

**STRATIGRAFI ENDAPAN TSUNAMI KRAKATAU 1883 DI DAERAH LIMUS,
PANTAI BARAT TELUK SEMANGKO, LAMPUNG*****STRATIGRAPHY OF THE 1883 KRAKATAU TSUNAMI DEPOSIT IN LIMUS AREA,
WESTERN COAST OF SEMANGKO BAY, LAMPUNG*****Purna Sulastya Putra dan Eko Yulianto**

Puslit Geoteknologi LIPI

Kompleks LIPI Gd 70 Jl. Sangkuriang Bandung 40135 – Indonesia

Naskah diterima 13 Oktober 2015, selesai direvisi 19 Februari 2016, dan disetujui 01 Maret 2016

Korespondensi, *e-mail*: purna.putra@gmail.com**ABSTRAK**

Penelitian stratigrafi dan sedimentologi endapan Krakatau 1883 dilakukan di daerah Limus di pantai barat Teluk Semangko, Lampung. Berdasarkan analisis stratigrafi terhadap dua belas percontohan inti yang diambil pada rendahan di antara pematang (*swale*) 1, stratigrafi endapan letusan Gunung Krakatau tahun 1883 di daerah penelitian dapat dibagi menjadi: endapan pasir pada bagian bawah, endapan abu gunung api pada bagian tengah, serta endapan batu apung pada bagian atas. Berdasarkan hasil analisis besar butir, foraminifera, dan mineralogi, endapan-endapan tersebut diidentifikasi sebagai endapan tsunami dan diklasifikasikan menjadi: 1) fasies pasir endapan tsunami; 2) fasies abu gunung api batuan yang mengalami pengangkutan oleh tsunami; dan 3) fasies batu apung yang mengalami pengangkutan oleh tsunami. Rekaman stratigrafi yang didapatkan di lapangan memang tidak selengkap stratigrafi hipotetik yang disusun dari catatan sejarah. Meskipun demikian, rekaman stratigrafi yang dikombinasikan dengan catatan sejarah dapat digunakan untuk merekonstruksi kejadian erupsi dan tsunami tahun 1883 di daerah penelitian.

Kata kunci: catatan sejarah, Krakatau 1883, stratigrafi, tsunami,, ,Teluk Semangko**ABSTRACT**

A research was conducted on the sedimentology and stratigraphy of the 1883 Krakatau eruption and tsunami in Limus area in the western coast of Semangko Bay, Lampung. Based on the stratigraphy of the twelve cores taken from the swale 1, the 1883 Krakatau deposits in the researched area can be divided into: sand layer in the bottom, ash layer in the middle, and pumice layer in the top of the stratigraphy. Based on the grain size, foraminifera, and mineralogy analysis, these deposits are identified as tsunami deposits and can be classified as: 1) tsunami sand deposit facies; 2) tsunami reworked of pumiceous ash facies, and: 3) tsunami reworked of pumice facies. The field stratigraphy records were not as complete as the hypothetical stratigraphy. Nonetheless, the stratigraphy records when combined with the historical record can be used to reconstruct the eruption and tsunami during the paroxysmal eruption of the 1883 Krakatau event.

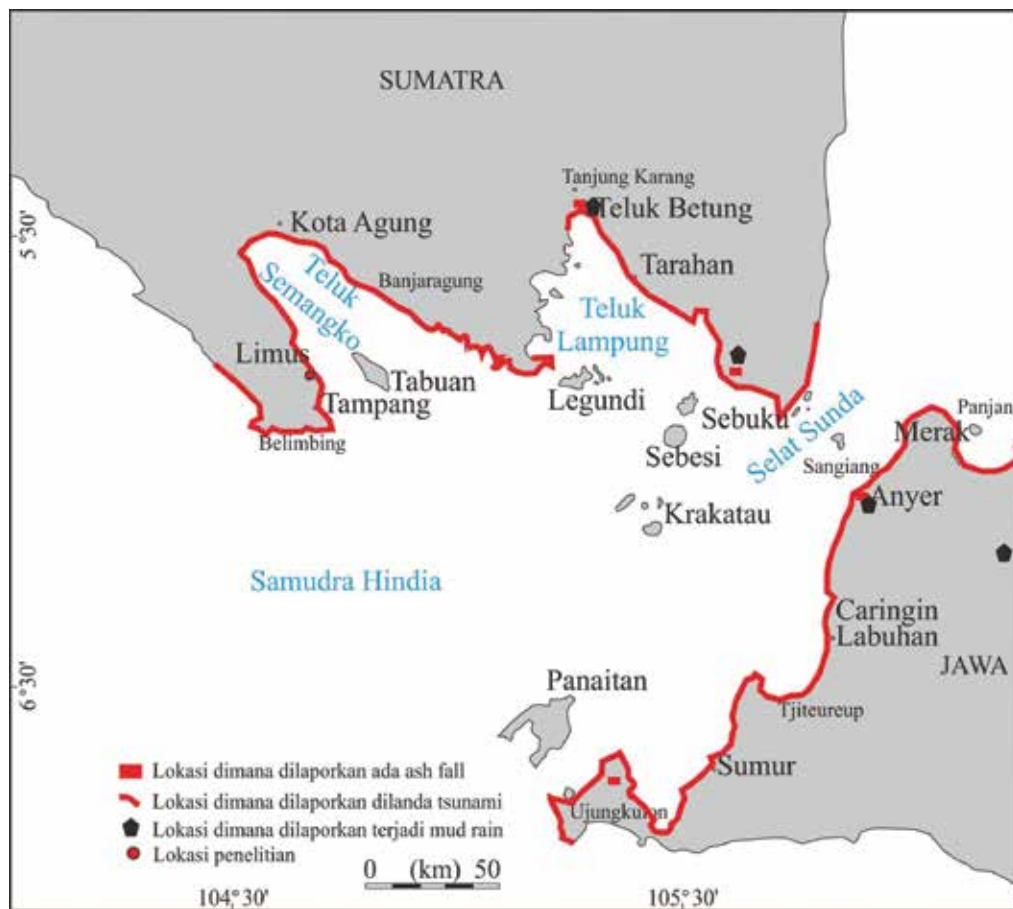
Keywords: *historical record, stratigraphy, Krakatau 1883, tsunami,, ,Semangko Bay*

PENDAHULUAN

Penelitian mengenai endapan tsunami hasil letusan gunung api masih sangat terbatas. Hal ini karena kejadian tsunami akibat letusan gunung api jarang terjadi. Namun, setiap kejadian tsunami tersebut akan memberikan dampak yang sangat besar, seperti kejadian tsunami Krakatau 1883 yang menelan korban lebih dari 36.000 jiwa di sepanjang pantai barat Jawa dan pantai selatan Sumatra. Dalam catatan sejarah, tsunami selama proses paroksismal erupsi Karakatu tahun 1883 ini merupakan salah satu tsunami akibat letusan gunung api yang paling besar yang pernah terjadi. Meskipun demikian, penelitian geologi, khususnya mengenai karakteristik endapan erupsi dan tsunami, masih sangat terbatas dan terfokus di sekitar pantai barat Banten (Ongkosongo, 1983; van den Bergh drr., 2003; Paris drr., 2014) dan Teluk Lampung (Carey drr., 1996; 2001 dan Paris drr., 2014).

