

KARAKTERISTIK SEDIMEN PANTAI DAN DASAR LAUT DI TELUK PAPELA, KABUPATEN ROTE, PROVINSI NTT

COASTAL AND SURFACIAL SEDIMENT CHARACTERISTICS ON PAPELA BAY, ROTE DISTRICT, EAST NUSATENGARA PROVINCE

Rina Zuraida^{1*}, Nineu Yayu Gerhaneu¹, Isnu H. Sulistyawan²

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjuna 236, Bandung-40174, Indonesia

²Pusat Survei Geologi, Jl. Diponegoro No.57, Gedung C, Bandung - 40144

*email: rina@mgi.esdm.go.id

Diterima : 05-07-2017, Disetujui : 07-02-2018

ABSTRAK

Penelitian karakteristik sedimen pantai dan dasar laut Teluk Papela dilakukan untuk mengetahui rona awal lingkungan Teluk Papela. Analisis mineralogi dan granulometri yang dilakukan pada sedimen pantai dan dasar laut, menunjukkan dominasi pasir halus. Sedimen pantai menunjukkan kecenderungan menghalus ke arah utara dengan kandungan cangkang yang semakin besar, sedangkan sampel laut menunjukkan kecenderungan butiran lebih kasar ke arah utara dengan kandungan cangkang yang semakin kecil. Hasil analisis unsur utama menunjukkan bahwa TiO_2 (0,1 wt%) dan CaO (82,5 wt%) menunjukkan tingginya pasokan material asal darat. Kandungan unsur jejak Sr, Cl, I dan unsur utama P_2O_5 dalam sedimen lebih rendah dari kandungan dalam air laut. Pu terdeteksi dalam semua sampel dengan nilai berkisar antara 13.200 dan 28.000 ppm. Korelasi positif $\text{Cl-Na}_2\text{O}$ serta $\text{Cl-P}_2\text{O}_5$ menunjukkan bahwa unsur-unsur tersebut merupakan hasil dari pengendapan garam dalam sedimen.

Keterdapatan Sr berkaitan dengan kelimpahan organisme pembentuk cangkang, sedangkan kandungan I dipengaruhi oleh kandungan bahan organik. Keterdapatan Pu dalam sedimen Teluk Papela diperkirakan merupakan hasil aktivitas manusia yang terserap dalam cangkang dan terakumulasi dalam sedimen pantai dan dasar laut.

Kata kunci: karakteristik sedimen, unsur utama, unsur jejak, mineralogi, granulometri, Teluk Papela

ABSTRACT

The study of seafloor and beach sediments of Papela Bay is conducted to identify the initial early environment of Papela Bay sediments. Mineralogy and grain size analysis some of selected samples were conducted on coastal and seafloor sediments and they show dominated by fine sand. Coastal sediments show tend to fining northward with increasing skeletal, in contrast marine samples tend to show a more coarse northward with a smaller skeletal content. Result of major elements analysis show that the average of weight percentage of TiO_2 (0.1 wt%) and CaO (82.5wt%) and indicate that the high supply of material derived from land. Trace elements content of Sr, Cl, I and major element P_2O_5 within sediment lower than within sea water. Pu detected within all samples with values range between 13,200 and 28,000 ppm. The positive correlations of $\text{Cl-Na}_2\text{O}$ and $\text{Cl-P}_2\text{O}_5$ show that these elements are the result of salt deposition within sediment.

The occurrence of Sr related with the abundance of shell-forming organisms, whereas the content of I influenced by organic matter content. The occurrence of Pu within sediment in Papela Bay can be resulted by antropogenic activities that absorbed and accumulated within coastal and seabed sediments.

Key words: sediment characteristics, major element, trace element, grain mineralogy, Papela Bay

PENDAHULUAN

Komposisi sedimen pantai dan dasar laut dipengaruhi oleh berbagai hal, baik kondisi geologi, morfologi, iklim, maupun proses yang bekerja. Proses yang paling berpengaruh terhadap sedimentasi di daerah pantai dan perairan dangkal adalah pasokan sedimen dari sungai, gelombang, pasang-surut, arus sejajar pantai, arus tegak lurus pantai, dan sebagainya (Komar, 1998). Secara umum, komposisi sedimen pantai dan perairan dangkal di daerah subtropis dan pulau gunungapi didominasi oleh kuarsa, feldspar dan mineral berat sedangkan di daerah tropis didominasi oleh cangkang dan fragmen cangkang dan juga oolit (Komar, 1998).

Teluk Papela terletak di pantai bagian timur laut Pulau Rote yang menghadap ke Laut Timor. Sedimen umumnya berupa hasil erosi dari darat, hasil erosi gelombang maupun material biogenik yang kemudian diendapkan di pantai. Kondisi iklim di daerah ini tidak memungkinkan pengangkutan sedimen oleh sungai yang merupakan sungai *intermittent*. Penelitian terdahulu yang pernah dilakukan di sekitar Teluk Papela adalah penelitian mengenai rona lingkungan di sekitar Baa yang terletak di barat laut P. Rote yang menghadap ke Laut Sawu (Darlan dan Kamiludin, 2013). Penelitian mengenai tekstur sedimen dasar laut di Teluk Papela sudah dilakukan oleh Setiady drr. (2015), namun hingga kini belum ada penelitian mengenai komposisi geokimia sedimen pantai dan dasar laut Teluk Papela.

Sebagai bagian dari salah satu pulau terdepan Republik Indonesia, Kabupaten Rote Ndao sedang giat melakukan peningkatan pembangunan di segala sektor yang akan mempengaruhi kondisi lingkungan. Di sisi lain, pulau ini merupakan salah satu tujuan wisata turis manca negara karena kondisi pantainya yang indah. Oleh karena itu, untuk mengetahui pengaruh aktivitas manusia terhadap lingkungan, sehingga dibutuhkan data rona awal lingkungan untuk mengidentifikasi perubahan kondisi lingkungan.

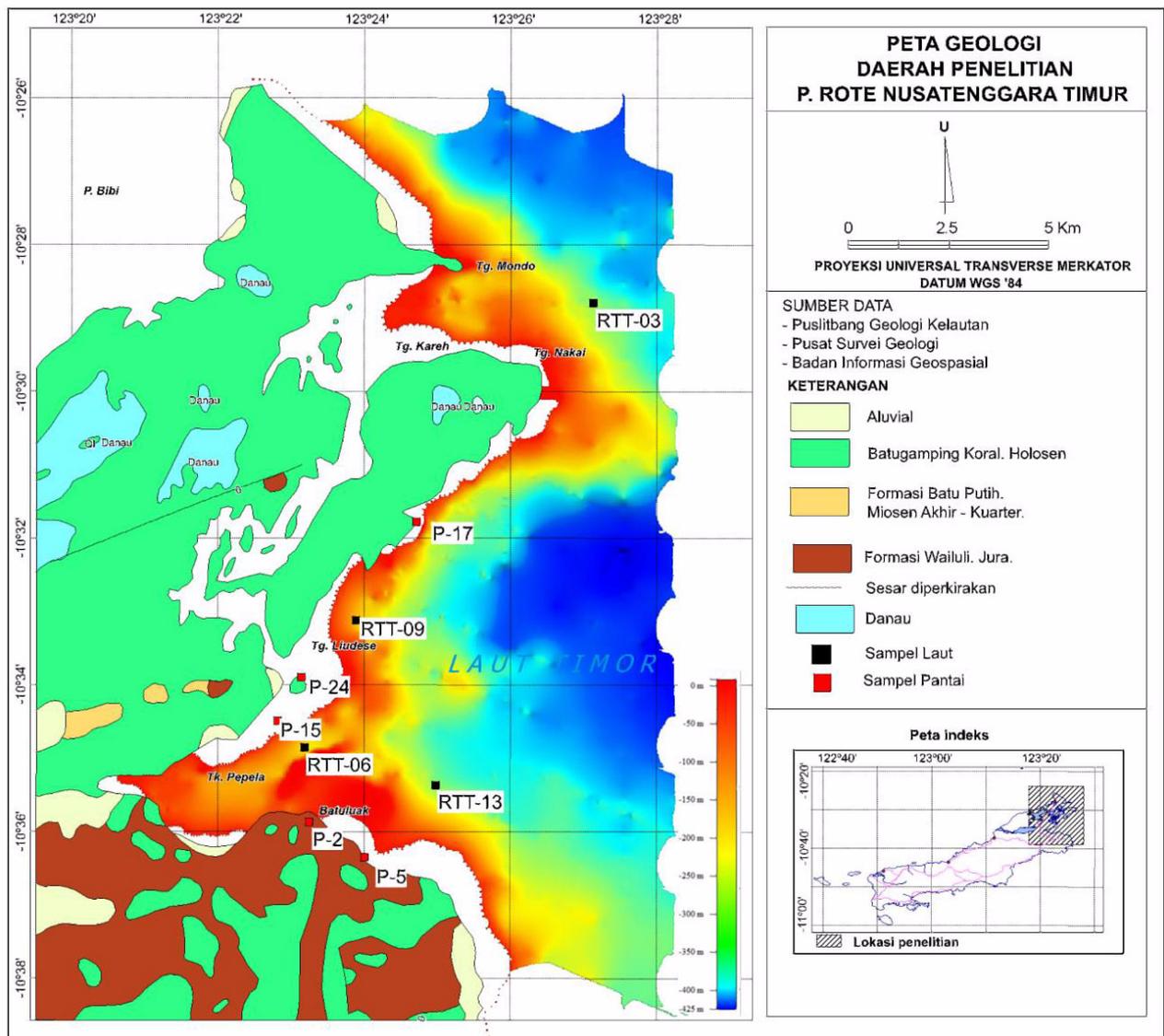
Penelitian ini ditujukan untuk memberikan informasi mengenai komposisi kimia dan mineralogi butir sedimen pantai dan dasar laut di Teluk Papela, Rote Timur Laut Provinsi NTT. Makalah ini menyajikan data yang didapat dari analisis *X-ray fluorescence* (XRF) dan juga memaparkan hubungan antar unsur dalam sedimen untuk unsur utama (SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , MnO , CaO , MgO dan P_2O_5) dan unsur jejak (Sr, Cl, I dan Pu).

