

Analisis Pengaruh Longshore Current Terhadap Potensi Abrasi di Perairan Kecamatan Kaliwungu, Kendal, Jawa Tengah

Nia Oktaviani Annisa Putri*, Aris Ismanto, dan Gentur Handoyo

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia
Email: *niaoktavannisa@gmail.com

Abstrak

Pembangunan pelabuhan di Kendal yang berada di Kawasan Industri Kendal (KIK) menyebabkan terjadi perubahan hidro-oseanografi di wilayah tersebut. Akibatnya terjadi dinamika pantai seperti abrasi dan akresi di beberapa pantai di kawasan tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis laju transpor sedimen akibat proses arus sejajar pantai (*longshore current*) di Perairan Kaliwungu setelah pembangunan Pelabuhan Kendal dan dampaknya terhadap abrasi yang terjadi di sepanjang pantai di Kabupaten Kendal. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif, dimana data primer yang digunakan adalah data gelombang dan sedimen, sedangkan data sekunder yang digunakan berupa data angin selama tahun 2011 - 2021 bersumber dari ERA5 ECMWF (*European Centre Medium Range-Weather Forecasts*) dan diolah menggunakan metode SMB (*Sverdrup Munk Bretchneider*). Data gelombang dan sedimen digunakan sebagai input untuk model simulasi arus sejajar pantai menggunakan modul *coupled model FM* dari *software MIKE21*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa jenis gelombang yang berada di lokasi penelitian merupakan jenis gelombang yang dibangkitkan oleh angin. Kecapatan arus sejajar pantai terbesar pada musim barat yaitu 1 m/det. Maka angkutan sedimen terbesar juga terjadi pada musim barat, yaitu sebesar $-29,314 \text{ m}^3/\text{hari}$ atau $-315.150,16 \text{ m}^3/\text{tahun}$, sedangkan angkutan sedimen terendah terjadi pada musim peralihan II yaitu $-25,899 \text{ m}^3/\text{hari}$ atau $-278.422,836 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Abrasi terparah sebesar 176,7 m yang berada di sekitar kawasan pelabuhan Kendal dengan rata-rata abrasi sebesar 4,15 m/tahun dan memiliki luasan abrasi sebesar 2,891 ha.

Kata kunci: Abrasi, Arus Sejajar Pantai, MIKE 21

Abstract

Analysis of the Effect of Longshore Currents on the Potential for Abrasion in the Waters of Kaliwungu, Kendal, Central Java

The construction of a port in Kendal in the Kendal Industrial Zone (KIK) has caused hydro-oceanography changes in the area. As a result, coastal dynamics such as abrasion and accretion occur on several beaches in the area. The purpose of this research is to analyze the sediment transport rate due to the longshore current process in Kaliwungu Water after the construction of Kendal Port and its impact on abrasion that occurs along the coast in Kendal Regency. The method used in this research is quantitative method, where the primary data used are wave and sediment data, while the secondary data used are wind data for 2011 - 2021 sourced from ERA5 ECMWF (*European Center Medium Range-Weather Forecasts*) and processed using SMB (*Sverdrup Munk Bretchneider*) method. Wave and sediment data are used as inputs for the longshore current simulation model using the coupled model FM module of the MIKE21 software. The results of this study show that the type of wave at the research site is a type of wave generated by the wind. The largest longshore current density in the west season is 1 m/s. Then the largest sediment transport also occurs in the west season, which is $-29.314 \text{ m}^3/\text{day}$ or $-315150.16 \text{ m}^3/\text{year}$, while the lowest sediment transport occurs in the second transitional season which is $-25.899 \text{ m}^3/\text{day}$ or $-278422.836 \text{ m}^3/\text{year}$. The worst abrasion is 176.7 m around the Kendal port area with an average abrasion of 4.15 m/year and has an abrasion area of 2.891 ha.

Keywords: Abrasion, Longshore Current, MIKE 21

PENDAHULUAN

Indonesia diketahui sebagai Negara kepulauan, dimana 70% luas wilayahnya diketahui sebagai perairan dan 30% berupa daratan (Sukanto, 2017). Dengan dominasi wilayah perairan, tidak mengherankan jika Indonesia memiliki potensi yang besar pada wisata lautnya dan salah satu wilayah tersebut adalah Kendal.

Kabupaten Kendal memiliki luas pantai sepanjang 41 km² yang terbentang di 25 kelurahan/Desa, salah satunya Wonorejo, Kecamatan Kaliwungu dan diketahui berbatasan langsung dengan Perairan Utara Jawa. Secara geografis, Kabupaten Kendal terletak pada 109° 40' BT – 110° 18' BT dan 6° 32' LS– 7° 24' LS.

