

## **Tsunamigenik di Selat Sunda: Kajian terhadap katalog Tsunami Soloviev**

YUDHICARA<sup>1</sup> dan K. BUDIONO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi  
Jl. Diponegoro No. 57 Bandung

<sup>2</sup>Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan  
Jl. Dr. Junjuran No. 236 Bandung

### **SARI**

Tsunamigenik adalah suatu kejadian di alam yang berpotensi menimbulkan tsunami. Kejadian tersebut berupa terganggunya air laut oleh kegiatan-kegiatan gunung api, gempa bumi, longsor pantai dan bawah laut, dan sebab-sebab lainnya.

Berdasarkan sejarah, di Selat Sunda telah berkali-kali terjadi bencana tsunami yang tercatat dalam katalog tsunami. Tsunami yang terjadi ini disebabkan oleh beberapa fenomena geologi, di antaranya erupsi gunung api bawah laut Krakatau yang terjadi tahun 416, 1883, dan 1928; gempa bumi pada tahun 1722, 1852, dan 1958; dan penyebab lainnya yang diduga kegagalan lahan berupa longsor baik di kawasan pantai maupun di dasar laut pada tahun 1851, 1883, dan 1889.

Kondisi tektonik Selat Sunda sangat rumit, karena berada pada wilayah batas Lempeng India-Australia dan Lempeng Eurasia, tempat terbentuknya sistem busur kepulauan yang unik dengan asosiasi palung samudera, zona akresi, busur gunung api dan cekungan busur belakang. Palung Sunda yang menjadi batas pertemuan lempeng merupakan wilayah yang paling berpotensi menghasilkan gempa-gempa besar. Adanya kesenjangan kegiatan gempa besar di sekitar Selat Sunda dapat menyebabkan terakumulasinya tegasan yang menyimpan energi, dan kemudian dilepaskan setiap saat berupa gempa besar yang dapat menimbulkan tsunami.

Sepanjang sejarah letusan, busur gunung api bawah laut Krakatau telah mengalami empat tahap pembangunan dan tiga tahap penghancuran. Setiap tahap penghancuran mengakibatkan terjadinya tsunami dengan kemungkinan potensi peristiwa serupa akan terjadi antara tahun 2500 hingga 2700.

Kondisi geologi dasar laut Selat Sunda yang labil, terutama disebabkan oleh perkembangan struktur geologi aktif yang membentuk terban, juga berpotensi menimbulkan bencana longsor apabila dipicu oleh gempa bumi. Sementara kondisi topografi pantai yang relatif terjal dengan tingkat pelapukan yang tinggi di sekitar Teluk Semangko dan Teluk Lampung, merupakan faktor lain yang dapat menimbulkan bencana longsor terutama apabila dipicu oleh curah hujan yang tinggi antara bulan Desember hingga Februari. Lebih jauh lagi, bahwa apabila material longsor jatuh ke laut, meskipun sangat kecil dan bersifat lokal dapat juga berpotensi mengakibatkan tsunami.

**Kata Kunci:** tsunamigenik, gempa bumi, gunung api bawah laut, longsor, tsunami

### **ABSTRACT**

*Tsunamigenic is a natural phenomena which is potential to generate a tsunami, such as water disturbance due to the presence of activities of volcanism, earthquakes, coastal and sub marine landslides, or other causal factors .*

*Historically, the Sunda Strait has experienced several tsunami events recorded in the tsunami catalog. Those tsunamis were caused by some geological phenomena such as eruptions of Krakatau submarine volcano in 416, 1883, and 1928; earthquakes in 1722, 1852, and 1958; and other causes which were suggested as a mass failure of coastal and submarine landslide in 1851, 1883, and 1889.*

*Tectonic condition of the Sunda Strait is very complicated, because this region is located at the boundary of Indian-Australian and Eurasian Plates, where a unique island arc system occurs with its association such as trench, accretionary zone, volcanic arc and back-arc basin. Sunda trench as a plate boundary is the most potential region to produce big earthquakes. Existence of a seismic gap in the region*

*can cause a stress accumulation and store energy, then it will be released any time as a big earthquake to generate a tsunami.*

*Along eruption history, Krakatau volcanic arc has four stages of reconstruction and three stages of destruction, and every destruction stage produces tsunami which is suggested to be potentially repeated in the future in a period between 2500 to 2700.*

*Seafloor of the Sunda Strait has an unstable geological condition due to geological structure development, which creates grabens and also enable to produce submarine landslides triggered by earthquake. Coastal condition around the Semangko and Lampung Bays consisting of steep topography with high intensity of weathering, is another factor to contribute landslide, particularly in the case of triggering by heavy rainfall between December to Februari. Furthermore, if landslide materials tumble into the water, even very small and locally, could create a potency of tsunami.*

**Keywords:** *tsunamigenic, earthquake, submarine volcano, landslide, tsunami*

## PENDAHULUAN

Tsunami bisa disebabkan oleh berbagai hal di antaranya gempa bumi dan erupsi gunung api di bawah laut, atau oleh sebab-sebab lain berupa longsoran di dasar laut dan atau di pantai.

Pada tahun 1883, di Kawasan Selat Sunda terjadi letusan Gunung Api Krakatau. Peristiwa bersejarah ini telah menarik seluruh perhatian dunia, karena material yang dimuntahkannya telah memicu terjadinya tsunami yang melanda sebagian Sumatera bagian selatan dan Jawa Barat bagian barat, sehingga menewaskan lebih kurang 36.000 jiwa manusia.

Berdasarkan katalog tsunami yang ditulis oleh Soloviev dan Go (1974), telah tercatat adanya beberapa kali peristiwa bencana tsunami di Selat Sunda (Tabel 1). Di dalam katalog dijelaskan bahwa tsunami tersebut dipicu salah satunya oleh erupsi gunung api yang pernah terjadi pada tahun 416 [terekam dalam sebuah kitab Jawa yang berjudul Pustaka Raja (*"Book of Kings"*)], yang diduga sebagai gunung api Krakatau kuno. Setelah peristiwa erupsi gunung api bawah laut Krakatau di tahun 1883, erupsi-erupsi kecil berlangsung pada tahun 1884, menghasilkan tsunami kecil yang teramati di sekitar Selat Sunda. Peristiwa yang sama kembali terjadi pada tahun 1928, dan tsunami kecil teramati sekitar Gunung Api Anak Krakatau.

