

Efektivitas *Jetty* sebagai Pengendali Sedimentasi di Muara Sungai Bogowonto, Daerah Istimewa Yogyakarta

Zulfa Abkar Pradipta*, Denny Nugroho Sugianto, Muhammad Zainuri

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesi
Email: zulfaabkarpradipta01@gmail.com

Abstrak

Muara Sungai Bogowonto di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta, merupakan kawasan pesisir yang rawan sedimentasi akibat influks sedimen melalui aliran sungai dan transport sejajar pantai, sehingga memicu pendangkalan muara. Kondisi ini kerap menimbulkan banjir, terutama di sekitar Bandara Internasional Yogyakarta. Untuk mengatasinya, sejak 2021 hingga 2023 dibangun *jetty* sepanjang 300 meter di kedua sisi muara. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas *jetty* dalam mengendalikan sedimentasi melalui analisis perubahan laju sedimentasi setelah pembangunan. Hasil menunjukkan laju sedimentasi menurun signifikan, dari 0,0032821 cm/tahun menjadi 0,00006023 cm/tahun di Stasiun 3, serta dari 0,0000201 cm/tahun menjadi 0,00000657 cm/tahun di Stasiun 4 yang terletak di belakang *jetty*. Kecepatan arus sejajar pantai meningkat dari 0,89 m/s (2019) menjadi 1,52 m/s (2023), sedangkan tinggi gelombang signifikan (H_s) menurun di setiap musim. Pada musim Barat, H_s turun dari 1,86 meter menjadi 1,22 meter. Volume angkutan sedimen tertinggi tercatat pada musim Barat sebesar 2.729.015 m³/tahun, dan terendah pada musim Peralihan II sebesar 780.311,4 m³/tahun. Arah distribusi sedimen bergeser serta terkonsentrasi di luar mulut muara, menjaga alur tetap terbuka. Dengan demikian, *jetty* dinilai efektif menahan sedimen dan memperlancar aliran air, meski pemantauan dan pemeliharaan tetap diperlukan.

Kata kunci: *Jetty*, Sedimentasi, Muara Sungai, Bogowonto

Abstract

The Effectiveness of Jetties as Sedimentation Controllers at the Bogowonto River Estuary, Special Region of Yogyakarta

The mouth of the Bogowonto River in Kulon Progo Regency, Special Region of Yogyakarta, is a coastal area prone to sedimentation due to sediment influx through river flow and parallel coastal transport, causing the mouth to silt up. This condition often causes flooding, especially around Yogyakarta International Airport. To address this, a 300-metre *jetty* was constructed on both sides of the estuary from 2021 to 2023. This study aims to evaluate the effectiveness of the *jetty* in controlling sedimentation through an analysis of changes in sedimentation rates after construction. The results show that the sedimentation rate decreased significantly, from 0.0032821 cm/year to 0.00006023 cm/year at Station 3, and from 0.0000201 cm/year to 0.00000657 cm/year at Station 4, located behind the *jetty*. The parallel coastal current velocity increased from 0.89 m/s (2019) to 1.52 m/s (2023), while the significant wave height (H_s) decreased in every season. In the West season, H_s decreased from 1.86 metres to 1.22 metres. The highest sediment transport volume was recorded in the West season at 2,729,015 m³/year, and the lowest in the Transition II season at 780,311.4 m³/year. The direction of sediment distribution shifted and concentrated outside the estuary mouth, keeping the channel open. Thus, the *jetty* was considered effective in retaining sediment and facilitating water flow, although monitoring and maintenance were still required.

Keywords: *Jetty*, Sedimentation, River Estuary, Bogowonto

PENDAHULUAN

Sedimentasi adalah proses penumpukan material yang tererosi yang dibawa oleh aliran air dan mengendap di suatu lokasi, termasuk sungai dan muara (Erlina, 2018; Istianah *et al.*, 2018). Proses ini dimulai

dengan erosi yang disebabkan oleh hujan, yang menghasilkan partikel halus yang kemudian dibawa oleh aliran air dan menjadi bagian dari transportasi sedimen. Di daerah sungai, pengendapan sering terjadi saat air meluap, menyebabkan sedimen tertinggal di tepi sungai. Sedimentasi merupakan bagian dari siklus alami yang saling terkait antara erosi tanah, transportasi sedimen, dan proses pengendapan (Barus *et al.*, 2020).

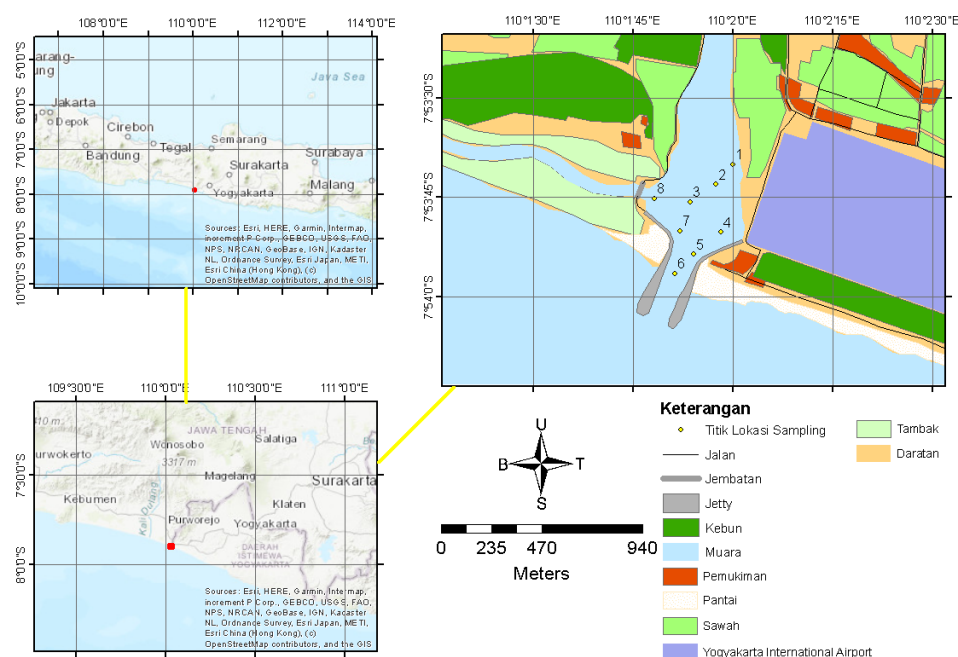
Di muara sungai, sedimentasi lebih intensif karena aliran air melambat dan tidak lagi mampu mengangkut jumlah sedimen yang besar (Rosyadewi & Hidayah, 2020). Hal ini diperparah oleh pengaruh gelombang laut dan pasang surut, yang dapat membawa sedimen ke estuari dan mempercepat pengendapan. Jika jumlah sedimen yang masuk cukup besar, perubahan morfologi pesisir tidak terhindarkan, seperti garis pantai yang mundur lebih jauh ke laut (Octaviana *et al.*, 2020; Triatmodjo, 2020). Transportasi sedimen sangat bergantung pada energi gelombang dan ketersediaan material sedimen di sekitar pesisir.

