

KARAKTERISTIK LINGKUNGAN DI PERAIRAN UTARA PULAU AMBON: BESAR BUTIR DAN RASIO UNSUR

(ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS IN NORTHERN WATERS OF AMBON ISLAND: GRAIN SIZE AND ELEMENTS RATIO)

Yani Permanawati^{1*}, Salma Munadhiva², Godwin Latuputty¹, Imelda Silalahi¹, Ghefira Yassirli², Muhammad Raihan², dan Ani Haryati²

¹ Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Djunjunan No. 236

² Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia

*yani.permanawati@esdm.go.id

Diterima : 10 Januari 2025 Disetujui : 17 November 2025

ABSTRAK

Perairan Teluk Piru merupakan wilayah pesisir di utara Pulau Ambon yang memiliki sumber daya laut potensial. Interaksi daratan, laut dan udara menyebabkan variabilitas substrat dan komponen sedimen di perairan ini memiliki karakteristik. Sampel sedimen yang digunakan merupakan hasil *grab sampler*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik lingkungan di perairan utara Pulau Ambon berdasarkan: pertama, sebaran spasial besar butir melalui analisis hasil metode *Particle Size Analyzer* (PSA); kedua untuk indikasi lingkungan pengendapan melalui analisis rasio unsur dari *X-ray Fluorescence* (XRF), dan ke tiga, untuk mengetahui komposisi sedimen dasar laut berdasarkan hasil pengamatan kaca preparat (*smear slices*) secara mikroskopis. Adapun uji statistik untuk membantu menentukan keterkaitan karakteristik sedimen menggunakan multivariat statistik *Principal Components Analysis* (PCA). Karakteristik lingkungan di lokasi penelitian terdapat 2 (dua) klaster, yaitu karakteristik satu menunjukkan pengaruh daratan ($\ln K/Ti$) tidak terlihat signifikan, dan karakteristik lainnya menunjukkan pengaruh daratan relatif meningkat ($\ln K/Ti$). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran butir sedimen bervariasi mulai dari lumpur hingga kerikil, dengan dominasi pasir. Pola perubahan lingkungan terlihat seragam antara data indikasi presipitasi ($\ln Ti/Ca$) dengan data indikasi kelimpahan biogenik dalam sedimen ($\ln K/Ca$), tetapi tidak tercermin dalam pola

pengaruh daratan ($\ln K/Ti$). Penguatan interpretasi pengaruh daratan relatif meningkat terlihat dalam sampel sedimen SAS-51 dan SAS-55, yaitu adanya nilai kelimpahan komposisi sedimen dengan komponen lithik dan mineral yang relatif mendominasi perairan (70-75%) dari pada komposisi biogenik (15-28%).

Kata kunci: karakteristik, lingkungan pengendapan, analisis data primer, kelimpahan, komposisi sedimen

ABSTRACT

Piru Bay waters are a coastal area in the north of Ambon Island that has potential marine resources. The interaction of land and sea and the flow of the Eti River cause variability in substrate and sediment components in these waters. This study analyzes the environmental characteristics of the northern waters of Ambon Island. It uses three methods: grain size is measured using the Particle Size Analyzer (PSA); elemental ratios are analyzed from X-ray Fluorescence (XRF); and microscopic observation of smear slices is used to determine seabed sediments. The relationship of sediment characteristics is analyzed using multivariate statistics: Principal Components Analysis (PCA). The results indicate that the sediment grain size ranges from mud to gravel, with sand being the predominant type. The study site has two clusters of environmental characteristics: one showing no significant land influence ($\ln K/Ti$) and the other showing a relatively increasing land influence ($\ln K/Ti$). The pattern of environmental change is uniform between data indicating precipitation ($\ln Ti/Ca$) and data indicating biogenic abundance in sediments ($\ln K/Ca$), but is not reflected in the pattern of land influence ($\ln K/Ti$). Supporting the interpretation of a relatively increasing terrestrial influence is seen in sediment samples SAS-51 and SAS-55, namely the presence of relatively higher abundance values of lithic and mineral component composition in the sediments (70-75%) than biogenic composition (15-28%).

Keyword: characteristics, depositional environment, analysis of primary data, abundance, composition

PENDAHULUAN

Pesisir Ambon termasuk Teluk Piru mengalami tekanan lingkungan baik melalui faktor alami ataupun aktivitas antropogenik, seperti reklamasi, abrasi, dan perubahan garis pantai. Meskipun kawasan ini memiliki dinamika oseanografi dan geologi yang kompleks, informasi mengenai karakteristik sedimen dasar laut, terutama terkait ukuran butir dan kandungan unsur geokimia masih terbatas. Kurangnya data tersebut menyulitkan pemahaman terhadap proses-proses sedimentasi, potensi pencemaran, dan perubahan lingkungan yang sedang berlangsung. Oleh karena itu, diperlukan kajian mendalam untuk menganalisis kondisi lingkungan perairan ini berdasarkan karakteristik sedimen, guna mengisi kekosongan data dan mendukung pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan.

Karakteristik lingkungan sedimen sangat berkaitan dengan faktor fisik, kimia, geologi serta biologi dalam perairan yang dapat memengaruhi distribusi dan sifat sedimen di dasar laut. Detail komponen sedimen dapat bervariasi tergantung pada lokasi dan kondisi lingkungan saat sedimen terdeposisi atau terendapkan. Kondisi geologi merupakan salah satu penentu prediksi jenis batuan yang terdapat di perairan tersebut. Faktor

lingkungan, seperti: salinitas, temperatur, arus, dan pasang surut dapat memengaruhi distribusi dan karakteristik sedimen. Analisis besar butir (*grain size*) berhubungan erat dengan sumber sedimen dan proses transportasinya (Permanawati dkk, 2016).

