

## Shoreline Changes in The Coastal Areas of Kendal Regency, Semarang City, and Demak Regency 1996-2024

(Perubahan Garis Pantai pada Pesisir Kabupaten Kendal, Kota Semarang dan Kabupaten Demak Tahun 1996 -2024)

Jhonata Falah\*, Luthfi Muta'ali, Erlis Saputra

Geography Department, Gadjah Mada University, Yogyakarta

(Received 15 Feb. 2026; Revised 27 Feb 2026; Accepted 28 Feb. 2026)

**ABSTRACT.** The coastal regions of Kendal Regency, Semarang City, and Demak Regency are strategic areas experiencing significant environmental dynamics, particularly regarding shoreline shifts and land-use changes. These transformations are driven by a combination of natural factors such as waves, currents, tides, and sedimentation, and anthropogenic factors, including land subsidence, infrastructure development, reclamation, and land-use conversion. This study aims to identify shoreline changes between 1996 and 2024. Using a quantitative descriptive method, the research utilized multitemporal satellite imagery from Landsat 5, 7, and 8 year 1996-2024. Shoreline extraction was performed using the Normalized Difference Water Index (NDWI), while change analysis was conducted through the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) using Net Shoreline Movement (NSM) and Linear Regression Rate (LRR) parameters. The results indicate that the majority of the study area experienced accretion, with an average change rate of 9.08 m/year. Accretion accounted for 45.84% of the shoreline, followed by erosion (38.34%), stable conditions (2.67%), and reclamation (13.15%). The highest accretion was observed in Wedung District (Demak Regency), the most significant erosion in Sayung District (Demak Regency), stable conditions in Rowosari District (Kendal Regency), and the most extensive reclamation in Tugu District (Semarang City). These findings serve as a reference for Spatial Planning in Jawa Tengah.

**Keywords:** shoreline change, coastal, DSAS

**ABSTRAK.** Wilayah pesisir Kabupaten Kendal, Kota Semarang, dan Kabupaten Demak merupakan kawasan strategis yang mengalami dinamika lingkungan sangat tinggi, khususnya terkait perubahan garis pantai dan penggunaan lahan. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh kombinasi faktor alami seperti gelombang, arus, pasang surut, dan sedimentasi, serta faktor antropogenik seperti penurunan muka tanah, pembangunan infrastruktur, reklamasi, dan konversi penggunaan lahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan garis pantai tahun 1996–2024. Metode penelitian yang digunakan yakni deskriptif kuantitatif dengan memanfaatkan data sekunder berupa citra satelit multitemporal berupa Landsat 5, 7 dan 8 tahun 1996-2024. Untuk ekstraksi garis pantai dari citra menggunakan teknik *Normalized Difference Water Index* (NDWI), sedangkan perubahan garis pantai menggunakan teknik *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) dengan parameter *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *Linear Regression Rate* (LRR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar mengalami akresi dengan rata-rata laju perubahan sebesar 9,08 m/tahun dengan persentase kondisi akresi (45,84%), disusul abrasi (38,34%), kondisi tetap (2,67%), dan reklamasi (13,15%). Pada kondisi akresi tertinggi berada di Kecamatan Wedung Kabupaten Demak, kondisi abrasi tertinggi berada di Kecamatan Sayung Kabupaten Demak, kondisi tetap pada Kecamatan Rowosari Kabupaten Kendal, sedangkan reklamasi tertinggi terjadi di Kecamatan Tugu Kota Semarang. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam Rencana Tata Ruang di Jawa Tengah.

**Kata kunci:** perubahan garis pantai, pesisir, DSAS

## PENDAHULUAN

Wilayah pesisir di Indonesia merupakan kawasan yang sangat dinamis dan strategis, namun rentan terhadap perubahan garis pantai yang signifikan akibat interaksi kompleks antara faktor alami dan antropogenik. Salah satu kawasan yang mengalami tekanan lingkungan paling ekstrem adalah koridor pesisir Kendal-Semarang-Demak. Kawasan ini merupakan bagian dari Kawasan Strategis Nasional (KSN) Kedungsepur yang diatur dalam Peraturan Presiden Nomor 60 Tahun 2022 dan Nomor 78 Tahun 2017. Sebagai urat nadi ekonomi, wilayah ini mencakup infrastruktur vital seperti Proyek Strategis Nasional (PSN) Tol Semarang-Demak, Kawasan Industri Kendal (KIK), serta pelabuhan yang menjadi tumpuan logistik regional (Info BPIW, 2020).