Dalam katalog tersebut juga dijelaskan bahwa tsunami pernah teramati setelah adanya peristiwa gempa bumi yang berpusat di dasar laut, di antaranya pada tahun 1722, 1757, 1852, dan 1958. Katalog tersebut juga merekam adanya kenaikan muka air laut yang diduga sebagai tsunami kecil bersifat lokal, teramati di beberapa kawasan pantai dengan

penyebab yang belum diketahui, yaitu pada tahun 1851, 1883 (dua bulan setelah peristiwa erupsi Gunung Api Krakatau) dan 1889. Diduga bahwa peristiwa geologi lainnya yang menjadi penyebab terjadinya tsunami di Selat Sunda, selain erupsi gunung api dan gempa bumi bawah laut, adalah peristiwa longsoran di kawasan pantai dan di dasar laut. Untuk membuktikan hal tersebut, telah dilakukan penelitian geologi dan geofisika kelautan di Selat Sunda, termasuk pemetaan longsoran di kawasan Teluk Betung dan sekitarnya maupun studi yang dilakukan mengenai Gunung Api Krakatau, untuk dijadikan bahan kajian tsunamigenik di Selat Sunda dengan mengacu pada sejarah tsunami yang tertulis dalam katalog tsunami (Soloviev dan Go, 1974). Dalam tulisan ini dikaji kondisi geologi dan tektonik kawasan Selat Sunda dan faktor pendukung lainnya yang dapat memberikan kontribusi kejadian tsunami dan potensinya. Hasil kajian diharapkan dapat dijadikan dasar penelitian lebih lanjut mengenai tsunami yang mungkin dapat terjadi di wilayah Selat Sunda, sehingga dapat diupayakan langkah mitigasinya sedini mungkin.

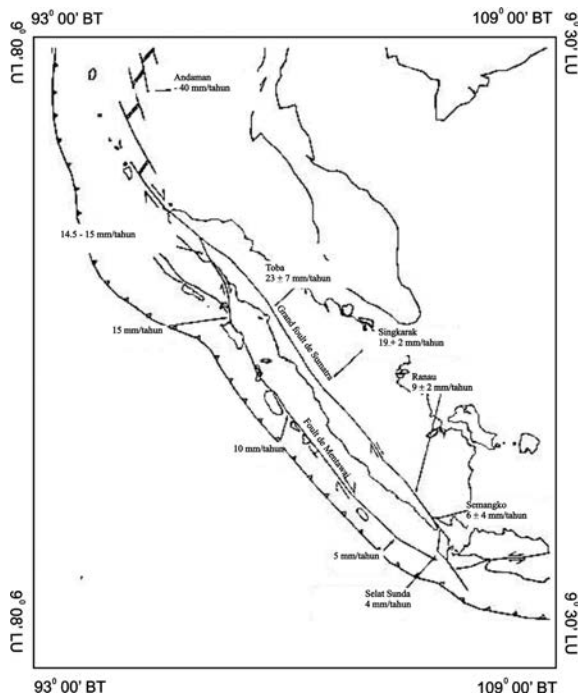
## GEOLOGI DAN TEKTONIK REGIONAL

Indonesia bagian barat berada pada pertemuan dua lempeng utama dunia yang aktif, yaitu Lempeng Samudera Hindia-Australia yang menunjam ke bawah Lempeng Benua Eurasia. Konsekuensi pertemuan kedua jenis lempeng yang berbeda ini menyebabkan terbentuknya suatu busur kepulauan yang memiliki karakteristik adanya palung samudera, busur non gunung api yang tersusun oleh

Tabel 1. Data Kejadian Tsunami berdasarkan Katalog Soloviev dan Go, 1974

Tahun	Uraian Kejadian Tsunami
416	Kitab Jawa yang berjudul "Book of Kings" (Pustaka Radja), mencatat adanya beberapa kali erupsi dari Gunung Kapi*, yang menyebabkan <u>naiknya gelombang laut</u> dan menggenangi daratan, dan memisahkan P. Sumatera dengan P. Jawa. *) Gunung Kapi ini diyakini sebagai Gunung api Krakatau saat ini.
Oktober 1722	8:00 terjadi gempa bumi kuat di laut, yang dirasakan di Jakarta dan menyebabkan <u>air laut naik</u> seperti air mendidih.
24 Agustus 1757	2:00, Gempa bumi yang kuat dirasakan di Jakarta kurang lebih selama 5 menit. Pada 2:05, selama guncangan yang terkuat, angin dirasakan berasal dari timur laut, <u>Air sungai Ciliwung meluap naik</u> hingga 0,5 meter dan membanjiri Kota Jakarta.
4 Mei 1851	Di Teluk Betung, di dalam Teluk Lampung di pantai selatan pulau Sumatera, teramati <u>gelombang pasang naik</u> 1,5 m di atas air pasang biasanya.
9 Januari 1852	Segera setelah 18:00, dirasakan gempabumi yang menyebar dari bagian barat Jawa hingga bagian selatan Sumatera, dirasakan juga di Jakarta, dan gempa-gempa susulannya dirasakan pula di Bogor dan Serang. Pada 20:00 terjadi <u>fluktuasi air laut yang tidak seperti biasanya</u> .
27 Agustus 1883	10:02, terjadi erupsi yang sangat dahsyat dari gunung api Krakatau, yang diikuti oleh <u>gelombang tsunami</u> . Ketinggian tsunami maksimum teramati di Selat Sunda hingga 30 meter di atas permukaan laut, 4 meter di pantai selatan Sumatera, 2-2,5 m di pantai utara dan selatan Jawa, 1,5-1 m di Samudera Pasifik hingga ke Amerika Selatan. Di Indonesia sebanyak 36.000 orang meninggal dunia.
10 Oktober 1883	Di Cikawung di pantai Teluk Selamat Datang, teramati <u>gelombang laut yang membanjiri pantai</u> sejauh 75 m.
Februari 1884	Lima bulan setelah kejadian erupsi Gunung api Krakatau, <u>tsunami kecil</u> teramati di sekitar Selat Sunda, diakibatkan oleh suatu erupsi gunung api.
Agustus 1889	Teramati <u>kenaikan permukaan air laut</u> yang tidak wajar di Anyer, Jawa Barat
26 Maret 1928	Kejadian erupsi gunung api Krakatau diiringi oleh <u>kenaikan gelombang laut</u> yang teramati di beberapa tempat di sekitar wilayah gunungapi.
22 April 1958	5:40, dirasakan gempa bumi di Bengkulu, Palembang, Teluk Banten dan Banten yang diiringi dengan <u>kenaikan permukaan air laut</u> yang meningkat secara berangsur.

prisma akresi, busur gunung api, dan cekungan busur belakang (Hamilton, 1979). Beberapa publikasi menyebutkan bahwa Selat Sunda berada pada kombinasi kondisi tektonik tersebut, dengan zona penunjaman yang memanjang dari ujung utara Pulau Sumatera membelok di Selat Sunda, memisahkan antara dua sistem penunjaman yang berbeda, yaitu sistem penunjaman miring (*oblique*) di perairan barat Sumatera dengan sistem penunjaman tegak (*frontal*) di perairan selatan Jawa (Harjono dr., 1991). Di antara palung dengan busur gunung api terdapat prisma akresi, dan gunung api bawah laut (Krakatau) berada pada jalur busur gunung api di daerah ini. Secara tektonik daerah ini selain dipengaruhi oleh sistem zona penunjaman di barat daya Selat Sunda, juga berkembang Sesar mendatar Semangko dan Sesar mendatar Mentawai dengan arah pergerakan menganan (*dextral*) yang menerus hingga ke perairan Selat Sunda (Gambar 1). Masing-masing elemen tektonik tersebut memberikan kontribusi pada deformasi di daerah Selat Sunda dan membentuk topografi darat dan dasar laut yang bergelombang hingga curam di daerah ini. Kondisi tektonik de-



Gambar 1. Komponen struktur regional Sumatera-Jawa bagian barat (Malod dr., 1995).

mikian di tandai dengan aktifitas kegempaan yang intensif dengan magnitudo dapat mencapai lebih dari 6 Skala Richter. Kecepatan pergerakan sepanjang sesar, dengan pergerakan Sesar Mentawai sejauh 15 mm/tahun, Sesar Besar Sumatera bergerak sebesar  $23 \pm 2$  mm/tahun, sedangkan sesar di Selat Sunda bergerak sejauh 5 mm/tahun (Malod drr., 1995).