Analisis sedimen laut dapat dilakukan menggunakan sebaran sedimen permukaan atau sedimen inti (*core*). Sedimen permukaan dianalisis untuk memprediksi kondisi perairan saat sedimen terendapkan (*recent*), sementara sedimen inti dianalisis secara vertikal untuk memprediksi rekam sedimen terhadap perubahan lingkungan saat sedimen terendapkan (*paleo*). Analisis sedimen laut telah banyak dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. Beberapa diantaranya Martins (2003) menerangkan analisis *recent* dan besar butir (*grain size*) sedimen, Pinet (2014) untuk mengetahui sumber asal sedimen, Sanchez dkk. (2013) untuk memprediksi distribusi dan komposisi sebagai implikasi dari kondisi paleoseanografi, serta Permanawati dkk. (2016) untuk memperkirakan perubahan lingkungan.

Perairan Teluk Piru terletak di sebelah selatan Pulau Seram dan memisahkan Pulau Seram dari Pulau Ambon. Lokasi penelitian karakteristik lingkungan merupakan bagian kecil dari perairan Teluk Piru-di utara Pulau Ambon dengan kedalaman

yang bervariasi dan kemiringan lereng perairan mulai dari agak curam ($4-16^{\circ}$) hingga curam ($16-35^{\circ}$) (Permanawati dkk., 2024). Kondisi kemiringan lereng tersebut dapat memengaruhi pola arus serta distribusi dan deposisi sedimen. Pada perairan Teluk Piru ditemukan Batuan Gunung Api Ambon (Tpav) yang mendominasi daratan Pulau Ambon, sebagian kecil ditemukan Granit (Ti(d,g)) dan Batuan Ultramafik (JKu). Batu Gamping Koral (Ql) mendominasi wilayah pesisir Pulau Ambon, sebagian kecil ditemukan Endapan Aluvium (Qa) terutama di wilayah survei antara Sai sampai Mamala (Peta Geologi, Tjokrosoepoetro dkk., 2011; Permanawati dkk., 2024). Karakteristik sedimen dasar laut di Teluk Piru Ambon dapat diperkirakan, karena adanya interaksi antara kondisi lingkungan alami, rekayasa manusia (seperti reklamasi), dan dinamika pantai.

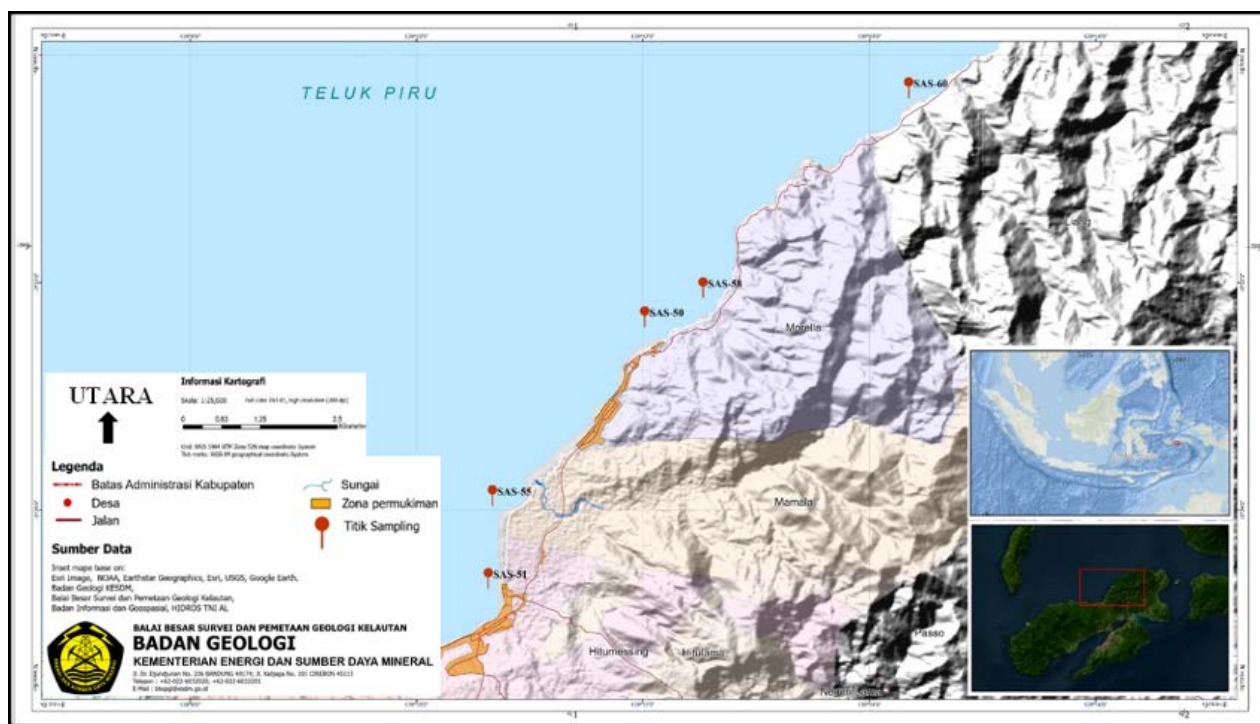
Dinamika pantai di perairan Teluk Piru utara Ambon melibatkan proses alami yang terjadi akibat interaksi kompleks antara laut dan daratan. Variabilitas substrat dan komponen sedimen menunjukkan kompleksitas deposisi sedimen di daerah ini. Pengayaan data untuk mengenal kondisi lingkungan geologi kelautan dari hasil analisis karakteristik sedimen dasar laut di perairan utara Pulau Ambon masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik lingkungan di perairan utara Pulau Ambon berdasarkan sebaran spasial besar butir dan rasio unsur dari sampel sedimen dasar laut.

