

Penggunaan Citra Satelit Sentinel-2A untuk Mengevaluasi Perubahan Garis Pantai Semarang Jawa Tengah

Rafif Rizki Zaidan*, Chrisna Adhi Suryono, Ibnu Pratikto, Nur Taufiq-Spj

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto S.H, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia

*Corresponding author, e-mail: rafifr.zaidan@gmail.com

ABSTRAK: Kota Semarang merupakan kota pesisir yang rentan akan pengaruh dari alam dengan kondisi fisik yang berpasir dan berlumpur, topografi yang landai dan adanya banyak kegiatan manusia. Hal tersebut membuat Kota Semarang mengalami perubahan garis pantai yang dinamis dari tahun ke tahun, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian secara kontinu untuk memantau perubahan garis pantai yang terjadi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perubahan garis pantai yang terjadi di Kota Semarang menggunakan citra satelit Sentinel-2A. Metode dalam penelitian ini adalah dengan mengaplikasikan penginderaan jauh yang dilanjutkan dengan perhitungan statistik *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) pada aplikasi penginderaan jauh dan pengolahan data sekunder angin, gelombang dan arus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam kurun waktu 2016-2021, garis pantai Kota Semarang mengalami perubahan berupa abrasi seluas 186.34 ha dan akresi sebesar 43.62 ha, dimana abrasi mendominasi perubahan dengan persentase 81%, sementara akresi yang terjadi hanya 19%. Rata-rata jarak dan laju perubahan yang terjadi masing-masing sebesar -32,78 meter dan -6,47 meter/tahun yang menunjukkan perubahan garis pantai berupa abrasi. Secara keseluruhan, pada periode 2016 hingga 2021 Kota Semarang cenderung mengalami pengurangan daratan atau abrasi.

Kata kunci: Semarang; Perubahan Garis Pantai; Citra Satelit Sentinel-2A

The Utilization of Sentinel-2A Imagery to Evaluate the Coastline Change of Semarang, Central Java

ABSTRACT: *The city of Semarang is a coastal city that is vulnerable to the influence of nature with physical conditions of sandy and muddy beach, low topography and the presence of many human activities. This made the city of Semarang experience dynamic coastline changes from year to year, therefore it is necessary to conduct continuous research to monitor changes in coastline that occur. The purpose of this study was to determine changes in the coastline that occurred in the city of Semarang using Sentinel-2A satellite imagery. The method in this study is applying satellite imagery from remote sensing technology followed by statistical calculations using Digital Shoreline Analysis System (DSAS) on remote sensing application and the processing of wind, wave and current as secondary data. The results showed that in the 2016-2021 period, the coastline of Semarang City experienced changes in the form of 186.34 ha of abrasion and 43.62 ha of accretion, where abrasion dominated the change with a percentage of 81%, with accretion of only 19%. The average distance and rate of change that occur are -32.78 meters and -6.47 meters/year, respectively, indicating changes in the coastline in the form of abrasion. Overall, in the period 2016 to 2021, Semarang City tends to experience land reduction or abrasion.*

Keywords: Semarang; Coastline Change; Sentinel-2A Satellite Imagery

PENDAHULUAN

Zona pesisir merupakan daerah ekosistem penting yang dinamis dan seiring waktu akan mengalami perubahan garis pantai. Fluktuasi garis pantai dipengaruhi oleh dinamika laut yang bergerak mengikuti proses bumi yang menyebabkan pergerakan sedimen di pantai dan aktivitas

manusia berupa pembangunan dan alih fungsi lahan yang mempengaruhi pola transpor sedimen sehingga pesisir akan mengalami penambahan atau pengurangan daratan dan pemerasan global (Velsamy *et al.*, 2020). Fenomena tersebut membuat kondisi alami dan pengembangan lingkungan pesisir dunia terancam (Thieblemont *et al.*, 2019). Ghosh *et al.* (2014) menyatakan bahwa persentase pesisir di seluruh dunia yang mengalami perubahan garis pantai berupa erosi atau abrasi mencapai 70 persen. Kegiatan dan penggunaan lahan sekitar pantai oleh manusia dengan skala besar telah mengakibatkan berkurangnya lingkungan ekologi alami pesisir. Hal tersebut mengakibatkan hilangnya pemukiman dan tergenangnya jalanan. Kegiatan seperti pembelokan aliran air, penghambatan suplai sedimen, pertambangan pesisir, penghilangan vegetasi dan terumbu karang akan menyebabkan perubahan garis pantai sehingga lahan pesisir dapat bertambah dan berkurang (Mujabar dan Chandrasekar, 2013).