Karakteristik endapan erupsi dan tsunami Krakatau

tahun 1883 akan lebih dipahami dengan melakukan penelitian di pantai barat Teluk Semangko, Lampung. Studi endapan tsunami hasil letusan gunung api dapat digunakan untuk merekonstruksi kejadian erupsi gunung api tersebut (Paris drr., 2014). Penelitian ini meliputi pengamatan stratigrafi dan sedimentologi endapan Krakatau tahun 1883, dan mengkorelasikannya dengan catatan sejarah dari saksi mata dan rekaman stratigrafi yang diperoleh di lapangan. Lokasi penelitian adalah di Kampung Limus, Kabupaten Tanggamus, Lampung, yang terletak di ujung selatan Teluk Semangko (Gambar 1). Lokasi ini dapat ditempuh melalui kendaraan darat hingga Way Nipah, kemudian dilanjutkan dengan perahu selama 2 jam pelayaran. Daerah ini dipilih karena pada lokasi ini terdapat penajangan pematang pantai (*beach ridge*) dan rendahan (*swale*). *Swale* yang merupakan rendahan adalah salah satu lokasi terbaik untuk studi endapan tsunami karena pada morfologi seperti ini kemungkinan keterdapatan dan pengawetan endapan tsunami adalah yang terbaik (Jankaew drr., 2011).

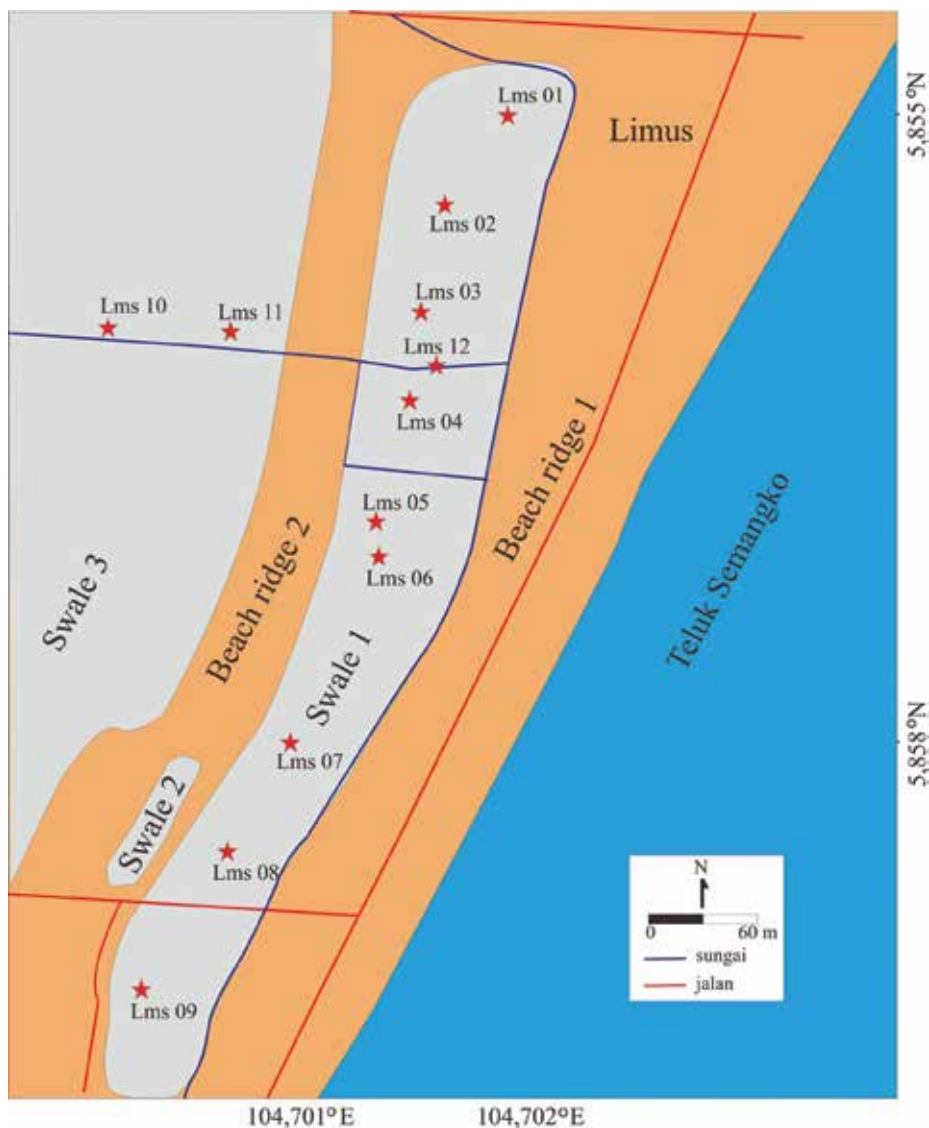


Gambar 1. Peta yang menunjukkan kawasan yang dilaporkan ada abu gunung api jatuhnya, hujan lumpur, dan tsunami pada 26 – 27 Agustus 1883 (berdasarkan catatan sejarah Verbeek, 1886 dan Simpkin & Fiske, 1983). Lokasi penelitian di Kampung Limus yang terletak di ujung selatan pantai barat Teluk Semangko.