Permasalahan utama yang mengancam stabilitas kawasan ini adalah penurunan muka tanah (*land subsidence*) yang masif. Berbagai studi menunjukkan bahwa laju penurunan tanah di Semarang dan sekitarnya dapat melebihi 10 cm per tahun, dipicu oleh kombinasi ekstraksi air tanah yang berlebihan, pemadatan tanah sedimen muda, serta beban bangunan akibat urbanisasi dan aktivitas industri (Lubis *et al.*, 2011; Sarah *et al.*, 2020; Abidin *et al.*, 2013).

Secara fisik dan sosial-ekonomi, perubahan garis pantai ini menimbulkan konsekuensi yang luas. Erosi pantai yang diperparah oleh gelombang pasang dan badai telah menghancurkan bangunan, infrastruktur, serta ekosistem mangrove yang berfungsi sebagai penyangga alami (Irsadi *et al.*, 2019; Marfai, 2014). Hilangnya lahan pemukiman dan pertanian tidak hanya menurunkan nilai aset properti,

tetapi juga memutus sumber pendapatan masyarakat lokal yang bergantung pada sektor perikanan dan pertanian (Hassan & Rahmat, 2016). Perubahan tata guna lahan akibat reklamasi dan pembangunan jeti pelabuhan di sisi lain telah mengganggu proses transpor sedimen alami, yang seringkali mempercepat erosi di area sekitarnya (Sriyana *et al.*, 2020; Ervita & Marfai, 2017).

Secara ekologis, degradasi hutan bakau di Semarang dan Demak telah menurunkan biodiversitas dan kemampuan kawasan dalam menyerap karbon serta meredam bencana pesisir (Septiarani & Yesiana, 2020; Pratiwi *et al.*, 2023). Kerentanan ini semakin diperparah oleh penurunan kualitas lingkungan pemukiman yang meningkatkan risiko kesehatan bagi masyarakat pesisir (Dewi *et al.*, 2022). Meskipun pemerintah telah berupaya melakukan langkah mitigasi melalui pembangunan tanggul laut (*giant sea wall*) dan restorasi ekosistem, tantangan yang ada bersifat lintas sektoral dan membutuhkan data spasial yang akurat untuk perencanaan jangka panjang.

Mengingat kompleksitas ancaman yang ada, diperlukan kajian mendalam mengenai perubahan morfologi pantai dan pola penggunaan lahan di wilayah ini. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis spasial multitemporal guna mengidentifikasi Perubahan Garis Pantai di Pesisir Kabupaten Kendal, Kota Semarang, dan Kabupaten Demak selama tahun 1996–2024. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam merumuskan strategi pengelolaan pesisir terpadu serta mendukung penyusunan Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RZWP3K) yang lebih adaptif dan berkelanjutan di Jawa Tengah.

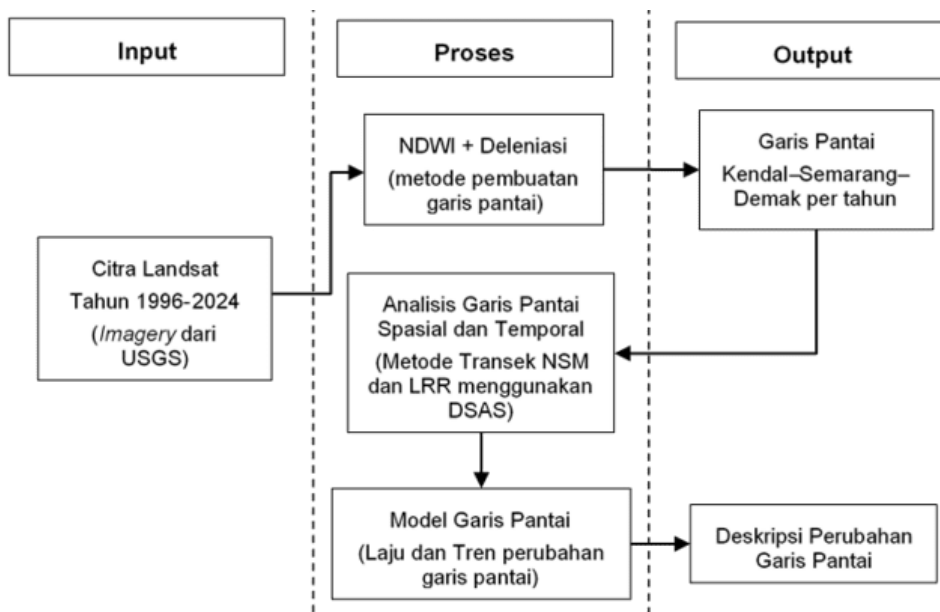
**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini merupakan deskriptif kuantitatif dengan memanfaatkan data sekunder berupa citra satelit multitemporal Landsat 5, 7 dan 8 tahun 1996-2024. Untuk ekstraksi garis pantai dari citra menggunakan teknik *Normalized Difference Water Index* (NDWI), sedangkan perubahan garis pantai menggunakan teknik *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) dengan parameter *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *Linear Regression Rate* (LRR) (Gambar 1).

