

DINAMIKA PANTAI KOTA SEMARANG, JAWA TENGAH

BEACH DYNAMICS OF SEMARANG CITY, CENTRAL JAVA

Purnomo Raharjo^{1*}, Fauzi Budi Prasetyo¹, G.N. Hawari², Nur Adi Kristanto¹

¹ Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan, Badan Geologi, Bandung, Jawa Barat, 40174

² Universitas Pajajaran, Jalan Raya Bandung Sumedang KM 21 Jatinangor

*uwemgi@gmail.com

Diterima : 06-11-2023 , Disetujui : 19-12-2024

ABSTRAK

Wilayah pesisir Kota Semarang, bagian dari pantai utara Jawa, menghadapi dinamika pantai yang kompleks akibat abrasi, akresi, banjir pesisir, dan perubahan garis pantai yang signifikan dalam dua dekade terakhir. Permasalahan ini diperburuk oleh intensitas pembangunan yang tidak mempertimbangkan kondisi geomorfologi, topografi, dan sistem drainase, yang mengakibatkan kerentanan terhadap abrasi dan sedimentasi tidak merata. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perubahan garis pantai, memahami pengaruh faktor oseanografi dan antropogenik terhadap dinamika pantai, serta memberikan dasar untuk perencanaan pengelolaan pesisir yang berkelanjutan. Penelitian menggunakan metode integrasi Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* untuk memetakan perubahan garis pantai berdasarkan data multi-temporal dari citra satelit selama 20 tahun. Selain itu, dilakukan analisis energi fluks gelombang melalui metode hindcasting menggunakan data angin selama 10 tahun dari *National Centers for Environmental Information (NCEI) NOAA*. Data angin dianalisis menggunakan koreksi elevasi, stabilitas, durasi, lokasi pengamatan, serta klasifikasi berdasarkan arah dan kecepatan menggunakan Beaufort Scale. Selanjutnya, energi fluks gelombang dihitung untuk mengidentifikasi pola distribusi sedimen dan

pengaruhnya terhadap proses abrasi dan akresi. Verifikasi lapangan dilakukan melalui survei langsung untuk mengamati karakteristik pantai, termasuk jenis sedimen, morfologi pantai, dan pola vegetasi di berbagai lokasi strategis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kecamatan Genuk mengalami abrasi paling luas, sedangkan akresi terbesar terjadi di Kecamatan Semarang Barat. Faktor oseanografi seperti arus sejajar pantai (*longshore current*), gelombang, serta reklamasi yang dilakukan di beberapa titik turut memengaruhi distribusi sedimen. Analisis energi fluks gelombang mengungkapkan pola transportasi sedimen yang dominan dari timur ke barat, menyebabkan perubahan geomorfologi pantai yang dinamis. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa pemanfaatan SIG dan DSAS memberikan gambaran komprehensif tentang dinamika pantai, yang dilengkapi dengan hasil analisis energi fluks untuk memahami transportasi sedimen. Studi ini merekomendasikan penerapan kebijakan mitigasi berbasis data untuk mengurangi dampak abrasi, memaksimalkan manfaat akresi, dan meningkatkan ketahanan pesisir Kota Semarang terhadap perubahan iklim dan aktivitas manusia.

Kata kunci: dinamika pantai, SIG, DSAS, abrasi, akresi, energi fluks gelombang, pengelolaan pesisir, Kota Semarang

ABSTRACT

The coastal area of Semarang City, part of the northern coast of Java, experiences complex coastal dynamics due to abrasion, accretion, coastal flooding, and significant shoreline changes over the past two decades. These issues are exacerbated by intensive urban development that disregards geomorphological conditions, topography, and drainage systems, leading to uneven vulnerability to abrasion and sedimentation. This study aims to evaluate shoreline changes, understand the influence of oceanographic and anthropogenic factors on coastal dynamics, and provide a foundation for sustainable coastal management planning. The study employs an integration of Geographic Information Systems (GIS) and the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) to map shoreline changes based on multi-temporal satellite imagery over a 20-year period. Additionally, wave energy flux analysis was conducted using hindcasting methods with 10 years of wind data from the National Centers for Environmental Information (NCEI) NOAA. Wind data were analyzed with corrections for elevation, stability, duration, observation location, and classified by direction and speed using the Beaufort Scale. Furthermore, wave energy flux was calculated to identify sediment distribution patterns and its impact on abrasion and accretion processes. Field verification was conducted through direct surveys to observe coastal characteristics, including sediment types, beach morphology, and vegetation patterns in various strategic locations. The results show that Genuk District experiences the most extensive abrasion, while the largest accretion occurs in West Semarang District. Oceanographic factors such as longshore currents, waves, and reclamation activities in certain areas influence sediment distribution. Wave energy flux analysis reveals a dominant sediment transport pattern from east to west, driving dynamic geomorphological changes along the coastline. The study confirms that the integration of GIS and DSAS provides a comprehensive understanding of coastal dynamics, complemented by wave energy flux analysis to assess sediment transport. This study recommends the implementation of data-driven mitigation policies to reduce abrasion impacts, optimize accretion benefits, and enhance the resilience of Semarang City's coastal areas to climate change and human activities.

Keyword: coastal dynamics, GIS, DSAS, abrasion, accretion, coastal management, Semarang

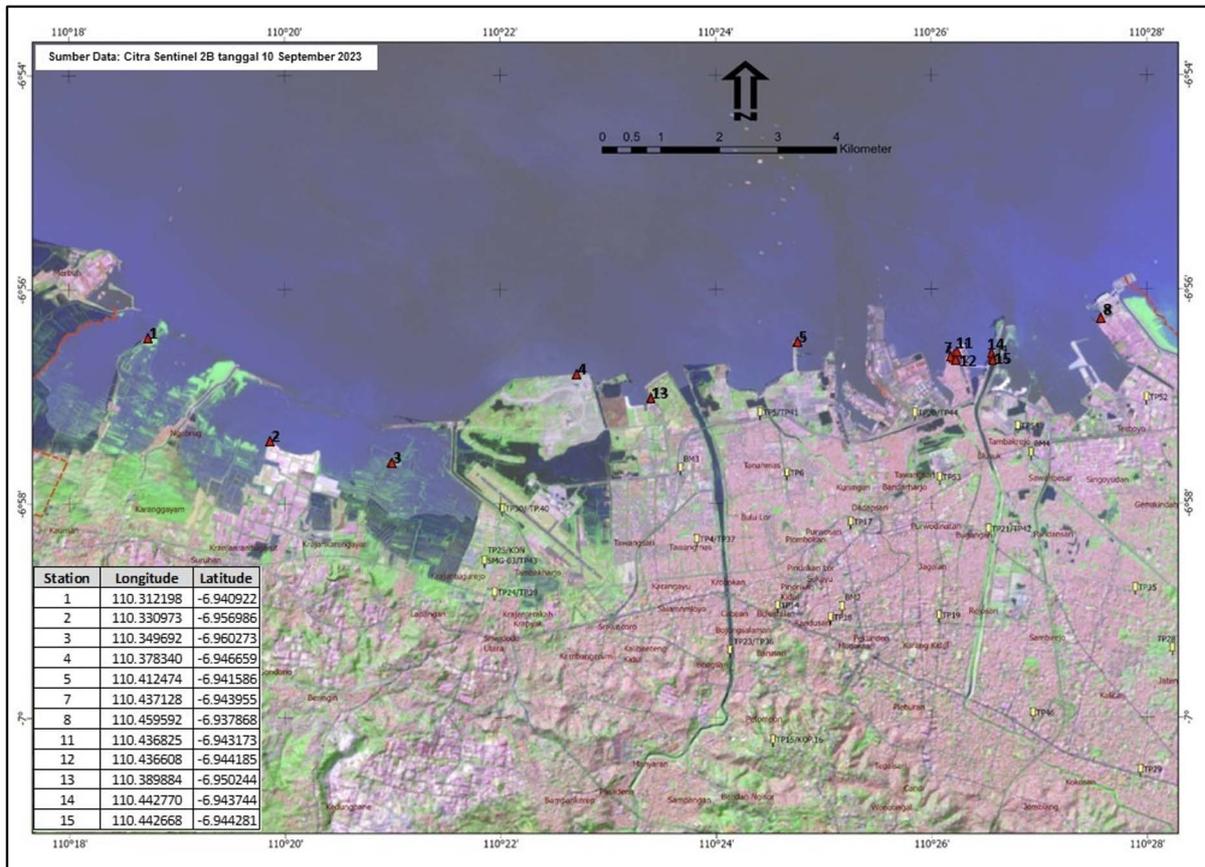
PENDAHULUAN

Kota Semarang merupakan ibu kota Provinsi Jawa Tengah yang menghubungkan kota Surabaya dan Jakarta. Secara geografis terletak antara 109°35' – 110°50' Bujur Timur dan 6°50' – 7°10' Lintang Selatan (Gambar 1). Secara geografis, Kota Semarang berbatasan langsung dengan Laut Jawa di utara, yang menjadikannya memiliki kawasan pantai yang strategis dan rentan terhadap dinamika pesisir.. Kota Semarang memiliki wilayah seluas 373,78 km²

(BPS, Kota Semarang Dalam Angka 2023) dan berada pada ketinggian 2 m hingga 384 m di atas permukaan laut (mdpl).

