

KARAKTERISTIK ENDAPAN KUARTER DAN KEBERADAAN AIR TANAH BERDASARKAN PENAFSIRAN DATA GEORADAR DI PESISIR PANTAI BARAT DAYA PULAU ROTE

CHARACTERISTICS OF QUATERNARY DEPOSIT AND GROUND WATER ACCUMMULATION BASED ON GEORADAR DATA INTERPRETATION IN THE SOUTHWEST COAST ROTE ISLAND

Muhammad Zulfikar^{1*}, Fauzi Budi Prasetio¹ dan Undang Hernawan²

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

²Pusat Survei Geologi, Jl Diponegoro 57 Bandung

*email: m.zulfikar048@gmail.com

Diterima : 04-10-2019, Disetujui : 05-10-2020

ABSTRAK

Pulau Rote merupakan pulau bagian selatan wilayah Indonesia yang terbentuk akibat adanya kolisi antara dua lempeng benua antara Australia – Asia, sehingga terjadi pengangkatan yang membentuk daratan hingga saat ini. Formasi batuan yang tersingkap di permukaan bagian timur - selatan Pulau Rote tersusun atas endapan-endapan Kuartar dan Formasi Batuan berumur Kuartar yang terdiri dari Endapan Aluvium dan Endapan Pantai (Qa), Endapan Konglomerat (Qac), Batugamping Koral (Ql), Formasi Noele (Qtn). Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran kondisi endapan kuartar bawah permukaan dan kemungkinan keberadaan air tanah. Survei ini menggunakan peralatan *Ground Penetrating Radar (GPR)* tipe Sirveyor 20, antenna (*MLF*) frekuensi 40 MHz dan software Radan 5 untuk pemrosesan data. Hasil identifikasi fasies radar menunjukkan bahwa kondisi geologi di bawah permukaan pada kedalaman 15 – 30 meter merupakan batupasir yang dapat dibandingkan dengan Formasi Noele (Qtn). Pada kedalaman 2-15 meter merupakan lapisan yang tersusun atas batugamping bioklastik (batugamping koral) yang dapat dibandingkan dengan Batugamping Koral berumur Kuartar (Ql). Pada kedalaman 0-1 meter merupakan endapan pantai berumur Holosen yang dapat dibandingkan dengan Endapan Alluvium dan Endapan Pantai (Qa). Keberadaan air tanah diperkirakan berada pada lapisan Batugamping Koral dengan kedalaman sekitar 12-15 meter.

Kata kunci: Georadar, GPR, endapan Kuartar, Pulau Rote, fasies radar

ABSTRACT

Rote Island is the southern part of Indonesia which was formed by two continental plates collision between Australia and Asia plates, so that there will be an uplift that forms the land until now. The Quaternary rock units are well exposed in the east-south part of Rote Island, which are composed of Alluvium and Coastal Deposits (Qa), Conglomerate Deposits (Qac), Coral Limestone (Ql), and Noele Formation (Qtn). This study provides lithological characteristics of quaternary deposit and possibility of ground water presence by using georadar data interpretation. This survey using Sirveyor 20 GPR equipment type with MLF antenna frequency 40 Mhz and Radan 5 as processing software. Result of radar facies identification showed geological condition at 15-30 depth was sandstone that can be compared to the Noele Formation (Qtn). At 2-15 meter depth is a layer composed of bioclastic limestone (coral limestone) which can be compared to Quaternary coral limestone (Ql). At 0-1 meter depth is Holocene deposit that can be compared to Alluvium and Coastal Deposit (Qa). The presence of ground water is estimated to be in the coral limestone layer at 12-15 meter depth.

Keywords: Georadar, GPR, Quaternary deposit, Rote Island, radar facies

Kontribusi:

Muhammad Zulfikar dan Fauzi Budi Prasetio adalah sebagai kontributor utama pada artikel ini, sedangkan Undang Hernawan adalah sebagai kontributor anggota.

PENDAHULUAN

Ground Penetrating Radar (GPR) atau lebih dikenal dengan Georadar adalah salah satu metode geofisika bersifat non-invasif (Moyses dkk. 2006), yang dikembangkan sebagai salah satu alat bantu untuk penelitian geologi bawah permukaan yang relatif dangkal dan terperinci (van Heteren dkk., 1998, Moyses dkk., 2006). Metode tersebut dilakukan melalui pengukuran/perubahan sifat propertis dari material geologi (Sjoberg, Y dkk., 2015) dan komposisi sifat keteknikannya (Carrivick, 2007).