METODE

Penelitian dilakukan di perairan utara Pulau Ambon, tepatnya berada pada koordinat lintang (*latitude*) 128.171887° - 128.239153° LS dan koordinat bujur (*longitude*) -3.581098° - -3.506402° BT dengan lima lokasi titik sampel, yaitu SAS-50, SAS-51, SAS-55, SAS-58, dan SAS-60 (Gambar 1). Sampel air laut diukur untuk mengetahui rona awal lingkungan perairan yang kemungkinan dapat memengaruhi proses pembentukan agregat sedimen laut. Sampel sedimen diambil menggunakan alat *grab sampler* yang diambil dari atas kapal survei tim mitigasi dan kebencanaan Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi kelautan (BBSPGL) pada bulan Juni 2024.

Pengujian seluruh parameter pada sampel penelitian dilakukan di BBSPGL Bandung. Metode penelitian yang dilakukan adalah uji fraksi sedimen menggunakan metode *Particle Size Analyzer* (PSA) dan uji unsur dalam sedimen menggunakan metode *X-ray Fluorescence* (XRF). Penguatan data komposisi sedimen menggunakan metode analisis komposisi sedimen dasar laut secara umum dari kaca preparat (*smear slices*). Kemudian, *smear slice* sedimen diamati di bawah mikroskop tipe *Digital Microscope HIROX RH-2000* dengan perangkat *software*.

Nilai unsur pada sedimen yang terukur oleh XRF masih menyatakan jumlah nilai bias. Perhitungan rasio kelimpahan unsur (ln-rasio) digunakan untuk mengatasi efek bias karena matrik



Gambar 1. Lokasi Sampel Sedimen

dari nilai XRF, dapat diatasi berdasarkan Persamaan (1) yang diajukan oleh Weltje & Tjallingii (2008) sebagai berikut:

$$\ln \ln \left(\frac{u_1}{u_2} \right) = r * \ln \left(\frac{p_1}{p_2} \right) \frac{p_1}{p_2} \quad (1)$$

kemudian dinormalkan dengan hasil kali dari nilai korelasi masing-masing unsur yang digunakan (Weltje dan Tjallingii (2008); Permanawati dkk. 2016), yaitu dengan: r = korelasi antar unsur 1 dan 2, P_1 = unsur pembilang hasil XRF, P_2 = unsur penyebut hasil XRF, U_1 = unsur pembilang rasio, dan U_2 = unsur penyebut rasio.

Langkah akhir dalam interpretasi persamaan karakteristik lingkungan adalah dengan menggunakan multivariat statistik *Principal Components Analysis* (PCA). Selain itu, metode *clustering classical* dendrogram (jarak kesamaan atau kemiripan) digunakan untuk mengelompokkan stasiun yang memiliki kemiripan karakteristik. Menurut Bengen (2000) semakin besar kesamaan atau kemiripan karakter sedimen, maka semakin dekat jarak kesamaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji dari 5 (lima) sampel sedimen dasar laut diperoleh melalui uji megaskopis dan mikroskopis (Tabel 1) dengan sisa persentasi (dari 100%) dianggap sebagai persentasi matrik pengotor dalam sedimen. Adapun hasil uji ukuran butir dan jenis sedimen menggunakan PSA dan XRF dapat dilihat pada Tabel 2.

Karakteristik Sedimen

Reaksi geokimia di laut tidak dapat lepas dari faktor yang memengaruhi diantaranya temperatur, salinitas, dan pH. Ketiga parameter ini saling berinteraksi dan memengaruhi kualitas air dan karakteristik sedimen di lokasi penelitian. Pembentukan agregat sedimen laut melibatkan beberapa proses geologis dan kimia yang kompleks (Burd dan Jackson, 2009). Kondisi perairan tersebut dapat memengaruhi kehidupan organisme bentik dan kontribusinya terhadap pembentukan komposisi dalam sedimen.

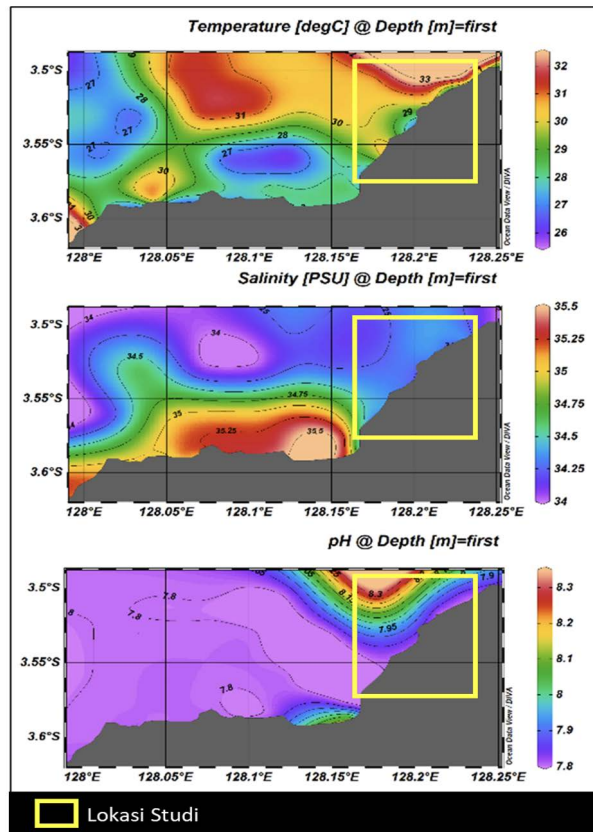
Data pengukuran parameter temperatur, salinitas, dan pH menggunakan data hasil pengukuran langsung (*in situ*) terlihat pada Gambar 2. Sebaran nilai temperatur air laut berkisar antara 25-32°C, nilai salinitas berkisar antara 33-35 PSU, sedangkan nilai pH air laut berkisar antara 7-8,5. Kualitas lingkungan di area penelitian (Gambar 2) menggambarkan kondisi perairan yang relatif masih

