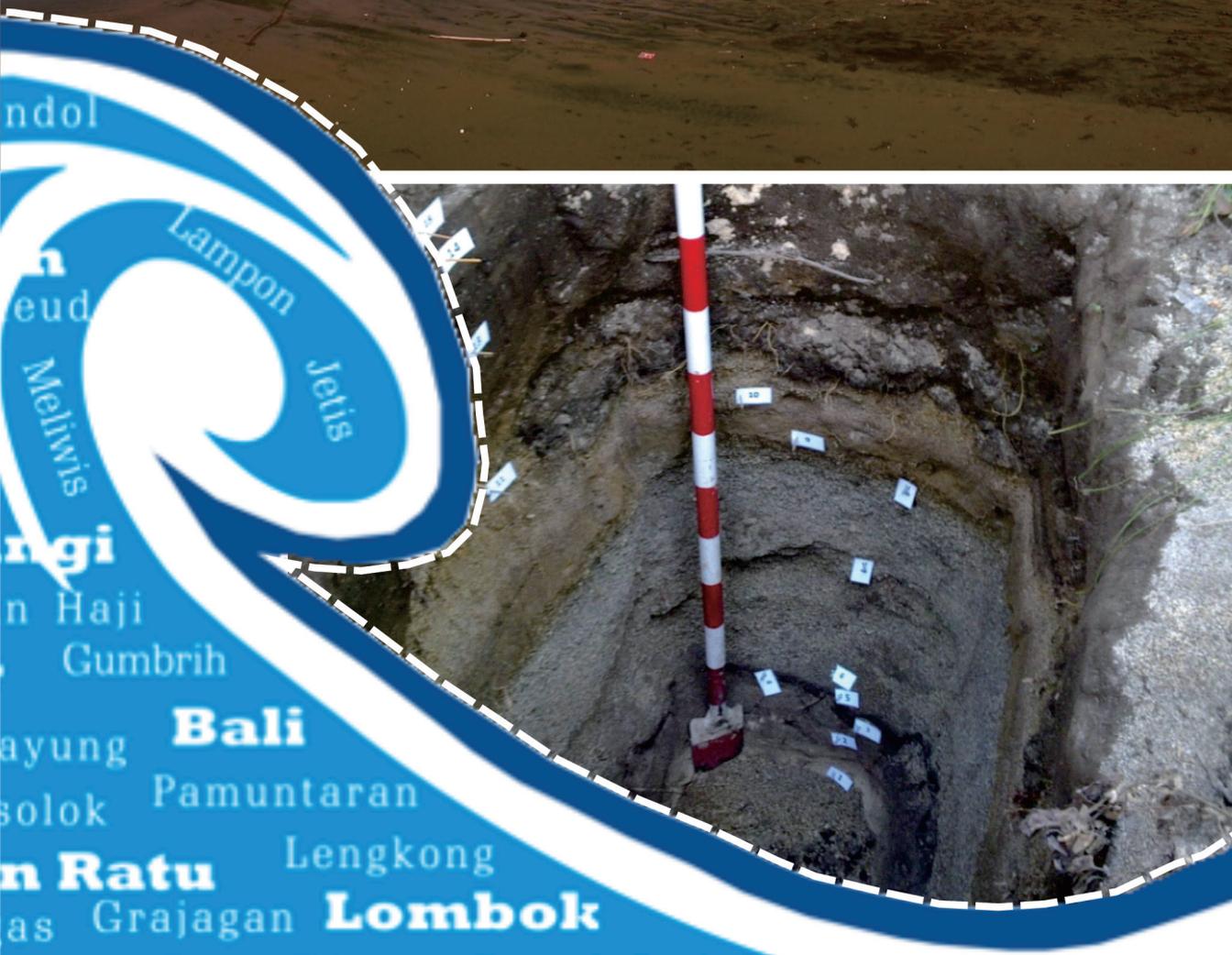


Jejak Tsunami Masa Lalu di antara Pangandaran dan Cilacap



JEJAK TSUNAMI MASA LALU

DIANTARA PANGANDARAN DAN CILACAP

(Hasil Riset Paleotsunami)

Pusat Gempabumi dan Tsunami
Kedeputian Bidang Geofisika
2018



BMKG

Pengarah

Dr. Ir. Muhamad Sadly, M.Eng

Editor

Drs. Mochammad Riyadi, M.Si
Rahmat Triyono, ST, M.Sc

Penyusun

Prof. Dr. Ir. Yahdi Zaim
Dr. Daryono, S.Si, M.Si
Dr. I Nyoman Sukanta, S. Si, MT
Dr. Ir. Yan Rizal
Dr. Aswan MT
Robert Owen Wahyu, S.Si
Tiar Prasetya, S.Si, M.Sc
Budiarta S.Si, S.Stat, MDM
Suci Dewi Anugrah, S.Si., M.Si
Weniza S.Si, S.Kom, MDM
Iman Fatchurochman, S.Si, MDM
Wijayanto, S.Si, MDM
Cahyo Nugroho, SE, S.Si
Urip Setiyono S.Si, MDM
Priyobudi ST, M.Si
Debi Safari Yogaswara, S.Si
Purnomo Hawati ST, M.Si
Indra Gunawan S.Si, M.Phil
Septa Anggraini, S.ST
Mila Apriani S.ST
Hidayanti S.Si
Resty Herdiani Rahayu S.ST
Tatok Yatimantoro S.Si, MDM
Admiral Musa Julius, A. Md
Wahyu D. Santoso ST.,MT.
Yudhicara, MSc.
Nur Rochim S.AP
Muhammad Harvan ST
Gloria Simangunsong S.Si.

Cetakan Pertama, 2018

Diterbitkan oleh:

**Pusat Gempabumi dan Tsunami
Kedeputian Bidang Geofisika
Badan Meteorologi Klimatologi dan
Geofisika**

Jl. Angkasa 1 No.2, RW.10, Gn. Sahari Sel.,
Kemayoran, Kota Jakarta Pusat, Daerah Khusus
Ibukota Jakarta

ISBN :

Sanksi Pelanggaran Pasal 72 Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 Ayat (1) dan Ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/ atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (Satu Juta Rupiah), atau Pidana Penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah).
2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (Lima ratus juta rupiah).

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat limpahan karunia-Nya, penyusunan buku “Jejak Tsunami Masa Lalu di antara Pangandaran dan Cilacap” dapat diselesaikan. Buku ini pada dasarnya memaparkan hasil studi paleotsunami yang dilakukan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) lokasi Pangandaran dan Cilacap.

Sejak Tahun 2010 BMKG bekerjasama dengan Institut Teknologi Bandung (ITB) telah melaksanakan Studi Paleotsunami. Studi tersebut pertama kali dilakukan di Cilacap. Selanjutnya secara berturut-turut Tahun 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, dan 2016, dilakukan di lokasi Pelabuhan Ratu-Ujung Genteng, Banyuwangi-Pacitan, Bali, Lombok, Cilacap–Pangandaran, dan terakhir kembali dilakukan di Cilacap-Pangandaran. Dua studi terakhir merupakan studi lanjutan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

Hasil studi paleotsunami tersebut telah dipresentasikan dan dipublikasikan dalam beberapa pertemuan ilmiah, serta media publikasi internasional. Namun demikian, dokumentasi dalam bentuk tulisan yang lebih mudah dipahami kiranya perlu diwujudkan. Buku ini menjadi langkah awal dalam mengimplementasikan keinginan tersebut. Harapan ke depan, akan dapat diterbitkan lagi buku studi paleotsunami yang telah dilakukan BMKG di wilayah lain.

Kami berharap buku ini dapat dimanfaatkan untuk memperkaya wawasan dan pengembangan ilmu pengetahuan. Kami mengucapkan rasa terima kasih dan apresiasi setinggi-tingginya kepada tim penyusun.

Jakarta, November 2018

DEPUTI BIDANG GEOFISIKA BMKG

Dr. Ir. Muhamad Sadly, M.Eng
NIP. 19631214 198903 1 002

Ucapan Terimakasih

Kerjasama penelitian/riset antara BMKG dengan Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan-ITB (FITB) telah berlangsung sejak Tahun 2010. Studi Paleotsunami dilakukan di sepanjang pantai selatan Pulau Jawa, Pulau Bali, dan Pulau Lombok.

Kerjasama antara BMKG dengan ITB tersebut dapat terlaksana atas ide dan inisiatif serta persetujuan Kepala BMKG yang saat itu dijabat oleh Dr. Ir. Sri Woro Budiati Harijono, MSc. di bawah kordinasi Kepala Deputy Bidang Geofisika, yang saat itu dijabat oleh Dr. Prih Harjadi.

Sehubungan dengan hal tersebut, Tim Penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Dr. Ir. Sri Woro Budiati Harijono M.Sc, dan Dr. Prih Harjadi, karena dengan program kerjasama tersebut maka studi paleotsunami dapat dilaksanakan hingga diterbitkannya buku ini.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada berbagai pihak, antara lain Deputy Bidang Geofisika BMKG Tahun 2015-2017 Bapak Dr. Masturyono, M,Sc. yang telah memberi arahan dalam pelaksanaan kegiatan studi paleotsunami BMKG-ITB, juga kepada Dekan FITB, Kepala Program Studi Teknik Geologi FITB-ITB karena atas ijin mereka maka penelitian lapangan dapat dilaksanakan.

Terima kasih kami sampaikan juga kepada para Pejabat BMKG setempat, serta para Pejabat Perangkat Desa, Kelurahan, Kecamatan dan Kabupaten wilayah setempat yang telah mendukung jalannya penelitian dengan memberikan ijin penelitian di wilayahnya.

Jakarta, November 2018

Tertanda

Tim Penyusun

Daftar Istilah

Istilah	Penjelasan
Analisis paleontologi	Identifikasi fauna/mikrofauna yang terkandung dalam contoh batuan di laboratorium.
Analisis ukuran butir	Pengukuran kuantitas/jumlah/persen berat butiran sedimen berdasarkan ukuran butirnya yang dilakukan di laboratorium.
Antropogenik	Segala sesuatu hasil aktivitas manusia.
<i>Backwash</i>	Aliran air yang kembali ke arah laut setelah gelombang menghantam pantai.
Breksi	Batuan sedimen klastik yang tersusun atas fragmen bersudut besar (angular) dengan ukuran butir lebih besar dari 2 mm.
<i>Clay</i>	Material sedimen lepas yang berukuran lebih kecil dari 1/256 mm.
<i>Coring</i>	Upaya untuk mendapatkan contoh batuan dengan menggunakan alat bor.
Inundasi Tsunami	Genangan air akibat tsunami.
Konkresi	Komponen yang berbeda komposisi dalam batuan sendimen sebagai produk reaksi kimia dari mineral yang ada dalam batuan tersebut.
<i>Liquefaction</i>	Proses lepasnya kandungan air dari lapisan sedimen oleh suatu tekanan.
Lubang uji (<i>test pit</i>)	Lubang galian yang dibuat untuk mengetahui profil/penampang vertikal tanah.
Morfologi pantai	Bentang alam yang terdapat di sepanjang wilayah pantai.

Istilah	Penjelasan
<i>OSL dating</i>	Penentuan umur sedimen dengan menggunakan metode Optic Simulation Luminiscense (Simulasi Optik Pendar).
Paleosoil	Lapisan tanah yang terawetkan karena tertimbun oleh Lapisan sedimen yang diendapkan di atasnya.
Paleotsunami	Tsunami yang terjadi lebih tua dari 50 tahun yang lalu (merujuk kepada UU Cagar Budaya No. 11 tahun 2010, pasal 5).
<i>Paritan (trench)</i>	Adalah lubang galian yang memanjang yang dibuat untuk mengetahui profil/penampang vertikal tanah dan kemenerusan horisontalnya.
Pasir	Material sedimen lepas yang berukuran pasir dengan ukuran butir antara 1/64 mm – 2 mm.
<i>Pb-210 dating</i>	Penentuan umur sedimen dengan metode radioaktif menggunakan unsur Timbal-210 (Pb-210) yang terkandung dalam sedimen.
<i>Sedimen</i>	Material rombakan batuan hasil pelapukan yang dibawa oleh air, angin, atau gravitasi dan diendapkan di suatu tempat/cekungan.
Singkapan	Tubuh batuan segar yang tersingkap di permukaan tanah yang berumur lebih muda.
Tanah	Lapisan tanah hasil pelapukan batuan asal.
Spesimen	Sejumlah kecil material/batuan yang diambil sebagai contoh untuk dianalisis lebih lanjut di laboratorium.

