

Prediksi Transportasi Sedimen Pantai Senipah

Mochamad Gaharu Dida Devedo¹, Dewi Rahmawati²
Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Mulawarman ¹
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Studi Ilmu
Lingkungan, Jurusan Biologi, Universitas Mulawarman ²
E-Mail : Didadevedo@Ft.unmul.ac.id¹²³

ABSTRAK

Stabilitas garis pantai merupakan isu krusial dalam pengelolaan wilayah pesisir, di mana dinamika utamanya dikendalikan oleh proses transpor sedimen. Pergerakan material di sepanjang pantai ini digerakkan oleh interaksi kompleks antara gaya hidrodinamis, terutama gelombang dan arus, dengan dasar perairan. Keseimbangan dalam proses ini sangat rentan terhadap perubahan, baik yang disebabkan oleh faktor alamiah maupun antropogenik, yang dapat mengakibatkan perubahan signifikan pada morfologi pantai seperti erosi dan akresi. Pantai Senipah, yang terletak di Kecamatan Samboja, Kabupaten Kutai Kartanegara, adalah salah satu kawasan pesisir strategis yang menopang kegiatan perekonomian masyarakat namun menunjukkan aktivitas morfodinamika yang tinggi. Adanya perubahan garis pantai yang teramati secara visual mengindikasikan berlangsungnya proses transpor sedimen secara aktif. Oleh karena itu, diperlukan studi kuantitatif untuk memprediksi volume dan arah pergerakan sedimen sebagai landasan ilmiah dalam merencanakan upaya rekayasa dan pengelolaan pantai yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menyajikan suatu model prediksi kuantitatif transportasi sedimen di Pantai Senipah sebagai tinjauan dasar untuk pembangunan bangunan pelindung pantai. Metodologi penelitian ini didasarkan pada pendekatan kuantitatif dengan menggunakan formula empiris dari CERC (1984) untuk menaksir laju transpor sedimen sejajar pantai (longshore sediment transport). Untuk mempermudah proses perhitungan, dilakukan beberapa penyederhanaan dan penetapan asumsi. Konfigurasi garis pantai yang kompleks diidealisasi menjadi lebih lurus dan teratur, dengan kemiringan dasar pantai ditetapkan sebesar 1:30. Input utama untuk model ini adalah data gelombang representatif yang dibangkitkan dari analisis data angin historis. Dipilih data dari tahun 2002, yang tercatat memiliki kecepatan angin tahunan tertinggi, untuk merepresentasikan kondisi energi gelombang yang signifikan. Berdasarkan analisis tersebut, parameter gelombang yang digunakan dalam perhitungan adalah tinggi gelombang rata-rata tahunan (H) sebesar 2 meter dengan periode (T) 8 detik. Sudut datang gelombang dari berbagai arah mata angin, seperti Timur, Tenggara, Selatan, dan Barat Daya, dianalisis untuk memetakan pergerakan sedimen secara komprehensif. Hasil perhitungan menunjukkan adanya rezim transpor sedimen dua arah (bidirectional) yang signifikan di sepanjang Pantai Senipah. Gelombang yang datang dari sektor Timur dan Tenggara secara kolektif menghasilkan pergerakan sedimen menuju ke arah Selatan dengan total volume mencapai 299,887.91 m³/tahun. Di sisi lain, gelombang yang berasal dari sektor Selatan dan Barat Daya mendorong pergerakan sedimen menuju ke arah Utara dengan total volume yang lebih besar, yaitu 329,080.65 m³/tahun. Dengan membandingkan total volume pergerakan dari kedua arah tersebut, penelitian ini menyimpulkan bahwa arah dominan transpor sedimen netto di Pantai Senipah adalah menuju ke Utara, dengan laju tertinggi yang dipicu oleh gelombang dari arah Selatan.