METODE PENELITIAN

Penelitian meliputi survei lapangan dan analisis laboratorium. Survei lapangan dilakukan pada bulan Juli 2010. Metode yang dilakukan dalam survei lapangan ini antara lain pemboran tangan untuk mendapatkan data stratigrafi sedalam 1 m dan pengambilan percontoh untuk analisis laboratorium. Total dua belas percontoh inti diambil dari pemboran tangan pada dua rendahan di antara pematang pantai di Kampung Limus (Gambar 2). Analisis laboratorium meliputi analisis besar butir, mineralogi, dan foraminifera. Analisis besar butir dilakukan pada enam belas percontoh yang diambil dari lapisan pasir dan abu gunung api pada percontoh inti Lms 12 menggunakan *Mastersizer 2000*, sebuah instrumen

laser diffraction yang dapat mengukur material berukuran 0,02 μm hingga 2000 μm . Parameter besar butir (*mean grain size, sorting, skewness, kurtosis*) dihitung dengan *software* Gradistat (Blott dan Pye, 2001). Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan data perubahan besar butir secara vertikal yang nantinya akan digunakan untuk interpretasi proses pengendapannya. Analisis foraminifera dilakukan pada semua percontoh pasir, yaitu pada percontoh inti Lms 01, 02, 04 (dua percontoh) dan Lms 12. Analisis foraminifera juga dilakukan pada lapisan abu gunung api Lms 12. Preparasi percontoh analisis ini menggunakan larutan hidrogen peroksida 30 % untuk menghilangkan material organik. Masing-masing 30 gr percontoh diperiksa kandungan



Gambar 2. Detail lokasi penelitian. Percontoh inti diambil pada rendahan (*swale 1 dan swale 3*) di antara pematang pantai (*beach ridge*).

foraminifera dengan menggunakan mikroskop binokuler. Keterdapat foraminifera digunakan untuk mengkonfirmasi asal laut percontoh yang dianalisis. Namun, ketidakterdapat foraminifera di dalam percontoh bukan langsung berarti bahwa percontoh tersebut bukan endapan tsunami (Goff drr., 2012). Analisis mineralogi dilakukan pada enam percontoh yang juga diambil pada percontoh inti Lms 12. Tidak kurang dari dua ratus butir untuk masing-masing percontoh diperiksa dan dihitung persentase kandungan mineralnya menggunakan mikroskop binokuler. Analisis mineralogi ini digunakan untuk membedakan endapan hasil erupsi primer dan yang sudah terbawa oleh tsunami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

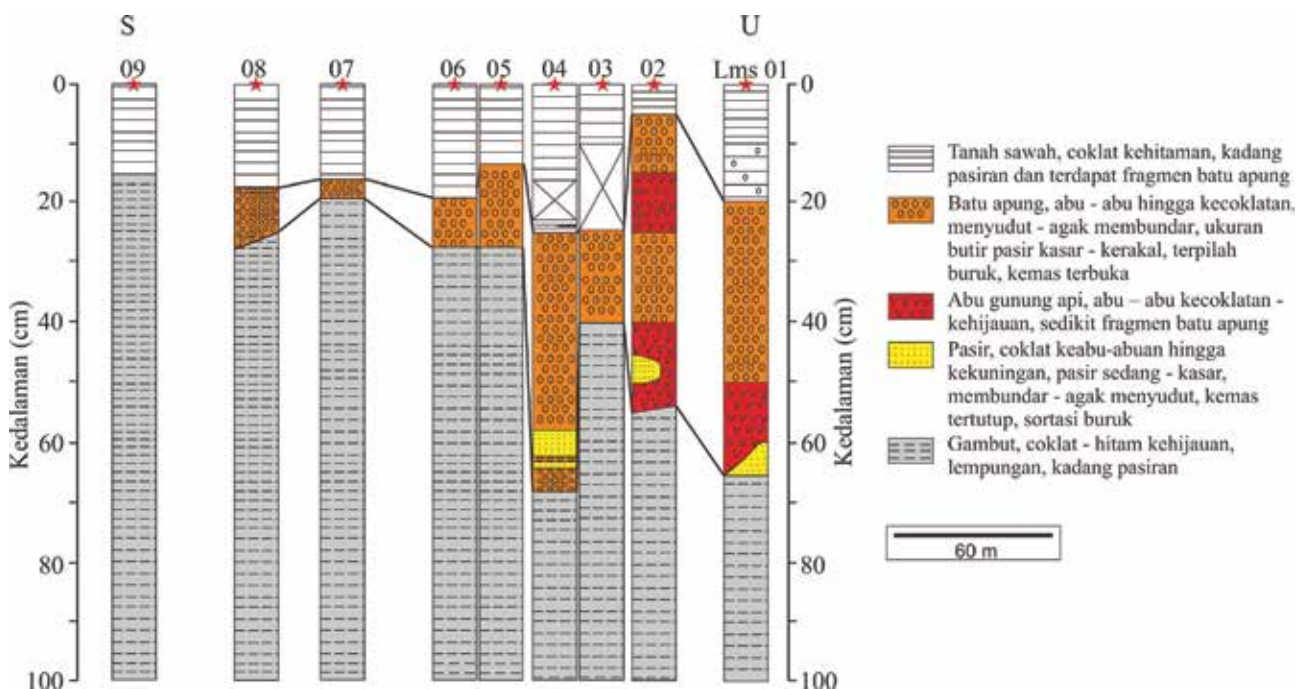
Stratigrafi

Stratigrafi hasil pengeboran tangan pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3. Percontoh inti Lms 01 terletak pada koordinat 5,85499 S dan 104, 70233 E, sedangkan percontoh inti Lms 02 terdapat pada koordinat 5,85555 S dan 104, 70199 E. Bagian paling bawah dari Lms 01 dan 02 adalah endapan gambut yang pasiran. Secara umum, urutan stratigrafi di atas gambut dari bawah ke atas adalah sebagai berikut: pasir, abu gunung api, batu apung,

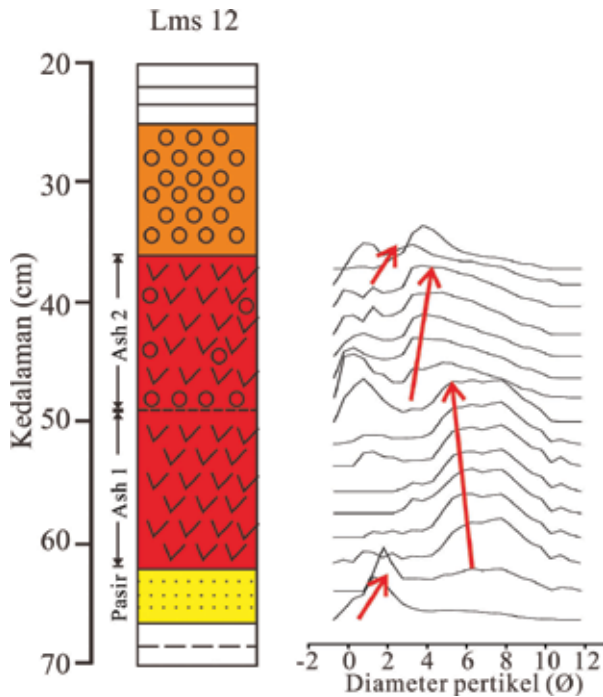
dan endapan sawah pada bagian atas. Pada Lms 01 pasir terdapat di bagian bawah lapisan abu gunung api, sedangkan pada Lms 02 pasir terdapat di dalam abu gunung api. Tebal lapisan abu gunung api adalah sekitar 15 cm. Endapan pasir pada Lms 01 memiliki batas yang tegas dan erosional dengan lapisan gambut di bawahnya. Endapan pasir yang terdapat pada dua stasiun ini memiliki tebal sekitar 5 cm. Di atas lapisan abu gunung api terdapat endapan batu apung yang pada Lms 01 memiliki tebal 30 cm, dan pada Lms 02 tebal 26 cm. Di dalam lapisan batu apung Lms 02 terdapat sisipan abu gunung api setebal 9 cm.