alami dengan nilai masih relatif aman dalam batas nilai baku mutu yang berlaku (PP RI No. 22, 2021).

Temperatur, salinitas, dan pH tidak hanya memengaruhi kualitas air, tetapi juga keberlangsungan hidup bagi organisme laut. Nilai temperatur yang berkisar 25-30 °C di perairan utara Ambon masih sesuai untuk kehidupan vegetasi mangrove (28-32 °C), lamun dan karang (28-30 °C) (PP RI No. 22, 2021). Hasil pengukuran temperatur di lokasi penelitian relatif sama seperti penelitian Badu dkk. (2022) yang menunjukkan bahwa temperatur di Teluk Piru adalah 27-33 °C dan masih termasuk dalam batas optimum pertumbuhan mangrove. Begitu pula dengan salinitas dan pH hasil pengukuran menunjukkan nilai yang optimum bagi pertumbuhan mangrove, lamun, dan karang (Bengen, 2009). Oleh karena itu, kondisi perairan utara Pulau Ambon yang masih alami ini dapat mengindikasikan ekosistem yang diminati untuk keberlangsungan hidup organisme laut. Interaksi antara parameter temperatur, salinitas, dan pH di dasar laut adalah kunci untuk memahami dinamika ekosistem laut.

Di lain sisi, parameter pH memainkan peran krusial dalam pembentukan agregat sedimen laut dengan memengaruhi adanya adsorpsi nutrisi, stabilitas mikroorganisme, reaksi kimia dalam sedimen, serta proses pengendapan. Pada nilai pH tertentu, ukuran agregat dan jarak antar agregat dalam sedimen dapat berubah, memengaruhi turbiditas dan daya larut. Hal ini selaras dengan pernyataan Sari (2018) yang menyatakan bahwa nilai pH dapat berpengaruh terhadap mikrostruktur, daya larut, sedimentasi, dan turbiditas larutan. Hasil uji fraksi butir sedimen, persentase kandungan litik dan mineral, serta komponen biogenik di perairan utara Ambon ditunjukkan pada Tabel 1.

Hasil pengujian pada kelima sampel sedimen menunjukkan bahwa karakteristik sedimen di perairan utara Ambon memiliki warna dominan coklat kekuningan dengan ukuran butir pasir kasar hingga halus. Komponen sedimen sebagian besar merupakan komponen litik dan mineral dengan persentase 50-75% dan komponen biogenik yang didominasi oleh pecahan cangkang sebesar 15-46%. Hal ini menunjukkan bahwa komponen sedimen di perairan utara Ambon cukup bervariasi akibat pengaruh geologi dan biologis. Interpretasi komposisi sedimen dasar laut yang bervariasi di lokasi penelitian selaras dengan pernyataan Folk dan Ward (1957) serta Zuraida dkk (2017) yang menyatakan bahwa variasi komposisi sedimen dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti: geologi,



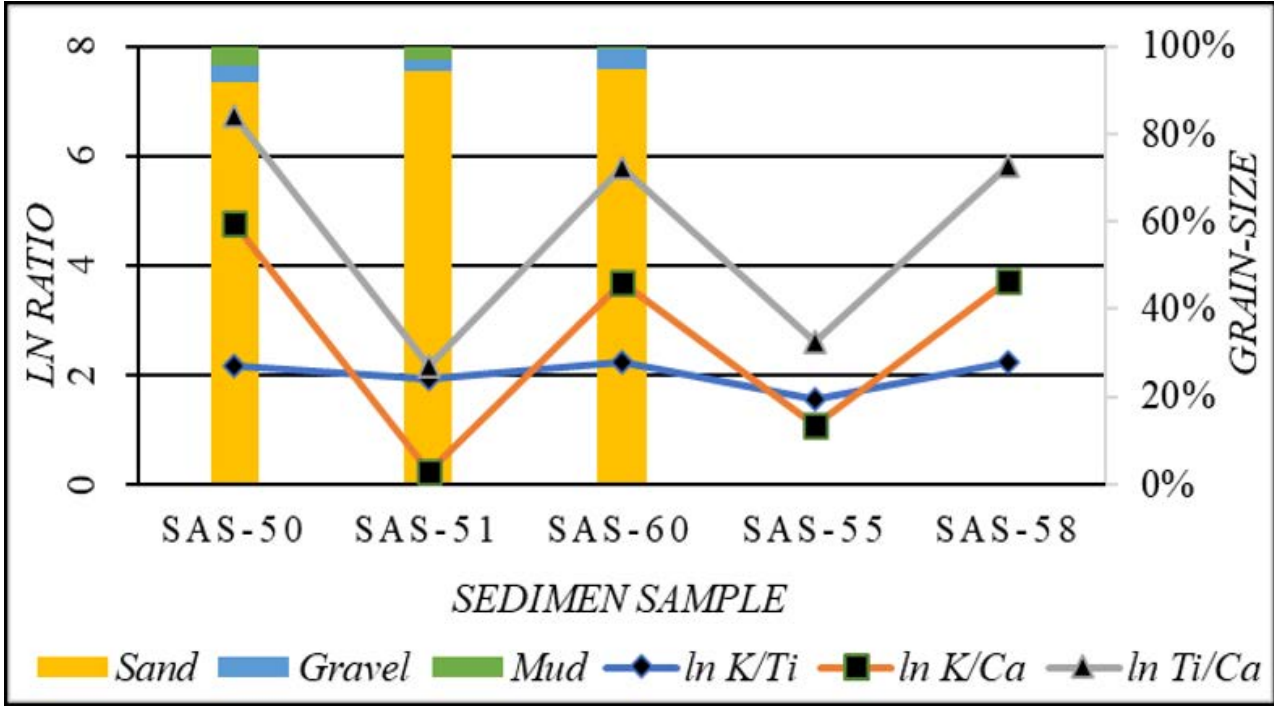
Gambar 2. Sebaran nilai temperatur, salinitas, dan pH di permukaan perairan utara Pulau Ambon menggunakan alat ukur kualitas air secara menerus. Pengolahan data menggunakan software Ocean Data View (Permanawati dkk., 2024)