Penelitian tentang dinamika sedimentasi dan efektivitas struktur pengendali di muara Sungai Bogowonto telah dilakukan sebelumnya oleh Ramadhani (2023) dan Pratomo (2023), yang telah memberikan kontribusi penting dalam memahami kondisi existing dan tantangan teknis di wilayah tersebut. Ramadhani (2023) meneliti dampak pembangunan *jetty* terhadap perubahan kondisi fisik muara Sungai Bogowonto. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa pembangunan *jetty* dapat secara signifikan mempengaruhi arah dan kecepatan aliran sungai di bagian hilir, yang pada gilirannya berdampak pada penurunan laju sedimentasi di sekitar mulut muara. Sementara itu, Pratomo (2023) mengevaluasi aspek perencanaan teknis *jetty* timur muara Sungai Bogowonto. Dalam studinya, ia menekankan pentingnya dimensi dan orientasi *jetty* yang sesuai dengan karakteristik hidrodinamik lokal, seperti arah dominan arus laut dan gelombang, serta variabilitas pasang surut. Evaluasi tersebut menunjukkan bahwa jika konstruksi *jetty* tidak dirancang secara optimal, hal itu dapat menyebabkan penumpukan sedimen di area yang tidak diinginkan atau bahkan mempercepat erosi di sisi lain muara.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan laju sedimentasi di muara Sungai Bogowonto, Daerah Istimewa Yogyakarta setelah pembangunan *jetty* pengendali sedimen serta untuk mengevaluasi efektivitas *jetty* pengendali sedimen di muara Sungai Bogowonto, Daerah Istimewa Yogyakarta.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di muara Sungai Bogowonto dan area dermaga yang terletak di muara Sungai Bogowonto dengan koordinat $7^{\circ}53'57.8''$ S – $110^{\circ}1'52.88''$ E. Sampel sedimen dikumpulkan di 8 lokasi pengambilan sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data primer yang digunakan dalam evaluasi ini adalah data pasang surut dari Sistem Referensi Geospasial Indonesia (SRGI) dan data sampel sedimen dari lokasi penelitian. Data sekunder yang digunakan dalam evaluasi ini adalah data batimetri dari perairan sekitar muara Sungai Bogowonto dan data angin dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.

Metode Pengolahan Data Pasang Surut

Data pasang surut yang digunakan merupakan data pasang surut yang bersumber dari Sistem Referensi Geospasial Indonesia (SRGI) BIG dimulai pada tanggal 12 Agustus 2019 hingga tanggal 27 Agustus 2019 dengan interval pengukuran selama 60 menit. Berdasarkan analisis pasang surut menggunakan metode *Least Square* didapatkan nilai HWL, LWL, dan MSL di perairan Muara Sungai Bogowonto. Setelah diperoleh nilai tersebut, maka selanjutnya dapat dihitung nilai HHWL, MSL, LLWL, dan bilangan Formzahl. Mengacu pada penelitian Hanun *et al.* (2024) persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai-nilai tersebut menggunakan persamaan berikut ini:

$$\text{Highest High Water Level (HHWL)} \quad HHWL = A(S_0) + (A(M_2) + A(K_1) + A(O_1) + A(P_1) + A(K_2))$$

$$\text{Lowest Low Water Level (LLWL)} \quad LLWL = A(S_0) - (A(M_2) + A(K_1) + A(O_1) + A(P_1) + A(K_2))$$

$$\text{Mean Sea Level (MSL)} \quad MSL = A \times S_0$$

$$\text{Formzahl Number} \quad F = \frac{O_1 + K_1}{M_2 + S_2}$$

Metode Pengolahan Data Angin

Data angin yang digunakan dalam analisis ini diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) untuk periode satu tahun penuh, dengan interval harian. Untuk mempermudah analisis, data tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan musim yang terjadi sepanjang tahun, sehingga memungkinkan identifikasi pola angin musiman yang spesifik. Data angin yang telah diperoleh kemudian dilakukan koreksi data angin serta dilakukan visualisasi data angin menggunakan *WRPLOT View*. Koreksi data angin mengacu pada Pratomo (2023). Dalam pengkoreksian data angin dapat dilakukan perhitungan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

$$\text{Koreksi Ketinggian} \quad U_{10} = U_z \left(\frac{10}{U_f} \right)^{\frac{1}{7}}$$

$$\text{Koreksi Durasi} \quad t = \frac{1069}{U_f}$$

$$\text{Koreksi Stabilitas} \quad U = R_t U_{10}$$

$$\text{Koreksi Terhadap Efek Lokasi} \quad U_w = U \times 1$$

Dari perhitungan tersebut diperoleh besar nilai koreksi data angin tersebut. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan *wind stress factor* menggunakan persamaan:

$$U_a = R_T U^{1,23}$$

Metode Pengolahan Data Gelombang Laut

Pengolahan data gelombang di Muara Sungai Bogowonto dilakukan menggunakan pemodelan *Spectral Wave* dengan perangkat lunak MIKE 21. Data yang digunakan meliputi batimetri, kecepatan angin, dan parameter gelombang lainnya yang relevan. Setelah penentuan domain dan *grid* numerik, model dikalibrasi sesuai kondisi perairan setempat. Pemodelan dilakukan dalam dua tahap: pertama, untuk menganalisis propagasi gelombang alami; kedua, untuk melihat dampak keberadaan struktur *jetty* yang dirancang. Hasil

pemodelan menunjukkan perubahan pola gelombang dan peredaman energi di sekitar *jetty*, yang memberikan gambaran tentang efektivitas struktur dalam melindungi kawasan muara.

Verifikasi Model Gelombang Laut

Data pasang surut Sistem Referensi Geospasial Indonesia digunakan sebagai verifikasi terhadap data hasil model prediksi *MIKE 21*. Berdasarkan hasil verifikasi antar kedua data tersebut akan dilihat tingkat keakuratannya. Keakuratan hasil pengolahan data model diukur dalam bentuk persentase melalui perhitungan nilai kesalahan relatif yang dikenal sebagai *Root Mean Square Error* (RMSE). Nilai RMSE yang rendah menunjukkan bahwa variasi yang ditampilkan oleh model peramalan mendekati variasi nilai observasi, sehingga menandakan tingkat akurasi yang tinggi (Silaban *et al.*, 2023). Menurut Purnama *et al.* (2023) perhitungan nilai RMSE menggunakan persamaan berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (xi - yi)^2}$$

Keterangan: RMSE = *Root Mean Square Error*; Xi = *Simulation results data*; Yi = *Field data*; N = *Amount of data*

Besaran nilai validasi model yang dapat diterima adalah jika nilai RMSE yang diperoleh memiliki nilai < 40% (Heryadi *et al.*, 2023).

Metode Pengolahan Sampel Sedimen

Data sedimen yang digunakan merupakan data sedimen yang diambil di lapangan dengan menggunakan *sediment trap* yang telah diletakkan di titik-titik *sampling*. Pengambilan sampel sedimen di Muara Sungai Bogowonto dilakukan selama 15 hari dengan interval waktu yaitu 5 hari sekali setelah *sediment trap* diletakkan. Dalam pengolahan sampel sedimen terbagi menjadi 2 analisa, yaitu analisa granulometri dan analisa laju sedimentasi. dan Analisa granulometri dilakukan dengan metode pengayakan untuk mendapatkan fraksi butir sedimen dan selanjutnya digunakan untuk penamaan sedimen menggunakan Segitiga Shepard. Sedangkan analisa laju sedimentasi digunakan rumus APHA (1976) dalam Adrianto *et al.* (2017), yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Laju sedimentasi} &= \frac{A - B}{\frac{\text{Luas}}{\text{Minggu}}} \\ &= \left(\frac{10000}{\pi \cdot r^2} \right) x(A - B) \text{ (gr/m}^2\text{/hari)} \\ &= \left(\frac{10}{\pi r^2} \right) x(A - B) \text{ (kg/m}^2\text{/hari)} \end{aligned}$$

Keterangan: A= Berat aluminium foil + Endapan setelah dipanaskan hingga 105°C dalam gram; B = Berat awal aluminium foil setelah dipanaskan hingga 105°C dalam gram

Metode Perhitungan Transpor Sedimen

Metode perhitungan transpor sedimen yang digunakan dalam penelitian ini mengintegrasikan data tinggi gelombang signifikan (Hs) dan periode gelombang signifikan (Ts) yang diperoleh dari hasil pemodelan gelombang laut menggunakan model *Spectral Wave MIKE 21* dengan pendekatan perhitungan berdasarkan metode CERC 1994. Mengacu pada penelitian Putra *et al.* (2022) transpor sedimen yang diakibatkan oleh *longshore current* dapat diprediksi menggunakan persamaan empiris yang didasarkan pada kondisi gelombang di daerah penelitian. Persamaan tersebut menggunakan korelasi antara transpor sedimen dengan komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai. Perhitungan transpor sedimen sebagai berikut:

