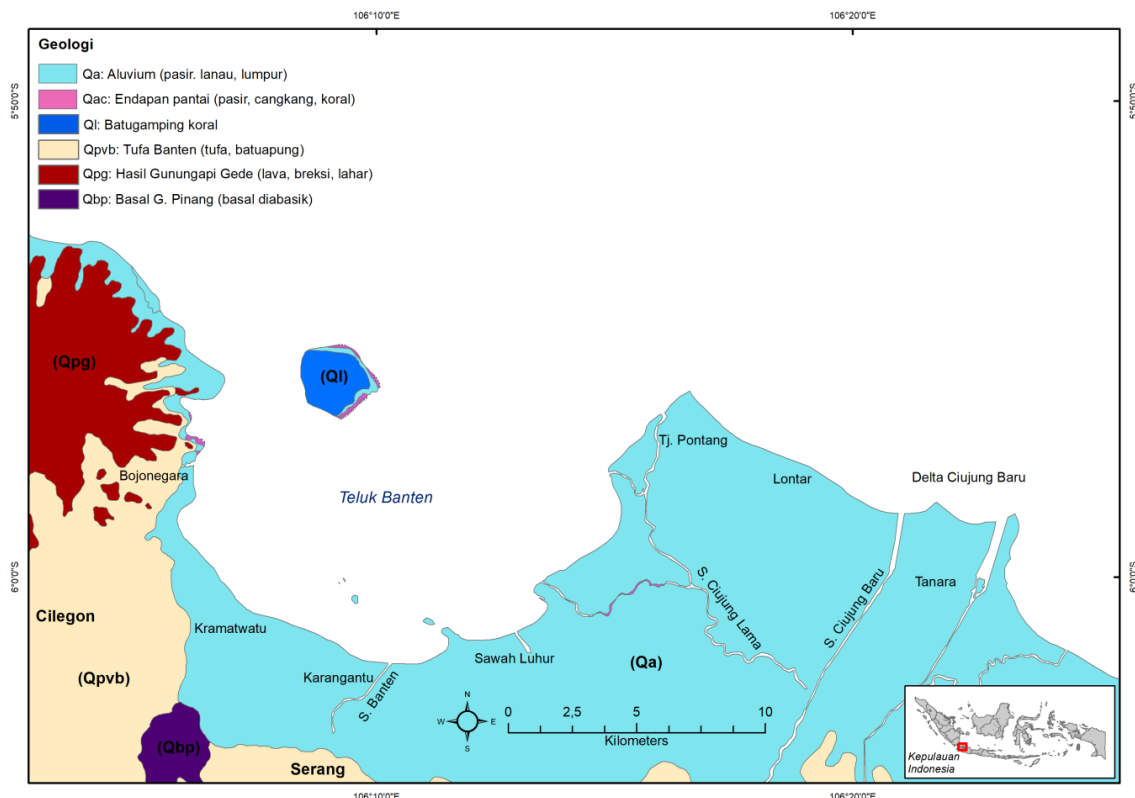
Kebutuhan akan studi ini muncul ketika Pemerintah Pusat melalui Direktorat Jenderal Penataan Ruang Laut (Dirjen PRL) Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) melakukan upaya pencegahan dan pengurangan dampak abrasi dengan memasang struktur pelindung pantai *Hybrid Engineering* (HE) di sekitar Perairan Tanjung Pontang mulai tahun 2017. Selain itu, pemasangan tanggul laut berupa tumpukan batu (*rock armors*) juga sudah dilakukan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (KPUPR) dari Pantai Lontar hingga Tanjung Pontang mulai tahun 2005. Namun demikian, proses abrasi masih terus berlangsung dan hingga sekarang masih belum teratasi. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan gambaran secara menyeluruh tentang lingkungan pantai Perairan Teluk Banten dan sekitarnya termasuk karakteristik dan perubahan garis pantai, dinamika transpor sedimen, dan batas sel pantai.

Beberapa peneliti terdahulu telah membahas Perairan Teluk Banten dan sekitarnya dari berbagai aspek, diantaranya adalah karakteristik hidrodinamika dan pemodelan transpor sedimen oleh Wisna dkk. (2015) dan Prihantono dkk. (2018), distribusi sedimen permukaan dasar laut oleh Helfinalis (2002) dan Kusumah dkk. (2012), konsentrasi suspensi sedimen oleh Solihuddin dkk. (2012), kontrol hidrodinamika terhadap suplai sedimen pada ekosistem terumbu karang di Teluk Banten oleh Hoitink & Hoekstra (2003), dampak penambangan pasir oleh pihak swasta dan aktivitas penambangan pasir ilegal oleh warga lokal menyebabkan kerusakan lingkungan pantai oleh Husrin dkk. (2014), dan morfodinamika Delta Ciujung Baru sebagai dampak penyodetan S. Ciujung Lama oleh Setyawan (2003).

Namun demikian, studi aplikatif tentang penanganan abrasi dan batas pengelolaan wilayah pesisir belum banyak dilakukan. Informasi tersebut sangat dibutuhkan oleh Pemerintah Daerah dalam melakukan penataan kawasan pesisir yang terintegrasi dengan pengurangan dampak risiko abrasi dan sedimentasi. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini secara rinci dapat diuraikan sebagai berikut: 1) mengidentifikasi perubahan dan morfodinamika pantai, 2) memahami transpor sedimen (sumber, perpindahan, pengendapan), 3) mengetahui karakteristik pantai (material, morfologi, pemanfaatan lahan, proses erosi-akresi), dan (4) menentukan batas sel pantai.

Tatanan regional daerah penelitian

Secara geologi, kawasan pesisir Teluk Banten dan Pantai Utara Jawa pada umumnya tersusun oleh endapan aluvial berupa pasir, lanau, dan lempung berumur Holosen (± 11.000 tahun terakhir) dengan permukaan relatif rendah dan datar (Gambar 1). Endapan tersebut umumnya belum terkompaksi dengan baik, tersebar luas pada dataran rendah aluvial dan pantai mulai dari Kramatwatu, Kasemen, Sawah Luhur, Pontang, Tirtayasa, hingga Tanara membentuk morfologi delta, estuari, rawa mangrove, dan dataran lumpur pasang surut (*tidal mudflat*). Sementara di kawasan pesisir Bojonegara (sisi barat Teluk Banten), material penyusunnya terdiri dari endapan erupsi gunungapi muda berupa lava, breksi, dan lahar yang membentuk morfologi perbukitan bergelombang di bagian pesisir (Rusmana dkk., 1991). Selain itu, Verstappen (1953, 1954) menyampaikan bahwa seluruh dataran aluvial pantai utara Jawa terbentuk pada



Gambar 1. Peta lokasi penelitian menunjukkan dominasi endapan aluvial di Perairan Teluk Banten dan sekitarnya berdasarkan Peta Geologi Lembar Serang (Rusmana dkk., 1991).

5.000 tahun terakhir atau mid-Holosen. Hipotesis tersebut didasarkan pada ekstrapolasi data evolusi garis pantai yang merupakan garis pantai tertua dalam sejarah geomorfologi dataran pesisir Pulau Jawa.

Secara oseanografi, pantai utara Jawa pada umumnya memiliki energi gelombang relatif rendah yang dibangkitkan oleh angin lokal dan dipengaruhi oleh angin musim (Muliati dkk., 2018; Siregar dkk., 2017; Bird & Ongkosongo, 1980). Tipe pasang surut umumnya campuran condong ke harian tunggal (*Mixed tide prevailing diurnal*) dimana terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari, namun di beberapa tempat dijumpai tipe pasang surut campuran condong harian ganda yaitu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan rata-rata jangka pasut umumnya 1 m (Rustam dkk., 2013; Gordon dkk., 2010; Ray dkk., 2005). Pola sirkulasi arus permukaan juga dipengaruhi oleh sistem angin musim yang berubah secara periodik. Pada musim barat (Desember–Januari), pola arus permukaan Laut Jawa dominan mengalir ke arah timur dengan nilai rata-rata kecepatan berkisar 0,28–0,37 m/detik. Pada musim timur (Juni–Agustus), pola arus permukaan dominan menuju ke arah barat dengan nilai rata-rata kecepatan berkisar 0,04–0,28 m/detik. Arah arus yang berlawanan ini berpengaruh

terhadap perubahan salinitas air permukaan di Laut Jawa yang berkisar dari 30 PSU (practical salinity unit) pada musim barat dan 35 PSU pada musim timur (Siregar dkk., 2017; Rustam dkk., 2013; Gordon dkk., 2010; Ray dkk., 2005).