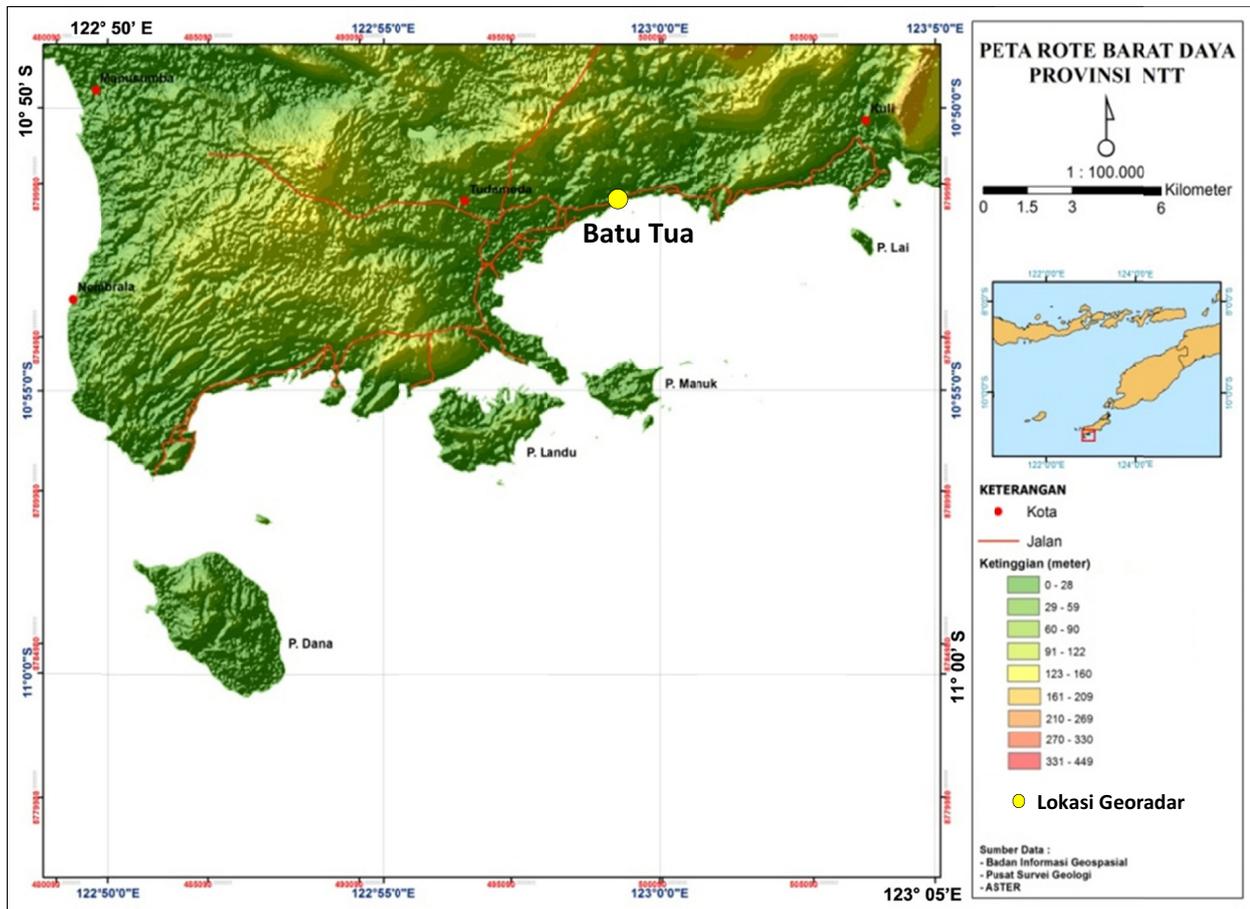
Prinsip penggunaan metode GPR tidak jauh berbeda seismik pantul, seperti identifikasi fasies dan sekuen lapisan bawah permukaan (van Heteren dkk., 1998). Sinyal GPR dapat dipengaruhi oleh konstanta dielektrik, konduktivitas material (van Dam dan Schlager, 2000), jenis sedimen dan interpretasi fasiesnya bergantung pada prinsip-prinsip stratigrafi seismik, yang sebagian besar mencakup identifikasi konfigurasi dan terminasi refleksi, konfigurasi refleksi internal dan geometri eksternal (van Heteren dkk., 1998, Beres dan Haeni, 1991). Hasil citra georadar akan

memperlihatkan bentuk dasar geometri seperti litologi, kandungan air tanah dan utilitas bawah permukaan (Budiono dkk., 2012).

Georadar banyak digunakan dalam bidang geologi, antara lain: karakteristik litologi (Elfarabi dkk., 2017; Noviadi, 2014; Budiono dan Latuputty, 2008), struktur geologi, rekahan (Somantri dkk., 2016; Shofyan dkk., 2016; Budiono dkk., 2010), sedimen bawah permukaan (Jatmiko dkk., 2016; Budiono, 2013; Budiono 2013), penurunan tanah (Raharjo dan Yosi, 2017; Budiono dkk., 2012).

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran karakteristik sedimen kuartar bawah permukaan di wilayah pesisir pantai baratdaya Pulau Rote dan mengidentifikasi keberadaan air tanah di lokasi tersebut.

Lokasi penelitian berada di pesisir Pantai Baratdaya Pulau Rote barat daya (Gambar 1). Secara geografis lokasi berada pada $122^{\circ} 52' - 123^{\circ} 05' \text{ BT}$ dan $10^{\circ} 50' - 10^{\circ} 55' \text{ LS}$ dan secara administrasi termasuk wilayah Kabupaten Rote Ndao, Provinsi Nusa Tenggara timur. Pengambilan data georadar dilakukan di daerah Batu Tua (ditandai warna kuning pada Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian georadar

Pada umumnya geologi Pulau Rote didominasi oleh satuan batugamping koral yang dibentuk oleh mahluk laut zaman Tersier yang kemudian mati dan terkubur lalu mengalami proses sedimentasi pada zaman Kuartar. Unit batuan tersebut tersebar di seluruh pulau, dan sebagian besar muncul di Barat, Barat Daya, Utara dan Timur Laut. Satuan batuan ini merupakan jenis satuan batugamping bioklastik yang terlihat memiliki perlapisan. Berdasarkan Peta Geologi Regional lembar Pulau Rote Skala 1:250.000 (Rosidi dkk., 2012) yang diterbitkan P3G Bandung, menjelaskan stratigrafi Pulau Rote, disusun oleh unit batuan dari muda ke tua adalah sebagai berikut:

	Umur (Age)		Satuan Batuan		
			Formasi Atokton / Para Atokton		
Kenozoikum	Kuartar	Holosen		Qa	
		Pleistosen		Qac → Ql	
	Tersier	Neogen	Pliosen	Akhir	Qtn Tmpb
				Tengah	
			Awal		
			Miosen	Akhir	
		Tengah			
		Awal			