Kota Semarang adalah ibukota Jawa Tengah yang terletak di pantai utara Pulau Jawa yang garis pantainya mengalami perubahan yang dinamis. Berdasarkan penelitian Aniendra *et al.* (2020), pada rentang waktu 2013-2019 di beberapa titik pesisir Kota Semarang mengalami kemunduran garis pantai hingga 143,78 meter dan mengalami kemajuan garis pantai hingga 236.9 meter. Kondisi fisik berupa topografi yang landai dengan tipe pantai berpasir dan berlumpur membuat pesisir Kota Semarang semakin rentan terhadap erosi dan kenaikan muka air laut. Kondisi fisik tersebut diperparah dengan pembangunan yang terus dilakukan di daerah pesisir Semarang. Kegiatan manusia terlihat dari reklamasi Pantai Marina yang dilakukan mulai tahun 1990-an dan rencana reklamasi di kawasan industri untuk periode tahun 2011-2031 (Pemerintah Daerah Kota Semarang, 2011). Kondisi fisik pesisir Kota Semarang yang rentan tersebut serta kegiatan pembangunan kontinu yang dilakukan di daerah pesisir menyebabkan terjadinya dinamika perubahan garis pantai. Hal tersebut mengakibatkan hilangnya 77,3 hektar luas lahan dan tergenangnya pemukiman saat terjadi banjir rob pada kurun waktu 2004 hingga 2014 (Marques dan Khakhim, 2016).

Teknologi penginderaan jauh dapat diaplikasikan untuk mengkaji fenomena perubahan pesisir dengan keunggulan luasan area, pilihan resolusi dan waktu beragam, serta efisiensi waktu (Masria *et al.*, 2015). Kajian tentang jarak dan laju perubahan garis pantai telah dimanfaatkan untuk berbagai macam penelitian pesisir, seperti perencanaan dan kebijakan tata ruang dan wilayah, zonasi rawan bencana dan prediksi morfodinamika pantai. Pemantauan perubahan garis pantai terutama di daerah ekonomi penting seperti Kota Semarang diharapkan dapat mengetahui daerah yang mengalami abrasi dan akresi sehingga informasi yang didapatkan dapat digunakan untuk rencana pengembangan, aturan tata ruang dan wilayah serta penanganan lanjut untuk lokasi yang terdampak.

Citra satelit Sentinel-2A telah digunakan untuk mengevaluasi perubahan garis pantai di tempat lain sebelumnya, yaitu pesisir Teluk Bonny, Kamerun (Nourdi *et al.*, 2021), pantai sepanjang provinsi Quang Nam di Vietnam (Quang *et al.*, 2021) dan pesisir Al Batinah di Oman (Al Ruheili dan Boluwade, 2021). Penggunaan citra satelit Sentinel-2A juga dinilai lebih cocok dari citra Landsat yang memiliki resolusi lebih kecil. Citra resolusi yang lebih besar dapat memunculkan bentuk daratan yang lebih kecil sehingga hasil proses digitasi dapat lebih akurat (Boyle *et al.*, 2014). Semua penelitian yang telah ada menggunakan citra satelit Landsat untuk mendeteksi jarak dan laju perubahan garis pantai, dan sampai saat ini belum ada penelitian yang menggunakan citra satelit Sentinel secara menyeluruh untuk perubahan garis pantai di pesisir Kota Semarang. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui bagaimana perubahan garis pantai yang terjadi di Kota Semarang menggunakan citra satelit Sentinel-2A.

MATERI DAN METODE

Materi penelitian mencakup perubahan garis pantai di Kota Semarang, tepatnya di empat kecamatan yang terletak di pesisir Kota Semarang, yaitu Kecamatan Tugu, Semarang Barat, Semarang Utara dan Genuk pada periode 2016 hingga 2021. Perubahan garis pantai tersebut didapatkan melalui citra satelit dan pengamatan lapangan. Citra foto perolehan satelit Sentinel-2A diunduh pada laman USGS *Earth Explorer*. Alur penelitian yang dilaksanakan meliputi pemrosesan citra satelit, pengambilan data lapangan dan pengolahan data pendukung. Pengamatan lapangan dilakukan untuk memastikan keaslian data hasil pengolahan dengan kondisi lapangan. Uji lapangan dilakukan dengan cara

menyusuri garis pantai dan dengan mengambil titik koordinat menggunakan *Global Positioning System* (GPS), dengan pengamatan kondisi fisik, penggunaan lahan dan dampak yang ditimbulkan. Hasil uji lapangan kemudian diselaraskan dengan pengolahan garis pantai untuk mengetahui ketepatan posisi garis pantai dari citra yang telah diolah.

Citra satelit diunduh dengan memperhatikan kondisi pasang surut sehingga semua garis pantai diolah dalam kondisi pasang surut yang sama. Data pasang surut yang digunakan merupakan data dari Badan Informasi Geospasial tahun 2016-2021 pada waktu yang sama dengan perekaman citra. Pemrosesan citra satelit setelah pengunduhan mencakup koreksi pra-pengolahan citra satelit, pemisahan darat dan laut serta perhitungan perubahan garis pantai. Koreksi pra-pengolahan satelit Sentinel-2A yang dilakukan adalah koreksi distorsi akibat efek atmosferik. Tahapan pemrosesan dilanjutkan dengan pemisahan darat dan laut atau delineasi yang menggunakan rumus *Normalized Difference Water Index* (NDWI). Delineasi dengan rumus NDWI memanfaatkan pantulan air maksimal dari band *green*, pantulan air minimal pada NIR (*near infrared*) dan pantulan vegetasi dan tanah dari NIR, yang pada akhirnya akan membedakan daratan dan laut untuk digitasi garis pantai. Adapun rumus NDWI adalah sebagai berikut:

$$NDWI = \text{band Green} - \text{band NIR} / \text{band Green} + \text{band NIR}$$