Menghitung Nilai Kecepatan Gelombang Pecah (C_b) $C_b = \sqrt{gd_b}$

Menghitung Fluks Energi Gelombang Sepanjang Pantai Saat Pecah (P_1) $P_1 = \frac{\rho g}{8} H_b C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b$

Menghitung Angkutan Sedimen perhari (Q_s) $Q_s = 0,401P_1$

Menghitung Angkutan Sedimen pertahun (Q_s) $Q_s = 1290P_1$

Mengutip Melisa *et al.* (2020) kecepatan *longshore current* didapatkan dari perhitungan tinggi gelombang pecah (H_b) dan sudut gelombang pecah (α_b) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$v = 1.17\sqrt{gH_b} \sin\alpha_b \cos\alpha_b$$

Metode Pengolahan Data Batimetri

Untuk memperoleh nilai kontur kedalaman di Muara Sungai Bogowonto, data BATNAS kemudian diolah pada ArcGIS. Pada pengolahan di ArcGIS, digunakan fitur *cropping* atau pemotongan data agar batimetri yang diperoleh hanya berada pada sekitar Muara Sungai Bogowonto. Setelah data tersebut berhasil dipotong kemudian data ditampilkan dalam bentuk peta dengan interval kontur yang kecil. Interval kontur yang kecil memungkinkan batimetri di sekitar Muara Sungai Bogowonto dapat terlihat jelas dan mencakup seluruh area lokasi penelitian.

Metode Perhitungan Perancangan Desain Jetty

Setelah diperoleh tinggi dan kedalaman gelombang pecah di Muara Sungai Bogowonto, kemudian dilakukan perhitungan untuk perancangan desain *jetty* pengendali sedimen. Perhitungan perancangan *jetty* mengacu pada buku Teknik Pantai karya Bambang Triatmodjo (1999). Dalam perhitungan perancangan tersebut dilakukan berdasarkan langkah-langkah berikut:

$$\text{Calculating the value of Irribaren numbers} = Ir = \frac{tg\phi}{(H/L_o)^{0,5}}$$

$$\text{Calculating wave run-up} = Run - up = \frac{Ru}{H}$$

$$\text{Calculating wave setup (Ws)} = Ws = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b$$

$$\text{Calculating the design water level} = DWL = HWL + Ws + SLR$$

$$\text{Calculating the elevation of the jetty peak} = Elevasi_{jetty} = DWL + Ru + Tinggi\ kebebasan$$

$$\text{Calculating the height of the jetty} = H_{jetty} = Elevasi_{jetty} - Elevasi_{dasar\ laut}$$

$$\text{Calculating the weight of protective layers} = W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (Sr-1)^3 \cot\theta}$$

$$\text{Calculating the width of the jetty peak} = B = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3}$$

$$\text{Calculating the thickness of the protective layer} = t = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3}$$

$$\text{Counting the number of protective stones} = N = Ank_{\Delta} \left[1 - \frac{P}{100} \right] \left[\frac{\gamma_r}{W} \right]^{2/3}$$

Selanjutnya penggambaran desain menggunakan *software AutoCAD*. Dalam penggambaran desain tersebut dibuat kenampakan struktur *jetty* secara melintang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pasang Surut

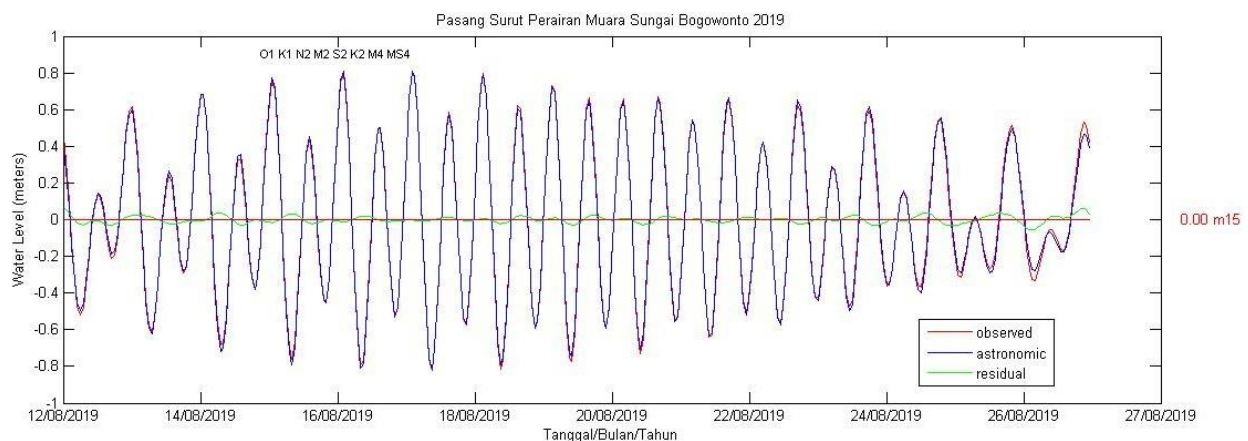
Hasil pengolahan data pasang surut pada muara Sungai Bogowonto disajikan pada Tabel 1, Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 1. Komponen Harmonik Pasang Surut Muara Sungai Bogowonto

	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₁	O ₁	M ₄	MS ₄	K ₂	P ₁
Amplitude (m)	0	0,47	0,41	0,07	0,18	0,11	0,001	0,001	0,14	0,12
Phase (°)		327,47	102,02	206,2	176,69	109,13	145,72	109,05	14,84	269,49

Tabel 2. Elevasi Muka Air Laut Muara Sungai Bogowonto Tahun 2019

Sea Level Rise	Value (metres)
HHWL	1,02
HWL	0,8
MSL	0
LWL	-0,8
LLWL	-1,02

**Gambar 2.** Grafik Pasang Surut Muara Sungai Bogowonto, Agustus 2019

Berdasarkan data pasang surut dan grafik pasang surut yang diperoleh, diketahui pasang surut di Perairan Muara Sungai Bogowonto memiliki nilai *High Water Level* (HWL) atau muka air tertinggi sebesar 0,8 meter. Nilai *Mean Sea Level* (MSL) atau muka air laut rata-rata sebesar 0 meter. Serta nilai *Low Water Level* (LWL) atau muka air laut terendah di Perairan Muara Sungai Bogowonto sebesar -0,8 meter. Dari pengolahan data pasang surut tersebut diperoleh pula nilai 9 komponen harmonik pasang surut seperti yang terlihat pada Tabel 2. Dengan diketahuinya 9 komponen harmonik tersebut, maka akan didapatkan bilangan formzahl pasang surut di Perairan Muara Sungai Bogowonto, dimana bilangan formzahl yang diperoleh sebesar 0,46. Sehingga tipe pasang surut yang terjadi di daerah Muara Sungai Bogowonto merupakan pasang surut campuran condong harian ganda, dimana tipe pasang surut tersebut memiliki bilangan formzahl antara $0,25 < F \leq 1,5$.

Angin

Distribusi arah dan kecepatan angin di Perairan Kulon Progo dibagi menjadi empat musim, yaitu Musim Barat, Musim Peralihan I, Musim Timur, dan Musim Peralihan II. Data kecepatan dan arah angin tersebut dapat diunduh melalui situs <https://dataonline.bmkg.go.id/data-harian>. Berdasarkan *wind rose* yang didapat, diperoleh hasil distribusi arah angin yang berhembus di Perairan Muara Sungai Bogowonto pada Musim Barat (Desember – Januari) 2023 dominan berasal dari arah barat dengan persentase kejadian sebesar 60,2%, dan dari arah barat laut sebesar 14,76%. Sedangkan dari arah barat daya sebesar 9,10%, dari arah utara sebesar 5,68%, dari arah selatan sebesar 5,68%, dari arah timur sebesar 3,41%, dan persentase terkecil sebesar 1,14%

dari arah timur laut. Pada Musim Peralihan I (Maret – Mei) 2023 dominan berasal dari arah selatan dengan persentase kejadian sebesar 36,67%, dan dari arah barat sebesar 25,55%. Sedangkan dari arah barat daya sebesar 13,33%, dari arah tenggara sebesar 12,22%, dari arah barat laut sebesar 7,77%, dari arah timur laut sebesar 2,22%, dan persentase terkecil sebesar 1,11% dari arah utara dan timur. Pada Musim Timur (Juni – Agustus) 2023 dominan berasal dari arah selatan dengan persentase kejadian sebesar 68,48%, dan dari arah tenggara sebesar 28,26%. Sedangkan dari arah timur sebesar 2,17%, dan persentase terkecil sebesar 1,09% dari arah barat. Pada Musim Peralihan II (September – Oktober) 2023 dominan berasal dari arah selatan dengan persentase kejadian sebesar 63,74%, dan dari arah barat daya sebesar 18,68%. Sedangkan dari arah tenggara sebesar 14,28%, dan persentase terkecil sebesar 3,30% dari arah barat.