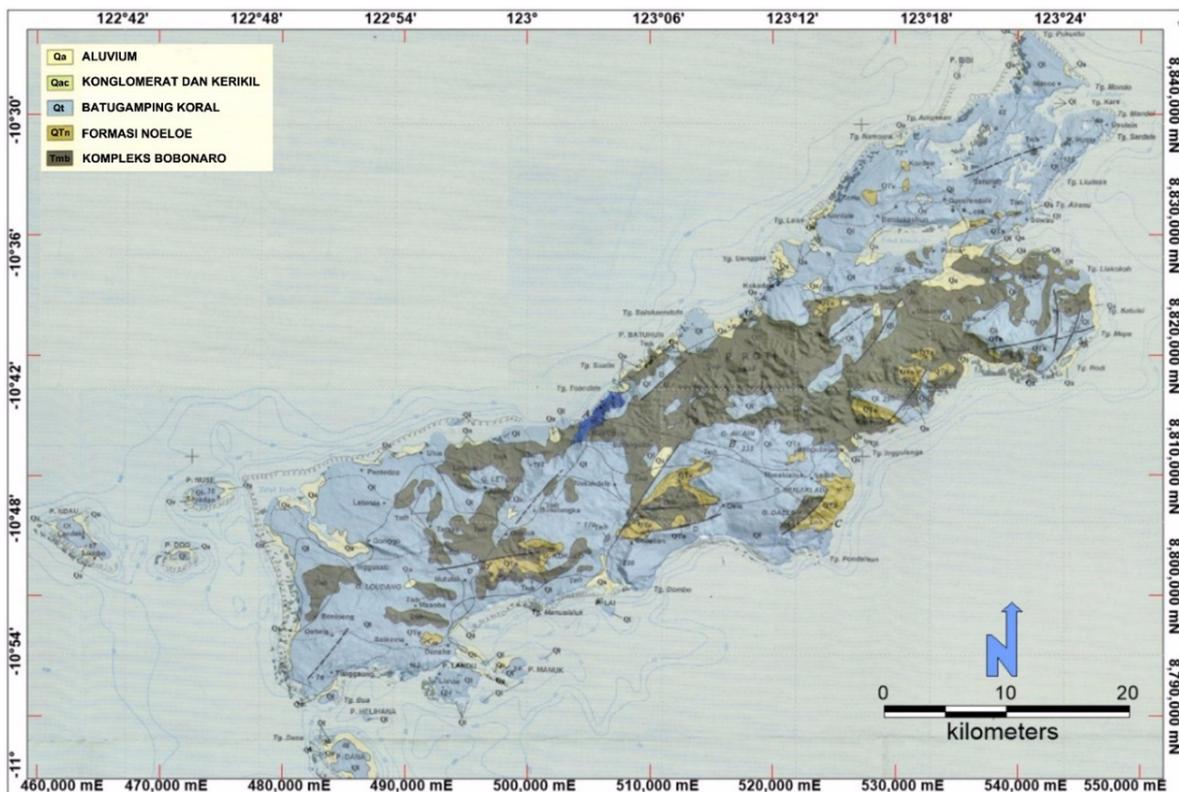
Gambar 2. Tabel Stratigrafi Regional (Rosidi dkk., 2012)

Endapan Alluvium dan Endapan Pantai (Qa)

Satuan Endapan alluvium dan endapan pantai tersusun atas lumpur, pasir, kerikil, kerakal yang berasal dari bermacam-macam batuan, pecahan cangkang fosil, terdapat pada dataran banjir sungai sungai besar, muara sungai dan tepi pantai. Lempung pasir dan lumpur hitam terdapat di daerah rawa-rawa dan dataran pantai. Satuan Endapan alluvium dan endapan pantai diendapkan paling muda berumur Holosen.

Konglomerat dan Kerakal (Qac)

Satuan Konglomerat dan Kerakal tersusun atas endapan klastik kasar seperti konglomerat, kerakal, dan bongkah dengan selingan batupasir berstruktur silang siur terutama bagian bawah. Unit satuan batuan ini diperkirakan berumur Plistosen. Potongan-potongan tulang binatang bertulang belakang (vertebrata) ditemukan di dekat desa Mota Oe sebelah timur Atumba. Endapan ini membentuk undak-undak sungai yang di beberapa tempat mencapai ketinggian 45 meter diatas dataran banjir, peneliti menyebutnya sebagai endapan Sungai Tua sedangkan di Timor Timur dinamakan Aimaro Gravel (Audley-Chales, 1968).



Gambar 3. Peta Geologi Lembar Kupang-Atambua, Kupang (Rosidi dkk., 2012)

Batugamping Koral (Ql)

Batugamping Koral (Ql) tersusun atas batugamping koral yang berwarna putih sampai kekuning-kuningan dan kemerah-merahan serta batugamping napalan. Setempat-setempat berkembang pula batugamping terumbu dengan permukaan kasar dan berongga. Di bagian bawah biasanya menunjukkan perlapisan yang hampir datar. Satuan ini menunjukkan perubahan fasies dengan Satuan Konglomerat dan Kerakal (Qac) berumur Plistosen.

