



## Dinamika Temporal Pertumbuhan Delta dan Perubahan Garis Pantai di Muara Sungai Blorong, Kendal, Jawa Tengah, Indonesia (1972-2024)

Rio Daffa Alfani<sup>1\*</sup>, Aga Rizky<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Prodi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, UPN Veteran Yogyakarta. Indonesia.

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i2.1627>

### Article Info:

Received : 08 Maret 2026  
Revised : 20 Maret 2026  
Accepted : 10 April 2026  
Published : 19 April 2026

### Correspondence:

Rio Daffa Alfani

Phone:

**Abstract:** Coastal zones are dynamic transitional environments subject to continuous morphological change driven by fluvial, marine, and anthropogenic processes. This study investigates the temporal dynamics of delta growth and shoreline change at the Blorong River estuary, Kendal, Central Java, Indonesia, over 52 years (1972 to 2024) using multi-temporal remote sensing analysis based on Landsat imagery series 1 to 8 processed in ArcGIS. The results show a total delta accretion of 2.5852 km<sup>2</sup> with an average rate of 0.0549 km<sup>2</sup>/year. The accretion occurred in four distinct phases, namely 0.0714 km<sup>2</sup>/year during 1972 to 1988, 0.0952 km<sup>2</sup>/year during 1988 to 1999, 0.0393 km<sup>2</sup>/year during 1999 to 2009, and 0.0138 km<sup>2</sup>/year during 2009 to 2024. The progressively declining growth rate suggests a reduction in delta progradation intensity over time, reflecting the combined influence of decreasing upstream sediment supply, dam construction, land-use change, groundwater extraction-induced subsidence, and sea-level rise. These findings highlight the need for integrated coastal zone management through watershed-scale sediment budgeting, mangrove-based coastal protection, and periodic remote sensing monitoring. Future research should incorporate sediment flux measurements, InSAR-based subsidence analysis, and hydrodynamic modeling to improve the understanding of delta evolution and vulnerability under changing climate conditions.

**Keywords:** Accretion; Shoreline; Remote; Sediment; Coastal.

**Citation:** Rio Daffa Alfani, & Rizky, A. (2026). Dinamika Temporal Pertumbuhan Delta dan Perubahan Garis Pantai di Muara Sungai Blorong, Kendal, Jawa Tengah, Indonesia (1972-2024). *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(2), 929-934. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i2.1627>

### Pendahuluan

Wilayah pesisir merupakan zona transisi dinamis antara daratan dan lautan yang mengalami perubahan morfologi secara berkelanjutan akibat interaksi kompleks antara proses fluvial, marin, dan atmosferik. Zona pesisir memiliki peran strategis baik dari perspektif ekologi, ekonomi, maupun sosial, karena menjadi habitat berbagai ekosistem produktif, pusat aktivitas ekonomi maritim, dan permukiman padat penduduk. Indonesia merupakan negara kepulauan dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia, lebih dari 99.000 km yang kini menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan wilayah pesisir berkelanjutan (Marfai & King, 2008).

Pantai utara Jawa merupakan salah satu wilayah pesisir tersibuk di Indonesia, menampung sekitar 40% populasi Pulau Jawa dan menjadi pusat aktivitas industri, perdagangan, dan perikanan (Suryanti et al., 2021). Karakteristik geologis Jawa yang didominasi oleh relief pegunungan vulkanik dengan curah hujan tinggi menciptakan kondisi optimal untuk erosi tanah dan transportasi sedimen menuju muara sungai. Setiap musim hujan, volume sedimen dalam jumlah besar dibawa ke arah laut, dan surplus sedimen di zona pesisir menghasilkan pembentukan delta-delta sungai besar (Hoekstra et al., 1988).

Delta sungai terbentuk melalui deposisi sedimen di muara akibat penurunan energi aliran saat bertemu

Email: [riodaffaalfani@gmail.com](mailto:riodaffaalfani@gmail.com)

badan air yang tenang (Galloway, 1975). Evolusi morfologinya ditentukan oleh interaksi dinamis antara debit sungai, gelombang, pasang surut, dan subsidensi. Proses ini mencerminkan keseimbangan antara aksi konstruktif sedimentasi serta gaya destruktif erosi yang dipengaruhi oleh faktor alami maupun antropogenik (Syvitski et al., 2009).