Sebagian besar wilayah Kota Semarang digunakan untuk lahan non-sawah, namun kawasan pesisir di utara memiliki karakteristik khusus sebagai zona yang dipengaruhi oleh dinamika pantai, termasuk erosi, abrasi, dan perubahan garis pantai.

Kondisi geologi di daerah pantai Semarang didominasi oleh endapan aluvial yang berasal dari



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

sedimentasi sungai besar seperti Kali Garang dan Banjir Kanal, terdiri atas material pasir, lumpur, dan lanau. Wilayah ini merupakan dataran rendah dengan kemiringan landai (0-5%) yang sebagian besar berbentuk delta akibat akumulasi material sedimen sungai. Struktur tanahnya cenderung lemah karena didominasi oleh sedimen berumur muda, sehingga memengaruhi stabilitas untuk pembangunan, terutama di area reklamasi seperti Pantai Marina.

Dinamika oseanografi seperti arus dan gelombang di Laut Jawa berperan dalam pola erosi dan sedimentasi, menyebabkan abrasi yang signifikan, terutama saat musim angin barat. Selain itu, kawasan ini sangat rentan terhadap rob akibat elevasi rendah, kenaikan muka laut, dan penurunan tanah yang diakibatkan oleh eksploitasi air tanah. Proses reklamasi yang dilakukan untuk mendukung kebutuhan lahan juga memengaruhi pola aliran air dan sedimentasi, sehingga berdampak pada perubahan geomorfologi pantai secara keseluruhan (Suwardi dkk., 1983).

METODE

Dalam pemetaan karakteristik pantai, Sistem Informasi Geografis (SIG) berperan penting sebagai

alat yang mengintegrasikan data spasial untuk memetakan perubahan garis pantai, kondisi sedimen, erosi, dan pola geomorfologi pantai. SIG terdiri dari tiga komponen utama, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak (sistem komputer), data spasial (seperti peta, citra satelit, dan foto udara), dan pengguna yang mengelola serta menganalisis data tersebut. Data geospasial yang digunakan dalam SIG meliputi data grafis (vektor atau raster) dan data tematik yang menggambarkan ciri-ciri entitas geografis seperti penggunaan lahan dan jenis material.

Penerapan SIG dalam pemetaan pantai memberikan informasi yang sangat berharga untuk perencanaan dan pengelolaan kawasan pesisir. Analisis spasial memungkinkan untuk memahami pola erosi, sedimentasi, serta dampak perubahan iklim dan aktivitas manusia pada ekosistem pesisir. Teknologi ini mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat dalam pengelolaan sumber daya alam, mitigasi bencana, serta perencanaan tata ruang di wilayah pesisir. Oleh karena itu, SIG sangat penting dalam memonitor perubahan lingkungan di kawasan pantai, seperti yang diungkapkan oleh (Wibowo dan Mukti K, 2015).

Digital Shoreline Analysis System (DSAS) adalah suatu perangkat lunak yang dalam

penggunaanya dilakukan bersamaan dengan perangkat lunak ArcGIS yang di kembangkan oleh ESRI dan USGS (Sasmito dan Amarrohman, 2016). Atau DSAS sebagai perangkat pendukung di perangkat lunak ArcGIS. DSAS digunakan untuk menghitung perubahan posisi garis pantai berdasarkan waktu secara statistik dan berbasis geospasial. DSAS menggunakan titik sebagai acuan pengukuran, dimana titik dihasilkan dari perpotongan antara garis transek yang dibuat oleh pengguna dengan garis-garis pantai berdasarkan waktu. Menurut Sasmito dan Amarrohman, (2016), menyatakan dalam perhitungan yang dilakukan dengan DSAS dikenal data berikut ini :

1. *Shoreline Change Envelope (SCE)* adalah mengukur total perubahan garis pantai mempertimbangkan semua posisi garis pantai yang tersedia dan melaporkan jaraknya, tanpa mengacu pada tanggal tertentu.

2. *Net Shoreline Movement (NSM)* adalah mengukur jarak perubahan garis pantai antara garis pantai yang terlama dan garis pantai terbaru.

3. *End Point Rate (EPR)* adalah menghitung laju perubahan garis pantai dengan membagi jarak antar garis pantai terlama dan garis pantai terkini dengan waktunya.

4. *Linear Regression Rate (LRR)* adalah Analisis statistik tingkat perubahan dengan menggunakan regresi linear bisa ditentukan dengan menggunakan garis regresi least-square terhadap semua titik perpotongan garis pantai dengan transek.

Dalam penelitian ini, kondisi dinamika pantai seperti abrasi dan akresi dipetakan dengan mengidentifikasi dan mendokumentasikan daerah-daerah pantai. Fokus utama adalah pengaruh arus sepanjang pantai (*longshore current*) dan aliran tegak lurus pantai (*cross shore*) terhadap pergerakan sedimen, yang berdampak pada sedimentasi dan abrasi.

Untuk mempelajari dinamika transportasi sedimen, digunakan analisis energi fluks gelombang melalui metode *hindcasting* (Komen, G.J. et al, 1994). Data angin selama 10 tahun dari *National Centers for Environmental Information (NCEI)* NOAA dianalisis untuk menentukan arah dan kecepatan angin dominan. Penyesuaian data dilakukan menggunakan rumus dari *Shore Protection Manual (SPM)*, mencakup koreksi elevasi, durasi, stabilitas, lokasi pengamatan, dan koefisien seret. Data angin ini diklasifikasikan berdasarkan arah dan kecepatan menggunakan Beaufort Scale, kemudian dihitung frekuensi kejadiannya (Sugiyono, 2009; Putri dkk., 2014).

Selanjutnya, titik tinjau di sepanjang pantai ditentukan untuk mengukur panjang fetch efektif, dengan asumsi angin yang konstan pada suatu wilayah. Fetch ini digunakan untuk menghitung tinggi dan periode gelombang, serta energi fluks di perairan dangkal. Energi fluks dihitung berdasarkan tinggi gelombang, periode gelombang, dan sudut datang gelombang terhadap pantai (US Army Corps of Engineers, 1984). Hasil perhitungan energi fluks digunakan untuk menentukan distribusi dan kuantitas material sedimen yang terendapkan di setiap titik tinjau, sebagai indikator pergerakan sedimen di sepanjang pantai (Sugiyono, 2009; Putri dkk., 2014).