Daftar Tabel

Tabel 1.	Daftar publikasi yang dihasilkan dari kegiatan penelitian Paleotsunami	24
Tabel 2.	Perbedaan antara tsunami dan badai berdasarkan karakter arus Morton dkk. (2007)	27
Tabel 3.	Perbedaan endapan tsunami dan badai berdasarkan karakter sedimen (Morton dkk., 2007)	28
Tabel 4.	Hasil analisis pada lapisan diduga endapan tsunami lokasi Batuhiu Ciliang	39
Tabel 5.	Hasil analisis pada lapisan diduga endapan tsunami lokasi Mulut Gua Menir	47
Tabel 6.	Hasil analisis pada beberapa lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami di lokasi Karapyak 3	55
Tabel 7.	Hasil analisis pada beberapa lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami di lokasi Kuripan	68
Tabel 8.	Hasil pengukuran profil di Lengkong dari rata-rata muka air laut hingga lokasi singkapan	70
Tabel 9.	Hasil analisis pada beberapa lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami di lokasi Bunton	77
Tabel 10.	Hasil analisis pada beberapa lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami di lokasi Kuripan	83
Tabel 11.	Hasil analisis pada beberapa lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami di lokasi Selok 1 dan Selok Kuburan	89
Tabel 12.	Hasil analisis pada beberapa lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami di lokasi Glemgang Pasir	92
Tabel 13.	Hasil analisis penanggalan dengan metode OSL untuk lokasi Selok, Karapyak3 pada Lapisan 2 dan Lapisan 4	98
Tabel 14.	Perbandingan katalog tsunami BMKG dengan hasil studi paleotsunami	99

Daftar Gambar

Gambar 1.	Lokasi sumber gempa bumi penyebab tsunami di selatan Pulau Jawa. Daerah Pangandaran yang ditandai dengan kotak merah dan Cilacap yang ditandai dengan kotak hitam	23
Gambar 2.	Endapan tsunami yang dicirikan oleh adanya struktur <i>rip – up clast</i>	26
Gambar 3.	Foto Pengukuran dengan Theodolith <i>Total Station</i>	31
Gambar 4.	Pembuatan sumur uji untuk mengetahui stratigrafi dari lapisan tsunami	31
Gambar 5.	Pengambilan contoh (sampel) sedimen dengan <i>coring</i>	32
Gambar 6.	Lokasi titik pengamatan studi paleotsunami Pangandaran	36
Gambar 7.	Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Batuhiu (Ciliang).	37
Gambar 8.	Foto mikrofauna dan hasil pertanggalan Pb-210 dari Sumur Uji Batuhiu.	37
Gambar 9.	Data hasil analisis ukuran butir (<i>granulometri</i>) contoh dari Sumur Uji Batuhiu	38
Gambar 10.	Penampang melintang dari pantai Batuhiu ke arah bukit (Penampang A – B)	40
Gambar 11.	Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Cibenda	40
Gambar 12.	Singkapan yang diduga sebagai endapan tsunami terdapat di tanggul Sungai Cikembulan	41
Gambar 13.	Kiri dan kanan, Stratigrafi di tanggul Sungai Cikembulan yang diduga sebagai endapan tsunami	41
Gambar 14.	A dan B Singkapan endapan tsunami 2006 berupa pasir lepas berwarna kelabu terang – putih menutupi lapisan pasir halus, abu-abu coklat	42
Gambar 15.	Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Cikembulan	42
Gambar 16.	Stratigrafi dari sedimen parit uji di daerah Karangsalam	43
Gambar 17.	Lapisan yang dicurigai sebagai endapan paleotsunami berupa endapan karbonat	44
Gambar 18.	Gua Menir, Pangandaran terbentuk pada batuan breksi. Dalam foto memperlihatkan persiapan pengukuran letak gua dengan TDS	44
Gambar 19.	Jarak Gua Menir dengan Pantai Pangandaran	44
Gambar 20.	Persiapan pembuatan paritan paleotsunami di Gua Menir, Pangandaran	45
Gambar 21.	Stratigrafi lapisan sedimen dari parit uji di mulut Gua Menir	45
Gambar 22.	Analisis sebaran ukuran butir dari endapan yang dicurigai sebagai endapan paleotsunami di Gua Menir, Putra Pinggan, Pangandaran	46
Gambar 23.	Urutan lapisan sedimen di dalam Gua Menir bagian bawah	48
Gambar 24.	Urutan lapisan sedimen di dalam Gua Menir bagian atas	48
Gambar 25.	Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Karapyak 1	50
Gambar 26.	Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Karapyak 2	51
Gambar 27.	Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Karapyak 3	52

Gambar 28.	Analisis sebaran ukuran butir dari endapan yang dicurigai sebagai endapan paleotsunami di lokasi Karapyak	54
Gambar 29.	Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Karapyak 4	56
Gambar 30.	Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Karapyak 5	58
Gambar 31.	Singkapan yang menunjukkan lapisan tsunami (warna ter-ang/putih). Lapisan endapan tsunami bagian atas diperkirakan sebagai produk tsunami tahun 2006. Lokasi hulu sungai kecil yang dijadikan tempat sampah, berjarak 1,5 meter dari lokasi Karapyak 5	59
Gambar 32.	Tampak dekat lapisan endapan tsunami yang di atas pada gambar sebelumnya (Gambar 31), yang memperlihatkan unsur antropogen sisa karung plastik sebagai produk tsunami tahun 2006. Lokasi hulu sungai kecil yang dijadikan tempat sampah, 1,5 meter dari lokasi Karapyak 5	59
Gambar 33.	Kontak antara endapan tsunami tahun 2006 dengan endapan badai tahun 2017 di daerah Karapyak. Lokasi pelataran di dekat hulu sungai kecil yang dijadikan tempat sampah, 10 meter arah selatan dari lokasi Karapyak 5	60
Gambar 34.	Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Karapyak 6.	61
Gambar 35.	Korelasi penampang sumur uji di lokasi Karapyak Jalur Evakuasi dan Evakuasi 1 (KRP = Karapyak)	62
Gambar 36.	Korelasi penampang beberapa Sumur uji di lokasi Karapyak (KRP = Karapyak)	62
Gambar 37.	Stratigrafi dari sedimen hasil bor di daerah Palataran	63
Gambar 38.	Stratigrafi dari paritan daerah Tangkisan	64
Gambar 39.	Lokasi titik pengamatan studi paleotsunami Cilacap	65
Gambar 40.	Singkapan batuan sedimen laut berupa perselingan napal, batu-pasir, breksi dan lempung berumur Miosen Akhir - Pliosen di Desa Kuripan. Di dalam paket batuan sedimen ini dijumpai adanya Lapisan suspect tsunami. Garis putus-putus dengan panah merah adalah jejak sesar normal	66
Gambar 41.	Stratigrafi detil lapisan suspect tsunami dalam sedimen Pliosen di desa Kuripan	66
Gambar 42.	Hasil analisis ukuran butir pada sampel dari Desa Kuripan	67
Gambar 43.	Kenampakan morfologi dan lokasi pengamatan endapan tsunami	69
Gambar 44.	Singkapan yang dicurigai sebagai endapan tsunami	69
Gambar 45.	Kontak endapan pasir pantai dengan endapan tsunami	69
Gambar 46.	Penampang lateral pantai di Pantai Lengkong	70
Gambar 47.	Kiri dan Kanan: Lokasi ditemukannya indikasi endapan tsunami	70
Gambar 48.	Penampang dan zonasi lapisan pada sumur uji di Lokasi Pabrik Batubata di Adipala	71
Gambar 49.	Penampang dan zonasi lapisan di sumur uji Kebon Dalam	72
Gambar 50.	Kenampakan morfologi datar, petak-petak bekas galian pasir besi	73

Gambar 51.	Singkapan Lapisan pasir di Bunton yang cukup tebal, diduga sebagai endapan paleotsunami	73
Gambar 52.	Singkapan dari parit uji di daerah Bunton 1 memperlihatkan lapisan sedimen yang mempunyai tekstur dan warna berubah secara berangsur	74
Gambar 53.	Benda antropogenik berupa potongan karet ban mobil (kiri) dan potongan botol plastik (kanan)	75
Gambar 54.	Kurva hasil analisis ukuran butir sedimen di Lokasi Bunton 1	75
Gambar 55.	Pengambilan data dari galian dengan alat eskavator di Bunton 2	76
Gambar 56.	Pengamatan di Titik Bunton 2	76
Gambar 57.	Stratigrafi detil lapisan suspect tsunami dalam sedimen di Desa Bunton 2	76
Gambar 58.	Analisis sebaran butir contoh dari Desa Bunton	76
Gambar 59.	Kolom vertikal stratigrafi di lokasi Adireja Wetan (kiri) dan hasil core yang diperoleh dengan menggunakan bambu (kanan) pada bagian atas	78
Gambar 60.	Kolom vertikal stratigrafi sedimen di lokasi Adireja Wetan (kiri) dan hasil core yang diperoleh dengan menggunakan bambu (kanan) pada bagian bawah	78
Gambar 61.	Foto Pintu masuk Gua Nagaraja	79
Gambar 62.	Penampang test pit memanjang berarah utara – selatan dalam Gua Nagaraja. Kedalaman total 2,5 meter. Pada kedalaman 2,45 m terdapat muka air tanah (water table)	79
Gambar 63.	Pemboran lantai gua dengan alat mesin bor tangan (hand auger machine)	80
Gambar 64.	Stratigrafi endapan gua (kanan). Endapan suspect tsunami paling atas (kiri atas). Lubang test pit (kiri bawah)	80
Gambar 65.	Penampang stratigrafi detil sedimen di Gua Nagaraja bagian bawah	81
Gambar 66.	Penampang stratigrafi detil sedimen di Gua Nagaraja bagian tengah	81
Gambar 67.	Penampang stratigrafi detil sedimen di Gua Nagaraja bagian atas	82
Gambar 68.	Analisis granulometri dari 6 sampel sedimen di Gua Nagaraja di Cilacap	82
Gambar 69.	Singkapan berupa endapan dune yang memperlihatkan per-lapisan sejajar dan lapisan silang siur, yang ditutupi oleh endapan tsunami yang ditandai oleh material antropogenik berupa plastik di batas kedua endapan	84
Gambar 70.	Penampang dan zonasi Lapisan pada singkapan di Sumur uji Selok 1	85
Gambar 71.	Sketsa Segmen 1 mulai dari ujung paling timur singkapan paritan pematang. Gambar sketsa berarah timur-barat, diambil dari arah utara Lokasi Selok Kuburan	86
Gambar 72.	Sketsa Segmen 2, lanjutan dari Sketsa Segmen 1 yang berakhir sampai ujung paling barat dari singkapan paritan pematang. Titik hitam adalah lokasi pengambilan contoh untuk analisis OSL. Gambar sketsa berarah timur-barat, diambil dari arah utara Lokasi Selok Kuburan	87

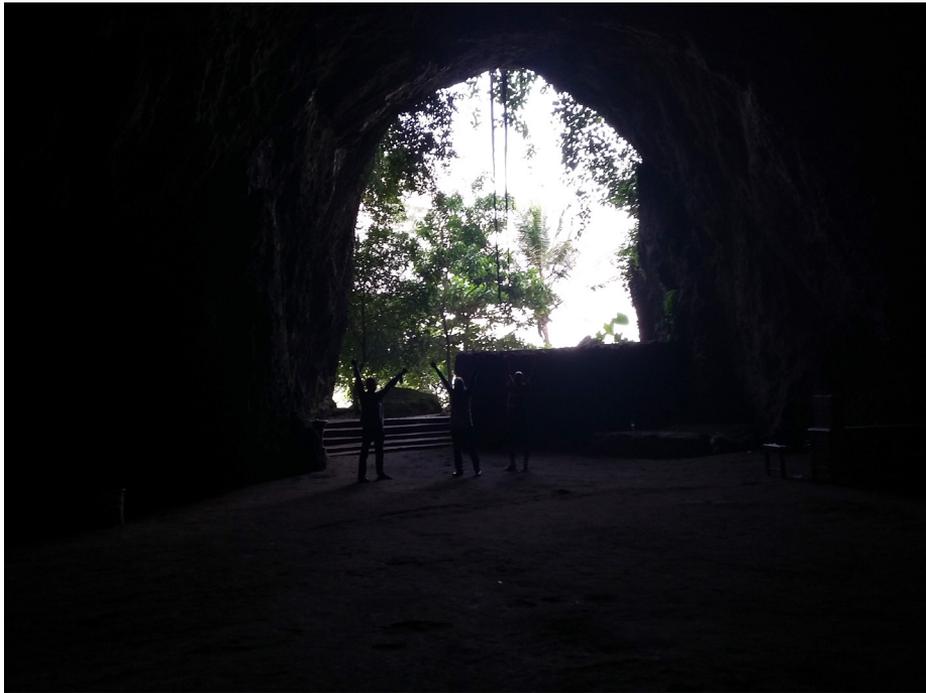
Gambar 73.	Penampang dan zonasi lapisan pada singkapan Selok Kuburan	88
Gambar 74.	Kurva distribusi ukuran butir kumulatif untuk lapisan suspect paleotsunami Selok Kuburan	88
Gambar 75.	Sketsa peta lokasi pengamatan di Glempang Pasir	89
Gambar 76.	Penampang dan zonasi lapisan di lokasi Glempang Pasir 1	91
Gambar 77.	Kurva distribusi butir kumulatif dari sampel Lapisan1, 3 dan 6 Lokasi Glempang Pasir	91
Gambar 78.	Foto Mikrofauna dan hasil pertanggalan Pb-210 dari Sumur Uji Glempang Pasir	92
Gambar 79.	Penampang dan zonasi lapisan di lokasi Glempang Pasir	93
Gambar 80.	Penampang melintang dan korelasi beberapa sumur uji dari pantai Glempang Pasir ke arah bukit (Penampang S – U)	94
Gambar 81.	Korelasi penampang sumur uji dari lokasi Kesugihan di barat ke lokasi Glempang Pasir di timur (Penampang Barat – Timur)	94
Gambar 82.	Endapan tsunami yang dijumpai di kebun penduduk	95
Gambar 83.	Kenampakan endapan tsunami mengandung bahan antropo-genik berupa plastik	95
Gambar 84.	Batas antara endapan pasir pantai dengan endapan tsunami yang ditandai adanya batas soil dan akar tanaman	95
Gambar 85.	(Kiri) Pembuatan lobang pengamatan untuk mendapatkan endapan tsunami dan Kenampakan endapan tsunami yang sangat tipis dekat batas akar rumput. (Kanan) Kenampakan endapan pada lokasi pengamatan Widara Payung	96
Gambar 86.	Penampang dan zonasi lapisan sumur uji Pantai Ayah	97
Gambar 87.	Korelasi umur peristiwa tsunami di daerah Cilacap dan Pangandaran.	101
Gambar 88.	Korelasi stratigrafi peristiwa tsunami di daerah Cilacap dan Pangandaran	101
Gambar 89.	Sketsa diagram balok (block diagram) peristiwa tsunami	102
Gambar 90.	Simulasi keadaan wilayah Pantai Cilacap saat keadaan normal	102
Gambar 91.	Simulasi keadaan wilayah Pantai Cilacap yang seluruhnya dilanda tsunami, jika terjadi tsunami dengan ketinggian gelombang 8 meter	103
Gambar 92.	Penampang daerah Glempang Pasir, Cilacap yang dilanda tsunami (warna merah)	104
Gambar 93.	Penampang daerah wisata Pantai Ayah, Cilacap yang dilanda tsunami (warna merah)	105



GUA MENIR - PANGANDARAN

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Ucapan Terimakasih	vi
Daftar Istilah	viii
Daftar Tabel	x
Daftar Isi	xviii
BAB 1 : Mencari Jejak Tsunami Masa Lalu	20
BAB 2 : Endapan Tsunami	23
2.1 Endapan Tsunami/Paleotsunami	24
2.2 Tahap Analisis Laboratorium	30
BAB 3 : Penelusuran Jejak Tsunami Masa Lalu di Pangandaran	34
3.1 Lokasi Batuhiu (Ciliang)	34
3.2 Lokasi Cibenda	38
3.3 Lokasi Karang Salam	41
3.4 Lokasi Gua Menir	42
3.5 Lokasi Pantai Karapyak	47
3.6 Lokasi Palataran	61
3.7 Lokasi Tangkisan	61
BAB 4 : Penelusuran Jejak Tsunami Masa Lalu di Cilacap	63
4.1 Lokasi Kuripan	66
4.2 Lokasi Lengkong	66
4.3 Lokasi Adipala	68
4.4 Lokasi Bunton	71
4.5 Lokasi Adireja Wetan	75
4.6 Lokasi Gua Nagaraja	76
4.7 Lokasi Selok	82
4.8 Lokasi Glempang Pasir	87
4.9 Lokasi Jetis	93
BAB 5 : Ringkasan Hasil Penelitian	96
Daftar Pustaka	104
Lampiran Katalog Tsunami Wilayah P. Jawa	107



GUA NAGARAJA - CILACAP

BAB 1 :

MENCARI JEJAK TSUNAMI MASA LALU

Mengutip pernyataan dari seorang *geologist, physicist, dan naturalist* berkebangsaan Skotlandia, James Hutton (1788), "*The present is the key to the past*", yang bermakna bahwa memahami kejadian masa kini adalah kunci untuk memahami kejadian masa lampau. Hal ini juga berlaku sebaliknya bahwa memahami kejadian masa lampau adalah kunci untuk memahami kejadian di masa kini. Sejak saat itu berkembang bidang-bidang keilmuan yang menggunakan pola pikir tersebut, salah satunya adalah bidang geologi. Jika kutipan ini diaplikasikan dalam ranah kebencanaan terutama bencana geologi, maka dapat dipahami bila saat ini terjadi letusan gunungapi, gempa bumi, atau tsunami, maka di masa lalu pun peristiwa-peristiwa tersebut pernah terjadi dan bukan tidak mungkin peristiwa-peristiwa tersebut dapat terulang kembali di masa yang akan datang.