METODE PENELITIAN

a. Data spasial

Data spasial yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah citra Landsat multi-waktu (1998, 2008, dan 2018) resolusi 30 m yang diakses melalui situs <http://glovis.usgs.gov/> (diunduh pada bulan Juli 2018), peta LPI (Lingkungan Perairan Indonesia) Lembar Serang, skala 1:50.000 diterbitkan oleh BIG tahun 1999 diakses melalui situs <http://big.go.id/> (diunduh pada bulan Maret 2019), Peta Geologi Lembar Serang (Rusmana dkk., 1991), dan Peta AMS (*Army Map Service*) Lembar Serang, Tanjung Pontang, dan Lontar, skala 1:50.000 terbitan *the Netherland* tahun 1942 diakses melalui situs <http://www.lib.utexas.edu/maps/ams/> (diunduh pada bulan April 2019). Seluruh data tersebut dikoreksi secara geometrik terhadap sistem koordinat geografis dan datum WGS 84.

b. Pengolahan data

• Digitasi

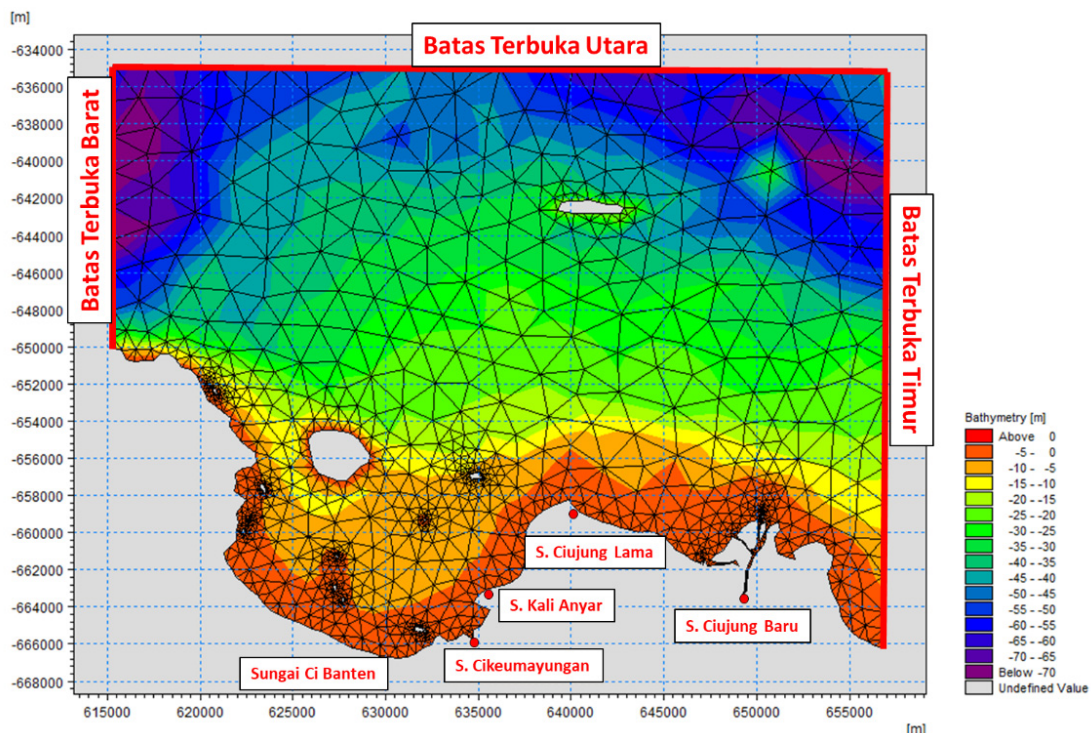
Digitasi garis pantai dilakukan dari data citra Landsat, Peta LPI, dan Peta AMS yang sudah terkoreksi geometrik (RMS error ≤ 1 pixel) untuk memperoleh 1 (satu) set data vektor yang kemudian digunakan untuk melakukan analisis perubahan garis pantai. Seluruh proses digitasi menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.1 dan dataset garis pantai yang dianalisis periode tahun 1942–1999 dan 1998–2018.

• DSAS (*digital shoreline analysis system*)

Analisis perubahan garis pantai dalam kurun waktu 1998-2018 dilakukan dengan menggunakan teknik DSAS (*digital shoreline analysis system*). Teknik ini merupakan program tambahan dari paket program ArcGIS yang dikembangkan oleh (Thieler dkk., 2011). Komponen yang sangat penting dalam DSAS adalah garis pantai, garis dasar (*baseline*), dan garis transek yang menjadi data input untuk pemrosesan lebih lanjut. Hasil akhir analisis DSAS menunjukkan laju dan total perubahan garis pantai dalam periode waktu tertentu.

• Pemodelan hidrodinamika dan transpor sedimen

Domain model hidrodinamika dan transport sedimen pada penelitian ini menggunakan tiga batas terbuka (timur, utara, dan barat) (Gambar 2). Pada batas terbuka tersebut terjadi perubahan elevasi muka air secara *time series* yang diperoleh dari prediksi pasang surut menggunakan *Tide Prediction of Heights* dari *MIKE 21 Toolbox* (Tabel 1). Batas terbuka untuk input material transpor sedimen di 5 titik muara sungai (Tabel 1). Simulasi dilakukan untuk musim barat dan musim timur. *Mesh* yang digunakan adalah *mesh* elemen segitiga (*triangular element*) dengan pendekatan konstruksi *flexible mesh* (Symonds dkk, 2016). *Mesh* di perairan sekitar garis pantai mempunyai resolusi yang lebih bagus dari pada di perairan yang jauh dari garis pantai. Maksimum luas area elemen mesh berdasarkan cakupan daerah penelitian adalah 3.100.000 m², Sudut minimum elemen *mesh* 26 derajat dengan jumlah maksimum simpul (*nodes*) 100.000. Desain input pemodelan ini ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Domain model hidrodinamika dan transport sedimen Teluk Banten dan sekitarnya. Terdiri dari tiga batas terbuka (timur, utara, barat) dan menggunakan mesh segitiga fleksibel.

Tabel 1. Parameter Setup Pemodelan Hidrodinamika dan Transpor Sedimen di Teluk Banten dan Sekitarnya pada Musim Barat dan Musim Timur