Gelombang Laut

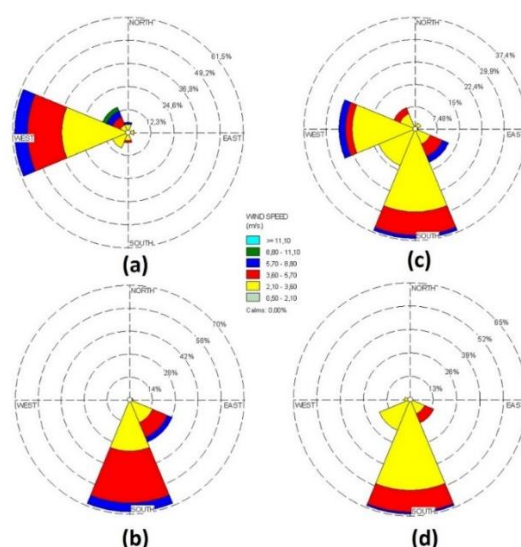
Hasil pemodelan gelombang di Muara Sungai Bogowonto telah dianalisis berdasarkan empat musim utama, yaitu musim Barat, Peralihan I, Timur, dan Peralihan II. Pemodelan ini menggunakan data angin harian yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi Yogyakarta sebagai faktor utama dalam pembangkitan gelombang, serta data pasang surut prediksi dari *MIKE 21* untuk mempertimbangkan dinamika elevasi muka air.

Tabel 3. Tinggi dan Periode Signifikan Gelombang Laut Sebelum Adanya *Jetty*

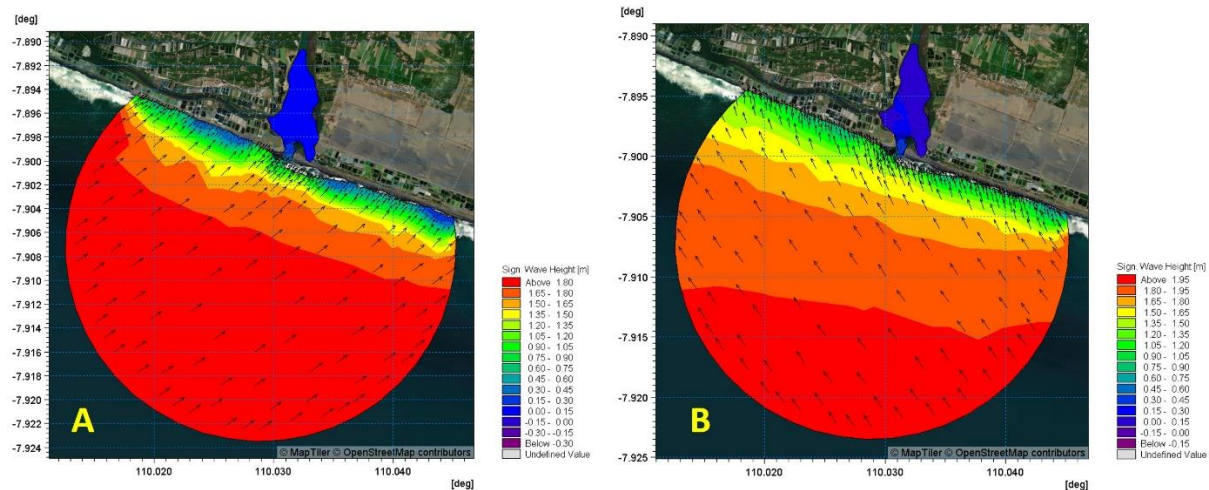
Periode	Hs (meter)	Ts (detik)	RMSE (%)
Musim Barat	1,86	5,45	22,01
Musim Peralihan I	1,54	5,69	13,18
Musim Timur	1,72	5,25	27,12
Musim Peralihan II	1,51	5,95	0,51
Rata-Rata	1,66	5,84	15,71

Tabel 4. Tinggi dan Periode Signifikan Gelombang Laut Sesudah Adanya *Jetty*

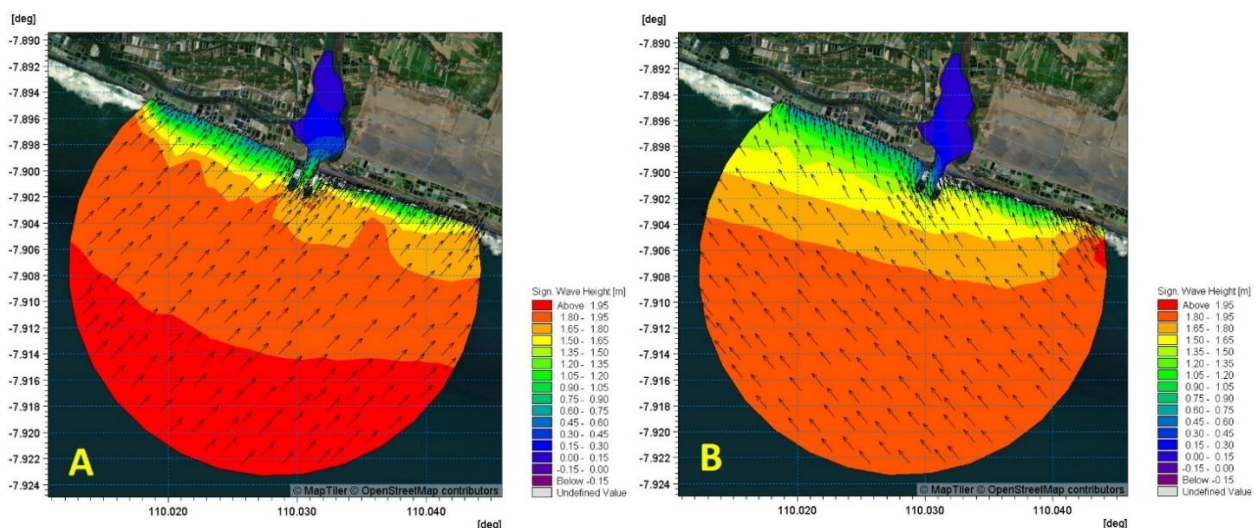
Periode	Hs (meter)	Ts (detik)	RMSE (%)
Musim Barat	1,22	5,39	18,39
Musim Peralihan I	0,96	5,63	10,72
Musim Timur	1,14	5,53	22,21
Musim Peralihan II	0,79	5,52	3,73
Rata-Rata	1,03	5,52	13,76



Gambar 3. Kecepatan dan Arah Angin Musim (m/s) (a) Barat, (b) Peralihan I, (c) Timur, dan (d) Peralihan II di Perairan Kabupaten Kulon Progo



Gambar 4. Tinggi Gelombang Signifikan Musim Barat Sebelum Adabya Jetty (A) Musim Barat, (B) Musim Peralihan II



Gambar 5. Tinggi Gelombang Signifikan Musim Barat Sesudah Adabya Jetty (A) Musim Barat, (B) Musim Peralihan II

Berdasarkan hasil pemodelan gelombang laut sebelum pembangunan *jetty*, tinggi gelombang signifikan (H_s) tertinggi terjadi pada Musim Barat sebesar 1,86 meter dengan periode signifikan (T_s) 5,45 detik, disertai nilai RMSE 22,01%, menunjukkan arah gerak gelombang dominan dari barat sesuai pola angin musiman. Sementara itu, Musim Peralihan II memiliki H_s 1,51 meter dan T_s 5,95 detik dengan RMSE sangat rendah 0,51%, menunjukkan akurasi model yang tinggi meskipun arah gelombang cenderung tidak stabil akibat dinamika angin transisi. Secara rata-rata, H_s sebelum *jetty* sebesar 1,66 meter dengan T_s 5,84 detik dan RMSE 15,71%, mencerminkan variabilitas energi gelombang yang dipengaruhi perubahan musim dan arah angin.