Formasi Noele (Qtn)

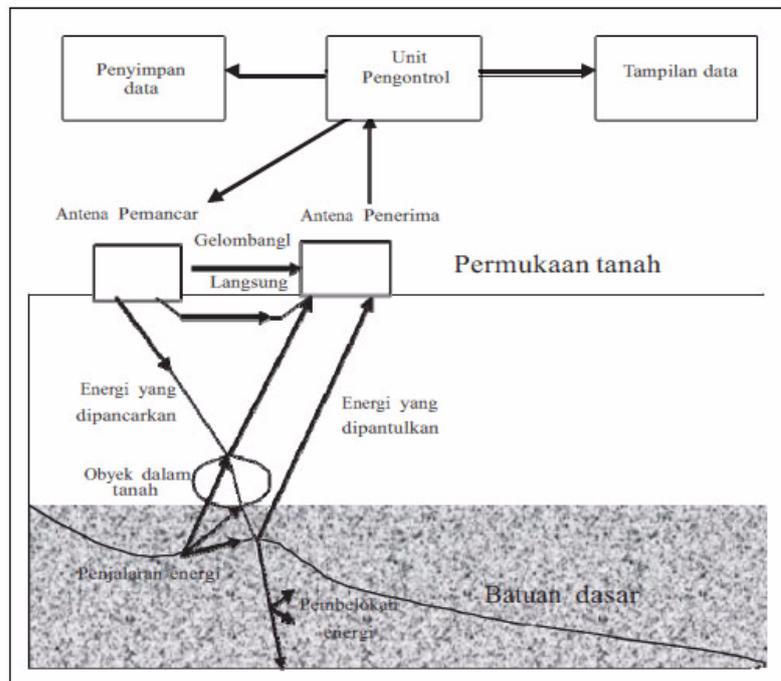
Formasi Noele (Qtn) tersusun atas napal pasiran berselang-seling dengan batupasir, konglomerat dan sedikit tufa dasit. Perubahan fasies ke arah lateral maupun ke arah litologi ke arah vertikal sangat cepat. Napal berwarna putih keabu-abuan, pasiran, kadang-kadang lanauan, banyak mengandung globigerina dan foram pelagik lainnya. Batupasir kadang-kadang menunjukkan perlapisan bertahap, perlapisan konvolut, dan berbutir sedang sampai kasar. Tebal masing-masing perlapisan berkisar 10-190 cm. Pecahan cangkang moluska sangat umum terdapat dalam batupasir. Komponen konglomerat agak membulat dan umumnya berasal dari rombakan batuan malihan dan batuan yang lebih tua *clay pellets*. Tufa berwarna putih, bersusun dasit, berlapis sejajar dan kadang-kadang konvolut, terdapat sebagai sisipan dalam napal. Pada lokasi tipe dari formasi ini, memiliki ketebalan sekitar 700 m. Formasi ini menindih Formasi Batuputih dan ditutupi secara tidak selaras oleh Batugamping Koral (Ql) dan Konglomerat dan kerakal (Qac).

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode GPR yang dapat mengidentifikasi kondisi bawah permukaan. Pada prinsipnya metode ini, didasarkan pada pemancaran gelombang elektromagnet ke dalam bumi, dan penangkapan gelombang elektromagnet yang diteruskan, dipantulkan, dan dihamburkan oleh struktur permukaan dan anomali di bawah permukaan bumi. Gelombang elektromagnet yang dipantulkan dan dihamburkan tersebut diterima oleh antenna penerima di permukaan bumi

(Budiono dkk., 2012) (Gambar 4. Cara kerja metode georadar). Pemancaran dan pengembalian gelombang elektromagnet berlangsung cepat sekali yaitu dalam satuan waktu *nanosecond* (Allen, 1979).

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat peralatan model SIRVeyor 20 produk dari GSSI yang terdiri dari *mainframe* dan *toughbook*, kabel data dan antenna tipe MLF (*Multi Level Frequency*) dengan frekuensi yang digunakan adalah 40 MHz dan penetrasi kedalaman diatur hingga mencapai kedalaman 30 meter (Foto 1). Peralatan penunjang terdiri dari aki, roda pendorong, GPS, rol meter, kamera dan alat tulis. Data georadar diproses dengan menggunakan *software* Radan 5 produk dari GSSI (*Geological Survey System Inc.*). Pemrosesan yang dilakukan antara lain mencakup spasial filter, dekonvolusi, migrasi, serta penyesuaian *amplitudo* dan *gain*.



Gambar 4. Cara kerja metode georadar

Teknik penggunaan metode GPR dikenal sebagai *Electromagnetic Subsurface Profiling* (ESP) yang mirip dengan teknik *Sub Bottom Profiling* (SBP) pada geologi kelautan (Budiono dkk., 2012) dengan cara memanfaatkan pengembalian gelombang elektromagnet yang dipancarkan melalui permukaan tanah dengan perantara antenna.

Secara umum pemrosesan data georadar mencakup beberapa langkah, yaitu: konversi data dalam format digital yang digunakan,



Foto 1. Menunjukkan proses akuisisi GPR di daerah Batu Tua

menghilangkan atau meminimalkan gelombang langsung dan udara dari data, penyesuaian amplitudo dan *gain*, penyesuaian data statis yang mencakup penghilangan efek perbedaan elevasi, pemfilteran data, dan analisis kecepatan (Beres dan Haeni, 1991). Yulius dkk. (2008) melakukan prosedur untuk menentukan geologi bawah permukaan dangkal dari data georadar dengan menggunakan pola konfigurasi reflektor yang tergambar dalam Beres dan Haeni (1991).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Litologi batuan yang tersingkap di permukaan

Litologi batuan yang tersingkap di lokasi penelitian georadar didominasi oleh litologi batugamping koral. Litologi batugamping ini memiliki karakteristik mudah lapuk – hingga kompak. Hampir di seluruh wilayah pantai Pulau

Rote terdapat pecahan batugamping hingga batugamping segar. Morfologi pantai ini terdiri dari pedataran pantai hingga pantai bertebing (Foto 2). Dominan energi yang berpengaruh di kawasan pantai ini merupakan energi laut (pasang-surut).