Parameter	Diterapkan pada simulasi Musim Timur	Diterapkan pada simulasi Musim Barat
HD Module		
<i>Mesh</i>	Elemen Segitiga, flexible mesh	Segitiga
<i>Bathymetry</i>	Hasil interpolasi <i>mesh</i>	Hasil interpolasi <i>mesh</i>
<i>Simulation Period</i>	<i>No. of timestep</i> = 262080 <i>Time Step Interval</i> = 30 s <i>Simulation start date</i> = 01/06/2018 <i>Simulation end date</i> = 31/08/2018	<i>No. of timestep</i> = 256320 <i>Time Step Interval</i> = 30 s <i>Simulation start date</i> = 01/12/2018 <i>Simulation end date</i> = 28/02/2019
<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	<i>Drying depth</i> = 0,005 m <i>Flooding Depth</i> = 0,05 m <i>Wetting Depth</i> = 0,1 m
<i>Bed Resistance</i>	<i>Manning</i> = 28 m ^{1/3} (konstan)	<i>Manning</i> = 28 m ^{1/3} (konstan)
<i>Wind Forcing</i>	<i>Varying in time, constant in Domain</i>	<i>Varying in time, constant in Domain</i>
<i>Initial Condition</i>	0 m	0 m
<i>Boundary condition</i>	Hasil Prediksi Tiap <i>Boundary</i>	Hasil Prediksi Tiap <i>Boundary</i>
SW Module		
<i>Wind Forcing</i>	Varying in time, constant in domain data angin : NOAA-NCDC 01/06/2018 – 31/08/2018	Varying in time, constant in domain data angin : NOAA-NCDC 01/12/2018 – 28/02/2019
MT Module		
<i>Parameter Selection</i>	Number of Fraction = 1 Number of Layers = 1	Number of Fraction = 1 Number of Layers = 1
<i>Water Column Param</i>	Fraction 1: <i>Settling Velocity Coef</i> = 0,25 m/s <i>Critical Shear Stress</i> = 0,07 N/m ²	Fraction 1: <i>Settling Velocity Coef</i> = 0,25 m/s <i>Critical Shear Stress</i> = 0,07 N/m ²
<i>Bed Parameter</i>	Layer 1 : <i>Erosion description</i> = Hard mud <i>Erosion coef</i> = 5x10 ⁻⁵ kg/m ² /s (konstan) <i>Critical shear stress</i> = 0,2 N/m ² (konstan) <i>Power of erosion</i> = 1 <i>Density of Bed Layer</i> = 400 kg/m ³ (konstan) <i>Bed Roughness</i> = 0,001 m (konstan)	Layer 1 : <i>Erosion description</i> = Hard mud <i>Erosion coef</i> = 5x10 ⁻⁵ kg/m ² /s (konstan) <i>Critical shear stress</i> = 0,2 N/m ² (konstan) <i>Power of erosion</i> = 1 <i>Density of Bed Layer</i> = 400 kg/m ³ (konstan) <i>Bed Roughness</i> = 0,001 m (konstan)
<i>Forcing</i>	Hasil SW Module dan HD Module	Hasil SW Module dan HD Module
<i>Initial Condition</i>	Fraction 1 <i>Fraction concentration</i> = 0 kg/m ³ (konstan) Layer 1 <i>Layer thickness</i> = 1 m di sekitar Teluk Banten dan utara pesisir Pontang, Lontar, Ciujung Baru. Di laut dalam (utara P. Panjang) = 0 m. <i>Fraction Distribution</i> = 100	Fraction 1 <i>Fraction concentration</i> = 0 kg/m ³ (konstan) Layer 1 <i>Layer thickness</i> = 1 m di sekitar Teluk Banten dan utara pesisir Pontang, Lontar, Ciujung Baru. Di laut dalam (utara P. Panjang) = 0 m. <i>Fraction Distribution</i> = 100
<i>Source</i>	Konsentrasi Fraction 1 (konstan): Ciujung Lama = 0,1 kg/m ³ Ciujung Baru = 0,163 kg/m ³ Cikeumayungan = 0,1 kg/m ³ Kali Anyar = 0,1 kg/m ³ Cibanten = 0,14 kg/m ³	Konsentrasi Fraction 1 (konstan): Ciujung Lama = 0,1 kg/m ³ Ciujung Baru = 0,163 kg/m ³ Cikeumayungan = 0,1 kg/m ³ Kali Anyar = 0,1 kg/m ³ Cibanten = 0,14 kg/m ³

Sumber: Pengolahan data (2019)

Pemodelan hidrodinamika dilakukan menggunakan perangkat lunak *MIKE 21 Flow Model Flexible Mesh* mengikuti modul *Hydrodynamic* (HD). Modul *Spectral Wave* (SW) digunakan untuk pemodelan gelombang, sedangkan modul *Mud Transport* (MT) digunakan untuk pemodelan transpor sedimen. *Output* dari modul SW dijadikan input untuk modul HD dan MT. Modul HD dan MT selanjutnya dijalankan bersamaan sehingga diperoleh hasil pola hidrodinamika dan transpor sedimen pada kolom air dan proses erosi-sedimentasi di dasar laut (Kusuma dkk., 2018). Analisis transpor sedimen dilakukan dengan melihat sebaran sedimen layang dan perubahan sedimen dasar laut di sekitar garis pantai (Tanto *et al.*, 2017). Jika dasar laut mengalami erosi maka di sekitar pantai dianggap mengalami erosi, begitu juga sebaliknya jika dasar laut mengalami sedimentasi maka di sekitar pantai dianggap mengalami sedimentasi.

c. Tinjauan lapangan

- **Karakteristik pantai**

Identifikasi karakteristik garis pantai dilakukan dengan cara observasi langsung (*groundtruth*) dibantu dengan analisis citra Landsat dan *google earth* pada lokasi tertentu mengikuti metode Dolan (1975). Metode ini dipilih karena sangat praktis diaplikasikan pada wilayah pesisir yang mendeskripsikan kondisi pantai secara alamiah mencakup informasi geologi (jenis material), relief (morfologi), karakteristik pantai, dan proses abrasi-akresi. Penamaan unit garis pantai berdasarkan pada bentuk dan konstituen utama seperti “berpasir”, “berlumpur”, atau “berbatu”. Sedangkan informasi sekunder dinyatakan dengan karakteristik morfologi seperti “bertebing”, “berteras”, dan lainnya. Pemilihan lokasi survey dilakukan berdasarkan tingkat keterwakilan karakteristik pantai tertentu.

- **Batas sel pantai**

Batas sel pantai diasumsikan sebagai batas pantai dimana terdapat masukan (*input*), perpindahan (*drift*), penyimpanan (*sink*), dan pengurangan (*output*) material sedimen sehingga tercapai keseimbangan. Penentuan batas sel pantai (*coastal cell*

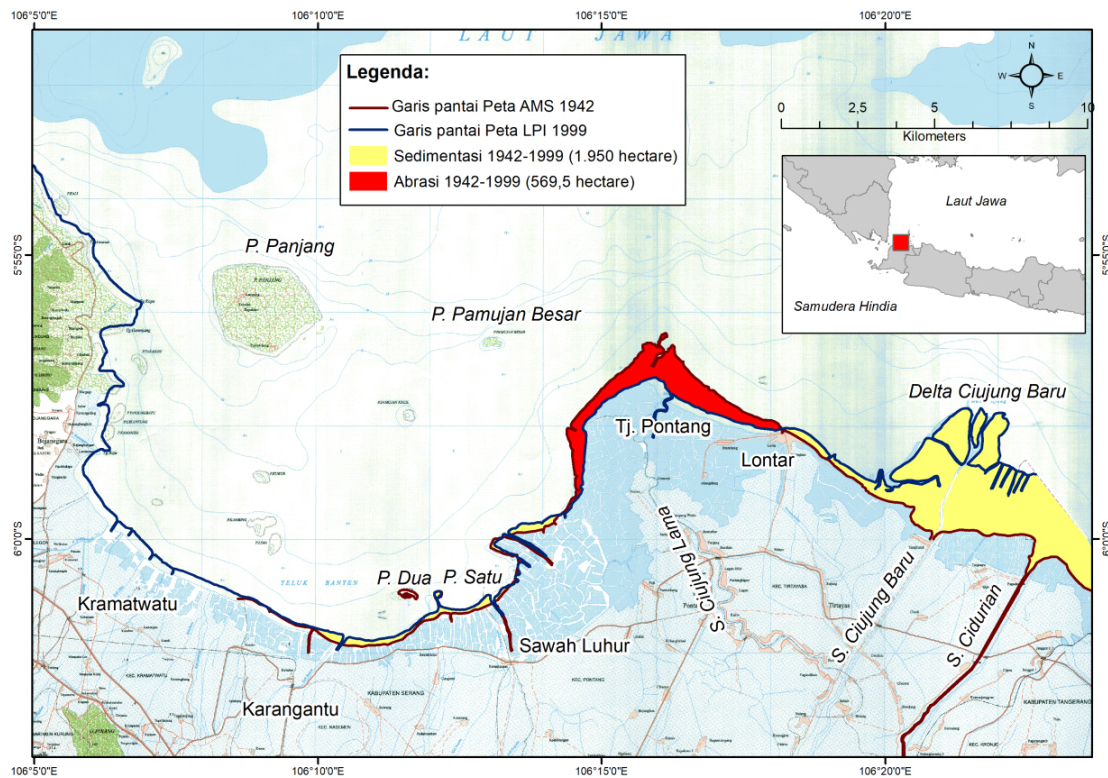
boundary) Perairan Teluk Banten dan sekitarnya mengikuti metode Carter (1988) yang dimodifikasi sebagai berikut:

1. Batas sel pantai statis jika keberadaannya stabil antara 20 hingga 100 tahun seperti tanjung batu (*rocky headland*) dan bangunan struktur pantai yang menjorok ke laut sampai pada kedalaman tertentu.
2. Batas sel pantai dinamis jika posisinya dapat berubah mengikuti karakteristik gelombang datang atau arah angin, terdiri dari:
 - i. Batas dinamis divergen (*divergent*) jika arah transpor sedimen saling menjauh seperti pada morfologi delta dan estuari.
 - ii. Batas dinamis konvergen (*convergent*) ketika arah sedimen saling mendekat seperti pada morfologi tombolo dan tanah muka kuspaa.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Perubahan Garis Pantai

Berdasarkan perbandingan morfologi pantai hasil digitasi Peta AMS tahun 1942 dan Peta LPI tahun 1999, perubahan morfologi signifikan terjadi di sekitar Sawah Luhur, Tanjung Pontang, dan Delta Ciujung Baru. Pada tahun 1942, Pulau Satu dan Pulau Dua di sekitar Sawah Luhur masih terpisah dari daratan utama dan Delta Ciujung Baru di sebelah timur masih belum terbentuk (Gambar 3). Sedangkan pada tahun 1999, Pulau Satu sudah mulai tersambung dengan daratan utama dan Pulau Dua masih terpisah. Dalam kurun waktu 1942–1999 (57 tahun), di sekitar Tanjung Pontang terjadi erosi pantai yang cukup intensif menyebabkan mundurnya garis pantai dan kehilangan daratan sekitar $\pm 569,5$ hektar (Gambar 3). Selain itu, di sekitar muara S. Ciujung Baru telah terbentuk delta sehingga menyebabkan majunya garis pantai dan menambah daratan seluas ± 1.950 hektar (Gambar 3). Saat ini, Pulau Dua di sekitar Sawah Luhur sudah tersambung dengan daratan utama membentuk morfologi tombolo dan pertumbuhan Delta Ciujung Baru semakin intensif. Terbentuknya tombolo tersebut menunjukkan adanya proses akresi yang cukup intensif karena tombolo terbentuk oleh adanya pertemuan 2 (dua) arus sejajar pantai (*longshore current*) yang membawa muatan sedimen membentuk arus tegak lurus pantai (*rip current*)



Gambar 3. Perubahan morfologi dan garis pantai Teluk Banten dan sekitarnya berdasarkan perbandingan peta LPI tahun 1999 dan peta AMS tahun 1942 setelah sebelumnya dilakukan transformasi peta terhadap sistem koordinat geografis dan datum WGS 84.

(Komar, 1998). Sedangkan di Tanjung Pontang, proses abrasi pantai masih terus berlangsung ditandai dengan perubahan morfologi tanjung akibat abrasi (Gambar 3).

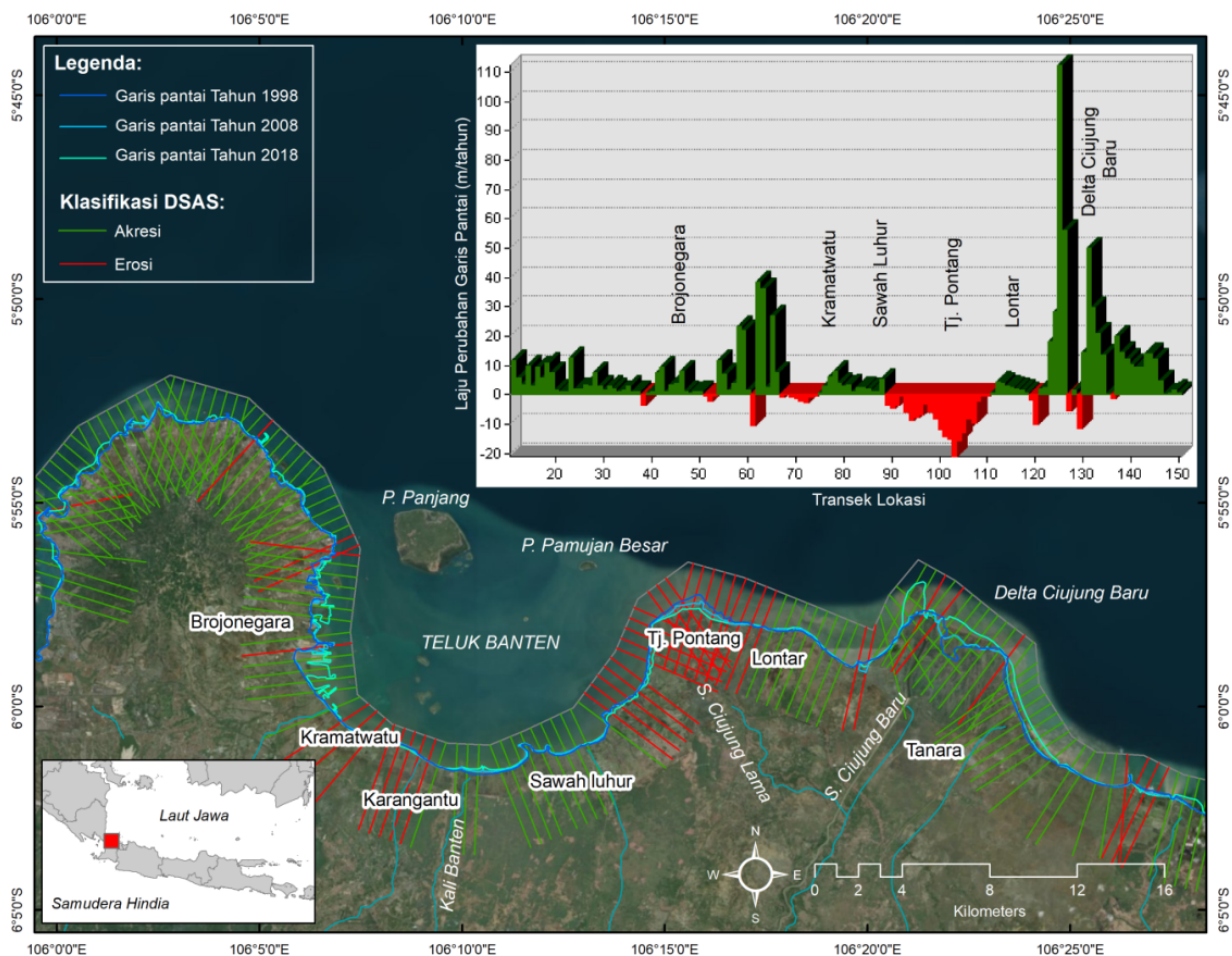
Berdasarkan hasil analisis perubahan garis pantai menggunakan teknik DSAS dalam kurun waktu 2 (dua) dekade terakhir (1998–2018), perubahan mencolok terjadi di sekitar Delta Ciujung Baru dengan laju kemajuan garis pantai tertinggi sebesar +112 m/tahun dan Tanjung Pontang dengan laju kemunduran garis pantai tertinggi sekitar -20 m/tahun (Gambar 4). Terbentuknya morfologi tombolo di sekitar Sawah Luhur juga menunjukkan proses akresi yang cukup intensif di daerah ini dengan laju kemajuan garis pantai rata-rata sebesar +5 m/tahun. Sementara majunya garis pantai di Bojonegara hingga mencapai +38 m/tahun lebih disebabkan oleh aktifitas pembangunan infrastruktur dan reklamasi pantai sebagai dampak dari pengembangan kawasan industri di daerah ini. Selain di Tanjung Pontang, proses mundurnya garis pantai juga dapat dijumpai di Kramatwatu dengan laju kemunduran garis pantai tertinggi sekitar -5 m/tahun (Gambar 4).