Tabel 1. Hasil uji megaskopis dan mikroskopis terhadap 5 (lima) sampel sedimen dasar laut dari perairan utara Pulau Ambon. Sampel sedimen diambil dari perairan yang memiliki kedalaman kurang dari 100 m.

Kode Sampel	Warna	Bentuk Butir	Ukuran Butir		Komponen Litik dan Mineral	Komponen Biogenik
SAS-50	Coklat kekuningan	Membundar tanggung	Pasir kasar	sangat hingga pasir sangat halus	50%	46%
SAS-51	Coklat kekuningan	Membundar tanggung	Pasir halus	kasar hingga pasir halus	75%	15%
SAS-55	Kuning kecoklatan	Membundar tanggung	Pasir kasar	sangat hingga pasir sangat halus	70%	28%
SAS-58	Coklat kekuningan	Butir menyduut tanggung	Pasir kasar	hingga halus	55%	43%
SAS-60	Kuning kecoklatan	Membundar tanggung	Pasir kasar	hingga halus	58%	40%

Tabel 2. Hubungan ukuran butir sedimen terhadap perubahan nilai rasio kelimpahan unsur yang teridentifikasi dalam sedimen dasar laut dari perairan utara Pulau Ambon

Sempel Sedimen	Kategori	Pasir	Kerikil	Lumpur	In K/ Ti	In K/Ca	In Ti/Ca
SAS-50	Gravelly sand	91,80	3,60	4,60	2,168	4,769	6,742
SAS-51	Slightly Gravelly Sand	94,40	2,70	3,00	1,938	0,222	2,171
SAS-55	Gravelly Sand	94,60	4,60	0,70	2,231	3,697	5,782
SAS-58	Grain size was >2 mm (as the limit of the PSA tool's test capability)				1,571	1,065	2,603
SAS-60					2,240	3,731	5,824



Gambar 3. Grafik hubungan ukuran sedimen dengan ln rasio pada sampel penelitian

morfologi, dan proses sedimentasi. Umumnya, sedimen dasar laut terdiri dari: pertama, material biogenik seperti cangkang dan fragmen organisme laut; kedua, material silikat yang berasal dari pelapukan batuan di darat dan dapat mengandung mineral, seperti: batuan lithik, kuarsa, feldspar, dan lainnya; serta ketiga, material lain dalam sedimen berupa material pengotor sebagai matrik (Pinet, 2014; Permanawati dkk., 2016).

Hasil analisis ukuran butir sedimen dan rasio kelimpahan unsur yang ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa sedimen dasar laut di perairan utara Ambon didominasi oleh fraksi

pasir dengan kisaran terendah 91,8% hingga 94,6%. Kandungan lumpur relatif sangat rendah (<5%), mengindikasikan lingkungan memiliki energi tinggi yang memungkinkan hanya partikel kasar (pasir dan kerikil) yang dapat diendapkan.

Distribusi rasio unsur dalam bentuk logaritma natural (ln) seperti ln K/Ti, ln K/Ca, dan ln Ti/Ca memberikan gambaran lebih lanjut mengenai sumber material sedimen. Sampel SAS-50 dan SAS-55 menunjukkan nilai rasio ln K/Ca dan ln Ti/Ca yang tinggi, mengindikasikan dominasi input daratan, terutama dari batuan vulkanik yang kaya akan unsur Ti dan K. Sebaliknya, SAS-51 memiliki

rasio $\ln K/Ca$ yang sangat rendah (0,222), menunjukkan adanya peningkatan signifikan unsur Ca yang diduga berasal dari unsur biogenik seperti cangkang organisme laut (kalsit) yang berasosiasi dengan lingkungan perairan yang lebih tenang dan kaya akan organisme.

Rompas dan Rumampuk (2014) berpendapat bahwa karbon biogenik adalah karbon yang berasal dari aktivitas biologis, terutama dari proses dekomposisi bahan organik dalam kondisi anaerobik. Dalam konteks sedimen, keberadaan karbon biogenik dapat menunjukkan potensi pembentukan gas metana. Karbon ini terkandung dalam struktur atau material biologis, seperti cangkang, tubuh organisme, dan bahan organik yang diproduksi oleh organisme hidup melalui fotosintesis atau proses biologis lainnya.