Band *green* dan band *near infrared* yang digunakan adalah band 3 dan band 8 pada Sentinel-2A. Delineasi daratan dan lautan dilanjutkan dengan proses digitasi dengan teknik *on screen* menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Garis pantai hasil digitasi kemudian dilakukan tumpang susun untuk dilanjutkan ke tahap perhitungan perubahan garis pantai. Kalkulasi perubahan menggunakan perhitungan *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *End Point Rate* (EPR) pada perangkat *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), dimana akan ditampilkan jarak perubahan garis pantai terlama dan terbaru dari perhitungan NSM dan laju perubahan per tahun dari perhitungan EPR. Nilai positif dan negatif pada hasil kalkulasi masing-masing akan merefleksikan akresi dan erosi atau abrasi (Kuleli *et al.*, 2011). Tahapan proses dilanjutkan dengan perhitungan rerata total, maksimum dan minimum untuk mengetahui jarak dan laju perubahan garis pantai.

Data pendukung yang diolah dalam penelitian mencakup data angin, gelombang, dan arus. Data angin diperoleh dari laman *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) yang kemudian diolah dengan menggunakan perangkat lunak WRPLOT untuk mendapatkan arah dan kecepatan angin. Data gelombang didapatkan dari data angin yang diolah kembali dan dilanjutkan dengan olah data menggunakan aplikasi yang sama untuk mendapatkan arah dan ketinggian gelombang. Data arus diperoleh dari laman *Marine Copernicus* yang kemudian di proses untuk mendapatkan hasil berupa vektor arah dan kecepatan arus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

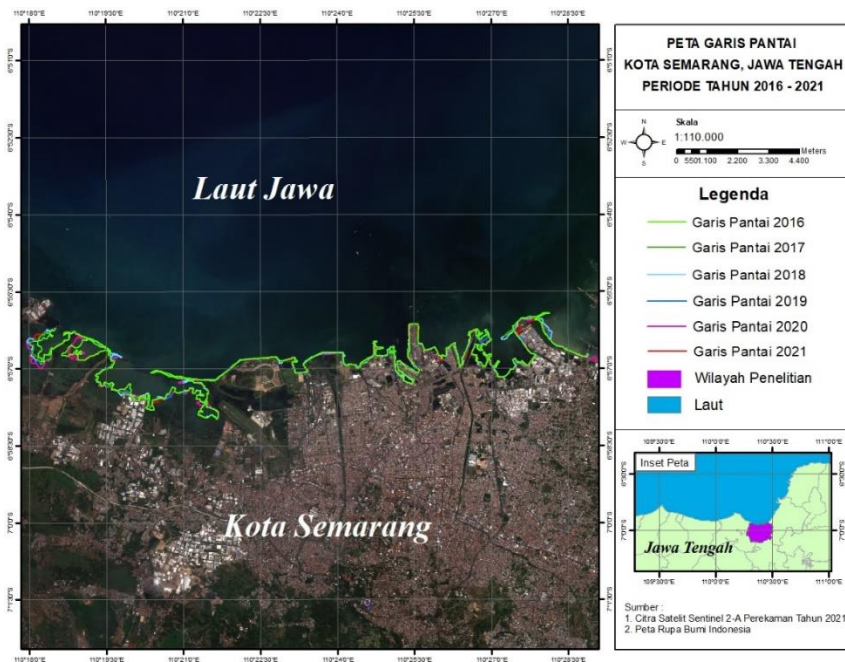
Perubahan garis pantai yang terjadi di Kota Semarang terjadi karena adanya faktor alami seperti transpor sedimen oleh gelombang dan arus susur pantai serta kegiatan manusia. Aktivitas antropogenik dapat menghalangi transpor sedimen dan membelokkan massa air sehingga akan berpengaruh terhadap abrasi dan akresi yang terjadi (Moussaid *et al.*, 2015). Perubahan pesisir tersebut dapat diketahui melalui tampak foto yang didapatkan dari citra satelit. Pilihan tahun yang beragam serta adanya kombinasi fitur band untuk memisahkan badan air dan badan daratan membuat citra satelit dapat digunakan untuk mengevaluasi perubahan garis pantai (Niya *et al.*, 2013).

Perubahan garis pantai yang dikaji untuk periode tahun 2016 hingga 2021 mencakup semua kecamatan yang berada di pesisir Kota Semarang, Jawa Tengah. Garis pantai per tahun yang telah dihasilkan sebelumnya di *overlay* dan ditampilkan sehingga dapat terlihat perubahan yang terjadi pada garis pantai di pesisir Kota Semarang. Hasil *overlay* garis pantai semua tahun ditampilkan pada peta di Gambar 1. Hasil yang ditunjukkan pada perubahan garis pantai yang terjadi di pesisir Kota Semarang dalam periode 6 tahun menunjukkan pola perubahan berupa abrasi dan akresi.