KONDISI DAERAH PENELITIAN

Teluk Papela terletak di Kabupaten Rote Ndao yang terdiri atas P. Rote yang merupakan pulau utama dan pulau-pulau kecil di sekitar P. Rote. Kabupaten ini merupakan bagian paling selatan dari Propinsi Nusa Tenggara Timur dan dibatasi oleh Laut Sawu di bagian utara dan barat, Laut Timor di bagian selatan dan Selat Pukuafu yang memisahkan P. Rote dengan P. Timor. Lokasi Kabupaten ini menyebabkan rentannya daerah ini terhadap perubahan suhu permukaan laut (SPL) yang mempengaruhi curah hujan di daerah ini.

Daerah penelitian terletak di timur laut ibu kota kabupaten, Baa, dan berada di Teluk Papela dan sekitarnya yang menghadap ke arah timur laut. Tidak adanya sungai yang mengalir menuju teluk menyebabkan pasokan sedimen asal darat di Teluk Papela terbatas pada hasil pelapukan batuan sekitar yang terbawa oleh *run off* maupun oleh arus (Gambar 1).

Batuan penyusun Teluk Papela merupakan hasil tumbukan Busur Banda dengan Lempeng Australia yang masih aktif hingga sekarang. Proses tektonik yang terjadi menghasilkan batuan penyusun pulau yang terdiri atas Kompleks Melange Bobonaro berumur Tersier hingga Batugamping Koral berumur Holosen (Rosidi drr., 1979). Roosmawati (2005) memperbaharui peta geologi Rote dan memasukkan Kompleks Melange Bobonaro ke dalam Formasi Wailuli yang berumur Jura (Gambar 1). Formasi ini dicirikan oleh batulempung dan serpih homogen berwarna kelabu gelap dan merah yang berselingan dengan batugamping kaya bahan organik, kalsilutit, batulanau dan batubesi (Roosmawati, 2005). Formasi Noele yang berumur Plio-Pleistosen dan tersusun oleh napal pasiran dengan sisipan batupasir, konglomerat dan sedikit lapisan dasitik dijumpai di bagian utara teluk (Rosidi drr., 1979). Formasi ini oleh Roosmawati (2005) dimasukkan ke dalam Formasi Batu Putih yang berumur Miosen Akhir – Kuartar. Batugamping Koral merupakan batuan penyusun yang mendominasi bagian utara daerah penelitian dan terdiri atas batugamping koral berwarna putih-kekuningan kadang kemerahan dan batugamping napalan. Aluvium berumur Holosen dijumpai di sekitar sungai. Seluruh batuan ini kemudian mengalami proses pelapukan dan hasil pelapukan kemudian diangkut ke laut dan diendapkan di pantai dan perairan sekitar pulau. Sedimen dasar laut di sekitar pulau sebagian tersusun atas mineral lempung illit, kaolinit, smektit dan klorit yang berasal dari batuan penyusun Rote maupun daerah



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel sedimen pantai dan dasar laut berikut informasi kondisi geologi berdasarkan Rosidi dr. (1979) yang sudah diperbaharui oleh Roosmawati (2005) dan dilengkapi dengan batimetri daerah penelitian dari Gerhaneu dr. (2012). Lokasi sampel ditunjukkan oleh lingkaran. Kode P menunjukkan lokasi sampel pantai dan kode RTT menunjukkan lokasi sampel dasar laut.

sekitar dan juga yang terbawa oleh Arus Lintas Indonesia (Arlindo) yang mengalir melalui Laut Timor (Gingele dr., 2001).

Selain Arlindo, daerah penelitian dipengaruhi arus pasang surut yang termasuk dalam tipe campuran condong ke semi diurnal (*mixed predominantly semi diurnal*) yaitu jenis pasang surut di mana terdapat dua kali air pasang dan dua kali air surut dalam sehari dengan ketinggian dan periode yang tidak sama (Gerhaneu dr., 2012). Hasil pengukuran arus oleh Gerhaneu dr. (2012) yang dilakukan pada saat musim timur menunjukkan bahwa arah arus dominan adalah menuju barat daya.

Lokasi pengambilan sampel pantai di bagian selatan (P-02 dan P-05) merupakan dataran pantai landai yang tersusun oleh batulempung dan serpih dari Formasi Wailuli dengan gisik pasir yang dipisahkan dari *breaker zone* oleh rata-rata batuan, sedangkan lokasi pengambilan sampel P-24 dan P-17 terletak di pantai bertebing yang tersusun oleh Batugamping Korala (Gerhaneu dr., 2012). Sampel diambil 20 cm dari permukaan dengan menggunakan sekop. Tiga sampel sedimen dasar laut (RTT-06, RTT-09 dan RTT-13) diambil dalam satuan Lanau Pasiran dan satu sampel (RTT-03) yang terletak di utara, diambil dalam satuan Pasir (Setiady dr., 2015).

METODE

Pengambilan sampel dilaksanakan pada tahun 2012 pada saat kegiatan lapangan tim Penelitian Lingkungan dan Geologi Pantai di Perairan Pantai Timur P. Rote, Nusa Tenggara Timur. Sampel sedimen pantai diambil pada *beach face* pada kedalaman sekitar 20 cm dengan menggunakan sekop sedangkan sampel sedimen dasar laut diambil dengan menggunakan *grab sampler* atau pemercontoh comot. Sampel yang didapat dimasukkan dalam kantong sampel yang sudah diberi nomor. Berat sampel yang didapat pada setiap lokasi berkisar < 100 g – 1000 g. Sampel sedimen permukaan dasar laut diambil pada kedalaman 10 – 50 m.

Analisis besar butir dilakukan pada 20 sampel dengan menggunakan 100 g sampel yang sudah dikeringkan dalam oven (Setiady drr., 2015). Hasil analisis besar butir digunakan untuk analisis mineralogi butir dan *X-ray fluorescence* (XRF). Analisis mineralogi butir dilakukan pada fraksi pasir – lanau dan analisis XRF dilakukan pada fraksi pasir. Kedua analisis dilakukan terhadap *bulk sample* dari 5 lokasi sampel sedimen pantai dan 4 lokasi sampel sedimen permukaan dasar laut (Gambar 1). Seluruh sampel terletak di sekitar Teluk Papela, kecuali sampel RTT-03 yang terletak di bagian utara daerah penelitian.

Analisis mineralogi butir dilakukan untuk mengetahui material penyusun sedimen dengan melakukan pengamatan di bawah mikroskop. Analisis dilakukan terhadap empat (4) fraksi berukuran >30 mesh (0,59 mm), 30 – 60 mesh (0,59 – 0,25 mm), 60 – 100 mesh (0,25 – 0,149 mm) dan <100 mesh (0,149 mm). Pengamatan dilakukan dengan mengidentifikasi cangkang dan mineral penyusun dan dilaporkan dalam persen.