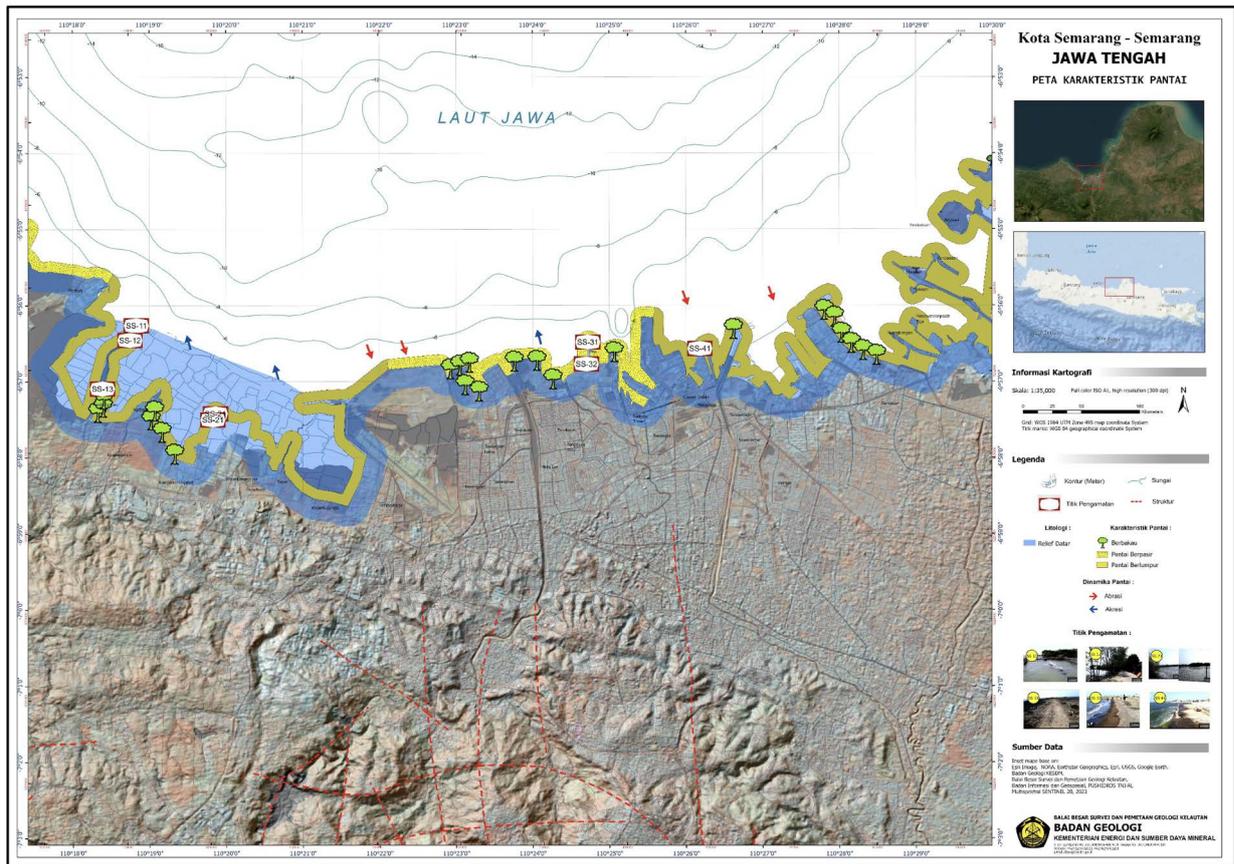
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan dan pemetaan karakteristik pantai dilakukan dengan peta Rupa Bumi, Badan Informasi Geospasial, dengan skala 1 : 50.000 seperti tersebut diatas untuk mengetahui sampai sejauh mana pengaruh energi laut (arus, gelombang) dan aktivitas manusia terhadap perkembangan pantai (maju dan mundurnya garis pantai). Pengamatan di lapangan terutama dilakukan untuk mengetahui beberapa parameter pantai antara lain :

- Morfologi pantai untuk mengetahui perbedaan relief pantai.
- Kondisi geologi dengan cara diskripsi dan pengambilan contoh batuan/material penyusun pantai dan tingkat resistensinya, penentuan posisi dengan GPS, selanjutnya dari contoh tersebut dianalisa besar butirnya sehingga dapat menjelaskan tentang pasokan sedimen.
- Karakteristik garis pantainya meliputi jenis pantainya, kondisi garis pantainya (abrasi, sedimentasi, stabil, arah pengangkutan sedimen), dan identifikasi jenis tumbuhan pantai.

Salah satu kegiatan survei pantai di Kota Semarang adalah melakukan pengamatan langsung lapangan, pengamatan yang dilakukan langsung oleh BBSPGL mengacu pada referensi (Shepard, 1958 dalam Raharjo, 2003). Klasifikasi pantai didasari tiga komponen (unsur) pembentuk tipologi pantai yaitu materi (litologi), relief (beda tinggi/kelerengan), genesis (proses pembentukannya).

- Klasifikasi materi dalam penyusun tipe pantai : lumpur, pasir, berbatu, organisme.
- Klasifikasi relief (morfologi) dalam penyusun tipe pantai : datar, bergelombang, perbukitan, pegunungan.



Gambar 2. Peta Karakteristik Pantai Semarang

- Klasifikasi genesis dalam penyusun tipe pantai : erosi, deposisi, eolian, vulkanik, structural (tektonik), solusional (karst), organisme (terumbu, mangrove).

Mengingat panjangnya garis pantai dan waktu survei, maka pengamatan dilakukan di beberapa titik lokasi dengan dibantu menggunakan UAV (*drone*). Dari hasil pengamatan tersebut dapat dibedakan

beberapa tipe pantai yang berbeda baik litologi dan resistensi, relief, vegetasi yang tumbuh di tiap karakter pantai. Pada umumnya garis pantai daerah survei terbentuk dari morfologi landai dengan material berpasir, berlumpur dan berbakau. Berdasarkan ciri tersebut diatas dan karakteristik garis pantainya, maka kondisi pantai daerah survei adalah menjadi dua tipe sebagai berikut (Gambar 2) :



Gambar 3. Pantai berpasir di Kelurahan Bandarharjo, Kecamatan Semarang Utara, tersusun oleh material lepas berukuran pasir hingga bongkah, merupakan marterial urugan/timbunan/reklamasi, dipergunakan oleh warga untuk tempat wisata (latar belakang adalah Pelabuhan).

Pantai Berpasir (Tipe I)

Pantai berpasir dijumpai disepanjang garis pantai yang masuk wilayah Kecamatan Semarang Barat dan Kecamatan Semarang Utara. Morfologi yang membentuk tipe pantai ini adalah pantai landai dengan kemiringan lereng $\pm 2^\circ$.

Umumnya wilayah pantai dimanfaatkan untuk pemukiman, wisata, industri dan pelabuhan. Batuan penyusun pantai ini adalah material lepas/sedimen berukuran pasir hingga bongkah.

Kecamatan Semarang Barat :

Morfologi pantai ini dengan relief paras pantai (*beach face*) $\pm 2^\circ$ material penyusun pantai ini adalah material lepas berukuran pasir hingga bongkah, merupakan material urugan (timbunan). Pantai terbuka, sebagian besar area dipergunakan sebagai kawasan hunian dan wisata. Vegetasi tumbuhan mangrove dan tanaman lain. Infrastruktur yang ada berupa jalan, pemukiman, tempat wisata.



Gambar 4. Pantai berpasir di Kelurahan Bandarharjo, Kecamatan Semarang Utara, tersusun oleh material lepas berukuran pasir hingga bongkah, merupakan material urugan/timbunan/reklamasi, dipergunakan oleh warga untuk tempat wisata (latar belakang adalah Pelabuhan).



Gambar 4. Pantai berpasir di Kelurahan Bandarharjo, Kecamatan Semarang Utara, tersusun oleh material lepas berukuran pasir hingga bongkah, merupakan material urugan/timbunan/reklamasi, dipergunakan oleh warga untuk tempat wisata (latar belakang adalah Pelabuhan).



Gambar 5. Tetrapod beton untuk melindungi daratan agar tidak mengalami erosi oleh gelombang laut di pantai Kelurahan Bandarharjo, Kecamatan Semarang Utara, latar belakang adalah Pelabuhan Tanjung Emas

Kecamatan Semarang Utara :

Morfologi pantai ini dengan relief paras pantai (*beach face*) $\pm 2^\circ$ material penyusun pantai adalah material lepas berukuran pasir sampai bongkah, merupakan material urugan/timbunan/reklamasi (Gambar 3 dan 4). Pantai terbuka, sebagian besar area dipergunakan untuk kawasan industri dan pelabuhan, terdapat pemukiman dan aktifitas perekonomian masyarakat. Vegetasi tanaman perdu, rumput, semak.