## KAJIAN TSUNAMIGENIK DI SELAT SUNDA

### *Potensi Tsunami Akibat Gempa bumi*

Sepanjang sejarahnya, perairan Selat Sunda telah berkali-kali mengalami gempa bumi dalam magnitudo di atas 6 Skala Richter, dengan kedalaman yang relatif dangkal, dan mekanisme gempa vertikal. Hal demikian dapat saja berpotensi menimbulkan tsunami, seperti yang baru-baru ini terjadi di sebelah selatan Pulau Jawa pada 17 Juli 2006. Gempa bumi ini memiliki magnitudo  $M_w 7,7$  dengan mekanisme gempa sesar naik, dan menimbulkan tsunami yang melanda beberapa daerah di selatan Pulau Jawa.

Menurut Gutscher & Westbrook (2007), tsunamigenik yang diakibatkan oleh gempa bumi, umumnya berasosiasi dengan zona subduksi lambat yang biasanya menghasilkan gempa bumi dengan mekanisme sesar naik besar (*mega-thrust earthquakes*  $M > 8.2$ ). Dalam makalahnya disebutkan bahwa perulangan interval untuk tepian subduksi berlangsung lambat, lebih lama dibandingkan dengan zona subduksi cepat (berurutan dari beberapa ratus hingga beberapa ribu tahun). Contoh tsunamigenik zona subduksi lambat antara lain adalah gempa-gempa yang terjadi di perairan barat Sumatera, di antaranya gempa bumi yang terjadi pada 26 Desember 2004, sedangkan tsunamigenik zona subduksi relatif cepat adalah gempa bumi pada 17 Juli 2006 yang diperkirakan merupakan perulangan gempa tahun 1921 (~ 85 tahun). Kecepatan zona subduksi di Selat Sunda memiliki nilai 2 hingga 3 kali lebih cepat dibandingkan dengan zona subduksi perairan barat Sumatera namun agak lambat dibandingkan dengan zona subduksi di selatan Jawa, yaitu sebesar 5 mm/tahun.

Zona subduksi lambat ( $v \sim 4$  cm/tahun) dicirikan oleh adanya endapan sedimen tebal pada palung (2-6 km) dan baji akresi (*accretionary wedge*) yang lebar. Penipisan baji akresi ini secara mekanik berhubungan dengan basal dan gesekan internal

yang berkisar antara  $4^\circ$  hingga  $12^\circ$ . Beberapa baji akresi memiliki permukaan yang rata-rata dan kemiringan basal dangkal (masing-masing  $1^\circ - 2^\circ$ ), *taper*  $< 4^\circ$  yang mengindikasikan adanya lapisan sangat lemah. Selat Sunda termasuk ke dalam kategori ini dan mempunyai *taper* agak besar sekitar  $5^\circ$  hingga  $7^\circ$ , dan hampir semua baji dengan *taper* tersebut memiliki laju penunjaman yang lambat (0,5 hingga 4 cm/tahun). Selat Sunda merupakan peralihan dari laju penunjaman lambat menjadi lebih cepat.

Dampak langsung dari konfigurasi tersebut di khawatirkan akan menghasilkan deformasi di bagian atas batas bagian atas *dip* (*up dip limit*) zona seismogenik. Untuk baji akresi yang lebar (20 - 60 km), daerah di luar batas *up dip* memberikan kontribusi terjadinya tsunami. Sifat fisik sedimen pada baji akresi ini memiliki rigiditas ( $\mu$ ) rendah, porositas tinggi, dan *slip* co-seismik yang lambat. Kontribusi momen seismik mungkin rendah, namun berkontribusi menghasilkan tsunami sangat tinggi.

Gempa bumi di zona subduksi terjadi akibat tegasan yang terakumulasi disebabkan oleh kontak gesekan antara kedua lempeng tektonik yang salah satunya meluncur ke bawah yang lainnya (dalam hal ini Lempeng Hindia-Australia meluncur ke bawah Sumatera). Pada patahan *slip* selama gempa bumi, tegasan yang terakumulasi pada batas lempeng di dalam *rupture area* akan seluruhnya atau sebagian terlepas. *Slip* patahan juga akan merubah medan tegasan di daerah sekitar *rupture area*, dan perubahan tegasan ini hampir selalu menambah akumulasi tegasan di segmen sekitar patahan, sebagai hasil pergerakan relatif lempeng. Apabila segmen-segmen yang saling berdekatan ini tidak pernah mengalami gempa bumi besar dalam waktu yang cukup lama, hal ini memungkinkan adanya peningkatan tegasan pada tingkatan mendekati kekuatan gesekan pada kontak antar lempeng. Tegasan tambahan yang disebabkan oleh gempa bumi besar di dekatnya mungkin cukup untuk menimbulkan gempa bumi baru pada segmen berikutnya.

Dalam katalog tsunami Soloviev dan Go (1974) disebutkan bahwa gempa bumi yang menyebabkan tsunami di Selat Sunda pernah terjadi pada tahun 1757, dengan magnitudo  $M_s 7,5$  dan ketinggian tsunami hanya berkisar hingga 1 m. Kesenjangan aktifitas gempa besar (*seismic gap*) di daerah ini sudah mencapai sekitar 250 tahun.