Perhitungan statistik untuk memperoleh nilai Pergerakan Garis Pantai Bersih (*Net Shoreline Movement/NSM*) dan Tingkat Regresi Linier (*Linear Regression Rate/LRR*). Berdasarkan nilai-nilai tersebut, pola dan distribusi yang diperoleh (NSM, an LRR) untuk seluruh data kemudian digunakan untuk mendapatkan perubahan pola atau pergeseran garis pantai di Kendal-Semarang-Demak. Untuk memperoleh

informasi lengkap tentang hasil pemodelan dan menentukan variasi spasial serta temporal untuk wilayah penelitian, dilakukan dua skenario pemodelan. Skenario-skenario ini adalah pergeseran garis pantai secara temporal dalam setiap tahun, selama seluruh periode data (28 tahun), dan dalam zonasi spasial berdasarkan karakteristik fisik pantai di wilayah penelitian. Hasil analisis sederhana ini secara umum dideskripsikan sesuai dengan wilayah administrasi, yaitu Kabupaten Kendal, Kota Semarang, dan Kabupaten Demak (Gambar 2).

Teknik pengestraksian perubahan garis pantai dengan menggunakan data citra penginderaan jauh, deteksi ini dengan cara *filtering*, atau segmentasi hystogram. Ekstraksi atau deliniasi batas darat-laut menggunakan teknik penginderaan jauh data citra Landsat seperti TM, ETM+, dan OLI dapat meliputi beberapa pendekatan, yaitu: interpretasi visual, teknik berbasis nilai spektral (*differencing*, regresi citra, dan analisis nilai digital), komposit multi-



Gambar 1. Alur kerja penelitian



Gambar 2. Peta lokasi penelitian (ditandai warna merah)

Tabel 1. Rumus NDWI pada Landsat 5,7 dan 8

Satelit	Sensor	Rumus NDWI	Band Green	Band NIR	Keterangan Band
<b>Landsat 5</b> (1996-1999)	TM (Thematic Mapper)		Band 2	Band 4	B2 = Hijau (0,52–0,60 μm) B4 = NIR (0,76–0,90 μm)
<b>Landsat 7</b> (2000-2012)	ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)	$(Green - NIR)$ $(Green + NIR)$			B2 = Hijau (0,52–0,60 μm) B4 = NIR (0,77–0,90 μm)
<b>Landsat 8</b> (2013-2024)	OLI (Operational Land Imager)		Band 3	Band 5	B3 = Hijau (0,53–0,59 μm) B5 = NIR (0,85–0,88 μm)

(Sumber : McFeeters, 1996)

data, serta analisis perubahan vektor (Lipakis et al., 2008). Ekstraksi garis pantai dilakukan menggunakan indeks NDWI yang dikembangkan oleh McFeeters (1996), dihitung menggunakan perbandingan kanal hijau dan inframerah dekat, pada kanal hijau dan inframerah

landsat 5 TM dan 7 ETM+ adalah sama (kanal 2 dan 4), sedangkan Landsat 8 OLI berbeda (kanal 3 dan 5) sesuai dengan Tabel 1.

Dalam pengekstraksi perubahan garis pantai ditemukan *Scan Line Error* atau kesalahan garis pindai pada Citra Landsat