Fasies Radar

Analisis struktur bawah permukaan dilakukan dengan cara mengidentifikasi perbedaan konfigurasi reflektor, yang menunjukkan adanya perbedaan fasies radar. Perbedaan fasies tersebut dapat memberikan gambaran kondisi lingkungan pengendapan suatu sedimen (Jatmiko dkk., 2016). Fasies radar dihasilkan dari analisis kumpulan data GPR yang terdiri dari identifikasi fasies radar individu, yang kemudian dikelompokkan ke dalam unit radar. Unit radar tersebut kemudian diinterpretasi untuk mengidentifikasi lingkungan pengendapan sedimen bawah permukaan (Budiono, 2013).

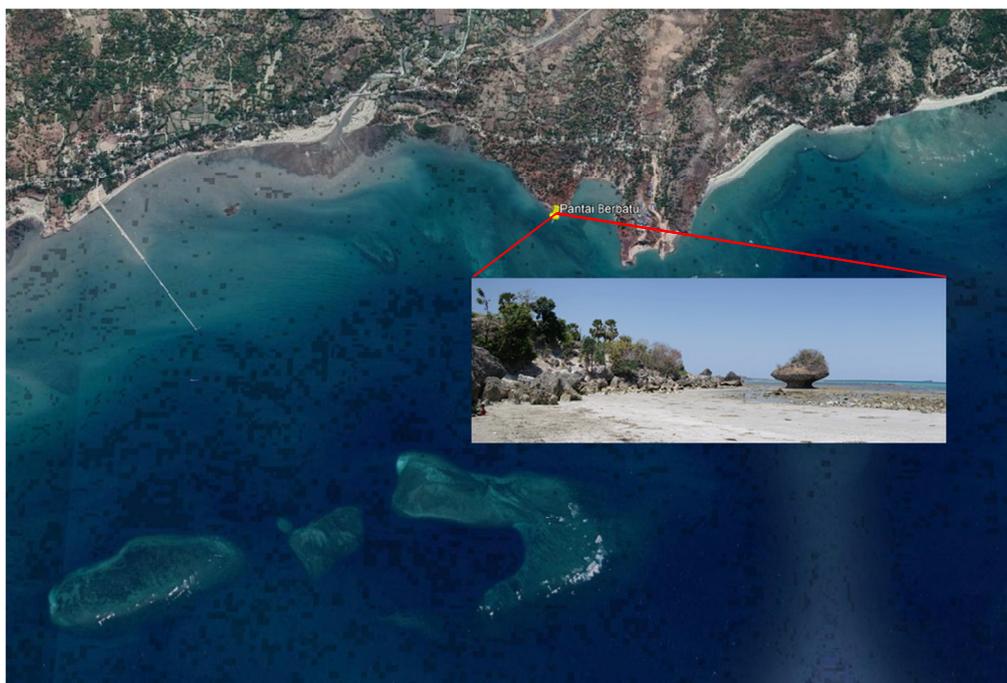


Foto 2. Menunjukkan singkapan batugamping di Pantai Batu Tua di daerah Rote baratdaya

Berdasarkan analisis fasies radar yang dilakukan pada lintasan L01 dan L01_1 dapat terlihat adanya perbedaan konfigurasi reflektor, yang secara umum dikelompokkan menjadi empat unit fasies radar A, B, C dan D dengan karakteristik sebagai berikut :

- **Unit Fasies Radar A: Paralel kontinyu**

Fasies radar ini ditandai dengan konfigurasi reflektor paralel simpel, reflektor lemah, dan amplitudo sedang. Fasies ini merupakan fasies teratas dengan lapisan yang tipis, memiliki kisaran kedalaman dari 0 - 1 m.

- **Unit Fasies Radar B : Paralel kontinyu berundulasi**

Fasies radar ini ditandai dengan konfigurasi reflektor paralel yang berundulasi, reflektor kuat, dan amplitudo sedang - tinggi. Fasies ini merupakan lapisan di bawah unit pertama yang memiliki kisaran kedalaman dari 1 - 4,8 m.

- **Unit Fasies Radar C : Paralel – subparalel kontinyu berundulasi**

Fasies radar unit ini, dicirikan oleh reflektor paralel – subparalel yang berundulasi, reflektor sedang – kuat, dan amplitudo tinggi. Berdasarkan data GPR menunjukkan bahwa fasies subparalel ditandai oleh lapisan yang lebih tipis, lebih transparan dan dilaminasi antara fasies paralel (Gambar 5). Fasies paralel dapat dibagi menjadi serangkaian lapisan horizontal dan lapisan *wavy* (berundulasi/bergelombang). Bentuk horisontal

paralel dan subparalel dapat dilihat di bagian atas dan secara bertahap menjadi lebih *wavy* ke bagian bawah. Fasies ini berada pada kisaran kedalaman dari 4,8 - 13 m.

