



**ANALISIS SEBARAN FISIS BATUAN BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) DI PANTAI PASIR PANJANG KOTA SINGKAWANG**

**Umar Syahidin<sup>1\*</sup>, Matsun Matsun<sup>2</sup>, Selshi Nabila Putri<sup>1</sup>, Nadine Andara Septianie<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Sains Informasi Geografi, Universitas PGRI Pontianak, Jalan Ampera no.88, Kota Pontianak, Provinsi Kalimantan Barat, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas PGRI Pontianak, Jalan Ampera no.88, Kota Pontianak, Provinsi Kalimantan Barat, Indonesia<sup>3</sup>Afiliasi (Program Studi, Fakultas, PT), Alamat PT (Jalan, Kota, Provinsi, Negara)

\*email: umarsyahidin@gmail.com

**Received: 2024-12-24 Accepted: 2025-06-25 Published: 2025-06-30**

**Abstrak**

Penilaian geodiversitas hadir sebagai salah satu konsep pembangunan berkelanjutan yang diakui UNESCO karena menghargai jasa ekosistem beserta nilai kebudayaan di dalamnya. Kota Singkawang memiliki geodiversitas yang kompleks dari wilayah hulu hingga pesisir, menjadikannya pusat wisata sekaligus kawasan potensial untuk pengembangan wisata geosains. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi sebaran batuan di Pantai Pasir Panjang sebagai dasar ilmiah dalam mendukung strategi pengelolaan geodiversitas. Metode penelitian bersifat deskriptif kuantitatif dengan analisis laboratorium dan GIS. Uji laboratorium dilakukan terhadap sifat fisis batuan, mencakup tekstur, warna, medan magnet, radioaktivitas, penurunan suhu, dan massa jenis. Pemetaan spasial sebaran batuan dilakukan dengan analisis overlay dan pemodelan Sediment Transport Index (STI). Secara keseluruhan, penelitian ini mengumpulkan 56 sampel batuan. Area pemetaan batuan sepanjang pesisir pantai Kota Singkawang. Hasil penelitian menemukan di pantai Pasir Panjang terdapat jenis batuan, terdiri atas batuan metamorf (karang, sabak, pirofilit), beku (pasir, apung, skoria, latit), dan sedimen (gamping merah kapur, granit, batu belah). Analisis STI menunjukkan aktivitas sedimentasi dipengaruhi oleh dinamika formasi intrusi Sintang dan formasi Gunung Api Raya, yang berperan terhadap akumulasi mineral di kawasan pesisir. Keberagaman litologi ini memperkaya pemahaman mengenai evolusi geologi lokal serta menegaskan urgensi geokonservasi sebagai upaya strategis dalam pemanfaatan dan perlindungan geodiversitas untuk mendukung pariwisata berkelanjutan di Kota Singkawang.

**Kata kunci:** Geodiversitas, GIS, Sediment Transport Index, Pasir Panjang

**Abstract**

*Geodiversity assessment is recognized by UNESCO as a sustainable development concept, as it values both ecosystem services and associated cultural heritage. Singkawang City exhibits complex geodiversity from upstream to the coastal areas, making it both a tourism hub and a potential site for geoscience-based tourism development. This study aims to identify the distribution of rocks along Pasir Panjang Beach as a scientific basis to support geodiversity management strategies. The research employs a quantitative descriptive approach, integrating laboratory analysis and Geographic Information Systems (GIS). Laboratory tests were conducted on the physical properties of rocks, including texture, color, magnetic properties, radioactivity, thermal decline, and density. Spatial mapping of rock distribution was carried out using overlay analysis and Sediment Transport Index (STI) modeling. Overall, 56 rock samples were collected along the coastal mapping area of Singkawang City. The results indicate the presence of metamorphic rocks (coral, shale, pyrophyllite), igneous rocks (sandstone, pumice, scoria, latite), and sedimentary rocks (red limestone, granite, split stone) at Pasir Panjang Beach. STI analysis reveals that sedimentation is influenced by the dynamics of the Sintang*