Setelah pesisir selatan Pulau Jawa dilanda tsunami pada tahun 1994 (Banyuwangi) dan tahun 2006 (Pangandaran), maka baru disadari bahwa seluruh pantai selatan Jawa berpotensi terkena tsunami. Tsunami dapat terjadi kapanpun, sekarang atau pada masa yang akan datang. Hal tersebut tentu dapat menimbulkan pertanyaan: "Apakah pada masa lalu pernah terjadi tsunami?", atau: "Apakah akan terjadi tsunami baru setelah tahun 1994?". Mengacu pada pemikiran tersebut, jika terjadi tsunami pada masa kini, maka pada masa lalu tsunami pernah terjadi dan akan terulang pada masa yang akan datang. Pertanyaan berikutnya adalah "Berapa kali tsunami pernah terjadi pada masa lalu?", dan: "Berapa jeda waktu antara satu peristiwa tsunami ke peristiwa tsunami berikutnya?". Beberapa peristiwa tsunami pernah terjadi di selatan Pulau Jawa. Peristiwa tersebut tercatat dalam beberapa catatan Belanda yang kemudian dirangkum dalam bentuk katalog. Salah satunya adalah Katalog Tsunami Indonesia (BMKG, 2018), yang didalamnya terdapat catatan sejarah tsunami di selatan Pulau Jawa (Lampiran 1).

Studi paleotsunami menjadi bagian penting dalam upaya mitigasi gempa bumi dan tsunami. Studi paleotsunami bertujuan untuk mencari jejak tsunami pada masa lampau yang tidak tercatat dalam sejarah manusia.

Dengan mengetahui sejarah tsunami di suatu daerah, maka akan diperoleh perkiraan rentang waktu keterulangan bencana tsunami di daerah tersebut.

Buku ini menguraikan hasil penelitian paleotsunami yang dilakukan oleh tim gabungan Prodi Teknik Geologi ITB dan BMKG di pantai selatan Pulau Jawa, antara Pangandaran dan Cilacap (Gambar 1). Wilayah ini dipilih sebagai daerah penelitian karena berdasarkan data dari katalog pernah mengalami beberapa kali peristiwa gempa bumi yang sangat mungkin diikuti oleh peristiwa tsunami.



Gambar1. Lokasi sumber gempa bumi penyebab tsunami di selatan Pulau Jawa. Daerah Pangandaran yang ditandai dengan kotak merah dan Cilacap yang ditandai dengan kotak hitam

Penelitian dilakukan pada tahun 2011, 2015, dan 2016 yang hasilnya telah disampaikan dalam laporan internal BMKG. Di samping itu, hasilnya juga telah disampaikan dalam beberapa seminar nasional dan internasional serta telah dipublikasikan dalam jurnal/prosiding nasional dan internasional sebagaimana dalam Tabel 1.

Tabel 1. Daftar publikasi yang dihasilkan dari kegiatan penelitian tsunami

No.	Penulis	Judul	Prosiding Seminar		Publikasi Jurnal		Tahun
			N	INT	N	INT	
1.	Yudhicara, Y. Zaim, Y. Rizal, Aswan, R. Triyono, U. Setiyono, and D. Hartanto	Preliminary Result of Paleotsunami Study in Cilacap and Pangandaran	v				2013
2.	Yan Rizal, Aswan, Y. Zaim, Daryono, Suci D. Anugrah, Wijayanto, Indra Gunawan, Tatok Yatimantoro, Hidayanti, Resti Herdiyanti Rahayu, Priyobudi, Wahyu Dwijo Santoso, Nur Rochim.	Tsunami evidence in South Coast Java, Case Study: Tsunami deposits along South Coast of Cilacap. Proc. Int. Conf. 2nd TREPSEA, IOP Conf. Series: Earth and Environment Science 71 (2017)		v			2017
3.	Aswan, Y. Zaim, Yan Rizal, Kira E. Westway, Daryono, Suci D. Anugrah, Wahyu D. Santoso, Wijayanto, Priyobudi, Indra Gunawan, Tatok Yatimantoro, Weniza, Hidayanti, Debi S. Yogaswara, Resti H. Rahayu, Septa A., Nur Rochim	Quartz OSL dating of Paleotsunami deposits from West and Central Jawa, Indonesia, Quaternary Research Journal				v	2018 (in press)

Keterangan: N = Nasional; INT = Internasional

BAB 2 : ENDAPAN TSUNAMI

Penyebab terjadinya tsunami, salah satunya, diakibatkan oleh aktivitas lempeng tektonik bumi yang menimbulkan dislokasi kerak bumi di Laut. Dislokasi ini dapat memicu perpindahan volume air laut dalam bentuk gelombang ke segala arah. Gelombang air laut yang kuat akan membawa material dari dasar laut dalam yang umumnya berupa lempung/lumpur hitam. Saat mendekati pantai, tsunami juga menggerus dasar pantai yang umumnya terdiri atas material pasir. Sehingga terjadi percampuran antara material pasir pantai dan lumpur laut dalam. Jika tsunami yang terjadi cukup besar, maka daerah genangan tsunami (inundasi) akan melampar jauh ke arah darat. Begitu juga material pasir dan lempung yang dibawanya akan terbawa jauh ke darat. Setelah energi tsunami melemah, air laut kembali ke arah laut (*backwash*) dengan kecepatan yang lebih lambat sehingga material pasir yang terbawa tidak ikut kembali tetapi diendapkan di daratan. Endapan yang dibawa tsunami akan menutupi dataran pantai dan permukaan tanah (tanah) atau vegetasi yang ada. Hal ini dapat digunakan untuk mengenali paleotsunami di lapangan.

Endapan tsunami adalah endapan yang dibawa oleh tsunami, yang ditinggalkan di pantai selama fase inundasi atau kembali ke laut saat fase *backwash*. Endapan ini digunakan untuk mengidentifikasi peristiwa tsunami di masa lalu. Satu hal yang masih menjadi kendala adalah sulitnya membedakan antara endapan yang dihasilkan oleh tsunami dan yang dihasilkan oleh badai atau proses sedimentasi lainnya.

Secara kasat mata, endapan tsunami merupakan lapisan pasir berbutir halus berwarna terang ataupun abu-abu yang menutupi lapisan tanah yang lapuk (tanah). Hal ini terjadi karena gelombang tsunami membawa material dari laut berupa pasir, lempung, dan fauna laut. Pada endapan tsunami terkadang ditemukan akar dan tanaman pada lapisan tanah yang terkubur tersebut. Per lapisan tanah lapuk dan endapan tsunami di atasnya seringkali bukan merupakan per lapisan yang lurus teratur. Bagian bawah dari lapisan endapan tsunami biasanya didapati fragmen batuan dan tanah yang

berasal dari lapisan tanah di bawahnya (rip-up clast), seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Endapan tsunami yang dicirikan oleh adanya struktur *rip – up clast*

Pelapisan seperti ini mungkin saja terlihat lebih dari satu, jika peristiwa tsunami yang mengendapkan endapan tsunami terjadi tidak hanya satu kali. Sedangkan lapisan tanah perlapukan yang berada di bawah endapan pasir akibat tsunami disebut sebagai paleosoil (tanah yang terbentuk sebelum terjadi tsunami). Sedangkan lapisan tanah di atasnya merupakan lapisan baru yang terbentuk setelah tsunami.

2.1. Endapan Tsunami/Paleotsunami

Dalam identifikasi endapan tsunami, perlu diketahui perbedaan dasar dari tsunami dan fenomena arus kuat lain yang terjadi di pinggir pantai. Salah satu fenomena yang endapannya masih sulit dibedakan dari tsunami adalah badai pinggir pantai. Berikut adalah karakter dari dua fenomena tersebut yang telah dirangkum oleh Morton dkk. (2007) yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbedaan antara tsunami dan badai berdasarkan karakter arus Morton dkk. (2007)

Karakter Arus	Tsunami	Badai
Jangkauan gelombang terhadap pantai	10 – 10.000 km	100 – 600 km
Ketinggian gelombang pada kedalaman (jauh dari pantai)	< 0,5 m	> 5 m
Ketinggian gelombang dekat pantai dan periode	10 – 20 m, 100 – 2000 detik	< 10 m, 10 – 25 detik
Jumlah gelombang datang	Biasanya < 10	Biasanya > 1000
Kedalaman inundasi	0 – 20 m	< 5 m
Durasi arus aktif	0 – 20 m	< 5 m
Kecepatan air datang di darat	< 20 m/detik	< 5 m/detik
Arah arus	Berbeda-beda	Berbeda-beda
Perubahan arah arus	Perselingan antara arus datang dan arus balik selama kejadian	Arus balik hanya pada akhir kejadian
Pengaruh tekanan angin	Bukan merupakan faktor	Menaikkan kecepatan air dan ketinggian gelombang
Mekanisme transportasi sedimen	Umumnya suspensi, terkadang traksi	Umumnya traksi, terkadang suspensi
Fase genangan	Naik dan turun yang berulang-ulang	Kenaikan awal bertahap, diikuti kenaikan cepat, dan penurunan bertahap.
Frekuensi kejadian	Jarang	Cukup sering

Lebih lanjut Morton dkk. (2007) merangkung karakteristik endapan kedua fenomena sebagai berikut (Tabel 3).

Tabel 3. Perbedaan endapan tsunami dan badai berdasarkan karakter sedimen (Morton dkk., 2007).

Karakter Arus	Tsunami	Badai
Skala Vertikal		
Ukuran clast maksimum	Bongkah	Berangkal dan pasir
Lapisan lumpur	Mungkin ada	Belum ditemukan
Grading vertikal endapan secara keseluruhan	Normal atau tanpa grading, jarang inverse grading	Normal atau inverse grading
Grading lateral	Menghalus ke darat	Tanpa tren atau menghalus ke darat
Ketebalan endapan rata-rata	Umumnya < 25 cm	Umumnya > 30 cm
Struktur sedimen	Tidak ada atau laminasi (jarang)	Laminasi, beberapa foreset
Jumlah Lapisan/ laminasi	Sedikit	Banyak
Rip-up clast	Sering dijumpai	Jarang dijumpai
Lapisan berisi cangkang	Jarang	Banyak
Skala Lateral		
Geometri cross-shore	Lapisan tipis yang luas, menipis ke darat atau secara tabular	Endapan yang tebal dan sempit, menghalus ke darat secara tiba-tiba
Keselarasan lansekap	Mengikuti lansekap	Mengisi lansekap yang rendah
Sebaran erosi subaerial dan zona sapuan	Umumnya 75 m, maksimum 125 m	Umumnya tidak ada, maksimum ratusan meter

Karakter Arus	Tsunami	Badai
Batas endapan	Sangat bervariasi	Sangat bervariasi
Kemiringan endapan	Umumnya > 5 m	Umumnya < 4 m
Skala sub-regional		
Sebaran ke darat	Umumnya 50 km, terkadang ribuan km (jarang)	Umumnya 200 km, terkadang ribuan km (jarang)
Kemenerusan lateral	Setengah-setengah hingga menerus luas	Menerus luas hingga setengah-setengah

Endapan tsunami dapat dibedakan antara yang terbentuk di daratan dan di laut. Endapan tsunami yang terjadi di daratan dicirikan oleh kontak tegas antara lapisan tsunami dengan lapisan yang ada dibawahnya umumnya berupa kontak erosi, endapan berwarna terang, berbutir halus – kasar yang ditutupi oleh lapisan lempung atau lanau dengan kontak gradasi. lapisan pasir ini menutupi lapisan paleosoil dengan kontak tegas (Rizal dkk., 2017; Aswan dkk, 2017; Yudicara dkk., 2013), sedangkan untuk endapan tsunami yang terjadi adanya di laut, pada bagian bawah akan dijumpai lapisan yang rusak atau tidak teratur (liquefaction) akibat gempa (Bhattacharya dan Bandyopadhyay, 1998; Shanmugam, 2016) yang ditutupi oleh lapisan yang berukuran halus sampai kasar yang berwarna terang dengan struktur sedimen reverse dan normal grading, mengandung mud drape (Fujiwara dan Kamataki, 2007; Shakar dkk., 2013).

Paleotsunami adalah tsunami yang terjadi pada masa lampau. Dalam geologi, sesuatu dikategorikan "*paleo*" apabila umurnya lebih dari 10.000 tahun lalu (Holosen). Menilik kembali tsunami yang terjadi pada 10.000 tahun yang lalu adalah hal yang sulit, karena pada waktu itu manusia belum memasuki masa sejarah, sehingga tidak ada catatan sejarah yang bisa dijadikan referensi. Oleh karena itu, dalam buku ini, batasan "*paleo*" yang digunakan adalah "*paleo*" menurut pengertian yang lazim pada orang awam, yang berarti "tua". Dalam buku ini ditentukan bahwa tsunami dikatakan paleotsunami apabila terjadi paling tidak 50 tahun yang lalu. Usia 50 tahun diadaptasi dari batasan waktu

minimal Bangunan Cagar Budaya, seperti tertuang pada pasal 5 UU No. 11 tahun 2010 tentang Cagar Budaya. Pertimbangan dari penentuan batasan waktu "*paleo*" ini adalah 50 tahun, karena referensi tentang tsunami masih mungkin ditemukan.