Morfodinamika pantai terjadi secara signifikan di Delta Ciujung Baru (sedimentasi) dan Tanjung Pontang (abrasi) menunjukkan bahwa penyodetan

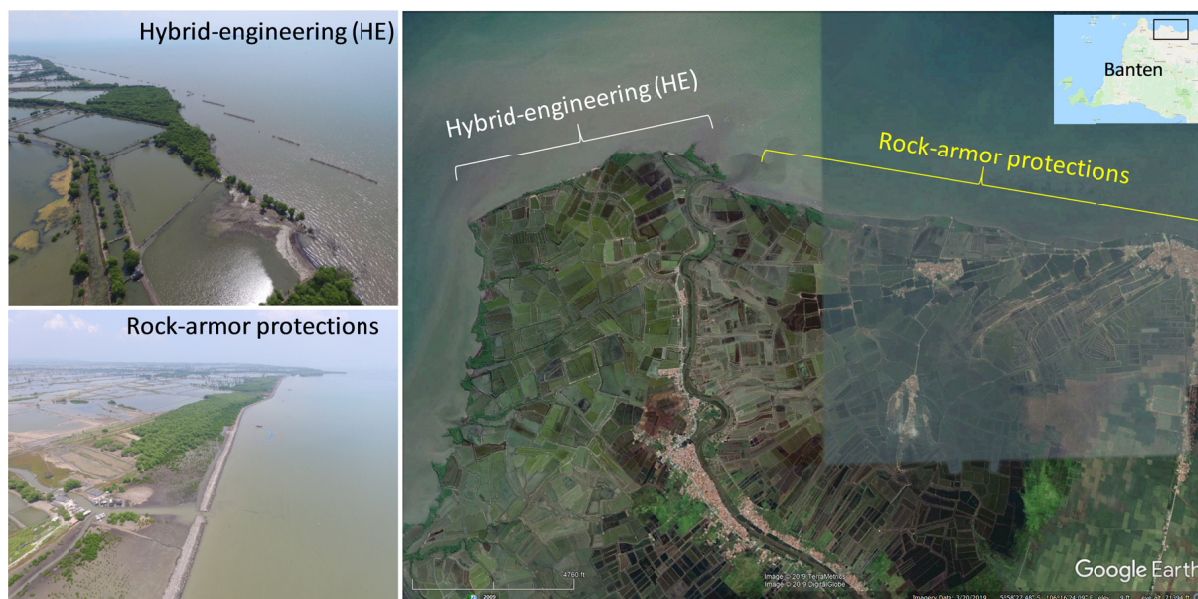
S. Ciujung Lama sekitar tahun 1927 oleh Belanda memiliki dampak yang signifikan terhadap dinamika pesisir. Penyodetan tersebut telah mengurangi debit air dan sedimen S. Ciujung Lama yang bermuara di Tanjung Pontang sehingga terjadi ketidakseimbangan sedimen (*sediment imbalance*) yang menyebabkan proses abrasi (Hoitink dkk., 2003; Setyawan, 2003). Sebaliknya, penyodetan tersebut telah mengalihkan sebagian besar debit air dan sedimen ke S. Ciujung Baru dibuktikan dengan pertumbuhan delta di sekitar muara S. Ciujung Baru. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian Setyawan (2003) yang menyampaikan bahwa telah terjadi pertumbuhan Delta Ciujung Baru sekitar 2,5 km dalam kurun waktu 18 tahun sebagai dampak penyodetan S. Ciujung Lama pada tahun 1927, sedangkan garis pantai di sekitar muara sebelumnya (Tanjung Pontang) mengalami abrasi.

Abrasi Tanjung Pontang

Penyebab lain yang mempercepat proses abrasi di Tanjung Pontang adalah alih fungsi lahan mangrove menjadi tambak yang mulai intensif sekitar tahun 1980an (Solihuddin dkk., 2018). Upaya perlindungan pantai (*breakwater*) di sepanjang Pantai Lontar hingga muara S. Ciujung Lama belum menyelesaikan masalah abrasi (Gambar 5). Selain berbiaya mahal, keberadaan



Gambar 4. Laju perubahan garis pantai di Teluk Banten dan sekitarnya berdasarkan data citra Landsat tahun 1998, 2008, dan 2018 yang diolah menggunakan teknik DSAS.



Gambar 5. Lokasi pemasangan struktur breakwater dengan tumpukan batu (rock-armor protection) dan HE di pantai Tanjung Pontang dan Lontar.

breakwater tersebut menimbulkan difraksi gelombang sehingga hanya memindahkan lokasi abrasi ke lokasi sekitarnya sebagai dampak dari perubahan hidrodinamika (Achiari dkk., 2015). Menempatkan struktur pelindung pantai keras (*hard structural measures*) sebagai respon terhadap proses abrasi dinilai dapat menghambat perpindahan sedimen sejajar pantai sehingga terjadi penumpukan sedimen di satu sisi struktur dan menyebabkan abrasi di sisi lain (Marfai, 2012). Dengan demikian, adanya *breakwater* yang terbangun lebih dari 4 km, namun proses abrasi masih tetap berlangsung terutama di lokasi-lokasi tanpa *breakwater* seperti di Tanjung Pontang.

Penempatan struktur HE di Tanjung Pontang juga dianggap kurang efektif selama permasalahan ketidakseimbangan sedimen belum teratasi. Berdasarkan hasil survey lapangan, struktur HE telah rusak dan belum efektif menghasilkan akumulasi sedimen, serta pohon mangrove di bagian belakang struktur HE banyak yang tumbang diterjang gelombang (Foto 1). Hal tersebut terjadi karena beberapa faktor, diantaranya: a) struktur HE berhadapan langsung dengan gelombang tinggi, terutama pada saat musim barat dimana gelombang yang dibangkitkan lebih besar dan berlangsung lebih lama dibanding saat musim timur (Wicaksana dkk., 2015), b)