- **Unit Fasies Radar D : Subparalel kontinyu berundulasi**

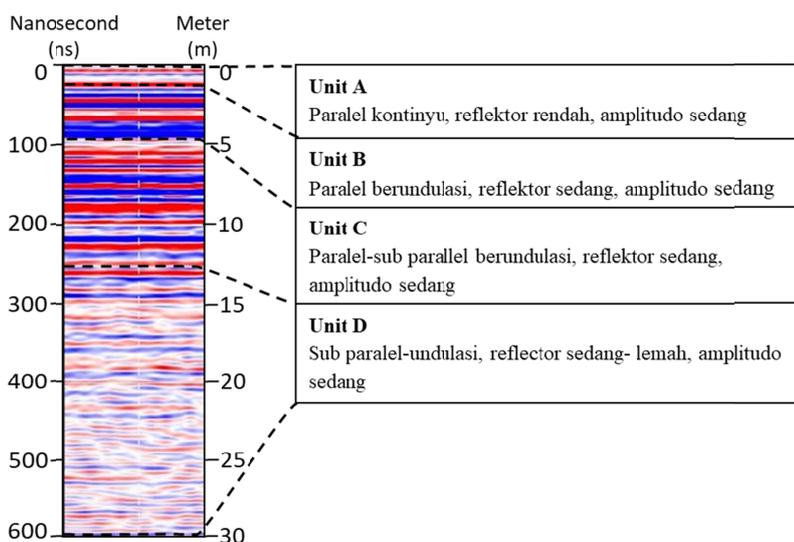
Fasies radar unit ini, merupakan lapisan paling bawah dicirikan oleh reflektor subparalel berundulasi, reflektor sedang - lemah dengan amplitudo sedang. Lapisan ini merupakan lapisan paling tebal, dari kedalaman 13 meter sampai batas penetrasi georadar yaitu 30 meter. Meskipun merupakan lapisan bawah, tidak terlihat adanya model fasies radar dengan difraksi.

Interpretasi unit radar

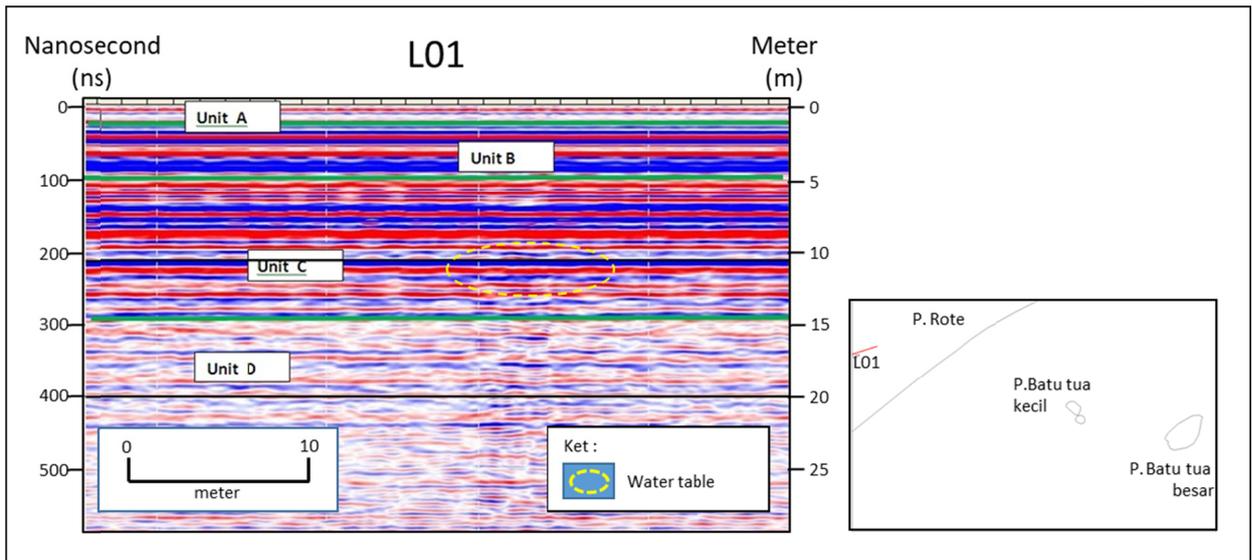
Hasil interpretasi unit radar dapat memberikan gambaran geologi bawah permukaan di wilayah pesisir pantai barat daya Pulau Rote hingga kedalaman 30 meter (Gambar 6 dan 7). Hasil rekaman georadar menunjukkan adanya dominasi pola konfigurasi reflektor yang bersifat kontinyu. Apabila dilihat dari lapisan paling atas – lapisan paling bawah (muda – tua), maka unit A adalah lapisan paling muda, dengan model fasies radar paralel kontinyu merupakan lapisan penutup yang terdiri dari lapukan batugamping.

Pada kedua lintasan, ketebalan lapisan unit A ini sekitar 1 m. Hasil lapukan batugamping ini terendapkan secara lateral dengan pengaruh energi dari laut yang kuat, sehingga pengaruh terhadap suplai sedimen dari arah darat tidak terlalu besar dan endapan pelapukan batugamping ini menerus hingga batas akomodasinya. Dengan pola reflektor yang kontinyu dan paralel ini hampir dapat dipastikan bahwa pada unit A merupakan endapan pantai yang terhampar secara lateral. Unit A ini dapat dibandingkan dengan Endapan Alluvium dan Endapan Pantai (Qa) (Rosidi, 2012).