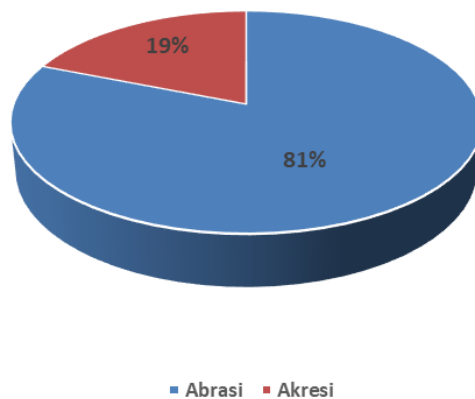
Data pengolahan garis pantai dengan menggunakan citra satelit Sentinel-2A dan aplikasi *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) menunjukkan perubahan garis pantai dengan dominansi berupa

pengurangan garis pantai atau abrasi. Luas daratan juga menunjukkan tren yang menurun pada periode tersebut. Secara keseluruhan, pesisir di Kota Semarang, Jawa Tengah mengalami pengurangan luasan daratan sebanyak 186,34 ha (hektar), dan penambahan luasan daratan sebesar 43,62 ha. Hal ini menunjukkan bahwa dari seluruh perubahan luasan yang terjadi, pesisir Kota Semarang telah mengalami pengurangan daratan sebesar 81% dan penambahan daratan sebanyak 19%.

Hasil perhitungan jarak dan laju perubahan garis pantai yang ditunjukkan pada Tabel 1 menunjukkan perubahan baik abrasi maupun akresi, namun secara keseluruhan didominasi oleh abrasi. Nilai negatif menunjukkan tipe perubahan abrasi, sementara nilai positif menunjukkan tipe perubahan akresi. Jarak perubahan garis pantai Kota Semarang, Jawa Tengah memiliki rata-rata abrasi sebanyak -63,66 meter, dengan rerata nilai akresi sebesar 22,67 meter. Rata-rata Laju perubahan garis pantai berupa abrasi didapatkan nilai -12,57 m/tahun, sedangkan untuk nilai akresi menunjukkan nilai 4,47 m/tahun. Perubahan garis pantai secara keseluruhan pada periode 2016-2021 menunjukkan rata-rata jarak perubahan garis pantai sebanyak -32,78 meter dan nilai laju perubahan garis pantai sebesar -6,47 m/tahun.



Gambar 1. Peta Perubahan Garis Pantai Kota Semarang Tahun 2016-2021



Gambar 2. Persentase Perubahan Luasan Daratan Pesisir Semarang 2016-2021

Perhitungan perubahan jarak dan laju garis pantai per tahun juga dilakukan untuk mengetahui pola dari laju perubahan garis pantai tahun 2016-2021 dengan hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa perubahan garis pantai Semarang dari tahun ke tahun mengalami perubahan yang fluktuatif. Periode tahun 2016-2017 memiliki laju perubahan garis pantai berupa abrasi sebesar -11,46 m/tahun. Laju perubahan garis pantai mengalami penurunan abrasi yang drastis menjadi -3,23 m/tahun pada tahun 2017-2018. Peningkatan laju abrasi terjadi pada tahun 2018-2019 yang naik menjadi -5,78 m/tahun. Mundurnya garis pantai yang terjadi di pesisir Kota Semarang terus mengalami peningkatan hingga -15,09 m/tahun pada periode 2019-2020. Penurunan laju abrasi terjadi kembali pada periode tahun 2020-2021, dimana rata-rata perubahan garis pantai mencapai -5,25 m/tahun.

Selanjutnya disajikan pengolahan data angin dan gelombang untuk mengetahui dari arah mana pesisir Semarang menerima energi gelombang. Gelombang menyebabkan tergerusnya daratan pesisir dan berpengaruh terhadap arah transpor sedimen (Asuquo *et al.*, 2019).

Hasil pengolahan data angin periode 2016-2021 menunjukkan bahwa selama 5 tahun terakhir, dominansi angin bertiup dari tenggara dengan frekuensi 24,5% dan kecepatan angin 2,5-4 m/s, diikuti arah dari barat dengan frekuensi 21,3% dan kecepatan angin 5,5-8 m/s, arah dari barat laut dengan frekuensi 17,6% dan kecepatan angin 2,5-4 m/s, dan timur laut dengan frekuensi 12,9% dan kecepatan angin 1-2,5 m/s. Arah dan ketinggian gelombang diperoleh dari data angin sebelumnya yang diolah kembali. Arah gelombang menunjukkan dominansi ke arah barat laut, dengan persentase frekuensi sebesar 24,5% dan ketinggian sekitar 0-0,4 meter. Dominansi diikuti oleh arah ke timur dengan frekuensi 21,34%, arah tenggara dengan frekuensi 17,6% dan arah barat dengan frekuensi sebesar 12,95% dan ketinggian yang serupa.

