

Estimasi Longshore Sediment Transport di Pulau Cemara Besar, Karimun Jawa**Nur Kholik Kurniana Putra^{1*}, Baskoro Rochaddi¹, Yulius Yulius², Alfi Satriadi¹
dan Petrus Subardjo¹**¹*Departemen Oseanografi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Univeritas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH Tembalang Tlp. / Fax. (024)7474698 Semarang 50275*²*Badan Riset dan Sumber Daya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan
Email: nurkholikkurnianaputra@gmail.com***Abstrak**

Pulau Cemara Besar merupakan salah satu pulau destinasi wisata di Kepulauan Karimun Jawa. Untuk mendukung pengembangan wisata yang berkelanjutan diperlukan analisis LST (*Longshore Sediment Transport*) untuk pengambilan kebijakan pengembangan. Penelitian ini dilaksanakan untuk mengkaji transport sedimen sejajar pantai. Parameter inputan LST diperoleh dari data model reanalysis ERA-5 yang selanjutnya dilakukan peramalan gelombang dengan metode SMB dan analisis gelombang representatif. Ukuran butir sedimen diambil di sepanjang pantai sebanyak 14 titik dan dilakukan analisis granulometri untuk mengetahui besar d_{50} sedimen. Transport sedimen sejajar pantai diprediksi menggunakan persamaan empiris dari CERC. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa LST terjadi di sepanjang pantai dengan debit tinggi pada pangkal pulau dan sepanjang sisi barat pulau mencapai $439.20 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Pada sisi timur pulau memiliki debit yang lebih kecil berkisar 12.38×10^3 hingga $89.94 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Analisis LST memungkinkan adanya ketidakseimbangan pada imbalan sedimen di ekor dan pangkal pulau. Analisis LST perlu dikaji lebih jauh dengan ada kaitannya dengan abrasi dan akresi di sepanjang pulau untuk memperkaya pustaka daya dukung lingkungan pengembangan wisata.

Kata kunci : LST, gelombang, pariwisata**Abstract**

Cemara Besar Island located in Karimun Jawa Islands. This island was potential tourist destination. LST (Longshore Sediment Transport) as a part of litoral process was needed for spatial decision making. This research was conducted to analyze the LST along the shoreline. LST was calculated from ERA-5 reanalysis model data. Then the wave hindcasting was done using the SMB method and representative wave analysis. The sediment grains size were taken along the coast by 14 points and a granulometric analysis was carried to determine the d_{50} sediment size. LST was predicted using empirical equations from CERC. LST occurs with high discharge at the base of the island and along west side of the island reached $439.20 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{year}$, then eastern side has a smaller discharge with a range 12.38×10^3 to $89.94 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{year}$. LST analysis allows for an imbalance in the sediment budget at tail and base of the island. Further study was need to prove abrasion and accretion caused by LST to enrich the information for tourism development.

Keywords : LST, wave tourism**PENDAHULUAN**

Pantai merupakan ekosistem dengan dinamika yang kompleks. Bila dilihat dari interaksinya, pantai menjadi zona interaksi antara daratan, dan laut (Aedla *et al.*, 2015). Interaksi tersebut menyebabkan proses alam dari laut ke darat maupun sebaliknya yang berlangsung secara terus menerus. Proses alam yang terjadi diantaranya berupa abrasi, akresi, pencemaran lingkungan, dan bencana pesisir dan laut. Selain itu, pengaruh aktifitas manusia seperti proses pembangunan dan pengelolaan wilayah pesisir juga ikut berperan (Beatley *et al.*, 2002). Selaras dengan hal tersebut Guariglia *et al.*, (2006) menyatakan bahwa profil pantai dapat berubah secara cepat maupun lambat

bergantung pada topografi pantai, proses hidro-oseanografi, kondisi iklim, vegetasi pesisir, dan transport sedimen.

Pulau Cemara Besar merupakan salah satu pulau yang terletak di Kepulauan Karimunjawa, Indonesia. Lokasi penelitian ini secara geografis terletak di $110^{\circ}22'20''\text{BT}$ $5^{\circ}48'11.5''\text{LS}$ - $110^{\circ}22'38.6''\text{BT}$ $5^{\circ}48'30''\text{LS}$. Cemara Besar yang termasuk pulau karang tak berpenduduk, memiliki daya tarik wisata yang tinggi (Yuliana, 2017). Ditandai dengan peningkatan jumlah wisatawan baik domestik maupun mancanegara setiap tahunnya (Priyanto, 2016).