Percontoh inti Lms 03 terletak pada koordinat 5,85612 S dan 104,70184 E, sedangkan Lms 04 terletak pada 5,85661 S dan 104, 70177 E. Tidak seperti pada Lms 01 dan 02, pada Lms 03 dan Lms 04 ini tidak dijumpai endapan abu gunung api (Gambar 3). Pada Lms 03 hanya dijumpai endapan batu apung setebal 15 cm di atas endapan gambut. Stratigrafi pada Lms 04 lebih kompleks karena di dalam lapisan batu apung bagian bawah terdapat perselingan pasir sedang setebal 4 dan 1 cm. Tebal lapisan batu apung pada Lms 04 adalah 37 cm. Tanah sawah yang menutupi lapisan batu apung ini memiliki warna coklat kehitaman dan pasiran.

Percontoh inti Lms 05 dan Lms 06 masing-masing terletak pada koordinat 5,85743 S; 104,70163 E



Gambar 3. Korelasi profil stratigrafi data percontoh inti pada daerah penelitian yang menunjukkan endapan Krakatau 1883 yang secara umum menipis ke arah selatan.



Gambar 4. Perubahan besar butir secara vertikal endapan tsunami pada percontoh inti Lms 12.

dan 5,85749 S; 104,70159 E. Seperti halnya pada Lms 03, percontoh inti Lms 05 dan Lms 06 tersusun oleh endapan gambut pada bagian paling bawah, di atasnya terdapat lapisan batu apung serta tanah sawah (Gambar 3). Tebal lapisan batu apung pada Lms 05 dan Lms 06 adalah masing-masing 12 cm dan 7 cm.

Posisi koordinat Lms 07 adalah 5,85855 S dan 104,70110 E. Posisi koordinat Lms 08 adalah 5,85964 S dan 104,70074 E. Percontoh inti Lms 07 dan Lms 08 ini juga tersusun atas endapan gambut pada bagian bawah, lapisan batu apung dan tanah sawah di bagian atas. Lapisan batu apung yang fragmennya berukuran pasir hingga kerikil ini dapat dijumpai di kedalaman kurang dari 20 cm, dengan ketebalan masing-masing 3 cm dan 10 cm (Gambar 3).

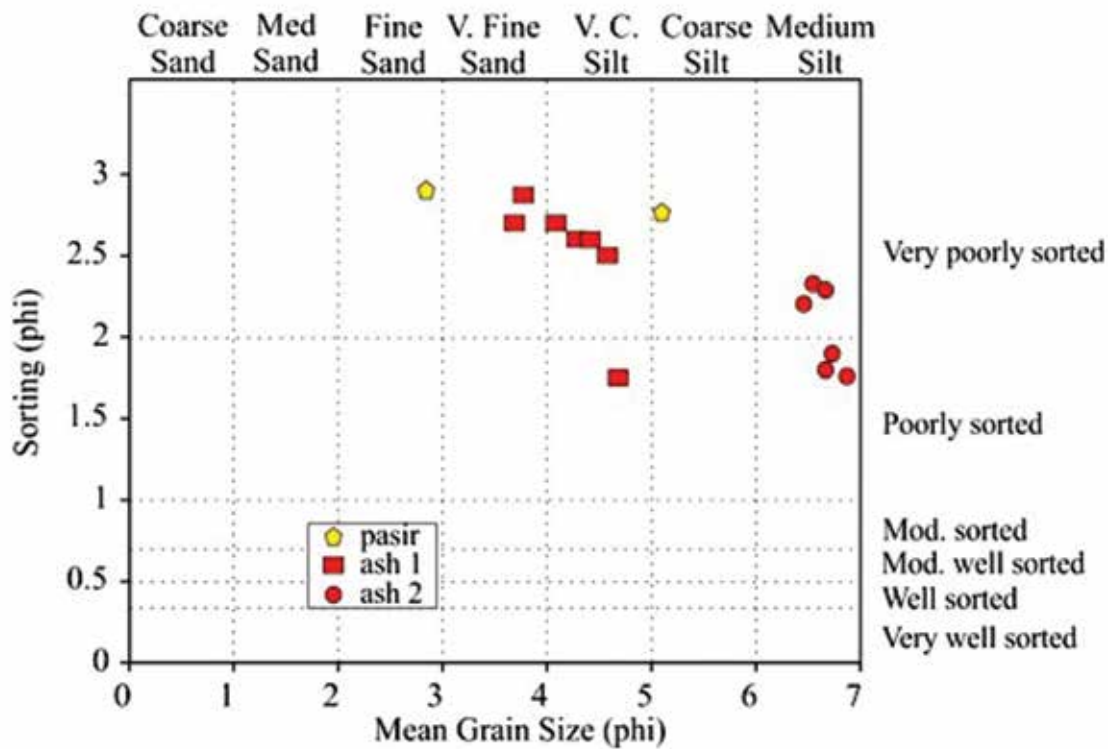
Percontoh inti Lms 09 terletak di ujung paling selatan rendahan di antara pematang target penelitian (*swale* 1, Gambar 2). Posisi percontoh inti ini ada pada koordinat 5,85931 S dan 104,70063 E. Pada percontoh inti ini hanya ditemukan endapan gambut saja di bawah lapisan tanah sawah. Hal yang sama juga ditemui pada percontoh inti Lms 10 dan Lms 11 yang berada pada rendahan di antara pematang (*swale* 3).