Saat ini, sistem delta menghadapi ancaman serius dari kenaikan permukaan laut dan cuaca ekstrem akibat perubahan iklim global (Giosan et al., 2014). Kondisi tersebut diperburuk oleh tekanan manusia seperti pembangunan bendungan, reklamasi, dan eksploitasi air tanah yang masif (Syvitski & Saito, 2007). Berbagai gangguan ini secara kolektif mengancam stabilitas dan keberlangsungan delta di berbagai belahan dunia.

Di sisi lain, penelitian di Provinsi Jawa Timur pada periode 2000-2019 menunjukkan bahwa proses akresi masih lebih dominan dibandingkan dengan erosi pantai. Dengan laju perubahan rata-rata mencapai +4,12 m/tahun, wilayah ini mengindikasikan adanya dinamika sedimen yang tetap aktif meskipun berada di bawah tekanan lingkungan. Hal ini menggambarkan ketahanan morfologis lokal di tengah tantangan global yang ada.



**Gambar 1.** Sungai Blorong dan bendung gerak (BBWS Pemali Juana, n.d.)

Sungai Blorong yang berlokasi di Kabupaten Kendal, Jawa Tengah, merupakan salah satu sungai yang membentuk delta aktif di pantai utara Jawa. Daerah aliran sungai (DAS) Sungai Blorong mencakup wilayah dengan karakteristik geomorfologi beragam, mulai dari pegunungan vulkanik di bagian hulu hingga dataran aluvial di bagian hilir.

Aktivitas vulkanik historis di wilayah ini menghasilkan material tanah yang subur namun mudah tererosi, menyediakan pasokan sedimen yang berlimpah untuk pembentukan delta. Muara Sungai Blorong mengalami evolusi morfologi yang dinamis sebagai respons terhadap perubahan pasokan sedimen, kondisi hidrodinamika lokal, dan intervensi manusia di wilayah pesisir. Monitoring perubahan garis pantai dan

pertumbuhan delta secara tradisional dilakukan melalui survei lapangan yang memerlukan biaya tinggi dan waktu lama. Perkembangan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) memberikan alternatif yang efisien dan efektif untuk monitoring perubahan pesisir dalam skala temporal dan spasial yang luas (Alesheikh et al., 2007). Citra satelit multi-temporal memungkinkan analisis retrospektif perubahan morfologi pesisir dengan akurasi yang memadai untuk keperluan penelitian dan perencanaan wilayah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola perubahan garis pantai di delta muara Sungai Blorong selama 1972-2024, mengkuantifikasi luas akresi yang terjadi pada interval waktu terpilih, dan mendeskripsikan tren temporal serta mengaitkannya dengan faktor pengontrol alami dan antropogenik sebagai dasar rekomendasi pengelolaan pesisir.

## Metode

Data utama yang digunakan adalah citra Landsat seri 1 hingga 8 untuk periode 1972-2024 yang diunduh dari arsip resmi USGS. Pemilihan citra mempertimbangkan ketersediaan tanggal, kondisi tutupan awan, dan konsistensi musiman untuk mengurangi bias pasang surut. Semua citra diproses dalam *software ArcGIS* meliputi pemeriksaan georeferensi, pembuatan komposit band bila diperlukan, serta koreksi visual dasar sebelum ekstraksi garis pantai.

Garis pantai didelineasi secara digital pada setiap citra dengan pendekatan digitasi manual/semi-otomatis sesuai kualitas citra, kemudian dibuat poligon perubahan antara periode untuk menghitung luas akresi. Perhitungan laju pertumbuhan dinyatakan dalam  $\text{km}^2$  per tahun untuk tiap interval pengamatan. Hasil analisis bersifat planimetrik sehingga tidak mencerminkan perubahan volumetrik sedimen.