Perencanaan dan pengembangan kawasan wisata pesisir dan laut sebagai ekowisata bahari harus mempertimbangkan daya dukung lingkungan (Yulius *et al.*, 2018). Berdasarkan riset terdahulu mendapatkan bahwa disepanjang pantai Cemara Besar terjadi fenomena abrasi dan akresi berdasarkan perubahan garis pantai. Namun, hasil penelitiannya tidak menjelaskan proses litoral yang bekerja di sepanjang pantai (Ramdhan *et al.*, 2020). Dengan demikian untuk menambah pustaka daya dukung lingkungan di Pulau Cemara Besar maka diperlukan analisis proses litoral berupa *longshore sediment transport*.

MATERI DAN METODE

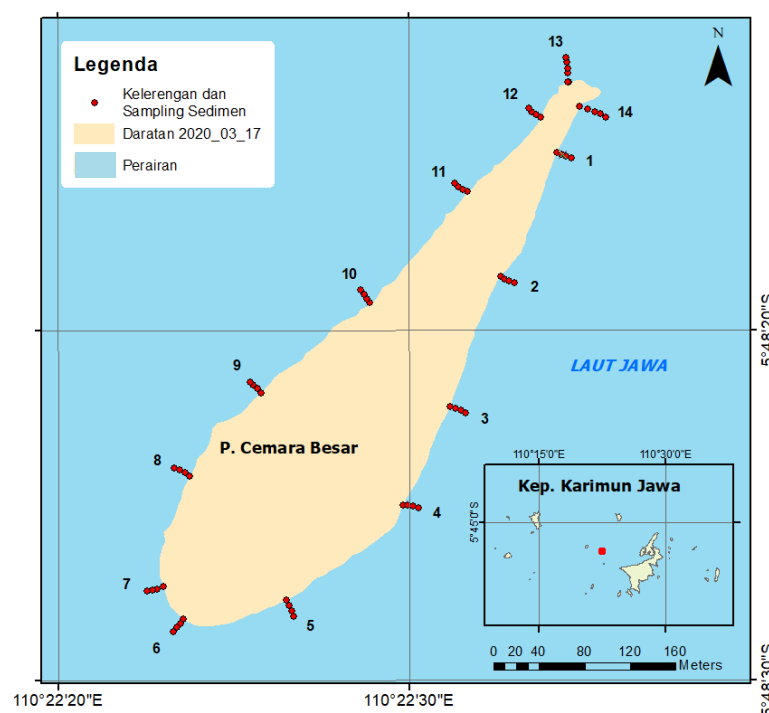
Materi

Materi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer yang digunakan yakni ukuran butir sedimen dan kelerengan pantai. Sedangkan data sekunder berupa data angin harian ERA-5 *reanalysis* tahun 2015 – 2019 dengan resolusi temporal 6 jam.

Metode

Kelerengan Pantai

Kelerengan suatu pantai selalu berubah – ubah berdasarkan proses litoral yang bekerja. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh ukuran butir sedimen, pasang surut, gelombang, dan arus disepanjang pantai yang menggerakkan sedimen, dikenal dengan transport sedimen. Dikarenakan ketersediaan data *slope* yang minim di lokasi penelitian. Maka pada penelitian ini menggunakan asumsi *slope* bernilai sama



Gambar 1. Lokasi Penelitian

sepanjang tahun penelitian. Sehingga dengan ini dapat diestimasi karakteristik gelombang pecah yang menyebabkan adanya transport sedimen di sepanjang pantai.

Kelerengan pantai (*slope*) diperoleh dari pengukuran lapangan menggunakan GPS geodetic CHC Nav tipe i50 dengan ketelitian vertikal 0.02 m. transek slope berdasarkan kesesuaian lokasi abrasi dan akresi di Cemara Besar, berdasarkan Ramdhan *et al* (2020). Transek berjumlah 14, dengan masing-masing berjarak 6-10 meter dari garis pantai ke arah laut. *Slope* diperoleh dengan membandingkan beda tinggi ujung transek dengan panjang transek. Data ini digunakan untuk konversi dalam analisis karakteristik gelombang pecah.