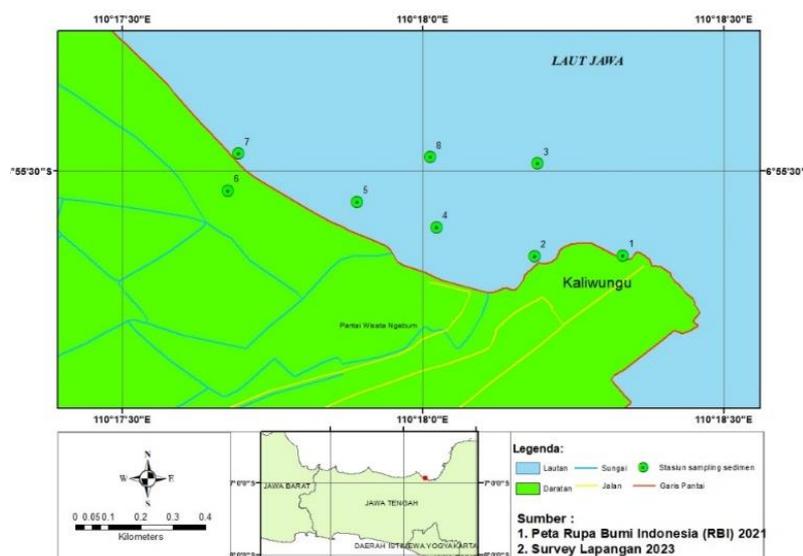
Salah satu potensinya terletak pada akomodasi, berupa pelabuhan yang berada dekat dengan Kawasan Industri Kendal (KIK). Pelabuhan Kendal mulai diresmikan 21 Februari 2016 dan dioperasikan sebagai pelabuhan penyeberangan dan pelabuhan niaga (Widodo, 2020). Pembangunan tersebut, tentunya mempengaruhi proses hidro-oseanografi yang ada pada perairan Kendal. Dampaknya adalah terjadinya dinamika pantai di beberapa pantai yang berada di Kabupaten Kendal.

Salah satu dinamika yang terjadi adalah perubahan garis pantai di kawasan Perairan Kendal. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Adyatama (2021), terjadi perubahan panjang garis pantai di sepanjang pesisir Kabupaten Kendal, yang sebelumnya sepanjang 41,82 km menjadi 59,13 km pada tahun 2020. Menurut Astuti *et al.* (2021), Pesisir Kendal telah mengalami perubahan garis pantai selama periode tahun 2000-2020 yang disebabkan oleh peristiwa abrasi dan akresi di sepanjang garis pantai. Akresi terparah berada di wilayah kecamatan Patebon sebesar 50,09 m/tahun. Sedangkan abrasi yang cukup parah dialami oleh Kecamatan Kaliwungu dengan luasan abrasi sebesar 17,98 m/tahun, sehingga garis pantai di wilayah Kecamatan Kaliwungu cenderung mundur ke arah darat.

Proses abrasi di sekitar Kecamatan Kaliwungu turut diperparah dengan dibangunnya bangunan pemecah gelombang di bagian barat dan timur Pelabuhan Kaliwungu Kendal yang mulai beroperasi pada tahun 2019, hal tersebut menyebabkan terjadi perubahan faktor hidro-oseanografi, salah satunya adalah *longshore current* yang mempengaruhi proses transport sedimen di sepanjang pantai Kaliwungu. Berdasarkan penjelasan tersebut, penelitian ini perlu dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis laju transpor sedimen di Perairan Kabupaten Kendal setelah pembangunan Pelabuhan Kendal dan dampaknya terhadap abrasi yang terjadi di sepanjang pantai di Kabupaten Kendal.

MATERI DAN METODE

Lokasi penelitian ini terletak pada wilayah Perairan Pantai Ngebum, Kecamatan Kaliwungu, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah dan berada pada koordinat 6°55'38.38" - 6°55'28.69" Lintang Selatan dan 110°18'10.86" - 110°17'37.81" Bujur Timur (Gambar 1). Data yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer berupa data pengukuran gelombang di lapangan dan data sedimen, sedangkan data sekunder adalah data angin yang bersumber dari ERA5 ECMWF selama 10 tahun (2011-2021), pasang surut dan citra Landsat 7 dan 8 yang didapat dari USGS (*United States Geological Survey*). Data-data tersebut digunakan sebagai data penunjang dari data primer yang telah dikumpulkan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Metode Gelombang

Pengukuran gelombang dilakukan selama 3 hari dengan interval waktu 1 jam sekali menggunakan instrumen bola duga (Gemilang *et al.*, 2017). Alat tersebut diletakkan pada kedalaman 0,5 m untuk mendapatkan data tinggi gelombang (H) dan data periode gelombang (T). Kemudian, data tersebut dianalisis untuk menentukan nilai tinggi (Hs) dan periode gelombang (Ts) signifikan (Melisa *et al.*, 2020). Rumus empiris yang dapat digunakan adalah :

$$n = 33,3\% \times \text{Jumlah data}$$

$$H_s = \frac{(H_1 + H_2 + \dots, H_n)}{n}$$

$$T_s = \frac{(T_1 + T_2 + \dots, T_n)}{n}$$

Metode Sedimen

Pengambilan sampel sedimen menggunakan *sediment core* dan *sediment grab* untuk menjangkau sedimen pada kedalaman tertentu. Untuk melakukan penamaan sedimen, maka diperlukan analisa sedimen yaitu analisis granulometri. Analisa tersebut menggunakan metode *Sieve*, yaitu metode pengayakan (Melisa *et al.*, 2020). Hasil analisa tersebut kemudian akan diklasifikasi sesuai ketentuan skala *Wentworth* dan dilanjutkan dengan penamaan sedimen menggunakan segitiga *Shepard*. Adapun tahapan analisis sampel sedimen menurut Putra (2022) adalah sebagai berikut :

1. Sampel sedimen terlebih dahulu dikeringkan di bawah sinar matahari. Selanjutnya, sampel ditimbang sebesar 200 gram untuk kemudian diayak menggunakan *shieve shaker* dengan beberapa diameter diantaranya, 2 mm, 0,5 mm, 0,312 mm, 0,125 mm dan 0,063 mm. *Shieve shaker* disusun dari *mesh* dengan diameter terbesar hingga terkecil dengan waktu pengayakan dilakukan selama 15 menit dengan amplitudo 60
2. Kemudian, tiap sampel yang telah disaring dipisahkan berdasarkan ukuran diameter *mesh* dan selanjutnya ditimbang
3. Jika terdapat sampel yang melewati *mesh* berdiameter 0,063 mm, sampel tersebut dimasukkan ke dalam gelas ukur volume 1000 ml yang sudah berisi aquades, lalu diaduk hingga homogen. Untuk selanjutnya dilakukan *pipetting* menggunakan pipet gondok dengan waktu sebagai berikut : 58 detik, 1 menit 56 detik, 7 menit 44 detik, 31 menit dan 2 jam 30 menit
4. Proses *pipetting* dapat dilakukan dengan mengambil larutan sedimen sebanyak 20 ml yang kemudian dituang ke dalam wadah berukuran 30 ml dan ditimbang
5. Setelahnya, dilakukan perhitungan menggunakan rumus perbandingan massa air dan massa larutan sedimen untuk mengetahui berat tiap ukuran butir sedimen.