Lms 12 terletak di antara Lms 03 dan Lms 04, pada koordinat 5,85643 S dan 104,70192 E. Stratigrafi pada percontoh inti ini cukup kompleks dengan profil menyerupai stratigrafi yang ditemui pada Lms 01 dan Lms 02 (Gambar 3). Di atas endapan gambut dapat dijumpai lapisan pasir coklat keabu-abuan yang memiliki butiran relatif membuldar. Lapisan pasir ini memiliki kontak tegas dan erosional dengan endapan gambut di bawahnya. Di atasnya terdapat lapisan abu gunung api abu-abu kehijauan. Lapisan abu gunung api ini dapat dibedakan menjadi dua. Bagian atas mengandung fragmen batu apung berukuran kurang dari 0,5 cm. Di atas lapisan abu gunung api adalah lapisan batu apung yang memiliki karakteristik sama dengan batu apung yang ditemui pada percontoh inti yang lain, yaitu bentuk butir relatif menyudut, pemilahan buruk, kemas terbuka, dan ukuran butir fragmen kerikil hingga kerakal. Secara umum pada semua percontoh inti, lapisan batu apung yang ada relatif bersih tanpa ada matriks di antara fragmen.

Analisis Besar Butir

Analisis besar butir dilakukan pada lapisan pasir dan abu gunung api Lms 12. Karena cukup tebal (hampir 30 cm) dan secara fisik berbeda, lapisan abu gunung api pada percontoh inti ini dibagi menjadi dua, yaitu lapisan abu gunung api 1 dan 2 (lihat deskripsi Lms 12 di atas). Detail perubahan besar butir secara vertikal dapat dilihat pada Gambar 4. Hasil analisis besar butir menunjukkan lapisan pasir memiliki struktur penghalusan ke atas. Bagian bawah lapisan pasir memiliki besar butir (*mean grain size*) $2,84\phi$ (phi), sedangkan bagian atas adalah $5,13\phi$. Lapisan abu gunung api bagian bawah (lapisan abu gunung api 1) memiliki karakteristik mengasar ke arah atas yang ditunjukkan dengan perubahan besar butir (*mean grain size*) dari $6,71\phi$ pada bagian bawah menjadi $4,77\phi$ pada bagian atas. Lapisan abu gunung api bagian atas (lapisan abu gunung api 2) memiliki struktur penghalusan ke arah atas, dan dapat dibedakan menjadi dua pola penghalusan ke arah atas. Penghalusan ke arah atas pertama ditandai dengan adanya perubahan besar butir dari $3,79\phi$ pada bagian bawah menjadi $4,61\phi$, kemudian penghalusan ke atas selanjutnya ditandai dengan perubahan besar butir dari $3,70\phi$ menjadi $4,70\phi$.

Lapisan pasir memiliki besar butir (*mean grain size*) berkisar dari lanau kasar hingga pasir halus seperti yang terlihat dalam *bivariate plot* antara pemilahan (*sorting*) dan besar butir (*mean grain size*) (Gambar 5). Lapisan abu gunung api 1 memiliki besar



Gambar 5. Bivariate plot antara pemilahan (*sorting*) dan ukuran butir (*mean grain size*) pada lapisan – lapisan pasir, abu gunung api 1 dan 2.

butir berkisar dari lanau sangat kasar hingga pasir sangat halus, sedangkan lapisan abu gunung api 2 mempunyai besar butir paling halus, yaitu berukuran lanau sedang. Bivariate plot antara pemilahan dan besar butir juga memperlihatkan bahwa lapisan abu gunung api 2 memiliki sortasi lebih baik (*poorly sorted to very poorly sorted*) dibandingkan lapisan pasir dan abu gunung api 1 yang semuanya terpilah sangat buruk (*very poorly sorted*).

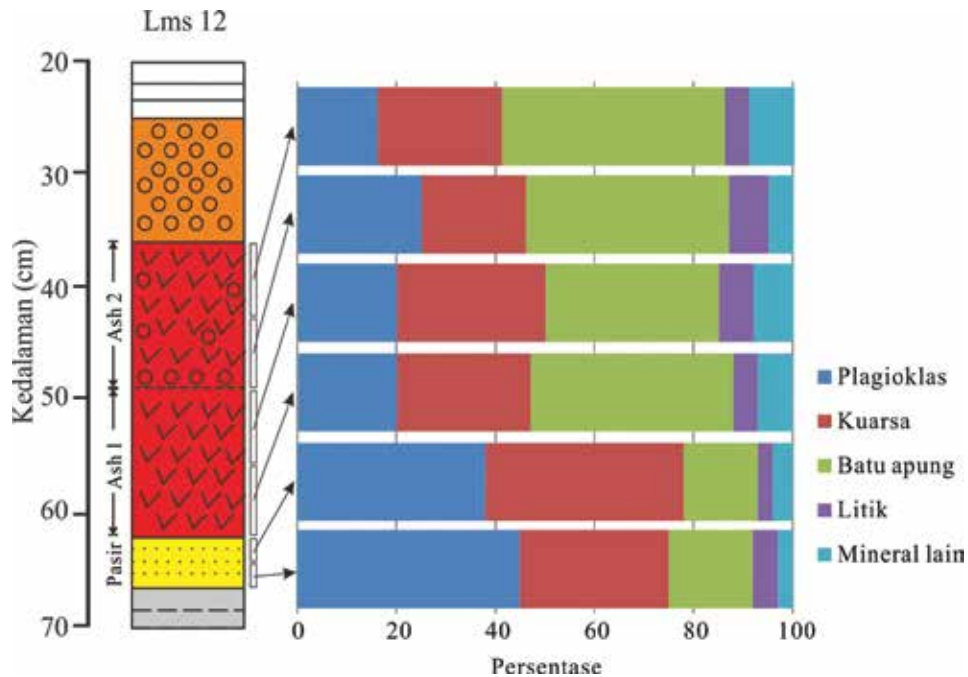
Analisis Foraminifera

Analisis foraminifera dilakukan pada percontoh yang diambil pada horizon yang sama dengan percontoh yang digunakan untuk analisis besar butir, yaitu pada lapisan pasir, lapisan abu gunung api 1 dan lapisan abu gunung api 2 pada percontoh inti Lms 12. Baik pada lapisan pasir maupun lapisan abu gunung api, sama sekali tidak ditemukan foraminifera. Pada lapisan pasir ditemukan pecahan cangkang berwarna putih. Namun, karena kondisinya yang sudah hancur, identifikasi *genus/species* pecahan cangkang tersebut tidak mungkin dilakukan.