*intrusive formation and the Raya Volcano formation, which play a role in mineral accumulation in the coastal zone. This lithological diversity enhances the understanding of local geological evolution and underscores the urgency of geoconservation as a strategic measure for sustainable utilization and protection of geodiversity, supporting sustainable tourism development in Singkawang City.*

**Keywords:** *Geodiversitas, GIS, Sediment Transport Index, Pasir Panjang*

**How to cite (in APA style):** Syahidin, U., Matsun, M., Putri, S. N., & Septianie, N. A. (2025). Analisis sebaran fisis batuan berbasis sistem informasi geografis (SIG) di pantai pasir panjang Kota Singkawang. *Jurnal Pendidikan Informatika Dan Sains*, 14(1), 175–183.

Copyright (c) 2025 Umar Syahidin, Matsun Matsun, Selshi Nabila Putri, Nadine Andara Septianie  
DOI: 10.31571/saintek.v14i1.9507

## PENDAHULUAN

Konvensi UNESCO tahun 1972 menekankan pentingnya pelestarian warisan budaya dan alam yang memiliki nilai universal luar biasa. Warisan alam mencakup kawasan dengan nilai ilmiah, estetika, atau konservasi yang signifikan. Dalam konteks tersebut, keanekaragaman geologi, yang mencakup geomorfodiversitas, memiliki peran fundamental dalam mendefinisikan layanan geosistem sebagai dasar perumusan kebijakan pembangunan berkelanjutan (Nieto, 2024). Morfologi sebagai elemen utama geodiversitas menggambarkan bentuk bentang alam beserta proses dan sejarah geologinya (Nemeth, 2022). Geodiversitas pada berbagai skala juga merupakan cerminan proses bumi masa lalu yang membentuk kondisi lingkungan saat ini (Gray, 2021).

Kota Singkawang, Kalimantan Barat, memiliki potensi geodiversitas lokal dan budaya yang tinggi, didukung oleh keberadaan jejak gunung api purba yang berperan dalam evolusi geologi regional (Zakharovskiy et al., 2022). Hal ini sejalan dengan peta geologi yang menunjukkan dominasi batuan terobosan, granitoid, dan endapan vulkanik. Studi petrologi dan geokimia granitoid juga mengonfirmasi pengaruh proses magmatik terhadap pembentukan lanskap (Aryanto et al., 2013). Dengan latar geologi yang kompleks tersebut, evaluasi geodiversitas pada skala lokal menjadi penting untuk memahami dinamika bentang alam serta potensi pemanfaatannya, di tengah meningkatnya aktivitas wisata alam seperti pantai, dan kunjungan terhadap obyek wisata Batu Belimbing yang mencatat lebih dari 120.000 pengunjung pada tahun 2023 (BPS, 2024).

Ketersediaan data geodiversitas di Kalimantan Barat masih sangat terbatas. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (GIS) memungkinkan inventarisasi geodiversitas dilakukan secara sistematis melalui analisis morfometri, pemetaan bentuk lahan, dan pengolahan model elevasi digital (Ferrando et al., 2021; Tukiainen et al., 2024). Beberapa penelitian sebelumnya yang berada di Kota Singkawang lebih menitikberatkan pada aspek geofisika, mineralogi, dan struktur bawah permukaan, seperti analisis dinamika tektonik regional (Imam, 2023), karakter mineral zirkon (Aryanto, 2010), dan pemetaan struktur menggunakan geolistrik (Arman, 2012). Namun, belum terdapat kajian mengenai keterhubungan proses hulu–hilir melalui analisis jalur transportasi sedimen.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi sifat fisis batuan di pesisir Singkawang melalui uji laboratorium dan memetakan pola Sediment Transport Index (STI) berbasis GIS sebagai representasi potensi jalur dan intensitas transportasi sedimen. Integrasi kedua pendekatan ini diharapkan tidak hanya memperkaya basis data geodiversitas, tetapi juga memberikan pemahaman awal mengenai sumber dan distribusi sedimen sebagai dasar identifikasi potensi sebaran mineral di wilayah pesisir Kota Singkawang.