Sampel SAS-60 dan SAS-58 memiliki rasio $\ln K/Ti$, $\ln K/Ca$, dan $\ln Ti/Ca$ yang tinggi walaupun data ukuran butir tidak lengkap (SAS-58 bahkan melampaui batas kemampuan pengukuran PSA) yang mengindikasikan dominasi fraksi kasar dengan pengayaan unsur terrigenik. Hal ini sejalan dengan karakteristik batuan penyusun di daratan Pulau Ambon dan sekitarnya yang bersifat vulkanik dan ultramafik, sebagai sumber utama K dan Ti .

Batuan lithik dalam sedimen dasar laut terdiri dari material padat yang berasal dari proses geologi, seperti pelapukan dan pengendapan. Batuan ini sering kali mengandung mineral-mineral yang memberikan informasi tentang asal usul dan sejarah geologi area tersebut. Batuan lithik biasanya terdiri dari fragmen-fragmen batuan yang terpecah dari batuan yang lebih besar, seperti batuan beku, metamorf, atau sedimen lainnya. Fragmen batuan dapat berupa potongan-potongan granit, basalt, atau batuan lainnya yang terkikis dan dibawa ke laut. Variasi komposisi batuan lithik dalam analisis sedimen dapat memengaruhi sifat fisik dan kimia sedimen, serta interaksi dengan komponen organik dan mineral lainnya. Dengan demikian, hubungan antar ukuran butir dan rasio unsur mencerminkan proses sedimentasi dan sumber material sedimen, dengan fraksi pasir dan kerikil cenderung berkorelasi dengan pengayaan unsur terrigenik (daratan), sedangkan peningkatan unsur biogenik (Ca) cenderung menurunkan rasio $\ln K/Ca$.

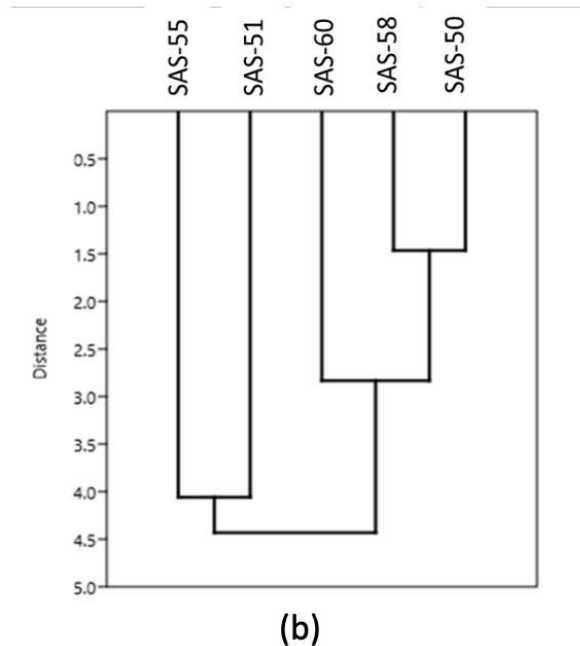
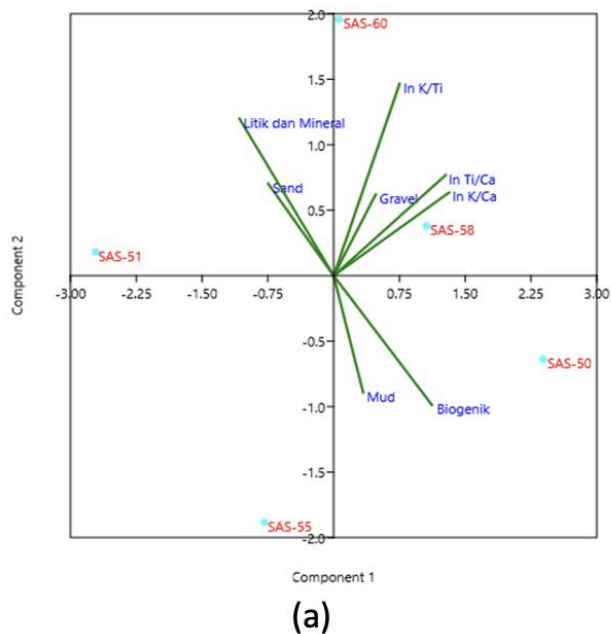
Keterkaitan Karakteristik Sedimen

Indikasi karakteristik sedimen perairan utara Pulau Ambon dianalisis menggunakan perhitungan \ln -rasio antara unsur K (Kalium/Potasium), Ti (Titanium), dan Ca (Kalsium), kemudian dinormalkan menggunakan nilai korelasi masing-

masing unsur tersebut. Perhitungan \ln -rasio antar unsur geokimia ($\ln K/Ti$ dan $\ln K/Ca$) dan $\ln Ti/Ca$ dapat digunakan untuk menginterpretasikan sumber sedimen (daratan atau laut), proses pelapukan, hingga dominasi biogenik atau mineral anorganik dalam endapan yang terjadi di dasar laut perairan Teluk Piru utara Pulau Ambon. Nilai *correlation matrix* (Pearson (n)) antar masing-masing unsur yang digunakan, sebesar: 0,9235 untuk normalisasi pada $\ln K/Ti$; -0,9331 untuk normalisasi pada $\ln Ti/Ca$; dan -0,9778 untuk normalisasi pada $\ln K/Ca$. Hasil perhitungan selanjutnya tercermin pada $\ln K/Ti$ sebagai indikator pengaruh daratan, $\ln Ti/Ca$ sebagai indikator presipitasi, dan $\ln K/Ca$ sebagai indikator biogenik dalam sedimen (Permanawati dkk., 2016, Zuraida dkk., 2017; Routson dkk., 2017). Ketergantungan analisis rasio unsur dalam memilih pembilang atau penyebut, memiliki aturan tidak standar (Weltje dan Tjallingii, 2008; Hennekam dan Lange, 2012).