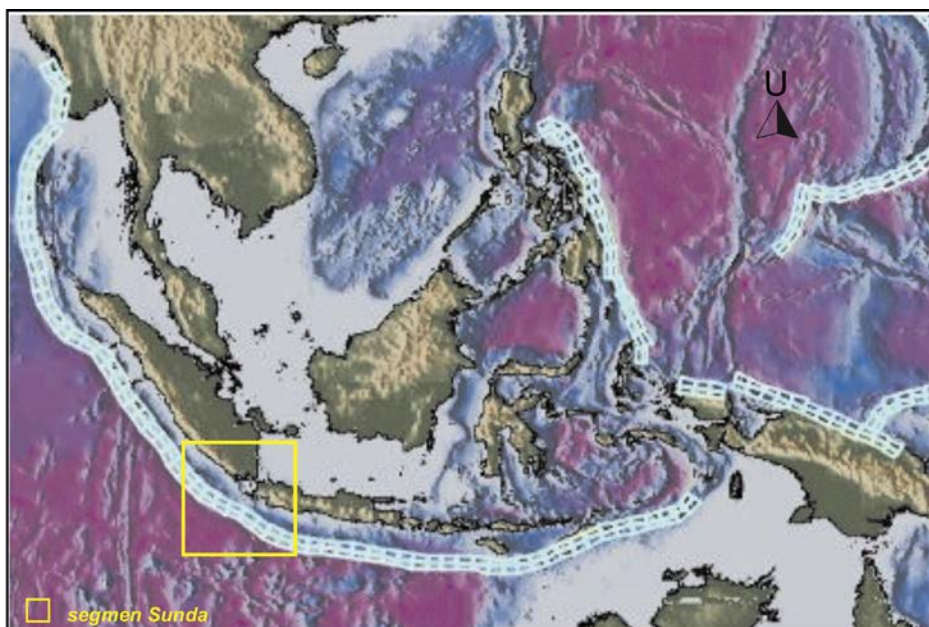
Gempa bumi berkekuatan > 7 Skala Richter pada kedalaman dangkal dapat berpotensi menimbulkan tsunami. Zona subduksi Selat Sunda yang digambarkan sebagai segmen-segmen patahan diilustrasikan pada Gambar 2.

### Potensi Tsunami Akibat Gunungapi

Tsunami yang diakibatkan oleh gunung api biasanya bukan hanya disebabkan oleh erupsinya, melainkan juga sebagai akibat jatuhnya produk gunung api yang dimuntahkan ke laut (Gambar 3) atau runtuhnya sebagian/seluruh tubuh gunung api ke dalam

laut (White, 2007). Perairan Selat Sunda memiliki gunung api bawah laut, yaitu Gunung Api Krakatau, yang keberadaannya adalah konsekuensi dari pertemuan antara Lempeng India-Australia dengan Lempeng Eurasia. Kompleks Gunung Api Krakatau ini termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Gunung ini terletak pada koordinat 6°06'05,8" LS dan 105°25'22,3"BT. Kegiatan Gunung Api Krakatau sejak tahun 416 hingga saat ini diperlihatkan pada Tabel 2.

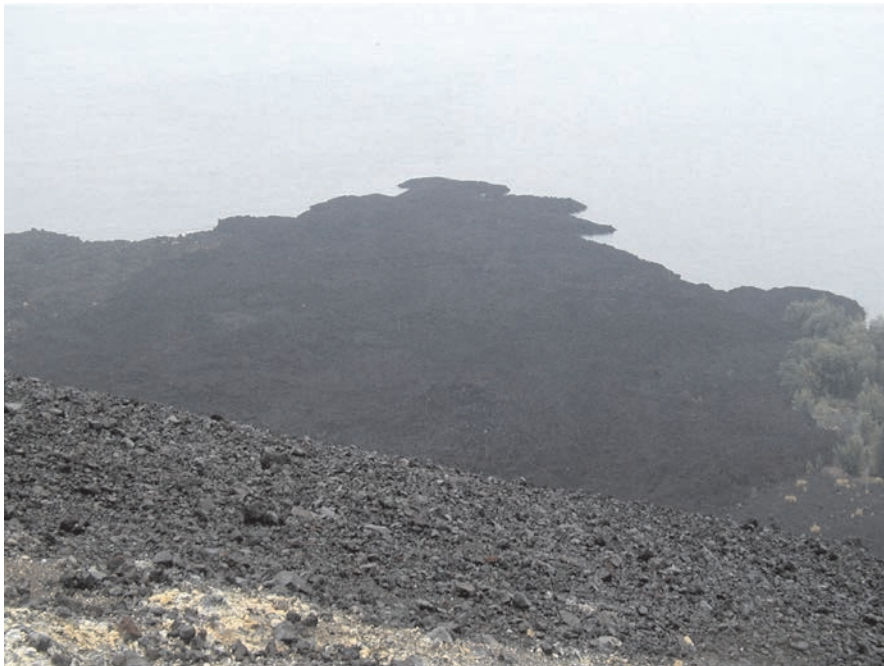
Pada Tabel 2 disebutkan bahwa kegiatan Gunung Api Krakatau diawali dengan pembentukan sebuah



Gambar 2. Lokasi sumber tsunami akibat gempa bumi yang berasosiasi dengan zona subduksi (rangkainan segmen mengikuti pola zona subduksi) (NOAA, 2007).

Tabel 2. Aktifitas Gunung Api Krakatau ( Sutawidjaja drr., 2006)

Periode	Kegiatan	Keterangan
2566-2667	Periode destruksi IV	
1927,1963, 2006	Periode konstruksi IV G. Anak Krakatau	1927-1963 : Kerucut Sinder, 1963-sekarang: Kerucut Komposit Komposisi: basal-andesit basal
1961	Periode konstruksi III (G. Rakata, G. Danan, G. Perbuwatan)	Kerucut komposit, lava aliran piroklastika, basal-andesit
1883	Periode destruksi III	Tuf pumis, tebal dan sebarannya seluas 18 km <sup>3</sup> , dasit-riolit
1200	Periode destruksi II	Tuf pumis terlaskan, dasit-riolit
Setelah 416	Periode konstruksi II	Kerucut komposit yang telah hilang. Sisa piroklastika basal skoria di tenggara Pulau Panjang dan timur laut Pulau Rakata.
416	Periode destruksi I	Tuf pumis di timur laut Pulau Rakata
?	Periode konstruksi I (G. Krakatau Purba)	Tinggi 2000 m di atas permukaan laut (dpml) Kerucut komposit terdiri atas lava, piroklastika basal-andesit.



Gambar 3. Produk erupsi gunungapi Anak Krakatau yang melempar ke arah laut (Yudhicara dr., 2007).