## Hasil dan Diskusi

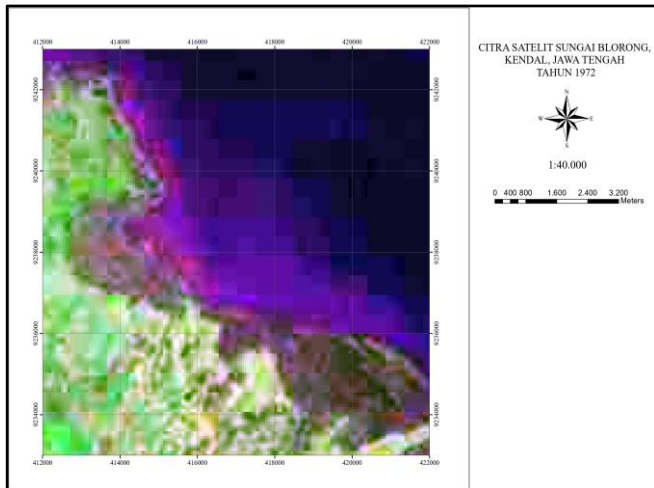
### Periode 1972 - 1988

Periode 1972-1988 menunjukkan pertumbuhan delta dengan laju  $0,0714 \text{ km}^2/\text{tahun}$ , menghasilkan penambahan luas sebesar  $1,1432 \text{ km}^2$ . Fase ini mencerminkan kondisi sistem fluvial yang masih relatif aktif dengan pasokan sedimen yang konsisten. Proses pembentukan delta pada periode ini didominasi oleh mekanisme sedimentasi fluvial klasik, di mana material sedimen yang dibawa oleh aliran sungai mengalami pengendapan ketika energi aliran berkurang saat bertemu dengan badan air laut (Seybold et al., 2007).

Karakteristik iklim tropis basah Jawa yang ditandai dengan curah hujan tinggi berperan penting dalam mobilisasi sedimen dari daerah tangkapan air (Hoekstra et al., 1988). Kombinasi antara relief pegunungan, tanah vulkanik yang mudah tererosi, dan

praktik pertanian intensif menciptakan kondisi optimal untuk erosi tanah dan transportasi sedimen menuju muara sungai. Laju pertumbuhan yang relatif stabil pada periode ini mengindikasikan keseimbangan dinamis antara pasokan sedimen dan kapasitas pengangkutan sungai.

menciptakan lingkungan yang kondusif untuk akumulasi sedimen berbutir halus di zona litoral (Koropitan & Ikeda, 2008). Morfologi delta yang terbentuk cenderung berbentuk lonjong atau *bird-foot*, mengindikasikan dominasi proses fluvial dibandingkan dengan proses marin.



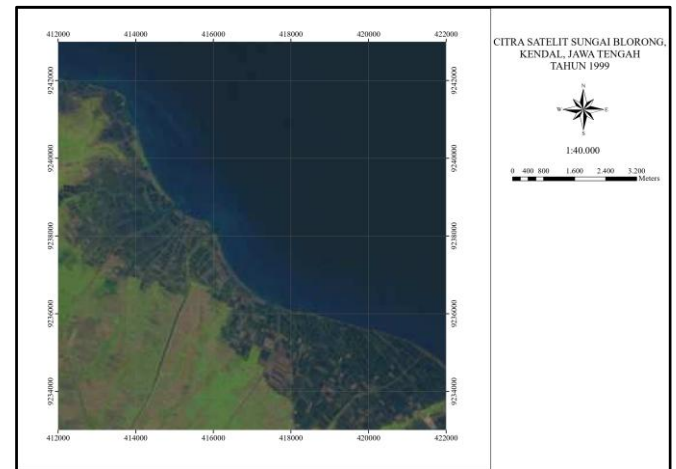
Gambar 2. Citra satelit Sungai Blorong tahun 1972

