

ESTIMASI TRANSPOR SEDIMEN DI PERAIRAN KECAMATAN BREBES, JAWA TENGAH BERDASARKAN LAJU SEDIMENTASI DAN PENDEKATAN MODEL NUMERIK

SEDIMENT TRANSPORT ESTIMATION IN THE BREBES SUB-DISTRICT WATERS, CENTRAL JAVA BASED ON SEDIMENTATION RATE AND NUMERICAL MODEL APPROACH

Ulung J. Wisna dan Wisnu A. Gemilang

Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, KKP, Jl. Raya Padang-Painan km. 16, Bungus, Padang, Sumatera Barat, Indonesia
Email: ulungjantama@gmail.com

Diterima : 05-11-2018, Disetujui : 11-03-2019

ABSTRAK

Erosi dan akresi telah menjadi masalah utama di perairan Kecamatan Brebes. Perubahan pesisir yang sangat dinamis dipicu oleh faktor hidro-oseanografi yang mengendalikan mekanisme transpor sedimen yang terjadi baik di muara maupun di wilayah pantai. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat rata-rata laju sedimentasi dan transpor sedimen yang terjadi di kawasan pantai Kecamatan Brebes. Pengambilan data laju sedimentasi menggunakan *sediment trap* yang kemudian dianalisis secara statistik. Perhitungan total transportasi sedimen dan distribusi vertikal suspensi sedimen dilakukan dengan pendekatan model numerik. Nilai laju sedimentasi berkisar antara 0,243 – 22,724 g.m⁻².hari⁻¹ dimana laju tertinggi berada di hulu sungai Pemali, Sungai Pemuda dan hilir sungai Pemali. Nilai sortasi sedimen menunjukkan nilai 1,1 – 1,59 (pemilahan buruk). Nilai *skewness* (Ski) berkisar antara 0,21 – 0,46 (dominan menceng sangat halus). Nilai kurtosis berkisar antara 1,79 – 4,45 (sangat runcing). Total transportasi sedimen sebesar 43,88 x 10⁻⁵ m³/s dan distribusi vertikal konsentrasi sedimen tersuspensi berkisar antara 1-176 mg/L (pasang) dan 3-198 mg/L (surut) dimana transpor sedimen sangat dipengaruhi oleh kondisi oseanografi (gelombang, pasang surut, dan arus sepanjang pantai). Pada saat tinggi gelombang pecah meningkat maka transpor sedimen yang terjadi juga semakin intens termasuk mekanisme erosi dan sedimentasi yang terjadi di dasar perairan.

Kata kunci: Laju sedimentasi, model numerik, transpor sedimen, perairan Brebes

ABSTRACT

Erosion and accretion has become the main issues in Brebes Sub-District waters. Coastal changes which are very dynamic are triggered by hydro-oceanography factors controlling sediment transport mechanism occurred both in the estuary and coastal area. This study aims to determine the average of sedimentation rate and the sediment transport depiction in Brebes Sub-District coast. Sedimentation rate data collection was done using cylinder sediment trap which was then analyzed statistically. Total transport sediment and suspended sediment vertical distribution were calculated employing numerical model approach. The value of sedimentation rate ranged from 0.243 – 22.724 g.m⁻².day⁻¹ in which the highest value was observed upstream Pemali River, Pemuda River, and downstream Pemali River. Sediment sortation ranged from 1.1 – 1.59 (poorly sorted). Skewness (Ski) value ranged from 0.21 – 0.46 (very fine skewed). Kurtosis value ranged from 1.79 – 4.45 (very leptokurtic). Total sediment transport reached 43.88 x 10⁻⁵ m³/s and vertical distribution of suspended sediment ranged from 1-176 mg/L (flood) and 3-198 mg/L (ebb) respectively wherein the sediment transport is strongly controlled by the oceanography conditions (waves, tidal, and longshore current). When the breaking wave crest enhanced, the sediment transport occurs intensely including erosion and sedimentation in the bottom of water.

Keywords: Sedimentation rate, numerical model, sediment transport, Brebes waters

PENDAHULUAN

Erosi dan sedimentasi menjadi masalah utama yang terjadi di pesisir utara Pulau Jawa (Sardiyatmo dkk., 2013). Dinamika pantai utara Jawa (Pantura) berlangsung secara cepat dan tidak stabil yang awalnya dipicu oleh perubahan tata guna lahan dan kondisi geologi yang mendukung mundurnya garis pantai (Setiyarso dkk., 2016). Selain itu faktor cuaca dan input sedimen dari darat yang berkurang juga menjadi pendukung semakin parahnya erosi di Pantura. Hingga kini masalah tersebut memicu terjadinya rob yang berkepanjangan dan berdampak pada hilangnya pemukiman warga hingga berkilo-kilo meter kearah darat. Segala upaya telah dilakukan termasuk membangun *breakwater* hingga menggunakan *hybrid engineering* dan rehabilitasi mangrove (Ondara and Wisna, 2016), namun belum terlihat hasil yang signifikan.

Salah satu wilayah terdampak adalah pantai Brebes. Perairan pantai Brebes merupakan pantai dangkal tersusun dari dataran alluvial akibat beberapa aktivitas sungai besar dan kecil yang bermuara di perairan tersebut. Perubahan sifat sungai baik di hulu maupun hilir mempengaruhi kondisi pantai termasuk terjadinya abrasi dan akresi pantai (Gemilang dkk., 2018). Terdapat dua sungai besar yang diduga menjadi pemasok utama sedimen dari darat yaitu Sungai Pemali dan Sungai Nipon (Gemilang dkk., 2017). Selain itu beberapa tahun terakhir ditemukan bentukan pulau pasir (beting gisik) di sebelah utara pantai Brebes. Hal tersebut mengindikasikan bahwa dinamika pesisir pantai Brebes cukup dinamis.

Bencana erosi bergantung pada tingkat sedimentasi yang terjadi, bila jumlah sedimen yang terangkut lebih besar dari kemampuan laut untuk mengendapkan sedimen, maka erosi akan menjadi kondisi dominan di perairan pantai (Diposaptono dan Budiman, 2007). Erosi diperparah bila sedimen sungai yang menjadi penyeimbang tidak cukup mengganti sedimen yang tererosi (Helfinalis dkk., 2010). Upaya pengurangan area erosi secara alamiah dibutuhkan laju sedimentasi yang cukup besar pada daerah muara – muara sungai. Sedimen yang diperoleh dari aliran sungai yang tertransport dari hulu dan selanjutnya akan terdeposit di bagian pesisir pantai yang mengalami erosi (Gemilang dkk., 2017).