### Transek NSM dan LRR

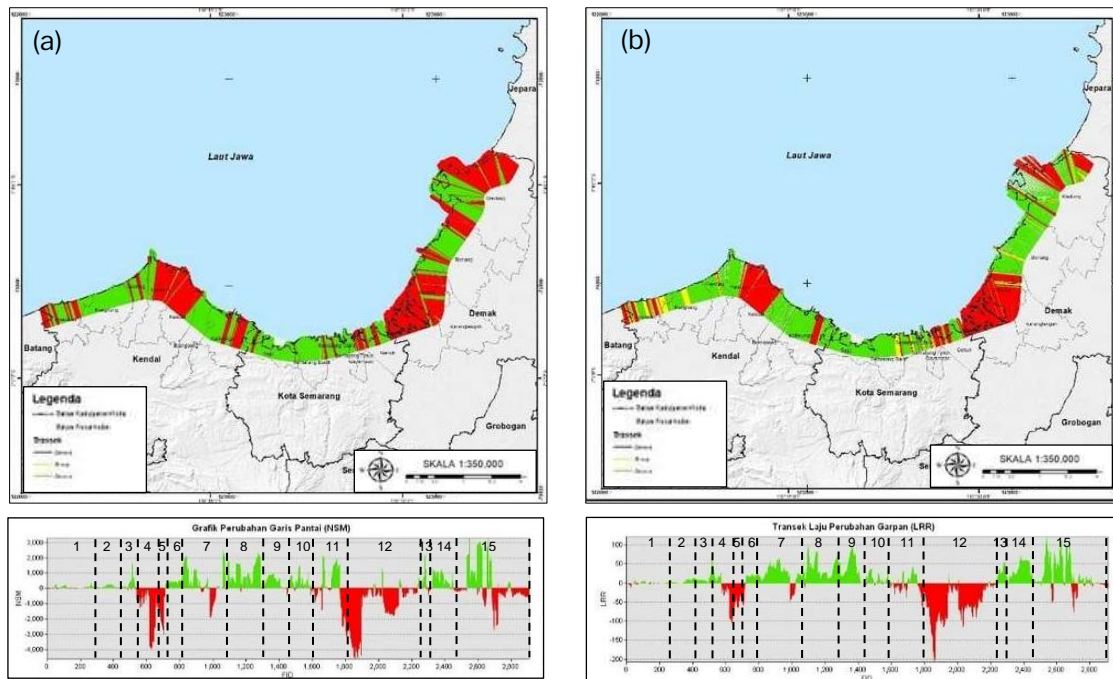
Dalam permodelan analisis transek NSM dan LRR untuk menghasilkan pola temporal perubahan garis pantai secara keseluruhan yang dapat diketahui perbandingan kedua permodelan tersebut (Tabel 2). Data dalam Tabel 2 merupakan hasil perhitungan untuk tahun 1996-2024. Kolom terakhir pada tabel di atas menunjukkan fenomena akresi di sebagian besar wilayah studi dengan rata-rata laju perubahan sebesar 89,51 meter/tahun selama periode 28 tahun. Kejadian akresi atau abrasi diduga sebagai akumulasi dari berbagai aktivitas manusia yang meningkat, terutama di Kota Semarang, di mana proses reklamasi dan penggunaan lahan di wilayah tersebut terus dilakukan yang diduga berpengaruh terhadap peningkatan jumlah akresi pada wilayah penelitian. Untuk fenomena abrasi, terjadi sebagian besar di Kecamatan Kendal dan Kecamatan Sayung di mana pada Kecamatan Sayung ini memiliki fenomena abrasi ekstrim. Berdasarkan tren perubahan garis pantai yang diperoleh, dilakukan analisis lebih lanjut untuk mendapatkan informasi perubahan garis pantai per kecamatan yang dapat dilihat pada Gambar 4.

Kabupaten Kendal secara keseluruhan menunjukkan nilai rata-rata NSM sebesar  $-94,81$  m yang mengindikasikan kecenderungan abrasi selama periode 1996–2024, meskipun sebagian besar kecamatan pesisirnya justru mengalami akresi. Kecamatan Brangsong mencatatkan rerata NSM  $+253,77$  m, Cepiring  $+73,57$  m, Kaliwungu  $+121,44$  m, Kangkung  $+106,27$  m, dan Rowosari  $+32,19$  m. Nilai negatif keseluruhan didorong oleh abrasi yang sangat dalam di Kecamatan Kendal (rerata NSM  $-1.438,76$  m) dan Patebon ( $-57,95$  m). Dari sisi laju perubahan, rata-rata LRR Kabupaten Kendal sebesar  $+4,80$  m/tahun menunjukkan tren akresi jangka panjang yang lemah namun tetap positif. Laju akresi tertinggi terjadi di Kecamatan Kaliwungu ( $+20,18$  m/tahun) yang berkaitan erat dengan aktivitas reklamasi Kawasan Industri Kendal (KIK) dan Pelabuhan Kendal. Sebaliknya, Kecamatan Kendal mencatatkan laju abrasi paling parah dengan rerata LRR  $-38,85$  m/tahun, yang berasosiasi dengan hilangnya vegetasi mangrove dan tekanan hidro-oseanografi yang terus meningkat (Nurjanah *et al.*, 2020).

Tabel 2. Perbandingan hasil perhitungan jarak pergeseran (m) dan laju perubahan (m/tahun) pada tiap kecamatan.