Hasil pengayakan kemudian diinterpretasikan ke dalam grafik *sieve graph* untuk mengetahui berat fraksi sedimen beserta ukuran butir sedimen menggunakan perangkat lunak *Sieve Graph*. Adapun nilai persentase kumulatif berat fraksi sedimen yang didapat kemudian divisualisasikan menggunakan diagram segitiga *Shepard* untuk penamaan sedimen. Nilai D50 digunakan sebagai inputan model pada MIKE21.

Peramalan Gelombang

Peramalan gelombang dilakukan dengan menggunakan metode SMB yang memberikan nilai tinggi dan periode gelombang yang signifikan (Putra *et al.*, 2022). Prakiraan gelombang ini berdasarkan data angin dari ERA5 ECMWF, dimana data angin tersebut diolah menggunakan WRPLOT untuk menghasilkan mawar angin yang memuat arah dan kecepatan angin perairan yang dominan.

Pengolahan Data Pasang Surut

Data pasang surut digunakan sebagai faktor pembangkit arus serta faktor pengoreksi dalam penentuan garis pantai dari perekaman citra. Data pasang surut diperoleh dari Badan Informasi Geospasial dan digunakan sebagai data inputan model arus sejajar pantai pada MIKE21. Adapun pengolahan data pasang surut menggunakan metode admiralty untuk mengetahui komponen harmonik pasang surut dan bilangan Formzhal (F) sehingga didapatkan karakteristik pasang surut di lokasi penelitian (Ichsari *et al.*, 2020).

Proses Pemodelan Arus Sejajar Pantai

Pembuatan model *longshore current* dilakukan menggunakan *MIKE21* untuk mendapatkan karakteristik *longshore current* serta kaitannya dengan laju transpor sedimen pada Perairan Kecamatan Kaliwungu, Kendal (Prihantono *et al.*, 2018). Adapun modul yang digunakan adalah *Couple Model FM* yang

digunakan untuk mengetahui dampak gelombang terhadap kecepatan dan arah *longshore current* di Perairan Kecamatan Kaliwungu, Kendal. Data yang dimasukkan berupa data gelombang dan data pasang surut Perairan Kecamatan Kaliwungu, Kendal. Sebelumnya, dilakukan pembuatan batas wilayah perairan menggunakan ArcGIS untuk kemudian digunakan dalam pembuatan *Mesh* yang akan dibuat pada *Mesh Generator* pada bagian *MIKEZero*. Kemudian dari hasil model tersebut dilakukan perhitungan menggunakan rumus empiris untuk mendapatkan kecepatan *longshore current* menggunakan hasil dari tinggi gelombang pecah (H_b) dan sudut gelombang pecah (α_b). Menurut Triatmodjo (2016) rumus empirisnya sebagai berikut :

$$V = 1,17 \sqrt{gH_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b}$$

Keterangan :

- V = Kecepatan *longshore current*
- g = Percepatan gravitasi (m/s^2)
- H_b = Tinggi gelombang pecah
- α_b = Sudut datang gelombang pecah

Validasi Model

Menurut Ismanto *et al.* (2019) validasi model dilakukan menggunakan metode RMS (*Root Mean Square*). RMS merupakan metode yang menggunakan nilai non-dimensional untuk mencari kesesuaian nilai dari dua data. Validasi tersebut dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$RMS = \sqrt{\frac{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \dots + \Delta x_n^2}{n}}$$

$$\Delta x_n = b_n - a_n$$

Keterangan:

- a_n = Data Lapangan
- b_n = Data Hasil Pemodelan
- n = Jumlah Data.

Menurut Evans (1993) batas toleransi kesalahan untuk validasi model pada variabel *water level* memiliki toleransi sebesar 0,1 m. sementara batas toleransi kesalahan untuk validasi model pada variabel kecepatan arus laut memiliki toleransi maksimal sebesar 0,2 m/s.