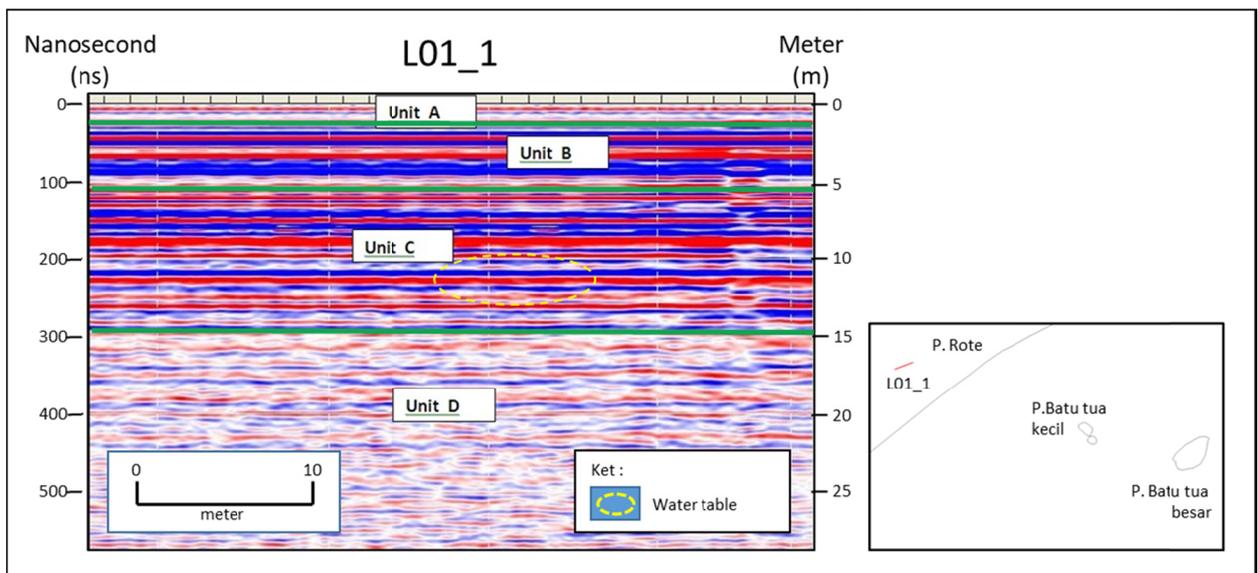
Lapisan di bawah unit A adalah unit B, yang dicirikan oleh konfigurasi reflektor paralel yang sedikit berundulasi, reflektor kuat, amplitudo sedang sampai tinggi dan konduktivitas sedang.



Gambar 5. Konfigurasi reflektor dari hasil analisis GPR yang dapat dikelompokkan kedalam empat unit fasies radar.



Gambar 6. Hasil pengolahan rekaman georadar pada lintasan L01 berarah Timur – Barat, pantai Batu Tua, daerah Rote barat daya



Gambar 7. Hasil pengolahan rekaman georadar pada lintasan L01_1,berarah Timur-Barat, Pantai Batu Tua, daerah Rote barat daya.

Unit B ini merupakan batugamping dengan tingkat pelapukan sedang atau *moderately weathered*. Berdasarkan hukum superposisi bahwa batugamping pada unit B ini merupakan lapisan batugamping yang memiliki sifat fisik mudah terlapukkan disebabkan oleh posisi perlapisan ini merupakan bagian yang paling atas dan paling sering terpengaruh oleh pasang-surut muka air laut, sehingga komposisi penyusun batuan mengalami perubahan dan terjadi pelapukan pada batuan ini yang kemudian terendapkan kembali pada siklus pengendapan berikutnya. Unit B ini dapat dibandingkan dengan Batugamping Koral

(Q1) yang memiliki perlapisan hampir datar (Rosidi, 2012).

Unit C merupakan lapisan berikutnya, yang secara posisi merupakan unit batugamping yang tidak mudah terlapukkan yang tidak terlalu terpengaruh oleh pasang-surut muka air laut. Unit ini dapat disebut sebagai *fresh rock* dari batugamping koral yang berada di daerah penelitian. Pada unit ini dicirikan oleh reflektor subparalel berundulasi, konduktivitas menengah dengan amplitudo sedang. Unit ini merupakan batugamping yang masih segar. Pada kedalaman 12-13 meter terlihat pola reflektor yang cenderung

tebal jika dibandingkan dengan pola reflektor sekitarnya, hal ini menunjukkan adanya keterdapatan muka air tanah (Peterson, 2019; Shukla, 2008; Costas, 2006) pada unit ini. Unit C ini dapat dibandingkan dengan Batugamping Koral (Q1) (Rosidi, 2012).

Unit D merupakan lapisan paling bawah dengan ciri konfigurasi reflektor subparalel – berundulasi. Karakter konfigurasi reflektor seperti ini menggambarkan jenis litologi batuan yang memiliki fragmentasi sedang – kasar. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya bahwa Unit D ini dapat dibandingkan dengan Formasi Noele (Qtn) (Rosidi, 2012). Kandungan pasir yang ada pada lapisan ini membuat konfigurasi reflektor yang berundulasi dengan amplitudo sedang.

KESIMPULAN

Penggunaan metode GPR dengan penetrasi dangkal dapat menghasilkan reflektor yang menggambarkan kondisi bawah permukaan baik berupa litologi, struktur dan bentuk perlapisan sedimen bawah permukaan, serta keberadaan air tanah. Fasies radar yang terlihat dalam rekaman GPR terbagi menjadi 4 unit fasies yaitu, Unit A : Paralel kontinyu, Unit B : Paralel kontinyu berundulasi, Unit C : Paralel – subparalel kontinyu berundulasi, Unit D : Subparalel kontinyu berundulasi. Dengan melakukan interpretasi hasil GPR diharapkan dapat membantu dalam mengetahui karakteristik litologi, khususnya endapan-endapan atau formasi berumur Kuartar yang terdapat di wilayah barat daya pesisir pantai Rote, serta dapat mengidentifikasi keberadaan air tanah di lokasi penelitian yang terdapat pada kedalaman 12 – 13 meter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Puslitbang Geologi Kelautan, Balitbang ESDM yang telah memberikan pendanaan dan fasilitas peralatan dalam pelaksanaan kegiatan penelitian ini. Terima kasih juga untuk tim survei lapangan Rote barat daya, Pemda Kabupaten Rote-Ndao, serta semua pihak yang telah membantu dalam kegiatan penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

Allen, R.L., 1979. Studies In Fluvial Sedimentation: Anelementary Geometric Model For The Connectedness Of Avulsion-

Related Channel Sand Bodies. *Sedimentary Geology*, 24, h.253-267.