2.1.1 Tahapan Penelitian

Setidaknya ada dua tahapan yang perlu dilakukan untuk menelusuri jejak paleotsunami, melalui penelusuran endapan tsunami. Tahapan tersebut adalah: penyelidikan/investigasi lapangan, dan analisis laboratorium.

2.1.2 Tahap Penyelidikan Lapangan

Sebelum dilakukan penelitian lapangan terlebih dahulu dilakukan analisis topografi daerah yang kemungkinan dijumpai adanya jejak-jejak atau endapan tsunami di daerah tersebut, setelah itu dilakukan pemilihan lokasi yang akan diteliti kemungkinan dijumpai endapan tsunaminya.

Di daerah yang dicurigai dilakukan pencarian endapan tsunami dan kemudian dilakukan pendataan, mulai dari pengukuran posisi geografi dengan menggunakan alat GPS, pengukuran elevasi dan posisi dengan menggunakan peralatan topografi *Total Digital Station* (TDS - Gambar 3). Identifikasi dan deskripsi singkapan serta titik penyontohan pada penampang vertikal test pit (lubang uji) dan trenching (parit uji). Penyontohan dilakukan secara vertikal dan sistematis pada dinding lubang uji atau parit uji tersebut, lengkap dengan sketsa tempat penyontohan dilakukan, sedangkan untuk mendapat gambaran contoh yang utuh, telah dilakukan pengambilan contoh dengan cara *coring*.

2.1.3 Pembuatan Lubang Uji (*Test Pit*) atau Paritan (*Trenches*)

Investigasi lapangan dilakukan pada daerah yang diduga pernah mengalami tsunami. Dugaan tersebut dapat berdasarkan data (katalog) gempabumi dan tsunami, ataupun berdasarkan kajian seismotektonik dan pemodelan tsunami. Pengamatan ciri-ciri di lapangan mengacu kepada



Gambar 3. Foto Pengukuran dengan Theodolite
Total Station

ciri-ciri dan struktur sedimen tsunami yang terdapat dalam Tabel 2 dan 3.

Titik investigasi upayakan merupakan lingkungan yang memungkinkan terjadi pengendapan tsunami, misalnya di wilayah teluk ataupun tepian sungai. Teluk merupakan lokasi tempat berkumpulnya gelombang dari berbagai arah, sehingga gelombang di wilayah ini biasanya merupakan gelombang tertinggi dengan energi yang besar untuk membawa material lingkungan laut.

Pengamatan di lapangan dimulai dengan mencari singkapan sedimen. Jika tidak ditemukan singkapan, maka dapat membuat singkapan dengan membuat paritan/trench ataupun galian lubang/pit (Gambar 4).

Melalui pengamatan singkapan tersebut, identifikasi awal dapat kita lakukan, yaitu penentuan awal endapan tsunami berdasarkan aspek sedimentologinya, antara lain karakteristik endapan tsunami yang telah dijelaskan sebelumnya. Penentuan singkapan seringkali memerlukan waktu yang cukup lama, karena seringkali singkapan yang ditemukan tidak memiliki endapan tsunami, sehingga harus dilakukan pencarian singkapan kembali. Setelah endapan tsunami ditentukan, lalu dilakukan pencuplikan sedimen sebagai bahan analisis laboratorium. Pencuplikan bisa dilakukan dengan mengambil sedikit sampel sedimen sebagai hand specimen, ataupun dengan membuat coring (Gambar 5). Sampel kemudian dibawa untuk dianalisis di laboratorium.



Gambar 4. Pembuatan sumur uji untuk mengetahui stratigrafi dari lapisan tsunami.

Analisis yang dilakukan setidaknya adalah analisis ukuran butir (granulometri), analisis mikrofauna, serta analisis penentuan umur (*dating analysis*).



Gambar 5. Pengambilan contoh (sampel) sedimen dengan *coring*.

Pada studi paleotsunami Cilacap dan Pangandaran, beberapa titik investigasi pencarian sampel sedimen tsunami diambil di dalam gua. Hal ini dikarenakan berdasarkan hasil pemodelan tsunami, diketahui terdapat beberapa lokasi yang secara morfologi berupa tinggian (perbukitan) yang berada di tepi pantai akan tergenang air jika gelombang tsunami memiliki ketinggian antara 5–8 meter. Setelah melakukan pengamatan langsung di lapangan, ternyata di daerah-daerah tersebut terdapat gua-gua yang terbuka ke arah laut dengan ketinggian mulut gua yang tidak jauh jauh dari tinggi permukaan air laut saat ini.

Diduga di dalam gua tersebut akan terdapat sedimen yang terjebak saat gelombang tsunami masuk ke dalam gua tersebut. Dengan demikian maka gua-gua tersebut merupakan lokasi yang sangat penting karena dapat menyimpan bermacam endapan laut termasuk jejak tsunami secara aman (preserved) sehingga endapan terhindar dari kerusakan yang diakibatkan oleh alam maupun manusia.

2.2 Tahap Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium dilakukan untuk beberapa analisis yaitu: analisis ukuran butir (granulometri), analisis mikrofauna, dan analisis umur dengan metode Pb-210.

Semua analisis tersebut di atas dilakukan di Indonesia. Untuk analisis ukuran butir dilakukan di Laboratorium Sedimentografi dan analisis mikrofauna dilakukan di Laboratorium Paleontologi, yang keduanya di Program Studi Teknik Geologi Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan (FITB), ITB. Sedangkan untuk analisis umur dengan Metode Pb-210 dilakukan di Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) Yogyakarta.

2.2.1 Analisis Ukuran Butir (*Granulometri*)

Analisis ukuran butir dilakukan dengan menggunakan ayakan dengan ukuran diameter ϕ -4.5 ϕ -4.5 ϕ diameter. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui sistem arus yang bekerja selama proses tsunami. Contoh yang diambil dari lapangan diambil seberat 100 gram, direndam dan dihilangkan kandungan karbonatnya (CaCO_3) dengan larutan HCl 0,1M, disaring dipisahkan dari pengotor. Lalu dikeringkan, setelah kering lalu diayak dengan ayakan yang digoyang dan digetarkan secara mekanik oleh mesin elektrik. Hasil tiap-tiap ukuran ayakan lalu ditimbang dan dihitung dalam % berat, yang kemudian diplot dengan menggunakan Program dari Balsillie dkk. (2002). Analisis ukuran butir ini dilakukan di Laboratorium Sedimentografi, Prodi Teknik Geologi - Institut Teknologi Bandung (ITB).

2.2.2 Analisis Mikrofauna

Analisis mikrofauna dilakukan untuk identifikasi berbagai jenis fauna yang terdapat pada endapan sedimen baik yang dicurigai sebagai endapan akibat tsunami yang baru maupun yang lama (paleotsunami). Analisis mikrofauna ini sangat penting, karena dengan mengetahui jenis dan taksa fauna, terutama foraminifera benthik, maka akan dapat diketahui zona kedalaman (batimetri) sedimen diendapkan, karena jenis dan taksa fauna foraminifera benthik hidup pada kedalaman tertentu. Berdasarkan jenis dan taksa tersebut, maka dapat diketahui lingkungan kedalaman sedimen tersebut diendapkan.

Untuk sedimen yang diendapkan akibat peristiwa tsunami/paleotsunami yang diendapkan di lingkungan darat, maka akan mengandung percampuran fauna marin benthik dari berbagai kedalaman laut, karena terbawa dan terangkat oleh gelombang laut sebagai akibat gelombang tsunami (Sugawara dkk., 2009). Identifikasi mikrofauna contoh-contoh yang diambil dari lapangan menggunakan Mikroskop Nikon SMZ 1500 dengan perbesaran sampai 16X, dilakukan di Laboratorium Paleontologi - Institut Teknologi Bandung,

2.2.3 Analisis Umur dengan Metoda Pb-210

Uraian tentang penentuan umur merujuk uraian yang diberikan dengan sangat baik oleh Gayatri (2013). Penentuan umur mutlak umumnya menggunakan metode C-14, K-40, Ru-87, U-238, dan sejenisnya. Metode tersebut digunakan untuk penentuan umur batuan yang berkisar jutaan tahun yang lalu. Namun, metode tersebut tidak dapat digunakan pada studi ini karena sampel yang dipilih untuk diukur diperkirakan berupa endapan yang berumur kurang dari seratus tahun.

Metode Pb-210 adalah metode yang digunakan untuk menentukan kecepatan pengendapan sedimen pada danau, laut, dan tempat pengendapan lain. Dari kecepatan pengendapan sedimen, dapat ditentukan umur sedimen pada kedalaman tertentu (Robert, 2009). Metode ini dapat mencakup informasi endapan yang berumur 50 – 100 tahun (Jeter, 2000).

Pb-210 merupakan bagian dari seri peluruhan U-238, yang memiliki waktu paruh $4,5 \times 10^9$ tahun, yang tidak dapat digunakan untuk penentuan umur sedimen yang tergolong sangat muda (resen). Namun demikian, uranium terkandung pada semua jenis tanah dan sedimen, dengan kandungan yang berbeda-beda.

U-238 meluruh menjadi U-234 (waktu paruh 248.000 tahun), yang kemudian luruh menjadi Th-230 (waktu paruh 80.000 tahun), yang kemudian meluruh menjadi Ra-226 (waktu paruh 1620 tahun).

Saat Ra-226 meluruh, isotop ini menghasilkan gas inert Rn-222 (waktu paruh = $\sim 3,8$ tahun). Rn lolos ke atmosfer sebelum meluruh menjadi elemen radioaktif selanjutnya, yang dapat terjadi pada pertemuan udara-tanah. Melalui peristiwa ini, atmosfer mengandung gas radioaktif dengan level rendah, namun konstan (~ 1 DPM/L = 1 disintegrasi per menit per liter). Setelah beberapa hari berada di atmosfer, Rn-222 secara alami luruh menjadi Po-218, dalam hitungan jam atau hari, elemen ini akan jatuh ke Bumi bersama debu dan hujan. Peluruhan terus terjadi yang menghasilkan Pb-210. Dalam 2 tahun, Po-210, grand daughter dari Pb-210 memiliki aktivitas radioaktif yang sama (secular equilibrium) dengan Pb-210. Po-210 yang memancarkan alpha-lah yang diukur, karena memberikan perkiraan umur yang lebih akurat dibandingkan pengukuran Pb-210 secara langsung.

Pb-210 yang terendapkan pada sedimen 22,3 tahun lalu, kini kereaktifannya turun menjadi setengah dari saat terendapkan.

Dalam bidang lingkungan, aplikasi metode ini penting untuk mengetahui hubungan endapan limbah beracun dan industri yang bertanggung jawab atasnya (Jeter, 2000). Dengan mengetahui kecepatan pengendapan rata-rata per tahun, dapat diketahui umur dari limbah beracun pada kedalaman tertentu.

Dalam geologi, metode ini juga telah digunakan untuk menentukan kecepatan pengendapan berbagai sedimen di muka Bumi. Salah satunya adalah yang dilakukan pada endapan muara Sungai Bang Pakong dan Pantai Chanthaburi di Thailand (Cheevaporn dan Mekkongpa, 1996).

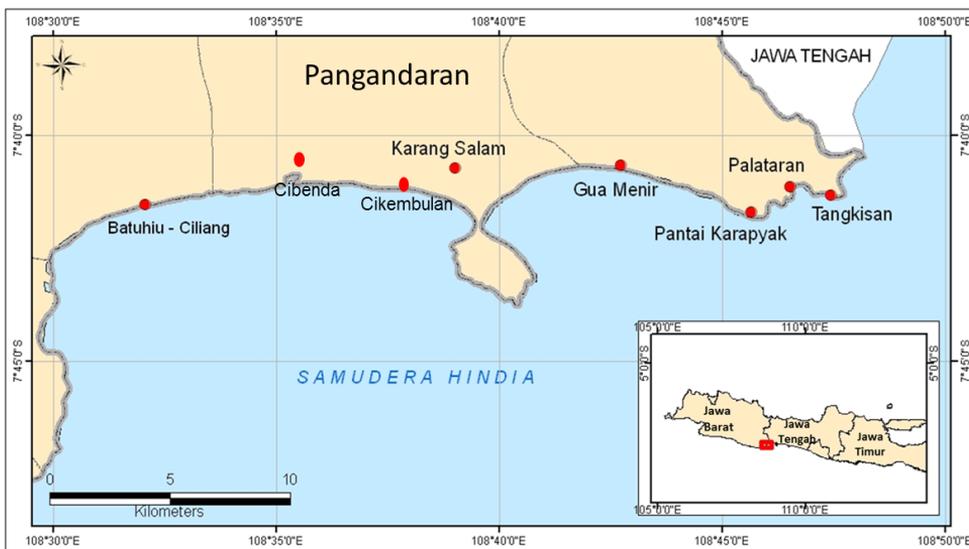
Berdasarkan prinsip kerjanya dan penggunaannya yang telah meluas, metode Pb-210 adalah metode yang paling baik untuk digunakan pada studi ini.

BAB 3 :

PENELUSURAN JEJAK TSUNAMI MASA LALU DI PANGANDARAN

Berdasarkan ciri-ciri yang telah dirangkum oleh Morton dkk. (2007) serta publikasi-publikasi terkini, maka dapat ditentukan Lapisan endapan pada daerah penelitian mana saja yang menunjukkan ciri-ciri tsunami.

Investigasi lapangan pada endapan-endapan yang menunjukkan ciri-ciri endapan tsunami di wilayah Pangandaran dilakukan di 8 (delapan) lokasi, yaitu: Batuhiu, Cibenda, Cikembulan, Karang Salam, Gua Menir, Pantai Karapyak, Palataran, dan Tangkisan (Gambar 6).