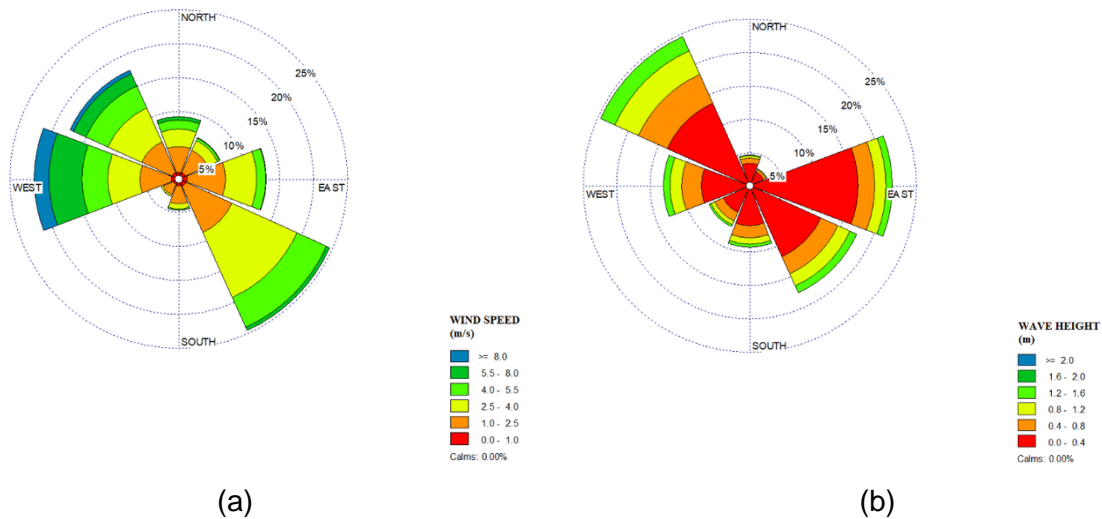
Selanjutnya disajikan data pengolahan arus untuk mengetahui arah transpor sedimen di pesisir Kota Semarang. Arus sejajar pantai akan menyebabkan transpor sedimen di pantai dan menyebabkan abrasi di satu tempat dan akresi di tempat lain (Kaliraj *et al.*, 2017). Data arah dan sebaran arus yang telah diolah pada periode tahun 2020-2021 memperlihatkan arah yang berbeda pada masing-masing musim. Pengolahan yang dihasilkan menunjukkan bahwa pada musim barat arus dominan bergerak ke arah timur, dengan rentang kecepatan 0,012-0,689 m/s. Arus memiliki dominansi bergerak ke arah barat pada musim timur, dengan rentang kecepatan berkisar antara 0,002-0,304 m/s.

Tabel 1. Jarak dan Laju Perubahan Garis Pantai Pesisir Semarang 2016-2021

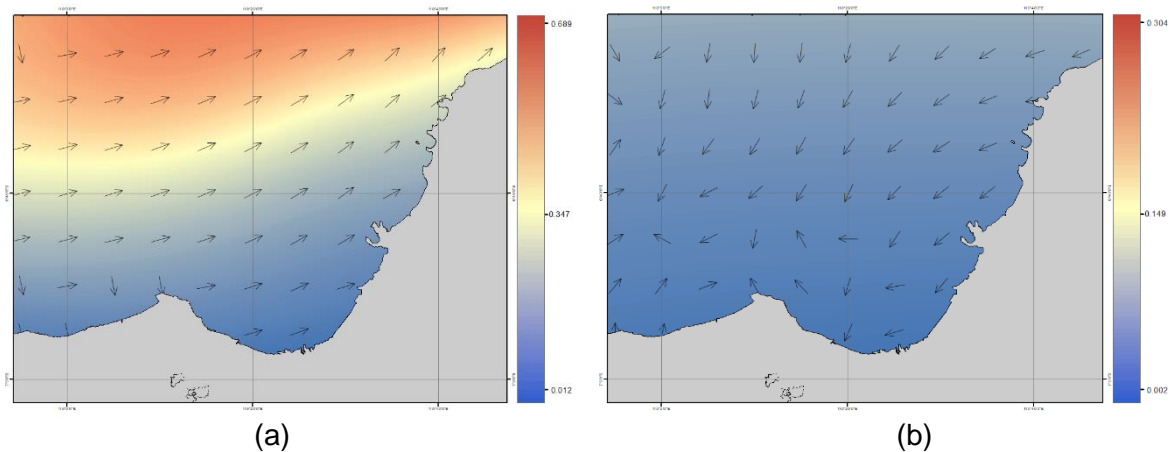
	Jarak Perubahan (m)			Laju Perubahan (m/s)		
	Max (+)	Min (-)	Rata-rata	Max (+)	Min (-)	Rata-rata
Abrasi	-730.39	-0.06	-63.66	-144.26	-0.01	-12.57
Akresi	190.98	0.001	22.67	37.72	0.0002	4.47
Total	190.98	-730.39	-32.78	37.72	-144.26	-6.47

Tabel 2. Jarak dan Laju Perubahan Per Tahun Garis Pantai Semarang 2016-2021

Tahun	Jarak Perubahan Garis Pantai (m)			Laju Perubahan Garis Pantai (m/tahun)		
	Rerata Abrasi	Rerata Akresi	Rata-rata Total	Rerata Abrasi	Rerata Akresi	Rata-rata Total
2016-2017	-26.1	15.71	-12.21	-24.49	14.74	-11.46
2017-2018	-20.45	17.78	-3.57	-18.49	16.07	-3.23
2018-2019	-21.36	14.44	-6.59	-18.72	12.66	-5.78
2019-2020	-25.07	13.92	-17.78	-21.28	11.82	-15.09
2020-2021	-18	10.2	-5.45	-17.34	9.83	-5.25