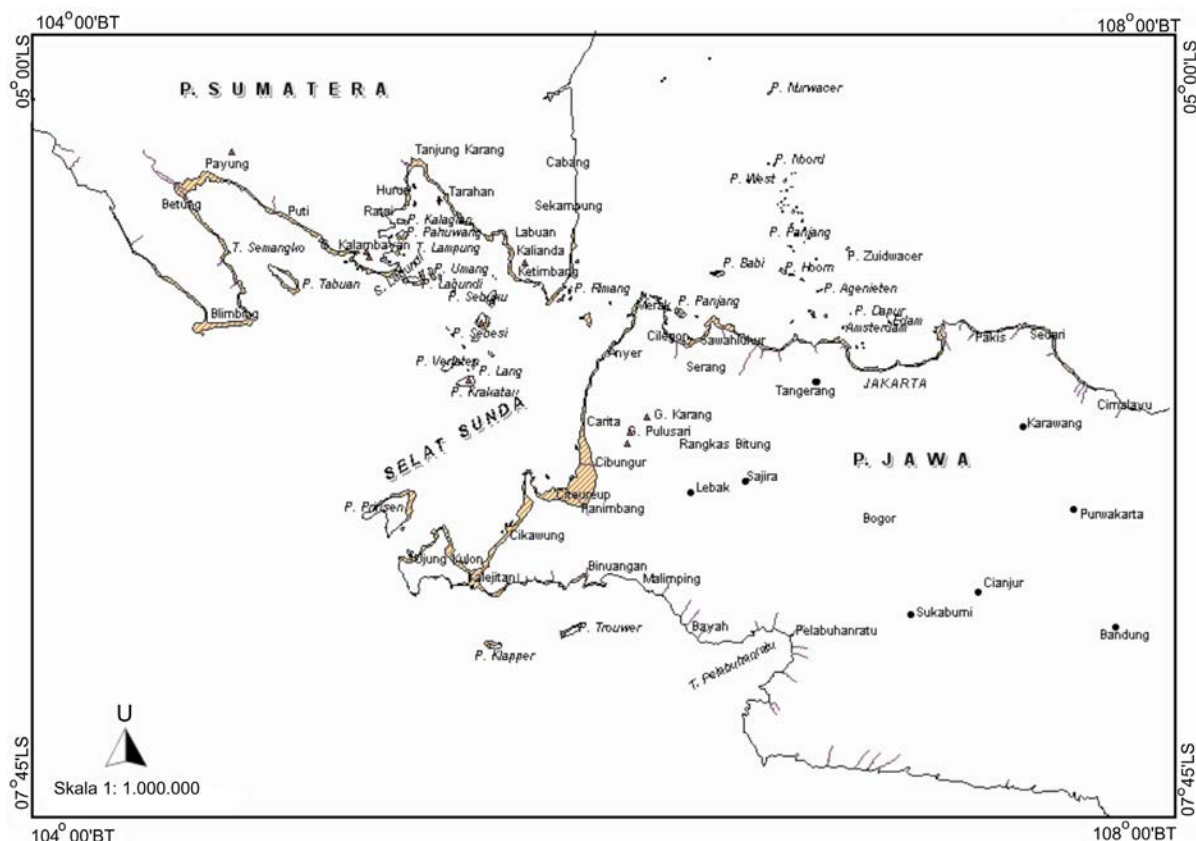
kerucut komposit gunung api purba yang diperkirakan mencapai ketinggian 2000 m di atas permukaan air laut. Gunung api purba ini membangun tubuh kerucutnya selama periode konstruksi I gunung api komposit, terdiri atas perselingan bahan piroklastika berbagai ukuran dengan aliran lava berkomporsi andesit. Pada tahap berikutnya terjadi letusan besar yang menghancurkan tubuh kerucut gunung api itu, yaitu selama periode penghancuran I, memuntahkan bahan piroklastika yang kaya abu gunung api dan batuapung berkomporsi dasit-riolit dalam jumlah yang sangat besar. Sejumlah ahli menduga bahwa tahap penghancuran I ini terjadi pada tahun 416 M, dan membentuk Kaldera Krakatau I.

Kegiatan Gunung Krakatau berlanjut ke periode konstruksi II, membentuk kerucut gunung api yang saat ini telah hilang. Periode ini juga diikuti oleh periode destruksi II pada tahun 1200 M (Winchester, 2003), yang membentuk kaldera II dan melontarkan piroklastika kaya batuapung yang kemudian membentuk ignimbrit terlaskan sempurna di bagian tengah. Berdasarkan hasil penelitian, sebaran endapan piroklastika hasil letusan besar ini mengarah ke tenggara (Bronto, 1990).

Periode penghancuran III terjadi pada tahun 1883, yang telah menghancurkan seluruh kerucut

Gunung Danan dan Gunung Perbuwatan, serta sebagian kerucut Gunung Rakata. Dalam kegiatan ini erupsi sangat eksplosif dan kembali memuntahkan bahan piroklastika yang kaya abu gunung api dan batuapung berkomporsi dasit-riolit dengan volume lebih dari 18 km<sup>3</sup>. Erupsi besar tersebut telah menyebabkan tsunami setinggi 30 - 40 m sepanjang pantai barat Banten dan sepanjang pantai selatan Lampung (Gambar 4), serta menewaskan penduduk sejumlah 36.417 jiwa. Arah utama sebaran endapan piroklastika dan tsunami menuju ke timur laut atau wilayah Kabupaten Lampung Selatan sekarang ini (Bronto, 1990).

Masa istirahat yang relatif pendek berlangsung mulai 1884 sampai Desember 1927, yang diikuti kemudian oleh peristiwa letusan di bawah laut pada 29 Desember 1927. Semburan air laut di dalam kaldera atau di pusat kompleks Gunung Krakatau menyerupai air mancur yang terjadi terus menerus sampai 15 Januari 1929. Sutawidjaja dr., (2006) dalam laporannya menyebutkan bahwa seorang ahli gunung api (Stehn) pada 20 Januari 1929 mengamati suatu tumpukan material di permukaan laut membentuk satu pulau kecil yang kemudian dikenal dengan kelahiran Gunung Anak Krakatau. Hingga tahun 1996, gunung api ini telah meletus



Gambar 4. Genangan (daerah yang diarsir) akibat tsunami yang disebabkan oleh erupsi Gunung Api Krakatau tahun 1883 (Verbeek, 1887).

sekarang-kurangnya 80 kali. Kegiatannya berupa erupsi letusan dan erupsi lelehan. Hasil pengukuran pada tahun 2001 menunjukkan bahwa ketinggian Gunung Anak Krakatau telah mencapai 315 m di atas permukaan air laut (Sutawidjaja, 2006). Kegiatan gunung ini dapat dipandang sebagai periode konstruksi IV Gunung Api Krakatau di kawasan Selat Sunda yang lebih tepat disebut Gunung Anak Krakatau.

Berdasarkan Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa Gunung Api Krakatau paling tidak telah mengalami empat tahap pembangunan dan tiga kali penghancuran. Antara periode penghancuran I (tahun 416) dengan periode penghancuran II (tahun 1200) berjangka waktu 784 tahun. Antara periode penghancuran II (tahun 1200) ke periode penghancuran III (1883) berjangka waktu 683 tahun. Berdasarkan data ini, maka periode penghancuran IV akan terjadi antara tahun (1883+683) hingga tahun (1883+784) atau tahun 2566 hingga 2667 (2500-

2700) (Sutawidjaja dr., 2006). Pada kisaran tahun yang diperkirakan menjadi periode ulang erupsi Gunung Anak Krakatau itu diduga akan menimbulkan tsunami yang dihasilkan oleh volume gunung api yang ada saat ini.