Berdasarkan hasil pemodelan gelombang laut setelah pembangunan *jetty*, tinggi gelombang signifikan (H_s) tertinggi terjadi pada Musim Barat sebesar 1,22 meter dengan periode signifikan (T_s) 5,39 detik, disertai nilai RMSE 18,39%, menunjukkan arah gerak gelombang dominan dari barat sesuai pola angin musiman. Sementara itu, Musim Peralihan II memiliki H_s 0,79 meter dan T_s 5,52 detik dengan RMSE sangat rendah 3,73%, menunjukkan akurasi model yang tinggi meskipun arah gelombang cenderung tidak stabil akibat dinamika angin transisi. Pola tersebut mengindikasikan bahwa gelombang di Muara Sungai Bogowonto setelah intervensi *jetty* sangat terkait dengan musim, dengan arah dominan sesuai angin barat (Desember-Februari), timur (Juni-Agustus), serta kehadiran bangunan *jetty* yang mengakibatkan tinggi gelombang di Muara Sungai Bogowonto mengalami penurunan.

Distribusi Jenis Sedimen

Penetapan fraksi sedimen dan klasifikasi tipe sedimen dilakukan melalui metode pengayakan (*sieve shaker*) di Laboratorium Geologi Laut, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro. Ukuran fraksi sedimen ditentukan melalui analisis laboratorium secara komprehensif terhadap sampel sedimen, sedangkan klasifikasi tipe sedimen mengacu pada klasifikasi diagram segitiga Shepard. Hasil analisis komposisi fraksi sedimen beserta penamaan jenis sedimen selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dibawah.

Tabel 5. Jenis Sedimen Muara Sungai Bogowonto Interval 1

Stasiun	Berat Sedimen (gr)	Persentase (%)			Keterangan
		Pasir	Lanau	Lempung	
1	12,04	27,58	34,47	37,79	<i>Sandy Silty Clay</i>
2	19,97	25,89	48,72	25,04	<i>Sandy Clayey Silt</i>
3	167,98	89,12	8,81	1,09	<i>Sand</i>
4	0,75	73,33	13,33	13,33	<i>Silty Clayey Sand</i>
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	159,26	90,13	9,62	0,17	<i>Sand</i>
8	166,14	90,74	8,58	0,60	<i>Sand</i>

Tabel 6. Jenis Sedimen Muara Sungai Bogowonto Interval 2

Stasiun	Berat Sedimen (gr)	Persentase (%)			Keterangan
		Pasir	Lanau	Lempung	
1	3,89	62,47	35,99	0,77	<i>Silty Sand</i>
2	1,75	74,29	20	5,71	<i>Silty Sand</i>
3	3,41	63,34	7,33	2,93	<i>Silty Clayey Sand</i>
4	4,37	82,61	12,59	4,58	<i>Sand</i>
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	182,32	90,06	9,48	0,36	<i>Sand</i>
8	15,02	81,82	13,65	2,10	<i>Sand</i>

Tabel 7. Jenis Sedimen Muara Sungai Bogowonto Interval 3

Stasiun	Berat Sedimen (gr)	Persentase (%)			Keterangan
		Pasir	Lanau	Lempung	
1	-	-	-	-	-
2	7,45	77,18	19,46	2,69	<i>Silty Sand</i>
3	7,68	75,26	22,79	1,30	<i>Sand</i>
4	10,63	73,10	17,40	8,75	<i>Silty Sand</i>
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	108,34	82,69	16,73	0,44	<i>Sand</i>
8	100,21	93,90	4,64	0,83	<i>Sand</i>

Transpor Sedimen

Berdasarkan data yang diperoleh, terlihat bahwa pola sedimentasi dan arus laut di lokasi penelitian sangat dipengaruhi oleh perubahan musim. Pada Musim Barat, gelombang dengan tinggi 2,43 meter dan kecepatan arus 2,61 meter/detik menghasilkan transport sedimen (Q_s) tertinggi mencapai 2.729.015 m³/tahun, didukung oleh sudut datang gelombang 213° yang memperkuat proses pengangkutan material. Sementara itu, kedua Musim Peralihan memiliki nilai Q_s yang lebih rendah, terutama Musim Peralihan II dengan 780.311,4 m³/tahun akibat kombinasi tinggi gelombang terkecil (1,61 meter) dan kecepatan arus 1,73 meter/detik yang relatif lemah.

Laju Sedimentasi

Pengambilan sampel sedimen untuk analisis laju sedimentasi menggunakan *sediment trap* yang dilakukan di Muara Sungai Bogowonto Kabupaten Kulon Progo. Waktu pengambilan sampel dilakukan selama 15 hari terhitung tanggal 18 Oktober sampai dengan 30 Oktober 2024 dengan interval pengambilan 5 hari, sehingga pengambilan *sediment trap* dilakukan sebanyak 3 kali.

Batimetri

Kedalaman di sekitar muara relatif dangkal, berkisar antara -1,4 meter hingga -1,6 meter, sebagaimana terlihat dari kontur yang rapat di wilayah pesisir. Kedalaman meningkat secara bertahap ke arah selatan hingga mencapai lebih dari -30 meter di laut lepas. Pola kontur menunjukkan gradien kedalaman yang curam di beberapa area, mengindikasikan perubahan topografi dasar laut yang signifikan.

Tabel 10 menyajikan rincian dimensi struktur *jetty* di Muara Sungai Bogowonto berdasarkan kondisi eksisting pada beberapa titik penampang (STA). Dari tabel terlihat bahwa penggunaan tetrapod dan batu pecah relatif konstan pada beberapa STA, yakni tetrapod sebesar 13 ton di STA 300 dan 250, serta batu pecah sebesar 2,2 ton di semua lokasi. Elevasi permukaan semakin menurun dari STA 300 ke STA 75, menunjukkan adanya penurunan kontur. Kedalaman total bervariasi dari -7 meter di STA 300 hingga -1 meter di STA 75. Lebar puncak struktur juga mengalami penyempitan dari 9 meter menjadi 6 meter, sejalan dengan perubahan lebar lapis lindung. Jumlah tetrapod tiap 10 m² meningkat secara signifikan pada bagian hilir, dari 3 unit di STA 300 dan 250 menjadi 5 unit di STA 75, yang mengindikasikan kebutuhan perlindungan yang lebih besar di bagian ujung struktur. Data ini diambil dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak tahun 2019.