Secara umum, hasil interpretasi menunjukkan bahwa keterkaitan karakteristik sedimen antar sampel terlihat pada Gambar 4, baik melalui analisis PCA (Gambar 4a) maupun hasil klusterisasi hierarkis (Gambar 4b). Dua komponen utama hasil PCA mampu menjelaskan 87,59% variasi data, dengan komponen pertama (*Component 1*) memberikan kontribusi sebesar 56,975% (*eigenvalue* = 3,703) dan komponen kedua (*Component 2*) sebesar 30,619% (*eigenvalue* = 1,990). Nilai *eigen* merupakan nilai yang menunjukkan seberapa besar variabilitas data yang dapat dijelaskan oleh masing-masing *Principal Component* (PC). Artinya mengidentifikasi bahwa kedua komponen sudah cukup representatif untuk menggambarkan variasi dominan dalam data karakteristik sedimen di lokasi penelitian.

Grafik biplot PCA (Gambar 4a), sampel-sampel yang memiliki karakteristik sedimen serupa cenderung terletak saling berdekatan, sedangkan yang memiliki perbedaan akan terlihat berjauhan. Hubungan antar parameter juga ditunjukkan oleh arah dan panjang vektor yang menggambarkan kekuatan kontribusi masing-masing variabel terhadap perbedaan antar sampel. Sementara itu pada dendrogram (Gambar 4b), semakin kecil jarak vertikal antar cabang menunjukkan semakin besar tingkat kemiripan antar sampel. Hal ini sejalan dengan prinsip dalam analisis kluster, bahwa semakin semakin besar kesamaan karakteristik sedimen antar lokasi, maka jarak kesamaan (*similarity distance*) akan semakin dekat (Bengen, 2000; Permanawati dkk., 2016).



Gambar 4. Keterkaitan karakter sedimen antar parameter *variant*. (a). Pola biplot komponen yang berpengaruh kuat. (b). Dendrogram hasil *cluster*.

Hasil analisis (Tabel 2) menunjukkan adanya kemungkinan pengaruh kuat dari lautan dengan satuan besar butir (*grain size*) berukuran pasir (*sand*) jauh lebih banyak dari ukuran kerikil (*gravel*) ataupun lumpur (*mud*). Gambar 4a memperlihatkan biplot dua komponen utama hasil PCA yang menjelaskan sebagian besar variasi data. Vektor menunjukkan arah dan kekuatan kontribusi masing-masing parameter terhadap komponen utama. Unsur-unsur geokimia, seperti: $\ln K/Ti$, $\ln K/Ca$ dan $\ln Ti/Ca$ berada pada arah yang relatif berdekatan, yang mengindikasikan keterkaitan sumber sedimen dari material daratan, khususnya hasil pelapukan batuan silikat dan vulkanik. Sebaliknya, parameter seperti biogenik dan lumpur berada pada arah yang berlawanan terhadap kerikil, pasir, dan $\ln K/Ti$ yang menunjukkan adanya perbedaan sumber atau proses sedimentasi (presipitasi). Arah dan posisi sampel pada grafik biplot (Gambar 4a) memperlihatkan variasi karakteristik sedimen. SAS-60 cenderung terkait dengan parameter $\ln K/Ti$ dan kerikil, mengindikasikan dominasi material kasar dan input daratan tinggi. SAS-50 berasosiasi dengan parameter biogenik dan $\ln K/Ca$ yang menunjukkan kontribusi karbonat dari organisme laut cukup tinggi. SAS-55 berada pada arah parameter lumpur yang

menunjukkan dominasi sedimen halus di lokasi tersebut.

Berdasarkan hasil olah kemiripan antar stasiun yang terlihat pada *cluster* dendrogram (Gambar 4b) perubahan lingkungan di lokasi penelitian menyebabkan terbentuknya 2 (dua) klaster dengan karakteristik lingkungan yang berbeda, yaitu klaster pertama yaitu stasiun yang dipengaruhi oleh daratan dan klaster kedua merupakan kelompok stasiun tanpa pengaruh daratan. Klaster pertama yaitu dengan karakteristik yang menunjukkan pengaruh daratan ($\ln K/Ti$) tidak tercermin pada lokasi SAA-50, SAA-58, dan SAA-60, sedangkan karakteristik lainnya menunjukkan pengaruh daratan relatif meningkat ($\ln K/Ti$) yang tercermin pada klaster lokasi kedua yaitu SAA-51 dan SAA-55. Hal ini diperkuat dengan hasil analisis pengamatan kaca preparat (*smear slices*) pada stasiun SAA-51 dan SAA-55 yang menunjukkan nilai kelimpahan komposisi komponen lithik dan mineral dalam sedimen yang relatif besar (70-75%) dari pada komposisi biogenik. Perbedaan karakteristik antar sampel sedimen ini menunjukkan bahwa dinamika lingkungan perairan utara Ambon cukup kompleks, melibatkan interaksi antara input daratan, aktivitas biogenik di perairan, serta variasi energi lingkungan

seperti arus dan gelombang yang memengaruhi distribusi ukuran butir.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Karakteristik lingkungan perairan utara Pulau Ambon, khususnya di wilayah perairan studi melalui analisis dari 5 (lima) lokasi sampel sedimen laut menggambarkan ukuran butir sedimen bervariasi dari lumpur hingga kerikil, dengan dominasi pasir. Sebaran spasial besar butir dan In-rasio unsur dari sampel sedimen dasar laut, terdapat 2 (dua) karakteristik lingkungan yang mempengaruhi sedimentasi, yaitu lingkungan perairan yang didominasi kuat dari lautan dan sedikit adanya pengaruh dari daratan. Kedua proses lingkungan pengendapan tentunya melibatkan kekuatan transportasi dan akumulasi material padat, sumber sedimen, mekanisme transportasi, ukuran butiran, dan dampak biologis yang memberikan perbedaan cukup signifikan antara pengendapan pasir di laut dan di daratan.