Infrastruktur yang ada adalah jalan pada area penempatan peti kemas, jalan tak beraspal pada area urugan/timbunan/reklamasi. Ditemui juga bangunan perkantoran dan kawasan industri. Untuk melindungi material urugan/timbunan/reklamasi agar tidak tergerus/mengalami erosi oleh gelombang laut, di pantai ini dipasang tetrapod beton (Gambar 5).

Pantai Berlumpur (Tipe II)

Pantai berlumpur merupakan pantai dengan paras pantai (*beach face*) lebar, pantai ini ditemui di wilayah Kecamatan Tugu dan Kecamatan Semarang Timur serta Kecamatan Genuk. Morfologi yang membentuk tipe pantai ini adalah pantai landai dengan kemiringan lereng $\pm 2^\circ$. Umumnya garis pantai merupakan/dimanfaatkan sebagai hutan mangrove, pelabuhan rakyat/nelayan, pemukiman, industri/pabrik. Material penyusun pantai ini adalah lumpur, di beberapa lokasi ditemui endapan berukuran pasir dan bongkah bongkah batu.

Kelurahan Mangunharjo, Kecamatan Tugu :

Morfologi pantai ini dengan relief paras pantai (*beach face*) $\pm 1^\circ-2^\circ$ material penyusun pantai ini adalah lumpur, di beberapa lokasi ditemui pasir. Vegetasi berupa tanaman mangrove, rumput, semak semak. Infrastruktur yang ada pelepasan ikan dan wisata, jalan pelantar (terbuat dari beton dengan tiang penyangga) yang dapat dilalui pejalan kaki, sepeda, motor dan kendaraan roda 4 kecil (Gambar 6).

Kelurahan Randu Garut, Kecamatan Tugu :

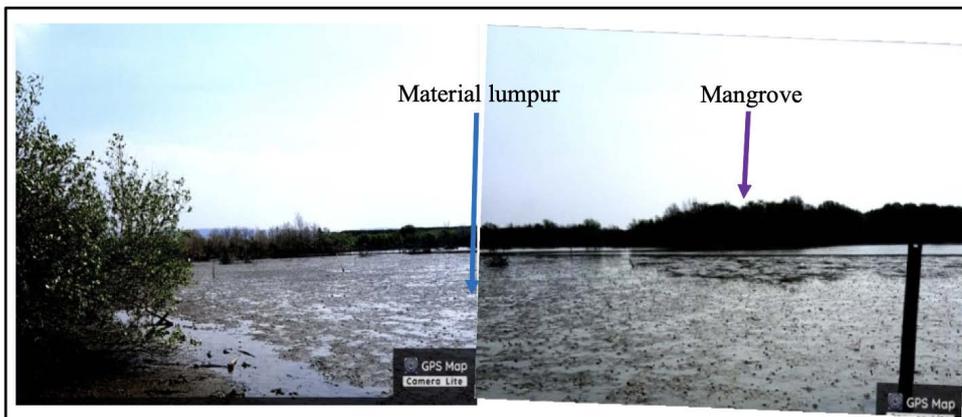
Morfologi pantai ini dengan relief paras pantai (*beach face*) $\pm 2^\circ$ material penyusun pantai ini adalah lumpur, sedikit berbatu berukuran kerakal-kerikil hingga bongkah. Karakteristik pantainya merupakan pantai terbuka, beberapa lokasi di wilayah barat mengalami abrasi. Vegetasi terdapat mangrove, tanaman perdu, rumput, semak semak (Gambar 7). Infrastruktur yang ada berupa bangunan pelindung pantai (*sea wall*) sebagai penahan gelombang dan penahan material urugan/timbunan/reklamasi.

Kecamatan Semarang Timur :

Kampung Bahari Tambaklorok, Kelurahan Tanjungmas, Morfologi pantai ini dengan relief paras pantai (*beach face*) $\pm 2^\circ$ material penyusun pantai ini adalah lumpur, sedikit berbatu berukuran kerakal-kerikil. Karakteristik pantainya merupakan pantai terbuka, beberapa lokasi di wilayah barat mengalami abrasi. Vegetasi terdapat pohon besar,



Gambar 6. Pelantar/jembatan bambu untuk kegiatan wisata/memancing dengan latar belakang hutan mangrove di Pantai Mangunharjo, Kelurahan Mangunharjo, Kecamatan Tugu



Gambar 7. Pantai berlumpur di Kelurahan Randu Garut, Kecamatan Tugu, dengan latar belakang hutan mangrove



Gambar 8. Bagian luar/arah laut dari bangunan pantai di Kampung Bahari Tambaklorok, Kelurahan Tanjungmas, kecamatan Semarang Timur sebagai penahan gelombang dan kolam pelabuhan rakyat/nelayan.

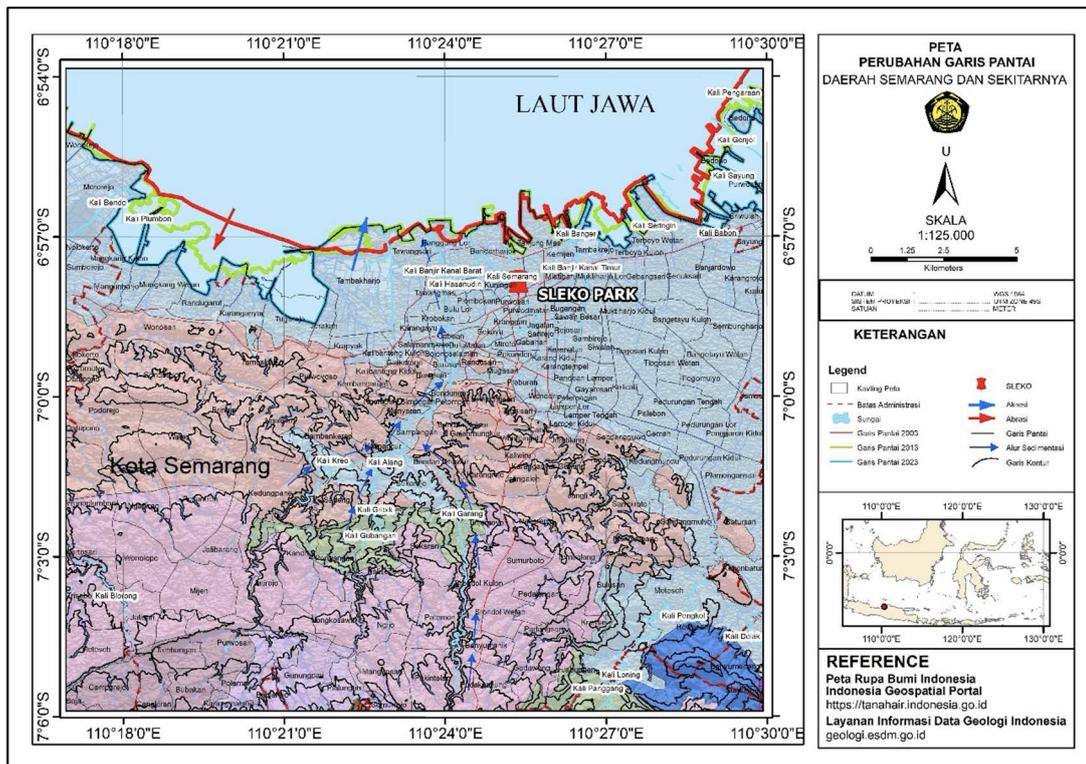
terutama di pemukiman penduduk, rumput, semak semak. Infrastruktur yang ada berupa bangunan pelindung pantai (*sea wall*) sebagai penahan gelombang dan kolam pelabuhan rakyat/nelayan (Gambar 8).

Pengolahan Data Luasan Abrasi dan Akresi 2003 – 2023

Berdasarkan hasil pengolahan data luasan abrasi 2003 – 2023 di Kota Semarang diantaranya

luas diantara kecamatan lainnya. Sedangkan Kecamatan Semarang Barat terjadi akresi yang paling luas diantara kecamatan lainnya (Tabel 1).