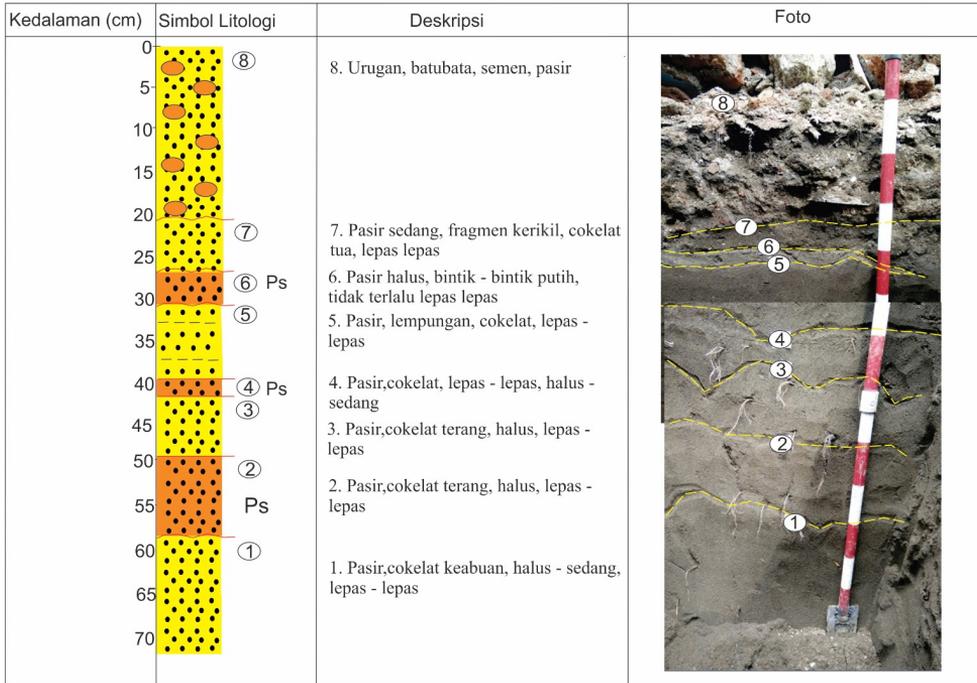
Keterangan
● Lokasi survei

Gambar 6. Lokasi titik pengamatan studi paleotsunami Pangandaran.

3.1. Lokasi Batuhiu (Ciliang)

Titik pengamatan berada di rumah penduduk yang terletak dekat Pantai Batuhiu di Daerah Ciliang, pada koordinat: 07,69237 LS – 108,53419 BT. Pengamatan dilakukan pada lubang galian dengan kedalaman sekitar 120 cm.

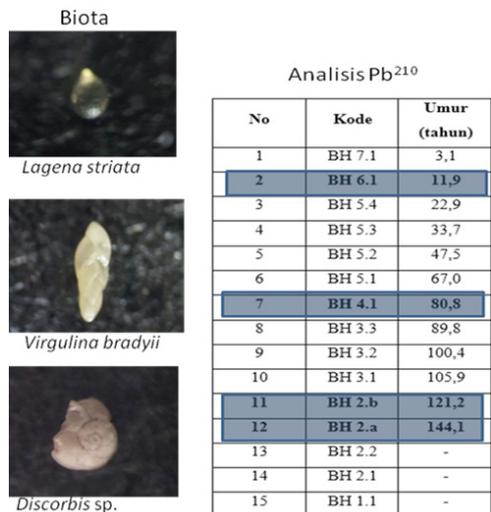
Pada sumur pengamatan ini diamati adanya 3 lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami, yaitu Lapisan 2, Lapisan 4 dan Lapisan 6 (Gambar 7).



Gambar 7. Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Batuhiu (Ciliang).

Lapisan 2 memiliki batas yang bersifat erosional dengan Lapisan di bawahnya. Lapisan ini berupa lapisan pasir halus berwarna coklat terang dan lepas-lepas.

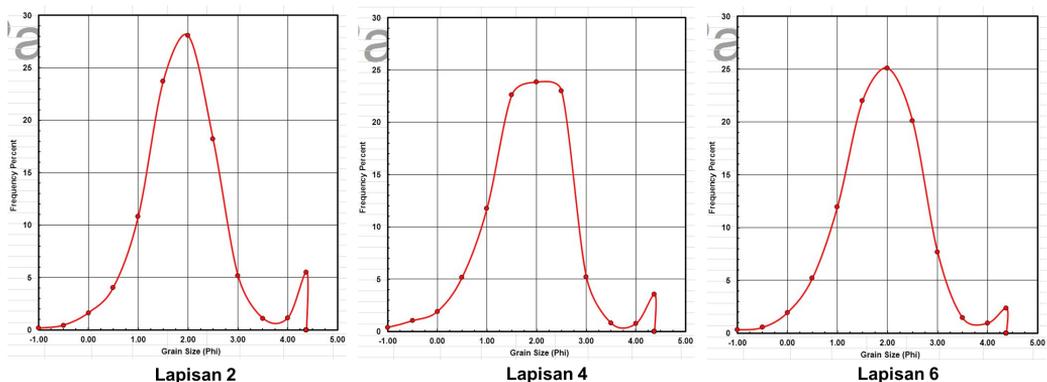
Indikasi lain yang menunjukkan bahwa lapisan ini adalah endapan tsunami diperoleh dari hasil analisis biota dan ukuran butir. Hasil analisis biota menunjukkan adanya biota dari Neritik Dalam– Neritik Tengah yang terendapkan dalam lapisan ini. Biota tersebut adalah *Discorbis sp.* dan *Lagena sp.* (Gambar 8).



Gambar 8. Foto mikrofauna dan hasil pertanggalan Pb-210 dari Sumur Uji Batuhiu

Hasil analisis ukuran butir menunjukkan adanya perubahan gradien garis pada kurva ukuran butir, yang mengindikasikan adanya perubahan arus yang tiba-tiba. Indikasi perubahan arus ini diperkirakan akibat tsunami.

Hasil analisis Pb210 untuk lapisan ini menunjukkan kisaran umur antara 144,1 sampai 121,2 tahun yang lalu atau tsunami terjadi sekitar tahun 1871-1894 (Gambar 9).



Gambar 9. Data hasil analisis ukuran butir (granulometri) contoh dari Sumur Uji Batuhiu

Lapisan 4 yang diendapkan di atas Lapisan 3 dengan kontak bidang erosi diinterpretasikan sebagai endapan tsunami berikutnya. Lapisan ini terdiri dari pasir halus sampai sedang, berwarna coklat dan lepas-lepas.

Hasil analisis ukuran butir menunjukkan adanya puncak kurva yang datar mengindikasikan ukuran butir yang tidak seragam. Ukuran butir yang tidak seragam ini diperkirakan sebagai akibat tsunami. Hasil analisis ukuran butir menunjukkan adanya perubahan gradien garis yang mengindikasikan adanya perubahan arus yang tiba-tiba dan bahkan lebih kuat dibanding pada Lapisan 2. Indikasi perubahan arus yang tiba-tiba ini diperkirakan akibat tsunami. Hasil analisis pentarikan umur dengan Pb210 menunjukkan lapisan ini terbentuk 80,8 tahun yang lalu (tahun 1934).

Lapisan 6 diperkirakan sebagai endapan tsunami berikutnya. Komponen lapisan ini berupa pasir halus berwarna abu-abu berbintik-bintik putih dan tidak terlalu lepas-lepas. Hasil analisis ukuran butir pada lapisan ini menunjukkan adanya perubahan gradien garis yang mengindikasikan adanya perubahan arus yang tiba-tiba melemah. Indikasi perubahan arus yang tiba-tiba melemah ini diperkirakan akibat arus balik tsunami.

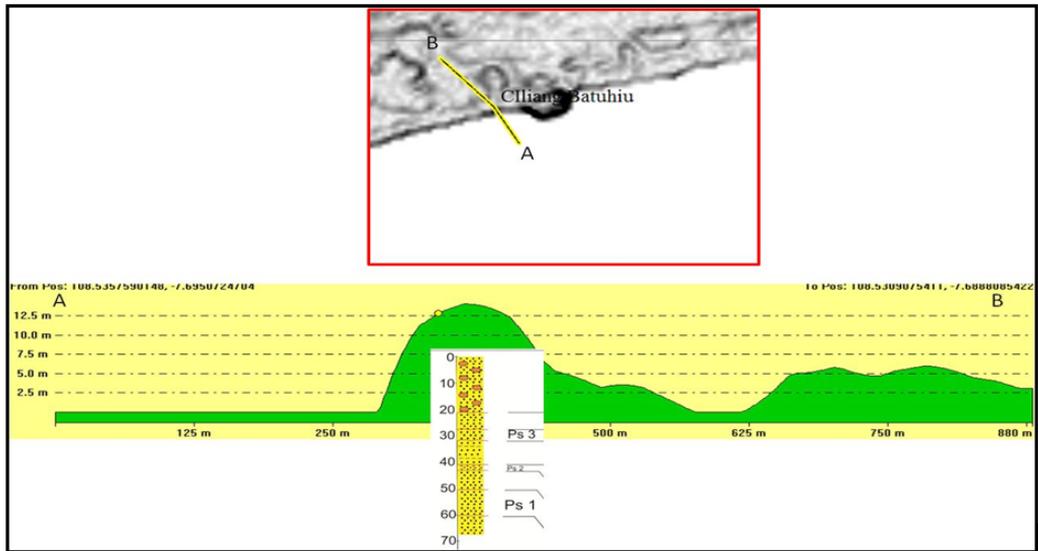
Pentarikhan umur dengan menggunakan Pb210 dari contoh sedimen yang diambil pada Lapisan 6 ini menunjukkan lapisan ini terbentuk 11,9 tahun yang lalu atau lapisan ini terbentuk sekitar tahun 2003, berwarna coklat tua, mengandung fragmen kerikil dan lepas-lepas. Lapisan 7 ini ditutupi oleh tanah urugan yang terdiri dari batu bata, semen dan pasir.

Gambar 8 merupakan kurva distribusi ukuran butir untuk Lapisan 2, 4, dan 6, sedangkan Tabel 4 merupakan ringkasan hasil analisis dari ketiga lapisan tersebut, berdasarkan analisis ukuran butir dan umur batuan.

Tabel 4. Hasil analisis pada lapisan diduga endapan tsunami lokasi Batuhiu Ciliang.

Lapisan	Analisa Ukuran Butir	Kandungan Biota Laut	Umur Pb-210 (tahun yang lalu)
6	Ukuran butir yang tidak seragam, serta adanya perubahan arus tiba-tiba yang diperkirakan akibat tsunami	-	11,9 (2003)
4	Ukuran butir yang tidak seragam, serta adanya perubahan arus tiba-tiba yang diperkirakan akibat tsunami	-	80,8 (1934)
2	Ukuran butir yang tidak seragam, serta adanya perubahan arus tiba-tiba yang diperkirakan akibat tsunami	<i>Discorbis sp, Lagena gracillima, Virgulina bradyi, Lagena striata</i> (Merupakan campuran fauna neritik tengah)	121,2; 144,1 (1871-1894)

Pembuatan penampang melintang dengan arah hampir selatan – utara, dari pantai Batuhiu ke arah perbukitan (penampang A – B, Gambar 10) memperlihatkan bentuk topografi yang datar di daerah pantai kemudian berubah menjadi terjal dengan ketinggian elevasi sekitar 13 meter. Tinggian ini dapat bertindak sebagai penghalang gelombang jika terjadi gelombang tsunami di bawah ketinggian perbukitan tersebut.



Gambar 10. Penampang melintang dari pantai Batuhui ke arah bukit (Penampang A – B)

3.2. Lokasi Cibenda

Lokasi ini terletak dekat lokasi wisata Karang Tirta, yaitu pada koordinat: 7,68498 LS – 108,55058 BT, yang merupakan tanah kosong milik penduduk setempat. Hasil pengamatan pada sumur uji yang dibuat tidak ada lapisan batuan yang dapat dengan jelas mengindikasikan sebagai endapan tsunami. Kedalaman sumur uji adalah 20 cm (Gambar 11).

Kedalaman (cm)	Simbol Litologi	Deskripsi	Foto
0		Batupasir halus, cokelat tua, lepas lepas	
10		Batupasir kasar, cokelat terang, lepas lepas	
20		Batupasir sedang, cokelat bintik - bintik putih, berlapis	
30			
40			
50			
60			
70			
80			

Gambar 11. Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Cibenda.

3.2.1 Titik Cikembulan-1

Lokasi terletak di pinggir Sungai Cikembulan (7,685 LS – 108,646 BT), singkapan dijumpai pada tanggul sungai (Gambar 12). Singkapan berupa endapan pasir dengan sisipan lanau lempungan, pada bagian bawah berupa pasir dengan struktur sedimen silang siur dan laminasi sejajar yang ke arah atas secara bergradasi menjadi lempung, pada beberapa lapisan terlihat kontak antar lapisan yang tegas, yaitu pada kontak lempung, kuning kecoklatan sampai coklat (paleosoil) dengan endapan pasir halus, berwarna kuning coklat terang (endapan tsunami?) (Gambar 13). Pada bagian paling atas terdapat lapisan tipis pasir halus (+1 cm), berwarna putih menutupi soil berdasarkan informasi penduduk dan rekonstruksi perkiraan capaian gelombang tsunami tahun 2004, lapisan tipis ini merupakan endapan tsunami.



Gambar 12. Singkapan yang diduga sebagai endapan tsunami terdapat di tanggul Sungai Cikembulan.



Gambar 13. Kiri dan kanan, Stratigrafi di tanggul Sungai Cikembulan yang diduga sebagai endapan tsunami.

3.2.2. Titik Cikembulan-2

Pada bagian lain di daerah Cikembulan yaitu pada kordinat (7,68052°LS – 108,61111°BT) juga ditemukan singkapan yang diperkirakan sebagai endapan tsunami, yang ditunjukkan oleh lapisan pasir halus, berwarna kelabu terang – putih, bersifat lepas, dengan ketebalan 10 – 15 cm, lapisan ini ditutupi oleh lapisan tanah yang paling belakangan terbentuk (Gambar 14).



Gambar 14. A dan B Singkapan endapan tsunami 2006 berupa pasir lepas berwarna kelabu terang – putih menutupi lapisan pasir halus, abu-abu coklat.

3.2.3. Titik Cikembulan-3

Lokasi penggalian terletak di halaman rumah penduduk setempat (Pak Jajat) di koordinat 07,68126 LS – 108,61036 BT yang lokasinya sekitar 50 meter dari kelokan Sungai Cikembulan. Hasil pengamatan pada sumur uji yang dibuat pada lokasi ini juga tidak menunjukkan terdapatnya endapan tsunami. Kedalaman sumur uji adalah 40 cm (Gambar 15).