Pengolahan Garis Pantai

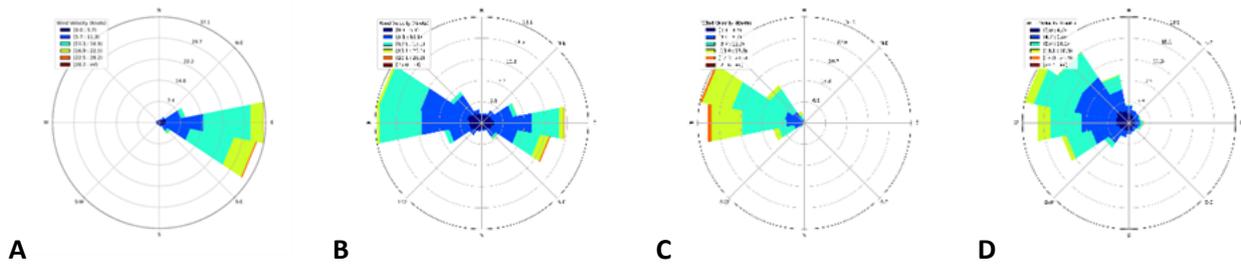
Pengolahan data garis pantai pada penelitian ini menggunakan pendekatan penginderaan jauh. Teknologi penginderaan jauh sangat diperlukan untuk pengembangan wilayah pesisir area karena teknologi ini dapat memberikan informasi pada area yang luas tanpa memerlukan waktu dan waktu yang lama relatif mudah (Pratikto, 2021). Pengolahan garis pantai dilakukan menggunakan metode DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) yang terdapat pada *software ArcGIS*. Hal pertama yang dilakukan adalah melakukan koreksi citra landsat 7 dan 8 pada tahun 2011-2021 dengan tujuan mempertajam tampilan citra dan meminimalisir gangguan hamburan awan. Koreksi citra dapat dilakukan menggunakan *software ER-Mapper 7.1*, kemudian citra diekstrak menggunakan metode NDWI (*Normalized Difference Water Index*) menggunakan fitur *Raster Calculator* untuk mempermudah deliniasi citra agar dapat membedakan rona darat dan laut.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan perubahan garis pantai menggunakan metode DSAS yang terbagi kedalam tiga tahapan yaitu, pembuatan garis acuan (*baseline*) yang merupakan garis dasar yang terletak sejajar pantai, kemudian pembuatan transek tegak lurus terhadap *baseline* untuk membagi pias-pias garis pantai dan terakhir perhitungan tingkat perubahan garis pantai (Umami *et al.*, 2018).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Gelombang

Berdasarkan data yang didapat dari pengukuran lapangan, nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) sebesar 0,59 m dengan periode gelombang signifikan (T_s) sebesar 3,73 s. Diketahui gelombang di lokasi penelitian merupakan jenis gelombang yang dibangkitkan oleh angin. Adapun kedalaman relatif perairan sebesar 0,12, sehingga perairan dapat diklasifikasikan sebagai laut transisi karena memiliki nilai kedalaman relatif (d/L) lebih dari 0,05 namun tidak lebih dari 0,5 (Triatmodjo, 2016).



Gambar 2. (a) Mawar angin musim barat, (b) Mawar angin musim peralihan 1, (c) Mawar angin musim timur, (d) Mawar angin musim peralihan 2.

Tabel 1. Tinggi Gelombang dan Periode Gelombang Signifikan Hasil Peramalan

No.	Musim	Hs (m)	Ts (detik)
1	Musim Barat	0,641	4,012
2	Musim Peralihan I	0,115	0,944
3	Musim Timur	0,301	2,443
4	Musim Peralihan II	0,092	0,895

Mawar Angin (Wind Rose)

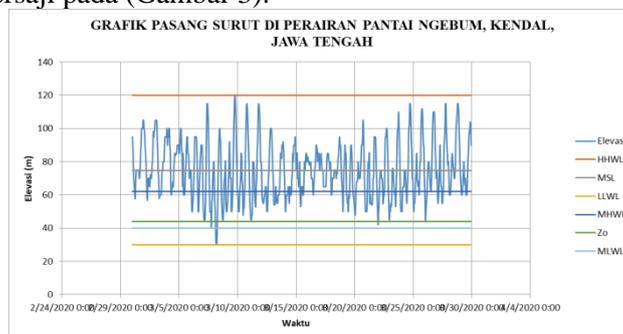
Pada musim barat, dominansi angin bertiup dari arah barat menuju timur seperti yang tersaji pada gambar 2.(a) dengan kecepatan 5,8 m/s – 8,7 m/s. Pada musim peralihan I, dominansi angin bertiup dari arah tenggara menuju barat laut yang tersaji pada gambar 2.(b) dengan kecepatan 5,2 m/s – 7,8 m/s. Pada musim timur, dominansi arah angin bertiup dari timur menuju barat dengan kecepatan 4,5 m/s – 6,7 m/s yang tersaji pada gambar 2.(c). Sedangkan pada musim peralihan II, dominansi angin bertiup menuju barat laut dengan kecepatan 4,8 m/s – 7,2 m/s.

Peramalan Gelombang

Data angin yang telah diperoleh kemudian dikonversi menjadi data gelombang menggunakan metode SMB sehingga didapatkan distribusi hasil peramalan tinggi signifikan dan periode signifikan gelombang. Hasil tersebut kemudian dibedakan berdasarkan musim, seperti yang tersaji pada (Tabel 1).

Data Pasang Surut

Berdasarkan pengolahan data pasang surut menggunakan metode admiralty. Tipe pasang surut di sekitar Perairan Kecamatan Kaliwungu, Kendal, Jawa Tengah adalah pasang surut campuran condong harian tunggal dengan nilai Formzahl (F) sebesar 2,51. Hal tersebut sesuai dengan tipe pasang surut berdasarkan nilai Formzahl, dimana pasang surut dengan nilai Formzahl dalam rentang $1,5 < F < 3$ merupakan pasang surut campuran condong harian tunggal. *Mean Sea Level* (MSL) atau muka air rerata di perairan tersebut adalah 0,74 m, *Lowest Low Water Level* (LLWL) atau muka air terendah adalah 0,24 m dan muka air tertinggi atau *Highest High Water Level* (HHWL) adalah 1,25 m. Sedangkan muka air tinggi rerata atau *Mean High Water Level* (MHWL) dalam periode sepuluh tahun adalah 0,62 m dan muka air terendah rerata atau *Mean Low Water Level* (MLWL) periode sepuluh tahun adalah 0,4 m. Kedudukan muka air tersebut dapat dilihat pada grafik pasang surut seperti yang tersaji pada (Gambar 3).