Diketahui bahwa pada tahun 1979 terjadi Reklamasi di daerah Kawasan Pantai Marina dan pelabuhan Tanjung Mas, reklamasi tersebut sangat berpengaruh besar pada garis pantai (Sudarsono, 2011). Dimana Kawasan Pantai Marina termasuk dalam Kecamatan Semarang Barat dan pelabuhan Tanjung Mas termasuk dalam Kecamatan Semarang Utara. Terbentuknya sedimentasi yang cukup besar di Kecamatan Semarang Barat, karena adanya



Gambar 9. Peta Perubahan Garis Pantai daerah Semarang dan Sekitarnya

Kecamatan Tugu sebesar 1586.3 ha, Kecamatan Kota Semarang Barat sebesar 100.18 ha, Kecamatan Semarang Utara sebesar 112.78 ha dan Kecamatan Genuk sebesar 315.87 ha. Sedangkan luas akresi 2003 – 2023 di Kota Semarang diantaranya Kecamatan Tugu sebesar 95.96 ha, Kecamatan Kota Semarang Barat sebesar 206.8 ha, Kecamatan

perpindahan sedimen reklamasi dari Kecamatan Semarang Utara oleh pengaruh arus dan gelombang, serta terjadi peristiwa akresi yang disebabkan perpindahan sedimen dari hulu dan kemudian akan tertimbun yang lama kelamaan akan mengendap pada hilir sungai dan akan membentuk daratan baru yang berbentuk tambak yang menjorok ke arah laut. Kecamatan Semarang Barat sebagai hilir dari Sungai Banjir Kanal Barat.

Tabel 1. Luas Abrasi dan Akresi Kota Semarang

Kec.	Luas Area/Ha 2003-2013		Luas Area/Ha 2013-2023		Total Luas Area/Ha	
	Abrasi	Akresi	Abrasi	Akresi	Abrasi	Akresi
Tugu	650.8	0.73	934.5	95.23	1585.3	95.96
Semarang Barat	64.47	104.1	35.71	102.7	100.18	206.8
Semarang Utara	81.52	64.06	31.26	11.19	112.78	75.25
Genuk	116.5	13.6	199.4	15.9	315.87	29.5

Semarang Utara sebesar 75.25 ha dan Kecamatan Genuk sebesar 29.5 ha. Dari data tersebut diketahui bahwa Kecamatan Genuk terjadi abrasi yang paling

Menurut Sardiyatmo, (2013) menyatakan bahwa pada tahun 2004 - 2009 luasan abrasi di antaranya Kecamatan Genuk sebesar 14.21 ha, Kecamatan Kota Semarang Barat sebesar 2.99 ha, Kecamatan Semarang Utara sebesar 18.96 ha dan Kecamatan Tugu sebesar 51.61 ha. Sedangkan luas akresi 2008 – 2018 di Kota Semarang diantaranya Kecamatan Genuk sebesar 37.89 ha, Kecamatan Kota Semarang Barat sebesar 65.46 ha, Kecamatan Semarang Utara sebesar 60.55 ha dan Kecamatan Tugu sebesar 0.76 ha. Serta memprediksi bahwa peningkatan abrasi pantai Semarang pada tahun 2019 mencapai luas 27.34 ha maka perlu diwaspadai,

Kecamatan Genuk dan kecamatan Semarang Utara akan terjadi abrasi pantai sepuluh tahun mendatang. Prediksi tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini bahwa Kecamatan Genuk dan Kecamatan Semarang Utara memiliki luasan abrasi yang lebih besar daripada akresi. Sedangkan yang sangat diwaspadai adalah Kecamatan Tugu memiliki luasan abrasi yang paling luas daripada kecamatan lainnya. Dengan data pada tahun 2004 – 2009 dibandingkan dengan data penelitian ini, sesuai bahwa dari tahun sebelumnya daerah pesisir Kecamatan Tugu mengalami abrasi yang luas pula diantara kecamatan lainnya.

Perubahan Garis Pantai dengan Metoda DSAS

Untuk mengetahui perubahan garis pantai digunakan metoda *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* adalah suatu perangkat lunak yang dalam penggunaannya dilakukan bersamaan dengan perangkat lunak ArcGIS yang di kembangkan oleh ESRI dan USGS (Sasmito dan Amarrohman, 2016). Dalam perhitungan yang dilakukan dengan DSAS dikenal data berikut ini (Tabel 2) :

- *End Point Rate (EPR)* hasil perhitungan laju perubahan garis pantai dengan membagi jarak antara garis pantai terlama dan garis pantai terkini dengan waktunya.
- *Shoreline Change Envelope (SCE)* adalah mengukur total perubahan garis pantai mempertimbangkan semua posisi garis pantai yang tersedia dan melaporkan jaraknya, tanpa mengacu pada tanggal tertentu.
- *Net Shoreline Movement (NSM)* adalah mengukur jarak perubahan garis pantai antara garis pantai yang terlama dan garis pantai terbaru.

Dari nilai tersebut diketahui bahwa nilai EPR rata-rata abrasi di Kecamatan EPR lebih kecil diantara lainnya dan berbanding lurus dengan nilai NSM rata-rata. Nilai NSM akresi rata-rata yang memiliki nilai paling besar di

Dinamika Pantai (Meteorologi Dan Oseanografi)

Pengamatan dinamika pantai (abrasi dan akresi) dilakukan bersamaan dengan pemetaan karakteristik pantai dengan cara mengidentifikasi daerah-daerah tersebut kemudian diplot pada peta kerja serta pengambilan dokumentasi.

Salah satu fenomena dinamika pantai adalah *littoral drift* akibat *longshore current* (arus sepanjang pantai) yang mampu mengangkut sedimen-sedimen dangkal. *Longshore current* yang bergerak menyusuri pantai menyebabkan terjadinya turbulensi sedimen di dasar perairan dan terjadilah transpor dari suatu lokasi ke lokasi yang lain. Fenomena *cross shore* juga turut mempengaruhi proses transpor sedimen di wilayah *intertidal* sebagai tempat sedimen pantai yang terangkut secara bolak balik dan tegak lurus pantai akibat pengaruh gelombang, serta tertransportasi bersama massa air. Kedua hal tersebut erat kaitannya dengan mekanisme sedimentasi dan abrasi, sebagian besar permasalahan pantai adalah abrasi yang berlebihan.

Abrasi adalah kejadian sedimen terangkut/ terkikis yang disebabkan oleh gerakan air sehingga garis pantai menjadi mundur (Triatmodjo, 1999). Sebagian abrasi yang terjadi di suatu perairan disebabkan oleh terganggunya keseimbangan transportasi sedimen sepanjang pantai dan tidak adanya peredam energi gelombang atau bangunan pelindung pantai. Pada saat gelombang pecah dan keluar dari daerah pengaruh angin, sedimen di dasar pantai menjadi terangkut yang selanjutnya terangkut oleh dua macam gaya penggerak, yaitu: gelombang dalam arah sepanjang pantai dan *longshore current*. Arah transpor di sepanjang pantai sesuai dengan arah gelombang datang dan sudut antara puncak

Tabel 2. Data EPR, SCE dan NSM untuk abrasi dan akresi

Kec.	EPR				SCE				NSM			
	Tertinggi		Terendah		Tertinggi		Terendah		Tertinggi		Terendah	
			Abrasi	Akresi			Abrasi	Akresi			Abrasi	Akresi
Tugu	22.79	-325.4	-122.4	22.79	5547.29	105.99	2305.244	227.9	227.9	-5547	-2264	227.9
Semarang Barat	93.14	-277.36	-83.2104	43.04496	5547.29	53.54	1616.559	896.4662791	1862.8	-5547	-1612	854.5
Semarang Utara	76.01	-125.26	-34.8002	19.28486	2505.18	6	699.8805	399.0588571	1520.2	-2505	-696	385.68
Genuk	-1.95	-298.37	-47.2758	48.9568	5967.37	79.18	976.6114	483.541	-39.08	-5967	-945.5	411.61

wilayah kecamatan Semarang barat. Serta nilai NSM abrasi rata – rata yang memiliki nilai paling besar pada kecamatan Tugu. Hal ini juga berbanding lurus dengan luasan abrasi pada kecamatan Tugu yang memiliki nilai luasan abrasi yang paling luas diantara kecamatan lainnya.

gelombang dan garis pantai. Analisis *littoral drift* akibat *longshore current* bermaksud untuk mengidentifikasi pengaruh dari gelombang dan arus sepanjang pantai (*longshore current*) terhadap sebaran sedimen yang ada di wilayah perairan pantai.