Tabel 8. Nilai Transpor Sedimen per Musim Sesudah Adanya *Jetty*

Periode	H _b (meter)	d _b min (meter)	d _b max (meter)	α _b (°)	Q _s (m ³ /hari)	Q _s (m ³ /tahun)	v (m/s)
Musim Barat	2,43	3,05	3,66	213	7.476,75	2.729.015	2,75
Musim Peralihan I	1,99	2,54	2,98	35	4.658,43	1.700.326	2,43
Musim Peralihan II	1,61	1,99	2,41	24	2.137,84	780.311,4	1,73
Musim Timur	2,27	2,91	3,41	42	6.892,19	2.515.648	2,61

Tabel 9. Laju Sedimentasi Muara Sungai Bogowonto

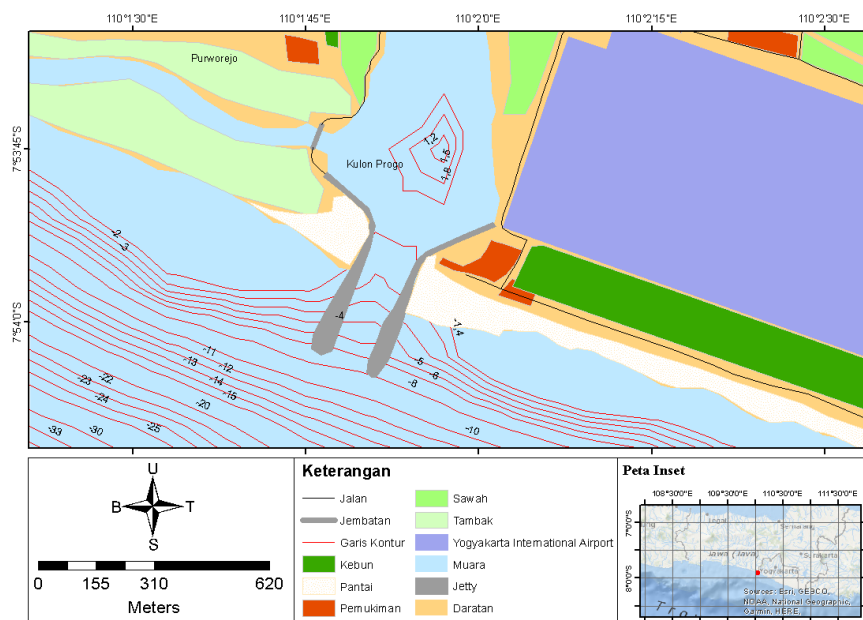
Stasiun	Laju Sedimentasi (gr/cm ² /hari)			Laju Sedimentasi (gr/m ² /tahun)		
	I	II	III	I	II	III
1	0,0098	0,00022	-	0,0003577	0,00000803	-
2	0,0198	0,00022	0,00088	0,0007227	0,00000803	0,00003212
3	0,08992	0,00181	0,00165	0,0032821	0,00006607	0,00006023
4	0,00055	0,00027	0,00018	0,0000201	0,00000986	0,00000657
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-
7	0,0888	0,05419	0,07437	0,0032412	0,0019780	0,00271451
8	0,0526	0,0092	0,02759	0,0019199	0,0003358	0,00100704

Tabel 10. Detail Dimensi *Jetty* Muara Sungai Bogowonto Kondisi Eksisting

STA	Detail Dimensi							
	Tetrapod (ton)	Batu Pecah (ton)	Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Elevasi Total (m)	Lebar Puncak (m)	Lebar Lapis Lindung (m)	Jumlah Tetrapod tiap 10 m ²
300	13	2,2	9	-7	16	9	3,5	3
250	13	2,2	9	-5	14	8	3,5	3
200	11	2,2	8,7	-4	12,7	8	3,3	2
125	7	2,2	6,8	-2,3	9,1	8	2,3	3
75	4	2,2	6	-1	7	6	1,8	5

Tabel 11. Hasil Evaluasi Detail Dimensi *Jetty* Muara Sungai Bogowonto

STA	Detail Dimensi							
	Tetrapod (ton)	Batu Pecah (ton)	Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Elevasi Total (m)	Lebar Puncak (m)	Lebar Lapis Lindung (m)	Jumlah Tetrapod tiap 10 m ²
300	16	1,73	8	-7	15	6,5	4,16	2
250	15	1,62	7,58	-4,5	12,08	6,35	4	2
200	13	1,52	7,57	-4	11,57	6	3,8	3
125	6,92	0,76	6,62	-2,2	8,82	5	3,15	5
75	1,04	0,12	5,22	-1,6	6,82	3	1,67	16

**Gambar 6.** Peta Batimetri Perairan Sekitar Muara Sungai Bogowonto

Tabel 11 menampilkan hasil evaluasi dimensi *jetty* di Muara Sungai Bogowonto yang menunjukkan adanya penyesuaian signifikan dibandingkan kondisi eksisting. Terlihat bahwa bobot tetrapod meningkat, terutama di STA 300 yang mencapai 16 ton, menandakan kebutuhan perlindungan lebih besar terhadap energi

gelombang. Kenaikan juga terjadi pada batu pecah, elevasi, dan lebar puncak di hampir semua titik, yang menggambarkan optimasi struktur untuk ketahanan yang lebih baik. Sebaliknya, jumlah tetrapod per 10 m² justru meningkat tajam di STA 125 menuju STA 75 menjadi 16 unit, menunjukkan bahwa meskipun ukuran tetrapod di bagian hilir lebih kecil, jumlahnya diperbanyak untuk menjaga stabilitas struktur. Secara keseluruhan, evaluasi ini memperlihatkan pendekatan desain yang lebih adaptif terhadap kondisi lapangan dan kebutuhan perlindungan pantai.

Analisis Laju Sedimentasi Sesudah Adanya *Jetty*

Distribusi jenis sedimen di Muara Sungai Bogowonto menunjukkan variasi karakteristik yang mencerminkan pengaruh dinamika arus dan gelombang laut terhadap proses pengendapan di setiap titik pengamatan. Berdasarkan Tabel 5 hingga Tabel 7, hasil analisis granulometri dari 24 sampel sedimen yang diambil pada 8 stasiun menunjukkan bahwa fraksi sedimen didominasi oleh pasir hingga pasir lempung, dengan persentase yang bervariasi antar stasiun. Misalnya, pada stasiun 8 interval 1, fraksi pasir dengan persentase pasir mencapai 90,74%; lanau 8,58%; dan lempung 0,60%, sedangkan pada stasiun 2 interval 1 dominasi beralih ke fraksi pasir lempung dengan persentase pasir sebesar 25,89%; lanau 48,72%; dan lempung 25,04%. Variasi ini dapat dijelaskan oleh perbedaan morfologi dasar laut, arah dan kecepatan arus, serta pengaruh gelombang di sekitar masing-masing titik. Studi oleh Nursiani et al. (2020) menunjukkan bahwa ukuran butir sedimen yang bertekstur kasar ditemukan pada daerah dengan kecepatan arus yang relatif tinggi, sedangkan ukuran butir sedimen yang bertekstur halus ditemukan pada daerah dengan kecepatan arus yang relatif rendah. Selain itu, menurut Pawitra et al. (2022) sedimen di muara tidak hanya berasal dari sungai (input daratan), tetapi persebarannya juga sangat dipengaruhi oleh pola arus laut dan pasang surut. Sedimen yang lebih halus cenderung berada di lokasi dengan arus yang lemah, sedangkan sedimen kasar (seperti pasir) berada di area dengan arus lebih kuat, seperti di mulut dan sebelah barat muara.

Selain distribusi sedimen, hasil perhitungan transpor sedimen berdasarkan metode CERC 1994 yang ditampilkan pada Tabel 8 menunjukkan bahwa nilai transpor sedimen bervariasi antar musim, mencerminkan perubahan arah dan intensitas angin serta gelombang sepanjang tahun. Nilai transpor sedimen tertinggi terjadi pada musim Barat dengan jumlah mencapai 2.729.015 m³/tahun, sementara nilai terendah terdapat pada musim Peralihan II yaitu sebesar 780.311,4 m³/tahun. Musim Timur dan Peralihan I masing-masing menunjukkan nilai sebesar 2.515.648 m³/tahun dan 1.700.326 m³/tahun. Pola ini sejalan dengan intensitas gelombang dan arah angin dominan yang lebih kuat pada musim Barat, sehingga menyebabkan peningkatan energi gelombang dan arus sejajar pantai yang mampu mengangkut sedimen lebih besar. Temuan ini diperkuat oleh penelitian oleh Marelsa dan Oktaviandra (2019), yang menyatakan bahwa semakin kencang atau tinggi kecepatan angin pada suatu wilayah, maka kecepatan dan panjang gelombang di wilayah yang sama akan semakin besar.