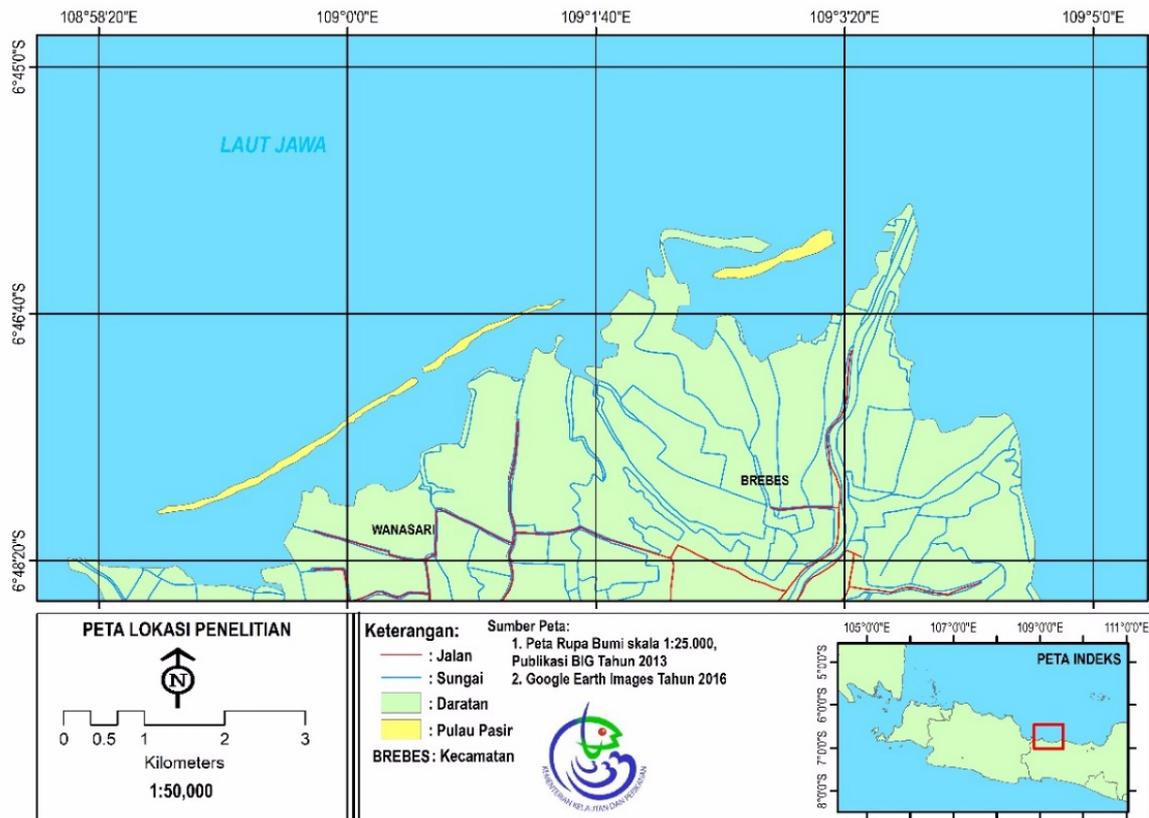
Transpor sedimen merupakan faktor utama yang memicu beberapa fenomena dinamika pantai Brebes. Sedimen transport dapat dirancang untuk mengukur besarnya suatu proses atau laju tingkat respon, lokasi sedimen dan waktu pengendapan

atau untuk mengeksplorasi pengaruh berkontribusi terhadap perubahan morfologi daerah pesisir (Reid dan Dunne, 2016). Pendekatan sedimen transport dikombinasikan dengan pemahaman geomorfologi pesisir dan distribusi sedimen menggunakan kerangka geologi dapat memahami perpindahan sedimen dan garis pantai pada skala waktu saat ini dan masa depan (Thom dkk, 2018).

Pendekatan model numerik dapat memprediksi dan menggambarkan mekanisme transport yang terjadi di pantai. Determinasi parameter-parameter fisik seperti arus sepanjang pantai, laju sedimentasi, pasang surut dan gelombang menjadi penting dalam mengungkap proses transportasi sedimen dari muara hingga ke laut (Pranoto dan Atmodjo, 2016). Pendekatan model yang dilakukan akan lebih efisien didukung oleh validasi kondisi dilapangan (Wisna dkk., 2017). Erosi yang terjadi di pesisir Brebes berkaitan erat dengan proses akresi yang menggambarkan laju sedimentasi yang terjadi. Kondisi yang tidak stabil dipicu oleh ketidakmampuan parameter fisik (pasang surut, arus, dan gelombang) untuk mengangkut sedimen di muara untuk menutupi area yang terkikis (Carol dkk., 2013).

Mekanisme transportasi sedimen di daerah pesisir sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan oseanografi yang sangat fluktuatif (Ondara dkk., 2018). Jika angkutan sedimen dari sungai tidak mendukung daerah yang terkikis, dalam panjang akan mengakibatkan perubahan garis pantai di pantai Brebes. Arus sepanjang pantai adalah faktor utama yang memiliki peran besar dalam mekanisme transportasi sedimen di daerah pesisir Brebes. Pesisir Kecamatan Brebes telah banyak diteliti sejak terjadinya fenomena abrasi, rob, dan perubahan garis pantai.

Beberapa studi dan penelitian yang telah dilakukan di pesisir Kecamatan Brebes meliputi abrasi, mangrove, laju sedimentasi dan simulasi model gelombang (Hendrarto dan Radjasa, 2015; Marfai, 2017; Gemilang dkk., 2017; Hutabarat, 2017; Cerlyawati, 2017; Gemilang dkk., 2018; Ondara dkk., 2018). Namun penelitian terkait mekanisme gerak sedimen dan laju sedimentasi di pesisir Kecamatan Brebes belum dilakukan. Oleh karena itu penelitian dengan pendekatan model numerik sangat perlu dilakukan untuk mengetahui mekanisme gerak sedimen di Pesisir Kecamatan Brebes (Gambar 1). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat rata-rata laju sedimentasi dan transpor sedimen dari berbagai



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

sumber input sedimen serta mengetahui model mekanisme transpor sedimen sepanjang pesisir. Sehingga hasil penelitian dapat digunakan sebagai data awal penentuan bangunan pelindung pantai untuk mengurangi dampak abrasi pesisir Kecamatan Brebes.

METODE PENELITIAN

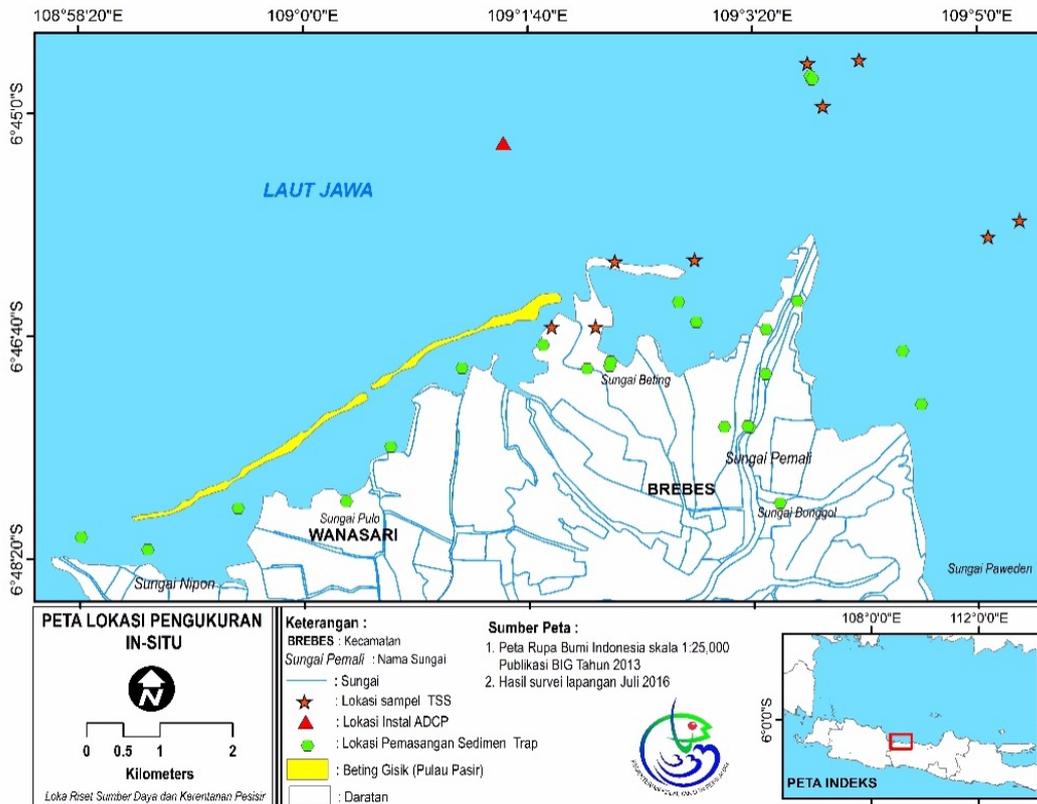
Pengambilan data laju sedimentasi menggunakan sedimen trap berbentuk silinder dilakukan sebanyak 24 titik pengukuran. Sedimen trap terbuat dari pipa paralon dengan diameter 5 cm dan tinggi 30 cm. Sedimen trap yang digunakan sudah mengalami modifikasi karena lokasi pengambilan data berada di sepanjang aliran sungai hingga muara dan bagian depan pesisir yang menghadap ke laut (Gambar 2). Kedalaman lokasi penanaman sedimen trap bervariasi mulai dari 2 meter hingga 4 meter. Waktu pengukuran sedimen trap dilakukan selama 1 kali saat kondisi pasang dan 1 kali saat kondisi surut, namun beberapa sedimen trap terpasang hampir 24 jam. Kondisi perbedaan waktu pemasangan dikarenakan beberapa faktor alam.