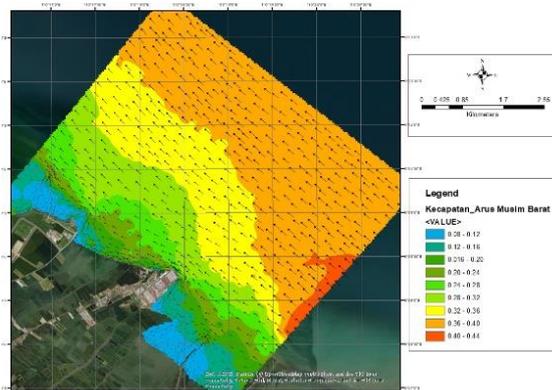
Gambar 3. Grafik Analisis Pasang Surut Perairan Pantai Ngebum, Kendal, Jawa Tengah Model Arus Sejajar Pantai

Model Arus Sejajar Pantai

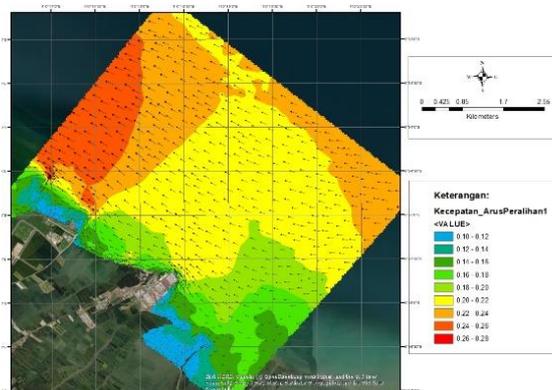
Dari hasil pengolahan model menggunakan MIKE21, didapatkan bahwa nilai arus sejajar pantai (*Longshore current*) pada perairan Pantai Ngebum, Kabupaten Kendal berkisar antara 0,12 m/s – 1,00 m/s dengan nilai kecepatan terbesar terjadi pada musim peralihan II.

Tabel 2. Kecepatan Arus Sejajar Pantai

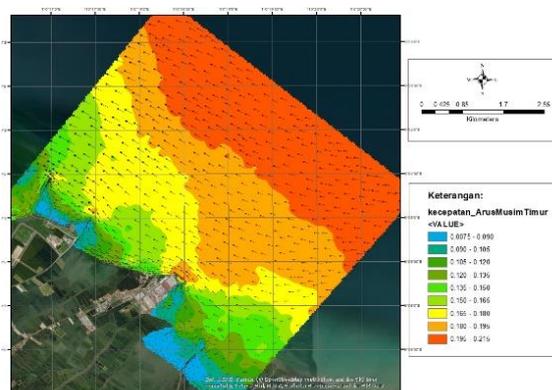
No.	Musim	V (m/s)
1	Musim Barat	1
2	Musim Peralihan I	0,135
3	Musim Timur	0,14
4	Musim Peralihan II	0,12



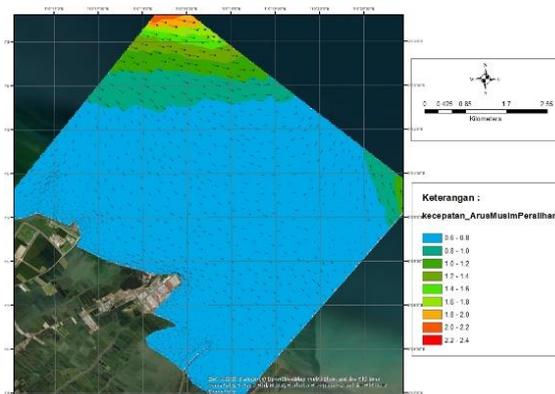
Gambar 4. Arus Sejajar Pantai Musim Barat



Gambar 5. Arus Sejajar Pantai Musim Peralihan I



Gambar 6. Arus Sejajar Pantai Musim Timur



Gambar 7. Arus Sejajar Pantai Musim Peralihan II

Tabel 3. Ukuran Butir Sedimen

Stasiun	Lintang	Bujur	Fraksi (%)		Jenis Sedimen	D50
			Pasir	Lanau		
1	6°55'38.45"S	110°18'20.13"E	99,81	0,18	Pasir	0,79
2	6°55'38.55"S	110°18'11.20"E	97,83	2,16	Pasir	1
3	6°55'29.24"S	110°18'11.47"E	44,54	55,42	Pasir Lanauan	0,07
4	6°55'35.64"S	110°18'1.42"E	98,56	1,234	Pasir	0,89
5	6°55'33.10"S	110°17'53.48"E	99,99	0,007	Pasir	0,79
6	6°55'31.96"S	110°17'40.55"E	99,78	0,21	Pasir	0,89
7	6°55'28.24"S	110°17'41.64"E	53,03	46,94	Pasir Lanau	0,063
8	6°55'28.60"S	110°18'0.74"E	44,06	55,39	Pasir Lanau	0,063

Validasi Model

Validasi model berdasarkan data pasang surut didapatkan nilai 0,024 m. Menurut Evans (1993) batas toleransi nilai *error* adalah 0,1 meter, sehingga model yang dibuat memiliki kriteria yang bagus dan dapat dianalisis.

Analisis Ukuran Butir Sedimen

Proses transpor sedimen menyebar dari garis pantai hingga ke titik dimana gelombang pecah. Nilai ukuran butir (tabel 3) diperlukan untuk mengetahui proses pengangkutan sedimen di wilayah tersebut. Berdasarkan hasil tersebut, sedimen di lokasi penelitian terbagi menjadi dua jenis yaitu pasir dan pasir lanauan. Diketahui sedimen berjenis pasir terdapat di sepanjang garis pantai, sedangkan sedimen berjenis pasir lanauan berada di sekitar lokasi gelombang pecah.