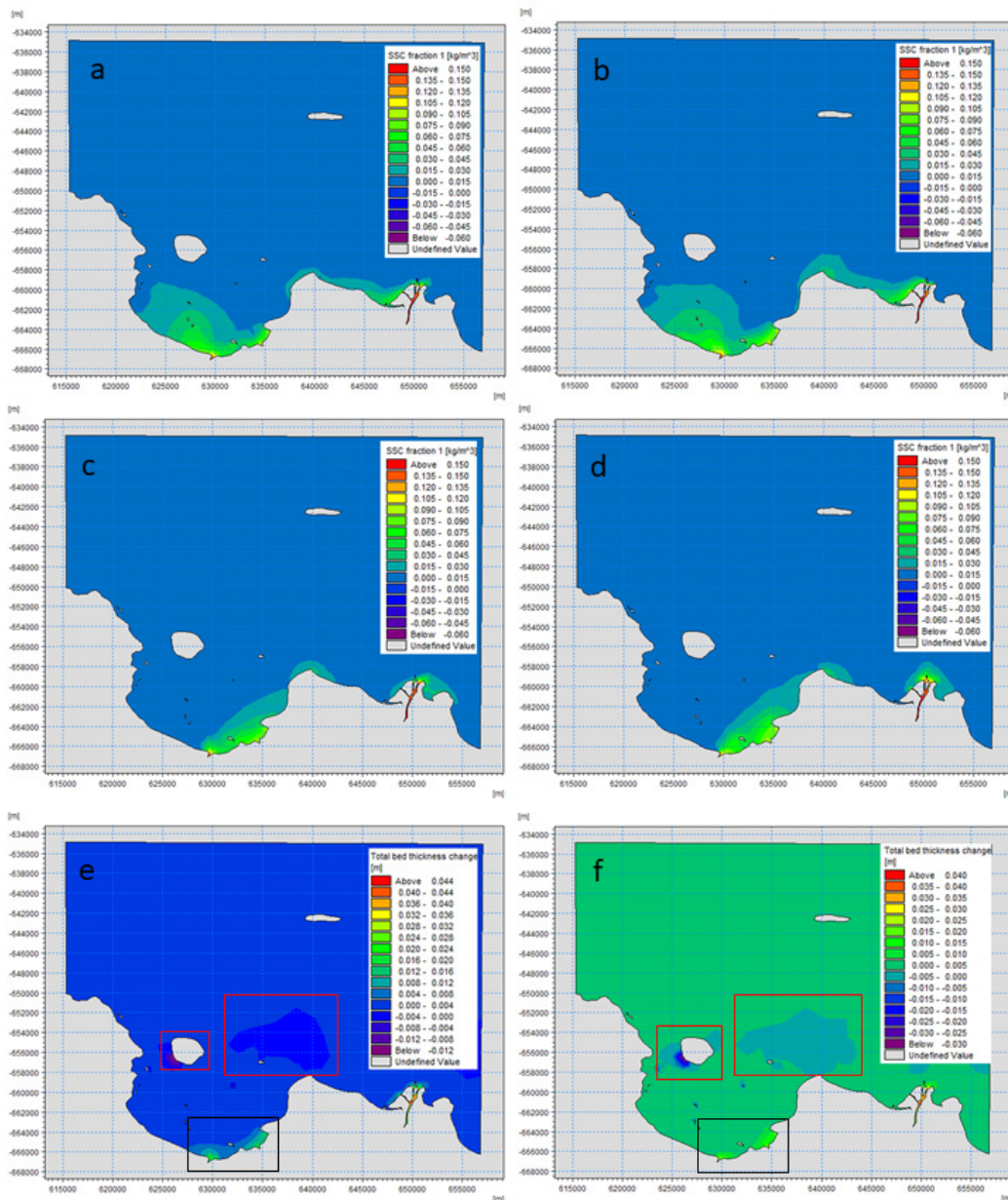
pasokan sedimen dari S. Ciujung Lama sangat kecil, c) batang-batang bambu dan ranting pengisi struktur HE mudah terdisintegrasi oleh gelombang dan arus, dan d) kurangnya pemeliharaan serta perawatan. Alternatif solusi yang ditawarkan melalui penelitian ini adalah: 1) dibukanya kembali sodetan S. Ciujung Lama sehingga debit air dan sedimen menuju muara di Tanjung Pontang meningkat, 2) perencanaan yang lebih matang dan penempatan struktur HE yang lebih tepat, dan 3) mengkaji ulang aspek strategis kawasan yang terkena dampak abrasi dari sisi sosial, ekonomi, dan lingkungan.

Transpor sedimen

Berdasarkan hasil pemodelan transpor sedimen layang pada kondisi pasang purnama (Gambar 6a) dan surut purnama (Gambar 6b) saat musim timur, terlihat bahwa sedimen yang berasal dari sungai dengan fraksi 0,1 - 0,15 kg/m³ cenderung melayang di sekitar muara, sedangkan sedimen dengan fraksi 0,45 - 0,1 kg/m³ cenderung melayang di sekitar pantai dominan bergerak ke arah barat. Begitu juga dengan hasil pemodelan sebaran sedimen layang pada kondisi pasang purnama (Gambar 6c) dan surut purnama (Gambar 6d) saat musim barat, terlihat bahwa sedimen yang berasal dari sungai dengan fraksi 0,1 - 0,15 kg/m³



Foto 1. Kondisi struktur HE dan mangrove di Perairan Tanjung Pontang pada April 2019 menunjukkan rusaknya struktur HE dan tumbangnya pohon mangrove akibat gelombang.



Gambar 6. Pola sebaran konsentrasi sedimen di lokasi penelitian pada kondisi: (a-b) pasang dan surut purnama musim timur, (c-d) pasang dan surut purnama musim barat. Pola erosi (kotak merah) dan sedimentasi (kotak hitam) di dasar laut pada saat: (e) musim timur dan (f) musim barat.

cenderung melayang di sekitar muara, sedangkan sedimen dengan fraksi $0,03 - 0,1 \text{ kg/m}^3$ cenderung melayang di sekitar pantai dominan bergerak ke arah timur. Dengan demikian, berdasarkan hasil pemodelan transpor sedimen, dapat dikatakan bahwa kekeruhan selalu terjadi di perairan Teluk Banten dan sekitarnya pada kedua musim barat dan timur karena dipengaruhi oleh suplai sedimen yang tinggi dari sungai.

Sementara berdasarkan hasil analisis perubahan dasar laut pada musim timur (Gambar 6e), tidak menunjukkan adanya perubahan yang signifikan, sedimentasi terjadi di sekitar muara

sungai dengan total perubahan dasar laut $0,01 - 0,04 \text{ m}$, sedangkan erosi terjadi di sebelah baratdaya Pulau Panjang dan utara Tanjung Pontang dengan total perubahan dasar laut hingga $-0,012 \text{ m}$. Berbeda dengan saat musim timur, pada musim barat menunjukkan adanya sedimentasi di sekitar muara sungai dengan total perubahan dasar laut $0,005 - 0,04 \text{ m}$, sedangkan erosi terjadi di daerah terbuka terhadap gelombang seperti di Tanjung Pontang, bagian barat dan utara Pulau Panjang dengan total perubahan dasar laut hingga $-0,03 \text{ m}$ (Gambar 6f). Pola erosi dan sedimentasi dasar laut pada musim barat dan musim timur

menunjukkan pola yang sama, namun dengan intensitas yang berbeda. Pada musim barat, intensitas erosi lebih kuat dibandingkan dengan musim timur. Hal ini terjadi, karena pada musim barat kecepatan angin bertiup lebih besar (> 20 m/s) dan durasinya lebih lama dibanding saat musim timur, sehingga membangkitkan gelombang yang lebih besar dan berlangsung lebih lama (Prihantono dkk., 2018).

Karakteristik pantai

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, karakteristik pantai Perairan Teluk Banten dan sekitarnya dibedakan menjadi 2 (dua) tipe, diantaranya: a). Campuran pantai berbatu dan berpasir, dan b). Pantai berlumpur. Secara detail karakteristik pantai tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

- **Campuran pantai berbatu dan berpasir (*mixed rocky and sandy coast*)**

Karakteristik campuran pantai berbatu dan berpasir terdapat di bagian barat Perairan Teluk Banten tepatnya di kawasan Bojonegara (Gambar 7). Campuran pantai berbatu dan berpasir tersebut dibatasi oleh morfologi perbukitan bergelombang di bagian pesisir sekitar ± 1 km dari garis pantai dengan batuan penyusun endapan gunungapi muda

berumur Kuartar ($\pm 1,8$ juta tahun terakhir) terdiri dari lava, breksi, dan lahar (Rusmana dkk., 1991). Batuan penyusun pantai tersebut terdiri dari batuan vulkanik berukuran kerikil hingga bongkah dan pasir berukuran sedang hingga kasar. Karakteristik pantai ini memiliki resistensi sedang hingga tinggi terhadap gelombang. Pemanfaatan lahan di pesisir berupa kawasan industri, dermaga, pelabuhan, dan jeti yang digunakan untuk membantu arus lalu-lintas kapal pengangkut selain dimanfaatkan penduduk untuk permukiman.