Analisa laju sedimentasi dilakukan dengan cara menghitung jumlah sedimen yang

terendapkan di dalam sedimen trap. Sebelum melakukan perhitungan, perlu dilakukan penelitian di laboratorium meliputi pengeringan sampel, pengayakan sampel, penimbangan sampel dan penamaan sedimen berdasarkan ukuran butir untuk analisis granulometri. Setelah sampel diayak dengan *sieve shaker* dan terpisah sesuai ukuranbutirnya, kemudian dilakukan penamaan jenis sedimen berdasarkan ukuran butirnya menggunakan segitiga Shepard tahun 1954 (Dyer, 1986) dengan susunan *sand, silt, clay*.

Penafsiran sebaran, mekanisme pengangkutan, dan pengendapan sedimen menggunakan pendekatan statistik dari masing-masing kelompok sedimen. Analisis statistik sedimen berupa *sorting, skewnees* dan *kurtosis* menggunakan klasifikasi Folk dan Ward (1957), kemudian dihitung persentase ukuran butir dan statistik sedimen. Hasil sampel sedimen yang terperangkap kemudian dikeringkan dan ditimbang berat sedimennya, selanjutnya akan dilakukan perhitungan laju sedimentasi menggunakan metode Lanuru dan Yusuf (2018).

Sampel air juga diukur untuk menganalisis konsentrasi TSS di setiap titik pengamatan. Analisis sampel TSS dilakukan menggunakan metode gravimetri SNI 06-6989.3-2004. Sekitar



Gambar 2. Peta lokasi pengukuran in-situ

100 mL sampel air dikumpulkan, dikocok dengan lembut dan disaring menggunakan pompa vakum dan kertas saring *Whatman* dengan ukuran pori 0,45 μm . Hasil penyaringan kemudian ditimbang dan dihitung konsentrasi TSS.

Pengukuran arus, gelombang, dan pasang surut dilakukan pada 21 Juli hingga 4 Agustus 2016 dengan menggunakan ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*). Pengaturan ADCP ditunjukkan pada Tabel 1. ADCP ditempatkan di 1 titik pengamatan (Gambar 2) dengan mempertimbangkan lokasi aman dari kapal dan kegiatan perikanan, yang terletak di kedalaman 10 meter di bagian utara pantai Brebes. Data ADCP yang diambil kemudian digunakan untuk memvalidasi hasil model yang disimulasikan menggunakan *flow model*. Validasi hasil model dihitung dengan menggunakan rumus RMSE (*Root Mean Square Error*) sebagai berikut:

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

dimana:

\hat{y}^i = Hasil model

y = Hasil pengukuran lapangan

n = Jumlah data

Tabel 1. Set-upalat ADCP

Deployment	Brebes
Waktu mulai	21/07/2016 11:00:00
Profil interval (s)	600
Jumlah sel	15
Ukuran sel (m)	1,00
Jarak blank (m)	0,50
Beban pengukuran (%)	50
Interval rata-rata (s)	300
Level daya	Tinggi
Tingkat pembaharuan kompas (s)	600
Kecepatan suara (m/s)	Terukur
Salinitas (ppt)	35
Asumsi durasi (days)	30
Penggunaan baterai (%)	212.0
Vertical Vel. Prec (cm/s)	0,7
Horizon. Vel. Prec (cm/s)	2,0

Simulasi yang diterapkan untuk 4 kondisi ekstrim pasang surut disesuaikan dengan waktu pengukuran lapangan. *Set-up* model hidrodinamika ditunjukkan pada Tabel 2. *Flow model* dibangun berdasarkan pengembangan persamaan aliran 2-dimensi secara spasial didiskritkan dan ditunjukkan oleh metode *Cell-centered finite volume*. Model ini didukung oleh *flexible mesh* dan prediksi pasang surut yang dibatasi oleh 5 kondisi batas. Simulasi yang dibuat ditunjukkan dalam

Tabel 2. Set-up *flow model fm*

Parameter	Diterapkan dalam simulasi
Waktu simulasi	Jumlah <i>time step</i> = 2000 interval <i>time step</i> = 900 sec. Tanggal simulasi = 1/5/2016 12.30 AM-15/5/2016 08.30 PM
Batas <i>mesh</i>	Bathymetri dan garis pantai =Digitasi Peta Rupa Bumi Indonesia
<i>Flood and dry</i>	Kedalaman kering = 0.005 m Kedalaman pasang = 0.05 m Kedalaman basah = 0.1 m
Kondisi Batas	Jenis = Level tertentu Format = Waktu bervariasi, konstan sepanjang batas Deret waktu = Peramalan pasang surut dengan koordinat: <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Longitude</i>: 109,05297, <i>Latitude</i>: -6,7806 2. <i>Longitude</i>: 109,05010, <i>Latitude</i>: -6,7665 3. <i>Longitude</i>: 109,03086, <i>Latitude</i>: -6,7651 4. <i>Longitude</i>: 109,01559, <i>Latitude</i>: -6,7773 5. <i>Longitude</i>: 109,01882, <i>Latitude</i>: -6,7888

bentuk data area dan point series yang mewakili area pengamatan.

Transportasi sedimen di sepanjang pantai dihitung dengan menggunakan persamaan empiris yang dikembangkan berdasarkan pada pengukuran data model dan prototipe untuk pantai berpasir. Data model merupakan korelasi antara transportasi sedimen dan komponen fluks energi gelombang dalam bentuk persamaan fluks (Triatmodjo, 2012). Untuk menghitung total transportasi sedimen setiap tahun, menggunakan formula yang dikembangkan oleh Triatmodjo (2012) berdasarkan Pusat Penelitian *Coastal Engineer*, USA (CERC, 1984).

Distribusi sedimen di daerah gelombang pecah yang luasterlalu sulit untuk ditentukan. Selain itu, rumus CERC tidak mempertimbangkan karakteristik sedimen tempat terendapkannya. Rumus tersebut digunakan hanya untuk pantai berpasir yang homogen dengan rata-rata diameter bervariasi 0,175-1 mm. Oleh karena itu, formula tersebut hanya diterapkan untuk pantai lain yang memiliki tipe sedimen yang homogen. Rumus untuk menghitung total transportasi sedimen dikembangkan oleh Triatmodjo (2012). Model transpor sedimen digunakamuntuk mendukung penghitungan transpor sedimen yang dilakukan sebelumnya. Hal ini didasarkan pada pertimbangan *bed load* dan *suspended load*, model yang dikembangkan dapat menghitung beban sedimen secara terpisah dan kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan beban total yang didasarkan pada konsentrasi beban sedimen.

Pada lapisan permukaan, nilai dari fluks kondisi batas yang

digunakan adalah $K_h \frac{\partial C_i}{\partial x} = 0, z = \zeta$, untuk lapisan dasar perairan, nilai dari fluks sedimen memiliki nilai deposisi dan erosi yang berbeda. Untuk sedimen yang mengendap menggunakan nilai dari $K_h \frac{\partial C_i}{\partial x} = E_i - D_i, z = \zeta$, dan untuk sedimen yang tererosi menggunakan formula

$$E_i = \Delta t Q_i (1 - P_b) F_{bi} \left(\frac{\tau_b}{\tau_{ci}} - 1 \right)$$

dimana Q_i adalah fluks erosi, P_b adalah porositas di dasar, F_{bi} adalah fraksi sedimen dasar, τ_b

adalah tegangan geser di dasar, dan τ_{ci} adalah tegangan geser kritis sedimen.