Analisis Pengaruh Arus Sejajar Pantai Terhadap Nilai Angkutan Sedimen

Berdasarkan hasil pengolahan data, diketahui bahwa potensi angkutan sedimen per hari di Pantai Ngebum berkisar antara -25,899 m³/hari sampai 29,314 m³/hari, sedangkan potensi angkutan sedimen per tahun diketahui berada pada rentang -278.422,836 m³/tahun sampai 315.130,16 m³/tahun. Potensi angkutan sedimen terbesar terjadi pada musim barat dan musim timur yang disebabkan oleh kecepatan arus sejajar pantai yang lebih besar dari pada musim lainnya.

Tabel 4. Nilai Angkutan Sedimen

No.	Musim	Qs (m ³ /tahun)	Qs (m ³ /hari)
1	Musim Barat	-315.130,16	-29,314
2	Musim Peralihan I	-292.349,511	-27,195
3	Musim Timur	-315.130,16	-29,314
4	Musim Peralihan II	-278.422,836	-25,899

Tabel 3. Hasil NSM Pengolahan DSAS

Tahun	NSM (<i>Net Shoreline Movement</i>)					
	Akresi		Abrasi		Rata – Rata	
	Min	Max	Min	Max	Akresi	Abrasi
2013 – 2017	0,11	10,89	6,79	176,7	2,56	4,15
2017 – 2021	0,01	16,64	4,07	176,7	6,17	8,32

Tabel 4. Hasil EPR Pengolahan DSAS

Tahun	EPR (<i>End Point Rate</i>)					
	Akresi		Abrasi		Rata - Rata	
	min	Max	Min	Max	Akresi	Abrasi
2013 - 2017	0,45	7,57	1,09	17,55	1,37	3,4
2017 - 2021	1,43	15,09	4,07	22,8	8,14	11,4

Perubahan Garis Pantai

Hasil analisis perubahan garis pantai di perairan Kecamatan Kaliwungu Kabupaten Kendal terbagi menjadi dua bagian yaitu tahun 2013 - 2017 dan tahun 2017 - 2021. Analisis perubahan garis pantai dilakukan dengan menggunakan DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) yang dapat dijalankan pada perangkat ArcGIS dan menentukan ukuran jarak perubahan garis pantai dalam meter dan luas permukaannya dalam meter persegi. Fungsi Analisis NSM (*Net Shoreline Movement*) memungkinkan untuk menghitung jarak perubahan pantai dari yang tertua ke garis pantai terbaru.

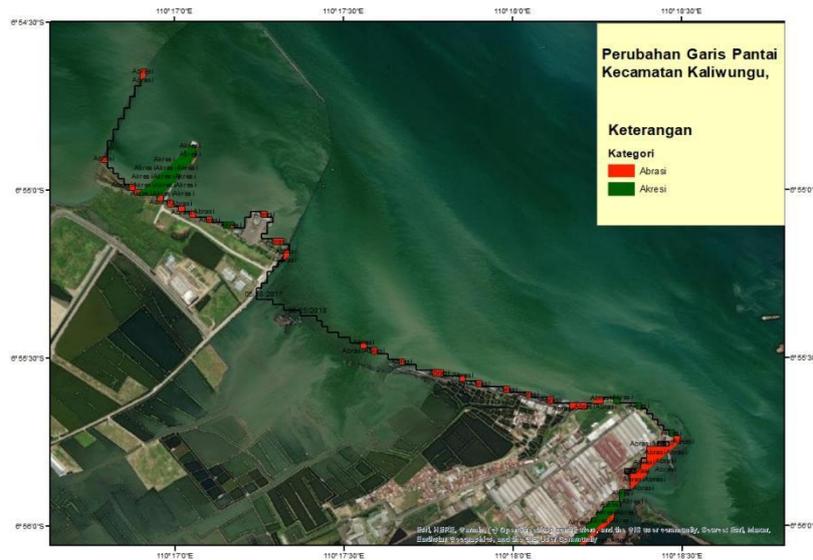
Berdasarkan perolehan NSM, pada tahun 2013-2017 terjadi pergeseran garis pantai ke arah laut atau dikenal dengan akresi. Akresi minimum diketahui sebesar 0,11 m dan akresi maksimum sebesar 10,89 m. Adapun jarak rata-rata pergeseran tersebut adalah 2,56 m ke arah laut. Sedangkan jarak pergeseran garis pantai ke arah darat atau lebih dikenal dengan abrasi diketahui memiliki nilai minimum sebesar 6,79 m dan abrasi maksimum sebesar 176,7 m, rata-rata abrasi terjadi sebesar 4,15 m. Pada tahun 2017-2021, besar perubahan garis pantai menuju laut memiliki besaran nilai minimum sebesar 0,01 m dan akresi maksimum sebesar 16,64 m dengan rata-rata perubahan sebesar 6,17 m. Adapun perubahan garis pantai ke arah darat memiliki nilai minimum sebesar 4,07 meter dan maksimum sebesar 176,7 m dengan rata-rata perubahan sebesar 8,32 m. Hasil abrasi dan akresi tersebut dapat dilihat pada (Tabel 5).