Preparasi sampel untuk analisis XRF meliputi pengeringan dan penumbukan sampel hingga berukuran < 50 μm . Setelah itu sampel ditimbang dan kemudian dimasukkan ke dalam mesin pembuat *pellet*. Sampel dalam bentuk *pellet* siap dianalisis. Analisis unsur dilakukan dengan menggunakan *Sequential X-ray fluorescence (XRF) spectrometer Thermo ARL9900* di Laboratorium Pusat Survei Geologi. Hasil analisis diberikan dalam persen berat untuk oksida unsur utama dan *part per million* (ppm) untuk unsur jejak. Seluruh unsur utama dihitung ulang menjadi 100% setelah mengeluarkan nilai *Lost on Ignition* (LOI) mengikuti Armstrong-Altrin drr. (2014). Hasil perhitungan ulang adalah nilai yang digunakan dalam diagram dan makalah ini. Perhitungan koefisien korelasi (r) dilakukan dengan

menggunakan perangkat lunak PAST (Hammer drr., 2001). Hubungan antar unsur yang dibahas adalah unsur-unsur dengan nilai $-0,8 > r < 0,8$ dan signifikansi atau *p-value* < 0,01. Penggunaan *p-value* untuk mengetahui hubungan antar unsur mengikuti Carvalho drr. (2017).

HASIL

Mineralogi Butir

Hasil analisis mineralogi butir menunjukkan perbedaan yang jelas antara sampel pantai dan sampel laut meskipun seluruh sampel didominasi oleh fraksi berukuran < 0,149 mm (pasir halus) dengan kandungan cangkang antara 60% dan 95%. Sampel pantai dicirikan oleh kandungan rata-rata fraksi berukuran < 0,149 mm sebesar 66%, kandungan rata-rata cangkang 74%, kalsit 20% dan silika 6%. Sampel laut dicirikan oleh kandungan rata-rata fraksi dominan (< 0,149 mm) sebesar 88%, kandungan rata-rata cangkang 30%, kalsit 70% dan silika tidak teramati (Gambar 2, Tabel 1). Sampel pantai menunjukkan kecenderungan menghalus ke arah utara dengan kandungan cangkang yang semakin besar, sedangkan sampel laut menunjukkan kecenderungan mengkasar ke arah utara (Setiady, drr., 2015) dengan kandungan cangkang yang semakin kecil.

Material penyusun cangkang terdiri atas foraminifera planktonik dan bentik, pecahan koral, pecahan alga dan pecahan moluska dengan warna bervariasi mulai dari putih, coklat muda, kuning hingga merah muda. Cangkang foraminifera, koral dan alga umumnya tersusun oleh kalsit (Hansen, 1999 dalam Gupta, 1999; Rahman dan Oomori, 2008), sedangkan cangkang moluska umumnya tersusun oleh aragonit (Chateigner drr., 2000). Kalsit yang diamati di bawah mikroskop diperkirakan berasal dari Batugamping Koral berumur Kuartar atau dari Formasi Wailuli yang berumur Jura yang dijumpai di sekitar teluk (Gambar 1).

Unsur Utama

Berdasarkan hasil analisis XRF terhadap 5 contoh sedimen pantai dan 4 contoh sedimen dasar laut yang kemudian disajikan dalam persen berat oksida (Tabel 1). Secara umum, CaO merupakan penyusun terbesar dengan kandungan berkisar antara 91,39-94,33% atau rata-rata 92,70%, sedangkan dalam sedimen dasar laut kandungannya berkisar antara 50,91-85,63% dengan rata-rata 69,80%. MgO merupakan unsur kedua yang banyak dijumpai dalam sedimen pantai dengan kandungan rata-rata 4,41% dan kisaran

Tabel 1. Karakteristik, kandungan unsur dan komposisi sedimen pantai dan sedimen dasar laut Teluk Papela. Persentase komposisi butir merupakan nilai rata-rata kandungan cangkang ataupun mineral untuk seluruh ukuran butir.

