

KARAKTERISTIK ENDAPAN TSUNAMI KRAKATAU 1883 DI DAERAH TARAHAN, LAMPUNG

Characteristics of the 1883 Krakatau Tsunami Deposits in Tarahan, Lampung

Purna Sulastya Putra, Eko Yulianto

Pusat Penelitian Geoteknologi, LIPI

ABSTRAK Lokasi penelitian terletak di sebelah selatan Kota Tarahan, Lampung merupakan daerah yang terkena dampak gelombang tsunami letusan Gunung Krakatau 1883. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik endapan tsunami Krakatau 1883 dengan mengamati profil stratigrafi pada dinding sungai dan parit uji pada 12 lokasi di 3 (tiga) transek. Analisis laboratorium meliputi analisis besar butir, mikrofauna (foraminifera dan moluska) dan mineral berat. Endapan tsunami yang teridentifikasi berupa lapisan pasir dengan pecahan cangkang dan fragmen karang. Lapisan pasir ini berasosiasi dengan lapisan abu vulkanik dan lapisan batupung yang merupakan material hasil letusan Krakatau 1883. Kandungan foraminifera bentik dan moluska memperlihatkan bahwa gelombang tsunami menggerus dasar laut hingga kedalaman 30 - 40 m. Berdasarkan pengamatan singkapan dan analisis besar butir, terdapat empat pola perulangan struktur penghalusan besar butir ke arah atas dalam satu lapisan endapan tsunami. Hal itu menunjukkan bahwa kemungkinan ada empat gelombang tsunami yang terjadi pada saat itu. Hasil analisis

mineral berat cenderung memperlihatkan pola perubahan komposisi ke arah atas mengikuti perubahan besar butir.

Kata kunci: endapan tsunami, Krakatau 1883, Tarahan, mikrofauna.

ABSTRACT Our research location is situated at the south of Tarahan city, Lampung. This area has been drowned by tsunami waves that were generated by the eruption of Krakatau Volcano in 1883. This study is to understand the characteristics of the 1883 Krakatau tsunami deposit by observing the stratigraphic profile of 12 outcrops in the river overbanks and trenches, in 3 (three) transects. Laboratory analysis include grain size, microfauna (foraminifera and mollusk), and heavy mineral analysis. The identified tsunami deposit is a sand layer that mixed with shell and coral fragments. This sand layer is associated with pumice and volcanic ash layer, product of the 1883 Krakatau volcano eruption. The benthic foraminifera and mollusk content in the tsunami deposits show that the tsunami waves erode the sea floor sediments up to 30 to 40 meters depth. According to the outcrop observation and grain size analysis, there are four fining upward patterns can be observed in the tsunami deposit layer. This is indicates that at least four tsunami waves inundated the studied area. The vertical variation of heavy mineral shows the similar trend with the grain sizes.

Keywords: tsunami deposit, Krakatau 1883, Tarahan, microfauna.

PENDAHULUAN

Pemahaman karakteristik endapan tsunami yang dihasilkan dari letusan gunungapi adalah komponen utama dalam penilaian bahaya

Naskah masuk : 17 Oktober 2016
Naskah direvisi : 06 April 2017
Naskah diterima : 03 Mei 2017

Purna Sulastya Putra
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI Gd. 70, Jl Sangkuriang Bandung 40135
Email : purna.putra@gmail.com

gunungapi. Pemahaman karakteristik endapan tsunami produk letusan gunungapi adalah faktor utama dalam merekonstruksi kejadian erupsi dan tsunami yang dihasilkannya (Paris *et al.*, 2014). Di samping itu, mekanisme yang dapat menyebabkan letusan gunungapi menghasilkan tsunami juga sangat beragam, seperti runtuhnya kaldera dan letusan bawah laut (Nomanbhoj dan Satake, 1995). Pemahaman karakteristik endapan tsunami dari letusan gunungapi dapat digunakan untuk mengidentifikasi mekanisme penyebab tsunami tersebut. Meskipun dalam catatan sejarah tsunami selama proses paroksimal erupsi Krakatau 1883 ini merupakan salah satu vulkanogenik tsunami yang paling besar yang pernah terjadi dan menyebabkan lebih dari 35.000 korban jiwa (Simpkin dan Fiske, 1983), namun karakteristik endapannya masih belum banyak dipelajari di daerah Lampung. Sebagian besar studi endapan tsunami Krakatau 1883 terfokus di pantai Barat Banten (Ongkosono, 1983; van den Bergh, 2003; Paris *et al.*, 2014) serta di pulau - pulau di sebelah utara Krakatau (Carey *et al.* 2006 dan Paris *et al.*, 2014). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi endapan tsunami Krakatau 1883 dan mempelajari karakteristiknya. Hasil penelitian ini akan sangat berguna untuk menambah pemahaman karakteristik endapan

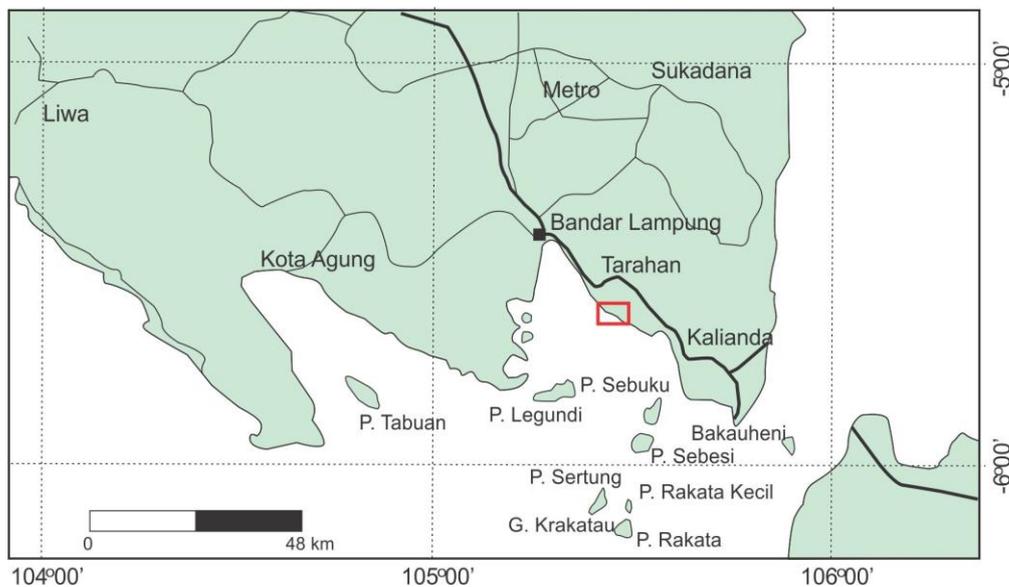
vulkanogenik tsunami yang sangat kompleks, karena endapannya bisa jadi berselingan dengan lapisan tepra jatuhan (Nishimura, 2008).

LOKASI PENELITIAN

Letak daerah penelitian adalah pesisir pantai Gubug Garam, di selatan Kota Tarahan, Lampung (Gambar 1). Untuk mencapai daerah penelitian dapat ditempuh sejauh kurang lebih 20 Km dari Pelabuhan Bakauheni. Berdasarkan pengamatan di lapangan, secara umum daerah penelitian dapat dibagi ke dalam dua satuan geomorfologi menurut klasifikasi van Zuidam (1985), yaitu satuan bentuk lahan perbukitan intrusi dan satuan bentuk lahan dataran pantai. Satuan bentuk lahan perbukitan intrusi umumnya berada sekitar 500 m dari garis pantai ke arah darat dengan kemiringan lereng antara 15% sampai 40%. Satuan bentuk lahan dataran pantai berada di sepanjang pantai dengan radius hingga sekitar 700 m ke arah darat.