Laju perubahan garis pantai di Kecamatan Kaliwungu dapat dilihat pada tabel EPR (*End Point Rate*) pengolahan DSAS. Berdasarkan hasil statistik, pada tahun 2013 – 2017 laju perubahan tertinggi mencapai 7,57 m/tahun dan terendah mencapai 17,55 m/tahun. Adapun rata-rata akresi sebesar 1,37 m/tahun dan abrasi sebesar 3,4 m/tahun. Pada tahun 2017-2021 laju perubahan tertinggi mencapai 15,09 m/tahun dan terendah sebesar 22,8 m/tahun, dengan rata-rata akresi 8,14 m/tahun dan abrasi sebesar 11,4 m/tahun. Hasil EPR dapat dilihat pada (Tabel 6).

Luasan area abrasi pada rentang tahun 2013 – 2017 sebesar 2891,085 ha dan luasan akresi pada rentang tahun yang sama sebesar 1,009 ha. Sedangkan pada rentang tahun 2017 – 2021, luasan abrasi diketahui sebesar 19.675,49 ha dan luasan akresi sebesar 3.201,558 ha. Sehingga total luasan area yang mengalami abrasi selama rentang waktu 2013-2021 adalah sebesar 22.566,575 ha, sedangkan total luasan akresi dalam rentang waktu yang sama diketahui sebesar 4.210,558 ha. Hasil tersebut disajikan pada (Tabel 7).

Tabel 5. Total Luas Area Abrasi dan Akresi

Tahun	Total Luas Area	
	Abrasi	Akresi
2013 – 2017	2,891	1,009
2017 – 2021	19,675	3,202



Gambar 8. Peta Perubahan Garis Pantai Perairan Kaliwungu, Kendal

Berdasarkan hasil pengolahan data pada tahun 2013 – 2017. Akresi terbesar terjadi di sekitar wilayah pelabuhan yang terletak pada Kecamatan Kaliwungu. Sedangkan luasan abrasi diketahui menyebar sepanjang Kecamatan Kaliwungu. Sedangkan pada tahun 2017 – 2021, luasan abrasi terparah berada di sepanjang Pantai Ngebum, Kecamatan Kaliwungu.

Perubahan garis pantai tersebut dapat dilihat pada (Gambar 8), dimana perubahan garis pantai yang dominan kearah darat terjadi di bagian timur Pantai Ngebum, sedangkan akresi dominan terjadi di bagian barat yang berdekatan dengan Pelabuhan Tanjung Kendal.

Pada tahun 2013 – 2017, berdasarkan hasil NSM diperoleh nilai abrasi tertinggi sebesar 176,7 m yang berada di sekitar kawasan Pelabuhan Kendal dengan rata-rata abrasi sebesar 4,15 m/tahun dan memiliki luasan abrasi sebesar 2,891085 ha. Selain mengalami abrasi, pada rentang tahun yang sama juga terjadi akresi, namun dalam luasan yang lebih kecil yaitu sebesar 6,79 m dengan rata-rata sebesar 2,56 m dan memiliki luasan sebesar 1,009 ha. Proses abrasi yang terjadi dapat disebabkan terhalangnya transpor sedimen yang seharusnya dibawa oleh arus sejajar pantai ke arah barat akibat dari pembangunan pelabuhan. Sedangkan pada tahun 2017 – 2021, perubahan garis pantai terjadi dominan ke arah darat dengan nilai maksimum 176,7 m. Wilayah yang sangat terdampak adalah kawasan Pantai Ngebum dengan luasan wilayah abrasi sebesar 64,14 ha. Menurut Avonta dan Tjahjono (2022), abrasi di kawasan Pantai Ngebum disebabkan adanya alih fungsi lahan hutan *mangrove* menjadi lahan tambak, gudang, pabrik serta adanya proses reklamasi sehingga tidak terdapat penahan air laut baik oleh gelombang, arus, maupun pasang surut ke arah darat. Sehingga air laut menggerus wilayah darat pesisir pantai.

Secara teoritis, sebenarnya dengan gelombang dominan ke arah barat juga barat laut dan adanya pelabuhan di sebelah barat, Pantai Ngebum dapat mengalami akresi yang parah. Namun, dengan adanya pergerakan arus menyusur pantai atau arus sejajar pantai yang mentranspor sedimen yang berada di sepanjang garis pantai menuju lepas pantai menyebabkan Pantai Ngebum mengalami abrasi. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Lubis *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa abrasi dapat disebabkan oleh arus sejajar pantai yang dibangkitkan oleh gelombang laut yang datang dan pecah yang tidak tegak lurus dengan garis pantai. Dengan kecepatan yang tinggi, sedimen atau material yang terdapat di sepanjang garis pantai akan tergerus atau hilang ke pantai yang memiliki kedalaman lebih dalam.

Wilayah pesisir Kecamatan Kaliwungu memiliki rata-rata kecepatan arus sejajar pantai berkisar antara 0,1 m/s sampai dengan 1 m/s yang dapat mentranspor sedimen ke arah laut dalam, akibatnya terjadi ketidakseimbangan suplai sedimen di wilayah tersebut dan memicu proses abrasi. Selain itu, frekuensi hantaman gelombang laut juga dapat mempengaruhi proses abrasi dan pengikisan daratan. Menurut Lubis *et al.* (2020), apabila kecepatan arus sejajar pantai mencapai > 10 cm/detik maka dapat mengangkut sedimen berdiameter 0,6 mm sehingga berpotensi menyebabkan abrasi di daerah tersebut. Pergerakan arus sejajar pantai yang terhalang pelabuhan di bagian barat Pantai Ngebum menyebabkan terendapnya sedimen di bagian barat,

sedangkan pada bagian timur mengalami kekosongan suplai sedimen, akibatnya wilayah Pantai Ngebum di bagian timur didominasi oleh abrasi. Oleh karena itu, arus sejajar pantai memiliki peranan penting dalam perubahan garis pantai terutama abrasi di wilayah Perairan Kecamatan Kaliwungu, Kendal.