Kedalaman (cm)	Simbol Litologi	Deskripsi	Foto
0	[Yellow dotted pattern]	Batupasir halus, cokelat keabuan, kompak	
10		Batupasir halus, cokelat keabuan, lepas lepas	
20		Batupasir halus, cokelat tua, lepas lepas	
30		Batupasir halus, cokelat keabuan, lepas lepas	
40			
50			
60			
70			
80			

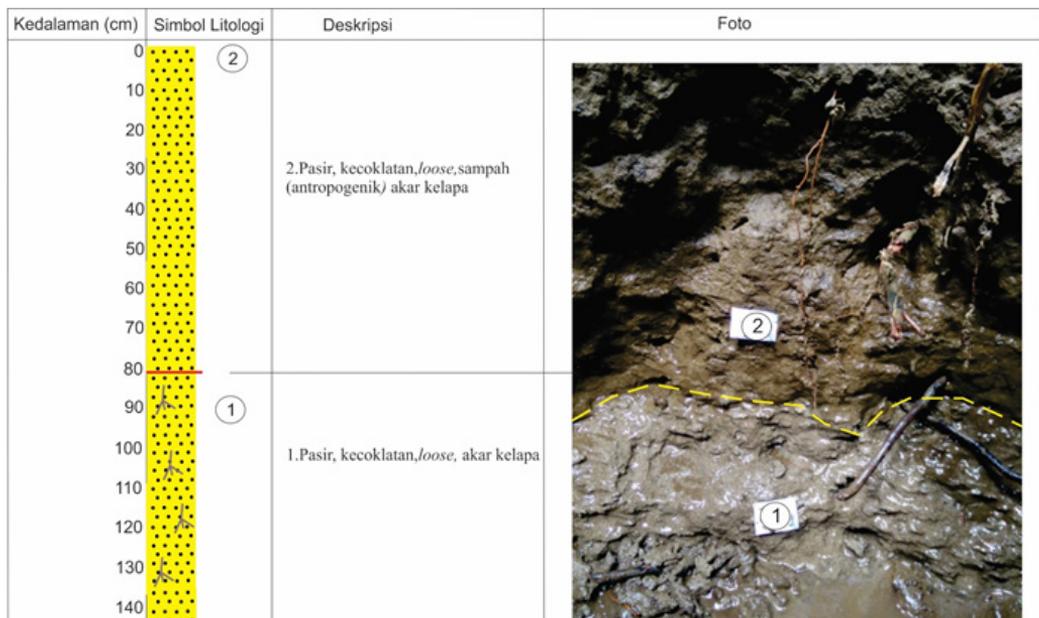
Gambar 15. Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Cikembulan.

3.3. Lokasi Karang Salam

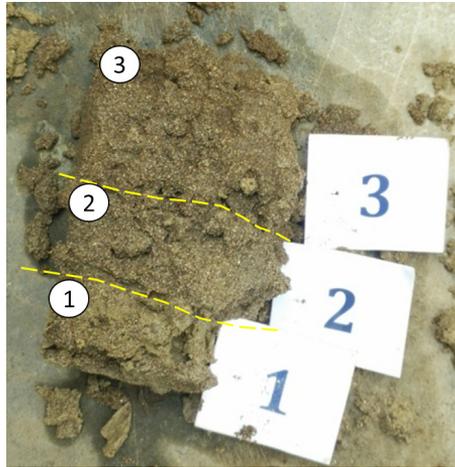
Lokasi pengamatan endapan paleotsunami di daerah Karangalam terletak di halaman rumah penduduk setempat dengan koordinat S 07o 40' 42,9" dan E 108o 39' 05,1". Pengamatan pada lokasi ini dilakukan dengan membuat lubang sedalam 175 cm dengan luas 1,5 m x 1,5 m. Pada bagian atas mulai dari permukaan sampai 80 cm hanya ditemukan batupasir lepas-lepas berwarna coklat gelap dan terdapat timbunan sampah (antropogenik) dan akar kelapa.

Penggalian lebih dalam sampai 80 cm berikutnya berupa batupasir coklat lepas-lepas dan terdapat banyak akar pohon kelapa dan mulai keluar air tanah. Setelah kedalaman 160 cm dari permukaan ditemukan Lapisan yang keras sehingga pengambilan sampel dilakukan menggunakan hand bor dan hanya bisa mencapai kedalaman 15 cm.

Pada lapisan keras mulai kedalaman 160–175 cm berdasarkan data batuan inti bor yang didapatkan, terdapat lapisan tipis (Lapisan 2) diduga sebagai endapan paleotsunami yang diduga berwarna coklat terang agak kompak di atas batuan keras hasil konkresi karbonat (Gambar 16 dan 17).



Gambar 16. Stratigrafi dari sedimen parit uji di daerah Karangalam



Gambar 17. Lapisan yang dicurigai sebagai endapan paleotsunami berupa endapan karbonat

3.4. Lokasi Gua Menir

Gua Menir terletak di dekat muara sebuah sungai daerah Putra Pinggan. Lokasi tepatnya Gua Menir adalah S 07o 40' 37,9" dan E 108o 42' 42,4", 500 meter ke selatan dari Jalan Raya Banjar-Pangandaran. Gua ini berada sekitar 2 km di arah barat Pantai Karang Nini Pangandaran.



Gambar 18. Gua Menir, Pangandaran terbentuk pada batuan breksi.

Batuan yang menyusun Gua Menir terdiri dari breksi (Gambar 18). Mulut gua tersebut hanya berjarak sekitar 50 meter dari tepi air laut apabila air laut sedang surut (Gambar 19).



Gambar 19. Jarak Gua Menir dengan Pantai Pangandaran

Pada lokasi ini dibuat 2 paritan untuk observasi, lokasi pertama berada di dalam gua berjarak sekitar 10 m dari mulut gua, sedangkan yang kedua berada di mulut gua (Gambar 20).

Kedalaman lubang galian di gua ini adalah 2,33 m dengan luas sekitar 1m x 2m. Penggalian tidak dapat dilakukan lebih dalam

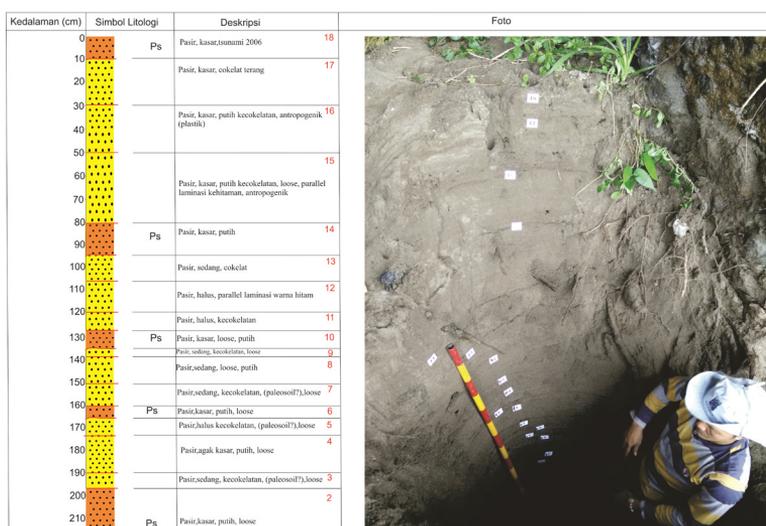
lagi karena sedimen yang belum kompak sehingga dikuatirkan longsor dan dapat menimbun pada waktu observasi dalam paritan dilakukan.

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan pada lokasi di mulut Gua Menir, ditemukan 5 lapisan yang dicurigai sebagai endapan paleotsunami. Lapisan-lapisan tersebut, dari bawah keatas, yaitu: Lapisan 2, Lapisan 6, Lapisan 10, Lapisan 14, dan Lapisan 18.

Lapisan 2 dengan ketebalan 23 cm, merupakan lapisan pasir dengan warna putih dan kontras dengan lapisan sebelumnya. Lapisan 6 dengan ketebalan 5 cm berupa pasir kasar berwarna putih. Lapisan 10 yang menunjukkan ciri yang sama dengan Lapisan 6, yaitu pasir kasar berwarna putih. Lapisan 14 berupa pasir kasar dan putih, dan Lapisan 18 yang merupan endapan tsunami tahun 2006. Urutan vertikal lapisan pada parit di mulut Gua Menir dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 20. Persiapan pembuatan paritan paleotsunami di Gua Menir, Pangandaran.

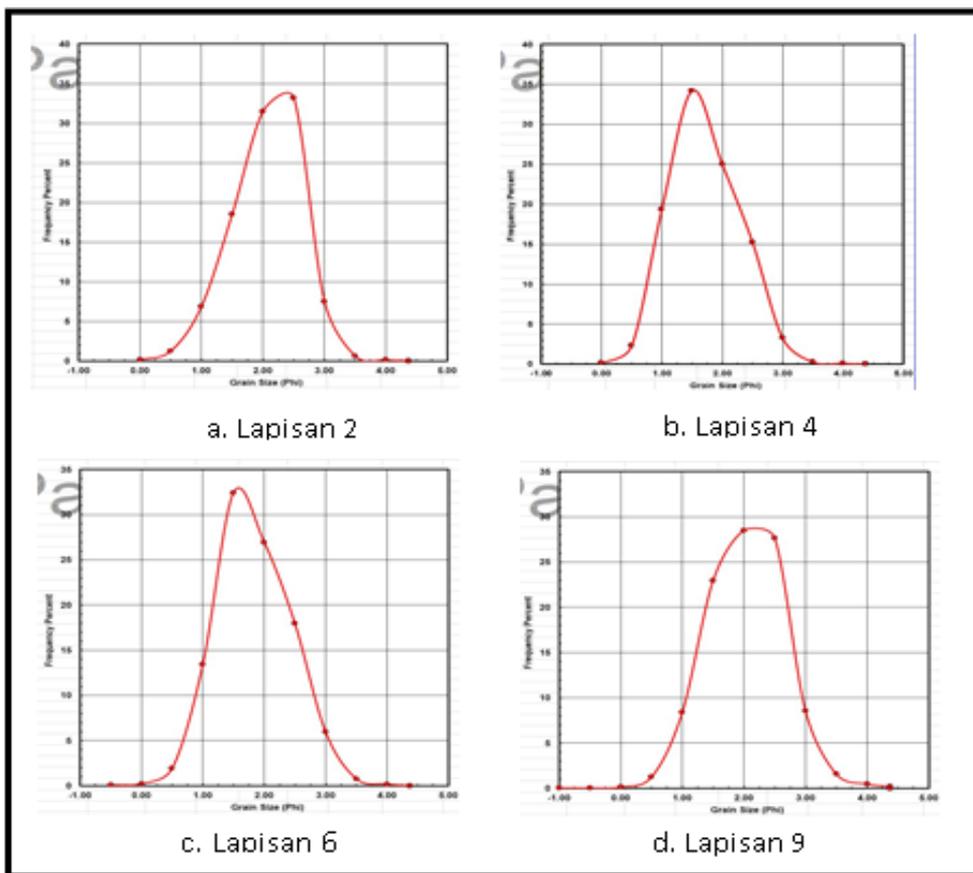


Gambar 21. Stratigrafi lapisan sedimen dari parit uji di mulut Gua Menir

Pada lokasi ini dilakukan analisis sebaran ukuran butir sebanyak 4 contoh yang lebih ditekankan pada lapisan yang tua (bawah) dari 5 lapisan yang dicurigai sebagai endapan tsunami yaitu Lapisan 2, Lapisan 4, Lapisan 6, dan Lapisan 9.

Hasil sebaran butir dari semua contoh tersebut terlihat sebaran ukuran butir yang tidak menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami (Gambar 22), sebaran secara keseluruhan dalam bentuk unimodus yang sangat kuat.

Mulai dari Gambar 22a sampai d, tidak terlihat dengan jelas adanya bentuk pola sebaran bimodus, sehingga dapat dikatakan bahwa sebaran ukuran butir pada lapisan ini dapat disebabkan oleh pengaruh tsunami dan dapat juga akibat pengaruh sedimentasi biasa dari pantai.



Gambar 22. Analisis sebaran ukuran butir dari endapan yang dicurigai sebagai endapan paleotsunami di Gua Menir, Putra Pinggan, Pangandaran.

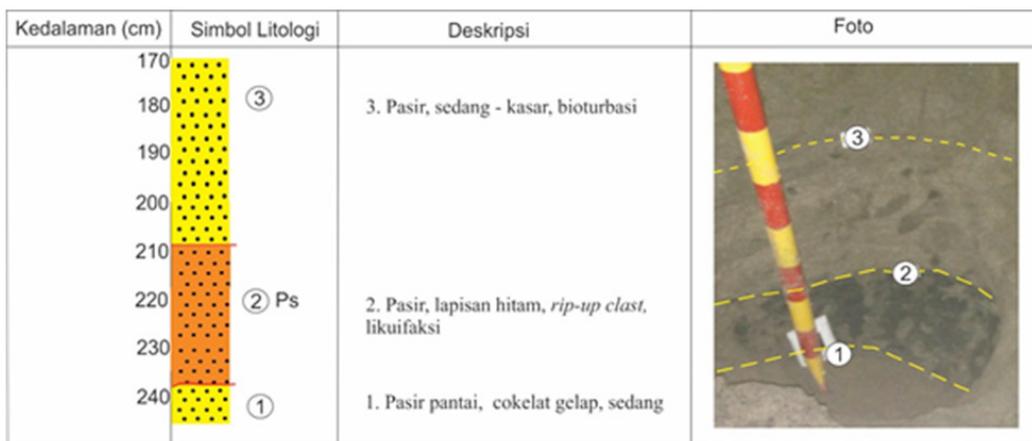
Analisis paleontologi menunjukkan bahwa lapisan-lapisan tersebut hanya mengandung mikrofosil dari lingkungan neritik dangkal sampai neritik tengah. Sampel pada Lapisan 4 menunjukkan adanya transportasi fosil dari lingkungan neritik dangkal. Hal ini ditandai dengan adanya percampuran antara *Ammonia* sp. dengan *Nodosaria* sp. Sampel Gua Menir Lapisan 6 menunjukkan hasil yang sama, yaitu transportasi fosil dari lingkungan neritik dangkal sampai neritik tengah. Hal ini dapat diamati dengan adanya percampuran *Ammonia* sp., *Nodosaria* sp. dengan *Pyrgo* sp. Hasil analisis sampel Gua Menir 9 juga menunjukkan transportasi fosil dari lingkungan neritik dangkal, dengan adanya pencampuran *Haphlophragmoides* sp. dengan *Elphidium* sp. serta terdapat pecahan cangkang moluska dan ostracoda yang tidak ditemui pada endapan gua di permukaan sekarang.

Tabel 5. Hasil analisis pada lapisan diduga endapan tsunami lokasi Mulut Gua Menir.