METODE

Pada penelitian lapangan dilakukan pengamatan singkapan endapan tsunami Krakatau 1883. Singkapan yang diamati berupa gawir-gawir sungai di daerah pantai dan melalui parit uji. Total sebanyak dua belas (12) singkapan yang di



Gambar 1. Lokasi penelitian di sebelah selatan Tarahan, sekitar 40 km sebelah utara Gunung Krakatau.

amati dalam tiga (3) transek (Gambar 2). Hal utama yang diamati meliputi tekstur, struktur sedimen dan kontak antara lapisan. Parit uji dilakukan untuk mendapatkan sampel endapan tsunami yang tidak terganggu untuk analisis detil di laboratorium. Analisis laboratorium meliputi analisis besar butir, analisis mikrofauna (foraminifera dan moluska) dan analisis mineral berat. Analisis besar butir dilakukan dengan menggunakan ayakan berukuran 4,00 mm – 0,045 mm. Setiap sampel diayak selama kurang lebih 15 menit. Parameter besar butir (*mean grain size, sorting, skewness, kurtosis*) dihitung dengan *software* Gradistat (Blott dan Pye, 2001). Analisis foraminifera dan moluska dilakukan dengan menggunakan larutan hidrogen peroksida untuk menghilangkan material organik. Dalam setiap sampel, sekitar 5 g sedimen diperiksa kandungan foraminifera dan moluskanya dengan menggunakan mikroskop binokuler. Keterdapatn foraminifera dan moluska ini digunakan untuk mengkonfirmasi asal laut dari sampel yang di analisis. Analisis mineralogi dilakukan dengan mengidentifikasi dan menghitung persentase mineral di dalam sedimen. Tidak kurang dari 200 butir mineral untuk setiap sampel dipisahkan untuk dihitung presentase setiap jenis mineralnya dengan menggunakan mikroskop binokuler.

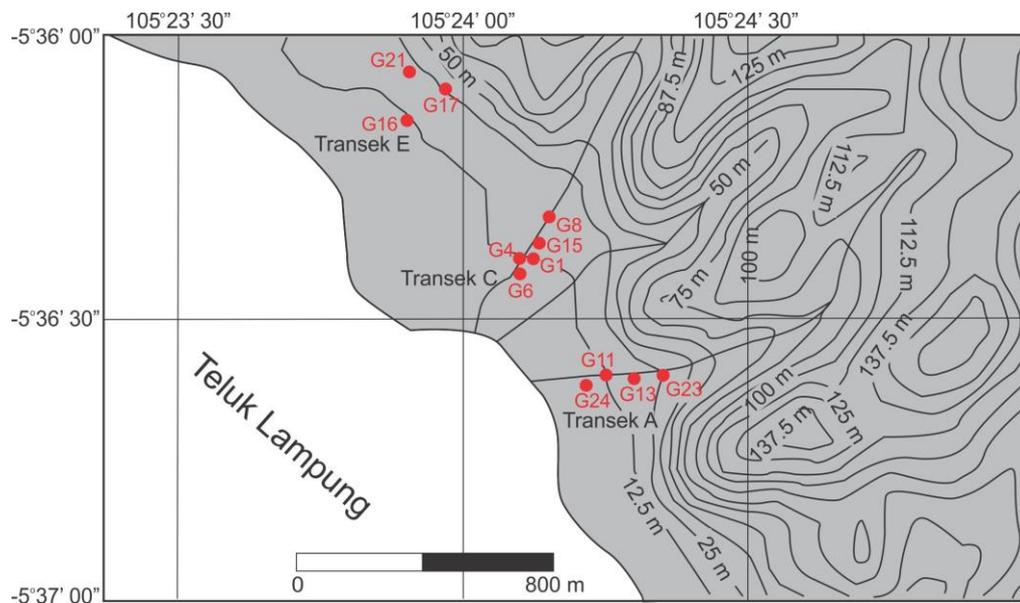
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan profil stratigrafi endapan tsunami Krakatau 1883 di daerah penelitian di pantai Gubug Garam, Tarahan dilakukan pada 3 (tiga) transek, yaitu Transek A, C dan E (Gambar 2). Transek A dilakukan pada sungai kecil di bagian selatan daerah penelitian dengan pengamatan empat profil stratigrafi yaitu berurutan ke arah darat adalah profil G24, profil G11, profil G13 dan profil G23. Transek C terletak di sebelah utara Transek A terdiri dari 5 (lima) profil stratigrafi yaitu berurutan ke arah darat yaitu profil G6, profil G4, profil G1, profil G15 dan profil G8. Transek E merupakan transek yang berlokasi di paling utara daerah penelitian yang terdiri dari 3 (tiga) profil stratigrafi, yaitu profil G16, profil G17 dan profil G21.

Transek A

Stasiun G24

Stasiun G24 terletak di bawah bongkah koral dengan ukuran mencapai 2,5 m. Posisi bongkah koral berada di atas lapisan abu vulkanik. Lapisan yang berada di atas lapisan abu vulkanik adalah lapisan batu apung, pasir dan tanah. Lapisan paling bawah pada profil ini berupa lapisan koral bercabang berukuran 5-20 cm. Di atas lapisan ini terdapat lapisan abu vulkanik dengan tebal 15 cm



Gambar 2. Detil lokasi penelitian yang terbagi dalam 3 (tiga) transek dengan total 12 stasiun pengamatan stratigrafi.

yang tertutup oleh lapisan tanah dengan ketebalan mencapai 35 cm. Di atasnya terdapat lapisan pasir kerikil fragmen batuan beku dan batuapung dengan tebal 10 cm. Kemudian, lapisan paling atas adalah tanah yang mengandung batuapung berukuran 0,5-4 cm.