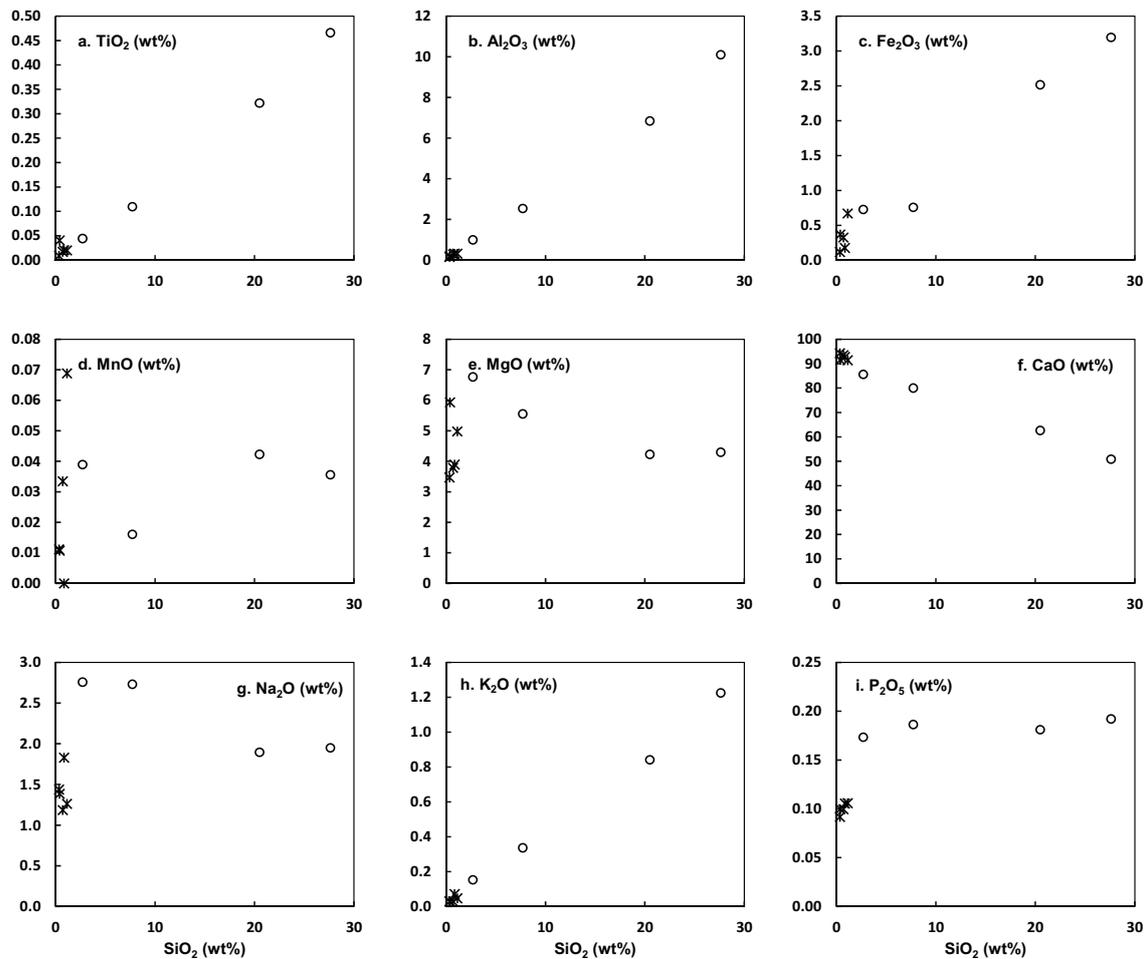
| NO.CONTOH | P-02 | P-05 | P-15 | P-24 | P-17 | RTT-13 | RTT-06 | RTT-09 | RTT-03 | Mean | Min. | Maks. | Std. Dev. | |
|--|--------------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|---------------|---------------|---------------|--------|--------|------|-------|-----------|------|
| Hasil Analisis Besar Butir (Setiady drr., 2015) | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Parameter Statistik</i> | Mean (Φ) | 1.1 | 0.9 | 2.0 | 1.4 | 2.5 | 4.4 | 4.2 | 5.1 | 2.5 | 2.7 | 0.9 | 5.1 | 1.5 |
| | Sortasi (F) | 1.1 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.4 | 1.3 | 1.2 | 1.5 | 0.5 | 0.9 | 0.4 | 1.5 | 0.4 |
| | Skewness | -0.6 | -0.1 | -0.6 | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 0.7 | 0 | -0.5 | 0.0 | -0.6 | 0.7 | 0.5 |
| | Kurtosis | 2.9 | 3.3 | 2.7 | 2.1 | 2.4 | 2.6 | 3.5 | 2.3 | 3.8 | 2.8 | 2.1 | 3.8 | 0.6 |
| <i>Persen ukuran butir</i> | Kerikil | 7.7 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0.9 | 0.0 | 7.7 | 2.5 | |
| | Pasir | 92.3 | 90.2 | 99.5 | 99.9 | 99.9 | 38.6 | 47.6 | 24.2 | 99.9 | 76.9 | 24.2 | 99.9 | 30.9 |
| | Lanau | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 61 | 51.9 | 73.8 | 0.1 | 20.8 | 0.0 | 73.8 | 31.6 |
| | Lempung | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.5 | 2 | 0 | 0.3 | 0.0 | 2.0 | 0.7 |
| Klasifikasi (Folk, 1980) | Pasir kerikilan | Pasir sedikit kerikilan | Pasir | Pasir | Pasir | Lanau pasiran | Lanau pasiran | Lanau pasiran | Pasir | - | - | - | - | |
| Unsur utama (wt%) | | | | | | | | | | | | | | |
| | SiO ₂ | 0.72 | 1.14 | 0.86 | 0.35 | 0.40 | 20.50 | 27.62 | 7.73 | 2.70 | 6.9 | 0.4 | 27.6 | 10.2 |
| | TiO ₂ | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.04 | 0.32 | 0.47 | 0.11 | 0.04 | 0.1 | 0.0 | 0.5 | 0.2 |
| | Al ₂ O ₃ | 0.29 | 0.32 | 0.31 | 0.16 | 0.20 | 6.84 | 10.10 | 2.54 | 1.00 | 2.4 | 0.2 | 10.1 | 3.6 |
| | Fe ₂ O ₃ | 0.32 | 0.67 | 0.18 | 0.12 | 0.37 | 2.52 | 3.19 | 0.76 | 0.73 | 1.0 | 0.1 | 3.2 | 1.1 |
| | MnO | 0.03 | 0.07 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| | MgO | 3.79 | 4.98 | 3.90 | 3.47 | 5.94 | 4.23 | 4.30 | 5.56 | 6.77 | 4.8 | 3.5 | 6.8 | 1.1 |
| | CaO | 93.52 | 91.39 | 92.72 | 94.33 | 91.53 | 62.63 | 50.91 | 80.03 | 85.63 | 82.5 | 50.9 | 94.3 | 15.6 |
| | Na ₂ O | 1.18 | 1.26 | 1.83 | 1.44 | 1.38 | 1.90 | 1.95 | 2.73 | 2.76 | 1.8 | 1.2 | 2.8 | 0.6 |
| | K ₂ O | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.03 | 0.03 | 0.84 | 1.23 | 0.34 | 0.15 | 0.3 | 0.0 | 1.2 | 0.4 |
| | P ₂ O ₅ | 0.10 | 0.11 | 0.11 | 0.09 | 0.10 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.17 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.0 |
| | Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | - | - | - | - |
| | LOI | 44.85 | 44.87 | 45.54 | 45.30 | 43.60 | 38.97 | 35.78 | 44.41 | 44.68 | 43.1 | 35.8 | 45.5 | 3.4 |
| Unsur minor (ppm) | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sr | 6100 | 5420 | 5570 | 5900 | 4800 | 3610 | 3140 | 4500 | 3220 | 4696 | 3140 | 6100 | 1148 |
| | Cl | 2080 | 2980 | 5850 | 3570 | 3310 | 6180 | 9180 | 10900 | 9570 | 5958 | 2080 | 10900 | 3251 |
| | I | | 104 | 116 | 98 | 107 | 145 | 90 | 124 | - | 112 | 90 | 145 | 18 |
| | Pu | 280 | 235 | 266 | 256 | 212 | 153 | 132 | 195 | 139 | 208 | 132 | 280 | 56 |
| Mineralogi butir | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Persentase Ukuran Butir</i> | >0,59 mm | 15 | 10 | 6 | 45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 9 | 0 | 45 | 14 |
| | 0,25-0,59 mm | 12 | 10 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 5 | 0 | 12 | 5 |
| | 0,149-0,25 mm | 13 | 25 | 12 | 10 | 2 | 4 | 3 | 2 | 20 | 10 | 2 | 25 | 8 |
| | <0,149 mm | 60 | 55 | 76 | 40 | 98 | 96 | 97 | 98 | 60 | 76 | 40 | 98 | 23 |
| <i>Komposisi</i> | Cangkang (%) | 70 | 75 | 80 | 72 | 75 | 15 | 5 | 10 | 90 | 55 | 5 | 90 | 34 |
| | Kalsit (%) | 17 | 17 | 15 | 28 | 25 | 85 | 95 | 90 | 10 | 42 | 10 | 95 | 36 |
| | Silika (%) | 13 | 8 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 13 | 5 |

3,47-5,94%. Unsur ketiga terbanyak dalam sedimen pantai adalah Na₂O dengan kandungan rata-rata 1,42% dan kisaran 1,19-1,83%. Unsur lainnya (SiO₂, TiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, K₂O, MnO, dan P₂O₅) memiliki kandungan <1%.

Hal yang berbeda ditunjukkan oleh sampel sedimen dasar laut dengan SiO₂ sebagai unsur terbanyak kedua (kandungan rata-rata 14,64% dan kisaran 2,70-27,62%; MgO dengan kandungan rata-rata 5,21% dan kisaran 4,23-6,77%; Al₂O₃ sebagai unsur keempat yang banyak dijumpai (kandungan rata-rata 5,12% dan kisaran 1,00-10,10%); Na₂O dengan kandungan rata-rata 2,34% dan kisaran 1,90-2,76%; dan Fe₂O₃ dengan kandungan rata-rata 1,80% dan kisaran 0,73-3,20%. Kandungan SiO₂ sebagai unsur terbanyak

kedua dalam sedimen dasar laut diperkirakan hadir sebagai material asal darat yang berukuran lanau (Tabel 1). Sedimen dasar laut umumnya mengandung silikat yang menurut Kastner (1999) berasal dari pelapukan dan erosi batuan di darat dan terdapat melimpah di dasar laut. Unsur lainnya (TiO₂, MnO dan K₂O) memiliki kandungan <1%.

Untuk mengetahui keterkaitan antara unsur utama terhadap SiO₂, maka dilakukan plot unsur utama terhadap SiO₂ (Gambar 3). Secara umum, kandungan TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O dan P₂O₅ dalam sedimen dasar laut lebih tinggi dibandingkan dalam sedimen pantai. Kecenderungan yang berlawanan ditunjukkan oleh kandungan CaO yang lebih tinggi dalam sedimen pantai. Beberapa unsur utama TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃,



Gambar 3. Plot unsur utama terhadap SiO₂. Tanda silang menunjukkan sampel pantai dan lingkaran menunjukkan sampel laut.

dan K₂O menunjukkan korelasi positif terhadap kandungan SiO₂, sedangkan CaO menunjukkan kecenderungan yang berlawanan dengan nilai yang semakin kecil dengan bertambahnya SiO₂. Kecenderungan ini, digabungkan dengan korelasi positif CaO dengan cangkang (Tabel 2), menunjukkan kandungan CaCO₃ biogenik yang cukup besar dalam sedimen. MnO, MgO, Na₂O dan P₂O₅ tidak menunjukkan pola tertentu, meskipun sampel pantai menunjukkan variasi yang tinggi pada kandungan MnO dibandingkan dengan sampel laut.