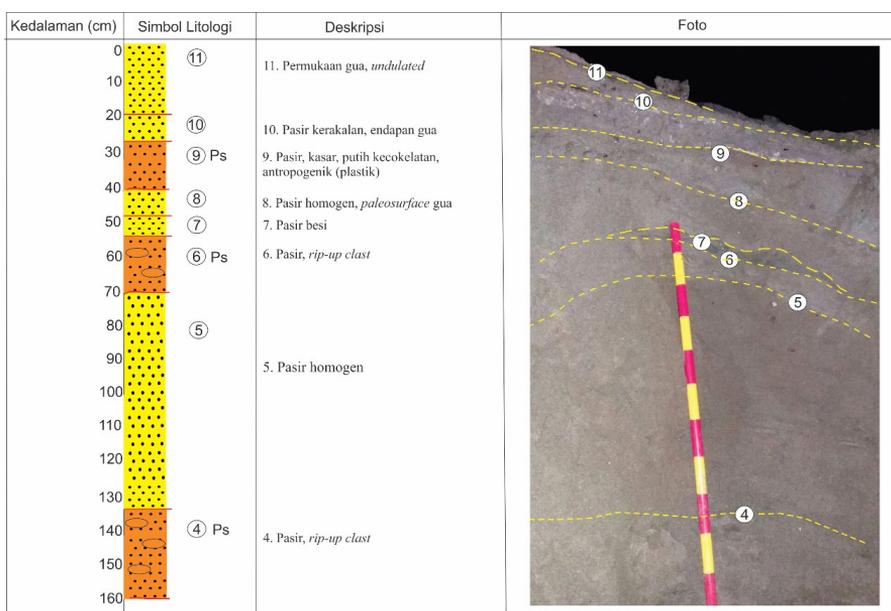
Lapisan	Analisa Ukuran Butir	Kandungan Biota Laut	Umur Pb-210
2	Tidak menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	-	-
4	Tidak menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Ammonia</i> sp; <i>Nodosaria</i> sp	-
6	Tidak menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Ammonia</i> sp., <i>Nodosaria</i> sp dan <i>Pyrgo</i> sp (mikrofosil lingkungan neritik dangkal sampai neritik tengah)	-
9	Tidak menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Ammonia</i> sp; <i>Elphidium</i> sp; Pecahan moluska dan ostracoda. (Mikrofossil Neritik Dangkal)	-

Hasil pengamatan paritan yang terletak di bagian dalam gua dijumpai 4 lapisan yang dicurigai sebagai endapan tsunami. Lapisan tersebut, dari bawah ke atas, adalah: Lapisan 2, Lapisan 4, Lapisan 6, dan Lapisan 9. Ketebalan masing-masing lapisan berkisar 3 -28 cm.

Pada umumnya endapan yang dicurigai sebagai endapan paleotsunami berupa pasir dengan rip up clasts dan terletak di atas endapan pasir pantai (Lapisan 2, 4, dan 6) atau berupa batupasir berwarna terang dan relatif segar di atas lapisan paleosoil (Gambar 23 dan 24).



Gambar 23. Urutan lapisan sedimen di dalam Gua Menir bagian bawah.



Gambar 24. Urutan lapisan sedimen di dalam Gua Menir bagian atas.

3.5. Lokasi Pantai Karapyak

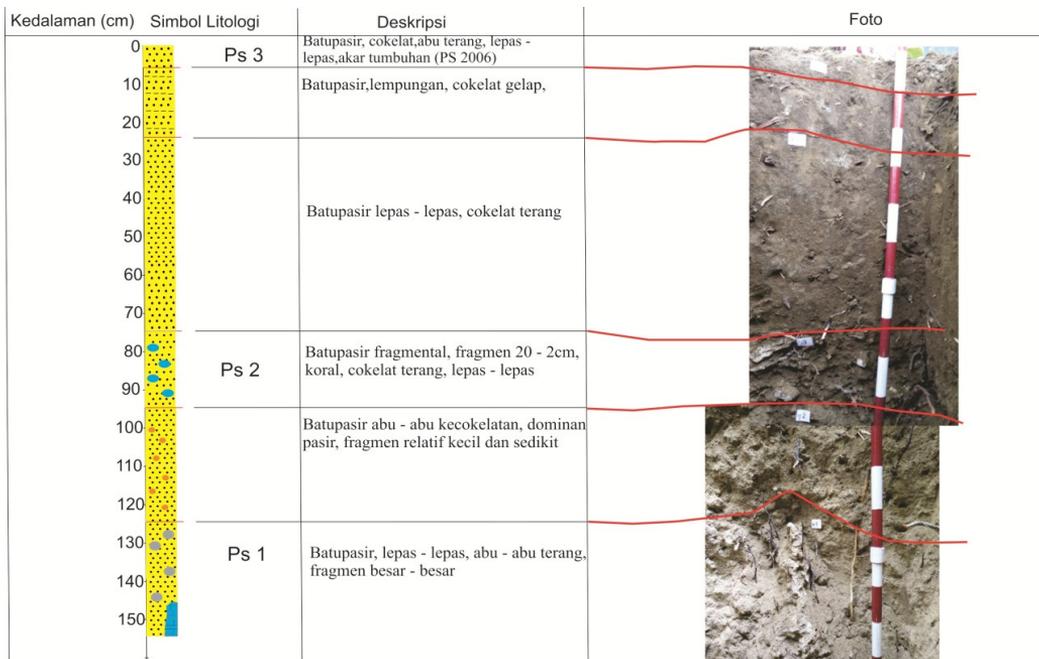
Pada Pantai Krapyak dilakukan pengamatan pada beberapa lokasi, Karapyak-1, Karapyak-2, Karapyak-3, Karapyak-4, Karapyak-5 dan Karapyak-6.

3.5.1. Titik Karapyak-1

Lokasi terletak dekat jalur evakuasi di pinggir sawah dengan koordinat: 07,69215 LS – 108,75398 BT. Di lokasi ini dilakukan pembuatan sumur pengamatan atau sumur uji (Test Pit) berukuran 1,5 x 1,5 x 1,5 m dengan kedalaman 205 cm (Gambar 25). Pada penampang lubang pengamatan/sumur uji terlihat adanya 6 perLapisan berdasarkan pada perbedaan warna lapisan batuan, 3 lapisan diantaranya diperkirakan sebagai lapisan endapan tsunami, yaitu Lapisan 1, Lapisan 3, dan Lapisan 6.

Lapisan yang diperkirakan sebagai endapan tsunami dijumpai di kedalaman dasar galian sumur – 125 cm (Lapisan 1) dan 95 – 75 cm (Lapisan 3) dari permukaan tanah dengan deskripsi sebagai berikut:

- Bagian paling bawah setebal 280 cm dari dasar sumur disusun oleh pasir lepas-lepas berwarna abu-abu terang, banyak mengandung fragmen yang besar-besar bahkan ada yang sampai hampir 1 m sumbu panjangnya. Fragmen terbesar yang ditemukan ini, posisinya relatif tegak dan diperkirakan bisa tegak akibat gelombang tsunami.
- Di atas lapisan ini dijumpai lapisan pasir berwarna abu-abu terang kecoklatan (Lapisan 2). Lapisan ini didominasi pasir dan hanya terdapat sedikit fragmen yang berukuran relatif kecil-kecil dibandingkan Lapisan 1 di bawahnya. Di atas lapisan ini kembali dijumpai lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami (Lapisan 3). Lapisan ini berupa batupasir fragmental berwarna coklat terang, bersifat lepas-lepas dengan ukuran fragmen antara 2 cm – 20 cm, fragmen pada umumnya berupa pecahan koral. Berturut-turut tiga lapisan di atas Lapisan 3 adalah: Lapisan 4 berupa batupasir lepas-lepas berwarna coklat terang; Lapisan 5 berupa batupasir lepas-lepas berwarna coklat gelap dan bersifat lempungan, serta Lapisan 6 berupa pasir lepas-lepas berwarna abu-abu terang kecoklatan.



Gambar 25. Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Karapyak 1.

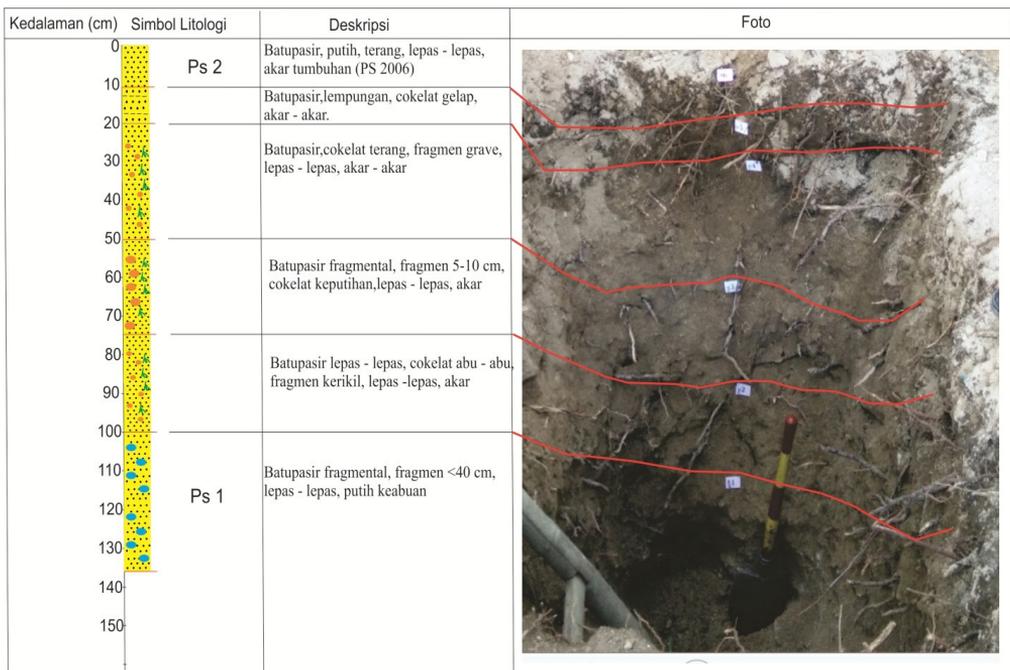
3.5.2. Titik Karapyak-2

Lokasi terletak di halaman rumah masyarakat setempat dengan koordinat: 07, 69432 LS – 108, 75703 BT. Kedalaman sumur uji adalah 135 cm (Gambar 26). Pada penampang lubang pengamatan/sumur uji terlihat adanya 6 perlapisan berdasarkan pada perbedaan warna. lapisan batuan, 3 lapisan diantaranya diperkirakan sebagai lapisan endapan tsunami, yaitu Lapisan 1, Lapisan 3, dan Lapisan 6.

Dari dasar sumur sampai ketebalan 35 cm diperoleh lapisan pasir berwarna putih keabuan (Lapisan 1), lepas-lepas dan mengandung fragmen koral dan batugamping yang besar-besar, dengan maksimal ukuran fragmen sekitar 40 cm. Seperti pada lokasi Karapyak 1, bagian terbawah dari terdiri dari lapisan pasir lepas-lepas dengan tebal 35 cm, berwarna putih keabuan dan banyak mengandung fragmen yang besar-besar, bahkan beberapa fragmen ukurannya lebih dari 40 cm. Berdasarkan ciri-ciri inilah maka lapisan ini dianggap sebagai endapan tsunami dan dianggap berkorelasi dengan

Lapisan 1 pada lokasi 1. Di atas Lapisan 1, seperti juga pada lokasi Karapyak 1, ditemukan Lapisan 2 (tebal 25 cm) berupa lapisan pasir lepas-lepas berwarna coklat keabuan, fragmennya dominan pasir dan ukuran butir kecil-kecil dibandingkan Lapisan 1. Pada lapisan ini juga ditemukan sisa akar pohon. Berdasarkan ciri-ciri ini maka lapisan ini dianggap sebagai *paleosoil*.

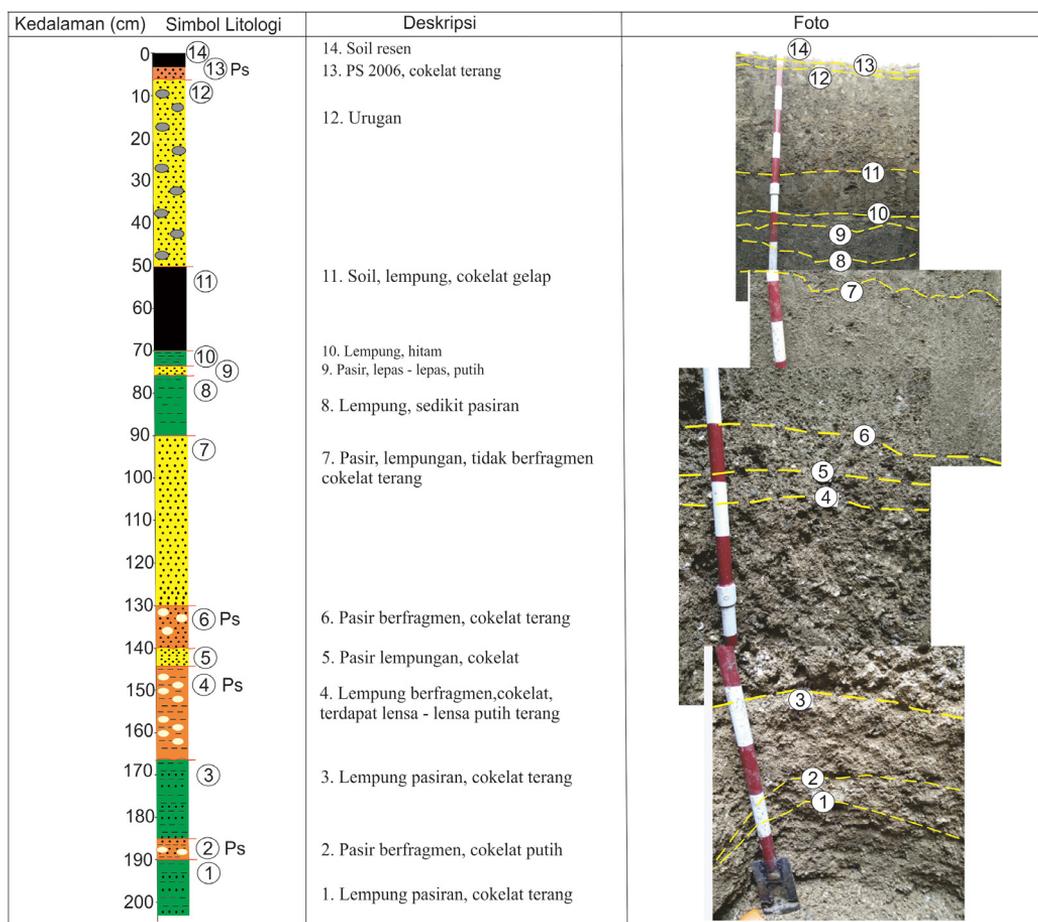
Di atas Lapisan 2 ditemukan Lapisan 3 yang juga diinterpretasikan sebagai endapan tsunami dengan tebal 25 cm. Ciri lapisan ini berupa lapisan pasir lepas-lepas berwarna coklat terang, mengandung banyak fragmen yang besar-besar (5 – 10 cm) dan juga terdapat sisa akar. Lapisan 4 (tebal 30 cm) yang diendapkan di atas Lapisan 3 memiliki ciri berupa lapisan pasir lepas-lepas, berwarna coklat terang, terdapat fragmen-fragmen kerikil (*gravel*) dan juga ditemukan bekas akar. Lapisan 5 (tebal 10 cm) berupa lapisan pasir lempungan berwarna coklat gelap dengan sisa akar. Lapisan 6 (tebal 10 cm) yang terdapat dipermukaan diperkirakan sebagai endapan tsunami yang terjadi tahun 2006, berupa lapisan pasir putih berwarna putih terang dan juga terdapat sisa akar.