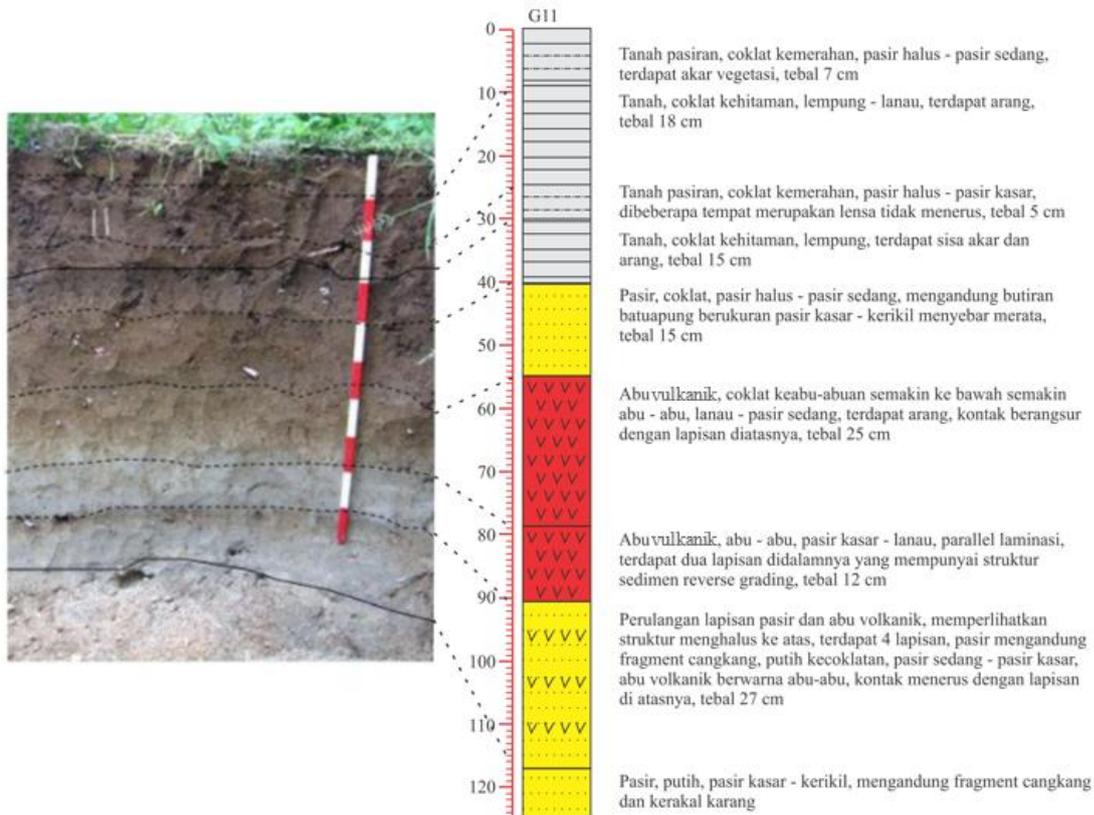
Stasiun G11

Profil stratigrafi Stasiun G11 adalah sebagai berikut (Gambar 3): dari bawah adalah lapisan koral cabang dengan fragmen berukuran hingga 15 cm, terpilah buruk dan kemas terbuka. Di atasnya adalah perselingan pasir pecahan cangkang dan abu vulkanik. Secara megaskopis lapisan ini memperlihatkan 4 (empat) pola pengahalusan ukuran butir ke bagian atas. Lapisan abu vulkanik berwarna abu-abu berada di atas perselingan pasir ini, dengan kontak berangsur namun pada beberapa bagian memiliki kontak tegas. Pada lapisan abu vulkanik ini terdapat lensa-lensa tanah, yang tertutup oleh lapisan pasir setebal 15 cm, yang mengandung batuapung berukuran kerikil yang menyebar rata pada lapisan. Di atas lapisan pasir ini terdapat lapisan tanah yang pada bagian atasnya

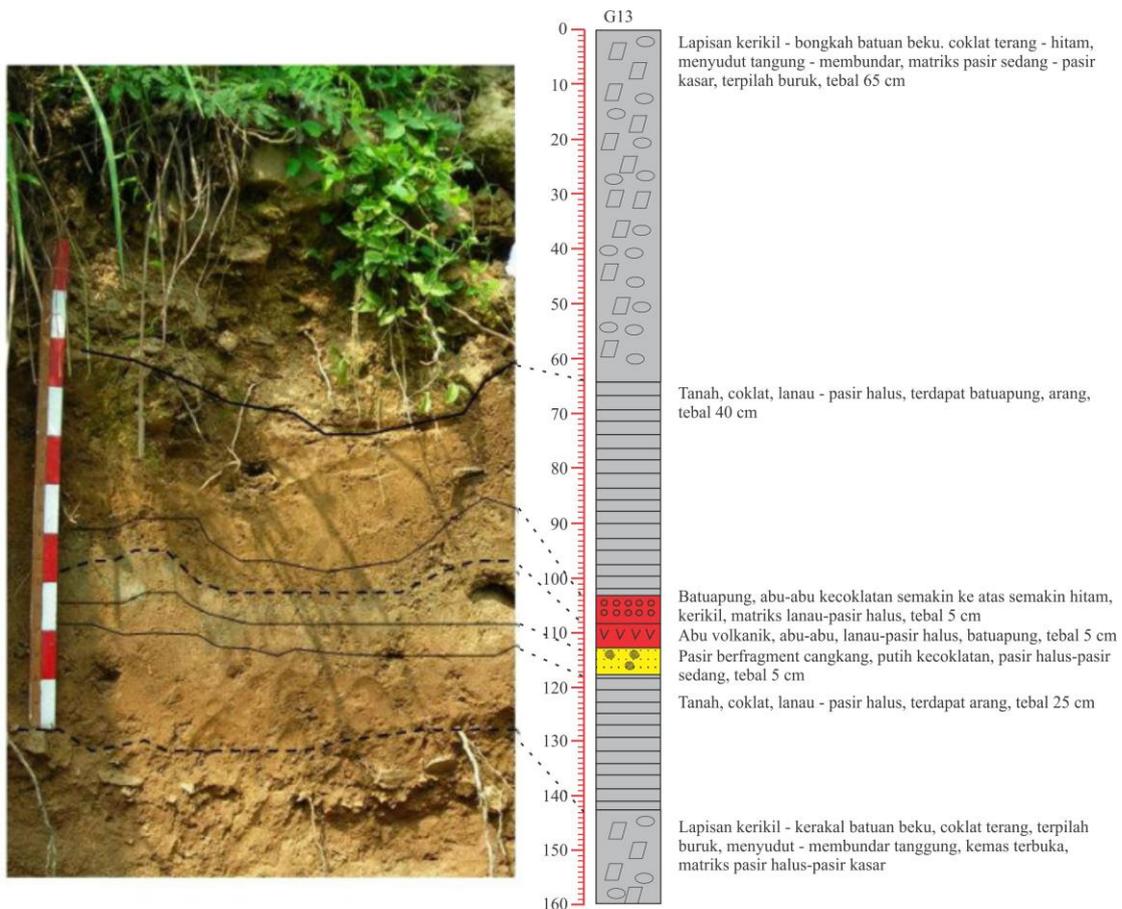
berkembang menjadi tanah pasiran yang mengandung arang dan akar.

Stasiun G13

Stasiun G13 memiliki stratigrafi sebagai berikut (Gambar 4): lapisan paling bawah adalah lapisan kerikil-kerakal batuan beku dengan diameter mencapai 20 cm, menyudut, terpilah buruk, dan kemas terbuka. Lapisan tanah tebal 25 cm menutupi lapisan ini dengan kontak lapisan berangsur. Secara tegas, di atas tanah terdapat lapisan pasir yang mengandung fragmen cangkang dan semakin mengandung batuapung di bagian atas. Lapisan abu vulkanik berwarna abu-abu dengan tebal 5 cm menutupi lapisan pasir dengan kontak yang berangsur. Lapisan batuapung tebal mencapai 5 cm berada di atas lapisan abu vulkanik dengan kontak yang berangsur. Fragmen batuapung berukuran hingga 3 cm, membundar, terpilah sedang dan memiliki kemas terbuka. Di atas lapisan batuapung ini terdapat lapisan tanah, tebal 40 cm. Secara berangsur di atasnya terdapat lapisan endapan sungai yang terdiri dari fragmen-fragmen batuan



Gambar 3. Profil stratigrafi Stasiun G11.



Gambar 4. Profil stratigrafi Stasiun G13.

beku, menyudut, kemas terbuka, dan berukuran kerikil sampai bongkah.

Stasiun G23

Profil Stasiun G23 terdiri dari 5 (lima) lapisan, yaitu: lapisan paling bawah adalah lapisan kerikil-kerakal berukuran 2 hingga 10 cm, menyudut tanggung, terpilah buruk dan kemas terbuka yang tertutupi oleh lapisan tanah coklat tebal 10 cm.

Di atas lapisan tanah terdapat lapisan abu vulkanik abu-abu, tebal 10 cm. Lapisan batuapung berada di atas lapisan abu vulkanik, berukuran kerikil dan terpilah sedang dengan tebal mencapai 3 cm. Lapisan paling atas adalah tanah berwarna coklat dan semakin hitam ke arah atas, berukuran lanau - pasir halus dan tebal mencapai 10 cm.