Gambar 4. Mawar Arah dan Kecepatan Angin (a) dan Ketinggian Gelombang (b) Periode 2016 - 2021



Gambar 5. Sebaran Arus Musim Barat (kiri) dan Timur (kanan) tahun 2020-2021

Pesisir Kota Semarang, Jawa Tengah mempunyai kondisi fisik berupa topografi yang landai dengan geomorfologi pantai berpasir dan berlumpur. Kondisi fisik tersebut membuat pesisir Semarang mempunyai kerentanan yang tinggi terhadap pengaruh alam. Menurut Dada *et al.* (2019), Karakteristik pantai yang berpasir dan berlumpur akan membuat pesisir tersebut rawan terhadap erosi, resesi garis pantai dan kenaikan permukaan air laut. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sardiyatmo dan Hartoko (2013), sejak tahun 1989 daerah pesisir Semarang telah mengalami perubahan garis pantai yang didominasi oleh tipe perubahan abrasi. Hal tersebut mengakibatkan sebagian tambak milik warga dan kampung sudah hilang akibat pengaruh dari abrasi tersebut. Perubahan garis pantai di pesisir Kota Semarang disebabkan oleh faktor hidro-oseanografi seperti gelombang, arus, pasang surut dan transport sedimen dari pengaruh faktor hidro-oseanografi yang terjadi. Menurut Wengrove *et al.* (2019), akumulasi dan interaksi fenomena alam tersebut membuat daratan pesisir mengalami pengikisan di satu tempat dan pembawaan sedimen ke tempat lain sehingga terjadi dinamika daratan pesisir. Faktor utama penyebab perubahan garis pantai yang terjadi di pesisir Kota Semarang adalah arus sejajar dan tegak lurus dengan pantai, pinggir pantai yang dihantam oleh gelombang laut, kenaikan permukaan laut dan kegiatan alih fungsi lahan akibat aktivitas antropogenik (Husnayaen *et al.*, 2018).

Kerusakan pesisir di Semarang salah satunya disebabkan oleh gelombang yang datang dari arah yang berbeda di setiap musimnya (Marques dan Khakhim, 2016). Pesisir Semarang menerima hantaman gelombang merusak menuju timur pada saat musim barat (Desember-Februari) dan menuju barat laut pada musim timur (Juni-Agustus). Gelombang yang bergerak ke arah timur pada musim barat menyebabkan tergerusnya sebelah barat Pantai Trimulyo, Kecamatan Genuk dan Pantai Tirang, Kecamatan Tugu yang menjorok ke arah barat. Pergerakan gelombang dipicu oleh arah dan kecepatan dari angin yang berperan sebagai pembangkit tenaga gelombang. Gelombang yang terbentuk akan mengalami transformasi yang pada akhirnya akan menimbulkan arus sejajar pantai atau *longshore current*. Secara tidak langsung, angin yang berhembus di pesisir Kota Semarang akan mempengaruhi laju arus sejajar pantai. Asuquo *et al.* (2019) berpendapat bahwa pergerakan angin berdampak terhadap perubahan pola arus sejajar pantai dan tipe gelombang pecah yang bervariasi tergantung dari musim yang sedang terjadi.

Menurut Meilistya *et al.* (2012), perairan di pesisir Kota Semarang mengalami arus susur pantai. Arus bergerak menuju timur pada saat musim barat, dan bergerak ke arah barat pada musim timur. Arus musim barat mengakibatkan terjadinya kemunduran garis pantai di pesisir antara Kelurahan Mangunharjo dan Kelurahan Mangkang Wetan dan akresi yang terjadi di sebelah timur Kelurahan Mangkang Wetan. Pergerakan massa air akibat *longshore current* akan mengganggu sedimen, yang pada akhirnya akan membawa dan mengendapkan sedimen dari satu tempat ke tempat lain. Efek dari transpor sedimen dari arus susur pantai secara perlahan akan terlihat dari posisi garis pantai yang selalu berubah. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Kaliraj *et al.* (2017), yang menyatakan bahwa transpor sedimen oleh arus susur pantai menyebabkan pasokan sedimen berkurang di satu bagian (abrasi) dan bertambah (akresi) di bagian pantai yang lain.

Faktor lainnya yang menjadi penyebab abrasi yang terjadi di pesisir Kota Semarang adalah penurunan tanah. Menurut Abidin *et al.* (2013), Penurunan tanah yang terjadi di Kota Semarang bervariasi antara 7-11 cm/tahun. Kondisi tersebut diperparah dengan fakta bahwa wilayah Semarang memiliki kondisi litologi berupa endapan aluvial yang memudahkan terjadinya penurunan tanah akibat proses konsolidasi (Maiyudi, 2020). Pembangunan yang terus terjadi di pesisir ditambah dengan pengambilan air tanah yang berlebihan secara kontinu akan terus membebani permukaan tanah, sehingga tingkat laju penurunan tanah seiring waktu akan terus meningkat. Suhelmi (2012) menyebutkan bahwa pada tahun 2021, penurunan tanah yang relatif tinggi di Kota Semarang diprediksi akan mengakibatkan perluasan genangan rob hingga mencapai 3.896 hektar.