Banyak hal yang harus diperhatikan agar bentuk profil atau pun letak garis pantai tetap

dinamis, salah satunya adalah banyaknya jumlah sedimen yang terangkut dari arah laut menuju pantai oleh gelombang dan arus. Kondisi gelombang yang menyebabkan angkutan sedimen adalah gelombang yang mempunyai energi yang besar, sedangkan untuk kondisi gelombang yang normal, energi gelombang dengan mudah dapat dihancurkan oleh mekanisme pertahanan alami pantai. Proses dinamis pantai yang dipengaruhi oleh gerak sedimen di daerah dekat pantai oleh gelombang yang terdiri dari:

- Pergerakan sepanjang pantai (*longshore transport*)
- Pergerakan tegak lurus pantai (*onshore-offshore transport*)

Di Indonesia perubahan morfologi pantai umumnya diakibatkan oleh abrasi pantai yang disebabkan oleh sirkulasi arus, dinamika gelombang dan interaksi faktor-faktor tersebut dengan sedimen serta faktor manusia (Diposaptono, 2004).

Data angin dari stasiun Ahmad Yani International, Semarang, sangat penting dalam analisis dinamika pantai karena angin berperan langsung dalam mempengaruhi energi gelombang yang datang ke pantai. Dengan menggunakan data angin sekunder dari National Centers for Environmental Information (NCEI), fluks energi gelombang dapat dihitung untuk memahami

Tabel 3. Keterangan stasiun pengukuran angin Ahmad Yani International, Semarang

Station	9683909999
Name	AHMAD YANI INTERNATIONAL, ID
Latitude	-6.9833333
Longitude	110.3833333
Elevation	3.96

Tabel 4. Klasifikasi data angin stasiun pengukuran angin Ahmad Yani International, Semarang

ARAH ANGIN	KECEPATAN ANGIN (KNOT)							Incomplete/Missing	TOTAL	PERSENTASE
	<10	10 - 16	17 - 21	22 - 27	28 - 33	> 33				
N	4044	8552	1313	209	10	1	548	14677	12.83	
NE	2167	1702	198	21	1	0	0	4089	3.57	
E	10311	10565	2097	332	27	4	1	23337	20.39	
SE	13188	4653	660	129	7	2	1	18640	16.29	
S	10456	698	43	14	1	0	1	11213	9.80	
SW	6156	502	22	7	1	0	0	6688	5.84	
W	9057	3848	745	293	27	3	0	13973	12.21	
NW	4643	11800	3712	1489	170	8	0	21822	19.07	
TOTAL	60022	42320	8790	2494	244	18	551	114439	100.00	
PERSENTASE	52.45	36.98	7.68	2.18	0.21	0.02	0.48	100.00		

seberapa besar energi yang dibawa oleh gelombang laut. Energi ini mempengaruhi proses erosi, transportasi sedimen, dan perubahan geomorfologi pantai, seperti abrasi atau pengendapan. Informasi tentang kecepatan dan arah angin memungkinkan

perhitungan pola gelombang yang dapat memperkirakan dampak gelombang terhadap perubahan garis pantai, terutama di wilayah pesisir yang rentan terhadap perubahan dinamis. Oleh karena itu, data angin dari stasiun tersebut menjadi dasar dalam mengevaluasi kondisi fisik pantai dan membantu dalam pengelolaan wilayah pesisir secara lebih efektif (Tabel 3).

Setelah dilakukan penyesuaian terhadap kecepatan angin kemudian diklasifikasi berdasarkan arah, kecepatan angin, dan jumlahnya. Kecepatan angin maksimum yang terjadi pada periode tersebut adalah 46 knot dan kecepatan angin rata-rata sebesar 10 knot. Hasil klasifikasi data angin dengan skala Beaufort tersebut disajikan pada (Tabel 4).

Tabel 4 menunjukkan frekuensi angin kuat yang tercatat di stasiun Ahmad Yani International, Semarang selama kurun waktu 10 tahun ini relatif kecil dibandingkan kejadian angin teduh (*calm*) dengan kecepatan <10 knot yang mencapai 52,45%. Klasifikasi angin kuat tersebut menghasilkan frekuensi pada masing-masing kelompok Beaufort, untuk interval 10-16 knot sebanyak 36,98%, kelompok Beaufort 17-21 knot sebanyak 7,68%, kelompok Beaufort 22-27 knot atau sebanyak 2,18%, kelompok Beaufort 28-33 knot sebanyak 0,21% dan untuk kecepatan angin di atas 33 knot sebanyak 0,02%. Frekuensi terbesar kecepatan angin kuat berada pada interval 10-16 knot.

Klasifikasi angin kuat bulanan dilakukan untuk mengetahui persentase kejadian angin pada bulan tersebut untuk seluruh tahun-tahun pengamatan. Hasil perhitungan persentase angin bulanan menunjukkan harga yang bervariasi, sesuai dengan variasi interval kecepatan pada setiap bulannya. Berdasarkan hasil pemisahan angin-angin kuat selama 10 tahun (dari tahun 2013 sampai dengan

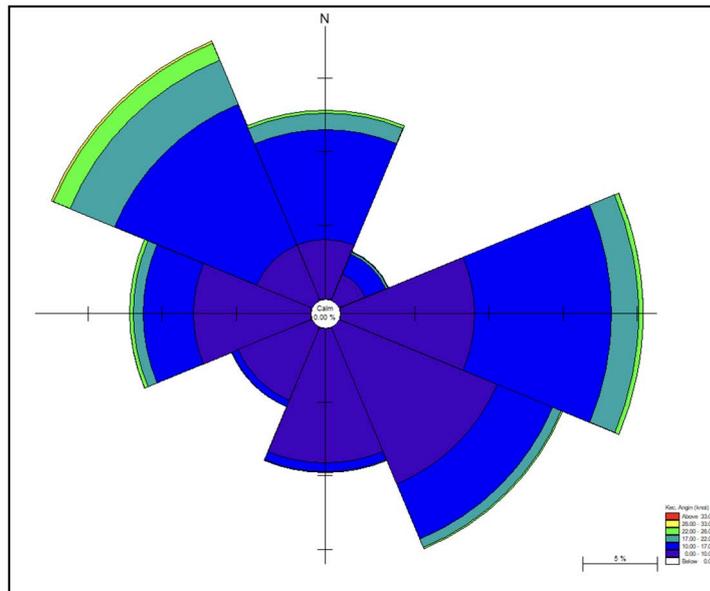
tahun 2022) menunjukkan bahwa arah angin dominan yang dapat membangkitkan gelombang di lokasi kajian adalah dari arah barat, barat laut, utara, timur laut dan timur. Tetapi dengan memperhatikan kondisi geometris dari garis pantai yang ditinjau

maka tidak semua angin yang berasal dari arah tersebut dapat bekerja sebagai pembangkit gelombang. Hal ini disebabkan karena panjang tiupan angin (fetch) dari arah-arah tertentu diabaikan, seperti angin yang bertiup dari arah tenggara, selatan dan barat daya dianggap tidak memberikan dampak signifikan terhadap daerah kajian.