Transek C

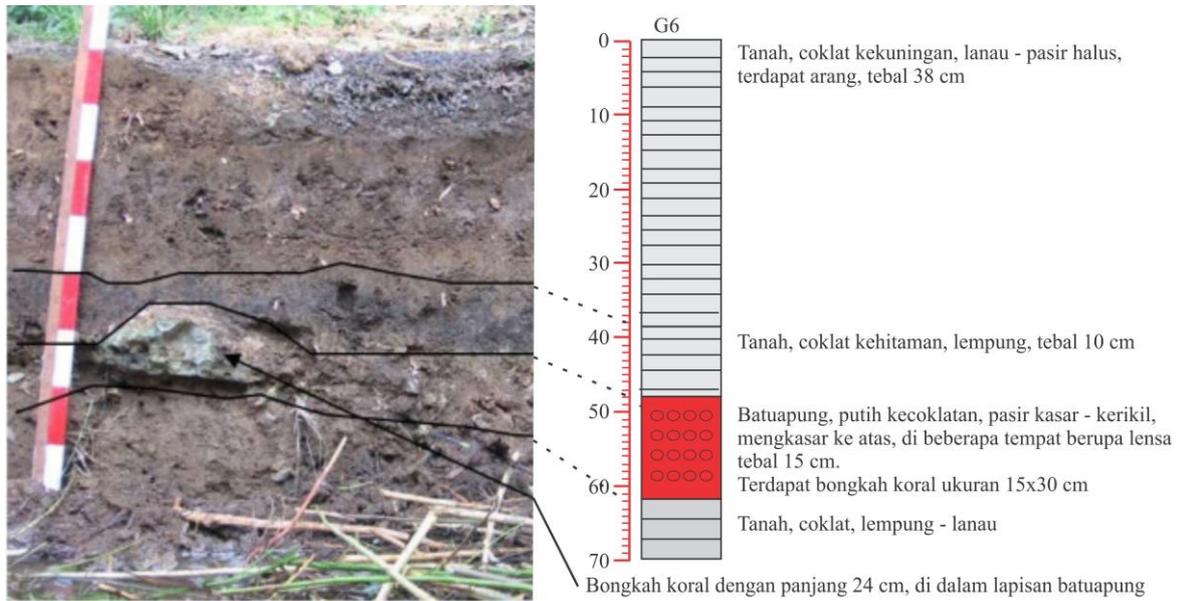
Stasiun G6

Stasiun G6 terdiri dari tiga lapisan yaitu paling bawah adalah lapisan batu apung berwarna

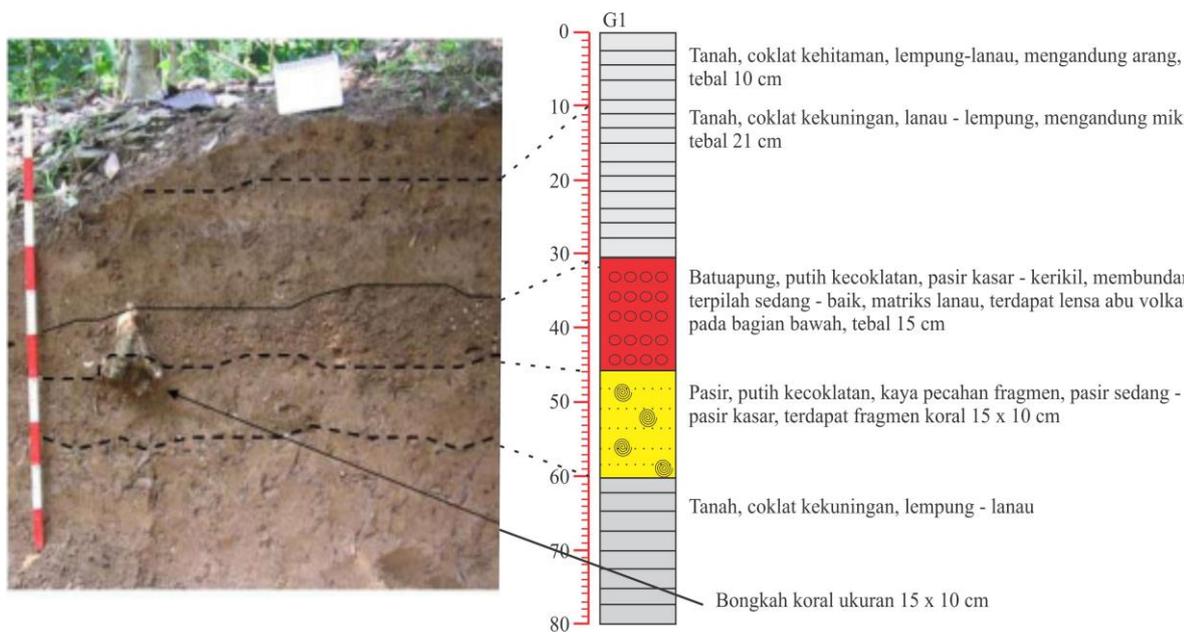
coklat, berukuran kerikil, membundar, pemilahan sedang, terdapat berangkal karang berukuran hingga 25 cm. Di atasnya terdapat lapisan tanah lempung abu-abu kehitaman dengan kontak yang tegas. Di atas tanah lempung terdapat lapisan tanah, mengandung mineral mika dan arang kayu, tebal sampai 40 cm. Profil stratigrafi Stasiun G6 dapat dilihat pada (Gambar 5).

Stasiun G4

Stasiun G4 terdiri dari lapisan paling bawah berupa tanah lempung, coklat yang tertutupi secara tegas oleh lapisan pasir dengan tebal 5 cm. Dalam lapisan pasir ini terdapat fragmen cangkang dan lensa-lensa abu vulkanik. Di atasnya terdapat lapisan batuapung, tebal 10 cm, membundar, terpilah sedang yang tertutupi oleh lapisan abu vulkanik berwarna coklat berukuran pasir halus. Di atas lapisan abu vulkanik terdapat lapisan pasir berwarna coklat kehitaman, tebal 10 cm yang tertutup oleh lapisan abu vulkanik.



Gambar 5. Profil stratigrafi Stasiun G16.



Gambar 6. Profil stratigrafi Stasiun G1.

Lapisan paling atas adalah pasir kasar coklat, menyudut dan terpilah buruk, tebal 35 cm.

Stasiun G1

Stasiun G1 terdiri dari 5 lapisan (Gambar 6), yaitu lapisan tanah lempung, coklat kekuningan yang merupakan lapisan paling bawah. Di atasnya terdapat lapisan pasir fragmen cangkang tebal 15 cm, putih kecoklatan, terdapat berangkal

karang berukuran sekitar 15 cm, yang tertutupi oleh lapisan batuapung berukuran kerikil, membundar, terpilah sedang. Pada bagian bawah lapisan batuapung terdapat lensa tipis abu vulkanik. Lapisan di atasnya adalah tanah lanau, coklat kekuningan, mengandung mika, ketebalan 21 cm. Lapisan paling atas adalah lapisan tanah lempun-lanau dengan tebal 10 cm.

Stasiun G15

Stasiun G15 tersusun oleh lapisan paling bawah berupa lapisan kerikil batuan beku lepas, menyudut tanggung, terpilah sedang. Secara tegas di atasnya adalah lapisan tanah lempung berwarna coklat, tebal 30 cm. Secara tegas di atas lapisan tanah ini terdapat lapisan pasir fragmen cangkang, putih kecoklatan, dengan sisipan abu vulkanik, tebal 2 cm. Lapisan batupung yang berada di atas lapisan pasir fragmen cangkang memiliki kontak yang berangsur, didominasi oleh batupung berukuran kerikil, membundar, terpilah baik, tebal 3 cm. Kemudian di atasnya terdapat lapisan abu vulkanik yang mengandung batupung dengan tebal 5 cm.

Paling atas adalah lapisan tanah lanau yang menunjukkan kontak yang tegas terhadap lapisan abu vulkanik.