KESIMPULAN

Laju angkutan sedimen yang terjadi berbanding lurus dengan kecepatan arus sejajar pantai. Kecepatan arus sejajar pantai tertinggi terjadi pada musim peralihan II sebesar 1 m/s dengan potensi angkutan sebesar -25,899 m³/hari atau -278.422,836 m³/tahun, sedangkan angkutan sedimen terendah terjadi pada musim barat yaitu -29,314 m³/hari atau -315.150,16 m³/tahun. Pada musim peralihan I kecepatan arus sejajar pantai sebesar 0,14 m/s dengan potensi angkutan sebesar -27,195 m³/hari atau -292.349,511 m³/tahun. Pada musim timur kecepatan arus sejajar pantai adalah 0,135 m/s dengan potensi angkutan sedimen sebesar -29,314 m³/hari atau -315.130,16 m³/tahun. Angkutan sedimen bergerak menuju barat, namun karena adanya pelabuhan membuat angkutan sedimen tertahan dan menumpuk di arah barat. Dengan besarnya arus sejajar pantai, maka penumpukan sedimentasi di sepanjang garis pantai tertransportasi ke arah lepas pantai sehingga proses yang dominan terjadi di sepanjang garis pantai wilayah Pesisir Kecamatan Kaliwungu, Kendal adalah abrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adyatama, K. 2021. Perubahan Spasial Wilayah Pesisir Kabupaten Kendal Periode 1990-2020 (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Andayani, D., Suryoputro, A. A. D., Atmodjo, W., Satriadi, A., dan Subardjo, P. 2020. Studi Transpor Sedimen di Perairan Muara Sungai Bodri, Kabupaten Kendal. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2 (3) : 1-10.
- Astuti, B. I. D., Laksono, A., Muhammad, D. T. N., Nurbaiti, I. F., Wildiyanti, S., Junaedi, R. N., dan Marfai, M. A. 2021. Dinamika Perubahan Garis Pantai Kabupaten Kendal Tahun 2000 – 2020. *Majalah Geografi Indonesia*, 35 (1) : 75 – 83.
- Avonta, R. A., dan Tjahjono, H. 2022. Pemanfaat Media Diorama Kebencanaan sebagai Upaya Mitigasi Bencana Abrasi Bagi Masyarakat di Pantai Ngebum Kecamatan Kaliwungu, Kabupaten Kendal. *Edu Geography*, 10 (3) : 91 – 97.
- Evans, G. P. 1993. *A Framework for Marine and Estuarine Model Specification In the UK Foundation or Water Research Members*. Henley Road.
- Gemilang, A. S., Kunarso, dan G. Handoyo. 2017. Pola Arus Laut Permukaan Sebelum dan Sesudah Pembangunan Pelabuhan Tamjung Bonang Kabupaten Rembang. *Jurnal Oseanografi*, 6(2) : 359-268.
- Ichsari, L. F., Handoyo, G., Setiyono, H., Ismanto, A., Marwoto, J., Yusuf, M., dan Rifai, A. 2020. Studi Komparasi Hasil Pengolahan Pasang Surut Dengan 3 Metode (*Admiralty, Least Square dan Fast Fourier Transform*) di Pelabuhan Malahayati, Banda Aceh. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2 (2) : 1 – 8.
- Ismanto, A., Ismunarti, D. H., Sugianto, D. N., Maisyarah, S., Subardjo, P., Suryoputro, A. A. D., dan Siagian, H. 2019. *The Potential of Ocean Current as Electronical Power Sources Alternatives in Karimunjawa Islands Indonesia. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 4 (6) : 126 – 133.
- Lubis, A. M., Veronica, N., Saputra, R., Sinaga, J., Hasanudin, M., dan Kusmanto, E. 2020. Investigasi Arus Sejajar Pantai (*Longshore Current*) di Daerah Abrasi Bengkulu Utara. *Jurnal Kelautan Tropis*, 23 (3) : 316 – 324.
- Melisa, W., Hariyadi., Widada, S., Indrayanti, E., Sugianto, D. N., Ismunarti, D. H., dan Yusuf, M. 2020. Studi Pengaruh *Longshore Current* Terhadap Abrasi di Pantai Moro, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah. *Indonesian Journal Of Oceanography*, 2 (4) : 1 – 7.
- Pratikto, W. A. et al. 2021. *The study of coastline changing and total suspended solid distribution based on the remote sensing data in Teluk Lamong Multipurpose Port Terminal. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 698 (1)
- Prihantono, J., Fajrianto, I. A., dan 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.
- Putra, A. N., Handoyo, G., Ismanto, A., Satriadi, A., dan Setiyono, H. 2022. Studi Pengaruh *Longshore Current* Terhadap Transpor Sedimen Dasar di Pantai Slamaran, Kota Pekalongan, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4 (1) : 36 – 46.

- Sukamto. 2017. Pengelolaan Potensi Laut Indonesia dalam Spirit Ekonomi Islam (Studi Terhadap Eksplorasi Potensi Hasil Laut Indonesia). *Jurnal Ekonomi Islam*, 9 (1) : 35 – 45.
- Triatmodjo, B. 2016. *Teknik Pantai*. Penerbit Beta Offset.
- Umami, K., Harahap, S. A., Syamsudin, M. L., dan Sunarto. 2018. Aplikasi Citra Landsat dalam Analisa Perubahan Garis Pantai. Seminar Nasional Geomatika, 919-927pp.
- Widodo, B. S. 2020. Peran Pemerintah Daerah Kabupaten Kendal Dalam Pengembangan Pelabuhan Kendal. *Journal of Politic and Government Studies*, 9(4) : 136 – 148.