**Periode 1988 - 1999**

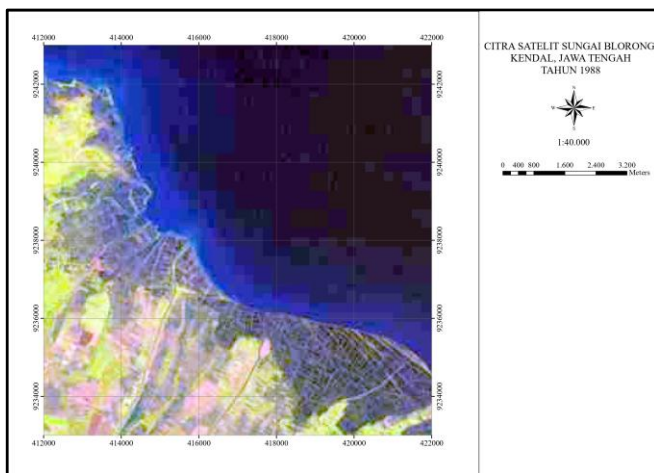
Periode 1988-1999 menunjukkan laju pertumbuhan tertinggi sebesar 0,0952 km<sup>2</sup>/tahun dengan total penambahan luas 1,0481 km<sup>2</sup>. Peningkatan signifikan ini dapat dihubungkan dengan beberapa faktor hidrodinamika dan antropogenik. Intensifikasi aktivitas pertanian dan perubahan tata guna lahan di daerah hulu kemungkinan meningkatkan laju erosi dan pasokan sedimen ke sistem sungai.

**Periode 1999 - 2009**

Periode 1999-2009 menunjukkan penurunan drastis laju pertumbuhan menjadi 0,0393 km<sup>2</sup>/tahun dengan penambahan luas hanya 0,3925 km<sup>2</sup>. Penurunan ini menunjukkan perubahan dalam keseimbangan sedimen sistem delta. Beberapa faktor dapat menjelaskan fenomena ini:



Gambar 4. Citra satelit Sungai Blorong tahun 1999



Gambar 3. Citra satelit Sungai Blorong tahun 1988

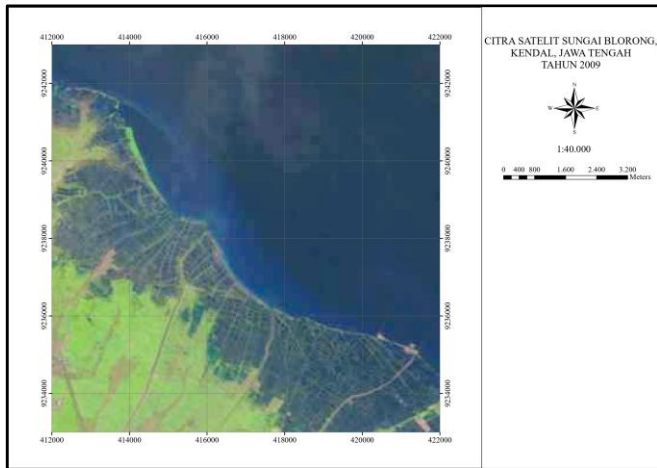
Proses sedimentasi pada periode ini kemungkinan juga dipengaruhi oleh kondisi oseanografi lokal. Energi gelombang yang relatif rendah dan regime pasang surut mikrotidal yang didominasi oleh komponen diurnal K1 di perairan Laut Jawa

Pertama, kemungkinan terjadi pengurangan pasokan sedimen dari daerah hulu akibat perubahan tata guna lahan, pembangunan infrastruktur penahan sedimen, atau program konservasi tanah. Pembangunan *check dam* atau bendungan kecil di anak-anak sungai dapat mengurangi jumlah sedimen yang mencapai muara (Syvitski et al., 2005). Kedua, perubahan pola hidrodinamika lokal mungkin meningkatkan proses erosi pantai di beberapa segmen garis pantai. Redistribusi sedimen oleh aksi gelombang dan arus litoral dapat menyebabkan erosi di satu lokasi dan deposisi di lokasi lain, menghasilkan pertumbuhan delta yang tidak merata (Giosan et al., 2014). Ketiga, kompaksi dan subsidensi pada endapan delta yang lebih tua dapat mengurangi laju pertumbuhan neto. Material sedimen yang baru diendapkan mengalami konsolidasi dan pepadatan seiring waktu, mengurangi volume dan elevasi permukaan (Syvitski, 2008).