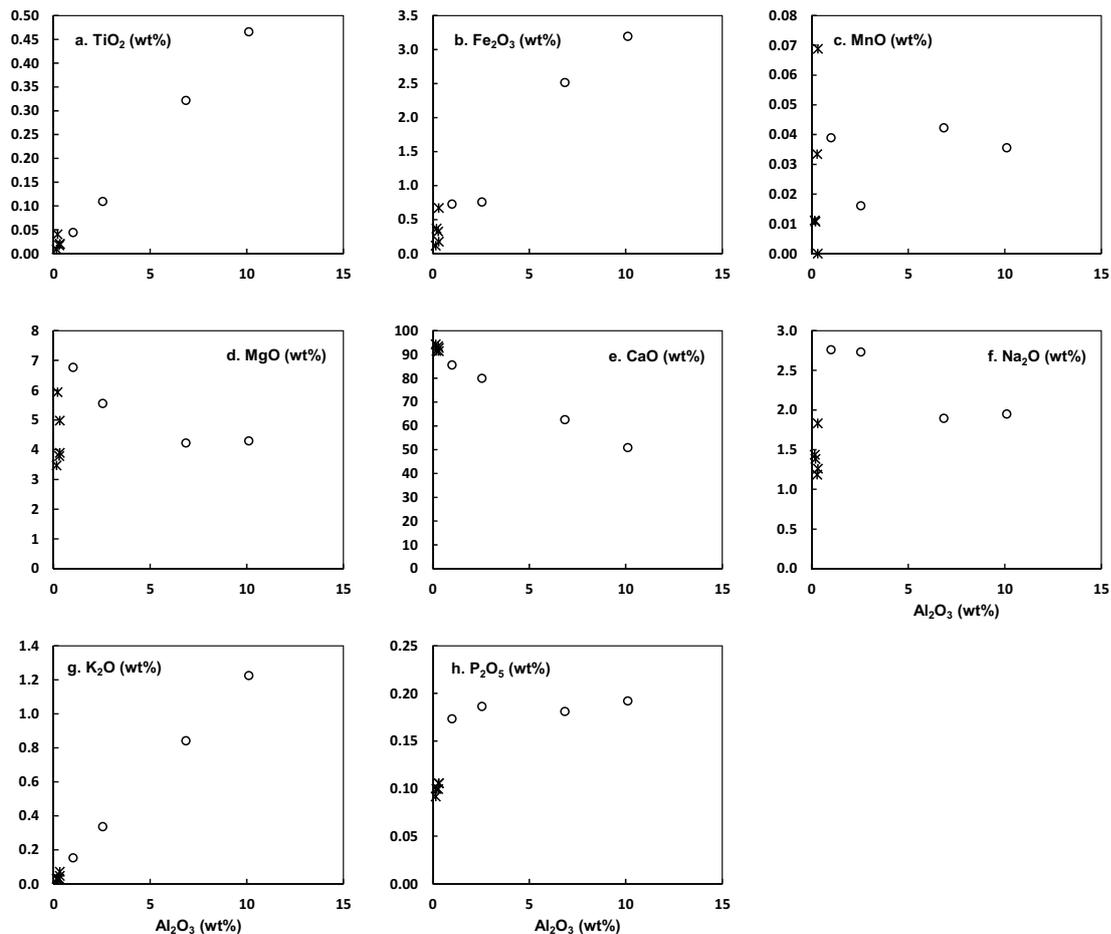
Untuk mengetahui hubungan antara unsur utama terhadap Al₂O₃, maka dilakukan plot unsur utama terhadap Al₂O₃ (Gambar 4). Secara umum, kandungan unsur utama TiO₂, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O dan P₂O₅ dalam sedimen dasar laut lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan unsur-unsur tersebut dalam sedimen pantai. TiO₂, Fe₂O₃ dan K₂O menunjukkan korelasi positif dengan Al₂O₃, terutama untuk sampel dasar laut. Korelasi negatif

ditunjukkan dengan sangat kuat oleh CaO. MnO, MgO, Na₂O dan P₂O₅ tidak menunjukkan pola tertentu. Kandungan MnO dalam sedimen pantai menunjukkan variasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel dasar laut.

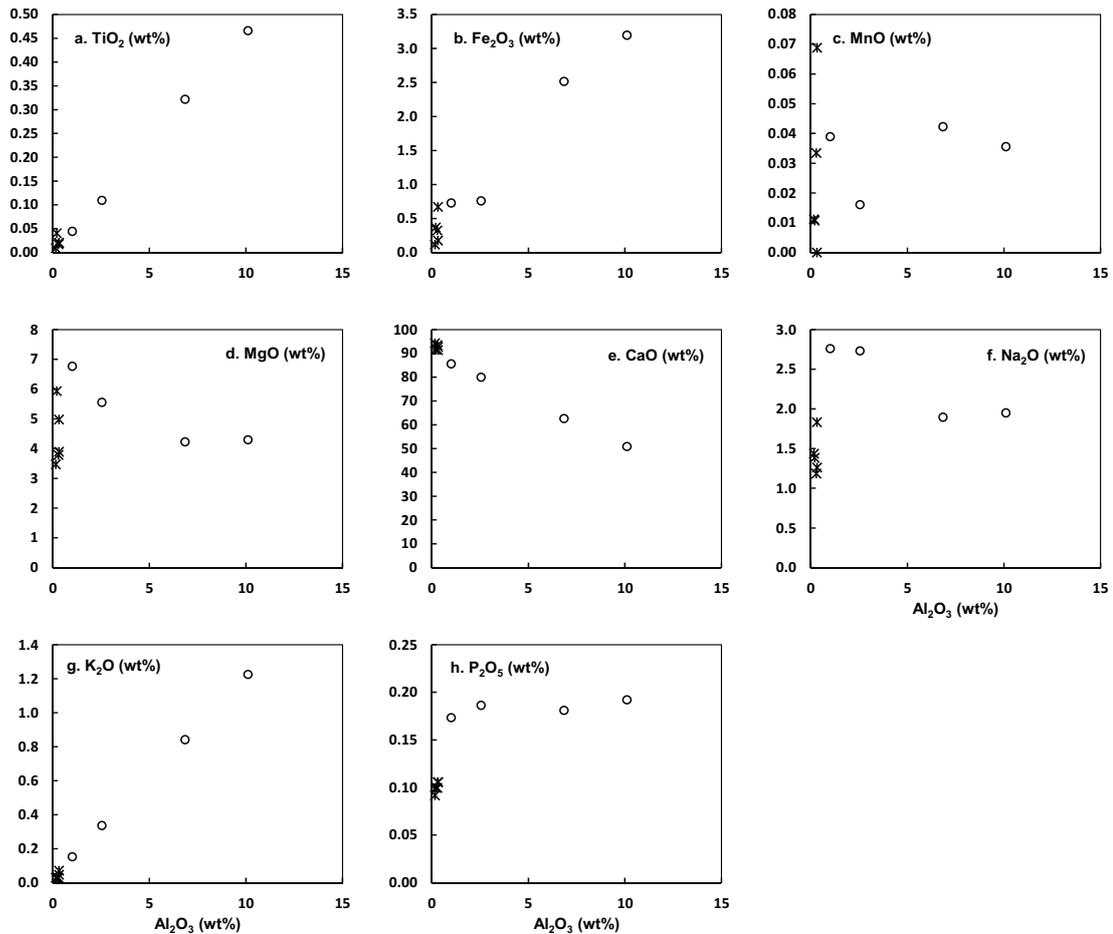
Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kandungan karbonat biogenik terhadap komposisi sedimen pantai dan dasar laut di daerah penelitian, dilakukan plot unsur utama terhadap CaO (Gambar 5). Kandungan unsur utama TiO₂, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O dan P₂O₅ menunjukkan kecenderungan yang sama seperti dalam Gambar 3 dan 4 dimana kandungan unsur-unsur tersebut dalam sedimen dasar laut lebih tinggi dari sedimen pantai. Korelasi negatif yang kuat diperlihatkan oleh TiO₂, Fe₂O₃ dan K₂O, sedangkan MnO, MgO, Na₂O dan P₂O₅ tidak menunjukkan pola tertentu. Pola yang juga teramati dalam Gambar 5 adalah kandungan MnO dalam sedimen pantai menunjukkan variasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel dasar laut.