Stasiun G8

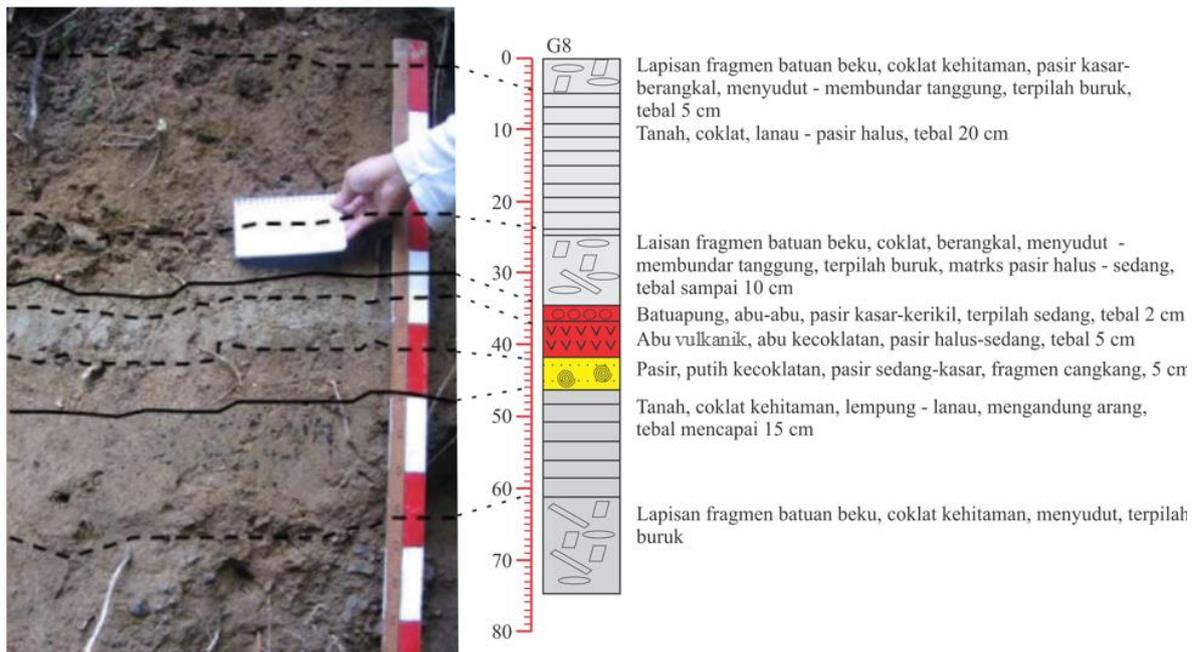
Stasiun G8 tersusun oleh lapisan yang paling bawah adalah lapisan pasir kasar – berangkal batuan beku, coklat kehitaman, menyudut dan terpilah buruk. Di atasnya terdapat lapisan tanah lempung – lanau dengan tebal 15 cm. Lapisan ini tertutup oleh lapisan pasir fragmen cangkang dengan kontak bawah tegas, putih kecoklatan, tebal mencapai 5 cm. Secara berangsur di atasnya terdapat pasir fragmen cangkang dan lapisan abu vulkanik abu-abu kecoklatan, berukuran pasir

halus – pasir sedang dengan ketebalan 5 cm. Lapisan batupung berada di atas lapisan abu vulkanik dengan kontak berangsur. Lapisan batupung ini berukuran butir pasir kasar - kerikil, terpilah sedang dan membundar. Lapisan fragmen batuan beku, coklat, terpilah buruk menutupi lapisan batupung ini. Lapisan paling atas adalah lapisan tanah lanau dan lapisan pasir kasar – berangkal batuan beku menyudut sampai membundar tanggung. Profil stratigrafi Stasiun G8 dapat dilihat pada (Gambar 7).

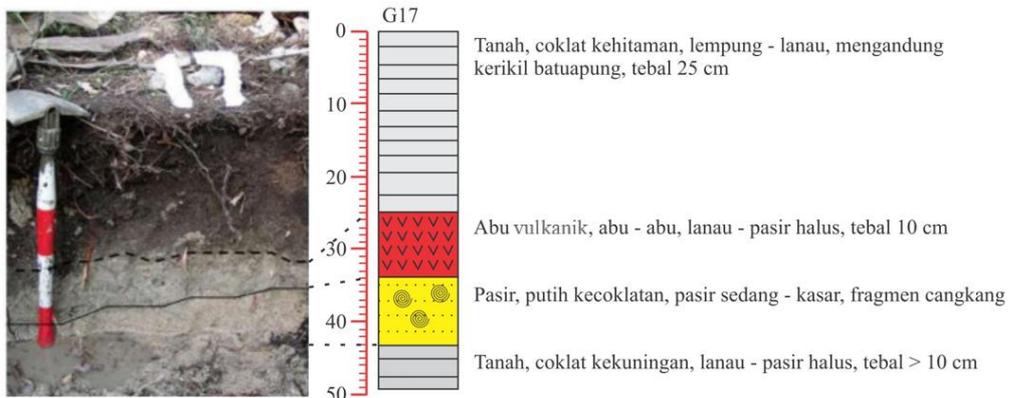
Transek E

Stasiun G16

Stasiun G16 terdiri dari lapisan paling bawah adalah lapisan tanah lempung – lanau coklat gelap dan mengandung arang. Di atasnya terdapat lapisan pasir fragmen cangkang putih kecoklatan, tebal 15 cm. Kemudian di atas lapisan pasir fragmen cangkang terdapat lapisan abu vulkanik, tebal mencapai 5 cm. Di atas lapisan abu vulkanik terdapat lapisan tipis batupung, ukuran butir pasir kasar, membundar, terpilah baik. Dengan kontak yang tegas, di atasnya terdapat lapisan tanah lempung – lanau berwarna merah, mengandung sedikit batupung dan abu vulkanik tebal 15 cm. Lapisan paling atas pada profil ini adalah lapisan tanah lempung berwarna coklat kehitaman, terdapat akar-akar tumbuhan dengan jumlah yang cukup banyak,



Gambar 7. Profil stratigrafi Stasiun G8.



Gambar 8. Profil stratigrafi Stasiun G17.

Tabel 1. Kisaran kedalaman asal endapan pasir tsunami Stasiun G11 berdasarkan data foraminifera bentonik.

Zona Batimetri	Litoral	Neritik			Batial			
		Dalam	Tengah	Luar	Atas	Tengah	Bawah	
	0	-20m	-50m	-100m	-200m	-600m	-1000m	-2000m
Foraminifera Bentonik								
<i>Amphistegina radiata</i>	—	—						
<i>Alveolina sp</i>	—	—						
<i>E. craticulatum</i>		—	—					
<i>Ammonia convexa</i>	—	—						

tebal 5 cm dan kontak terhadap lapisan di bawahnya adalah berangsur.

Stasiun G17

Stasiun G17 terdiri dari 3 lapisan (Gambar 8), yaitu lapisan pasir fragmen cangkang, lapisan abu vulkanik dan lapisan tanah lempung - lanau. Lapisan paling bawah adalah lapisan pasir fragmen cangkang berwarna putih kecoklatan, berukuran pasir sedang - pasir kasar serta terdapat koral cabang berukuran sampai dengan 5 cm. Di atasnya terdapat lapisan abu vulkanik berwarna abu-abu, berukuran butir lanau sampai dengan pasir halus dengan ketebalan lapisan 10 cm. Lapisan paling atas dari profil ini adalah lapisan tanah lempung - lanau, berwarna hitam, mengandung kerikil batuapung,

tebal lapisan 25 cm. Lapisan ini memiliki kontak terhadap lapisan di bawahnya yang berangsur.