**Periode 2009 - 2024**

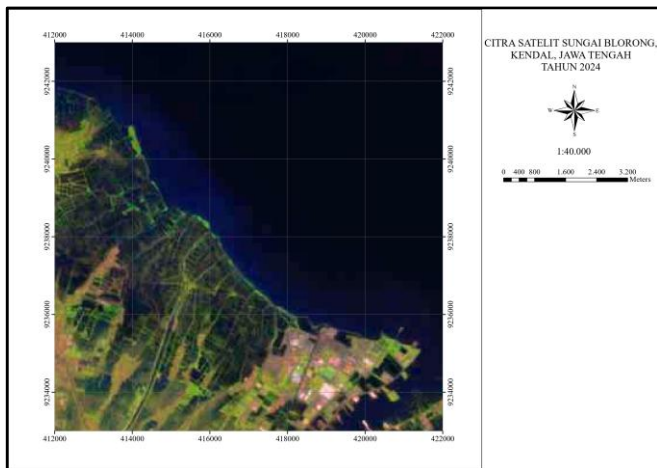
Periode 2009-2024 menunjukkan laju pertumbuhan terendah sebesar 0,0138 km<sup>2</sup>/tahun dengan penambahan luas hanya 0,2071 km<sup>2</sup>. Kondisi ini mengindikasikan sistem delta yang mendekati

keseimbangan dinamis atau bahkan menuju fase kemunduran. Data ini mencatat bahwa total pertumbuhan sudah termasuk dampak erosi, yang menunjukkan kompetisi antara proses konstruktif (akresi) dan destruktif (erosi).



**Gambar 5.** Citra satelit Sungai Blorong tahun 2009

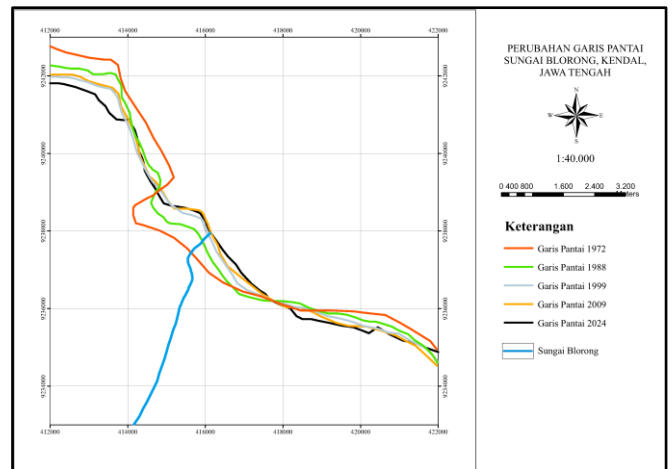
Penurunan drastis pertumbuhan delta pada periode modern ini konsisten dengan tren global penurunan pasokan sedimen sungai akibat pembangunan bendungan, ekstraksi agregat, dan perubahan iklim (Walling, 2006). Di wilayah pantai utara Jawa, tekanan antropogenik yang intensif terhadap sistem pesisir semakin meningkat, termasuk reklamasi, pembangunan infrastruktur pesisir, dan ekstraksi air tanah yang menyebabkan subsidensi lahan (Marfai & King, 2008).



**Gambar 6.** Citra satelit Sungai Blorong tahun 2024

Faktor perubahan iklim juga mulai menunjukkan dampaknya melalui kenaikan muka air laut dan perubahan pola curah hujan. Kenaikan muka air laut meningkatkan potensi erosi pantai dan intrusi air laut yang dapat mengubah morfologi delta dan mengurangi

area efektif pertumbuhan (Church et al., 2013). Berdasarkan analisis citra satelit multi-temporal dari tahun 1972 hingga 2024, teridentifikasi adanya dinamika perubahan garis pantai di muara Sungai Blorong, Kendal, Jawa Tengah. Data menunjukkan pertumbuhan delta dengan total akumulasi luas sebesar 2,5852 km<sup>2</sup> selama periode 52 tahun pengamatan. Meskipun terdapat fluktuasi laju pertumbuhan antarperiode, tren umum menunjukkan proses akresi yang dominan dengan nilai rata-rata pertumbuhan sebesar 0,054925 km<sup>2</sup>/tahun.