HASIL PENELITIAN

Laju Sedimentasi

Hasil perhitungan laju sedimentasi di kawasan pesisir Kec. Brebes, Jawa Tengah menunjukkan beberapa variasi nilai laju sedimentasi. Variasi atau perbedaan nilai laju sedimentasi terlihat jelas perbedaannya pada setiap stasiun pengamatan yang meliputi lokasi sungai Pemali, sungai Pemuda dan Laut. Nilai laju sedimentasi pada 3 lokasi bagian pengamatan berkisar antara 0,243 – 22,724 g.m⁻².hari⁻¹. Data sedimen yang terperangkap pada sedimen trap dari total 24 stasiun pengukuran berbeda pada tiap lokasi, dapat terlihat pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil analisis perhitungan laju sedimentasi, terlihat bahwa nilai tertinggi laju sedimentasi berada pada lokasi pengukuran di hulu sungai Pemali, Sungai Pemuda dan hilir sungai Pemali. Nilai laju sedimentasi terkecil berada pada lokasi pengukuran bagian depan pesisir Kec. Brebes yang menghadap ke laut lepas yaitu dengan rata-rata nilai laju sedimentasi mencapai 1,088 g.m⁻².hari⁻¹. Sedangkan nilai rata-rata laju sedimentasi di bagian hulu, hilir sungai Pemali dan Pemuda mencapai 10,690.m² g.m⁻².hari⁻¹.

Karakteristik Ukuran Butir Sedimen

Klasifikasi jenis tekstur sedimen setiap sampel yang terperangkap pada sedimen trap berdasarkan analisis ukuran butir (granulometri) menunjukkan jenis lanau dan lanau pasiran. Hasil analisis terhadap persentase ukuran butir sedimen

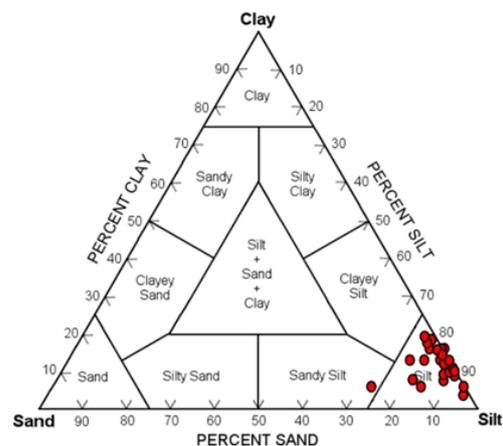
Tabel 3. Hasil analisis laju sedimentasi

Stasiun	Laju Sedimentasi (g.m ⁻² .hari ⁻¹)	Lokasi
TRP-01A	5,141	Hulu Sungai Pemali
TRP-02A	6,276	Hulu Sungai Pemali
TRP-03A	9,272	Hulu Sungai Pemali
TRP-04A	10,110	Sungai Pemuda
TRP-05A	9,252	Sungai Pemuda
TRP-06A	22,724	Sungai Pemuda
TRP-07A	3,606	Hilir Sungai Pemali
TRP-08A	13,930	Hilir Sungai Pemali
TRP-09A	15,895	Hilir Sungai Pemali
TRP-10A	0,811	Laut
TRP-11A	1,060	Laut
TRP-12A	1,726	Laut
TRP-13A	1,395	Laut
TRP-14A	1,123	Laut
TRP-15A	0,704	Laut
TRP-16A	1,081	Laut
TRP-17A	2,280	Laut
TRP-18A	0,989	Laut
TRP-019A	1,023	Laut
TRP-020A	1,658	Laut
TRP-021A	1,326	Laut
TRP-022A	0,325	Laut
TRP-023A	0,580	Laut
TRP-024A	0,243	Laut

dapat dilihat pada Gambar 3, menggunakan klasifikasi diagram segitiga Shepard (1954), sehingga dapat memudahkan dalam menginterpretasikan jenis tekstur sedimennya. Secara umum jenis sedimen yang terperangkap pada sedimen trap di lokasi penelitian berukuran lanau dan satu sampel berukuran lanau pasiran. Penelitian sebelumnya pada tahun 2015 terkait jenis sedimen dasar perairan yang ada di Kabupaten Brebes secara keseluruhan adalah berjenis pasir dan lanau. Jenis sedimen lanau sangat mendominasi perairan yang ada di Kabupaten Brebes (Apriyantoro dkk., 2016).

Secara umum jenis sedimen dasar perairan Kecamatan Brebes terbagi atas 4 jenis sedimen berdasarkan persentase ukuran butir sedimen yaitu *silt* (lanau), *sand* (pasir), *sandy silt* (lanau pasiran), *silty sand* (pasir lanauan). Dominasi jenis sedimen lanau hingga lanau pasiran tersebar pada bagian Timur daerah penelitian yang merupakan bagian perairan laut yang berdekatan dengan muara sungai utama di Kecamatan Brebes yaitu Sungai Pemali dan Sungai Codetan (Gemilang dkk., 2018). Kondisi jenis sedimen dasar perairan, berkorelasi dengan jenis sedimen yang terperangkap pada sedimen trap dengan jenis lanau.

Atribut tekstur sedimen meliputi *mean* (Mz), *sorting* (SD), *skewness* (Ski) dan kurtosis (KG), secara umum digunakan untuk merekonstruksi lingkungan pengendapan sedimen (Angusamy dan Rajamanickam, 2006). Nilai sortasi sedimen di lokasi penelitian menunjukkan nilai 1,1 – 1,59 sehingga masuk dalam tingkat pemilahan buruk (Folk dan Ward, 1957). Nilai *skewness* (Ski) pada sampel sedimen memperlihatkan nilai kisaran antara 0,21 – 0,46 dengan dominasi kategori Ski yaitu menceng sangat halus. Nilai rentang kurtosis hasil analisis sedimen trap 1,79 – 4,45 sehingga masuk dalam kategori sangat runcing.

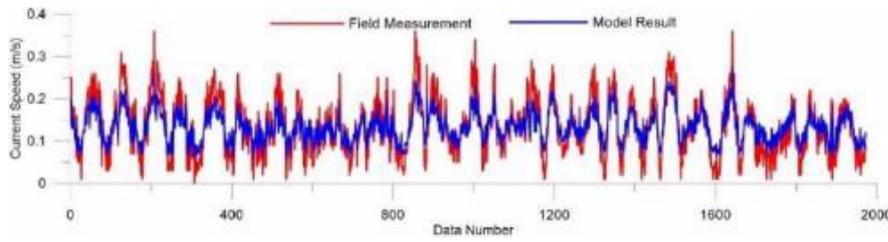


Gambar 3. Klasifikasi tekstur sedimen berdasarkan diagram segitiga Shepard 1954

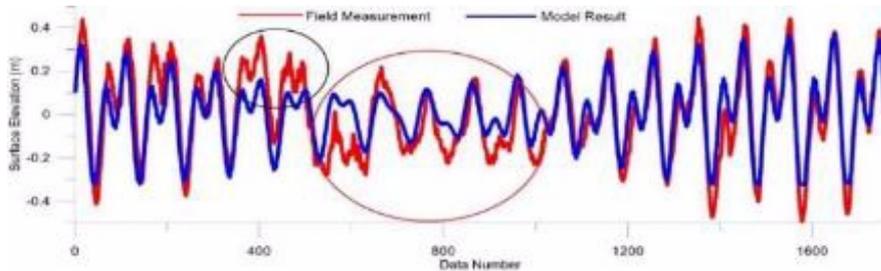
Hidrodinamika Perairan Brebes

Hasil model harus divalidasi sebelum digunakan untuk menggambarkan fenomena alam yang diteliti. Validasi dilakukan dengan membandingkan data lapangan dan data hasil model untuk menghasilkan nilai kesalahan. Nilai kesalahan (RMSE) diperoleh sebesar 8,98% dan 9,32% untuk data kecepatan arus dan pasang surut. Verifikasi data kecepatan arus (Gambar 4) menunjukkan bahwa data lapangan dan hasil model memiliki fase fluktuasi yang sama dan perbedaan kecepatan arus sebesar 1 m/s.