Beres Jr. M., & Haeni., F.P., 1991. Application of Ground Penetrating Radar Methods in Hydrogeologic Studies. *Ground Water*, 29 (3), h.375-386.

Budiono, K., 2013. The characteristic of coastal subsurface quaternary sediment based on Ground Probing Radar (GPR) interpretation and core drilling result of Anyer coast, Banten province. *Bulletin of the Marine Geology*, 28 (2), h.83-93.

Budiono, K., 2013. The image of subsurface tertiary – quaternary deposit based on Ground Penetrating Radar records of Subi Kecil Island coast, Natuna District, Riau Archipelago province. *Bulletin of the Marine Geology*, 28 (1), h.31-41.

Budiono, K., Noviadi, Y., Latuputty, G., & Hernawan U., 2012. Investigation of Ground Penetrating Radar for Detection of Road Subsidence Northcoast of Jakarta, Indonesia. *Bulletin of the Marine Geology*, 27 (2), h.87-97.

Budiono, K., Handoko, Hernawan, U., & Godwin, 2010. Penafsiran Struktur Geologi Bawah Permukaan di Kawasan Semburan Lumpur Sidoarjo, Berdasarkan Penampang Ground Penetrating Radar (GPR). *Jurnal Geologi Indonesia*, 5 (3), h.187-195.

Budiono, K & Latuputty, G., 2008. Subsurface geological condition of several land coastal zone in Indonesia based on the GSSI Ground Probing Radar (GPR) record interpretation. *Bulletin of the marine geology*, 23 (1), h.9-17

Carrivick, J.L., 2007. GPR-Derived Sedimentary Architecture and Stratigraphy of Outburst Flood Sedimentation Within a Bedrock Valley System, Hraundalur, Iceland. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 12 (1), h.127-143.

Costas, S., Alfjo, I., Rial, F., Lorenzo, H. and Nombela, M. A., 2006. Cyclical Evolution of a modern transgressive sand barrier in Northwestern Spain elucidated by GPR and aerial photos : J. Sediment. Res. 76 1077–1092.

Elfarabi, Widodo, A., & Syaifudin, F., 2017. Pemetaan bawah permukaan pada daerah Tanggulangin, Sidoarjo dengan menggunakan metode Ground Penetrating

- Radar (GPR). *Jurnal Geosaintek*, 3 (1), h.45-50.
- Jatmiko, F. A. W., Mandang, I., & Budiono, K., 2016. Interpretasi sedimen bawah permukaan tanah dengan menggunakan metode GPR (Ground Penetrating Radar) di daerah pantai Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta. *Prosiding seminar sains dan teknologi FMIPA Unmul*, 1 (1), h.13-17.
- Moysey, S., Rosemary, J. K., & Hary, M., 2006. Texture – based on classification of ground-penetrating radar images. *Geophysics*, 71, h.k111-k118
- Noviadi, Y., 2014. Characteristic of shallow subsurface lithologi based on Ground Probing radar data interpretation at Temaju coast, Sambas distric, West Kalimantan province. *Bulletin of the Marine Geologi*, 29 (2), h.61-70.
- Peterson, C.D. & Soliber, S.R., 2019. Groundwater Surface (GWS) Mapping by Ground Penetrating Radar (GPR) For Use in Protecting Freshwater Habitats, Water Quality, and Active Dune Landscapes, In the Florence Coastal Dune Sheet, Oregon, USA. Portland, United States : Journal of Geography and Geology; Vol. 11, No. 1; 2019.
- Raharjo, P., Yosi, M., 2017. The identification of land subsidence by levelling measurement and GPR data at Tanjung Emas harbour, Semarang. *Bulletin of the Marine Geology*, 31 (1), h.41-50.
- Rosidi, H. M. D., Tjokrosapoetro, S. & Gafoer, S., 2012. *Peta Geologi Lembar Kupang-Atambua, Timor*, Skala 1:250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G), Bandung.
- Shukla, Patidar & Nilesh Bhatt, 2008. Application of GPR in the Study of Shallow Subsurface Sedimentary Architecture of Modwa spit, Gulf of Kachchh. Vadodara, India : Journal of Earth System Science.
- Shofyan, M. S., Hilyah, A., & Pandu, G. N. R. J., 2016. Penerapan metode very low frequency electromagnet (VLF-EM) untuk mendeteksi rekahan pada daerah Tanggulangin, Sidoarjo. *Jurnal Geosaintek*, 02 (02), h.129-134.
- Somantri, A. P., Arya, P., & Iryanti, M., 2016. Aplikasi metode Ground Probing Radar terhadap pola retakan di bendungan Batu Tegi Lampung. *Wahana Fisika*, 1 (1), h.32-41.
- Sjoberg, Y., Marklund, P., Pettersson, R., & Lyon, S. W., 2015. Geophysical Mapping of Palsa Peatland Permafrost. *The Cryosphere*, 9, h.465-478.
- van Dam, R.L. & Schlager, W., 2000. Identifying Causes of Ground Penetrating Radar Reflection Using Time-Domain Reflectometry and Sedimentological Analyses. *Sedimentology*, 47, h.435-449.
- van Heteren, S., Fitzgerald, D. M., Mckinlay, P. A., & Buynevich, I.V., 1998. Radar fasies of paraglacial barrier systems: coastal New England, USA. *Sedimentology*, 45, h.181-200.
- Yulius, M. Y., Wahyu, Y., & Oktafiani, F., 2008. Studi Pemrosesan dan Visualisasi Data Ground Penetrating Radar. *Jurnal Informatika LIPI*, 2 (1), h.1-6.