### **Potensi Tsunami Akibat Longsoran Bawah Laut (Submarine Landslide)**

Peristiwa longsoran di bawah laut sangat dipengaruhi oleh perbedaan kedalaman (topografi) dasar laut. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh GINCO pada tahun 1999 (Beiersdorf dr., 1999), dasar laut perairan Selat Sunda merupakan daerah labil, yang diakibatkan oleh perkembangan struktur geologi aktif, terutama yang berkaitan dengan struktur terban Semangko di antara Tinggian Semangko, Tinggian Tabuan, Tinggian Tanggung dan Tinggian Krakatau (Gambar 5). Keberadaan struktur terban ini berpotensi untuk terjadinya longsoran di bawah laut (*submarine landslide*)

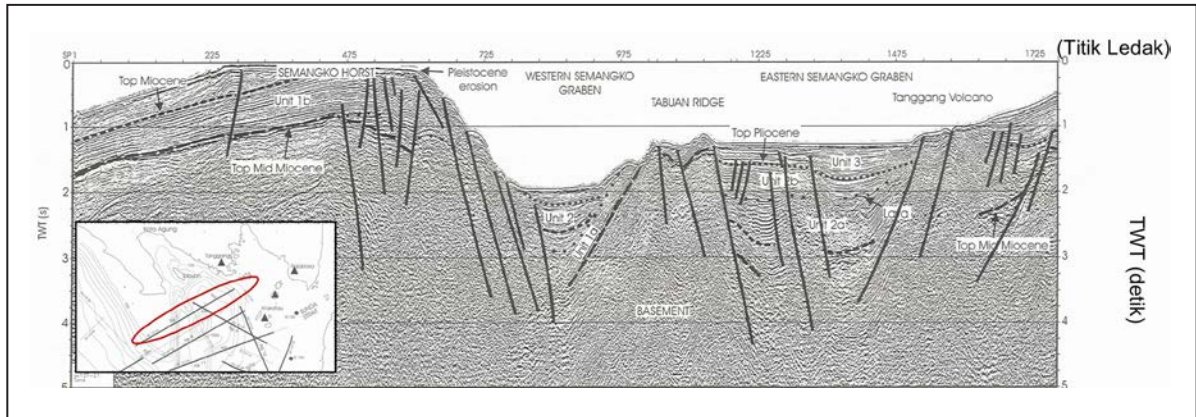
apabila dipicu oleh suatu guncangan besar yang berasal dari gempa bumi.

Kondisi morfologi dasar laut yang didasarkan pada hasil pengukuran kedalaman dasar laut (Kuntoro dr., 1990), memperlihatkan penampakan pola alur dasar laut berupa lembah yang dalam dan di beberapa tempat menyempit dengan kelerengan yang terjal. Hal ini menunjukkan bahwa sekitar perairan ini merupakan daerah berarus cukup kuat dan berpotensi membentuk longsor di dasar laut (*mass movement*). Di pantai barat Merak, terlihat kelerengan yang cukup terjal dengan pola sesar yang rapat. Kondisi ini diperkirakan dapat berkembang menjadi bidang longsor bawah laut yang aktif. Di bagian dasar hingga sekitar dinding

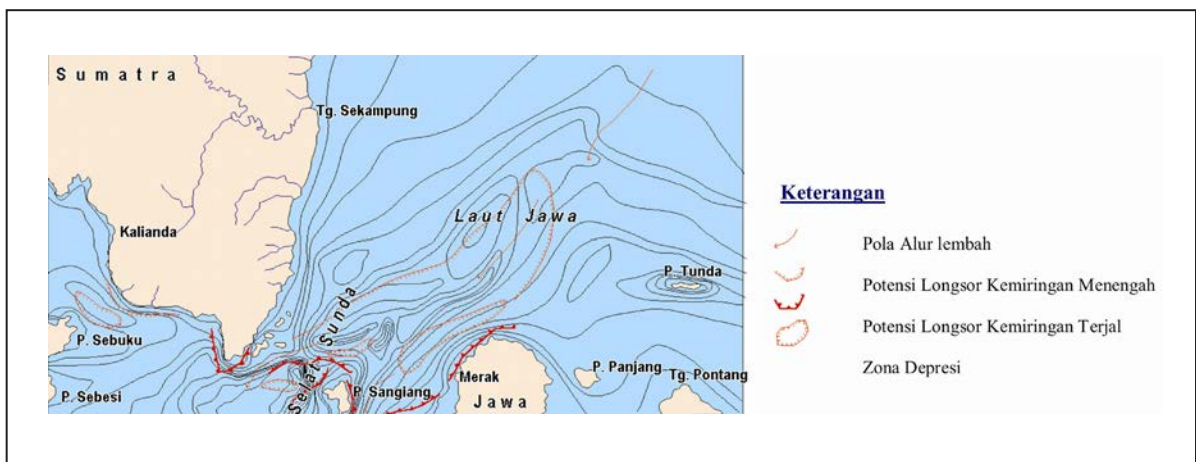
lereng, terdapat kantong-kantong sedimen yang tak terkonsolidasi, sehingga ketika arus pada alur lembah semakin kuat, sedimen tersebut bergerak turun mengikuti alur-alur yang ada (Gambar 6). Kondisi tersebut, dapat berpotensi menimbulkan kenaikan muka air laut (tsunami), meskipun dalam skala yang sangat kecil dan bersifat lokal.

**Potensi Tsunami Akibat Longsor di Pantai**

Wilayah perairan Selat Sunda umumnya memperlihatkan bentuk pantai berteluk seperti yang diperlihatkan oleh Teluk Semangko, Teluk Lampung dan Teluk Banten. Morfologi sepanjang pantai memperlihatkan variasi yang relatif landai hingga bergelombang.



Gambar 5. Penampang seismik Lintasan SO 137-21 di Selat Sunda yang menampakkan struktur terban yang berpotensi menimbulkan longsor bawah laut (Beiersdorf dr., 1999).



Gambar 6. Potensi longsor bawah laut berdasarkan interpretasi seismik (Kuntoro dr., 1990).



Wilayah sekitar Teluk Semangko merupakan wilayah yang secara geomorfologis didominasi oleh perbukitan, mulai dari perbukitan landai hingga perbukitan sangat terjal. Beberapa lokasi, seperti Kampung Ketapang dan Kampung Karang Bolong merupakan pantai bertebing, sedangkan daerah pedataran sempit terdapat di beberapa lokasi seperti di Way Nipah dan Limau.