Kota / Kabupaten Nomor	Kendal							Kota Semarang				Demak			Rata-Rata	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15
Kecamatan	Rowosari	Kangkung	Cepiring	Patebon	Kendal	Brangsong	Kaliwungu	Tugu	Semarang Barat	Semarang Utara	Genuk	Sayung	Karangtengah	Bonang	Wedung	
Rata-rata NSM (m)	32,2	106	73,6	-58	-1439	254	121	768	708	208	313	-716	348	452	172	89,51
Rata-rata LRR (m/tahun)	0,49	5	7,61	7,38	-38,9	11,7	20,2	35,1	37,6	6,71	-2,5	-37,9	27,7	34	22,2	9,08

(Sumber : Hasil Analisis 2025)



Gambar 4. Peta dan grafik hasil analisis transek metode NSM (a) dan LRR (b)

Kota Semarang memperlihatkan dominasi akresi yang paling konsisten di antara ketiga wilayah penelitian, dengan rata-rata NSM +567,52 m dan rerata LRR +24,03 m/tahun. Seluruh empat kecamatan pesisirnya Tugu, Semarang Barat, Semarang Utara, dan Genuk mencatatkan rerata NSM positif. Nilai tertinggi berada di Kecamatan Tugu (+767,80 m NSM; +35,05 m/tahun LRR) dan Semarang Barat (+707,58 m NSM; +37,55 m/tahun LRR), yang berkaitan langsung dengan proyek reklamasi berskala besar di kawasan Bandara Internasional Jenderal Ahmad Yani, Kawasan Pantai Marina, dan Pearl of Java (POJ) City. Sementara itu, Kecamatan Genuk menunjukkan satu-satunya nilai rerata LRR negatif di Kota Semarang (-2,50 m/tahun) yang disebabkan oleh tekanan banjir rob dan penurunan muka tanah yang intensif di wilayah tersebut (Marfai & King, 2008; Chaussard *et al.*, 2013). Tingginya akresi di Semarang lebih mencerminkan rekayasa morfologi pesisir

oleh aktivitas manusia daripada proses sedimentasi alami, sehingga perubahan garis pantai di wilayah ini bersifat tidak stabil dan bergantung pada keberlanjutan kegiatan reklamasi.

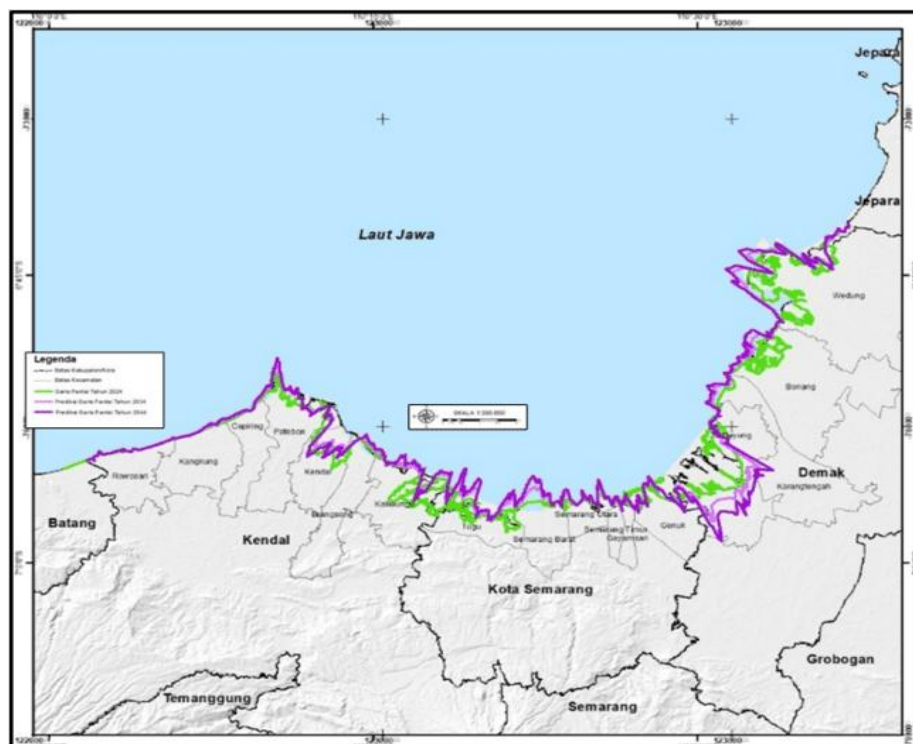
Kabupaten Demak menunjukkan pola perubahan garis pantai yang paling kontras di antara ketiga wilayah. Kecamatan Sayung merupakan episentrum abrasi paling kritis, dengan nilai rerata NSM -716,09 m dan laju LRR -37,91 m/tahun. Nilai minimum NSM di Sayung mencapai -4.624,04 m yang merupakan nilai abrasi terbesar di seluruh wilayah penelitian, sementara nilai minimum LRR menyentuh angka -206,87 m/tahun. Kondisi ini merupakan akumulasi dari hilangnya sabuk mangrove akibat konversi besar-besaran menjadi tambak sejak dekade 1990-an, yang diperparah oleh penurunan muka tanah (land subsidence) dengan laju 8–11 cm/tahun di kawasan ini (Susilo *et al.*, 2023). Di sisi berlawanan, Kecamatan Wedung mencatatkan nilai akresi tertinggi di seluruh