## METODE

Penelitian yang dilakukan bersifat deskripsi kuantitatif, data yang diperoleh diidentifikasi untuk mengetahui sifat fisis batuan dengan parameter seperti tekstur, warna, medan magnet, radioaktif, penurunan suhu dan masa jenis batuan melalui uji laboratorium. Data dalam penelitian ini

menggunakan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari pengambilan sampel batuan dilapangan sepanjang pesisir Kota Singkawang, sementara data sekunder di peroleh dari Badan Informasi Geospasial dan Energi Sumber Daya Mineral melalui layanan portal webgis, serta beberapa data dari dinas terkait, Pengumpulan data primer dilakukan secara purposive, dengan lokasi sampel dipilih berdasarkan kriteria geomorfologi pesisir yang mencakup variasi bentang alam, seperti pantai berbatu, muara sungai, dan area batuan intrusi atau endapan vulkanik yang terlihat di permukaan. Pemilihan metode purposive dilakukan agar setiap titik sampel mewakili karakteristik geologi yang berbeda dan mempertimbangkan aksesibilitas.

Secara keseluruhan, penelitian ini mengumpulkan 56 sampel batuan yang tersebar pada sepanjang pesisir penelitian. Setiap sampel kemudian diuji di laboratorium menggunakan instrumen standar, meliputi hand lens dan microscope petrographic untuk analisis tekstur dan warna, magnetometer untuk pengukuran medan magnet, Geiger-Müller counter untuk aktivitas radioaktif, infrared thermometer untuk analisis penurunan suhu, serta pycnometer untuk pengukuran massa jenis batuan. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral melalui layanan webGIS, termasuk peta geologi, peta bentuklahan, dan citra DEM. Pada penelitian ini digunakan DEM dengan resolusi 30 meter. Pengolahan data spasial dilakukan menggunakan ArcGIS 10.3.

Untuk memastikan keandalan data, dilakukan proses validasi pada kedua jenis data tersebut. Validasi data primer dilakukan melalui (1) Pengulangan pengukuran sifat fisis di laboratorium untuk memastikan konsistensi nilai, (2) verifikasi posisi dan kondisi sampel dengan dokumentasi lapangan foto, koordinat GPS. Sementara itu, validasi data sekunder dilakukan dengan cara (1) mencocokkan kesesuaian layer spasial dari BIG dan ESDM dengan titik sampel lapangan, (2) memastikan metadata dan tahun perekaman data, dan (3) pengecekan silang (cross-checking) dengan peta geologi regional serta data dari instansi terkait untuk menghindari ketidaksesuaian informasi. Analisis dalam penelitian menggunakan analisis spasial menggunakan metode overlay dan pemodelan Sediment Transport Index (STI). Secara matematis untuk menghitung STI, digunakan Persamaan 1.

$$STI = \frac{A^m}{s} \cdot (\tan\beta)^n \quad (1)$$

Persamaan STI merupakan hasil kombinasi antara luas daerah tangkapan air spesifik dan kemiringan lereng. Komponen pertama, yaitu specific catchment area ( $A_s$ ), menggambarkan luas area yang berkontribusi mengalirkan air menuju suatu titik pada lereng per satuan panjang kontur. Semakin besar nilai  $A_s$ , maka semakin besar pula potensi aliran air yang dapat mengangkut sedimen. Komponen kedua adalah kemiringan lereng ( $\beta$ ), yang dihitung dalam bentuk fungsi trigonometri  $\tan \beta$ . Nilai ini menunjukkan tingkat curam suatu lereng; semakin curam, maka energi aliran permukaan semakin besar, sehingga potensi transportasi sedimen juga meningkat (Wang et al., 2022; Zhang et al., 2023).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Fisk Batuan Pantai Pasir Panjang

Berdasarkan hasil analisis uji fisis di Laboratorium sebaran batuan yang ada di sepanjang garis pantai Pasir Panjang Kota Singkawang menurut jenis batuan metamorf, beku dan sedimen memiliki nilai bervariasi. Adapun parameter yang di ukur antara lain Massa Jenis (MJ), Medan Magnet (MM), Perubahan Suhu (PS), Radioaktif (Rdk) serta warna dan tektur, disajikan pada Tabel 1 (batuan metamorf), Tabel 2 (batuan beku) dan Tabel 3 (batuan sedimen).