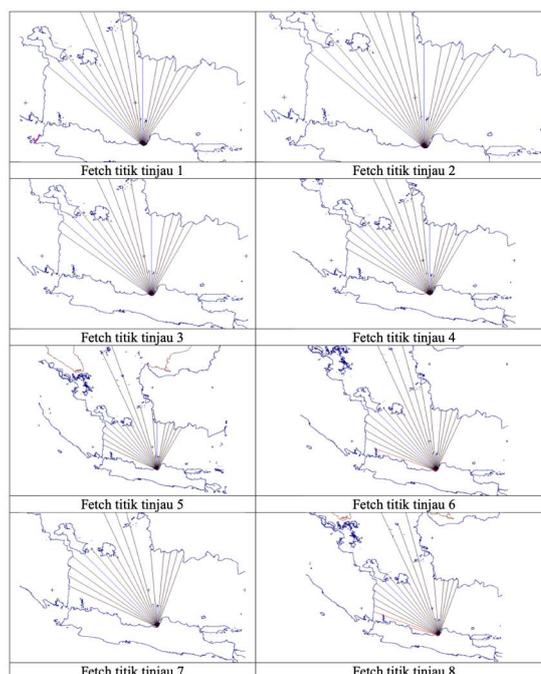
Daerah kajian memiliki muka pantai menghadap ke arah utara, sehingga angin yang berpengaruh di daerah ini adalah angin yang berasal dari arah barat, barat laut, utara, timur laut dan timur

dengan panjang fetch maksimum sebesar 200 km. Jika dipersentasikan terhadap seluruh kejadian angin kuat selama 10 tahun maka arah angin dominan yang berpengaruh dalam proses dinamika pantai Semarang adalah angin dari arah Barat sebanyak 12,21%, Barat Laut sebanyak 19,07%, Utara sebanyak 12,83%, Timur Laut sebanyak 3,57% dan Timur sebanyak 20,39%. Pemisahan arah dan frekuensi angin kuat ini digambarkan dalam diagram bunga angin (*wind rose*) tahunan (Gambar 10).

Data tinggi dan periode gelombang signifikan diperoleh dengan metode *Sverdrup, Munk dan*



Gambar 10. Distribusi arah dan kecepatan angin tahunan periode Januari-Desember (2013-2022)



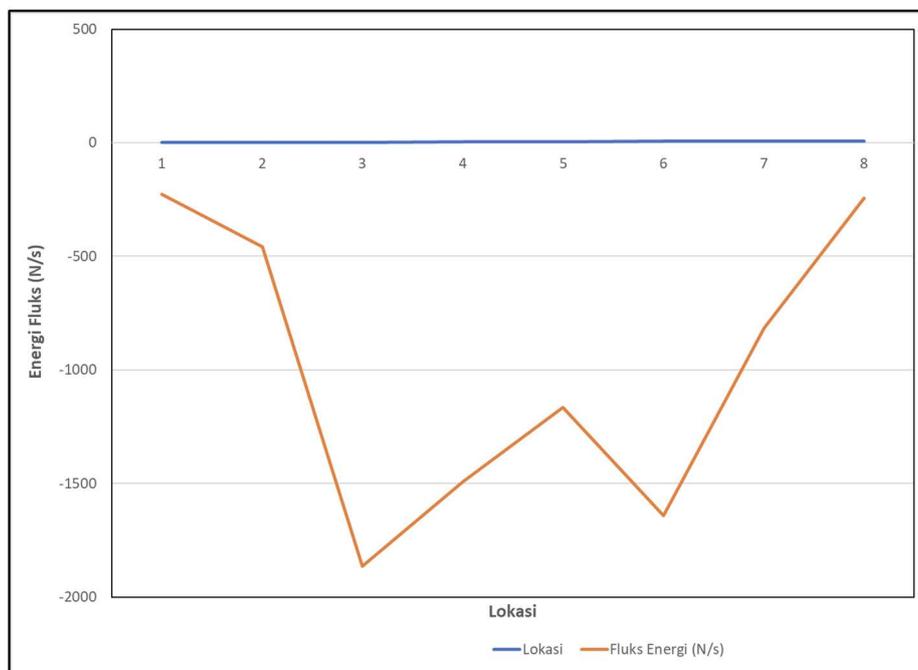
Gambar 11. Fetch pada masing-masing lokasi titik tinjau

Bretchneider (SMB). Hasil prediksi parameter gelombang berdasarkan angin kuat selama 10 tahun menunjukkan nilai tinggi gelombang minimum 0,35 m dengan perioda minimum 2,28 s dan tinggi gelombang maksimum 0,94 m dengan perioda maksimum 4,75 s.

Perhitungan fluks energi dilakukan untuk setiap titik tinjau sebanyak 8 titik dan untuk setiap arah dan

pantai yang terjadi. Berdasarkan hasil perhitungan fluks energi gelombang tahunan maka secara alami dapat diketahui arah littoral drift dan proses dinamika pantai yang berlangsung di lokasi kajian. Beberapa lokasi memiliki potensi terjadinya proses abrasi dan akresi (Gambar 13).

Tingkat abrasi dan akresi yang diperlihatkan di lokasi kajian berbeda dari satu lokasi ke lokasi yang



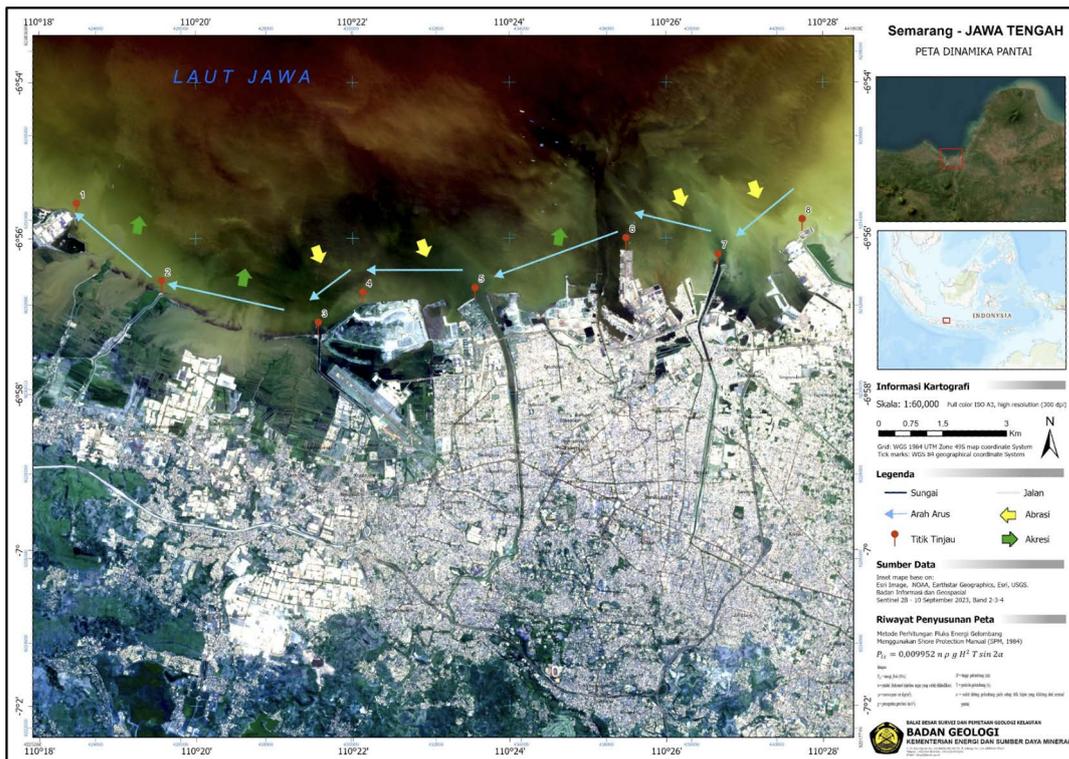
Gambar 12. Kurva Fluks energi gelombang tahunan

panjang fetch yang telah dipilih, yaitu kemungkinan terjadi di lokasi kajian dan juga berpengaruh terhadap proses dinamika pantai. Nilai fluks energi yang didapat untuk setiap titik sangatlah bervariasi, karena energi gelombang yang tiba di suatu titik juga tergantung pada panjang fetch di titik tersebut (Gambar 11), perbedaan morfologi pantai, dan pengaruh angin yang diterima oleh masing-masing titik tinjau. Kurva fluks energi gelombang tahunan ditunjukkan pada (Gambar 12).