Ukuran Butir Sedimen

Ukuran butir sedimen diperoleh dari analisis granulometri sampel sedimen. Sampel sedimen diambil di 14 titik sepanjang pantai Cemara Besar. Sampel tersebut diayak menggunakan sieve shaker. Ukuran mesh yang digunakan yakni ukuran 2 mm, 0.5 mm, 0.3 mm, 0.125 mm, dan 0.0625 mm. Hasil ayakan di plot dalam sieve graph untuk mencari besar persentil ke-50 sebagai representasi ukuran butir, yang kemudian disebut d_{50} . Klasifikasi ukuran butir diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi skala Wentworth (CEM, 2002).

Data Gelombang

Data gelombang diperoleh dari hasil *hindcast* data angin. Penggunaan metode ini didasarkan pada belum adanya stasiun pengamatan oseanografi yang realtime baik di Pulau Cemara Besar maupun seluruh Karimun Jawa. Data angin yang digunakan adalah data angin harian dengan resolusi temporal tahun 2015 – 2019 bersumber dari ERA-5 *reanalysis*. Data angin ERA-5 *reanalysis* merupakan data model yang telah diverifikasi menjadi data *reanalysis* yang merupakan hasil sintesis data model dan data observasi. *Hindcast* data gelombang dilakukan berdasarkan metode SMB (Svedrup Munk Bretschneider) dengan tahapan filterisasi data angin, penentuan panjang fetch efektif, dan perhitungan periode dan tinggi gelombang laut (CERC, 1984).

Karakteristik gelombang berupa H_s (meter) dan T_s (detik) didapatkan dengan mengelompokkan kejadian pembangkitan gelombang berdasarkan durasi tiupan angin dan panjang fetch. tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) dapat ditentukan bila dalam kondisi *fully developed sea* dan *fetch-limited condition*. Pada kondisi *fully developed sea* persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\frac{gH_m}{U_A^2} = 2.433 \times 10^{-1} \quad (1a)$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 8.134 \quad (1b)$$

Sedangkan kondisi *fetch-limited condition* terjadi bila *duration limited* lebih besar dari t_{min} . Maka persamaan yang digunakan untuk mendapatkan H_m ditulis dalam (CERC, 1984) :

$$\frac{gH_m}{U_A^2} = 1.6 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2a)$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 2.857 \times 10^{-1} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2b)$$

Dimana H_m : tinggi gelombang model (m), T_m : periode gelombang model (s), U_A : kecepatan angin terkoreksi (m/s), F : panjang fetch efektif (m), dan g : percepatan gravitasi (9.81 m/s^2).

Data H_m dan T_m dengan resolusi temporal 6 jam digunakan untuk menentukan tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s). H_s dan T_s diperoleh dengan mengambil nilai rata-rata tinggi dan periode gelombang sebanyak 33.3% kejadian gelombang setelah diurutkan dari yang terbesar. Data H_s dan T_s menjadi input untuk menentukan karakteristik gelombang pecah di setiap stasiun berdasarkan metode gelombang representative (Triatmodjo, 1999).

Data gelombang hasil peramalan diverifikasi dengan data lapangan. Sehingga diperoleh nilai RMSE yang menunjukkan keakuratan hasil peramalan gelombang.. Data lapangan diperoleh dari data Pusat Riset Kelautan, Kementerian Kelautan dan Perikanan dimana pengambilan data didapatkan dengan metode *recording waverider* menggunakan alat ADCP Sontex Argonaut XR pada tanggal 13-28 Mei 2016. Sehingga diperoleh nilai RMSE yang menunjukkan keakuratan hasil peramalan gelombang. Metode yang digunakan yakni dengan menghitung nilai *root mean square error (RMSE)* menggunakan rumus sebagai berikut (Willmott and Matsuura, 2005) :

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2\right)} \quad (3)$$

Dimana $RMSE$: *root mean square error*, n : banyaknya data, e = nilai error dua vector. Nilai *error* diperoleh dengan mencari selisih antara 2 nilai yang memiliki kesamaan waktu, dalam hal ini adalah data hasil model/analisis dengan data pengukuran lapangan.