Kata Kunci : Gelombang, Pantai Senipah, Transportasi Sedimen

PENDAHULUAN

Stabilitas garis pantai suatu wilayah pesisir secara fundamental bergantung pada dinamika pergerakan sedimen. Pemahaman mengenai mekanisme transpor sedimen serta neraca sedimen (sediment budget) merupakan fondasi esensial untuk menganalisis dan memprediksi evolusi morfologi pesisir (Soulsby, 1997; Komar, 1998). Proses interaksi berkelanjutan di mana bentuk lahan pesisir dan proses hidrodinamika saling memengaruhi satu sama lain ini dikenal sebagai morfodinamika (Short, 1999; Wright & Thom, 1977). Sistem pesisir secara alami akan selalu berupaya mempertahankan keadaan kesetimbangan dinamis, sehingga setiap gangguan pada salah satu komponennya, misalnya perubahan pasokan sedimen, pasti akan memicu respons morfologis (Woodroffe, 2002; Thorne et al., 1991).

Gaya-gaya hidrodinamis, khususnya gelombang dan arus, merupakan penggerak utama yang secara terus-menerus mengubah bentang alam di tepi laut. Gelombang diakui sebagai agen energi dominan yang membentuk pantai, terutama pantai berpasir, dan menjadi faktor penentu dalam rekayasa pantai (Triatmodjo, 2020; Dean & Dalrymple, 2002). Energi gelombang yang pecah di dekat pantai membangkitkan arus sepanjang pantai (longshore current), yang diidentifikasi sebagai mekanisme paling signifikan dalam transpor sedimen sejajar garis pantai dan menjadi kunci stabilitas jangka panjang (US Army Corps of Engineers, 2002; Dyer, 1986). Efisiensi proses pengangkutan ini dapat meningkat secara drastis akibat interaksi kompleks antara gelombang dan arus, sementara karakteristik fisik sedimen seperti ukuran butir dan densitas turut menentukan ambang batas pergerakannya (Grant & Madsen, 1979; Nielsen, 1992).

Keseimbangan dinamis pesisir bersifat rapuh dan rentan terhadap gangguan, baik yang berasal dari variabilitas alami maupun aktivitas manusia, yang dapat memicu erosi maupun akresi. Intervensi antropogenik seperti pembangunan infrastruktur maritim dan pengerukan dapat secara drastis mengubah rezim transpor sedimen lokal (Bird, 2008; Mangor, 2004). Sering kali, upaya rekayasa yang bertujuan menstabilkan satu lokasi justru menimbulkan dampak negatif berantai di area lain karena kegagalan dalam memandang pesisir sebagai sebuah sistem yang terintegrasi (Pilkey & Cooper, 2014; Valiela, 2006). Tantangan ini diperberat oleh ancaman perubahan iklim global, khususnya kenaikan muka air laut, yang diproyeksikan akan mengakselerasi laju erosi di berbagai belahan dunia (IPCC, 2019; Stive et al., 2002).

Dalam konteks ini, Pantai Senipah di Kecamatan Samboja, Kabupaten Kutai Kartanegara, menunjukkan karakteristik morfodinamika yang tinggi. Setiap garis pantai memiliki identitas unik yang dibentuk oleh kombinasi pasokan sedimen, energi gelombang, dan kondisi geologisnya (Carter, 1988). Mengingat peran vitalnya sebagai penopang kegiatan perekonomian masyarakat, stabilitas Pantai Senipah menjadi prioritas utama. Zona pesisir merupakan salah satu sistem sosio-ekologis yang paling bernilai, namun juga paling rentan (Costanza et al., 1997; Turner et al., 1996). Oleh karena itu, observasi lapangan yang mengindikasikan adanya perubahan bentuk pantai secara aktif menuntut adanya studi kuantitatif. Analisis semacam ini krusial untuk beralih dari manajemen yang reaktif menuju perencanaan tata ruang yang proaktif dan mampu mengantisipasi perubahan di masa depan (Cowell & Thom, 1994; de Vriend et al., 1993; Pethick, 1996).