Stasiun G21

Stasiun G21 terdiri dari 5 lapisan, yaitu lapisan pasir sedang - pasir kasar yang merupakan lapisan paling bawah yang tertutup oleh lapisan

pasir fragmen cangkang dengan kontak berangsur. Lapisan pasir fragmen cangkang ini berwarna putih kecoklatan, berukuran butir pasir sedang - pasir kasar, dan tebal 5 cm. Secara berangsur di atasnya adalah lapisan abu vulkanik, berukuran lempung sampai dengan lanau, tebal mencapai 10 cm yang mengandung beberapa batuapung terutama di bagian atas. Secara berangsur di atasnya terdapat lapisan batuapung, berukuran pasir kasar - kerikil, membundar, terpilah sedang, tebal mencapai 10 cm. Lapisan paling atas adalah lapisan tanah lanau - pasir halus berwarna hitam, terdapat kerikil batuapung dan arang, membundar, terpilah sedang. Lapisan ini memiliki tebal 15 cm dan kontak terhadap lapisan di bawahnya adalah berangsur.

Analisis Foraminifera

Sampel untuk analisis foraminifera pada Transek A diambil pada lapisan pasir berselingan abu vulkanik Stasiun G11 yang memiliki pola penghalusan ukuran butir ke arah atas (Gambar 3). Cangkang foraminifera yang ditemukan digolongkan kedalam dua kelompok berdasarkan fisik cangkang tersebut, ada yang segar dan utuh,

serta ada yang tidak. Foraminifera bentonik yang segar yang ditemukan pada stasiun ini adalah *Amphistegina radiata*, *Alveolina sp*, *Elphidium craticulatum* dan *Ammonia convexa*. *Amphistegina radiata* hidup di dasar laut pada kedalaman antara 8 m sampai dengan 45 m (Renema, 2002). *Alveolina sp* hidup di dasar laut pada kedalaman sampai dengan 50 m (Lunt dan Alan, 2004). *Elphidium craticulatum* hidup di dasar laut pada kedalaman antara 20 sampai dengan 75 m (Renema, 2002). *Ammonia convexa* hidup di dasar laut pada kedalaman sampai dengan 42 m (Hottinger et al., 1993). Berdasarkan data tersebut, maka dapat diperkirakan bahwa endapan tsunami berasal dari dasar laut hingga kedalaman sekitar 40 m atau mencapai lingkungan Neritik Dalam (Tabel 1).

Sampel untuk analisis foraminifera pada Transek E diambil dari lapisan batupasir Stasiun G17 (Gambar 8). Cangkang foraminifera bentonik segar yang ditemukan dalam lapisan ini adalah *Amphistegina radiata*, *Alveolina sp*, *Calcarina sp* dan *Paleonumulites venosus*. *Amphistegina radiata* hidup di dasar laut pada kedalaman 8 hingga 45 m (Renema, 2002). *Alveolina sp* memiliki habitat pada kedalaman hingga 50 m (Lunt dan Alan, 2004). Sementara itu, *Calcarina sp* hidup di dasar laut pada kedalaman hingga 30 m (Hottinger et al., 1993). Dengan demikian, endapan tsunami diperkirakan terbawa dari dasar laut hingga kedalaman sekitar 30 m.

Analisis Moluska

Analisis moluska yang dilakukan pada sampel dari Transek C diambil pada lapisan pasir fragmen cangkang Stasiun G1 (Gambar 6). Cangkang moluska yang segar yang ditemukan pada stasiun G1 adalah *Nozeba couttsi* yang

habitatnya di dasar laut dengan kedalaman hingga 30 m (Beu dan Maxwell, 1990). Dengan demikian, gelombang tsunami diperkirakan mulai menggerus dasar laut hingga mencapai kedalaman 30 m. Sedangkan cangkang mikrofauna moluska yang tidak segar yang ditemukan adalah *Gemmula reticulata*, *Taxonina suteri* dan *Brookula (Parookula) pukeuriensis*.

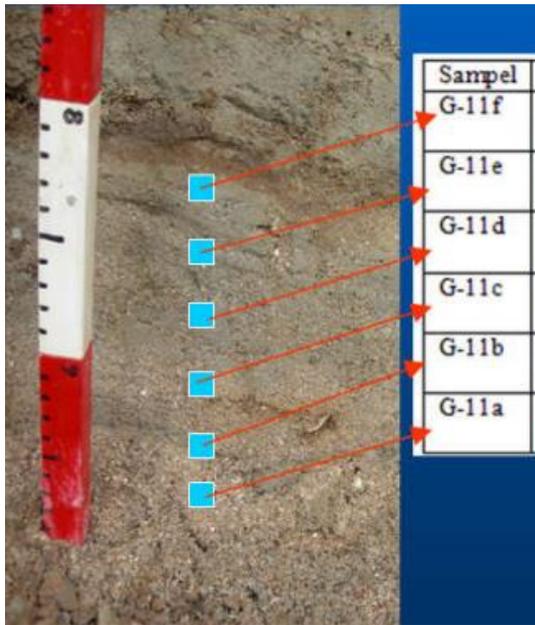
Cangkang moluska yang ditemukan pada pasir fragmen cangkang Stasiun G17 adalah *Nozeba couttsi*, *Turbonilla natales* dan *Cyclocardia awamoensis*. Menurut Beu dan Maxwell (1990), ketiga spesies tersebut memiliki habitat di dasar laut pada kedalaman sampai dengan 30 m. Berdasarkan kandungan foraminifera dan moluska yang ditemukan pada stasiun ini, maka dapat diperkirakan bahwa endapan tsunami berasal dari dasar laut hingga kedalaman 30 meter atau mencapai lingkungan Neritik Dalam (Tabel 2). Sedangkan cangkang foraminifera dan moluska yang tidak segar yang ditemukan pada stasiun G17 adalah *Ammodiscus createcius*, *Heterostegina sp.* dan *Evelynella venustas*. Cangkang tersebut diperkirakan berasal dari formasi di sekitar lokasi penelitian yang telah tertransport ulang.

Analisis Besar Butir

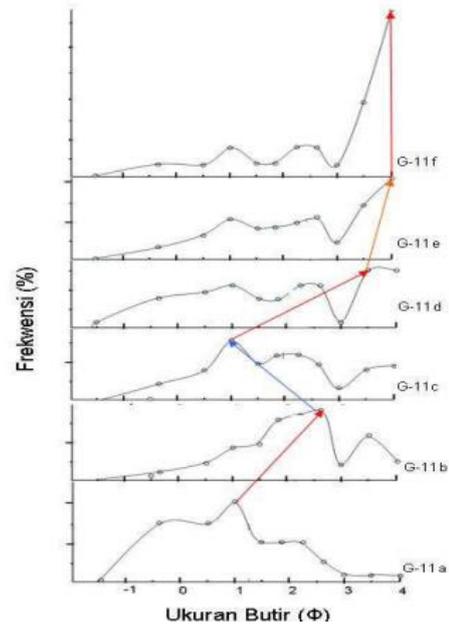
Sedimen yang digunakan untuk analisis besar butir pada Tansek A adalah lapisan pasir yang menunjukkan pola penghalusan ukuran butir ke arah atas (Gambar 3). Uji granulometri dilakukan pada enam (6) sampel yang diambil berurutan dari bawah ke atas (sampel G11a – sampel G11f) dengan interval 2 cm (Gambar 9). Hasil perhitungan matematis pada sampel sedimen profile G11 ditunjukkan pada Tabel 3. Seperti yang terlihat pada kurva histogram (Gambar 10),

Tabel 2. Kisaran kedalaman asal endapan pasir tsunami Stasiun G17 berdasarkan data foraminifera bentonik dan moluska.