**Gambar 7.** Perubahan garis pantai delta Sungai Blorong pada setiap periode.

Perubahan morfologi delta ini termanifestasi melalui pergeseran garis pantai ke arah laut, yang mengindikasikan proses sedimentasi aktif di zona litoral. Pola pertumbuhan menunjukkan variabilitas temporal yang signifikan, dengan laju tertinggi terjadi pada periode 1988-1999 (0,0952 km<sup>2</sup>/tahun) dan terendah pada periode 2009-2024 (0,0138 km<sup>2</sup>/tahun).

Pembentukan delta Sungai Blorong mengikuti prinsip hidrodinamika sedimen di mana material partikulat mengalami deposisi saat terjadi penurunan energi aliran pada zona transisi fluvial-marin. Morfologi delta mencerminkan interaksi kompleks antara discharge sungai, energi gelombang, dan *regime* pasang surut (Galloway, 1975), dengan dominasi proses fluvial yang terlihat dari pola pertumbuhan memanjang ke arah laut. Stratigrafi delta terdiri dari *bottomset beds*, *foreset beds*, dan *topset beds*, di mana material berbutir kasar diendapkan di bagian proksimal, sedangkan material berbutir halus ditransportasikan lebih jauh membentuk prodelta (Reading & Collinson, 1996).

Pertumbuhan delta dikontrol oleh faktor alami dan antropogenik yang saling berinteraksi. Faktor alami meliputi pasokan sedimen berlimpah dari DAS vulkanik dengan topografi curam dan curah hujan tinggi yang meningkatkan laju erosi (Hoekstra et al.,

1988), variabilitas musiman debit sungai, kondisi oseanografi dengan energi gelombang moderat dan pasang surut mikrotidal yang dipengaruhi oleh sistem monsun Asia-Australia (Koropitan & Ikeda, 2008), serta subsidensi akibat kompaksi sedimen dan aktivitas tektonik yang menciptakan ruang akomodasi tambahan (Syvitski, 2008). Faktor antropogenik mencakup perubahan tata guna lahan yang meningkatkan erosi, pembangunan infrastruktur pengendali sedimen yang mengurangi pasokan material ke muara, serta aktivitas pesisir seperti reklamasi dan ekstraksi air tanah berlebihan yang menyebabkan subsidensi dan mempercepat kemunduran garis pantai (Marfai & King, 2008).

Dinamika delta memiliki implikasi signifikan terhadap ekosistem pesisir, perikanan, dan risiko bencana. Pertumbuhan delta menciptakan habitat baru, namun perubahan morfologi cepat dapat mengganggu ekosistem established, di mana sedimentasi berlebihan menurunkan kualitas air, sementara erosi merusak vegetasi pesisir sebagai *buffer zone* (Alongi, 2002). Zona delta produktif menyediakan *nursery ground* bagi spesies ikan dan invertebrata, namun pengembangan tambak mengubah hidrologi dan mengurangi kapasitas *natural coastal defense* (Blaber, 2002). Penurunan laju pertumbuhan pada periode modern meningkatkan kerentanan masyarakat pesisir terhadap banjir rob, intrusi air laut, dan erosi pantai akibat kombinasi subsidensi, kenaikan muka air laut, dan berkurangnya *protective buffer* (Nicholls et al., 2007). Dinamika Delta Sungai Blorong menunjukkan kesamaan dengan delta lain di pantai utara Jawa yang mengalami laju sedimentasi tinggi (Hoekstra et al., 1988), namun tren penurunan laju pertumbuhan konsisten dengan pola regional yang mencerminkan dampak kumulatif aktivitas manusia dan perubahan iklim (Marfai et al., 2008).