Setiap rencana rekayasa pantai yang efektif harus berlandaskan pada analisis teknis yang kokoh. Kemampuan untuk memprediksi laju dan arah transpor sedimen secara akurat merupakan salah satu tujuan utama sekaligus prasyarat dalam disiplin rekayasa pantai, yang menjadi dasar perancangan struktur pelindung (van Rijn, 1993; Horikawa, 1988). Analisis kuantitatif terhadap volume dan vektor pergerakan sedimen menjadi satu-satunya cara untuk mengevaluasi dan memilih alternatif solusi proteksi pantai yang paling efektif dan berkelanjutan (Schierreck, 2001). Maka dari itu, penelitian ini dilaksanakan untuk mengembangkan model prediksi kuantitatif pergerakan sedimen di Pantai Senipah. Model numerik, yang berfungsi sebagai "laboratorium komputasi", merupakan perangkat yang sangat kuat untuk menyimulasikan evolusi garis pantai, namun keberhasilannya sangat bergantung pada kualitas data input oseanografi dan sedimen (Kamphuis, 2000; Abbott, 1991; Roelvink & van Banning, 1994).

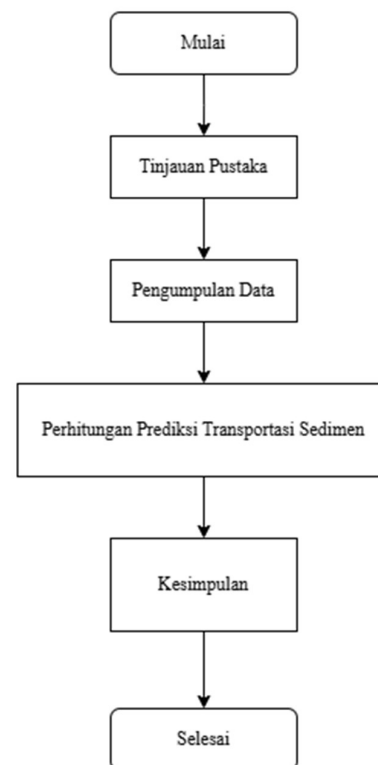
Luaran yang diharapkan dari penelitian prediktif ini adalah serangkaian data saintifik yang dapat dipertanggungjawabkan, yang dirancang untuk menjembatani antara ilmu pengetahuan dan praktik rekayasa sipil. Informasi ini dapat berfungsi sebagai referensi teknis dalam proses pengambilan keputusan di bawah kerangka pengelolaan wilayah pesisir terpadu yang mengintegrasikan pertimbangan ekologis dan sosial-ekonomi (Kay & Alder, 2005; Clark, 1996). Dengan demikian, intervensi yang dilakukan dapat dirancang untuk lebih harmonis dengan proses dinamika alam. Pendekatan ini sejalan dengan paradigma modern yang mengedepankan solusi rekayasa lunak (soft engineering) dan "Membangun dengan Alam" (Building with Nature), yang terbukti lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (French,

2001; CIRIA, 2007; de Vriend & van Koningsveld, 2012). Tujuan akhirnya adalah untuk mendorong terciptanya garis pantai yang tangguh dan adaptif dalam menghadapi tantangan di masa depan (Beatley et al., 2002).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memprediksi pergerakan sedimen di Pantai Senipah sebagai landasan ilmiah bagi pengelolaan dan rekayasa pesisir yang berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Diagram Alir penelitian



Gambar .1 Diagram Alir Penelitian

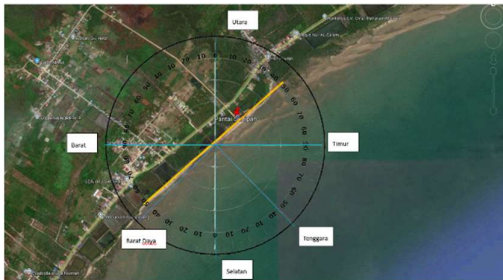
HASIL PENELITIAN

Transportasi Sedimen

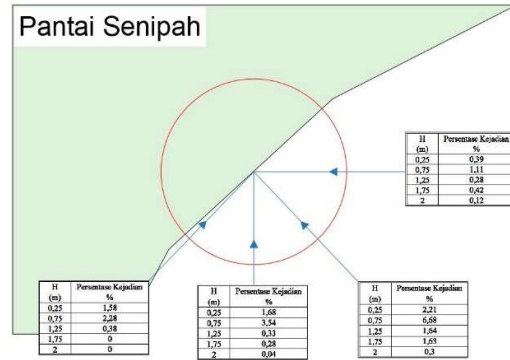
Transpor sedimen pantai merupakan pergerakan material sedimen di wilayah pesisir yang terjadi akibat pengaruh gelombang dan arus laut. Dalam proses