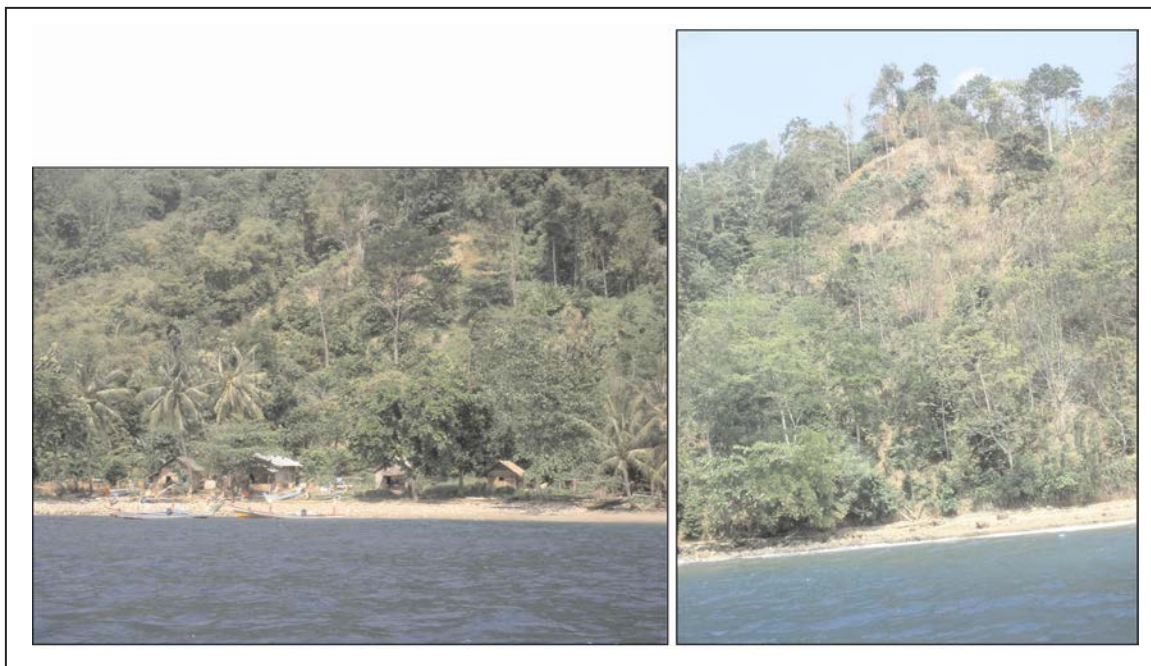
Daerah sekitar Teluk Semangko yang dibentuk oleh perbukitan terjal dan didominasi oleh litologi batuan vulkanik yang belum terkompaksi kuat, menyebabkan rawan terhadap bencana longsor, terutama apabila ditunjang oleh curah hujan yang tinggi. Bahkan di daerah Kampung Kekabu dan Betung Tangkai yang terletak di kedua sisi Teluk Semangko terbentuk perbukitan yang disusun oleh litologi batuan vulkanik Kuarter memiliki tingkat pelapukan cukup tinggi, yang dapat memicu terjadinya longsor (Gambar 7).

Penampakan morfologi yang relatif curam sepanjang pesisir, yang dibentuk oleh sesar aktif mendatar Semangko di daerah ini, merupakan salah satu faktor yang menunjang kemungkinan terjadinya pergerakan kerak bumi (gempa bumi) yang dapat memicu lebih seringnya terjadi longsor.

Karena posisinya yang berbatasan dengan laut, maka produk longsor yang dihasilkan berpotensi mengganggu kolom air laut dan menimbulkan tsunami di perairan Selat Sunda dan sekitarnya, meskipun dalam skala kecil dan lokal. Faktor pemicu lain yang dapat menghasilkan longsor di daerah Teluk Lampung dan Teluk Semangko adalah curah hujan yang tinggi pada periode Desember hingga Februari (BMG, 2008).

Mengacu kepada klasifikasi Nichols dan Edmunson (1975) yang didasarkan pada pembagian kelas kemiringan lereng, maka daerah perbukitan di kedua sisi Teluk Semangko termasuk ke dalam kategori perbukitan agak terjal hingga sangat terjal (15% – 63%). Sementara berdasarkan pembagian zona kerentanan gerakan tanah, kemiringan lereng tersebut termasuk ke dalam kategori zona kerentanan gerakan tanah menengah hingga tinggi (PVMBG, 2007)

Dari hasil perhitungan, bahwa perbukitan yang mempunyai kerawanan tinggi terhadap bencana gerakan tanah memiliki luas 123 km<sup>2</sup> dengan ketinggian rata-rata 250 m, maka diperoleh volume 30,75 km<sup>3</sup>. Dengan asumsi kedalaman bidang gelincir rata-rata sebesar 5 m, maka diperoleh volume

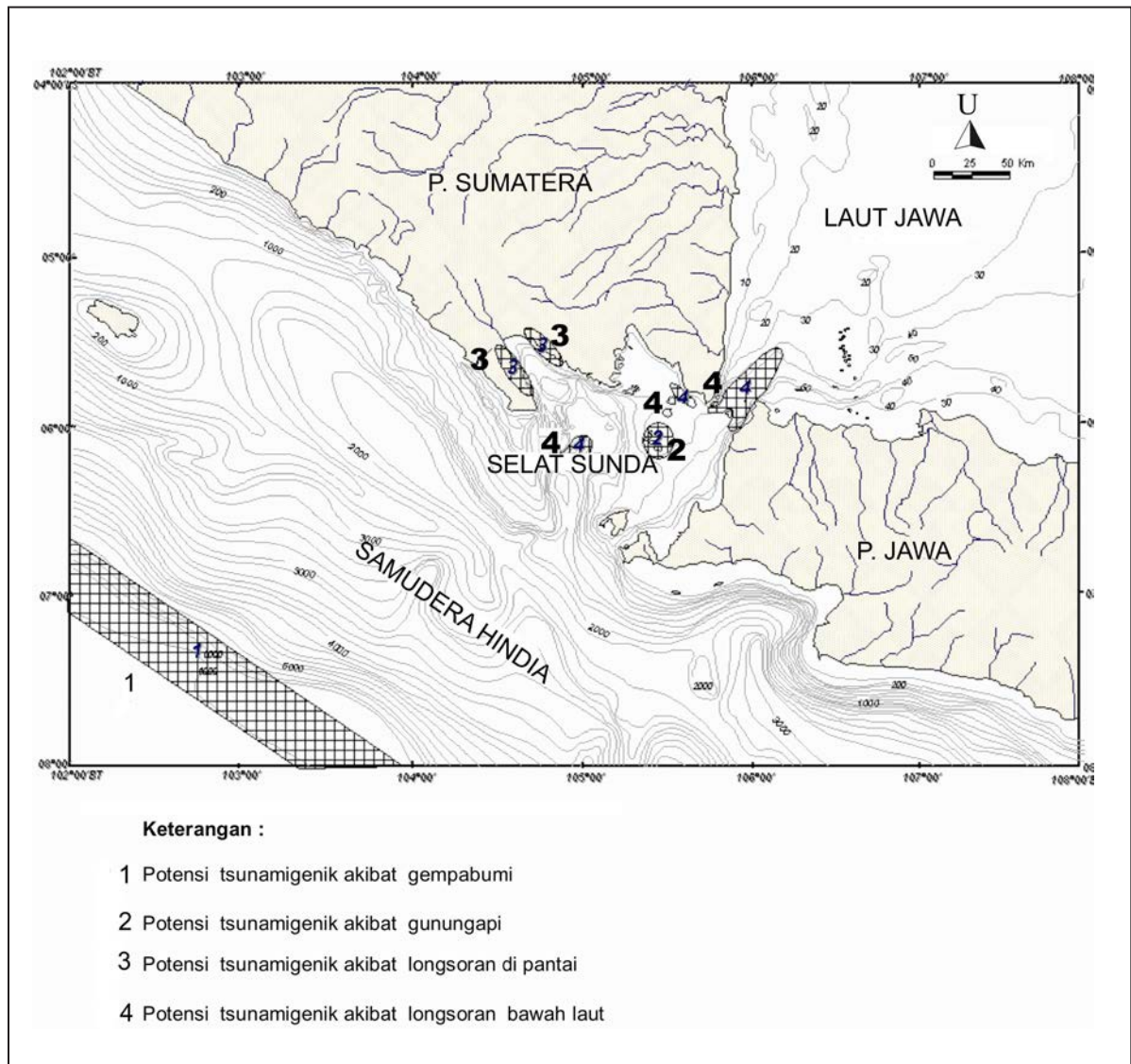


Gambar 7. Kenampakan morfologi di Kampung Kekabu (kiri), dan Betung Tangkai (kanan), Teluk Semangko (Yudhicara drr., 2007).