Sementara itu, untuk verifikasi data pasang surut memiliki fase yang sama antara data lapangan dan hasil model (Gambar 5), oleh karena itu, pada periode awal purnama (lingkaran hitam) dan awal perbani (lingkaran merah) menunjukkan bahwa elevasi permukaan sedikit berbeda dari fase pasang surut yang dilapangan. Hal itu mungkin disebabkan oleh gelombang badai yang pada saat itu terjadi (berdasarkan informasi lokal) yang mempengaruhi elevasi permukaan yang terbentuk. Menurut Garret dan Kunze (2007) disebutkan bahwa perubahan pasang surut diikuti oleh periode rendah dari generasi gelombang



Gambar 4. Verifikasi hasil model dengan menggunakan data kecepatan arus

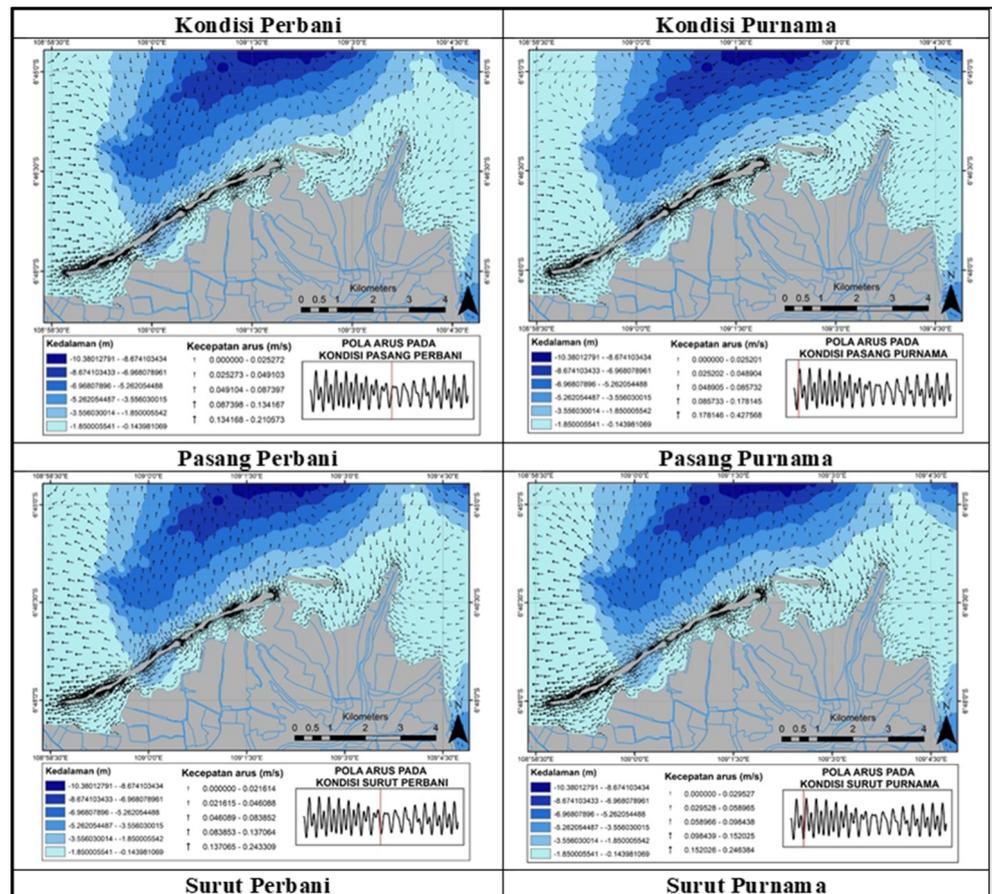


Gambar 5. Verifikasi hasil model dengan menggunakan data pasang surut

transpor sedimen yang lebih besar saat kondisi pasang purnama (Wisha dkk., 2017). Diinterpretasikan bahwa adanya pertemuan dua arus di sekitar muara Sungai Pemali pada setiap perubahan elevasi permukaan air, hal tersebut menjadi faktor pemicu terbentuknya pulau pasir (beting). Sedimen dari darat melalui muara Pemali tertransportasi menuju kearah kiri muara dan mengendap, didukung dengan adanya asupan sedimen dari laut yang terbawa oleh gelombang dan arus sepanjang pantai. Pulau pasir yang terbentuk secara alami tersebut berada di wilayah intertidal dimana pengaruh pasang surut sangat mendominasi.

berkontribusi pada karakteristik elevasi yang terbentuk. Fenomena tersebut juga memicu peningkatan kecepatan akresi di sepanjang pantai. Deposisi sedimen akibat gelombang badai memiliki peran penting dalam mekanisme akresi di sepanjang pantai (Williams, 2012). Kecepatan arus pada kondisi pasang perbani berkisar antara 0-0,21 m/s, pada kondisi surut perbani berkisar antara 0-0,24 m/s, pada kondisi pasang purnama berkisar antara 0-0,42 m/s, dan pada kondisi surut purnama berkisar antara 0-0,24 m/s (Gambar 6). Kecepatan arus pada saat kondisi purnama lebih tinggi daripada perbani yang secara langsung berpotensi untuk terjadinya

pengaruh pasang surut sangat mendominasi.



Gambar 6. Pola arus perairan Brebes pada empat kondisi ekstrim pasang surut

PEMBAHASAN

Mekanisme Sedimentasi

Nilai rata-rata laju sedimentasi tertinggi berada pada bagian hilir atau muara sungai Pemali sebesar $11,144 \text{ g.m}^{-2}.\text{hari}^{-1}$. Tingginya nilai laju sedimentasi pada bagian muara Sungai Pemali (TRP-07A, TRP-08A dan TRP-09A) merupakan bagian hilir sungai yang berhubungan dengan laut (Gambar 7). Oleh karena itu, faktor yang mempengaruhi nilai laju sedimentasi pada lokasi muara tersebut berasal dari sungai serta faktor yang berasal dari laut. Angkutan sedimen yang berasal dari hulu sungai dibawa oleh aliran sungai menuju laut sedangkan angkutan sedimen yang berasal dari laut dibawa oleh pasang surut menuju alur sungai melalui muara sungai. Bertemunya aliran sungai yang membawa angkutan sedimen dengan pasang surut yang juga membawa angkutan sedimen menyebabkan sedimentasi di daerah muara sungai (Hariadi dkk., 2017).

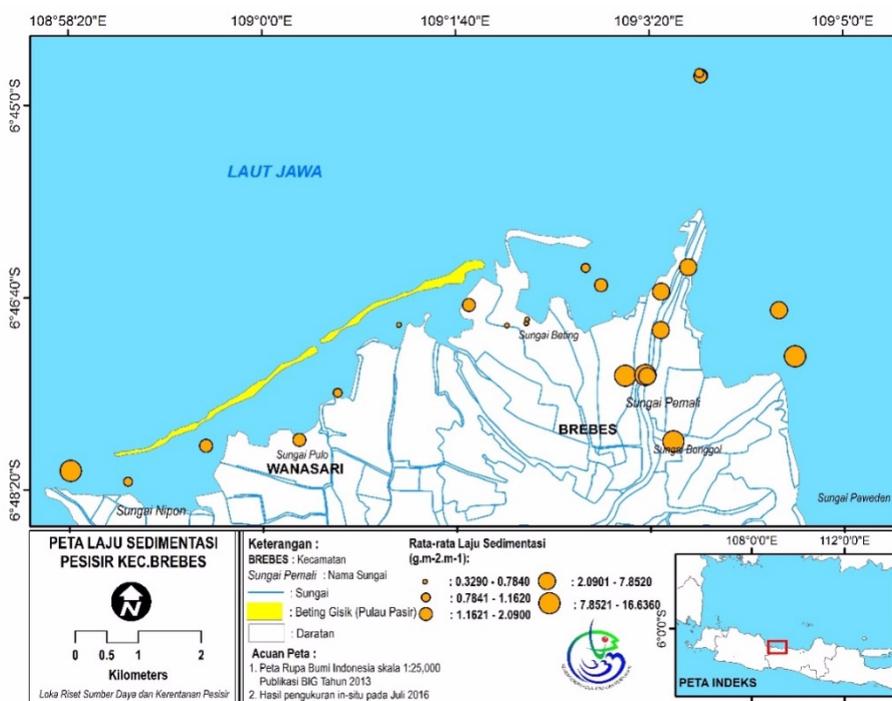
Hasil nilai laju sedimentasi pada lokasi penelitian nilai terbesar didominasi pada bagian pengukuran sungai, hal ini menunjukkan bahwa sumber aliran hulu menjadi faktor utama terjadinya sedimentasi di muara Sungai Pemali. Aliran sungai dari hulu ketika pasang angkutan sedimen diendapkan di alur sungai 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.