Analisis Mineralogi

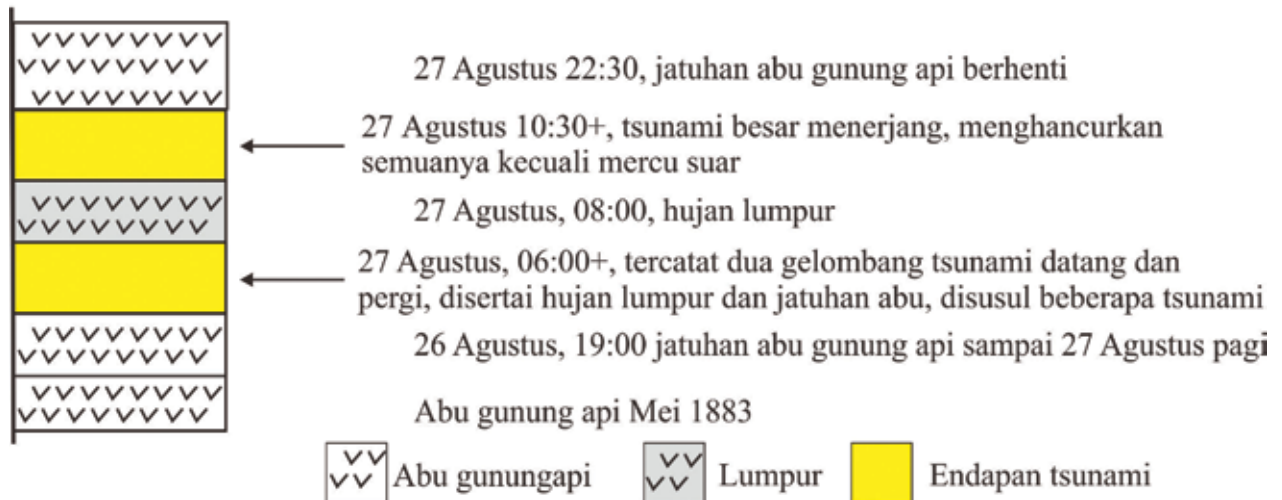
Analisis mineralogi dilakukan pada percontoh yang diambil pada lapisan pasir, lapisan abu gunung api 1 dan 2. Total enam percontoh yang dianalisis, masing-masing dua percontoh dari setiap lapisan. Hasil analisis mineralogi menunjukkan mineral plagioklas, kuarsa, dan fragmen batu apung mendominasi komposisi mineral pada semua lapisan yang dianalisis (Gambar 6). Pada lapisan pasir, plagioklas menyusun 38 % – 45 % komposisi mineral, sedangkan kuarsa berkisar 30 % – 40 %, dan fragmen batu apung 15 % – 17 %. Lithik dan mineral lain masing-masing hanya berkontribusi 3 % – 5 % dari total komposisi mineral.

Pada lapisan abu gunung api, baik lapisan abu gunung api 1 maupun 2, fragmen batu apung mendominasi komposisi mineral, yaitu berkisar 35 % – 45 %. Komposisi kuarsa berkisar antara 21 % – 30 %, sedangkan plagioklas berkisar 16 % – 25 %. Lithik dan mineral lain masing-masing hanya berkontribusi kurang dari 10 % komposisi mineral. Baik pada lapisan pasir maupun lapisan abu gunung



Gambar 6. Komposisi mineralogi pada lapisan pasir dan abu gunung api Lms 12.

Vlakke Hoek (Belimbing)



Gambar 7. Stratigrafi hipotetik daerah penelitian berdasarkan catatan sejarah yang dirangkum oleh Verbeek (1886) dan Simkin & Fiske (1983).

api ditemui mineral-mineral berat seperti magnetit, olivin, piroksen, serta obsidian.

Catatan Sejarah

Berdasarkan catatan sejarah yang dirangkum oleh Verbeek (1886) dan Simkin & Fiske (1983), stratigrafi hipotetik endapan hasil letusan dan tsunami

Krakatau tahun 1883 di sekitar daerah penelitian dapat disusun sebagai berikut. Lokasi paling dekat yang ada catatan sejarahnya adalah daerah Belimbing, yang berada di selatan daerah penelitian. Stratigrafi hipotetik ini disusun berdasarkan urutan kronologi erupsi dan tsunami selama puncak erupsi (*paroxysmal eruption*). Catatan sejarah menyatakan bahwa di daerah Belimbing ini terdapat endapan hujan lumpur yang menandai peralihan letusan

tipe *preplinian* ke *plinian*. Stratigrafi hipotetik berdasarkan catatan sejarah pada daerah ini adalah seperti pada Gambar 7 di bawah ini.

Stratigrafi hipotetik ini diperlukan untuk memperkirakan stratigrafi lengkap yang dihasilkan dari seluruh aktivitas erupsi dan tsunami yang menyertai letusan Krakatau tahun 1883. Tsunami yang terjadi pada tanggal 27 dan 28 Agustus 1883 bisa jadi mengerosi endapan abu gunung api dan lumpur dari hujan lumpur yang terendapkan terlebih dahulu. Dalam penggambaran stratigrafi hipotetik di atas, proses erosi tersebut diabaikan.

DISKUSI

Interpretasi Fasies Sedimen

Secara umum, stratigrafi di daerah penelitian dapat dibagi menjadi empat lapisan sedimen, yaitu endapan gambut yang menempati stratigrafi paling bawah; lapisan pasir; lapisan abu gunung api, dan lapisan batu apung. Posisi stratigrafi lapisan pasir, abu gunung api dan batu apung bisa berbeda-beda untuk masing-masing percontohan. Keempat lapisan sedimen tersebut dapat diklasifikasikan dalam tiga fasies yang berbeda, sebagai berikut:

Fasies Pasir Endapan Tsunami

Lapisan pasir yang terdapat pada Lms 01, Lms 02, Lms 04, dan Lms 12 adalah fasies pasir endapan tsunami Krakatau tahun 1883. Lapisan pasir ini memiliki karakteristik yang dijumpai pada endapan paleotsunami seperti yang dirangkum oleh Goff drr. (2012) dan endapan tsunami modern (Putra drr. (2013). Karakteristik tersebut antara lain: memiliki kontak tegas dan erosional dengan lapisan di bawahnya, serta memiliki sortasi (pemilahan) yang buruk. Lapisan pasir ini memiliki struktur penghalusan besar butir ke arah atas. Struktur ini merupakan struktur sedimen yang khas dan paling sering dijumpai dalam endapan tsunami. Penghalusan besar butir ke arah atas lapisan ini terjadi karena penurunan energi yang mengakibatkan material-material yang ada di dalam tsunami terendapkan secara suspensi. Karena gelombang tsunami sangat dinamis dan kompleks, satu lapisan penghalusan ke arah atas tidak selalu identik dengan satu kali gelombang tsunami datang dan pergi (Bourgeois,