Tabel 2. Koefisien korelasi antar parameter yang dipaparkan dalam makalah ini. Angka yang dicetak tebal menunjukkan nilai korelasi yang signifikan. Batas nilai korelasi yang dianggap signifikan adalah jika p-value <0,01 (tidak diperlihatkan dalam tabel).

| | Mean | Sortasi | Kerikil | Pasir | Lanau | Lempung | SiO2 | TiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MnO | MgO | CaO | Na2O | K2O | P2O5 | Sr | Cl | I | Pu | Cangkang | Kalsit | Silika | |
|----------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|--------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------|--------|--------------|---------------|--------|--------|--|
| Mean | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sortasi | 0.623 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kerikil | -0.433 | 0.157 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pasir | -0.892 | -0.874 | 0.206 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lanau | 0.933 | 0.840 | -0.275 | -0.993 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lempung | 0.775 | 0.729 | -0.204 | -0.832 | 0.827 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SiO2 | 0.730 | 0.592 | -0.252 | -0.748 | 0.766 | 0.326 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TiO2 | 0.706 | 0.539 | -0.251 | -0.707 | 0.727 | 0.281 | 0.996 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Al2O3 | 0.713 | 0.570 | -0.246 | -0.725 | 0.743 | 0.308 | 0.998 | 0.998 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fe2O3 | 0.655 | 0.501 | -0.238 | -0.679 | 0.689 | 0.219 | 0.985 | 0.985 | 0.983 | | | | | | | | | | | | | | | |
| MnO | -0.124 | 0.103 | 0.162 | -0.130 | 0.050 | -0.143 | 0.243 | 0.224 | 0.233 | 0.376 | | | | | | | | | | | | | | |
| MgO | 0.227 | -0.387 | -0.324 | 0.015 | 0.001 | 0.191 | -0.153 | -0.146 | -0.153 | -0.089 | 0.163 | | | | | | | | | | | | | |
| CaO | -0.761 | -0.559 | 0.290 | 0.752 | -0.772 | -0.350 | -0.995 | -0.991 | -0.994 | -0.985 | -0.258 | 0.053 | | | | | | | | | | | | |
| Na2O | 0.677 | 0.243 | -0.448 | -0.473 | 0.521 | 0.610 | 0.270 | 0.229 | 0.262 | 0.220 | -0.111 | 0.565 | -0.344 | | | | | | | | | | | |
| K2O | 0.726 | 0.571 | -0.265 | -0.731 | 0.751 | 0.320 | 0.998 | 0.997 | 1.000 | 0.982 | 0.224 | -0.142 | -0.995 | 0.287 | | | | | | | | | | |
| P2O5 | 0.872 | 0.549 | -0.352 | -0.797 | 0.821 | 0.617 | 0.773 | 0.740 | 0.763 | 0.751 | 0.223 | 0.342 | -0.822 | 0.788 | 0.776 | | | | | | | | | |
| Sr | -0.715 | -0.142 | 0.487 | 0.511 | -0.556 | -0.265 | -0.726 | -0.723 | -0.725 | -0.758 | -0.260 | -0.509 | 0.789 | -0.672 | -0.736 | -0.885 | | | | | | | | |
| Cl | 0.790 | 0.384 | -0.487 | -0.621 | 0.665 | 0.676 | 0.505 | 0.473 | 0.504 | 0.444 | -0.082 | 0.440 | -0.568 | 0.947 | 0.526 | 0.882 | -0.751 | | | | | | | |
| I | 0.437 | 0.315 | -0.622 | -0.469 | 0.489 | 0.360 | 0.311 | 0.301 | 0.285 | 0.255 | -0.190 | -0.227 | -0.281 | -0.041 | 0.292 | 0.108 | -0.033 | 0.071 | | | | | | |
| Pu | -0.711 | -0.156 | 0.506 | 0.533 | -0.574 | -0.286 | -0.729 | -0.726 | -0.727 | -0.765 | -0.312 | -0.509 | 0.791 | -0.644 | -0.737 | -0.880 | 0.991 | -0.726 | -0.060 | | | | | |
| Cangkang | -0.862 | -0.850 | 0.193 | 0.962 | -0.962 | -0.724 | -0.854 | -0.829 | -0.840 | -0.781 | -0.080 | 0.161 | 0.843 | -0.331 | -0.841 | -0.745 | 0.506 | -0.542 | -0.483 | 0.530 | | | | |
| Kalsit | 0.898 | 0.797 | -0.294 | -0.954 | 0.967 | 0.726 | 0.858 | 0.835 | 0.845 | 0.784 | 0.036 | -0.104 | -0.854 | 0.388 | 0.848 | 0.774 | -0.563 | 0.590 | 0.512 | -0.589 | -0.992 | | | |
| Silika | -0.770 | -0.017 | 0.807 | 0.462 | -0.542 | -0.404 | -0.496 | -0.500 | -0.490 | -0.471 | 0.196 | -0.523 | 0.555 | -0.667 | -0.506 | -0.682 | 0.799 | -0.710 | -0.410 | 0.803 | 0.450 | -0.548 | | |



Gambar 4. Plot unsur utama terhadap Al₂O₃. Tanda silang menunjukkan sampel pantai dan lingkaran menunjukkan sampel laut.



Gambar 5. Plot unsur utama terhadap CaO . Tanda silang menunjukkan sampel pantai dan lingkaran menunjukkan sampel laut.

Unsur jejak

Hasil analisis unsur jejak dapat dilihat pada Tabel 1. Unsur jejak yang paling banyak dijumpai adalah Cl dengan kandungan rata-rata 5.958 ppm. Kandungan rata-rata Cl dalam sedimen pantai adalah 3.558 ppm dengan kisaran nilai 2.080-5.850 ppm, sedangkan kandungan rata-rata Cl dalam sedimen dasar laut adalah 8.957,5 ppm dengan nilai berkisar 6.180-10.900 ppm. Koefisien korelasi yang besar antara Cl dengan Na (0,947; Tabel 2) menunjukkan bahwa Cl yang dijumpai dalam sedimen merupakan garam yang terendapkan dari air laut.

Unsur berikutnya dengan kandungan terbanyak adalah Sr dengan kandungan rata-rata pada sedimen pantai 5.558 ppm dan berkisar 4.800-6.100 ppm. Kandungan rata-rata Sr dalam sedimen dasar laut adalah 3.617,5 ppm dengan kisaran 3.140-4.500 ppm. Unsur ketiga terbanyak yang dijumpai dalam sedimen pantai adalah Pu dengan nilai rata-rata 249,8 ppm dalam sedimen pantai dan berkisar antara 212-280 ppm.

Kandungan rata-rata Pu dalam sedimen dasar laut adalah 154,75 ppm dan berkisar antara 132 dan 195 ppm. Unsur jejak dengan kandungan terkecil adalah I dengan kandungan rata-rata 85 ppm dalam sedimen pantai dan 89,75 ppm dalam sedimen dasar laut.

PEMBAHASAN

Kandungan unsur utama dan unsur jejak menunjukkan komposisi sedimen yang terkait dengan proses sedimentasi dan pelapukan. Perbandingan antara kandungan unsur utama, unsur minor dan jejak dalam sedimen Teluk Papela terhadap kandungan unsur-unsur tersebut dalam *upper crust, shale, pelagic clay* dan air laut (Tabel 3) menunjukkan bahwa hampir semua unsur utama, kecuali Ti dan Ca, yang terkandung dalam sedimen Teluk Papela lebih rendah daripada referensi.

Komposisi unsur utama CaO yang sangat tinggi ($> 80\%$) ditambah dengan kehadiran fragmen kalsit dalam sedimen menjadi indikasi sumber sedimen yang berasal dari batuan

karbonat, baik dari Batugamping Koral maupun Formasi Wailuli yang menyusun batuan pada sebagian besar daerah penelitian. Selain lebih dekat dengan sumber, faktor lain yang menyebabkan CaO lebih tinggi dalam sedimen pantai daripada sedimen dasar laut adalah kandungan Ca dalam CaO yang memiliki massa jenis ($1,55 \text{ g/cm}^3$) lebih kecil dari unsur utama lainnya sehingga cenderung terendapkan lebih dominan pada bagian atas perairan atau sedimen (Komar, 2007). Hal ini juga terjadi pada oksida lain yang memiliki unsur dengan massa jenis lebih ringan seperti Na, Mg, dan P (Gambar 3) yang masing-masing memiliki massa jenis $0,97 \text{ g/cm}^3$, $1,74 \text{ g/cm}^3$, dan $1,82 \text{ g/cm}^3$. Selama proses transportasi sedimen terjadi pemilahan butiran sedimen, dimana sedimen yang memiliki kandungan unsur dengan massa jenis lebih besar akan tertransport oleh gravitasi ke lingkungan yang lebih rendah di dasar laut.

Kandungan TiO_2 yang tinggi pada sedimen Teluk Papela diperkirakan berkaitan dengan pasokan sedimen asal darat. Interpretasi ini mengikuti Wei dr. (2003) yang menggunakan Ti dalam sampel dari Laut Cina Selatan untuk mengetahui persentase material asal darat.

Kandungan SiO_2 dalam sedimen dasar laut diduga berasal dari batuan sumber terdekat yaitu Formasi Wailuli atau Formasi Batu Putih. Hal ini tampak dalam Tabel 1 dimana sampel dari RTT06, RTT09 dan RTT13 yang lebih dekat dengan batuan Formasi Wailuli atau Formasi Batu Putih memiliki kandungan SiO_2 yang relatif lebih besar daripada kandungan SiO_2 pada sampel RTT03 yang relatif jauh dari Formasi Wailuli atau Formasi Batu Putih sebagai sumber pasokan SiO_2 . Proses pemilahan dan pencucian oleh gelombang dan arus umum dijumpai di perairan dangkal (Gromet dr., 1984).