Tingginya nilai laju sedimentasi yang terjadi di bagian Sungai Pemali tidak terlepas dari adanya pengaruh debit sungai. Berdasarkan data debit sungai rata-rata tahunan yang diperoleh dari stasiun pengamatan milik Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Pemali Comal tahun 1990-2015 memperlihatkan nilai debit sungai yang fluktuatif dan cenderung meningkat disetiap tahunnya (Gemilang dkk., 2017). Selain itu berdasarkan hasil penelitian laju sedimen berdasarkan analisis radionuklida alam ^{210}Pb yang dilakukan oleh Gemilang dkk (2017) menunjukkan bahwa adanya korelasi meningkatnya nilai laju akumulasi sedimen terhadap nilai rata-rata debit sungai tahunan. Nilai laju akumulasi sedimen cenderung meningkat disaat nilai rata-rata debit sungai meningkat.

Nilai sortasi mengindikasikan proses mekanisme sistem pengendapan yang terjadi pada sedimen, kategori pemilahan buruk menunjukkan bahwa sistem transport dan pengendapan sedimen dipengaruhi oleh kekuatan arus yang fluktuatif. Adanya percampuran antara arus kuat dan lemah menyebabkan ukuran butir sedimen yang terendapkan akan tercampur secara acak (Nugroho dan Basit, 2014). Kondisi tersebut yang menyebabkan

ketidakseragaman ukuran butir sedimen daerah sungai hingga pesisir Kec. Brebes (Gemilang dkk., 2018). Hal tersebut diindikasikan terjadi pada perairan Sungai Pemali, dimana arus sungai yang fluktuatif bercampur dengan arus pasang dari arah laut menuju sungai. Kategori *skewness* menceng sangat halus mengindikasikan bahwa input terbesar pada lokasi tersebut berasal dari sungai (Kumar dkk., 2010). Selain itu nilai *Ski* pada sampel sedimen juga menunjukkan *positive skewness* yang mengindikasikan bahwa



Gambar 7. Peta distribusi nilai laju sedimentasi

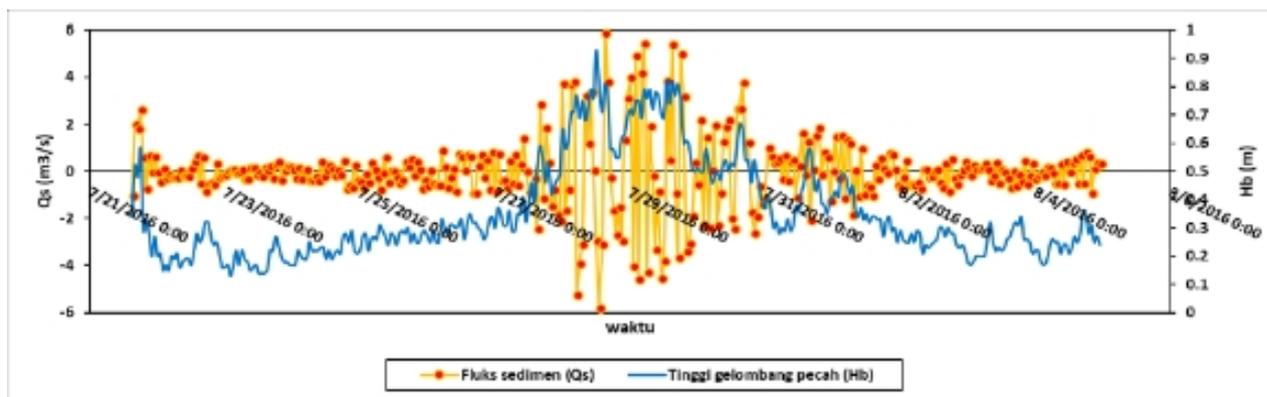
sedimen searah atau pengendapan sedimen berada di lingkungan energi rendah dan tertutup (Kumar dkk., 2010). Nilai rentang kurtosis hasil analisis sedimen trap 1,79-4,45 sehingga masuk dalam kategori sangat runcing yang berarti bahwa sedimen mencapai pemilahan butir sedimen di lingkungan dengan energi tinggi (Friedman, 1967). Kurtosis sangat runcing secara alamiah mengindikasikan proses pemilahan dengan *medium sorting* (Irudhayanathan dkk., 2011).

Transpor sedimen sepanjang pantai

Pada bagian ini hasil pengukuran parameter gelombang digunakan sebagai acuan untuk memprediksi total transpor sedimen di area pengukuran ADCP (utara Pantai Brebes). Selama 14 hari pengukuran gelombang, disimulasikan bahwa fluks sedimen berkisar antara 0-6 m³/s untuk sedimen yang mengendap maupun terangkut (Gambar 8), namun rata-rata sedimen yang terangkut lebih mendominasi. Hal tersebut jelas karena lokasi obesrvasi terletak diwilayah

(beting) karena pulau tersebut didominasi oleh sedimen pasir pada bagian atas. Energi gelombang yang lebih besar di lepas pantai menyebabkan angkutan sedimen yang maksimal dan diendapkan saat energi gelombang sudah melemah di dekat pantai yang mana dalam hal ini arus sepanjang pantai (*longshore current*) memiliki peran penting dalam tansportasi sedimen sepanjang pantai. Pada seluruh kondisi ekstrim pasang surut, arah arus sepanjang pantai dominan terpusat disekitar pulau pasir (Gambar 6), sehingga jelas bahwa sedimen dari laut maupun dari sungai sangat potensial untuk mengendap dan terakumulasi di pulau pasir tersebut.

Fenomena pengadukan sedimen di wilayah gelombang pecah disebabkan oleh lompatan hidrolik dari penjalaran gelombang yang memicu turbulensi dibawah puncak gelombang utama (Qi dan Gao, 2014; Docherty dan Chanson, 2010). Sedimen yang teraduk kemudian tertransportasi menuju ke pantai yang memicu peningkatan sedimentasi diwilayah yang lebih dangkal.



Gambar 8. Fluks sedimen sepanjang pantai Perairan Brebes

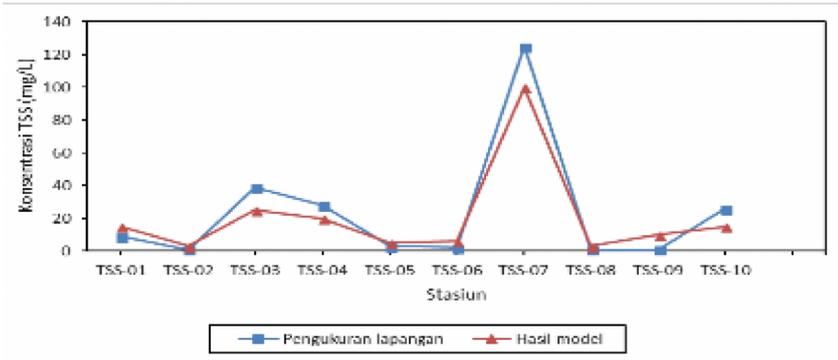
lepas pantai dimana gelombang mulai pecah (*swell*) dan lompatan hidrolik gelombang yang menjalar menjadi maksimal yang memicu peristiwa pengadukan sedimen dasar (*scour*) oleh gerakan partikel gelombang. Gambar 8 juga menunjukkan bahwa pada saat tinggi gelombang pecah meningkat maka transpor sedimen yang terjadi juga semakin intens termasuk mekanisme erosi dan sedimentasi yang terjadi di dasar perairan.