2009) karena gelombang yang datang belakangan dapat mengerosi endapan yang sudah terbentuk sebelumnya. Salah satu karakteristik penting endapan tsunami lainnya adalah keterdapatannya organisme dari laut, baik itu foraminifera, diatom, moluska, maupun organisme lainnya. Namun, dalam endapan tsunami, ketidakterdapatannya organisme laut bukan hal yang mutlak (Goff drr., 2012) karena mudahnya material organisme tersebut terlarutkan dan tidak terawetkan. Dalam lapisan pasir memang tidak dapat dijumpai foraminifera, namun keterdapatannya batu apung sebagai fragmen (yang dalam kasus ini hampir 20 % merupakan komposisi mineral) mencirikan bahwa lapisan pasir ini adalah hasil tsunami akibat letusan gunung api tsunami??? (Waythomas dan Neal, 1998; Paris drr., 2014). Goff drr. (2012) dan juga Chagué-Goff (2010) menggunakan proksi geokimia untuk mengidentifikasi paleotsunami jika tidak ditemukan mikrofosil dan bukti sedimentologi lainnya yang bisa digunakan untuk mengkonfirmasi asal laut (*marine origin*) kandidat paleotsunami. Proksi geokimia hingga saat ini masih sangat terbatas diaplikasikan dalam paleotsunami dan belum pernah digunakan dalam studi endapan tsunami hasil letusan gunung api, sehingga ke depannya akan sangat penting untuk menguji keefektifan penggunaan proksi ini dalam studi endapan tsunami hasil letusan gunung api. Ketidakterdapatannya mineral berat dalam lapisan pasir tsunami Krakatau 1883 (Gambar 6) ini merupakan indikasi adanya proses pemilahan secara hidraulik selama proses transportasi dan pengendapan oleh tsunami yang memisahkan mineral-mineral berat dengan yang lebih ringan.

Fasies Abu Gunung Api Batuapungan yang Mengalami Pengangkutan oleh Tsunami

Di sekitar Selat Sunda (pantai barat Banten dan pantai Selatan Sumatra), endapan piroklastika (abu gunung api batuapungan) letusan Krakatau tahun 1883 biasanya berselingan dengan endapan tsunami dengan ketebalan kurang dari 10 cm (Paris drr., 2014). Endapan abu gunung api batuapungan yang diidentifikasi di daerah penelitian adalah endapan piroklastika yang telah terbawa tsunami. Interpretasi ini didasarkan pada karakteristik fisik endapan tersebut karena tidak dijumpai adanya mineral berat dan sedikitnya fragmen lithik (batuan vulkanik) serta kristal-kristal vulkanik. Selain itu, endapan abu gunung api ini memiliki pemilahan yang buruk hingga sangat buruk. Endapan jatuhnya piroklastika

primer biasanya memiliki sortasi yang baik (Leahy, 1997).

Fasies Endapan Jatuhan Batuapung yang Mengalami Pengangkutan oleh Tsunami

Endapan batu apung yang hampir selalu terdapat di bagian atas lapisan-lapisan abu gunung api ini diinterpretasikan sebagai fasies jatuhan batu apung yang sudah terbawa oleh tsunami (*tsunami reworked*). Endapan batu apung ini diinterpretasikan sudah terbawa oleh tsunami karena di antara butir-butir fragmen batu apung ini hampir tidak dijumpai adanya matriks, juga tidak terdapat mineral-mineral vulkanik sebagaimana diamati oleh Carey dr. (2001) dan Paris dr. (2014). Bentuk butirnya yang tidak membundar lebih dimungkinkan sebelum terbawa oleh tsunami, batu apung ini jatuh di laut tidak jauh dari lokasi terendapkan. Baik Carey dr. (2001) maupun Paris dr. (2014) juga menemukan lapisan batu apung yang sudah terbawa oleh tsunami di sekitar Kalianda, Lampung, serta pantai barat Banten. Namun, bentuk butir fragmen batu apung yang mereka temukan lebih membundar jika dibandingkan endapan jatuhan batu apung primer.

Hubungan Catatan Sejarah dan Rekaman Stratigrafi

Catatan sejarah merekam adanya jatuhan abu gunung api yang intensif pada tanggal 26 Agustus 1883 malam hingga pagi hari tanggal 27 Agustus 1883 sebelum datangnya tsunami pertama.

Di lokasi penelitian, endapan primer jatuhan abu gunung api ini tidak ditemukan, kemungkinan besar tererosi oleh tsunami yang datang pada pukul 06.00 pagi tanggal 27 Agustus 1883. Dalam catatan sejarah diceritakan pula bahwa pada saat tsunami pertama itu menerjang, terjadi pula hujan lumpur hingga pukul 08.00 pagi yang disertai dengan jatuhan abu gunung api sebelum terjadi tsunami besar pada pukul 10.30 pagi; sehingga adanya hujan lumpur bisa dijadikan pemisah antara tsunami pertama dengan tsunami besar pukul 10.30. Berdasarkan hasil analisis sedimentologi, mineralogi, dan mikropaleontologi yang telah dilakukan, tidak ditemukan endapan primer piroklastika, baik berupa endapan abu gunung api maupun hujan lumpur. Endapan Krakatau 1883 yang ditemukan di daerah penelitian semuanya merupakan endapan tsunami. Ini berarti bisa ada dua kemungkinan, kemungkinan pertama

adalah endapan tersebut diendapkan oleh beberapa tsunami yang menerjang. Kemungkinan kedua adalah tsunami besar pada pukul 10.30 mengerosi semua endapan primer piroklastika dan endapan tsunami yang sudah ada, dan mengendapkannya menjadi endapan tsunami seperti yang ditemui di lapangan.

Paris dr. (2014) dalam penelitiannya di daerah Anyer dan Pulau Sanghyang menemukan bahwa data stratigrafi di dua lokasi tersebut mampu digunakan untuk membedakan kejadian tsunami pertama dengan tsunami besar setelah letusan tipe *plinian*, yaitu tsunami pada pukul 10.30. Paris dr. (2014) mendeskripsi bahwa endapan tsunami pukul 10.30 dicirikan oleh lebih melimpahnya fragmen batu apung (mencapai 90 %) di dalam endapan pasir jika dibandingkan endapan tsunami pada pukul 06.00. Karena di lokasi penelitian Limus hanya ditemukan satu lapisan pasir saja dengan komposisi batu apung di bawah 50 %, maka bisa jadi lapisan pasir ini diendapkan oleh tsunami pada pukul 06.00. Endapan batu apung di atas endapan pasir bisa diinterpretasikan dihasilkan oleh tsunami besar pukul 10.30. Karena kondisi pantai di daerah penelitian merupakan pantai berkarang dengan sedikit pasir, maka bisa jadi sebagian besar endapan pasir sudah terbawa ke darat oleh tsunami pada pukul 06.00, sehingga tsunami besar pada pukul 10.30 tidak banyak membawa endapan pasir dan hanya mengendapkan batu apung sebagai komponen utamanya.