wilayah penelitian (maksimum NSM +3.296,09 m; rerata LRR +22,20 m/tahun) yang didorong oleh suplai sedimen aktif dari muara Sungai Jajar, Gojoyo, dan Saklenting yang terus mengendapkan material di kawasan perairan dangkal. Kecamatan Bonang dan Karangtengah juga mengalami akresi moderat, menegaskan bahwa dinamika di Demak sangat ditentukan oleh pola sedimentasi muara sungai dan distribusi spasial ekosistem mangrove yang tersisa (Ramadhani *et al.*, 2021).

### Prediksi Perubahan Garis Pantai Tahun 2034 dan 2044

Sesuai dengan Gambar 5, proyeksi garis pantai tahun 2034 (10 tahun ke depan) dihasilkan melalui nilai LRR masing-masing transek dari baseline tahun 2024. Kecamatan dengan rerata LRR positif tinggi seperti Semarang Barat (+37,55 m/tahun), Tugu (+35,05 m/tahun),

Karangtengah (+27,73 m/tahun), dan Wedung (+22,20 m/tahun) diproyeksikan mengalami kemajuan garis pantai berkisar antara 221 hingga 376 meter ke arah laut dalam 10 tahun. Sebaliknya, Kecamatan Kendal (rerata LRR -38,85 m/tahun) dan Sayung (rerata LRR -37,91 m/tahun) berpotensi mengalami kemunduran rata-rata 379–389 meter, sedangkan pada transek terburuk di Sayung dan Kecamatan Kendal — di mana nilai minimum LRR mencapai -206,87 m/tahun dan -103,82 m/tahun — kemunduran garis pantai dapat melebihi 2.000 meter dalam satu dekade. Proyeksi ini mengindikasikan bahwa 100–200 hektare lahan tambak produktif di Sayung terancam hilang, kawasan industri pesisir di Semarang Barat terancam kemunduran lahan sekitar 389 meter, dan permukiman nelayan di Kecamatan Kendal berisiko menghadapi abrasi ekstrem (Astuti *et al.*, 2021).



Gambar 5. Peta prediksi garis pantai tahun 2034 dan 2044

Proyeksi garis pantai tahun 2044 (20 tahun ke depan) menggambarkan akselerasi perubahan yang jauh lebih mendasar. Kecamatan Karangtengah dan Wedung diproyeksikan mengalami akresi rata-rata 553–751 meter ke arah laut, sementara transek terparah di Sayung dan Kecamatan Kendal berpotensi mengalami kemunduran melebihi 4.000 meter dan 2.000 meter secara berurutan. Kondisi ini sangat mengkhawatirkan mengingat sebagian besar daratan Sayung yang kini masih berupa tambak dan permukiman berpotensi sepenuhnya berubah menjadi zona perairan dangkal pada tahun 2044. Fachruddin *et al.* (2023) menegaskan bahwa akumulasi abrasi dalam 20 tahun dapat melampaui dua kali lipat nilai 10 tahun pertama akibat meluasnya paparan energi gelombang seiring berkurangnya buffer garis pantai alami. Desa-desa pesisir seperti Bedono dan Timbulsloko yang telah terdampak rob parsial sejak dekade 2000-an berisiko kehilangan sisa daratannya secara permanen jika tidak ada intervensi infrastruktur perlindungan pantai yang signifikan (Sasmito, 2020).

### **Faktor Pendorong Perubahan Garis Pantai**

Perubahan garis pantai di wilayah penelitian digerakkan oleh dua kelompok faktor yang bekerja secara sinergis. Faktor alami mencakup penurunan muka tanah (*land subsidence*) yang sangat signifikan, gelombang dan arus Laut Jawa, serta proses sedimentasi fluvial dari sungai-sungai yang bermuara di pesisir utara Jawa Tengah. Penurunan muka tanah di Semarang dan Demak diperkirakan mencapai 8–11 cm per tahun berdasarkan pemantauan GNSS, yang secara efektif memperbesar laju kenaikan muka air laut

relatif dan mempercepat abrasi di kawasan topografi rendah (Lubis *et al.*, 2011; Sarah *et al.*, 2020). Suplai sedimen dari muara sungai besar seperti Sungai Tuntang, Wulan, dan Bodri menjadi faktor penyeimbang yang menjelaskan terjadinya akresi lokal di kawasan muara, terutama di Kecamatan Wedung, Bonang, dan Tugu (Erfiko *et al.*, 2023; Septiningtyas *et al.*, 2022).