Adanya perbedaan parameter gelombang hasil prediksi di setiap titik tinjau akan menyebabkan besarnya aliran energi gelombang di setiap titik tersebut juga bervariasi. Hal ini disebabkan oleh energi gelombang yang tiba di suatu titik juga bervariasi tergantung dari panjang fetch di titik tersebut, pengaruh angin yang diterima oleh masing-masing titik tinjau, dan perbedaan morfologi pantai. Interpretasi hasil perhitungan aliran energi gelombang yang di plot terhadap titik-titik tinjau yang berada di garis pantai akan memberikan indikasi arah pengangkutan sedimen, banyaknya sedimen yang terangkut dan proses dinamika

lain ditunjukkan dengan besar kecilnya fluktuasi kurva. Grafik naik yang cukup signifikan mengindikasikan bahwa di pesisir pantai tersebut telah berkembang proses abrasi. Sedangkan grafik turun yang cukup tajam menunjukkan adanya akresi di pesisir pantai tersebut. Arah pergerakan material sepanjang tahun tersebut ditunjukkan oleh nilai energi fluks negatif dan positif pada masing-masing lokasi titik peninjauan. Dengan ketentuan nilai energi fluks negatif berlawanan arah jarum jam (kekiri) dan nilai positif searah jarum jam (ke kanan).

Prediksi besarnya material yang terendapkan dan arah pengendapannya, dihitung menggunakan rumus empiris yang merupakan hubungan sederhana antara transpor sedimen yang berbanding lurus dengan komponen fluks energi gelombang di setiap titik tinjau (CERC, 1984). Hasil prediksi banyaknya material sedimen yang diendapkan di pantai ditunjukkan pada (Tabel 5). Arah pengangkutan sedimen (*littoral drift*) dari titik tinjau 1-8 mengikuti arah arus sejajar pantai (*longshore current*), dari hasil pengolahan data untuk lokasi kajian



Gambar 13. Titik tinjau perhitungan fluks energi di sepanjang Kota Semarang

Tabel 5. Hasil prediksi transpor sedimen sepanjang pantai

Lokasi	Fluks Energi (N/s)	Angkutan Sedimen Sepanjang Pantai (Qs) (m3/tahun)
1	-227.208	-293098.4
2	-458.928	-592017.0
3	-1864.302	-2404950.0
4	-1492.315	-1925086.1
5	-1164.642	-1502388.7
6	-1642.807	-2119220.5
7	-816.610	-1053426.5
8	-244.500	-315405.5

pengangkutan sedimen dari timur ke barat (dari titik tinjau 8 ke titik tinjau 1).

Sedimen yang masuk ke daerah pantai yang ditinjau bisa berupa suplai sedimen dari sungai, material yang berasal dari erosi tebing di darat, transpor sedimen sepanjang pantai dan tegak lurus pantai (*onshore transport*) yang masuk ke wilayah titik tinjau, penimbunan pantai dan transpor tegak lurus pantai (*offshore transport*) yang keluar dari wilayah pantai yang ditinjau. Khusus untuk daerah muara sungai, umumnya proses sedimentasi pantai yang terjadi dipengaruhi pula oleh kombinasi sistem kerja arus laut dan arus sungai itu sendiri (Komar, 1998).

Sedimen yang masuk ke daerah pantai yang ditinjau bisa berupa suplai sedimen dari sungai,

material yang berasal dari erosi tebing di darat, transpor sedimen sepanjang pantai dan tegak lurus pantai (*onshore transport*) yang masuk ke ruas yang ditinjau, penimbunan pantai dan transpor tegak lurus pantai (*offshore transport*) yang keluar dari ruas pantai yang ditinjau. Khusus untuk daerah muara sungai, umumnya proses sedimentasi pantai yang terjadi dipengaruhi pula oleh kombinasi sistem kerja arus laut dan arus sungai itu sendiri. Kecepatan perkembangan proses akresi yang terjadi di daerah muara sungai akan berbeda satu sama lainnya, karena perbedaan sistem transportasi sedimen dan jumlah sedimen yang ditransportasikan. Morfologi pantai di daerah muara sungai yang landai akan menyebabkan air laut masuk ke muara sungai pada saat arus pasang dan memperlambat aliran arus sungai serta transpor sedimen dari sungai menuju lepas pantai juga akan terhambat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang melibatkan pengolahan data dan analisis lapangan, penelitian ini berhasil mencapai tujuan untuk mengevaluasi dinamika pantai dan karakteristik pantai di Kawasan Pantai Utara Semarang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa:

Dinamika garis pantai: proses abrasi dan akresi yang terjadi di wilayah kajian menunjukkan adanya perubahan signifikan di beberapa kecamatan.

Kecamatan Genuk mengalami abrasi paling luas, sedangkan Kecamatan Semarang Barat mengalami akresi paling luas, yang menunjukkan variabilitas dinamika pantai di masing-masing wilayah.

Pemetaan karakteristik pantai: berdasarkan hasil pemetaan, pantai di kawasan Semarang dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu Pantai Pasir (Tipe I) dan Pantai Lumpur (Tipe II), yang masing-masing memiliki karakteristik litologi, resistensi, relief, dan vegetasi yang berbeda. Hal ini memberikan gambaran tentang kondisi geomorfologi yang mendukung analisis dinamika pantai lebih lanjut.

Pengaruh arus dan sedimen: hasil analisis energi fluks gelombang menunjukkan adanya pengaruh arus laut terhadap proses abrasi dan akresi. Proses littoral drift turut berperan dalam pergerakan sedimen sepanjang pantai, yang memperburuk erosi di beberapa titik dan mendukung akresi di titik lainnya.

Penelitian ini telah memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang dinamika pantai di kawasan Semarang, yang dapat digunakan sebagai dasar untuk pengelolaan pantai yang lebih baik, terutama terkait dengan perlindungan pantai dari abrasi dan peningkatan akresi melalui kebijakan yang tepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya tulisan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- Bapak Kepala Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan
 - Bapak Kepala Pusat Air Tanah dan Geologi Lingkungan
 - Koordinator Survei dan Pemetaan Mitigasi Kebencanaan dan Kewilayahan Kelautan
 - Bapak Kepala Dinas ESDM Jawa Tengah
 - Bapak Asisten Gubernur Propinsi Jawa Tengah
- Atas segala dukungan dan bantuan yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- BPS (Badan Pusat Statistik). (2023). *Kota Semarang dalam Angka 2023*. BPS Kota Semarang.
- CERC (Coastal Engineering Research Center). (1984). *Shore Protection Manual*. U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS.
- Diposaptono, S. (2004). *Perubahan morfologi pantai akibat abrasi pantai di Indonesia*.

Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

- Kamphuis, J.W. (2000). *Introduction to Coastal Engineering and Management*. World Scientific.
- Komen, G.J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., & Janssen, P.A.E.M. (1994). *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*. Cambridge University Press.
- Komar, P. D. (1998). *Beach Processes and Sedimentation* (2nd ed.). Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Putri, F., Sugiyono, & Setiawan, D. (2014). Analisis transportasi sedimen menggunakan metode hindcasting. *Jurnal Teknik Pantai*, 5(1), 15-25.
- Raharjo, N. (Ed.), (tahun tidak tercantum). *Geologi Kelautan*, hlm. 234-245. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Sasmito, N., & Amarrohman, F. (2016). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) sebagai metode perubahan garis pantai berbasis geospasial. *Geoscience Journal*, 8(2), 45-53.
- Sardiyatmo. (2013). *Analisis luasan abrasi dan akresi di Kota Semarang*. Laporan Penelitian. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Shepard, F.P. (1958). *Submarine Geology*. Harper & Brothers, New York.
- Sudarsono. (2011). *Pengaruh reklamasi terhadap perubahan garis pantai di kawasan Pantai Marina dan Pelabuhan Tanjung Mas*. Laporan Penelitian. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sugiyono. (2009). *Statistika untuk penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Suwardi, & Tim Peneliti Geologi. (1983). Geologi pantai Semarang: Kajian stabilitas tanah. *Buletin Geologi Indonesia*, 3(1), 45-60.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- US Army Corps of Engineers. (1984). *Shore Protection Manual*. Washington, D.C.: US Army Corps of Engineers.
- Wibowo, H., & Mukti, K. (2015). Peran SIG dalam monitoring perubahan pantai. *Jurnal Teknologi Kelautan*, 9(3), 75-83.