**Tabel 1. Hasil Identifikasi Sifat Fisis Sebaran Batuan Metamorf**

Kode	X	Y	MJ	MM	PS	Rdk	Fisik	Hasil	
Sampel	LS	LU	(Kg/m3)	(G)	(0C)	(uSv/hr)	Warna dan Komposisi	Jenis Batu	Tipe Batu
B3	108.88	0.85	195767	0.13	2.68	1	Coklat, Kasar Bertekstur	Beku	Batuan Pasir
B5	108.88	0.85	16720	1.8	2.69	0.16	Abu - Abu Terang, Kasar Tidak Bertekstur	Beku	Apung
B8	108.88	0.85	191705	1.8	3.56	0.13	Hitam, Kasar Bertekstur	Beku	Skoria
B9	108.88	0.85	209293	1.8	1.94	0.16	Abu – Abu, Kasar Sedikit Bertekstur	Beku	Latit

**Tabel 2. Hasil Identifikasi Sifat Fisis Sebaran Batuan Beku**

Kode	X	Y	MJ	MM	PS	Rdk	Fisik	Hasil	
Sampel	LS	LU	(Kg/m3)	(G)	(0C)	(uSv/hr)	Warna dan Komposisi	Jenis Batu	Tipe Batu
B1	108.879751	0.846088	193323	2.9	0.57	0.13	Jingga Kasar Tidak Mengkilat	Sedimen	Batu Gamping Merah Kapur
B4	108.881877	0.848179	214409	1.3	3.38	0.11	Abu – Abu Kasar Bertekstur	Sedimen	Granit
B10	108.881015	0.847289	184911	1.3	1.88	0.16	Coklat Abu, Kasar Tidak Bertekstur	Sedimen	Batu Belah

**Tabel.3 Hasil Identifikasi Sifat Fisis Sebaran Batuan Sedimen**

Kode	X	Y	MJ	MM	PS	Rdk	Fisik	Hasil	
Sampel	LS	LU	(Kg/m3)	(G)	(0C)	(uSv/hr)	Warna dan Komposisi	Jenis Batu	Tipe Batu
B2	108.880606	0.846898	17790	1.6	3.44	0.19	Putih, Kasar Bertekstur	Metamorf	Batu Karang
B6	108.880606	0.846898	21949	2.3	1.13	0.24	Abu - Abu Gelap Kasar Tidak Bertekstur	Metamorf	Sabak
B7	108.879751	0.846088	114109	2.6	1.75	0.19	Abu - Abu Muda Kasar Sedikit Bertekstur	Metamorf	Pirofilit