Secara keseluruhan, perubahan garis pantai di pesisir di Kota Semarang, Jawa Tengah selain dipengaruhi oleh faktor alam juga telah mengalami banyak pengaruh dari kegiatan antropogenik melalui pembangunan yang disebabkan oleh kebutuhan ekonomi akibat jumlah penduduk yang semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat dari sejarah reklamasi yang berlokasi di Pantai Marina (Prayogo, 2015) dan reklamasi yang direncanakan dan sedang berlangsung di Kawasan Industri Wijayakusuma (Peraturan Daerah Kota Semarang no. 14 Tahun 2011). Pengaruh dan intervensi manusia lainnya juga terlihat dari penurunan tanah yang terjadi di pesisir Kota Semarang, Jawa Tengah akibat penggunaan air tanah yang berlebihan yang mempercepat laju konsolidasi tanah. Maraknya pembangunan dan kegiatan manusia di pesisir membuat banyak pantai di Kota Semarang telah terintervensi oleh rekayasa manusia. Hal ini akan berdampak serius terhadap kondisi lingkungan alami dan berpotensi menyebabkan kerugian yang besar bagi pemerintah dan warga pesisir Kota Semarang. Ervita dan Marfai (2017) menyatakan bahwa kegiatan antropogenik berupa reklamasi dan alih fungsi lahan yang tidak terkontrol akan menyebabkan perubahan pola arus sehingga pantai akan mengalami peningkatan abrasi dan akresi yang tidak alami. Upaya untuk membatasi permasalahan tersebut dapat dilakukan dengan cara merubah peraturan tentang kegiatan dan tata guna lahan pesisir agar kerusakan alam akibat kegiatan manusia dapat berkurang secara signifikan.

KESIMPULAN

Perubahan garis pantai yang terjadi di pesisir Kota Semarang, Jawa Tengah dalam periode 2016-2021 mengalami perubahan berupa abrasi dan akresi. Abrasi yang terjadi adalah seluas 186,34

ha dan akresi sebesar 43.62 ha, dimana abrasi mendominasi perubahan dengan persentase 81%, sementara akresi yang terjadi hanya 19%. Rata-rata jarak dan laju perubahan yang terjadi masing-masing sebesar -32,78 meter dan -6,47 meter/tahun yang menunjukkan perubahan garis pantai berupa abrasi. Secara keseluruhan, pada periode 2016 hingga 2021 Kota Semarang cenderung mengalami pengurangan daratan atau abrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., Andreas, H., Gumilar, I., Sidiq, T.P. & Fukuda, Y. 2013. Land Subsidence In Coastal City Of Semarang (Indonesia): Characteristics, Impacts And Causes *Geomatics Natural Hazards and Risk*, 4(3):226-240. DOI: 10.1080/19475705.2012.692336
- Al Ruheili, A.M. & Boluwade, A. 2021. Quantifying Coastal Shoreline Erosion Due to Climatic Extremes Using Remote-Sensed Estimates from Sentinel-2A Data. *Environmental Process*, 8(1):1121–1140. DOI: 10.1007/s40710-021-00522-2
- Aniendra, A.A., Sasmito, B., & Sukmono, A., 2020. Analisis Perubahan Garis Pantai dan Hubungannya dengan Land Subsidence Menggunakan Aplikasi Digital Shoreline Analysis System (DSAS) (Studi Kasus: Wilayah Pesisir Kota Semarang), *Jurnal Geodesi Undip*, 9(1):12-19.
- Asuquo, F.E., Okon, L.E., Agi-Odey, E., Timothy, A. & Edodi, D. 2019. Wind Influence On Longshore Current Velocity Along A Tropical Mesotidal Coastline South-east Nigeria, *U6CAU Proceedings*, 1(1):110-121.
- Boyle, S.A., Kennedy, C.M., Torres, J., Colman, K., Perez-Estigarribia, P.E., & de la Sancha, N.U. 2014. High-Resolution Satellite Imagery Is an Important yet Underutilized Resource in Conservation Biology. *PLOS ONE*, 9(1):1-11. DOI: 10.1371/journal.pone.0086908
- Dada, O.A., Agbaje, A.O., Adesina, R.B. & Asiwaju-Bello, Y.A. 2019. Effect of Coastal Land Use Change on Coastline Dynamics Along the Nigerian Transgressive Mahin Mud Coast, *Ocean & Coastal Management*, 168:251–264. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2018.11.014
- Ervita, K. & Marfai, M.A. 2017. Shoreline Change Analysis in Demak, Indonesia, *Journal of Environmental Protection*, 8(8):940-955. DOI: 10.4236/jep.2017.88059
- Ghosh, M., Kumar, L., & Roy, C. 2014. Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 101(1):137-144. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2014.12.009
- Husnayaen, Rimba, B., Osawa, T., Parwata, I.N.S., Asy-syakur, A.R., Kasim, F. & Astarini, I.A. 2018. Physical Assessment of Coastal Vulnerability Under Enhanced Land Subsidence In Semarang Indonesia Using Multi-Sensor Satellite Data, *Advances in Space Research*, 61(8):1-19. DOI: 10.1016/j.asr.2018.01.026
- Kaliraj, S.N., Chadrasekar, K., Ramachandran, K., Srinivas, Y. & Saravanan, S. 2017. Coastal Landuse And Land Cover Change And Transformation of Kanyakumari Coast, India Using Remote Sensing and GIS, *The Egyptian Journal Of Remote Sensing and Space Science*, 20(2):169–185. DOI: 10.1016/j.ejrs.2017.04.003
- Kuleli, T., Guneroglu, A., Karsli, F., & Dihkan, M. 2011. Automatic Detection of Shoreline Change on Coastal Ramsar Wetlands of Turkey, *Ocean Engineering*, 38(10):1141–1149. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2011.05.006
- Maiyudi, R. 2020. Analisis Hubungan Penurunan Tanah di Semarang Utara dengan Kondisi Geologi Menggunakan Metode Overlay. *Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan*, 3(2):98-103. DOI: 10.24036/jptk.v3i2.1023
- Marques, J.N., & Khakhim, N. 2016. Kajian Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Landsat Multitemporal di Kota Semarang, *Jurnal Bumi Indonesia*, 5(2):1-10.
- Masria, A., Nadaoka, K., Negm, A., & Iskander, M. 2015. Detection of Shoreline and Land Cover Changes around Rosetta Promontory Egypt Based on Remote Sensing Analysis. *Land*, 4(1):216-230. DOI: 10.3390/land4010216
- Meilistya, I.N.R.R., Sugianto, D.N. & Indrayanti, E. 2012. Kajian Arus Sejajar Pantai (Longshore Current) Akibat Pengaruh Transformasi Gelombang di Perairan Semarang. *Journal of Oceanography*, 1(2):128-138.