Longshore Sediment Transport

Longshore Sediment Transport dapat dihitung berdasarkan 3 metode yakni dengan mengukur debit transport dilapangan, mengukur perubahan elevasi dan profil pantai, serta berdasarkan estimasi rumus empiris berbagai ahli (Triatmodjo, 1999). Pada penelitian ini LST diestimasi berdasarkan rumus empiris *Shore Protection Manual* didasarkan pada *energy flux* gelombang yang diterima oleh suatu lokasi di sekitar pantai. Estimasi LST dapat di peroleh menggunakan persamaan berikut (CERC (1984) :

$$Q = \frac{KA\rho g H_b^2 T \sin(2\alpha_b)}{64\pi} \quad (4)$$

Dimana Q adalah transport sedimen sejajar pantai (m^3/tahun), K adalah konstanta empiris, $A = \frac{1}{(\rho_s - \rho) g(1-p)}$, ρ_s adalah densitas sedimen (kg/m^3), ρ adalah densitas air laut (kg/m^3), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), H_b merupakan tinggi gelombang pecah (m), p adalah faktor porositas (0.4), T adalah periode gelombang (s), dan α_b adalah sudut datang gelombang pecah ($^\circ$).

Estimasi LST menunjukkan transport sedimen di sepanjang pantai dalam satu tahun penuh. Dikarenakan penjalaran gelombang di Indonesia banyak dipengaruhi oleh angin monsoon, maka LST dihitung pada musim barat dan musim timur. Perbedaan tersebut berdasarkan karakteristik gelombang pecah dan komponen lain diasumsikan bernilai tetap. Dengan demikian hasil LST merepresentasikan kondisi gelombang di tiap stasiun untuk musim.

LST terjadi sepanjang tahun dengan arah yang berbeda, baik musim barat maupun musim timur. Untuk memperoleh nilai laju LST yang melewati suatu titik di pantai dalam kurun waktu tertentu, LST masing-masing musim dihitung berdasarkan persamaan LST net (Q_n) sebagai berikut :

$$Q_n = Q_{rt} - Q_{lt} \quad (5)$$

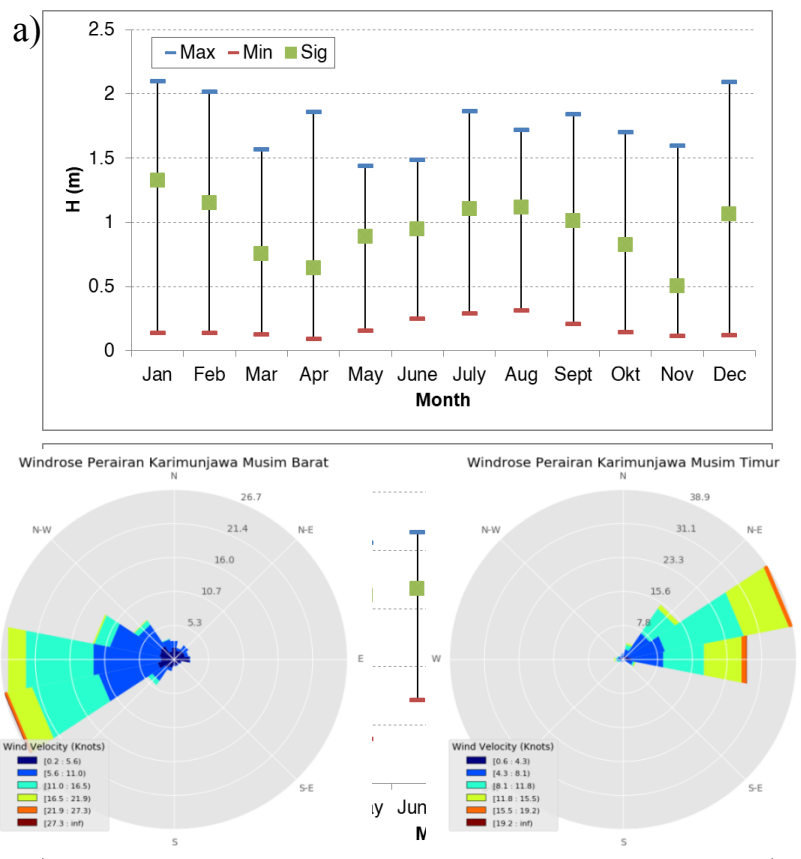
Dimana Q_{rt} pada saat musim barat dan Q_{lt} saat musim timur. Sehingga Q_n dapat bernilai positif jika $Q_{rt} > Q_{lt}$, dan bernilai negatif jika $Q_{rt} < Q_{lt}$ (CEM, 2002). Sehingga visualisasi arah transport sedimen dapat ditampilkan pada peta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sedimen dan Kelerengan Pantai