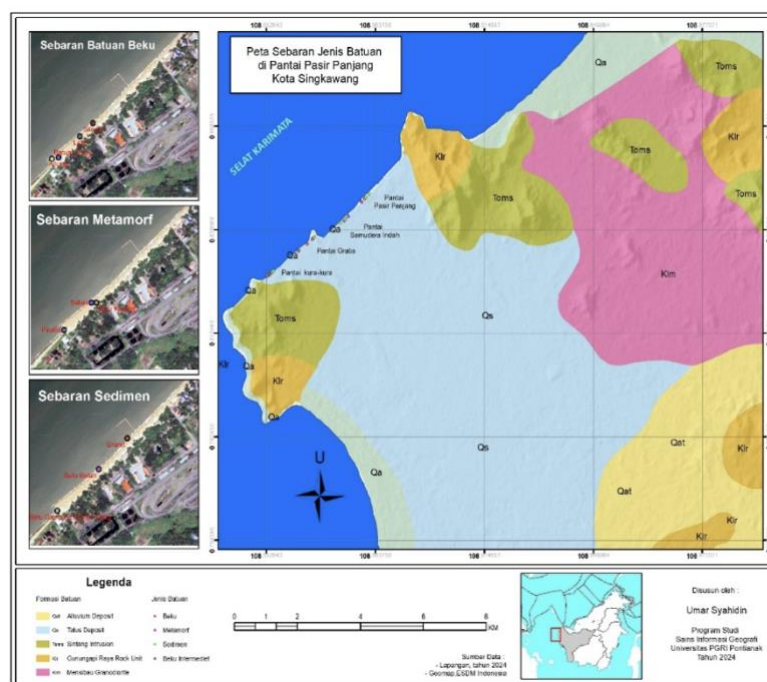
Dari total keseluruhan sampel di Pantai Pasir Panjang ditemukan berbagai jenis batuan yang dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori utama, yaitu batuan metamorf (batu karang, sabak, pirofilit), batuan beku (batuan pasir, batu apung, skoria, latit), dan batuan sedimen (batu gamping merah kapur, granit, batu belah). Keanekaragaman ini menunjukkan adanya proses geologi yang kompleks serta potensi keterkaitan dengan sumber batuan dari wilayah sekitarnya. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa batuan granitoid di daerah penelitian memiliki afinitas magma calc-alkaline series dengan karakter peraluminous hingga metaluminous, serta tergolong magnesian. Tipe granitoid yang berkembang antara lain granit kuarsa, syenogranit, monzogranit, granodiorit, dan diorit kuarsa. Identifikasi unsur jejak seperti Rb, Nb, Y, Ta, dan Yb semakin menegaskan adanya keterkaitan dengan tatanan tektonik pembentukannya.

### Analisis Spasial Sebaran Batuan

Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (GIS) untuk menelusuri asal-usul batuan yang terangkut ke wilayah pantai, dengan mengidentifikasi jenis batuan yang dipetakan secara spasial melalui alat bantu GIS sehingga pola distribusinya dapat dibandingkan dengan formasi geologi. Melalui analisis spasial, jalur potensial transportasi sedimen dan batuan dapat diperkirakan, baik yang berasal dari aliran sungai maupun proses gelombang laut. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Aryanto (2009) yang menganalisis 76 sampel sedimen dasar laut dan mengidentifikasi adanya akumulasi mineral kasiterit pada lembah purba. Dengan bantuan data seismik, Aryanto (2009) menunjukkan bahwa profil sungai purba di bagian utara berbentuk huruf U (stadium tua) sedangkan di bagian selatan berbentuk huruf V (stadium muda). Informasi tersebut, bila dipadukan dengan pemetaan GIS distribusi batuan di daratan, membuka peluang untuk menelusuri hubungan antara sumber batuan di darat dengan akumulasi mineral di laut. Pemetaan berbasis GIS memberikan gambaran asal batuan yang berpotensi terangkut ke wilayah pesisir. Hal ini bukan hanya bermanfaat bagi pemahaman geologi regional, tetapi juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi sumber daya mineral serta dinamika transportasi sedimen di kawasan Pantai.

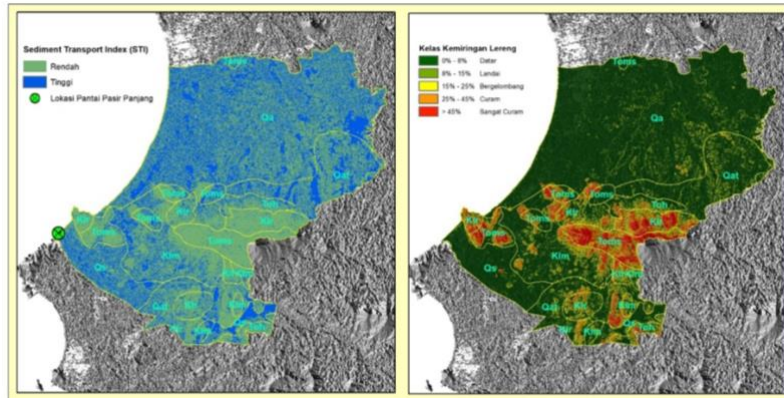
### Interpretasi STI Terhadap Dinamika Sedimentasi