- Moussaid, J., Abderrahmane Ait, F., Zourarah, B., Maanan, M. & Mana'an, M. 2015. Using Automatic Comutation to Analyze the Rate of Shoreline Change on the Kenitra Coast, Morroco, *Ocean Engineering*, 102(1):71-77. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.04.044
- Mujabar, S. & Chandrasekar. 2013. A Shoreline Change Analysis Along the Coast Between Kanyakumari and Tuticorin, India, Using Digital Shoreline Analysis System, *Geo-spatial Information Science*, 14(4):282-293. DOI: 10.1007/s11806-011-0551-7
- Niya, A.K., Alesheikh, A.A., Soltanpor, M. & Kherikhahzarkesh, M.M. 2013. Shoreline Change Mapping Using Remote Sensing and GIS Case Study Bushehr Province. *International Joirnal of Remote Sensing Applications*, 3(3):102-107.
- Nourdi, N.F., Raphael, O., Gregoire, A.O., Paul, R.J., Sakaros, B., Thomas, S. & Minette, T.E. 2021. Seasonal to decadal scale shoreline changes along the Cameroonian coastline, Bay of Bonny (1986 to 2020). *Regional Studies in Marine Science*, 45(1):1-11. DOI: 10.1016/j.rsma.2021.101798
- Pemerintah Daerah Kota Semarang, 2011, Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 14 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Semarang Tahun 2011-2031, Dinas Pustadataru Provinsi Jawa Tengah, Semarang.
- Quang, D.N., Ngan, V.H., Tam, H.S., Nguyen, T.V., Nguyen, X.T. & Tanaka, H. 2021. Long-Term Shoreline Evolution Using DSAS Technique: A Case Study of Quang Nam Province, Vietnam, *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10):1-18. DOI: 10.3390/jmse9101124
- Sardiyatmo, S. & Hartoko, A. 2013. Dampak Dinamika Garis Pantai Menggunakan Citra Satelit Multi Temporal Pantai Semarang Provinsi Jawa Tengah, *Jurnal Saintek Perikanan*, 8(2):33-37.
- Suhelmi, I.R. 2012. Kajian Dampak Land Subsidence Terhadap Peningkatan Luas Genangan Rob di Kota Semarang. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 18(1):9-16.
- Thieblemont, R., Le Cozannet, G., Toimil, A., Meyssignac, B. & Losada, I.J. 2019. Likely and High-End Impacts of Regional Sea-Level Rise on the Shoreline Change of European Sandy Coasts Under a High Greenhouse Gas Emissions Scenario. *Water*, 11(12):1-22. DOI: 10.3390/w11122607
- Velsamy, S., Balasubramanian, G., Swaminathan, B. & Dharanijaran, K. 2020. Multi-decadal shoreline change analysis in coast of Thiruchendur Taluk, Thoothukudi district, Tamil Nadu, India, using remote sensing and DSAS techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(17):1-12. DOI: 10.1007/s12517-020-05800-1
- Wengrove, M.E., Foster, D.L., Lippmann, T.C., de Schipper, M.A. & Calantoni, J. 2019. Observations of bedform migration and bedload sediment transport in combined wave-current flows. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124:4572–4590. DOI: 10.1029/2018JC014555