Pengelolaan delta berkelanjutan memerlukan monitoring menggunakan teknologi remote sensing dan survei lapangan, manajemen DAS terpadu yang menyelaraskan konservasi hulu dengan strategi pesisir, serta strategi adaptasi perubahan iklim berbasis ekosistem seperti restorasi mangrove untuk meningkatkan resiliensi pesisir (Spalding et al., 2014). Regulasi yang mengatur ekstraksi agregat, groundwater pumping, dan pembangunan di zona pesisir perlu dikembangkan untuk meminimalkan dampak antropogenik sambil mengakomodasi dinamika alami delta melalui zonasi pesisir partisipatif. Langkah-langkah ini sangat krusial untuk memastikan keseimbangan antara perlindungan lingkungan dan pemanfaatan ruang yang berkelanjutan. Dengan demikian, resiliensi ekosistem delta dapat terjaga dalam menghadapi tekanan lingkungan yang semakin kompleks di masa depan.

## Kesimpulan

Analisis penginderaan jauh multi-temporal delta Sungai Blorong selama 52 tahun (1972-2024) mengungkapkan pola pertumbuhan delta yang berkelanjutan namun melambat, dengan total akresi 2,5852 km<sup>2</sup> pada laju rata-rata 0,054925 km<sup>2</sup>/tahun. Dinamika temporal menunjukkan empat fase berbeda yang ditandai oleh penurunan laju pertumbuhan secara progresif, dari puncak 0,0952 km<sup>2</sup>/tahun (1988-1999) hingga laju terendah 0,0138 km<sup>2</sup>/tahun (2009-2024). Tren penurunan ini mengindikasikan fase transisi dari sistem delta yang aktif berkembang menuju keseimbangan dinamis atau potensi kemunduran, mencerminkan dampak kumulatif dari berkurangnya pasokan sedimen, intervensi antropogenik, subsidensi lahan, dan efek perubahan iklim, termasuk kenaikan muka air laut. Proses akresi dominan selama periode studi dikontrol oleh debit sedimen fluvial dari daerah tangkapan air vulkanik, kondisi energi gelombang moderat, dan regime mikrotidal Laut Jawa.

Tekanan antropogenik kontemporer, termasuk pembangunan bendungan di hulu, perubahan tata guna lahan, pembangunan infrastruktur pesisir, dan ekstraksi air tanah berlebihan, telah mengubah neraca sedimen dan morfodinamika delta secara signifikan. Temuan ini menekankan kebutuhan mendesak akan pengelolaan zona pesisir terpadu yang mencakup manajemen sedimen skala DAS, strategi adaptasi berbasis ekosistem, sistem monitoring menggunakan teknologi penginderaan jauh, dan kerangka regulasi yang mengatur ekstraksi air tanah dan pembangunan pesisir. Penurunan laju pertumbuhan delta menimbulkan risiko meningkat bagi masyarakat pesisir melalui kerentanan yang lebih tinggi terhadap banjir rob, erosi garis pantai, dan intrusi air laut, sehingga memerlukan langkah-langkah adaptasi proaktif untuk memastikan resiliensi pesisir dalam skenario perubahan iklim yang semakin cepat.

## Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada Bapak Aga Rizky, S.T., M.Eng., yang sudah memberikan inspirasi, dukungan, dan pendanaan, serta bimbingan dalam mengerjakan artikel ini.

## Referensi

- Alesheikh, A.A., Ghorbanali, A., & Nouri, N. Coastline change detection using remote sensing. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 4, 61-66 (2007). <https://doi.org/10.1007/BF03325962>
- Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29(3), 331-349. doi: <https://doi.org/10.1017/S0376892902000231>
- Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana. (n.d.). Bendung Gerak Blorong [Foto]. SISDA BBWS