Ukuran butir di sepanjang pantai Cemara Besar ditunjukkan berdasarkan distribusi *percentile* ke-50 dinyatakan dalam ukuran butir d_{50} . Berdasarkan ukuran tersebut sedimen dasar di pantai Pulau Cemara Besar berjenis pasir dengan ukuran yang bervariasi dengan mayoritas berukuran pasir kasar. Distribusi ukuran sedimen dasar di pantai timur hingga pangkal pulau berukuran pasir kasar. Sedangkan di pantai barat hingga ekor pulau berukuran pasir sedang. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang menyatakan substrat dasar perairan berjenis pasir (Gustiantini dan Ilahude, 2016)

Kelerengan pantai (slope) ditunjukkan berdasarkan klasifikasi Yulianda (2007) yang menunjukkan tipe pantai berdasarkan kesuaian terhadap kegiatan wisata pantai. Hasil menunjukkan bahwa sepanjang pantai Cemara Besar cocok dijadikan wisata pantai dikarenakan bertipe pantai datar-landai dengan rentang slope 1^0-10^0 .



Gambar 2. Windrose Karimun Jawa

Gelombang

Hasil peramalan gelombang diperoleh tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s) musim barat sebesar 1.21 m dan 4.69 s, sedangkan H_s dan T_s musim timur sebesar 0.77 m dan 4.33 s. Nilai eror peramalan gelombang berdasarkan persamaan RMSE sebesar 0.19 untuk H_s dan 0.26 untuk T_s . Analisis statistik frekuensi angin menunjukkan arah angin dominan di Perairan Karimun Jawa. Arah angin dominan pada musim barat berhembus dari arah 247.5^0 dan pada musim

timur berhembus dari arah 67.5° . Sehingga diperoleh arah penjalaran gelombang pada musim barat ke arah 67.5° dan musim timur ke arah 247.5° .

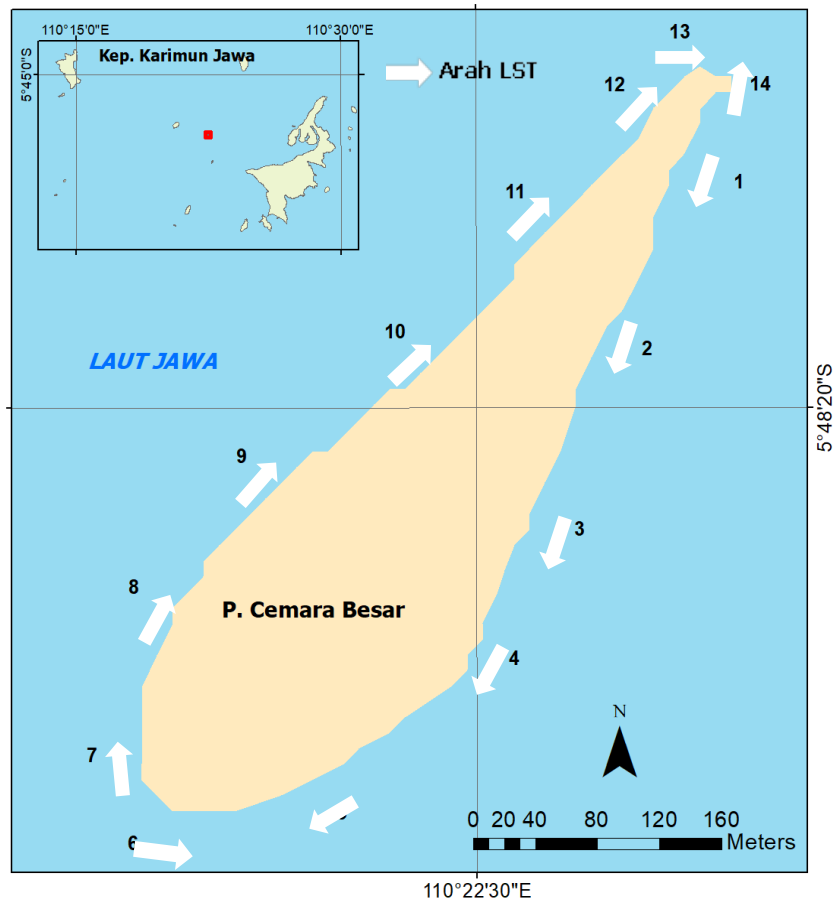
Distribusi kejadian gelombang setiap bulannya secara representatif ditunjukkan dalam **Gambar 2**. Gelombang pada musim barat yakni pada bulan Desember, Januari, dan Februari memiliki *magnitude* dan durasi yang tinggi dibanding bulan lainnya. Dikaitkan dengan arah penjalaran gelombang, maka sisi barat pulau menjadi pantai yang menerima *flux* yang lebih besar dibanding sisi timurnya. Besarnya energy *flux* yang diterima masing-masing ruas pantai bernilai linier dengan transport sedimen yang terjadi berdasarkan persamaan 3 (CERC, 1984).