Saran

Untuk memperkuat hasil kesimpulan diperlukan data dukung hasil uji laboratorium selanjutnya dan data sekunder lainnya, seperti: sumber massa air, nilai produktivitas perairan, sebaran klorofil. Selain itu, perlu juga mempertimbangkan parameter oseanografi lainnya seperti kecepatan arus yang mengalir.

DAFTAR ACUAN

- Badu, M. M. S., Soselisa, F., dan Sahupala, A. 2022. Analisis faktor ekologis vegetasi mangrove di Negeri Eti Teluk Piru Kabupaten SBB. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 6(1), 44-56. doi: [10.30598/jhppk.v6i1.5791](https://doi.org/10.30598/jhppk.v6i1.5791)
- Permanawati, Y., G. Latuputty, I. Silalahi, F.B. Prasetio, I.H. Suherman, dkk.. Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan (BBSPGL). 2024. *Laporan kegiatan survei mitigasi bencana geologi di perairan utara Ambon*, 2024. Badan Geologi. KESDM
- Bengen, D. G., 2000. Teknik Pengambilan Contoh dan Analisis Data Biofisik Sumberdaya Pesisir. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Laut-IPB, IPB Press, Bogor, ID. 38h.
- Bengen, D. G. 2009. Ekosistem dan sumberdaya alam pesisir dan laut serta pengelolaan secara terpadu dan berkelanjutan. *Prosiding Pelatihan Pengelolaan Wayah Pesisir Terpadu*, 28-56. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/24548>
- Burd, A. B., dan Jackson, G. A. 2009. Particle aggregation. *Annual Review of Marine Science*, 1, 65-90. doi:10.1146/annurev.marine.010908.163904
- Folk, R.L. dan Ward, W. C. 1957. Brazos River bar (Texas): A study in the significance of grain-size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1), 3-26. doi: [10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D](https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D)
- Hennekam, R., dan de Lange, G. 2012. X-Ray Fluorescence core scanning of wet marine sediments: methods to improve quality and reproducibility of high-resolution paleoenvironmental records. *Limnology and Oceanography: Methods*, 10, 991-1003. doi: [10.4319/lom.2012.10.991](https://doi.org/10.4319/lom.2012.10.991)
- Martins, L. R., 2003. Recent sediments and grain-size analysis. *Gravel*, 1, 90-105.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22, 2021. *Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. lampiran VIII
- Permanawati, Y., Prartono, T., Atmadipoera, A.S., Zuraida, R., dan Chang, Y. 2016. Rekam sedimen inti untuk memperkirakan perubahan lingkungan di perairan Lereng Kangean. *Jurnal Geologi Kelautan*, 14(2), 65-77. doi: [10.32693/jgk.14.2.2016.347](https://doi.org/10.32693/jgk.14.2.2016.347)
- Pinet, P. R. 2014. Invitation to Oceanography. Chapter 4. Marine Sedimentation. *Jones and Bartlett Publication*. 5th ed., 92-133.
- Tjokrosapoetro, S., E. Rusmana, dan A. Achdan. Pusat Survei Geologi (PSG). *Peta Geologi Lembar Ambon*. 2011. Badan Geologi. Kementerian Energi Dan Sumberdaya Mineral.
- Rompas, R. M., dan Rumampuk, N. D. C. 2014. Geokimia Laut. *Universitas Sam Ratulangi Manado*, 367 h.
- Routson, C.C., Arcusa, S.H., McKay, N. P., dan Overpeck, J. T. 2019. A 4,500-year-long record of southern Rocky Mountain dust deposition. *Geophysical Research Letters*, 46(14), 8281-8288. doi:10.1029/2019GL083255.
- Sari, P. 2018. *Pengaruh pH terhadap mikrostruktur, daya larut, sedimentasi dan turbiditas larutan*

kasein-katekin. (Skripsi Sarjana). Universitas Brawijaya. Malang.

Zuraida, R., Troa, R. A., Hendrizan, M., Gustiantini, L., dan Triarso, E. 2017. Sediment characteristics of Mergui basin, Andaman Sea based on multi-proxy analyses. *Bulletin of the Marine Geology*, 32(2), 67-76. doi: [10.32693/bomg.32.2.2017.396](https://doi.org/10.32693/bomg.32.2.2017.396)

Sanchez, A., Ortiz, B. E. L., Garcia, S. A., dan Balart, E. 2013. Distribution and composition of organic matter in sediments of the oxygen

minimum zone of the Northeastern Mexican Pacific: paleoceanographic implications. *Journal of Iberian Geology*, 39(1), 111-120. doi:[10.5209/rev_JIGE.2013.v39.n1.41753](https://doi.org/10.5209/rev_JIGE.2013.v39.n1.41753)

Weltje G.J. dan Tjallingii, R. 2008. Calibration of XRF core scanners for quantitative geochemical logging of sediment cores: Theory and application. *Earth and Planet Scien Letters*, 274(3-4), 423–438. doi:[10.1016/j.epsl.2008.07.054](https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.07.054)