Tidak ditemukannya endapan hujan lumpur di lokasi penelitian bisa jadi mengindikasikan bahwa endapan tsunami yang ditemukan di daerah penelitian dihasilkan dari tsunami besar pada pukul 10.30. Tsunami besar ini mengerosi seluruh endapan tsunami dan endapan primer piroklastika, termasuk endapan hujan lumpur. Endapan pasir yang secara umum di daerah penelitian ditemukan di bagian bawah diendapkan oleh gelombang awal dari tsunami besar ini. Karena tidak banyak tersedia pasir di pantai, maka gelombang selanjutnya lebih banyak membawa dan mengendapkan batu apung.

Dalam catatan sejarah diceritakan bahwa endapan abu gunung api turun terus setelah tsunami besar pukul 10.30 hingga malam hari tanggal 27 Agustus 1883. Di lokasi penelitian endapan abu gunung api ini tidak ditemukan, sehingga dapat diinterpretasikan bahwa endapan ini tidak terawetkan karena mungkin

sudah terganggu oleh aktivitas manusia, misalnya bersawah. Rendahan di antara pematang pantai di tempat penelitian adalah berupa sawah. Hingga kedalaman sekitar 25 cm yang ditemukan dalam percontohan inti adalah tanah sawah.

KESIMPULAN

Secara umum, stratigrafi endapan Krakatau 1883 di daerah Limus, pantai barat Teluk Semangko Lampung, terdiri atas endapan pasir pada bagian bawah, endapan abu gunung api pada bagian tengah, serta endapan batu apung pada bagian atas. Berdasarkan karakteristik fisik serta hasil analisis besar butir, foraminifera dan mineralogi, endapan-endapan tersebut diklasifikasikan menjadi fasies-fasies : 1) fasies pasir endapan tsunami; 2) fasies abu gunung api batuapungan yang mengalami pengangkutan oleh tsunami; 3) fasies batu apung yang mengalami pengangkutan oleh tsunami. Studi yang lebih detail mengenai hubungan stratigrafi dan catatan sejarah memang masih diperlukan untuk mendapatkan kronologi erupsi dan tsunami selama periode letusan *paroxysmal* tahun 1883. Meski demikian, rekaman stratigrafi yang dikombinasikan dengan catatan sejarah dapat digunakan untuk merekonstruksi kejadian erupsi dan tsunami tahun 1883 di daerah penelitian, dan dapat menambah pemahaman khususnya mengenai karakteristik endapan Krakatau 1883 dan endapan tsunami akibat letusan gunung api pada umumnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bayu Wicaksono (alumni Teknik Geologi UPN 'Veteran' Yogyakarta) atas bantuannya selama kegiatan lapangan di daerah Limus ini. Terima kasih juga kepada kedua penelaah atas diskusi, masukan, dan sarannya dalam perbaikan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Blott, S.J. dan Pye, K., 2001. *Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments*. Earth Surface Processes and Landforms 26, 1237–1248.

Bourgeois, J., 2009. The geologic effects and records of tsunamis, in : Bernard, E.N. and Robinson, A.R. (eds) *The Sea*, volume 15, Tsunamis,

Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, h. 55 - 91.

Carey, S., Sigurdsson, H., Mandeville, C., dan Bronto, S., 1996. *Pyroclastic flows and surges over water: an example from the 1883 Krakatau eruption*, Bulletin of Volcanology, 57, 493 – 511.

Carey, S., Morelli, D., Sigurdsson, H., dan Bronto, S., 2001. *Tsunami deposits from major explosive eruptions: an example from the 1883 eruption of Krakatau*, Geology, 29, 347 – 350.

Chagué-Goff, C., 2010. *Chemical signatures of palaeotsunamis: a forgotten proxy?* Marine Geology, 271, 67–71.

Goff, J.R., Chague-Goff, C., Nichol, S., Jaffe, B., dan Dominey-Howes, D., 2012. *Progress in paleotsunami research*, Sedimentary Geology, 243 – 244, 70 – 88.

Jankaew, K., Martin, M.E., Sawai, Y., dan Prendergast, A.L., 2011. *Sand Sheets on a Beach Ridge Plain in Thailand: Identification and Dating of Tsunami Deposits in a Far-Field Tropical Setting*. Di dalam: Nils-Axel Mörrner (eds.) *The Tsunami Threat - Research and Technology*, ISBN: 978-953-307-552-5, InTech, 299 – 324.

Leahy, K., 1997. *Discrimination of reworked pyroclastic from primary tephra-fall tuffs: a case study using kimberlites of Fort a la Corne, Saskatchewan, Canada*, Bulletin of Volcanology, 59, 65 – 71.

Ongkosongo, 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.

Paris, R., Wassmer, P., Lavigne, F., Belousov, A., Belousova, M., Iskandarsyah, Y., Benbakkar, M., Ontowiryo, B., dan Mazzoni, N., 2014. *Coupling eruption and tsunami records: the Krakatau 1883 case study, Indonesia*, Bulletin of Volcanology, 76:814, 1 – 23.

Putra, P.S., Nishimura, Y., Nakamura, Y., dan Yulianto, E., 2013. *Source and transportation mode of the 2011 Tohoku-oki tsunami deposit on the central east Japan coast*, Sedimentary Geology, 294, 282 – 293.

Simpkin, T. dan Fiske, R.S., 1983. *Krakatau 1883:*

- the volcanic eruption and its effects*, Smithsonian Institution Press, Washington DC, 464 h.
- Van den Bergh, G..D., Boer, W., de Haas, H., van Weering, T.C.E., dan 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.
- Verbeek, R.M., 1886. *Krakatau, Batavia*, Imprimerie de l'Etat, 567 h.
- Waythomas, C.F. dan Neal, C.A., 1998. *Tsunami generation by pyroclastic flow during the 3500-year BP caldera-forming eruption of Aniakchak volcano, Alaska*, Bulletin of Volcanology, 60, 110 – 124.

Nama	Tanggal Naskah Diterima	Tanggal Selesai Direvisi	Tanggal Disetujui
Cecep	11 September 2015	18 Desember 2015	01 Maret 2016
Dyah Marganingrum	29 Oktober 2015	10 Februari 2016	01 Maret 2016
Khori Sugianti	29 Juni 2015	15 Desember 2015	01 Maret 2016
Marjiyono	10 Maret 2015	24 Nopember 2015	01 Maret 2016
Purna	13 Oktober 2015	19 Februari 2016	01 Maret 2016