Tabel 1. Perhitungan gelombang pecah

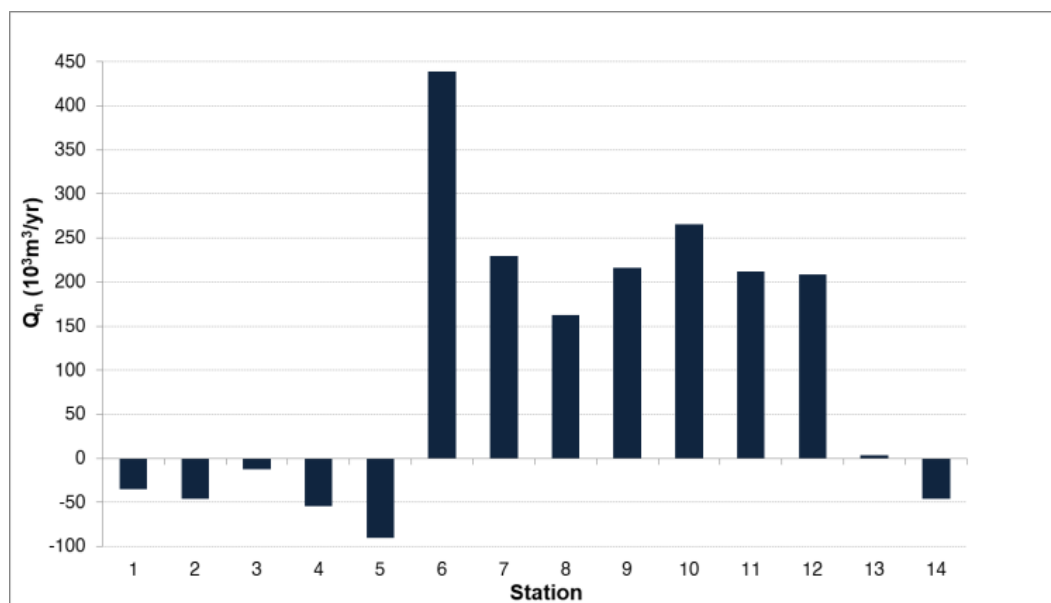
Berdasarkan perhitungan gelombang representatif, diperoleh tinggi gelombang pecah (H_b), kedalaman	St	Musim Barat			Musim Timur		
		H_b (m)	d_b (m)	α_b ($^{\circ}$)	H_b (m)	d_b (m)	α_b ($^{\circ}$)
	1	0.44	0.29	28.82	0.93	0.84	7.49
	2	0.51	0.29	28.82	0.93	0.84	10.22
	3	0.48	0.26	25.83	0.81	0.71	7.16
	4	0.51	0.24	25.74	1.06	0.68	8.98
	5	0.52	0.22	24.37	1.06	0.59	13.98
	6	1.46	1.19	20.61	0.33	0.16	8.40
	7	1.46	1.19	10.14	0.33	0.16	8.40
	8	1.57	0.99	6.81	0.37	0.14	7.84
	9	1.39	1.27	10.27	0.33	0.17	8.67
	10	1.57	1.11	10.58	0.36	0.16	8.26
	11	1.57	0.99	8.88	0.37	0.14	7.84
	12	1.39	1.39	9.41	0.30	0.19	8.99
	13	0.28	0.18	24.37	0.37	0.14	7.84
	14	0.40	0.30	29.27	0.87	0.90	9.54

gelombang pecah (d_b) dan sudut datang gelombang pecah (α_b) (Tabel 1). Pada musim barat sudut datang gelombang pecah cenderung lebih besar di sisi timur pulau. Hal ini diakibatkan oleh gelombang yang mencapai pantai merupakan gelombang hasil refraksi akibat posisi stasiun yang berada di balik pulau dari arah penjalaran gelombang. Dengan demikian tinggi gelombang pecah terbesar 0.52 m serta sudut datang gelombang pecah sebesar 24.37° hingga 29.27° . Sedangkan di sisi barat gelombang menjalar ke arah pulau, kemudian pecah di kedalaman 0.99 hingga 1.39 m dengan tinggi gelombang lebih dari 1.3 meter.