Kandungan SiO_2 yang jauh sedikit dalam sedimen pantai diperkirakan berkaitan dengan ukuran butir. Ukuran butir rata-rata sedimen dasar laut yang mengandung SiO_2 dalam jumlah besar didominasi oleh fraksi lanau sedangkan ukuran butir rata-rata sedimen pantai didominasi oleh fraksi pasir (Tabel 3). Hal ini secara tidak langsung menunjukkan bahwa SiO_2 yang terdeteksi dari sedimen pantai dan dasar laut Teluk Papela umumnya berukuran lanau.

Eksperimen yang dilakukan oleh Chave (1981 dari Morse dan MacKenzie, 1990) berhasil membuktikan bahwa Mg dapat menggantikan Ca dalam organisme dengan cangkang karbonat

seperti alga merah, foraminifera bentik, bryozoa, echinodermata dan *barnacle*. Korelasi antara MgO dengan CaO yang tidak terlalu kuat menjadi penanda bahwa MgO yang terkandung dalam sedimen tidak hanya berasal dari cangkang organisme tetapi juga kemungkinan berasal dari batuan sekitar seperti batugamping.

Fosfat dalam sedimen akan dipengaruhi oleh kandungan fosfat dalam air, kecepatan sedimentasi, organisme dan litologi sedimen (Cook, 1974). Jika rasio kandungan P_2O_5 terhadap CaO mendekati nilai 0,759, maka fosfat dalam sedimen dapat ditafsirkan berasal dari apatit (Takiguchi dr., 2006). Tabel 1 dan 2 yang menunjukkan korelasi negatif antara P_2O_5 dan CaO dan rasio $\text{P}_2\text{O}_5/\text{CaO} < 0,004$ mengindikasikan bahwa P_2O_5 dalam sedimen bukan berasal dari apatit. Pengamatan mineralogi juga tidak menemukan adanya apatit dalam sedimen. Nilai P_2O_5 yang relatif stabil (Gambar 3, 4 dan 5), korelasi positif dengan lanau dan Cl menunjukkan bahwa kandungan P_2O_5 kemungkinan berasal dari garam yang terkandung dalam air laut dan terendapkan dalam lanau. Penafsiran ini juga didukung oleh korelasi positif antara Cl dengan Na_2O yang menunjukkan bahwa Na_2O dalam sedimen berkaitan dengan kandungan garam dalam air laut (Tabel 2).

Mangan merupakan unsur yang tidak membentuk pola khusus terhadap SiO_2 , Al_2O_3 dan CaO (Gambar 3, 4 dan 5) dan diperkirakan sebagai hasil pelapukan dari nodul mangan yang dijumpai dalam batuan berumur Jura di P. Rote oleh Molengraaff (1915) di daerah Termanu (sekitar Baa) dan Bebalain (selatan). Penjelasan Molengraaff (1915) mengenai batuan di lokasi sampel nodul mangan menunjuk pada Formasi Wailuli yang berumur Jura dari Roosmawati (2005). Namun lokasi penemuan nodul mangan di Termanu termasuk ke dalam Sekuen Kolbano berumur Kapur – Tersier dalam peta geologi Roosmawati (2005) yang tersusun oleh serpih dan batulumpur kaya Fe/Mn yang berselingan dengan rijang radiolaria dan ditutupi oleh lapisan masif kalsilutit. Karena lokasi Sekuen Kolbano yang berada di sisi pulau yang berlawanan dengan daerah penelitian (Gambar 5 dalam Roosmawati, 2005), dan tidak ada sungai yang menghubungkan Sekuen Kolbano dengan Teluk Papela, maka kecil kemungkinan Sekuen Kolbano untuk menjadi sumber sedimen di Teluk Papela. Sumber lain yang dapat menjadi alternatif adalah Formasi Wailuli yang menutupi sebagian wilayah penelitian di bagian selatan.

Secara umum, kandungan unsur jejak (Sr, Cl, I) dalam sedimen Teluk Papela jauh lebih besar dibandingkan kandungan ketiga unsur tersebut dalam *upper crust*, *shale*, dan *pelagic clay* namun lebih rendah dari kandungan ketiga unsur tersebut dalam air laut (Tabel 3). Korelasi positif antara Cl dan Na₂O menunjukkan bahwa Cl yang terkandung dalam sedimen merupakan hasil pengendapan garam. Keterdapatannya Sr diperkirakan berkaitan dengan kelimpahan cangkang dalam sedimen. Kandungan I dalam sedimen Teluk Papela tidak menunjukkan korelasi dengan unsur lainnya. Menurut Calvert dan Pedersen (1993), kandungan I dalam sedimen dasar laut dikontrol oleh kandungan bahan organik dan penguraian bahan organik. Oleh karena itu, kandungan I dalam sedimen Teluk Papela diperkirakan berasal dari bahan organik.

Unsur jejak yang sangat menarik untuk diamati adalah Pu yang berkorelasi negatif dengan P₂O₅ dan berkorelasi positif dengan Sr (Tabel 2). Korelasi tersebut menunjukkan bahwa kandungan Pu yang terdeteksi bukan merupakan Pu yang terlarut dalam air laut tetapi berkaitan dengan Sr. Korelasi positif Sr dengan CaO dan diperkuat oleh korelasi positif CaO dengan cangkang menunjukkan bahwa Sr menggantikan sebagian Ca yang terkandung dalam cangkang karena Sr dan Ca memiliki rasio ion yang sama. Eksperimen yang dilakukan oleh Marchitto drr. (2018) terhadap foraminifera benthik *Hoeglundina elegans* menunjukkan bahwa fraksinasi Rayleigh selama kalsifikasi menyebabkan terjadinya inkorporasi kation konservatif (Li, Mg, Sr dan Ca) yang terdapat di dalam laut sehingga dapat menggantikan Ca saat pembentukan cangkang. Hal ini menjadi indikasi bahwa Pu yang terdeteksi kemungkinan terikat dalam cangkang organisme.

Eksperimen yang dilakukan oleh Mo dan Lowman (1975) untuk mengetahui transfer Pu dari sedimen dan air laut ke organisme laut terutama bivalvia menunjukkan bahwa Pu dapat terakumulasi dalam cangkang hingga $1,10 \times 10^4$ kandungan Pu dalam air laut. Menurut Turekian dan Wedepohl (1961), Pu hanya terdapat di alam jika terjadi penangkapan neutron oleh uranium (U). Karena U tidak terdeteksi dalam sedimen, maka diperkirakan bahwa Pu dalam sedimen Teluk Papela merupakan hasil aktifitas manusia. Interpretasi ini didukung oleh hasil penelitian Ordóñez-Regil drr. (2013) yang menyatakan bahwa sebagian Pu yang ada di alam saat ini merupakan

hasil aktifitas manusia, terutama yang berkaitan dengan uji coba nuklir.

KESIMPULAN

Hasil analisis mineralogi butir dan unsur terhadap sedimen Teluk Papela menunjukkan perbedaan yang jelas antara lima sedimen pantai dan empat sedimen dasar laut yang diteliti. Sedimen pantai dicirikan oleh kandungan rata-rata fraksi berukuran <0,149 mm sebesar 66%, kandungan rata-rata cangkang 74%, kalsit 20% dan silika 6%. Sedimen dasar laut dicirikan oleh kandungan rata-rata fraksi dominan (<0,149 mm) sebesar 88%, kandungan rata-rata cangkang 30% dan kalsit 70%. Hasil analisis kandungan unsur menunjukkan pengaruh aktivitas organisme pembentuk cangkang pada kandungan CaO, MgO dan Pu. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa kandungan CaO, SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, MgO, dan MnO dipengaruhi oleh erosi dan transportasi fragmen batuan dari satuan Batugamping Korall dan Formasi Wailuli. Kandungan unsur jejak Sr berkaitan erat dengan kelimpahan organisme pembentuk cangkang. Kandungan Cl dan P₂O₅ merupakan hasil pengendapan garam dalam sedimen, sedangkan kandungan I diperkirakan berkaitan dengan kandungan bahan organik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilaksanakan dengan dana APBN nomor 22/LAP/P2K/P3GL/XII/ 2012 untuk Penelitian Lingkungan Geologi Perairan Teluk Papela, Kabupaten Rote. Penulis berterima kasih kepada tim yang telah melakukan pengambilan dan analisis data yang digunakan dalam makalah ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Godwin Latuputty yang telah membantu dalam pembuatan peta. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada mitra bestari, Dr. Noor Cahyo Dwi Aryanto yang telah memberikan masukan untuk makalah ini. Makalah ini dapat diselesaikan karena masukan yang berharga dari Dr. Ali Arman dari Pusat Aplikasi Teknologi dan Isotop Radiasi – BATAN serta Dr. Bambang Priadi dan Dr. Nurcahyo Indro Basuki dari Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan – ITB. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Koordinator Kelompok Pelaksana Program Litbang Geologi Lingkungan dan Kewilayahan serta berbagai pihak terkait yang memungkinkan terlaksananya penelitian dengan lancar.