Berdasarkan temuan dilokasi Pasir Panjang terdapat nilai radioaktif tinggi pada batuan pasir sebesar  $1 \mu\text{Sv/hr}$ , tingginya nilai pada batuan pasir di formasi tallus dapat diduga ada sistem lingkungan transportasi dan pelapukan yang mendukung konsentrasi elemen penyusun mineral tersebut dapat berasal dari batuan induk yang kaya kandungan radioaktif. Menurut Gambar 1. Peta Sebaran Batuan di Pantai Pasir Panjang Kota Singkawang, sampel batuan yang ditemukan berada di formasi Tallus Deposit di sekitar endapan alluvial, melihat posisi Pantai Pasir Panjang di ampit oleh dua formasi batuan Gunung Raya, keberadaan batuan jenis latit dan granit Pada Formasi Tallus kemungkinan berasal dari batuan beku pada formasi terobasan sintang yang terbawah oleh aliran air permukaan. Batuan Latit yang berada di pesisir Singkawang dapat mengidentifikasi bahwa ada sejarah geologi vulkanik yang terjadi dimana morfologi lereng yang curam dapat memfasilitasi erosi dan akumulasi material pada daerah endapan.



Gambar 1. Peta Sebaran Batuan di Pantai Pasir Panjang Kota Singkawang

Analisis faktor panjang dan kecuraman lereng (LS), yang dikenal sebagai Sediment Transport Index (STI), menunjukkan peran topografi dalam memengaruhi dinamika erosi dan sedimentasi di wilayah penelitian. Berdasarkan hasil pengolahan DEM 30 m, area kajian terbagi ke dalam kelas rendah hingga tinggi. Warna hijau pada peta STI menandakan kelas rendah, yang menunjukkan tingkat keaktifan sedimentasi relatif tinggi, sedangkan warna merah mengindikasikan kelas tinggi, yang merefleksikan kondisi lahan relatif tidak aktif dalam proses sedimentasi. Adapun Peta distribusi nilai STI dapat dilihat pada gambar berikut ini.



**Gambar 2. Peta Model Sediment Transport Index di daerah Penelitian**

Berdasarkan Gambar 2. Peta Model Sediment Transport Index di daerah Penelitian distribusi nilai STI tersebut memperlihatkan bahwa Formasi Terobosan Sintang menjadi salah satu elemen geologi yang berperan aktif dalam proses sedimentasi. Pola distribusi STI pada lokasi penelitian terhadap morfometri regional Singkawang-Sambas memiliki karakter lereng bergelombang hingga curam dan cenderung menghasilkan nilai specific catchment area yang besar sekaligus potensi erosi tinggi (Suryatmojo et al., 2015), sehingga memperkuat dugaan bahwa perbukitan di selatan Singkawang merupakan sumber utama material sedimen yang bergerak menuju pesisir. Hal ini disebabkan oleh kondisi topografinya yang didominasi kemiringan bergelombang, curam, hingga sangat curam. Pada zona dengan kecuraman tinggi, erosi tanah cenderung lebih intensif, sehingga material hasil pelapukan batuan induk dapat terangkut menuju daerah dengan elevasi yang lebih rendah. Proses ini membuka kemungkinan terjadinya akumulasi mineral tertentu, termasuk mineral yang mengandung unsur radioaktif alami, di dataran bawah akibat transportasi sedimen oleh aliran permukaan.