material yang dapat longsor ke arah laut sebesar ~1,5 km<sup>3</sup> (PVMBG, 2007). Volume material sebesar ini dapat mengganggu kolom air laut dan menimbulkan tsunami meskipun kecil dan bersifat lokal. Berdasarkan katalog tsunami yang ditulis oleh Soloviev dan Go (1974), pada tahun 1851 teramati adanya kenaikan muka air laut yang signifikan di Teluk Betung dan Teluk Lampung, yang kemungkinan disebabkan oleh fenomena longsor di pantai atau lepas pantai.

Begitu kompleksnya kondisi tektonik Selat Sunda, membuat daerah ini memiliki potensi tsu-

namigenik yang beragam, yaitu tsunamigenik yang berasal dari gempa bumi yang berkaitan dengan zona subduksi Sunda, erupsi gunung api bawah laut (Gunung api Anak Krakatau), longsor di kawasan pantai (Teluk Semangko dan Teluk Lampung), dan longsor bawah laut (*submarine landslide*) di perbatasan antara perairan Selat Sunda dengan Laut Jawa (Gambar 8). Peristiwa tsunami di masa lampau yang tertulis dalam katalog tsunami Soloviev dan Go (1974) dapat dijelaskan dengan baik berdasarkan hasil kajian tersebut di atas.



Gambar 8. Potensi tsunamigenik di Selat Sunda.

## KESIMPULAN

Hasil kajian di atas membuktikan bahwa tsunami yang terjadi di Selat Sunda di masa lampau dipengaruhi oleh kondisi geologi dan tektonik di wilayah ini. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sumber tsunamigenik di perairan Selat Sunda dapat diakibatkan oleh gempa bumi yang berkaitan dengan subduksi Sunda, erupsi gunung api bawah laut Krakatau, longsoran di pantai, dan longsoran bawah laut di sekitar Selat Sunda.

**Ucapan Terima Kasih**—Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi dan Kepala Bidang Pengamatan Gempa bumi dan Gerakan Tanah yang juga sebagai Pejabat Pembuat Komitmen, serta kepada tim pelaksana kegiatan penelitian tersebut tahun 2007 atas dukungan dan bantuannya dalam kegiatan penelitian tsunamigenik di Selat Sunda. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada para peneliti terdahulu yang telah melakukan kegiatan penelitian geologi dan geofisika baik darat maupun kelautan di Selat Sunda yang telah memberikan banyak kontribusi dalam penulisan karya tulis ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan sejawat yang telah memberikan saran dan masukan sangat berharga.

## ACUAN

- Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG), 2008. *Informasi Cuaca Bulanan*, [www.bmg.go.id](http://www.bmg.go.id).
- Beiersdorf, H., Cruise Participants, 1999. *Cruise Report SO 137-139, GINCO 3, Geoscientific Investigations at the Active Convergence Zone between the Eastern Eurasian and Indo-Australian Plates off Indonesia*, BGR Report, Hannover, archive no. 118.878.
- Bronto, S., 1990. G. Krakatau, *Berita Berkala Vulkanologi*, Edisi Khusus No.133, Direktorat Vulkanologi, 5h, tidak terbit.
- Gutscher, M.A. dan Westbrook, G., 2007. *Great Earthquakes in Slow Subduction Zones*, dipresentasikan pada pertemuan Geohazard-IODP, 26-30 Agustus 2007, Portland - Oregon, Amerika Serikat.
- Hamilton, W., 1979. Tectonic of the Indonesia Region. *U.S. Geological Survey, Professional Paper*, 1078, 345 h.

- Harjono, H., Diament, M., Dubois, J., Larue, M., dan Zen, M.T., 1991. Seismicity of the Sunda Strait: Evidence for Crustal Extension and Volcanical Implications. *Tectonics*, 10 (1), h.17-30.
- Kuntoro, Kusnida, D., Surachman, M., Silalahi, I.R., Yuningsih, A., Setiady, D., Rahardiawan, R., Budiman, dan Hartono, 1990. *Laporan Penyelidikan Geologi dan Geofisika Perairan Selat Sunda dan Sekitarnya, Lembar Peta 1110*, Publikasi Intern Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung.
- Malod, J.A., Karta, K., Beslier, M.O., dan Zen, M.T., 1995. From Normal to Oblique Subduction: Tectonic Relationships Between Java and Sumatra. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 12 (1-2), h.85-93.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2007. *Tsunami Readings*, bahan kuliah pada pemodelan tsunami, Januari 2007, Melbourne, Australia
- Nichols, D.R., dan Edmundson, J.R., 1975. *Text to slope. map of part of west-central King County, Washington*. U.S.. Geol. Survey Misc. Geol. Inv. Map 1-852-E
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), 2007. *Prakiraan Potensi Kejadian Tanah Longsor dan Banjir Bandang di Beberapa Provinsi di Indonesia, Bulan Mei 2007*, Laporan Intern.
- Soloviev, S. L. dan Go, Ch. N., 1974. *A Catalogue of Tsunamis on the Western Shore of the Pacific Ocean*. Moscow, "Nauka" Publishing House, 308h. Terjemahan dalam bahasa Inggris oleh Canada Institute for Scientific and Technical Information, National Research Council, Ottawa, Canada KIA OS2.
- Sutawidjaja, I.S., Bronto, S., Pribadi, R., Setiadi, D., Suharno, Sumawijaya, N., Yusmid, A.P., dan Riyanto., B., 2006. *Kajian Ilmiah Mitigasi Bencana Erupsi G. Anak Krakatau, Kabupaten Lampung Selatan, Propinsi Lampung*, Tidak terbit.
- Verbeek, 1887. *Kaart van Straat Soenda, Schaal 1:1.000.000*.
- White, J.D.L., 2007. *Ocean Drilling and Hazards of Submarine Volcanic Eruptions*, dipresentasikan pada pertemuan Geohazard-IODP 26-30 Agustus 2007, Portland - Oregon, Amerika Serikat.
- Winchester, S., 2003. *Krakatoa*, Harper Collins, ISBN 0066212855, H
- Yudhicara, Maemunah, I., and Athanasius, C., 2007. *Identifikasi Tsunamigenik Perairan Selat Sunda dan Sekitarnya*. Laporan Intern Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Tidak terbit.