DAFTAR ACUAN

- Aldrian, E. dan Susanto, R.D., 2003. Identification of Three Dominant Rainfall Regions within Indonesia and their Relationship to Sea Surface Temperature. *International J. of Climatology*, 23, h. 1435–1452. DOI: 10.1002/joc.950.
- Armstrong-Altrin, J.S., R. Nagarajan, Y.I. Lee, J.J. Kasper-Zubillaga, dan L.P. Cordoba-Saldana, 2014. Geochemistry of sands along the San Nicolás and San Carlos beaches, Gulf of California, Mexico: implications for provenance and tectonic setting. *Turkish J. Earth Sci.*, 23, h. 533-558.
- BPS Kabupaten Rote Ndao, 2014. *Rote Ndao dalam Angka*. Baa, CV.Grace, 250 h.
- Calvert, S.E., dan Pedersen, T.F., 1993. Geochemistry of Recent oxic and anoxic marine sediments: Implications for the geological record, *dalam* Parkes, R.J., Westbroek, P., dan de Leeuw, J.W. (Ed.), *Marine Sediments, Burial, Pore Water Chemistry, Microbiology and Diagenesis*. *Mar. Geol.*, 113, h. 67-88.
- Carvalho, L., Figueira, P., Monteiro, R., Reis, A.T., Almeida, J., Catry, T., Lourenço, P.M., Catry, P., Barbosa, C., Catry, I., Pereira, E., Granadeiro, J.P., dan Vale, C., 2017. Major, minor, trace and rare earth elements in sediments of the Bijagós archipelago, Guinea-Bissau. *Mar. Poll. Bull.*, *in press*.
- Chateigner, D., Hedegaard, C., dan Wenk, H. R., 2000. Mollusc shell microstructures and crystallographic textures. *J. Structur. Geol.*, 22, h. 1723-1735.
- Cook, P.J., 1974. Phosphate content of sediments from Deep-Sea Sites 259 to 263, eastern Indian Ocean, *dalam* J.J. Veevers, *et al.*, *Initial Report of the Deep-Sea Drilling Project*, 27. Washington, U.S. Government Printing Office, h. 455-462.
- Darlan, Y. dan Kamiludin, U., 2013. Rona Lingkungan Geologi Kelautan di Perairan P. Rote, Nusa Tenggara. *J. Geologi Kelautan*, 11, h. 149-164.
- Emerson, S., dan Hedges, J.I., 2004. Sediment Diagenesis and Benthic Flux, *dalam* K.K. Turekian dan H.D. Holland (ed), *Treatise on Geochemistry*, 6. Amsterdam, Elsevier, h. 293-320.
- Geurhaneu N.Y., Budiono K., Zuraida R., Prasetyo F., Latuputty G., Sahudin, Permanawati Y., Kamiludin U., Galih A., Sugiran, Ibrahim A., Subekti A., Darmawan W., Rohendi E., Hans D. Z., 2012, *Laporan Penelitian Lingkungan dan Geologi Pantai Di Perairan Pantai Timur Pulau Rote, Nusa Tenggara Timur*, Puslitbang Geologi Kelautan. Tidak diterbitkan.
- Gingele, F.X., de Decker, P., dan Hillenbrand, C-D., 2001. Clay mineral distribution in surface sediments between Indonesia and NW Australia – source and transport by ocean current. *Mar. Geol.*, 179, h. 136-146.
- Gromet, L.P., R.F. Dymek, L.A. Haskin dan R.L. Korotev, 1984. The “North American shale composite”: Its compilation, major and trace element characteristics. *Geochem. Cosmochem. Acta*, 48, h.2469-2482.
- Hammer, O., Harper, D.A.T., dan P.D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 9 hal. (<http://folk.uio/ohammer/past>).
- Hansen, H.J., 1999. Shell construction in modern calcareous Foraminifera, *dalam* B.K. Sen Gupta (ed.), *Modern Foraminifera*. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, h. 57–70.
- Kastner, M., 1999. Oceanic minerals: Their origin, nature of their environment, and significance. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 96, h. 3380–3387.
- Komar, P. D., 2007. The entrainment, transport, and sorting of heavy minerals by waves and currents, *dalam* Mange, M. A. dan Wright, D. T. (ed.), *Heavy minerals in use: Developments in Sedimentology*, 58. Amsterdam, Elsevier, h. 3–48.
- Komar, P.D., 1998. *Beach Processes and Sedimentation*, 2nd ed. New Jersey, Prentice-Hall, 429 h.
- Li, Y.-H dan Schoonmaker, J.E., 2005. Chemical Composition and Mineralogy of Marine Sediments *dalam* Mackenzie, F.T. (ed.), *Sediments, Diagenesis, and Sedimentary Rocks: Treatise on Geochemistry*, 2nd ed, 7. Oxford, Elsevier, h. 1–34.
- Marchitto, T.M., Bryan, S.P., Doss, W., McCulloch, M.T., dan Montagna, P., 2018. A simple biomineralization model to explain Li, Mg,

- and Sr incorporation into aragonitic foraminifera and corals. *Earth Planet. Science Lett.*, 481, h. 20–29.
- Mo, T., dan Lowman, F.G., 1976. Laboratory experiments on the transfer of plutonium from marine sediments to seawater and to marine organisms *dalam* Cushing, Jr., C.E. (ed.), 4. *National Symposium on Radioecology*, Corvallis, Oregon, h. 86-95.
- Molengraaff, G.A.F., 1915. On the occurrence of nodules of manganese in mesozoic deep-sea deposits from Borneo, Timor, and Rotti, their significance and mode of formation. *Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (Proc. Royal Netherlands Acad. Arts and Sci.) Series B Phys. Sci.*, 18, h. 415-430.
- Morse, J.W., dan Mackenzie, F.T., 1990. *Geochemistry of Sedimentary Carbonates*. Elsevier, h. 202.
- Ordonez-Regil, E., M.G. Almazan-Torres, J.A. Sanchez-Cabeza dan A.C. Ruiz-Fernandez, 2013. Presence of uranium and plutonium in marine sediments from Gulf of Tehuantepec, Mexico. *J Radioanal. Nucl. Chem.*, 298, h. 981–986.
- Rahman, A., dan Oomori, T., 2008. Structure, crystallization and mineral composition of sclerites in the alcyonarian coral. *J. Crystal Growth*, 310, h. 3528-3534.
- Roosmawati, Nova, 2005. *Long-Term Surface Uplift History of the Active Banda Arc-Continent Collision: Depth and Age Analysis of Foraminifera from Rote and Savu Islands, Indonesia*. Provo, Brigham Young University, 121 h.
- Rosidi, H. M. D., Tjokrosoepetro, S., Gafoer, S., dan Suwitodirdjo, K., 1979. Peta Geologi P. Rote (1:250.000). Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan.
- Setiady, D., Kamiludin, U., dan Gerhaneu, Nineu, 2015. Jenis dan Sebaran Sedimen di Perairan Papela dan Sekitarnya, Rote Ndao, Nusa Tenggara Timur. *J. Geologi Kelautan*, 13, h. 153-164.
- Tagiguchi, T., K. Sugitani, K. Yamamoto dan K. Suzuki, 2006. Biogeochemical signatures preserved in ancient siliceous sediments; new perspectives to Triassic radiolarian bedded chert compositions. *Geochem. J.*, 40, h. 33 – 45.
- Turekian, K.K., dan Wedepohl, K.H., 1961. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *GSA Bulletin*, 72(2), h. 175-192.
- Wei, G. J., Liu, Y., Li, X. H., Chen, M. H. dan Wei, W.C., 2003. High-resolution elemental records from the South China Sea and their paleoproductivity implications. *Paleoceanography*, 18, 1054, doi:10.1029/2002PA000826.