Faktor antropogenik memberikan kontribusi yang tidak kalah signifikan. Reklamasi untuk pembangunan Kawasan Industri Kendal, Bandara Ahmad Yani, Kawasan Pantai Marina, Pearl of Java City, Kawasan Industri Wijayakusuma, Kawasan Industri Terboyo, dan Jalan Tol Semarang–Demak telah mendorong akresi terinduksi yang sangat besar di Kota Semarang dan Kabupaten Kendal. Di sisi lain, perubahan ekosistem sawah menjadi tambak sejak dekade 1990-an menjadi pemicu utama abrasi masif di Kabupaten Demak, hilangnya fungsi peredam gelombang dan penangkap sedimen oleh mangrove membuat garis pantai kehilangan proteksi alaminya dan menjadi rentan terhadap erosi langsung gelombang laut (Irsadi *et al.*, 2019; Ervita & Marfai, 2017). Keduanya membentuk pola yang ironis seperti reklamasi mendorong akresi buatan di satu sisi, sementara degradasi ekosistem mendorong abrasi alami yang masif di sisi lain, menghasilkan perubahan garis pantai yang sangat fluktuatif secara spasial.

### **KESIMPULAN**

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dinamika perubahan garis pantai di pesisir Kabupaten Kendal, Kota Semarang, dan Kabupaten Demak selama periode 1996–2024 menggunakan

pendekatan penginderaan jauh multitemporal (Landsat 5, 7, dan 8) dengan metode NDWI untuk ekstraksi garis pantai dan DSAS (NSM dan LRR) untuk analisis perubahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akresi menjadi fenomena dominan (45,84%) dengan rata-rata laju perubahan 9,08 m/tahun, diikuti abrasi (38,34%), reklamasi (13,15%), dan kondisi tetap (2,67%). Nilai NSM berkisar antara 3.296,09 m (Kecamatan Wedung) hingga -4.624,04 m (Kecamatan Sayung), sementara laju LRR bervariasi antara 120,72 m/tahun (Wedung) dan -206,87 m/tahun (Sayung). Dominasi akresi di Kota Semarang merupakan cerminan reklamasi infrastruktur perkotaan, sedangkan abrasi masif di Kabupaten Demak (khususnya Sayung) merupakan akumulasi kerusakan ekosistem mangrove dan penurunan muka tanah yang tidak terkendali. Proyeksi garis pantai 2034 dan 2044 mengindikasikan bahwa tanpa intervensi perlindungan pantai yang mendesak, sejumlah permukiman dan lahan produktif pesisir terutama di Kecamatan Sayung dan Kecamatan Kendal berpotensi hilang secara permanen. Hasil penelitian ini direkomendasikan sebagai basis data spasial dalam pemutakhiran Rencana Tata Ruang di Provinsi Jawa Tengah dan sebagai acuan teknis dalam perencanaan Giant Sea Wall Pantura Jawa Tengah di mana pembangunan bisa diutamakan pada Kecamatan Sayung lalu pada Kecamatan Kendal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Fukuda, Y., Pohan, Y. E., Deguchi, T. 2013. Land Subsidence of Jakarta (Indonesia) and Its Relation With Urban Development. *Natural Hazards*, 59(3), 1753–1771.
- Astuti, R., Marfai, M. A., Hadmoko, D. S. 2021. Shoreline Change Analysis and Future Prediction in The Coastal Area of Demak, Central Java, Indonesia. *Geographia Technica*, 16(1), 1–14. [https://doi.org/10.21163/GT\\_2021.161.01](https://doi.org/10.21163/GT_2021.161.01)
- Chaussard, E., Amelung, F., Abidin, H., Hong, S. H. 2013. Sinking Cities in Indonesia: ALOS PALSAR Detects Rapid Subsidence Due to Groundwater and Gas Extraction. *Remote Sensing of Environment*, 128, 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.015>
- Dewi, R. S., Wulandari, P., Kurniawati, F. 2022. Coastal Environmental Quality and Health Risk in Urban Settlements of Semarang. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(18), 26901–26914. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17641-4>
- Erfiko, T., Rifai, A., Satriadi, A. 2023. Sediment Transport and Deposition Dynamics at River Mouths on The Northern Coast of Java. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(1), 44–56. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i1.15341>
- Ervita, N., Marfai, M. A. 2017. Shoreline Change Analysis in Demak Coastal Area. *Journal of Environmental Science and Sustainable Development*, 1(1), 35–47. <https://doi.org/10.7454/jessd.v1i1.7>
- Fachruddin, M., Marfai, M. A., Rijanta, R. 2023. Spatial Dynamics of Coastal Erosion and Its Socio-Economic Impacts in Sayung, Demak, Indonesia. *Ocean & Coastal Management*, 240, 106638. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106638>
- Hassan, M. M., Rahmat, A. 2016. The Impact of Shoreline Changes on Fishing Communities in Coastal Areas. *Journal of Coastal Conservation*, 20(4), 311–321.