- **Pantai berlumpur (*muddy coast*)**

Pantai berlumpur merupakan penyusun utama karakteristik pantai di Perairan Teluk Banten dan sekitarnya, tersebar terutama di Kramatwatu, Karangantu, Sawah Luhur, Pontang, Lontar, hingga Delta Ciujung Baru (Gambar 7). Secara geologi, pantai berlumpur terdiri dari lempung dan lanau, tidak padat, berwarna coklat kehitaman hingga hitam, memiliki resistensi rendah terhadap gelombang. Material sedimen diperkirakan berasal dari S. Ciujung dan anak cabangnya dan tersebar di sepanjang pantai oleh arus sejajar pantai (Kusumah dkk., 2012). Ekosistem mangrove terutama jenis *Avicenia marina* dan *Rhizophora apiculata* tumbuh pada substrat lumpur terutama



Gambar 7. Peta karakteristik pantai Perairan Teluk Banten dan sekitarnya menunjukkan kondisi geologi, morfologi, dan pemanfaatan lahan pesisir.

pada daerah estuari dengan ketebalan hingga ± 1 km ke arah darat. Rataan lumpur pasut (*tidal mudflat*) juga dijumpai di sekitar garis pantai pada saat air laut surut. Morfologi pesisir berupa dataran pantai (*coastal plain*) yang luas dimanfaatkan penduduk sebagai lahan tambak ikan bandeng dan udang. Proses pantai dominan adalah proses fluvial (akresi), ditandai dengan cepatnya laju sedimentasi dan pembentukan morfologi delta.

• **Batas sel pantai**

Berdasarkan batas morfologi pantai, proses hidrodinamika Perairan Teluk Banten dan sekitarnya dibagi menjadi 3 zona sel pantai terdiri dari: a) statis, b) dinamis divergen, dan c) dinamis konvergen. Secara detail batas sel pantai, sumber dan arah perpindahan sedimen dijelaskan sebagai berikut (Gambar 8):

• **Sel pantai 1: Bojonegara – Sawah Luhur**

Karakteristik pantai didominasi oleh campuran pantai berbatu dan berpasir di Bojonegara dan pantai berlumpur di Sawah Luhur. Sumber sedimen utama berasal dari Kali Banten dan sungai-sungai lainnya seperti Kali Serdang,

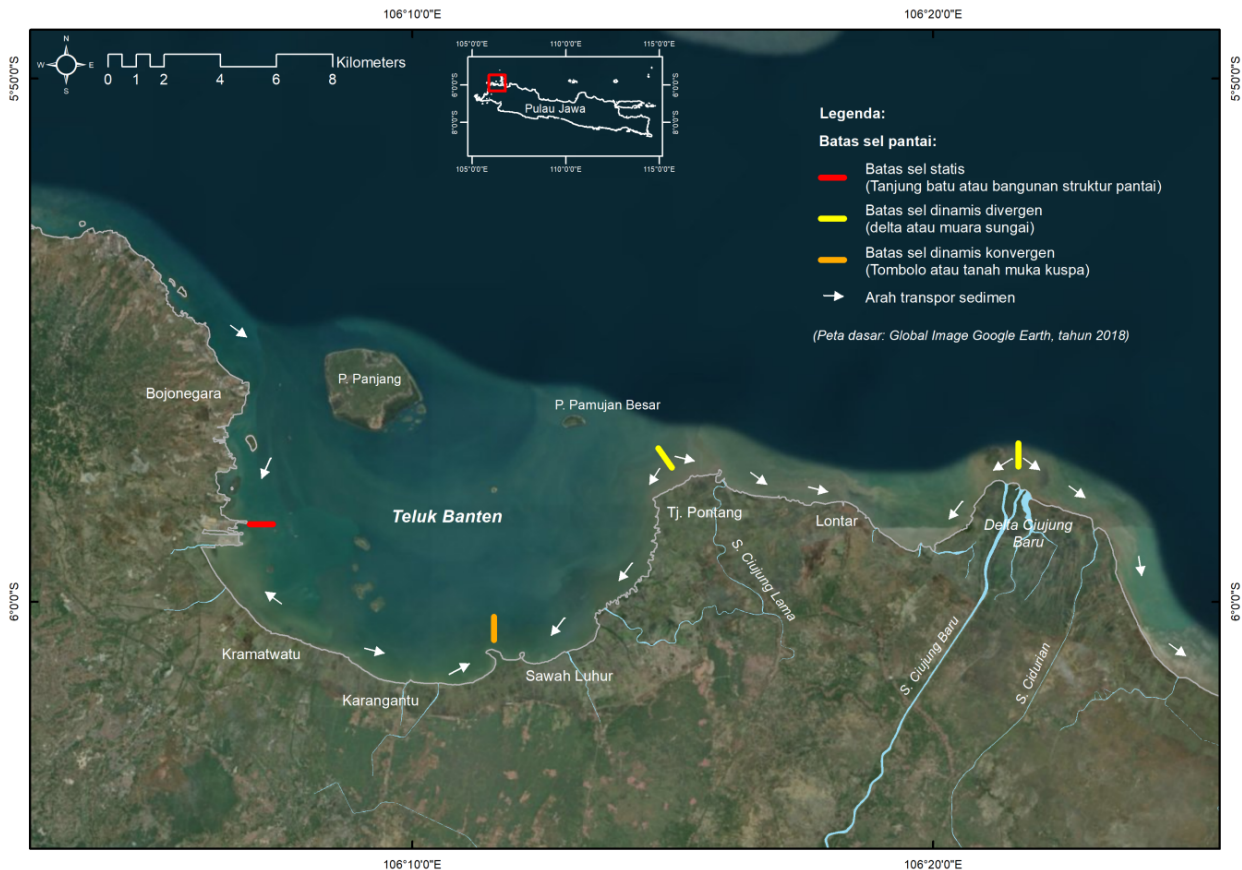
Kesuban, dan Jamblang. Berdasarkan hasil analisis pemodelan transpor sedimen (Gambar 6), arah perpindahan sedimen pantai cenderung ke arah timur menuju Sawah Luhur sehingga terbentuk morfologi tombolo di sekitar Pulau Dua (Gambar 3). Hal tersebut sesuai dengan pola arus di Teluk Banten yang dipengaruhi oleh pasang surut dengan pergerakan arus cenderung mengikuti morfologi Teluk Banten Wisna dkk. (2015) dan Prihantono dkk. (2018).

• **Sel pantai 2: Sawah Luhur – Tanjung Pontang**

Karakteristik pantai didominasi oleh pantai berlumpur yang sebagian besar ditumbuhi vegetasi mangrove. Sumber sedimen utama berasal dari Kali Anyar dan pengikisan pantai Tanjung Pontang. Arah perpindahan sedimen pantai cenderung ke arah baratdaya menuju ke tombolo Sawah Luhur.

• **Sel pantai 3: Tanjung Pontang – Delta Ciujung Baru**

Karakteristik pantai didominasi oleh pantai berlumpur yang sebagian besar ditumbuhi



Gambar 8. Peta batas sel pantai Perairan Teluk Banten dan sekitarnya menunjukkan sumber dan arah pergerakan sedimen berdasarkan hasil analisis pemodelan transpor sedimen (Gambar panah tidak berskala, hanya menunjukkan arah transpor sedimen).

mangrove namun telah mengalami alih fungsi lahan menjadi tambak. Terdapat juga struktur pelindung pantai berupa HE di sekitar Tanjung Pontang dan *breakwater* di sepanjang Pantai Lontar hingga Tanjung Pontang (Gambar 5). Sumber sedimen utama berasal dari S. Ciujung Baru dan pengikisan pantai Tanjung Pontang. Arah perpindahan sedimen cenderung menuju ke 2 (dua) arah: dari S. Ciujung Baru menuju ke arah barat dan dari Tanjung Pontang bergerak ke arah timur (Gambar 8).