- Pemali Juana. Tersedia di: <http://112.78.44.110/infrastruktur/blorong/index.html> (Diakses: 17 April 2026).
- Church, J. A., Clark, P. U., Cazenave, A., Gregory, J. M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M. A., Milne, G. A., Nerem, R. S., Nunn, P. D., Payne, A. J., Pfeffer, W. T., Stammer, D., & Unnikrishnan, A. S. (2013). Sea level change. In T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley (Eds.), *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1137–1216). Cambridge University Press.
- Galloway, W. E. (1975). Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems. In M. L. Broussard (Ed.), *Deltas: Models for Exploration* (pp. 87–98). Houston, TX: Houston Geological Society.
- Giosan L, Syvitski J, Constantinescu S, Day J. Climate change: protect the world's deltas. *Nature*, 516(7529), 31–33. <https://doi.org/10.1038/516031a>
- Hoekstra, P., & Tiktanata, T. (1988). Coastal hydrodynamics, geomorphology and sedimentary environments of two major Javanese river deltas. Program and preliminary results from the Snellius-II expedition (Indonesia). *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 2(2), 95–107. Doi: [https://doi.org/10.1016/0743-9547\(88\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0743-9547(88)90012-8)
- Koropitan, A. F., & Ikeda, M. (2008). Three-dimensional modeling of tidal circulation and mixing over the Java Sea. *Journal of Oceanography*, 64(1), 61–80. doi: <https://doi.org/10.1007/s10872-008-0005-5>
- Marfai, M. A., & King, L. (2008). Potential vulnerability implications of coastal inundation due to sea level rise for the coastal zone of Semarang city, Indonesia. *Environmental Geology*, 54(6), 1235–1245. doi: <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0906-4>
- Marfai, M. A., Almohammad, H., Dey, S., Susanto, B., & King, L. (2008). Coastal dynamic and shoreline mapping: Multi-sources spatial data analysis in Semarang, Indonesia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 142(1-3), 297–308. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9929-2>
- Nicholls, R. J., Wong, P. P., Burkett, V. R., Codignotto, J. O., Hay, J. E., McLean, R. F., Ragoonaden, S., & Woodroffe, C. D. (2007). Coastal systems and low-lying areas. In M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, & C. E. Hanson (Eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 315–356). Cambridge University Press.
- Nissa', Z. N. A., Dhamira, A., Yudinugroho, M., & Sari, A. K. (2025). Seasonal Dynamics and Production Risk of Hairtail at Sadeng Fishing Port, Indonesia (2019–2024). *RSF Conference Series: Business, Management and Social Sciences*, 5(2), 17–24. <https://doi.org/10.31098/bmss.v5i2.937>
- Reading, H.G. and Collinson, J.D. (1996). *Clastic Coasts*. In: Reading, H.G. Ed., *Sedimentary Environments: Process, Facies and Stratigraphy* (3rd ed., pp. 154–231), Oxford, United Kingdom: Blackwell's
- Seybold, H., Andrade, J. S., Jr, & Herrmann, H. J. (2007). Modeling river delta formation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(43), 16804–16809. <https://doi.org/10.1073/pnas.0705265104>
- Spalding, M. D., Mcivor, A. L., Beck, M. W., Koch, E. W., Möller, I., Reed, D. J., Rubinoff, P., Spencer, T., Tolhurst, T. J., Wamsley, T. V., van Wesenbeeck, B. K., Wolanski, E., & Woodroffe, C. D. (2014). Coastal ecosystems: A critical element of risk reduction. *Conservation Letters*, 7(3), 293–301. <https://doi.org/10.1111/conl.12074>
- Syvitski, J. P. M., & Saito, Y. (2007). Morphodynamics of deltas under the influence of humans. *Global and Planetary Change*, 57(3-4), 261–282. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.12.001>
- Syvitski, J. P. M., Kettner, A. J., Overeem, I., Hutton, E. W. H., Hannon, M. T., Brakenridge, G. R., Day, J., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L., & Nicholls, R. J. (2009). Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, 2(10), 681–686. <https://doi.org/10.1038/ngeo629>
- Syvitski, J. P., Vörösmarty, C. J., Kettner, A. J., & Green, P. (2005). Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science (New York, N.Y.)*, 308(5720), 376–380. <https://doi.org/10.1126/science.1109454>
- Walling, D. E. (2006). Human impact on land-ocean sediment transfer by the world's rivers. *Geomorphology*, 79(3-4), 192–216. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.019>