**Gambar 3. Penampakan dasar sungai sebagai tempat transportasi batuan yang berasal dari daerah Singkawang Selatan**

Temuan ini menunjukkan bahwa STI dapat digunakan sebagai indikator kuantitatif keterkaitan topografi dengan transportasi sedimen, di mana nilai tinggi menunjukkan kapasitas transportasi lebih besar, sementara nilai rendah lebih menggambarkan area deposisi (Tarigan et al., 2018). Dengan demikian, hasil analisis di lokasi penelitian mengindikasikan bahwa variabilitas topografi berperan penting dalam mengendalikan dinamika sedimen, serta menjelaskan hubungan antara proses geomorfologi dengan sebaran material batuan di sekitar Pantai Pasir Panjang.

Berdasarkan Gambar 3. fragmen batuan yang terbawa aliran dari daerah hulu, menunjukkan bahwa dasar sungai tidak hanya berfungsi sebagai jalur utama transportasi sedimen, tetapi juga berperan sebagai lokasi akumulasi pada segmen-segmen tertentu dengan gradien lereng rendah. Kondisi ini menunjukkan proses transportasi material padatan masih berlangsung aktif seiring dengan besarnya energi aliran permukaan. Hal ini berkaitan erat dengan karakteristik topografi yang curam serta tingginya *specific catchment area* (As), sehingga energi aliran mampu menggerakkan partikel berukuran lebih besar. Sebaliknya, area dengan nilai STI rendah lebih cenderung menjadi lokasi akumulasi sedimen. Kondisi ini umumnya ditemukan pada bagian lereng bawah hingga dataran sungai, di mana gradien lereng mengecil sehingga kecepatan aliran menurun dan material halus mengendap. Temuan ini menunjukkan kombinasi antara luas tangkapan spesifik dan kemiringan lereng secara signifikan berpengaruh terhadap distribusi spasial proses erosi-sedimentasi (Zhang et al., 2022)

## SIMPULAN

Hasil analisis GIS menerangkan bahwa dinamika formasi intrusi dan gunung api di sekitarnya berperan terhadap proses sedimentasi yang mengarah ke kawasan pesisir. Hasil identifikasi fisis batuan menunjukkan keberadaan batuan metamorf (karang, sabak, dan pirofilit), batuan beku (pasir, apung, skoria, dan latit), serta batuan sedimen (gamping merah kapur, granit, dan batu belah) yang berasosiasi di wilayah pesisir. Temuan penelitian ini memberikan dasar ilmiah awal yang dapat digunakan dalam perumusan kebijakan pengelolaan geodiversitas di Kota Singkawang. Keragaman litologi, pola transportasi sedimen, dan indikasi aktivitas intrusi serta vulkanisme purba menunjukkan bahwa kawasan pesisir Singkawang memiliki karakter geologi yang bernilai konservasi. Karena hingga kini belum terdapat kebijakan geokonservasi, hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung penyusunan langkah-langkah perlindungan dan pemanfaatan sumber daya geologi secara lebih terarah baik untuk perencanaan zonasi pesisir, mitigasi, atau identifikasi area yang memiliki potensi sebagai geosite berbasis bukti ilmiah, dan selaras dengan prinsip pembangunan keberlanjutan.

## REFERENSI

- Abayneh, T., & Desta, H. (2023). Soil erosion modeling and sediment transport index analysis using USLE and GIS techniques in Ada'a Watershed, Awash River Basin, Ethiopia. *Geoscience Letters*, 10(1).
- Aryanto, N. C. D., & Kurnio, H. (2010). Penyebaran dan karakteristik zirkon dasar laut sebagai endapan sekunder di perairan Singkawang dan sekitarnya, Kalimantan Barat. *Jurnal Geologi Indonesia*, 5(2), 127–135.
- Aryanto, N. C. D., Sarmili, L., Suparka, E., & Permana, H. (2015). Karakteristik intensitas radioaktivitas batuan dan sedimen terpilih di Pantai Sedau, Kalimantan Barat. *Eksplorium*, 36(2), 89–96.
- Aryanto, N. C. D., Suparka, E., Abdullah, I., & Permana, H. (2013). Petrology and geochemistry of Singkawang granitoid, West Kalimantan. In *Proceedings of the HAGI-IGI Joint Convention* (pp. xx–xx). Medan, Indonesia.
- Darlan, Y., Kamiludin, U., & Aryanto, N. C. D. (2012). Coastal dynamics of Singkawang, West Kalimantan. *Bulletin of the Marine Geology*, 27(2), 77–85.