- <https://doi.org/10.1007/s11852-016-0443-7>
- Info BPIW. 2020. Kawasan Strategis Nasional Kedungsepur: Infrastruktur Sebagai Pengungkit Pertumbuhan Ekonomi. *Buletin BPIW Kementerian PUPR*, 46, 6–11.
- Irsadi, A., Ngabekti, S., Indriastuti, R., Prasetya, A. 2019. Species Diversity of Mangrove in Demak, Indonesia: Before and After The Intervention of Wave Breaking Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1321(3), 032024.  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1321/3/032024>
- Lipakis, M., Chrysoulakis, N., Kamarianakis, Y. 2008. Shoreline Extraction Using Satellite Imagery. In International Archives of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B8), 1055–1060.
- Lubis, A. M., Sato, T., Tomiyama, N., Isezaki, N., Yamanokuchi, T. 2011. Ground Subsidence in Semarang–Indonesia Investigated by ALOS-PALSAR Satellite SAR Interferometry. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40(5), 1079–1088.  
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.12.001>
- Marfai, M. A. 2014. Impact of Coastal Inundation on Ecology and Agricultural Land Use Case Study in Central Java, Indonesia. *Quaestiones Geographicae*, 33(3), 107–114.  
<https://doi.org/10.2478/quageo-2014-0030>
- Marfai, M. A., King, L. 2008. Tidal Inundation Mapping Under Enhanced Land Subsidence in Semarang, Central Java Indonesia. *Natural Hazards*, 44(1), 93–109.  
<https://doi.org/10.1007/s11069-007-9144-2>
- McFeeters, S. K. 1996. The Use of The Normalized Difference Water Index (NDWI) in The Delineation of Open Water Features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432.
- <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Nurjanah, S., Widada, S., Rifai, A. 2020. Shoreline Change Analysis Using Digital Shoreline Analysis System (DSAS) in Northern Coastal of Kendal Regency. *Jurnal Kelautan Tropis*, 23(3), 327–336.  
<https://doi.org/10.14710/jkt.v23i3.8053>
- Pratama, A. B., Satriadi, A., Handoyo, G. 2023. Sediment Transport Patterns Along The Northern Java Coast and Their Implications for Shoreline Change. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 1166(1), 012015.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1166/1/012015>
- Pratiwi, M. D., Rifai, A., Zainuri, M. 2023. Carbon Stock Estimation of Mangrove Ecosystems in The Northern Coast of Central Java. *Aquatic Sciences & Technology*, 11(1), 1–12.  
<https://doi.org/10.5296/ast.v11i1.20311>
- Ramadhani, F., Riyadi, A., Sasmito, B. 2021. Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Metode DSAS di Pesisir Demak. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(1), 12–21.  
<https://doi.org/10.14710/jgundip.2021.30161>
- Sarah, D., Pramumijoyo, S., Hendrayana, H., Harnanto, A., Karnawati, D., Hendaryanto, H., Wilopo, W. 2020. Estimation of Groundwater Subsidence Rate in Semarang City, Central Java. *E3S Web of Conferences*, 156, 06001.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015606001>
- Sasmito, B. 2020. Coastal Shoreline Changes Prediction Based on Multi-Temporal Satellite Images in Northern Java, Indonesia. *Remote Sensing Applications. Society and Environment*, 17, 100272.  
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100272>
- Septiarani, B., Yesiana, R. 2020. Mangrove Ecosystem Services and Community Livelihood in Demak District, Central Java. *IOP*

- Conference Series. *Earth and Environmental Science*, 447(1), 012039.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/447/1/012039>
- Septiningtyas, A., Subardjo, P., Rifai, A. 2022. Sedimentation Pattern and Delta Formation at Estuaries of Demak Coastal Area. *Journal of Oceanography*, 11(2), 146–156.  
<https://doi.org/10.14710/joce.v11i2.37142>
- Sriyana, I., Hadihardaja, I. K., Rizaldi, T., Suharyanto, A. 2020. Coastal Erosion and Accretion Phenomenon in the Northern Java Coast. IOP Conference Series, *Earth and Environmental Science*, 540(1), 012049.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/540/1/012049>
- Susilo, S. H., Suntoyo, Zikra, M., Wahyudi, M. I. 2023. GNSS-Based Land Subsidence Monitoring and Its Implications for Coastal Flood Risk in Semarang-Demak, Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 86, 103574.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103574>