Zona Batimetri	Litoral		Neritik			Batial		
	Dalam	Luar	Dalam	Tengah	Luar	Atas	Tengah	Bawah
Foraminifera Bentonik dan moluska	0	-20m	-50m	-100m	-200m	-600m	-1000m	-2000m
<i>Amphistegina radiata</i>		—						
<i>Alveolina sp</i>		—	—					
<i>Calcarina sp</i>		—						
<i>Nozeba couttsi</i> Laws		—						
<i>Turbonilla natales</i>		—						
<i>C. awamoensis</i>		—						



Gambar 9. Detil posisi sampling untuk analisis besar butir lapisan pasir penghalusan ke atas pada Stasiun G11.



Gambar 10. Kurva histogram besar butir Stasiun G11 yang memperlihatkan perulangan pola penghalusan ke arah atas.

Tabel 3. Parameter statistik besar butir sampel G11.

Sample	Mean (Φ)	Sortasi (Φ)	skewness	Kurtosis
G-1 1f	2.91 (<i>Fine sand</i>)	1.26 (<i>poorly sorted</i>)	-1.01 (<i>coarse skewed</i>)	2.89 (<i>very leptokurtic</i>)
G-1 1e	2.45 (<i>Fine sand</i>)	1.24 (<i>poorly sorted</i>)	-0.34 (<i>very coarse skewed</i>)	2.04 (<i>very leptokurtic</i>)
G-1 1d	2.10 (<i>Fine sand</i>)	1.41 (<i>poorly sorted</i>)	-0.65 (<i>very coarse skewed</i>)	2.31 (<i>very leptokurtic</i>)
G-1 1c	1.99 (<i>Medium sand</i>)	1.2 (<i>poorly sorted</i>)	0.06 (<i>near symmetrical</i>)	2.47 (<i>very leptokurtic</i>)
G-1 1b	2.18 (<i>Fine sand</i>)	1.05 (<i>poorly sorted</i>)	-0.67 (<i>very coarse skewed</i>)	4.07 (<i>extremely leptokurtic</i>)
G-1 1a	1.13 (<i>Medium sand</i>)	1.22 (<i>poorly sorted</i>)	0.015 (<i>coarse skewed</i>)	2.89 (<i>very leptokurtic</i>)

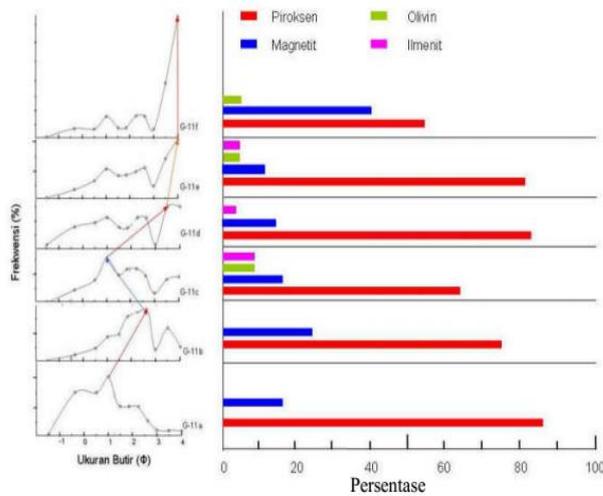
terdapat dua pola penghalusan ke arah atas. Secara umum, nilai sortasi dari endapan yang dianalisis menunjukkan nilai pemilahan yang buruk (*poorly sorted*). Sedangkan nilai *skewness* berkisar antara *near symeterical* sampai dengan *very coarse skewed*.

Sedimen yang digunakan untuk analisis besar butir Transek C adalah lapisan pasir cangkang pada profil stasiun G15. Dari hasil perhitungan matematis didapatkan nilai *mean* sebesar 1.28 Φ (*medium sand*), *sortasi* 1.33 Φ (*poorly sorted*), *skewness* 0.04 (*near symetrical*) dan *kurtosis* 3.04 (*extremely leptokurtic*). Sedimen yang digunakan untuk analisis besar butir transek E adalah lapisan

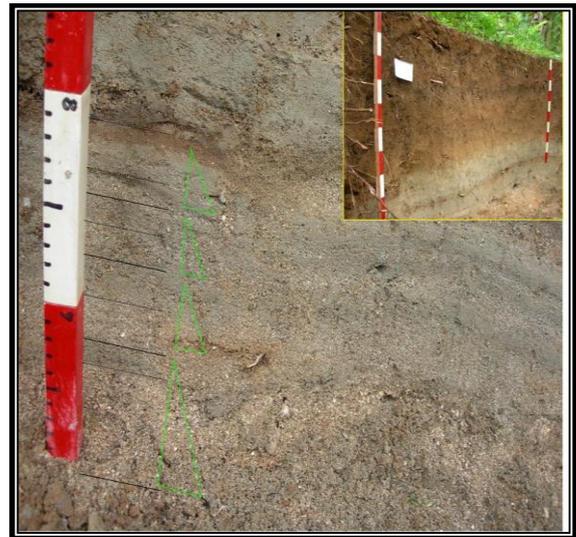
pasir cangkang pada profil Stasiun G2. Parameter statistik besar butirnya adalah nilai *mean* lapisan pasir cangkang sebesar 0,49 Φ (*coarse sand*), *sortasi* 0,84 Φ (*moderately sorted*), *skewness* 0.80 (*very fine skewd*) dan *kurtosis* 4,01 (*extremely leptokurtic*).

Analisis Mineral Berat

Sampel untuk pengujian mineral berat adalah pada horizon yang sama dengan sampel untuk analisis besar butir, yaitu di ambil dari pasir pada profil Stasiun G11 yang terdiri dari 6 sampel. Mineral berat yang ditemukan pada lapisan G11a (paling bawah) adalah mineral magnetit dengan kelimpahan 17,24% dan piroksen dengan



Gambar 11. Komposisi mineral berat sampel pasir cangkang Stasiun G11.



Gambar 12. Empat pola penghalusan ke atas lapisan pasir fragmen cangkang pada stasiun G11.

kelimpahan 82,76%. Pada sampel G11b terdapat mineral magnetit (24,32) dan mineral piroksen (75,68%). Sampel G11c mengandung mineral magnetit (16,67%), piroksen (64,29%), olivin (9,52%) dan ilmenit (9,52%). Pada sampel G11d terdapat mineral berat berupa magnetit (14,29%), piroksen (82,86%) dan ilmenit (2,86%).

Sampel G11e mengandung magnetit (11,11%) piroksen (81,48%), olivin (3,7%) dan ilmenit (3,7%). Pada sampel G11f terdapat mineral berat berupa magnetit (39,76%), piroksen (55,42%) dan olivin (4,81). Dari keenam sampel tersebut kandungan mineral berat didominasi oleh mineral piroksen, sedangkan mineral lain yang hadir adalah mineral magnetit, olivin dan biotit. Grafik pada Gambar 11 menunjukkan adanya pola tertentu, bahwa persentase mineral dominan yaitu piroksen menunjukkan pengurangan jumlah ke arah bagian atas lapisan. Hal ini berarti menunjukkan bahwa pola distribusi jumlah mineral berat sesuai dengan pola distribusi besar butir dalam suatu lapisan. Kedua pola tersebut dapat dijadikan indikasi berapa kali perulangan gelombang yang terjadi.