Kondisi yang berbeda pada musim timur yakni sisi timur pulau menjadi pantai yang berhadapan langsung dengan penjalaran gelombang musim timur. Sedangkan stasiun lainnya gelombang yang mencapai pantai merupakan gelombang hasil refraksi karena lokasi stasiun berada di balik pulau dari arah penjalaran gelombang di musim timur. Akibatnya tinggi gelombang stasiun 6-13 lebih kecil dibandingkan stasiun lainnya. Hasil perhitungan gelombang representatif menghasilkan tinggi gelombang pecah dan kedalaman gelombang pecah relatif lebih rendah dibandingkan musim barat. Sudut datang gelombang pecah tertinggi pada 13.98° pada stasiun 5 dan nilai terendah sebesar 7.16° pada stasiun 3.



Gambar 4. Arah LST



Gambar 5. Laju LST sepanjang pantai

Longshore Sediment Transport

LST net (Q_n) per tahun diperoleh dari selisih Q barat dan Q timur. Bila bernilai positif maka arah LST ke arah LST musim barat, dan negatif ke arah timur. Arah LST ditampilkan pada **Gambar 4** sebagai analisis dari arah penjalaran gelombang setiap musim dan perhitungan Q_n LST. Nilai Q_n terbesar yakni pada stasiun 6 sebesar 439.2×10^3 m³/tahun ke arah musim barat dan -89.94×10^3 m³/tahun ke arah musim timur.

Distribusi laju LST disepanjang stasiun ditampilkan pada **Gambar 5**. Sepanjang stasiun 1-5 dan 14 laju LST mengarah ke musim timur (1-5 ke barat daya, dan 14 ke barat laut). Arah LST pada stasiun tersebut menunjukkan bahwa kejadian gelombang musim timur lebih dominan dibandingkan kejadian gelombang musim barat. Hal ini disebabkan oleh posisi stasiun yang berada di sisi timur pulau. Sehingga pada sisi ini gelombang cenderung lebih kecil dibandingkan sisi baratnya. Kondisi gelombang ini menjadi salah satu alasan mengapa para wisatawan banyak melakukan aktivitas pantainya di sisi timur. Disamping itu ukuran butir sedimen di sepanjang sisi timur cenderung lebih halus dibanding sisi barat. Selain itu pada stasiun 1 dan 14 memiliki *slope* 1° yang tentu menandakan lokasi yang menerima *flux* gelombang sangat kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa kedalaman ke arah laut lebih dangkal dibanding lokasi lain. Disekitar stasiun 1 dan 14 dimanfaatkan oleh jasa transportasi kapal wisatawan menuju Pulau Cemara Besar untuk menurunkan jangkar.