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, maka didapatkan total transportasi sedimen sebesar $43,88 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ bila diprediksi dalam sehari mencapai $0,18 \text{ m}^3/\text{hari}$ dan selama 1 tahun diapatkan total transpor sedimen sebesar $68,219 \text{ m}^3/\text{tahun}$ (Tabel 4). Tingginya nilai total transpor sedimen di wilayah lepas pantai tersebut mungkin dapat menjadi pemicu terbentuknya pulau pasir

Menurut Braden (2015) difusivitas Eddy (kecenderungan sedimen menyebar) pada saat turbulensi menyumbang suspensi, pecampuran transportasi sedimen. Intensitas turbulensi ditunjukkan oleh kecepatan dari lompatan gelombang acak dan jarak pecampuran sesuai dengan jarak terjadinya turbulesi. Karena turbulensi adalah sebuah fenomea komparatif, maka beberapa wilayah di dekat pantai akan sangat jarang terjadi turbulensi dan diwilayah yang

Tabel 4. Total transportasi sedimen di Perairan Brebes

Obervasi area	Fluks Sedimen (Qs)		
	m^3/s	m^3/hari	m^3/tahun
Sekitar lokasi ADCP	$43,88 \times 10^{-5}$	0,189	68,219



Gambar 9. Verifikasi model transport sedimen

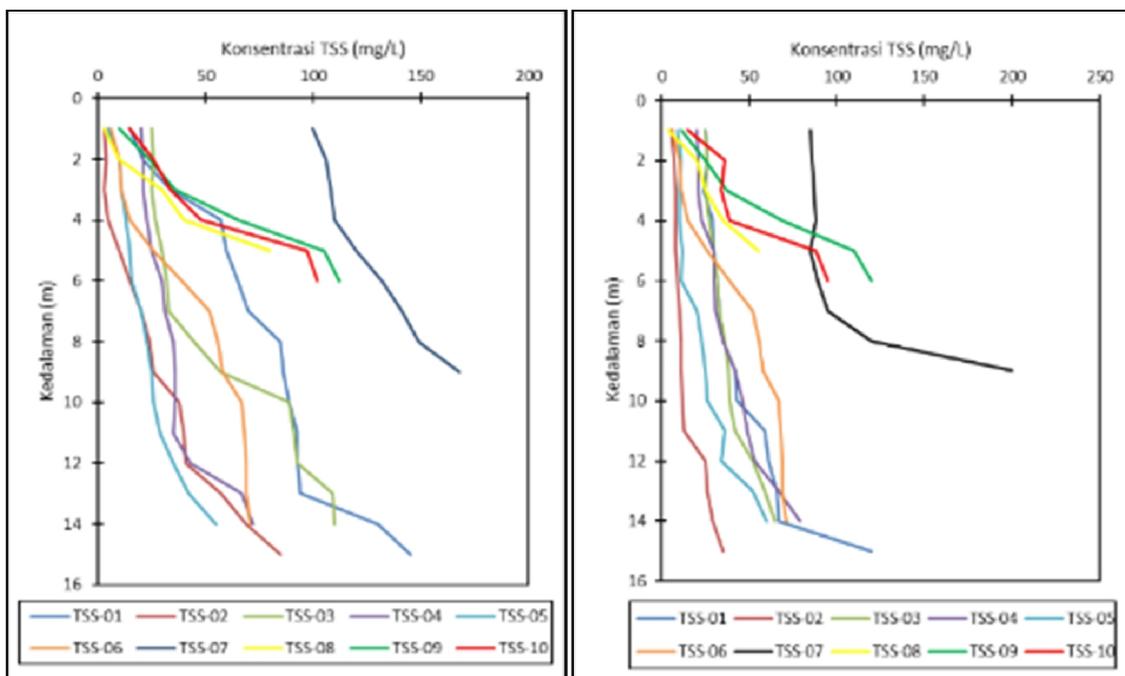
banyak terjadi turbulensi cenderung tidak mengalami sedimentasi.

Simulasi sedimen tersuspensi divalidasi dengan membandingkan dua sumber data TSS yakni hasil pengukuran lapangan dan hasil model dan didapatkan nilai RMSE sebesar 4,58 % (Gambar 9). Perbandingan tersebut memperlihatkan bahwa nilai suspensi sedimen terendah diobservasi pada stasiun TSS-02 dan TSS-08 yang berkisar antara 0-3 mg/L, sedangkan nilai suspensi tertinggi berada pada stasiun TSS-07 yang mencapai 125 mg/L. Hal tersebut jelas karena stasiun TSS-07 berada di area muara Sungai Pemali sehingga asupan sedimen dari darat dan laut saat kondisi surut akan mendominasi dan meningkatkan konsentrasi TSS secara signifikan. Mekanisme turbulensi oleh arus sepanjang pantai

memiliki peran penting dalam peningkatan nilai TSS (Wisha dan Heriati, 2016).

Profil vertikal konsentrasi suspensi sedimen bervariasi pada tiap perubahan elevasi pasang surut yang berkisar antara 1-176 mg/L pada kondisi pasang dan berkisar antara 3-198 mg/L pada saat surut (Gambar 10). Pada stasiun TSS-07 diidentifikasi bahwa konsentrasi TSS terlampaui tinggi pada kondisi pasang maupun surut di kolom air dekat dasar

(garis hitam) mencapai 198 mg/L. Untuk stasiun yang lain, degradasi konsentrasi TSS tidak terlalu signifikan meningkat, walaupun pada stasiun TSS-06 konsentrasi suspensi sedimen cenderung stabil (garis orange) yang berkisar antara 3-67 mg/L. Kondisi-kondisi tersebut membuktikan bahwa turbulensi dan resuspensi yang intensif cenderung terjadi pada kondisi pasang (Chao dkk., 2013). Resuspensi sedimen dalam skala regional dikendalikan oleh profil gelombang (Warner dkk., 2010).



Gambar 10. Distribusi TSS secara vertikal pada kondisi pasang (Kiri) dan surut (Kanan)

KESIMPULAN

Laju sedimentasi di kawasan pesisir Kec. Brebes, Jawa Tengah memiliki nilai laju sedimentasi yang bervariasi. Nilai tertinggi laju sedimentasi berada pada lokasi pengukuran di hulu Sungai Pemali, Sungai Pemuda dan hilir Sungai Pemali. Jenis sedimen yang terendapkan didominasi oleh tekstur lanau hingga lanau pasiran. Tingginya nilai laju sedimentasi yang terjadi di bagian sungai Pemali tidak terlepas karena adanya pengaruh debit sungai dan pasang surut yang memicu peningkatan laju sedimentasi di muara. Secara umum jenis sedimen yang terperangkap pada sedimen trap berukuran lanau dan lanau pasiran. Nilai sortasi buruk mengindikasikan bahwa sistem transport dan pengendapan sedimen dipengaruhi oleh kuat arus yang fluktuatif.

Tingginya nilai total transport sedimen di wilayah lepas pantai berkorelasi dengan terbentuknya pulau pasir (beting). Energi gelombang yang lebih besar di lepas pantai menyebabkan angkutan sedimen yang maksimal dan diendapkan saat energi gelombang sudah melemah di dekat pantai dalam bentuk arus sepanjang pantai (*longshore current*) yang memiliki peran penting dalam transportasi sedimen sepanjang pantai. Konsentrasi suspensi sedimen tertinggi berada di sekitar muara Sungai Pemali sehingga asupan sedimen dari darat dan laut saat kondisi surut akan mendominasi dan meningkatkan konsentrasi TSS secara signifikan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir (LRSDKP) BRSDMKP atas DIPA Anggaran penelitian tahun 2016 di Kecamatan Brebes, serta kepada DKP Kab. Brebes dan kelompok Mangrove Pandansari yang telah membantu dalam proses pengambilan data lapangan

DAFTAR ACUAN

- Angusamy, N., & Rajamanickam, G. V. 2006. Depositional environment of sediments along the southern coast of Tamil Nadu, India. *Oceanologia*, 48(1).
- Apriyantoro, K., Saputro, S., & Hariadi, H. 2016. Studi Sebaran Sedimen Dasar Di Perairan Muara Sungai Kluwut, Kabupaten Brebes, Jawa Tengah. *Journal of Oceanography*, 5(4), 435-440.