Determinasi Endapan Tsunami

Determinasi endapan tsunami Krakatau di daerah penelitian dapat dilakukan dengan pengamatan karakteristik endapannya diantaranya struktur sedimen, serta komposisi kandungan

foraminifera dan moluska. Struktur sedimen dapat digunakan sebagai indikasi endapan hasil tsunami (Goff *et al.*, 2012), diantaranya adalah pola perulangan penghalusan ukuran butir ke arah atas secara berangsur, yang terdapat pada lapisan pasir fragmen cangkang pada Stasiun G11 (Gambar 12). Dari pengamatan megaskopis dan analisis besar butir terlihat adanya pola penghalusan ukuran butir sebanyak empat kali. Dari hasil pengamatan tersebut, dapat disimpulkan bahwa pasir fragmen cangkang yang terdapat pada Stasiun G11 kemungkinan merupakan hasil dari empat kali gelombang tsunami yang membawa material sedimen. Di samping itu, sortasi atau pemilahan butiran endapan tsunami di daerah penelitian adalah sesuai dengan karakteristik umum endapan tsunami yaitu *poorly sorted* (Szczeniński *et al.*, 2012; Putra *et al.*, 2013). Lapisan abu vulkanik diidentifikasi sebagai endapan tsunami dan bukan merupakan endapan jatuhan primer didasarkan dari observasi stratigrafi yaitu selalu berasosiasi dengan lapisan pasir tsunami dengan kontak yang berangsur. Interpretasi lain yaitu didasarkan bukti lapangan bahwa lapisan abu vulkanik ini terpotong oleh bongkah batugamping berukuran 2,5 m seperti terlihat di Stasiun G24. Sementara itu, lapisan batupung juga diidentifikasi sebagai endapan tsunami bukan sebagai endapan jatuhan primer. Identifikasi ini didasarkan dari pengamatan di semua stasiun ditemukan fragmen

batuapung tersebut memiliki tekstur yang relatif membundar. Hal ini menunjukkan bahwa fragmen batuapung tersebut telah mengalami transport oleh tsunami sebelum terendapkan.

Sebaran Vertikal Endapan Tsunami

Sebaran vertikal endapan tsunami di lokasi penelitian pada umumnya memperlihatkan komposisi perlapisan tertentu walaupun tidak memperlihatkan pola ideal di semua profil pengamatan. Komposisi perlapisan endapan



Gambar 13. Sebaran vertikal endapan tsunami Krakatau 1883 di daerah penelitian.

tsunami tersebut adalah lapisan pasir fragmen cangkang yang bercampur dengan abu vulkanik dan diikuti oleh lapisan abu vulkanik dan batuapung. Hubungan antara empat pola penghalusan dan adanya paket lapisan abu vulkanik dan batuapung tidak tegas (berangsur). Di beberapa profil pengamatan, pada lapisan pasir fragman cangkang terdapat bongkah koral. Lapisan-lapisan endapan tsunami tersebut dibatasi di bagian bawahnya oleh tanah *pra-tsunami*. Pola sebaran vertikal endapan tsunami dapat di lihat pada Gambar 13 di bawah ini.

KESIMPULAN

Endapan tsunami hasil letusan Krakatau 1883 di daerah Pantai Gubug Garam, Tarahan, Lampung Selatan adalah berupa satu paket lapisan yang terdiri dari lapisan pasir yang mengandung fragmen cangkang, lapisan abu vulkanik dan lapisan batuapung. Abu vulkanik dan batuapung diinterpretasikan sebagai material jatuhnya hasil

erupsi yang tertransport oleh tsunami. Cangkang mikrofauna (foraminifera dan moluska) yang hadir pada lapisan endapan tsunami menunjukkan bahwa diperkirakan gelombang tsunami menggerus dasar laut hingga kedalaman 30 - 40 m. Pasir endapan tsunami yang teridentifikasi mempunyai ukuran butir pasir halus sampai pasir kasar dan memiliki karakteristik terpilah buruk sampai sedang. Mineral berat yang terdapat pada endapan tsunami didominasi oleh piroksen. Mineral berat yang lain yang hadir adalah magnetit, olivine dan ilmenit. Dalam satu pola penghalusan ke arah atas, komposisi mineral berat tersebut semakin berkurang ke atas. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi (sebaran vertikal) mineral berat ternyata juga bisa digunakan untuk memperkirakan berapa jumlah gelombang tsunami yang mengendapkannya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Firdaus Sunandar (alumni Teknik Geologi UNPAD) dan Mauli Dedi Abdiyanto (alumni Teknik Geologi UPN) atas bantuannya selama kegiatan lapangan di Tarahan dan analisis laboratorium di Puslit Geoteknologi LIPI.

DAFTAR PUSTAKA

- Beu, A. G., Maxwell, P. A. 1990. Cenozoic Mollusca of New Zealand. New Zealand Geological Survey Paleontological Bulletin, 50–75.
- Blott, S.J., Pye, K., 2001. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26(11), 1237–1248.
- Carey, S., Morelli, D., Sigurdsson, H., Bronto, S., 2001. Tsunami deposits from major explosive eruptions: an example from the 1883 eruption of Krakatau. *Geology*, 29(4), 347–350.
- Goff, J. R., Chague-Goff, C., Nichol, S., Jaffe, B., Dominey-Howes, D., 2012. Progress in paleotsunami research. *Sedimentary Geology*, 243, 70–88.
- Hottinger, L., Halicz, E. Dan Zeevreiss. 1993. Recent foraminifera from The Gulf of

- Aqaba Red Sea. Slovenian Academy of Sciences and Arts and The Swiss Academy of Natural Sciences, 104–110.
- Lunt, P., dan Alan, T. 2004. A history and application of larger foraminifera in Indonesia biostratigraphy calibrated by isotop dating. GRDC Museum Workshop on Micropaleontology, Bandung – Indonesia, June 2004, 89–107.
- Nishimura, Y., 2008. Volcanism-induced tsunamis and tsunamiites. In: Shiki, T., Tsuji, Y., Yamazaki, T., Minoura, K., (Eds), Tsunamiites features and implications. Elsevier, 405 pp.
- Nomanbhoy, S., dan Satake, K., 1995. Generation mechanism of tsunamis from the 1883 Krakatau eruption. *Gephysical Research Letter* 22, 509–512.
- Ongkosono, O. S. R., 1983. Coastal geomorphology of Cilegon – Labuhan, West Java, with special emphasis on the remnants of the 1883 Krakatau tsunami activity. Symposium on 100th year Development of Krakatau and its surroundings, August 23–27, 1983, Jakarta, Indonesia.
- Paris, R., Wassmer, P., Lavigne, F., Belousov, A., Belousova, M., Iskandarsyah, Y., Benbakkar, M., Ontowiryo, B., Mazzoni, N., 2014. Coupling eruption and tsunami records: the Krakatau 1883 case study, Indonesia. *Bulletin of Volcanology* 76, 814.
- Putra, P. S., Nishimura, Y., Yulianto, E., 2013. Sedimentary feature of tsunami deposits in carbonate-beach environments: A case study from the 25 October 2010 Mentawai tsunami. *Pure and Applied Geophysics* 170, 1583–1600.
- Renema, W., 2002. Larger foraminifera and their distribution patterns on the Spermonde shelf, South Sulawesi. *Scripita Geologica* 124, 1–263.
- Simpkin, T., dan Fiske, R.S., 1983. Krakatau 1883: the volcanic eruption and its effects. Smithsonian Institution Press. Washidngton DC., 464 pp.
- Szczuciński, W., Kokocinski, M., Rzeszewski, M., Chagué-Goff, C., Cachao, M., Goto, K., Sugawara, D., 2012. Sediment source and sedimentation processes of 2011 Tohoku-Oki tsunami deposits on the Sendai Plain, Japan — insights from diatoms, nannoliths and grain size distribution. *Sedimentary Geology* 282, 40–56
- van den Bergh, G..D., Boer, W., de Haas, H., van Weering, T.C.E., van Whije, R., 2003. Shallow marine tsunami deposits in Teluk Banten (NW Java, Indonesia), generated by the 1883 Krakatau eruption. *Marine Geology*, 197, 13–34.
- van Zuidam, R. A., 1985. Aerial Photo – interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. Smith Publisher, The Hague.