perhitungan transpor sedimen, dilakukan penyederhanaan pada konfigurasi garis pantai dan arah datangnya gelombang. Ditetapkan bahwa pantai senipah memiliki kemiringan 1:30. Diambil distribusi gelombang pada tahun 2002 yang memiliki kecepatan angin terbesar dengan rata-rata ketinggian tahunan gelombang (H) adalah 2 m dan Periode (T) adalah 8 m/s.

Metode penelitian disesuaikan pada tahapan dan alur penelitian.



Gambar. 2 Pengambilan sudut dari Google Earth



Gambar. 3 Presentase Kejadian Pantai Senipah

Digunakan Rumus untuk menaksir jumlah angkutan sedimen menyusur pantai, yaitu rumus (CERC 1984). Didapatkan hasil pergerakan sedimen penyusun pantai sebagai berikut:

Tabel. 1 Pergerakan Sedimen Menyusur Pantai

Arah Datang Gelombang	Tinggi Gelombang	Perpindahan Sedimen (M3/Tahun)	Total Perpindahan Sedimen (M3/Tahun)	Arah Sedimen
g	m	m3/tahun	m3/tahun	
Timur	0.25	1960.57	203550.61	Selatan
	0.75	47027.45		
	1.25	30919.91		
	1.75	90436.75		
	2	33205.93		
	2.25	0.00		
Tenggara	0.25	1178.11	96337.30	
	0.75	29996.26		
	1.25	19186.55		
	1.75	37182.74		
	2	8793.64		
	2.25	0.00		
Total Sedimen arah ke ...			299887.91	Selatan
Selatan	0.25	8334.47	262553.71	Utara
	0.75	147935.15		
	1.25	35929.61		
	1.75	59442.67		
	2	10911.80		
	2.25	0.00		
Barat Daya	0.25	3555.67	66526.94	

	0.75	43767.59		
	1.25	19203.68		
	1.75	0.00		
	2	0.00		
	2.25	0.00		
Total Sedimen arah ke ...			329080.65	Utara

Berdasarkan hasil perhitungan transport sedimen diperoleh debit total transport sedimen tertinggi adalah di arah barat dengan nilai 329080,65 m³/tahun.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan, teridentifikasi adanya pergerakan sedimen dua arah yang signifikan:

1. Gelombang dari arah Timur dan Tenggara mengakibatkan transpor sedimen total sebesar 299,887.91 m³/tahun menuju ke arah Selatan.
2. Gelombang dari arah Selatan dan Barat Daya mengakibatkan transpor sedimen total sebesar 329,080.65 m³/tahun menuju ke arah Utara.

Dengan membandingkan kedua hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa arah dominan transpor sedimen di Pantai Senipah adalah menuju ke Utara, dengan laju total tertinggi mencapai 329,080.65 m³/tahun. Informasi ini sangat penting sebagai tinjauan dasar dalam perencanaan bangunan pelindung pantai di masa depan, untuk mengantisipasi potensi erosi dan akresi di sepanjang garis pantai Senipah.

DAFTAR PUSTAKA

Abbott, M. B. (1991). *Hydroinformatics: Information technology and the aquatic environment*. Avebury Technical.

Beatley, T., Brower, D. J., & Lankenau, A. K. (2002). *An introduction to coastal zone management*. Island Press.

Bird, E. C. F. (2008). *Coastal geomorphology: An introduction* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Carter, R. W. G. (1988). *Coastal environments: An introduction to the physical, ecological, and cultural systems of coastlines*. Academic Press.