Kondisi yang berbeda berada di sisi barat pulau. Pada stasiun 6-13 mengarah ke musim barat (6 ke timur, 7-13 ke utara-timur laut). Secara umum, pada sisi barat didominasi oleh kejadian gelombang musim barat. Pada gambar tersebut nampak bahwasannya pada stasiun 6-12 memiliki laju LST yang cenderung lebih cepat dibandingkan stasiun lainnya. Laju volume LST terbesar terjadi pada stasiun 6 sebesar 400×10^3 m³/tahun. LST pada lokasi ini dipengaruhi tinggi gelombang pecah 1.46 m dan sudut datang gelombang yang besar. Kondisi ini akan membangkitkan *longshore current* yang membawa sedimen ke lokasi lain baik *suspended load* maupun *bed load*. Sedangkan sepanjang stasiun 7 hingga 12 laju LST cenderung sama. Sepanjang stasiun tersebut tinggi gelombang pecah berkisar 1.3 – 1.5 m dan sudut datang gelombang yang sama. Proses litoral ini ditunjukkan oleh ukuran butir sedimen yang tidak berbeda jauh. Dikarenakan sudut datang gelombang lebih dari 5° maka sepanjang stasiun ini terdapat pula *longshore current* yang membawa sedimen menuju lokasi sekitar stasiun 13. Kemudian diduga sedimen mengendap di sekitar stasiun 13. Kondisi tersebut ditunjukkan dengan lajun LST yang menuju 13 bernilai 200×10^3 m³/tahunnya. Sedangkan laju LST stasiun 13 jauh lebih kecil. Dengan demikian disekitar stasiun 12-14 terjadi ketidakseimbangan sedimen. Ketidakseimbangan ini didukung oleh laju LST stasiun 14 sebesar 50.000 m³/tahun dan mengarah ke utara. Ketidakseimbangan juga dimungkinkan terjadi pada lokasi disekitar 5 hingga 7 dikarenakan arah LST menuju stasiun 5. Sehingga dimungkinkan terjadi sedimentasi di sekitar stasiun 5 dan abrasi di sekitar stasiun 7. Analisis ini selaras dengan hasil analisis perubahan garis pantai menurut Ramdhan *et al* (2020) menunjukkan bahwa pada pangkal pulau terdapat akresi di sisi timur dan abrasi di sisi baratnya. Selain itu pada ekor pulau menunjukkan adanya akresi kuat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa LST terjadi di sepanjang pantai dengan debit tinggi pada pangkal pulau dan sepanjang sisi barat pulau mencapai 439.20×10^3 m³/tahun. Pada sisi timur pulau memiliki debit yang lebih kecil berkisar 12.38×10^3 hingga 89.94×10^3 m³/tahun. Analisis LST memungkinkan adanya ketidakseimbangan pada imbalan sedimen di ekor dan pangkal pulau. Analisis LST perlu dikaji lebih jauh dengan ada kaitannya dengan abrasi dan akresi di sepanjang pulau untuk memperkaya pustaka daya dukung lingkungan pengembangan wisata

DAFTAR PUSTAKA

- Aedla, R., G. S. Dwarakish, and D. V. Reddy. 2015. *Automatic Shoreline Detection and Change Detection Analysis of Netravati-GurpurRivermouth Using Histogram Equalization and Adaptive Thresholding Techniques*. Aquat. Procedia, 4:563–570.
- Beatley, T., D. Brower, and A. K. Schwab. 2002. *An Introduction to Coastal Zone Management*. Island Press.
- CEM, Usac. 2002. *Coastal Engineering Manual*.
- CERC, *Shore Protection Manual*. 1984. Coastal Eng. Research Centre. US Army Corps Eng., Washington.
- Guariglia, A., A. Buonamassa, A. Losurdo, R. Saladino, M. L. Trivigno, A. Zaccagnino, and A. Colangelo. 2006. *A Multisource Approach for Coastline Mapping and Identification of Shoreline Changes*. Ann. Geophys., 49(1).
- Gustiantini, L. and D. Ilahude. 2016. *Foraminifera Bentik Dalam Sedimen Sebagai Indikator Kondisi Lingkungan Terumbu Karang Di Perairan Pulau Cemara Besar Dan Cemara Kecil Kepulauan Karimunjawa Jawa Tengah*. J. Geol. Kelaut., 10(1):35–38.
- Priyanto, S. E. 2016. *Dampak Perkembangan Pariwisata Minat Khusus Snorkeling Terhadap Lingkungan: Kasus Destinasi Wisata Karimunjawa*. Kepariwisata J. Ilm., 10(3).
- Ramadhan, M., Y. Yuius, & N.K.K. Putra. 2020. *Shoreline Change Dynamucs using Digital Shoreline Analysis in Cemara Besar Island*. Jurnal Segara, 16(2).
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset, Yogyakarta, 397.
- Willmott, C. J. & K. Matsuura. 2005. *Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error (RMSE) in Assessing Average Model Performance*. Clim. Res., 30(1):79–82.
- Yuliana, E. 2017. *Pengelolaan Ekowisata Bahari Di Kawasan Konservasi Perairan Taman Nasional Karimunjawa*.
- Yulianda, F. 2007. *Ekowisata Bahari Sebagai Alternatif Pemanfaatan Sumberdaya Pesisir Berbasis Konservasi*. In: Makal. Semin. Sains.
- Yulius, Y., M. Ramadhan, R. Rahmania, U. Kadarwati, T. Khairunnisa, D. Saepuloh, J. Subandrio, and A. Tussadiah. 2018. *Buku Panduan Ekowisata Bahari*.