KESIMPULAN

Abrasi merupakan permasalahan utama yang terjadi di Perairan Teluk Banten dan sekitarnya khususnya di Tanjung Pontang. Ketidakseimbangan sedimen yang dipicu oleh sodetan Sungai Ciujung Lama menjadi faktor utama yang memiliki dampak signifikan terhadap proses abrasi. Selain itu, masifnya alih fungsi lahan mangrove menjadi tambak memicu proses abrasi di Tanjung Pontang. Upaya perlindungan pantai yang telah dilakukan dengan menempatkan struktur *breakwater* di Pantai Lontar dan *Hybrid Engineering* di Tanjung Pontang dinilai kurang efektif dalam menahan laju abrasi dan mengakumulasi sedimen. Alternatif solusi yang direkomendasikan adalah membuka aliran air Sungai Ciujung Lama agar terjadi keseimbangan pasokan laju sedimen menuju Tanjung Pontang. Selain itu, upaya yang dapat dilakukan adalah menempatkan alat pemecah gelombang ambang rendah di Tanjung Pontang untuk meredam gelombang dan menangkap sedimen. Selanjutnya melakukan penanaman mangrove ketika sedimen telah terakumulasi. Implementasi dari kebijakan manajemen pesisir yang terintegrasi melalui pendekatan sel pantai tersebut sangat penting untuk diterapkan guna melakukan penataan dan pengelolaan kawasan pesisir, serta untuk mencegah timbulnya konflik antar berbagai kepentingan di kemudian hari.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami sangat berterima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam terlaksananya penelitian ini khususnya kepada Bapak Riyanto Basuki (Kepala Pusat Riset Kelautan-KKP) dan Triyono (Kepala bidang Mitigasi, Adaptasi, dan Konservasi Pusat Riset Kelautan-KKP), dan seluruh tim penelitian "Strategi Rehabilitasi Pantura Jawa Berdasarkan Dinamika Pesisir" yang dibiayai oleh dana APBN DIPA KKP tahun 2018 atas

bantuannya baik dari sisi administrasi penelitian, pekerjaan lapangan, analisis data, hingga penulisan laporan dan karya tulis ilmiah.

DAFTAR ACUAN

- Achiari H., Wulandari N., Yustiani M. Y., Harlan D., 2015. Study erosion and coastal destruction at Pondok-Bali, North Coast-West Java of Indonesia. *Conference paper, The IIER: ICNSE-2015*.
- Bird E. C. F. & Ongkosongo O. S. R., 1980. *Environmental Changes on the Coasts of Indonesia*. The United Nation University, Tokyo: 52 pp.
- Carter W. G., 1988. *Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological, and Cultural Systems of Coastlines*. Academic Press, London.
- Dolan R., 1975. *Classification of the Coastal Environment of the World*. The Americas.
- Gordon A. L., Sprintall J., van Aken H. M., Susanto D., Vijffels S., Molcard R., Ffield A., Pranowo W., Wirasantosa S., 2010. The Indonesian throughflow during 2004-2006 as observed by the INSTANT program. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 50: 115-128.
- Helfinalis, 2002. Sebaran Sedimen dan Suspensi di Perairan Teluk Banten. *Jurnal Oseanografi, Biologi dan Lingkungan P2O LIPI*, p.133-145.
- Hoitink A. J. F. & Hoekstra P., 2003. Hydrodynamic control of the supply of reworked terrigenous sediment to coral reefs in the Bay of Banten (NW Java, Indonesia). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 58(4): 743-755.
- Husrin S., Prihantono J., Sofyan H., 2014. Impacts of Marine Sand Mining Activities to the community of Lontar Village, Serang Banten. *Bulletin of the Marine Geology, Marine Geological Institute of Indonesia*. DOI:10.32693/bomg.29.2.2014.68
- Komar P. D., 1998. *Beach Processes and Sedimentation*. Second Edition. Printice Hall Inc. New Jersey. 539 p
- Kusuma, Y. I., Simanjuntak, S. M., Pranowo, W. S., Riyadi, N., 2018. Pemodelan Hidrodinamika Barrier Wall dan Sedimentasi di Perairan Dermaga Kolam Koarmatim Surabaya. *Jurnal Chart Datum* Vol 1 (4): 28 - 42

- Kusumah G., Solihuddin T., Purbani D., 2012. Distribusi, komposisi, dan lingkungan pengendapan sedimen permukaan Perairan Teluk Banten. *Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan ITS*. X 365 - 371
- Marfai M. A., 2012. Preliminary assessment of coastal erosion and local community adaptation in Sayung Coastal Area, Central Java – Indonesia. *Quaestiones Geographicae* 31 (3): 47-55.
- Muliati Y., Tawekal R. L., Wurjanto A., Kelvin J., Pranowo W. S., 2018. Application of Swan Model for Hindcasting Wave Height in Jepara Coastal Waters, North Java, Indonesia. *International Journal of Geomate* 15: 114-120. doi.org/10.21660/2018.48.56067
- Prihantono J., Fajrianto I. A., Kurniadi Y. N., 2018. Pemodelan Hidrodinamika dan Transpor Sedimen di Perairan Pesisir Sekitar Tanjung Pontang, Kabupaten Serang – Banten. *Jurnal Kelautan Nasional* 13 (2): 75-88
- Ray R. D., Egbert G. D. & Erofeeva S. Y., 2005. A brief overview of tides in the Indonesian Seas. *Oceanography* 18(4): 74-79.
- Rusmana, Suwitodirdjo K., Suharsono, 1991. *Peta Geologi Lembar Serang, Jawa*. Pusat Survey Geologi, Badan Geologi.
- Rustam A., Pranowo W., Kepel T. L., Adi N. S., Hejdrajana B., 2013. Peran Laut Jawa dan Teluk Banten sebagai Pelepas dan/atau Penyerap CO₂. *J. Segara* 9 (1): 75-84.
- Setyawan B. W., 2003. Karakteristik Garis Pantai Propinsi Banten: Pertumbuhan Delta Cijung-Cidurian Baru. *Prosiding pertemuan ilmiah ISOI Bidang Geologi Kelautan*. DOI: 10.13140/RG.2.1.4780.0080.
- Siregar S. N., Sari L. P., Purba N. P., Pranowo W. S., Syamsuddin M. L., 2017. Pertukaran massa air di Laut Jawa terhadap periodisitas monsun dan Arlindo pada tahun 2015. *Jurnal Ilmu Perairan, Pesisir, dan Perikanan* 6 (1): 44-59. DOI: 10.13170/depik.6.1.5523
- Solihuddin T., Mustikasari E., Rahayu Y. P., Husrin S., Dhiadudin R., 2019. Rehabilitasi Pantura Jawa: Isu, analisis, dan tantangan. “*Strategi Rehabilitasi Pantura Jawa Berdasarkan Dinamika Wilayah Pesisir*”, AMAFRAD, Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Solihuddin T., Kusumah G., Purbani D., 2012. Distribusi konsentrasi TSS di Perairan Teluk Banten dan dampaknya terhadap ekosistem laut dan perikanan. *Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan ITS*. X 454 – 460
- Symonds, A.M., T. Vijverberg, S. Post, B. van der Spek, J. Henrotte and M. Sokolewicz. 2016. Comparison between Mike 21 FM, Delft3D and Delft3D FM flow models of Western Port Bay, Australia. *Proceedings of 35th Conference on Coastal Engineering*, Antalya, Turkey.
- Tanto, T. A., Putra, A., Kusumah, G., Farhan, A. R., Pranowo, W., Husrin, S., Ilham. Pendugaan Laju Sedimentasi di Perairan Teluk Benoa – Bali Berdasarkan Citra Satelit. *Jurnal Kelautan Nasional* 12 (3): 101 – 107.
- Thieler E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A., 2011. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—*An ArcGIS extension for calculating shoreline change*: US Geological Survey Open-File Report.
- Verstappen H. Th., 1953. *Djakarta Bay, a geomorphological study on shoreline development*. Doctoral dissertation, Rijkuniversitet, Utrescht s-Gravennage Trio.
- Verstappen H. Th., 1954. The influence of climatic changes on the formation of coral islands. *Amer. Journ. Sci.* 252: 428 - 435.
- Wicaksana S., Sofyan I., Pranowo W., Kuswardani A.R.T.D., Saroso, Sukoco N.B., 2015. Karakteristik gelombang signifikan di Selat Karimata dan Laut Jawa berdasarkan rerata angin 9 tahunan (2005-2013). *Omni Akuatika* 11 (2): 33-40.
- Wisha U. J., Husrin S., Prihantono J., 2015. Hidrodinamika Perairan Teluk Banten Pada Musim Peralihan (Agustus – September). *Ilmu Kelautan (IJMS)* 20 (2): 101-112.