CIRIA. (2007). *The Rock Manual: The use of rock in hydraulic engineering (C683)*. CIRIA.

Clark, J. R. (1996). *Coastal zone management handbook*. CRC Press.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260.

Cowell, P. J., & Thom, B. G. (1994). Morphodynamics of coastal evolution. In R. W. G. Carter & C. D. Woodroffe (Eds.), *Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics* (pp. 33–86). Cambridge University Press.

Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (2002). *Coastal processes with engineering applications*. Cambridge University Press.

de Vriend, H. J., & van Koningsveld, M. (2012). *Building with Nature: Thinking, acting and interacting differently*. EcoShape, Building with Nature.

- de Vriend, H. J., Zyserman, J., & Nicholson, J. (1993). Medium-term 2DH coastal area modelling. *Coastal Engineering*, 21(1–3), 193–224.
- Dyer, K. R. (1986). *Coastal and estuarine sediment dynamics*. John Wiley & Sons.
- French, P. W. (2001). *Coastal defences: Processes, problems and solutions*. Routledge.
- Grant, W. D., & Madsen, O. S. (1979). Combined wave and current interaction with a rough bottom. *Journal of Geophysical Research*, 84(C4), 1797–1808.
- Horikawa, K. (Ed.). (1988). *Nearshore dynamics and coastal processes*. University of Tokyo Press.
- IPCC. (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. M. Weyer (Eds.)]. Cambridge University Press.
- Kamphuis, J. W. (2000). *Introduction to coastal engineering and management*. World Scientific.
- Kay, R., & Alder, J. (2005). *Coastal planning and management* (2nd ed.). Taylor & Francis.
- Komar, P. D. (1998). *Beach processes and sedimentation* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Mangor, K. (2004). *Shoreline management guidelines*. DHI Water & Environment.
- Nielsen, P. (1992). *Coastal bottom boundary layers and sediment transport*. World Scientific.
- Pethick, J. (1996). *Coastal management and the science of coastal process*. In J. Taussik & J. Mitchell (Eds.), *Partnership in coastal zone management* (pp. 21-30). Samara Publishing Limited.
- Pilkey, O. H., & Cooper, J. A. G. (2014). *The last beach*. Duke University Press.
- Roelvink, J. A., & van Banning, G. K. F. M. (1994). Design and development of DELFT3D and application to coastal morphodynamics. *Proceedings of the International Conference on Hydrodynamics*, 2, 451–455.
- Schierreck, G. J. (2001). *Introduction to coastal engineering*. VSSD.
- Short, A. D. (1999). *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. John Wiley & Sons.
- Soulsby, R. (1997). *Dynamics of marine sands: A manual for practical applications*. Thomas Telford.
- Stive, M. J. F., de Vriend, H. J., Nicholls, R. J., & Capobianco, M. (2002). *Shoreline response*. In *Developments in Coastal Engineering* (Vol. 12, pp. 241–271). Elsevier.
- Thorne, C. R., Bathurst, J. C., & Hey, R. D. (Eds.). (1991). *Sediment transport in gravel-bed rivers*. John Wiley & Sons.
- Triatmodjo, B. (2020). *Teknik pantai* (Edisi ke-7). Beta Offset.
- Turner, R. K., Subak, S., & Adger, W. N. (1996). Pressures, trends, and impacts in coastal zones: Interactions between socioeconomic and natural systems. *Environmental Management*, 20(2), 159–173.
- US Army Corps of Engineers. (2002). *Coastal engineering manual*. U.S. Army Corps of Engineers.
- Valiela, I. (2006). *Global coastal change*. Blackwell Publishing.
- van Rijn, L. C. (1993). *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*. Aqua Publications.

- Woodroffe, C. D. (2002). *Coasts: Form, process and evolution*. Cambridge University Press.
- Wright, L. D., & Thom, B. G. (1977). Coastal depositional landforms: A morphodynamic approach. *Progress in Physical Geography*, 1(3), 412–459.