- Ferrando, A., Faccini, F., Paliaga, G., & Coratza, P. (2021). A quantitative GIS and AHP-based analysis for geodiversity assessment and mapping. *Sustainability*, 13(18), 10315. <https://doi.org/10.3390/su131810315>
- Gray, M. (2021). Geodiversity: A significant, multi-faceted and evolving geoscientific paradigm rather than a redundant term. *Proceedings of the Geologists' Association*, 132(5), 605–619. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2021.05.001>
- Japan Aerospace Exploration Agency. (2021). *ALOS World 3D – 30 m DEM (Version 3.2)*. OpenTopography. <https://doi.org/10.5069/G94M92HB>
- Kurnio, H., Aryanto, N. C. D., & Hardjawidjaksana, K. (2011). The influence of sea-level changes on sea-bottom morphology of Singkawang waters, West Kalimantan, based on analyses of bathymetric and seismic data. *Bulletin of the Marine Geology*, 26(2), 87–98.
- Németh, K. (2022). Geoheritage and geodiversity elements of the SW Pacific: A conceptual framework. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 10(4), 523–545. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2022.08.001>
- Nieto, L. M. (2024). Geodiversity as a tool for nature conservation. In A. Vieira & R. A. Oyguc (Eds.), *Current perspectives on applied geomorphology* (pp. 1–22). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.XXXXX>
- Quesada-Valverde, M., & Quesada-Román, A. (2024). Inventory and assessment of geosites to promote geotourism in Coto Brus, Costa Rica. *Geomorphology*, 470, 109531. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109531>
- Setiadi, I., Setiawan, A., & Iskandar, M. A. S. (2023). Interpretasi geologi Cekungan Singkawang, Kalimantan Barat, berdasarkan analisis data gayaberat dan seismik. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 24(2), 59–70.
- Setijadji, L. D., Nabawi, N. R., & Warmada, I. W. (2014). Komposisi mineral berat dalam endapan pasir kuarsa di Kalimantan Barat berdasarkan studi kasus di daerah Singkawang dan sekitarnya. In *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-7* (pp. xx–xx). Universitas Gadjah Mada.
- Setijadji, L. D., Erzagian, E., & Warmada, I. W. (2016). *Studi petrogenesis di daerah Singkawang dan sekitarnya, Provinsi Kalimantan Barat* [Undergraduate thesis, Universitas Gadjah Mada]. <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- Suryatmojo, H., Yuwono, S. B., Kato, T., & Harjadi, B. (2015). Predicting soil erosion in tropical rainforest areas using GIS-based RUSLE model. *Journal of Natural Resources and Development*, 5, 35–44. <https://doi.org/10.5027/jnrd.v5i0.07>
- Tukiainen, H., Maliniemi, T., Brilha, J., Alahuhta, J., & Hjort, J. (2024). A framework for quantifying geodiversity at the local scale: A case study from the Rokua UNESCO Global Geopark. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 382, 20230059. <https://doi.org/10.1098/rsta.2023.0059>
- Wang, S., Liu, B., & Ma, X. (2022). Evaluation of sediment transport capacity indices under different topographic conditions using GIS-based models. *Catena*, 212, 106061. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106061>
- Zakharovskyi, V., Németh, K., Gravis, I., & Twemlow, C. (2022). Geoconservation research: Concepts and applications. *Geoconservation Research*, 5(1), 59–88.
- Zhang, H., Li, Y., & Chen, J. (2023). Assessment of topographic influence on soil erosion and sediment transport using a modified sediment transport index. *Journal of Hydrology*, 617, 129030. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129030>