Analisis laju sedimentasi di Muara Sungai Bogowonto menunjukkan bahwa keberadaan *jetty* memberikan pengaruh signifikan dalam mengurangi akumulasi sedimen di kawasan muara. Setelah pembangunan *jetty*, yang dievaluasi melalui 24 titik pengamatan selama 15 hari, nilai-nilai laju sedimentasi mengalami variasi sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 9. Perbandingan antara hasil pada masing-masing stasiun menunjukkan bahwa stasiun yang berada di sisi hilir bagian dalam muara, khususnya Stasiun 3 dan 4, mengalami penurunan laju sedimentasi yang paling signifikan, dari sebelumnya 0,0032821 cm/tahun menjadi 0,00006023 cm/tahun di Stasiun 3 dan dari 0,0000201 cm/tahun menjadi 0,00000657 cm/tahun di Stasiun 4. Hal ini dapat diinterpretasikan bahwa *jetty* berperan sebagai penghalang fisik terhadap pergerakan sedimen akibat gelombang maupun arus sejajar pantai (*longshore current*), sehingga hanya sebagian kecil sedimen yang mampu masuk ke dalam sistem muara. Fenomena ini juga selaras dengan studi yang dilakukan oleh Rakhmawati (2019) dimana pembangunan *jetty* di Muara Rejoso, Jawa Timur, menyebabkan penurunan arus hingga 94,05%. Selain itu, *jetty* di Muara Rejoso juga mengakibatkan penurunan sedimentasi terbesar sebesar 91,37%. Hal ini menunjukkan bahwa *jetty* sangat efektif dalam menurunkan laju sedimentasi tahunan di muara pantai selatan Jawa.

Analisis Tinggi Gelombang Setelah Adanya *Jetty*

Analisis tinggi gelombang setelah pembangunan *jetty* di Muara Sungai Bogowonto menunjukkan adanya penurunan energi gelombang yang signifikan, yang turut berdampak pada penurunan laju sedimentasi di kawasan tersebut. Berdasarkan hasil pemodelan numerik menggunakan MIKE 21 yang ditampilkan pada Tabel 4, tinggi gelombang signifikan (Hs) pada kondisi setelah pembangunan *jetty* mengalami penurunan di

setiap musim. Pada musim Barat, H_s turun dari 1,86 meter menjadi 1,22 meter, pada musim Peralihan I dari 1,54 meter menjadi 0,96 meter, pada musim Timur dari 1,72 meter menjadi 1,14 meter, dan pada musim Peralihan II dari 1,51 meter menjadi 0,79 meter, dengan rata-rata penurunan H_s dari 1,66 meter menjadi 1,03 meter. Nilai ini menunjukkan bahwa elevasi maksimum gelombang yang naik ke pantai menjadi lebih rendah dibanding kondisi sebelum *jetty*, di mana tidak ada struktur pelindung yang meredam energi gelombang. Penurunan tinggi gelombang ini menunjukkan bahwa *jetty* tidak hanya berfungsi sebagai pengendali arah aliran sedimen, tetapi juga sebagai peredam energi gelombang sebelum mencapai area dalam muara. Struktur pantai seperti *jetty* mampu menurunkan tinggi gelombang tergantung desain dan panjang bangunan terhadap garis gelombang dominan, sebagaimana ditunjukkan oleh Simanjuntak *et al.* (2021) yang melaporkan reduksi tinggi gelombang hingga 54%, serta Hafli *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa orientasi dan panjang *jetty* berperan penting dalam meredam energi gelombang yang masuk ke area perairan.

Evaluasi Efektifitas Struktur *Jetty* Sebagai Pengendali Sedimen

Pembangunan *jetty* di Muara Sungai Bogowonto pada dasarnya dilakukan sebagai respons terhadap masalah sedimentasi yang menyebabkan muara sering tertutup, terutama saat musim kemarau. Penutupan muara ini menjadi ancaman serius karena aliran air sungai yang seharusnya langsung bermuara ke laut tertahan, sehingga menimbulkan risiko genangan dan banjir di daerah hilir. Berdasarkan data sebelum pembangunan *jetty*, volume angkutan sedimen di kawasan ini mencapai 1.024.300 m³/tahun (Fahruryoyi, 2018). Berdasarkan Kepmen PU No. 37/KPTS/M/2013, sedimentasi di DAS Bogowonto mencapai 3.521,55 ton/tahun, menunjukkan tingginya beban sedimen yang terbawa dari hulu. Proses ini sangat dipengaruhi oleh kondisi angin musiman yang kuat, khususnya saat musim Barat, di mana arah angin dominan berasal dari barat laut dan memiliki intensitas hingga 60,2%, serta kecepatan mencapai 8,8–11,1 m/detik.

Setelah pembangunan *jetty* rampung pada tahun 2023 dengan panjang masing-masing 300 meter di sisi barat dan timur muara, perubahan yang terjadi cukup signifikan. *Jetty* berfungsi sebagai pemecah arus sejajar pantai atau *longshore current*, serta menjadi pelindung terhadap masuknya gelombang langsung ke dalam muara. Berdasarkan hasil pemodelan gelombang, tinggi gelombang signifikan (H_s) yang sebelumnya mencapai 1,86 meter pada musim barat, turun menjadi 1,22 meter setelah *jetty* dibangun. Hal tersebut menunjukkan bahwa struktur *jetty* berhasil meredam sebagian besar energi gelombang yang sebelumnya masuk ke dalam sistem muara. Energi gelombang yang lebih rendah membuat daya angkut sedimen menurun, sehingga material tidak lagi mudah masuk dan mengendap di muara. Hal ini dibuktikan dengan penurunan laju sedimentasi yang semula rata-rata 0,0015906 cm/tahun, menjadi hanya 0,0007641 cm/tahun.

Lebih jauh lagi, data mengenai transpor sedimen tahunan menunjukkan adanya korelasi kuat dengan keberadaan *jetty*. Pada musim barat, nilai transpor sedimen mencapai 2.587.260,57 m³/tahun, jauh lebih tinggi dibanding musim lainnya, akibat tingginya energi gelombang dan arah datang yang sejajar dengan garis pantai. Setelah adanya *jetty*, arah dan intensitas aliran sedimen menjadi lebih teratur dan terbatas masuk ke muara. Misalnya, pada musim Peralihan II, nilai transpor menurun drastis menjadi 1.378.450,62 m³/tahun, menandakan bahwa *jetty* berfungsi tidak hanya memecah gelombang tetapi juga memblokir sebagian besar arus pembawa sedimen, sebagaimana dibuktikan pada studi di Muara Sungai Serayu yang menunjukkan bahwa *jetty* mampu mengurangi pengikisan dan mengendalikan endapan sedimen di area muara (Purwono *et al.*, 2020). Hasil ini juga tercermin dari peta persebaran sedimen yang memperlihatkan pengendapan lebih terkonsentrasi di sisi luar *jetty*, bukan lagi menumpuk di dalam muara.

Meski demikian, efektivitas jangka panjang *jetty* tidak hanya ditentukan oleh fungsinya menahan sedimen, tetapi juga oleh ketahanan strukturnya terhadap dinamika laut yang keras. Saat ini, berdasarkan hasil observasi teknis di lapangan, *jetty* eksisting memiliki dua lapis perlindungan utama, yakni lapis inti dan batu pelindung (*tetrapod*). Kedua lapis ini bekerja cukup baik untuk meredam gelombang dalam kondisi normal. Namun, pada saat cuaca ekstrem seperti badai barat daya, dikhawatirkan struktur ini akan mengalami tekanan yang jauh lebih besar dari kapasitas rancangannya. Untuk itu, disarankan agar ditambahkan satu lapis pelindung lagi, berupa *armor rock* yang berfungsi sebagai lapisan lindung kedua. Penambahan menjadi tiga lapis perlindungan ini telah terbukti secara teknis mampu meningkatkan daya tahan struktur terhadap gelombang tinggi dan abrasi. Strategi semacam ini sudah diterapkan di beberapa muara sungai, sebagaimana dibuktikan

pada uji fisik struktur *jetty* di Muara Sungai Tukad Unda yang menunjukkan kerusakan lapis pelindung tetap berada dalam ambang batas stabilitas ($N_d < 2\%$) setelah penambahan lapis BPPT-lock (Sutanto *et al.*, 2023).