- Braden, G. E. 2015. Turbulence, diffusion and sedimentation in stream channel expansions and contractions. *In Proceedings of the Oklahoma Academy of Science* (Vol. 31, pp. 73-77) February 2015.
- Carol, E., Mas-Pla, J., & Kruse, E. 2013. Interaction between continental and estuarine waters in the wetlands of the northern coastal plain of Samborombón Bay, Argentina. *Applied geochemistry*, 34, 152-163. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.03.006>.
- CERC, U. A. 1984. Shore protection manual. *US Army Corps of Engineers*, Washington.
- Cerlyawati, H., Anggoro, S., & Zainuri, M. 2017. Strategi Pengelolaan Lingkungan Pada Kawasan Rehabilitasi Mangrove Di Desa Kaliwlingi Brebes, Desa Mojo Pemalang, Dan Desa Bedono, Demak (Doctoral Dissertation, School Of Postgraduate).
- Chao, W., Chao, S., Wang, P. F., Jin, Q., Jun, H., & LIU, J. J. 2013. Modeling of sediment and heavy metal transport in Taihu Lake, China. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 25(3), 379-387. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(11\)60376-5](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(11)60376-5)
- Disaptono, S., Budiman. 2006. Hidup Akrab Dengan Gempa dan Tsunami. *Buku Ilmiah populer*, 383.
- Docherty, N. J., Chanson, H. 2010. Characterization of Unsteady Turbulence in Breaking Tidal Bores Including the Effects of Bed Roughness. *Hydraulic Model Reports*. School of Civil Engineering, The University of Queensland, Report CH76/10. 100 pp. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)www.1943-5460.0000048](https://doi.org/10.1061/(asce)www.1943-5460.0000048).
- Dyer, K., 1986. Coastal and estuarine sediment dynamics. *John Wiley And Sons, Chichester, Sussex(Uk)*, 1986, 358.
- Folk R.I dan Ward W.C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27; 3-26p. <https://doi.org/10.1306/74d70646-2b21-11d7-8648000102c1865d>.
- Friedman, G. M. 1967. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *Journal of Sedimentary Research*, 37(2), 327-354. <https://doi.org/10.1306/74d716cc-2b21-11d7-8648000102c1865d>.

- Garrett, C., and E. Kunze. 2007. Internal tide generation in the deep ocean. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 39, 57-87. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.39.050905.110227>.
- Gemilang, W. A., Wisna, U. J., & Rahmawan, G. A. 2018. Particle Size Characteristics of Riverbed Sediment Transported By Tidal Bore" Bono"(Case Study: Kampar Big River Estuary, Riau, Indonesia). *Marine Research in Indonesia*, 43(1). <http://dx.doi.org/10.14203/mri.v43i1.293>.
- Gemilang, W.A., Kusumah, G., Wisna, U.J. and Arman, A., 2017. Laju Sedimentasi Di Perairan Brebes, Jawa Tengah Menggunakan Metode Isotop 210pb. *Jurnal Geologi Kelautan*, 15(1).
- Gemilang, W.A., Rahmawan, G.A., Dhiauddin, R. and Wisna, U.J., 2018. Karakteristik Sebaran Sedimen Pantai Utara Jawa Studi Kasus: Kecamatan Brebes Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Nasional*, 13(2), pp.65-74.
- Hariadi, A., Satriadi, A., & Subardjo, P. 2017. Laju Sedimentasi Di Muara Sungai Tayu Kabupaten Pati Jawa Tengah. *Journal of Oceanography*, 6(1), 322-329.
- Helfinalis, P., 2010. Hadikusumah (2010). Studi Kelayakan Pembangunan Dermaga di Lingkungan Perairan Pantai Ujung Gebang Indramayu, *Laporan Akhir Program Insentif Peneliti dan Perekayasa LIPI tahun*.
- Hendrarto, B., & Radjasa, O. K. 2015. Pemetaan Degradasi Ekosistem Mangrove dan Abrasi Pantai Berbasis Geographic Information System di Kabupaten Brebes-Jawa Tengah. *OSEATEK*, 9(01).
- Hutabarat, T. 2017. Aplikasi Dating Pb-210 Untuk Estimasi Laju Sedimentasi Muara Cigede Dan Ciomas Pada Daerah Tangkapan Waduk Malahayu-Brebes. *Ilmu Dan Budaya*, 40(49).
- Irudhayanathan, A., Thirunavukkarasu, R. and Senapathi, V., 2011. Grain size characteristics of the Coleroon estuary sediments, Tamilnadu, East coast of India. *carpathian journal of earth and environmental sciences*, 6(2), p.151157.
- Kumar, G., Ramanathan, A. L., & Rajkumar, K. 2010. Textural characteristics of the surface sediments of a Tropical mangrove ecosystem Gulf of Kachchh, Gujarat, India. *Indian Journal of Marine Sciences*, 39(3), 415-422p.
- Lanuru, M. and Yusuf, S., 2018. Bed sediment distribution in the river estuary and coastal sea of Malili (South Sulawesi, Indonesia). *Jurnal Ilmu Kelautan SPERMONDE*, 4(2).
- Marfai, M. A. 2017. The hazards of coastal erosion in Central Java, Indonesia: An overview. *Geografia-Malaysian Journal of Society and Space*, 7(3).
- 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. <http://dx.doi.org/10.29244/jitkt.v6i1.8644>.
- Ondara, K., & Wisna, U. J. 2016. Simulasi Numerik Gelombang (Spectral Waves) dan Bencana Rob Menggunakan Flexible Mesh dan Data Elevation Model Di Perairan Kecamatan Sayung, Demak. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(2), 164-174. <https://doi.org/10.21107/jk.v9i2.1694>.
- Ondara, K., Rahmawan, G. A., Gemilang, W. A., Wisna, U. J., & Dhiauddin, R. 2018. Numerical Hydrodynamic Wave Modelling Using Spatial Discretization in Brebes Waters, Central Java, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(1), 257-263. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.1.4166>.
- Pranoto, H. R., & Atmodjo, W. 2016. Studi Sedimentasi pada Bangunan Groin di Perairan Timbulsloko, Kabupaten Demak. *Journal of Oceanography*, 5(1), 86-95.
- Qi, W. G., & Gao, F. P. 2014. Physical modeling of local scour development around a large-diameter monopile in combined waves and current. *Coastal Engineering*, 83, 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.10.007>.
- Reid, L. and Dunne, T., 2016. Sediment budgets as an organizing framework in fluvial geomorphology. In: *Kondolf, GM; Piégay, H., eds. Tools in Fluvial Geomorphology. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd: 357-379. Chapter 16, pp.357-379.*
- Sardiyatmo, S., Supriharyono, S., & Hartoko, A. 2013. Dampak Dinamika Garis Pantai Menggunakan Citra Satelit Multi Temporal

- Pantai Semarang Provinsi Jawa Tengah (Study Of The Dynamics Of Image Using Satellite Beach Line Multi-Temporal Beach Semarang Central Java Province). *Saintek Perikanan: Indonesian Journal Of Fisheries Science And Technology*, 8(2), 33-37. <https://doi.org/10.14710/ijfst.8.2.33-37>.
- Setiyarso, B., Muryani, C., & Sarwono, S. 2016. Analisis Perubahan Garis Pantai Dan Perubahan Penggunaan Lahan Kabupaten Rembang Tahun 2003-2014. *GeoEco*, 2(1).
- Thom, B.G., Eliot, I., Eliot, M., Harvey, N., Rissik, D., Sharples, C., Short, A.D. and Woodroffe, C.D., 2018. National sediment compartment framework for Australian coastal management. *Ocean & coastal management*, 154, pp.103-120.
- Triatmodjo, B. 2012. Coastal Building Planning. *Beta Offset*. Yogyakarta. Indonesia.
- Warner, J. C., B. Armstrong, R. He, and J.B. Zambon. 2010. Development of a coupled ocean-atmosphere-wave-sediment transport (COAWST) modeling system. *Ocean Modelling*, 35(3), 230-244. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2010.07.010>.
- Wisha, U. J., Al Tanto, T., Pranowo, W. S., & Husrin, S. 2017. Current movement in Benoa Bay water, Bali, Indonesia: Pattern of tidal current changes simulated for the condition before, during, and after reclamation. *Regional Studies in Marine Science*, 18, 177-187. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2017.10.006>.
- Wisha, U.J. and Heriati, A., 2016. Analisis Julat Pasang Surut (Tidal Range) dan pengaruhnya terhadap Sebaran Total Sedimen Tersuspensi (TSS) di Perairan Teluk Pare. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(1), pp.23-31.