Dengan memperhatikan seluruh hasil pengamatan dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *jetty* di Muara Sungai Bogowonto terbukti efektif sebagai pengendali sedimen. Efektivitas ini tidak hanya dilihat dari penurunan nilai sedimentasi dan stabilitas muara, tetapi juga dari keberhasilan struktur dalam menstabilkan aliran dan mengurangi dampak pasang-surut serta gelombang masuk. Namun untuk menjamin keberlanjutan manfaatnya, diperlukan pemeliharaan berkala dan peningkatan spesifikasi teknis pada elemen pelindung luar *jetty*. Selain itu, pemantauan morfologi dasar muara secara berkala juga perlu dilakukan untuk mendeteksi perubahan lebih dini. Pengelolaan berbasis data dan adaptif ini akan menjadi kunci keberhasilan pengendalian sedimentasi jangka panjang. Dengan langkah-langkah tersebut, *jetty* di Bogowonto tidak hanya akan bermanfaat saat ini, tetapi juga tetap relevan dan efektif di masa mendatang.

KESIMPULAN

Setelah melakukan serangkaian analisis data, dapat ditarik kesimpulan penting yang langsung terkait dengan tujuan yang telah ditetapkan, yaitu bahwa laju sedimentasi di muara Sungai Bogowonto telah berkurang secara signifikan setelah pembangunan *jetty*, sebagaimana dibuktikan oleh penurunan laju sedimentasi dari rata-rata 0,0015906 cm/tahun menjadi hanya 0,0007641 cm/tahun, menunjukkan bahwa struktur tersebut mampu secara efektif mengurangi penumpukan sedimen di area muara dibandingkan dengan kondisi sebelum *jetty* dibangun. Secara keseluruhan, *jetty* yang ada dianggap cukup efektif dalam mengendalikan sedimentasi, meskipun hasil evaluasi menunjukkan bahwa beberapa dimensi struktur masih dapat dioptimalkan, terutama pada ujung *jetty* yang langsung menghadapi energi gelombang yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrianto, B., Hariyadi, & Rochaddi, B. 2017. Analisa Laju Sedimentasi di Muara Sungai Karangsang, Kabupaten Indramayu. *Indonesian Jurnal of Oseanografi*, 6(1): 10-21.
- Andayani, D., Suryoputro, A. A. D., Atmodjo, W., Satriadi, A., & Subardjo, P. 2020. Transpor Sedimen di Perairan Muara Sungai Bodri, Kecamatan Patebon, Kabupaten Kendal. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(3): 1-10. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i3.8513>
- Effendy, Z., & Dibyosaputro, S. 2015. Analisis Ukuran Butir Sedimen Untuk Identifikasi Lingkungan Pengendapan Daerah Muara Sungai Bogowonto dan Sekitarnya. *Jurnal Bumi Indonesia*, 4(4): 1-9.
- Erlina. 2018. Analisis Banjir dan Sedimentasi Wilayah Sungai Brantas (Tinjauan Terhadap Metode Pengendalian). *Jurnal Teknik Sipil*, 13(1): 1 - 14. <https://doi.org/10.47200/jts.v13i1.835>
- Fahruryoyi, M. 2018. Evaluasi Penyebab Sedimentasi dan Metode Operasional Pemeliharaan Muara Sungai (Studi Kasus Muara Sungai Serang Pelabuhan Tanjung Adikarto, Glagah Kab. Kulonprogo Yogyakarta). Tesis: Universitas Islam Indonesia.
- Indriani, W. S., Pujiastuti, D., & Ondara, K. 2022. Analisis Hindcasting Gelombang Terhadap Perubahan Garis Pantai di Perairan Pesisir Pantai Padang Menggunakan Data Angin Permukaan. *Jurnal Fisika Unand*, 11(3): 334-340. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.3.334-340.2022>
- Istianah, N., Wardani, A. K., & Sriherfyna, F. H. 2018. Teknologi Bioproses. Penerbit Universitas Brawijaya Press.
- Kusuma, M. D., Adityawan, M. B., & Chaidar, A. N. 2023. Effect of Jetty to the Capacity of Bogowonto River Mouth, Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(1): 17-24. <https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.1.3>
- Kuswartomo, Sulistiya, B. N., Isnugroho, & Fatchan, A. K. 2021. Prediksi Tinggi Gelombang Berdasarkan CERC (SPM 1984) di Pantai Baru, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Dinamika Teknik Sipil*, 13(1): 1-7. <https://doi.org/10.23917/dts.v14i1.15271>
- Marelsa, N., & Oktaviandra, Y. 2019. Analisis Karakteristik Gelombang Laut Menggunakan Software Windwave-12 (Studi Kasus: Kepulauan Mentawai). *Oseana*, 44(2): 10-24. <https://doi.org/10.14203/oseana.2019.vol.44no.2.23>
- Naumingintias, M., & Mardiatno, D. 2018. Kajian Kerentanan Fisik Alami Pesisir Muara Sungai Bogowonto. Skripsi: Universitas Gadjah Mada.

- Nisa, I. Z., Harifa, A. C., & Harsanti, W. 2023. Perancangan Normalisasi Sungai Bogowonto Bagian Hilir Kawasan Strategis Nasional Yogyakarta International Airport. *Manajemen Rekayasa Konstruksi*, 4(4): 286-290. <https://doi.org/10.33795/jos-mrk.v4i4.3713>
- Octaviana, D. A., Rochaddi, B., Atmodjo, W., Subardjo, P., Zainuri, M., Yusuf, M., & Rifai, A. 2020. Analisis Abrasi dan Akresi di Muara Sungai Kali Bodri, Kabupaten Kendal. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(2): 1-10. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i2.7426>
- Pratomo, A. N. R., 2023. Evaluasi Perencanaan Jetty Muara Sungai Bogowonto Sisi Timur. Skripsi: Universitas Gadjah Mada.
- Prayoga, T., & Barus, L. S. 2021. Analisis Penentuan Pembangunan Dermaga Berdasarkan Analisis Citra Sentinel 2A di Perairan Delta Wulan Kota Pesisir Demak. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 2(11): 2069-2081. <https://doi.org/10.59141/jist.v2i11.276>
- Ramadhani, A., 2023. Pengaruh Konstruksi Jetty Terhadap Kondisi Muara Sungai Bogowonto. Skripsi: Universitas Gadjah Mada.
- Rosyadewi, R., & Hidayah, Z. 2020. Perbandingan Laju Sedimentasi dan Karakteristik Sedimen di Muara Socah Bangkalan dan Porong Sidoarjo. *Juvenile*, 1(1): 75-86. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v1i1.6832>
- Separnu, D., Kusuma, M. S. B., & Natakusumah, D. K. 2023. The Influence of Sedimentation to The Morfology Change of Serang River Estuary at The National Strategic Area Yogyakarta International Airport (Ksn Yia). *Jurnal Teknik Sipil*, 30(2): 167-176. <https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.2.4>
- Sugianto, D. N., Zainuri, M., Darari, A., Suripin, Darsono, S., & Yuwono, N. 2017. Wave Height Forecasting Using Measurement Wind Speed Distribution Equation in Java Sea, Indonesia. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(5): 604-619
- Triatmodjo, B., 1999. Teknik Pantai. Penerbit Beta Offset
- Triatmodjo, B., 2020. Perencanaan bangunan Pantai. Penerbit Beta Offset.
- Wardhani, P. A., Widagdo, S., & Prasita, V. D. 2021. Pola Angin dan Kaitannya Terhadap Karakteristik Tinggi Gelombang di Perairan Labuan Bajo, NTT. *J-Tropimar*, 3(1): 34-42. <https://doi.org/10.30649/jrkt.v3i1.37>