Gambar 26. Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Karapyak 2

3.5.3. Titik Karapyak-3

Lokasi penggalian terletak di tanah Pak Pardi ditepi utara jalan yang memanjang sejajar Pantai Karapyak dengan koordinat: 07, 69560 LS – 108, 76180 BT. Kedalaman sumur uji adalah 200 cm seperti yang diperlihatkan pada Gambar 27.



Gambar 27. Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Karapyak 3

Pada lokasi sumur pengamatan ini diamati adanya 4 lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami, yaitu Lapisan 2, 4, 6 dan Lapisan 10 (Gambar 28). Lapisan terbawah atau Lapisan 1 tebalnya sekitar 15 cm dari dasar sumur, berupa lempung pasir (pasir pencampurnya adalah pasir kasar) berwarna coklat berbintik-bintik putih.

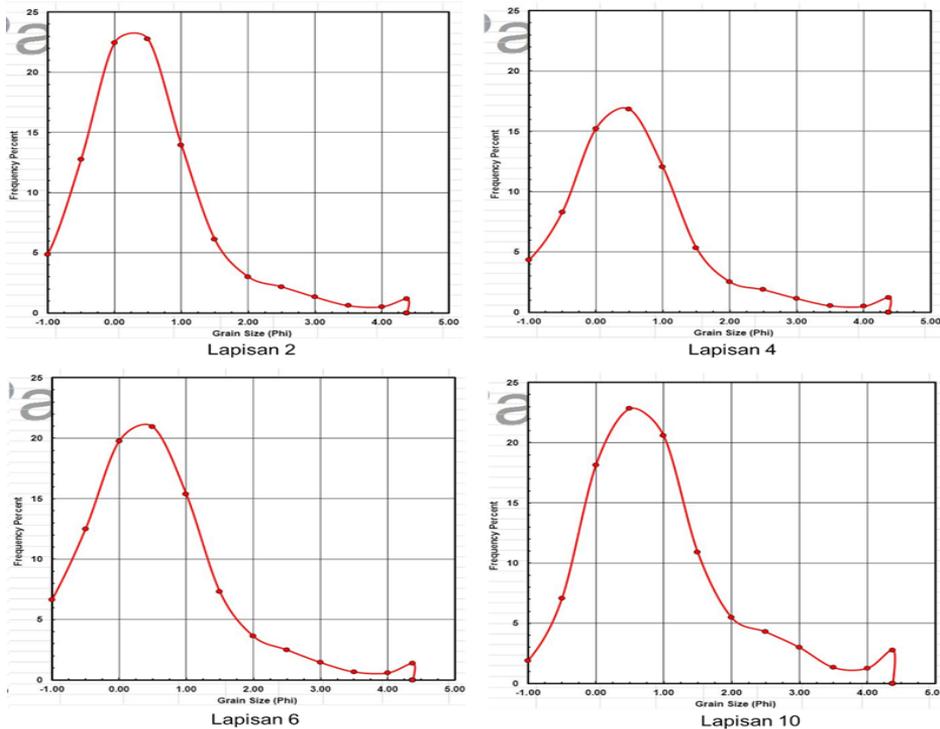
Lapisan 2 (tebal 5 cm) yang diperkirakan sebagai lapisan endapan tsunami di atas Lapisan 1, berupa lempung berfragmen (fragmen lebih halus dibandingkan Lapisan 1) berwarna coklat putih. Beberapa indikasi bahwa lapisan ini adalah endapan tsunami selain oleh ciri lapisan yang berwarna terang juga ditunjukkan oleh hasil analisis biota dan ukuran butir. Pada lapisan ini terdapat percampuran biota dari berbagai lingkungan, seperti *Quinqueloculina* sp. (neritik dangkal) dan *Dentalina* sp. (neritik tengah), sebagaimana dalam Tabel 6.

Di atas Lapisan 2 ini diendapkan Lapisan 3 (tebal 18 cm) berupa lempung pasiran (pasir pencampur berupa pasir kasar) berwarna coklat terang. Lapisan 3 ini terutama dari warnanya yang mulai kecoklatan, diperkirakan sebagai paleosoil hasil pelapukan lapisan dibawahnya. Lapisan 4 yang diendapkan di atas Lapisan 3 dengan kontak bidang erosi diinterpretasikan sebagai endapan tsunami berikutnya. Lapisan 4 ini tebalnya sekitar 20 cm, terdiri dari lempung berfragmen berukuran pasir kasar sampai kerikil, masa dasar berwarna coklat keabuan dan fragmen berwarna putih terang.

Hasil analisis biota menunjukkan adanya biota bentik yang tertransport dari neritik dangkal seperti *Oolina* sp. dan *Eponides* sp. (Tabel 6). Hasil analisis ukuran butir menunjukkan adanya perubahan gradien garis yang kontras, mengindikasikan perubahan tiba-tiba dari arus tenang (suspensi) menjadi arus traksi yang kuat. Perubahan kecepatan arus ini diperkirakan akibat tsunami. Di atas Lapisan 4 ini diendapkan lapisan yang diperkirakan sebagai paleo-soil setebal 5 cm (Lapisan 5) berupa pasir lempungan berwarna coklat. Lapisan 6 (tebal 10 cm) yang terletak di atas Lapisan 5 diperkirakan sebagai endapan tsunami berikutnya. Litologi lapisan ini berupa pasir gampingan, berfragmen berwarna coklat terang. Pada lapisan ini ditemukan biota *Bulimina* sp. yang diperkirakan tertransport dari zona neritik tengah (Tabel 6).

Hasil analisis ukuran butir baik grafik semi-log maupun kurva keseragaman butir tidak terlalu jelas mengindikasikan lapisan ini sebagai endapan tsunami. Di atas Lapisan 6 diendapkan Lapisan 7 setebal 40 cm, berupa pasir lempungan berwarna coklat terang dan dibandingkan dengan lapisan-lapisan di bawahnya, lapisan ini pasirnya tidak berfragmen.

Lapisan di atasnya adalah Lapisan 8 setebal 15 cm, berupa lapisan lempung berwarna coklat gelap dan sedikit pasiran. Lapisan 8 ini diperkirakan sebagai paleosoil. Lapisan 9 (tebal 5 cm) di atas Lapisan 8 berupa lempung berwarna coklat gelap dan juga diperkirakan sebagai tanah seperti Lapisan 8. Lapisan 10 (tebal 5 cm) di atas Lapisan 9 juga diperkirakan sebagai endapan tsunami paling muda di sumur uji ini.



Gambar 28. Analisis sebaran ukuran butir dari endapan yang dicurigai sebagai endapan paleotsunami di lokasi Karapyak.

Lapisan 10 berupa lapisan lempung hitam pada bagian bawahnya, dan bagian tengahnya berupa pasir lepas-lepas berwarna putih kemudian berubah menjadi lempung coklat gelap pada bagian atasnya. Walaupun Lapisan 10 ini di lapangan mengindikasikan sebagai endapan tsunami, tetapi tidak ditemukan foram (barren) dan juga hasil analisis ukuran butir tidak terlalu jelas mengindikasikan sebagai endapan tsunami. Lapisan 11 (tebal 20 cm) yang diendapkan di atas Lapisan 10 adalah lapisan soil (lempung) berwarna coklat gelap.

Lapisan 12 (tebal 48 cm) di atas Lapisan 11 adalah lapisan yang terbentuk akibat urugan. Sebelum lapisan soil resen di permukaan, terdapat lapisan tipis (Lapisan 13) batupasir berwarna kuning terang dan lepas-lepas yang diperkirakan sebagai endapan tsunami tahun 2006.

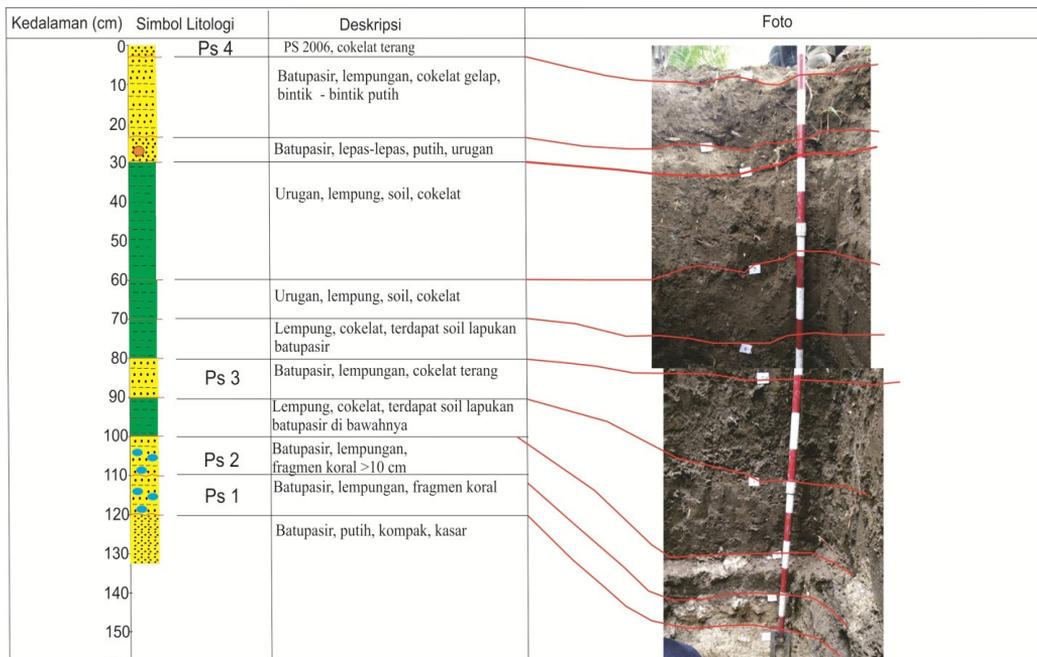
Analisa umur sedimen yang diduga merupakan endapan tsunami pada lokasi ini dilakukan dengan menggunakan metode OSL.

Tabel 6. Hasil analisis pada beberapa lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami di lokasi Karapyak 3.

Lapisan	Analisa Ukuran Butir	Kandungan Biota Laut	Umur Pb-210
10	Menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	Barren	-
6	Menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Bulimina subornata</i> , <i>Lagena hispida</i> , <i>Virgulina bradyi</i> <i>Bolivina sp.</i> , <i>Nodosaria sp.</i> (percampuran neritik dangkal – luar)	-
4	Menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Eponides sp.</i> , <i>Oolina globosa</i> <i>Bolivina sp.</i> (percampuran neritik dangkal – tengah)	-
2	Menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Discorbis sp.</i> , <i>Quinqueocullina undulate</i> , <i>Dentalina sp.</i> (Percampuran neritik dangkal - tengah)	-

3.5.4 Titik Karapyak-4

Lokasi penggalian terletak sekitar 5 meter lebih ke timur dari tempat pengamatan lokasi Pantai Karapyak tahun 2011, yaitu dekat muara hulu sungai kecil yang menjadi tempat pembuangan sampah pada koordinat: 07, 69512 LS – 108, 76082 BT. Kedalaman sumur uji pada lokasi ini adalah 215 cm seperti yang diperlihatkan pada Gambar 29.



Gambar 29. Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Karapyak 4.

Pada penampang lubang pengamatan/sumur uji terlihat adanya 11 perlapisan berdasarkan pada perbedaan warna, besar butir dan ciri lapisan batuan, 5 lapisan diantaranya diperkirakan sebagai lapisan endapan tsunami, yaitu Lapisan 2, Lapisan 5, Lapisan 9, dan Lapisan 11. Lapisan 1 dengan tebal 15 cm diduga sebagai endapan tsunami. Ciri Lapisan 2 berupa pasir putih, setempat bersifat lempungan dan terdapat fragmen-fragmen koral. Lapisan 3 (tebal 10 cm) terdapat di atas Lapisan 2 juga diperkirakan sebagai endapan tsunami dengan ciri lapisan pasir lempungan dan terdapat fragmen-fragmen koral.

Lapisan 4 (tebal 30 cm) di atas Lapisan 3 diperkirakan sebagai pelapukan (soil) dari Lapisan 3 berupa lapisan lempung berwarna coklat tanah.

Lapisan 5 (tebal 30 cm) yang dianggap sebagai endapan tsunami berikutnya, diendapkan di atas Lapisan 4 berupa lapisan pasir lempungan berwarna coklat terang. Lapisan 6 (tebal 30 cm) di atas Lapisan 5 diperkirakan sebagai lempung soil (lapukan dari Lapisan 5) berwarna coklat. Di atas Lapisan 6 terdapat lapisan hasil urugan (Lapisan 7) setebal 30 cm berwarna coklat tanah terdiri dari lempung dan soil. Di atas Lapisan 7 terdapat Lapisan 8 (tebal 30 cm), dianggap sebagai urugan yang lain berupa lempung soil berwarna coklat tanah keabuan. Lapisan 9 (tebal 5 cm) yang diendapkan di atas Lapisan 8 juga dianggap sebagai endapan tsunami dicirikan sebagai lapisan batupasir agak kasar, lepas-lepas berwarna putih, bercampur dengan kain (antropogenik) dan urugan. Lapisan 10 (tebal 5 cm) yang terletak di atas Lapisan 9 diinterpretasikan sebagai soil (hasil pelapukan) berupa Lapisan pasir lempungan berwarna coklat gelap berbintik-bintik putih. Lapisan teratas (Lapisan 11) di atas Lapisan 10, Ciri lapisan ini adalah lapisan pasir lepas-lepas berwarna kuning terang dan diinterpretasikan sebagai endapan tsunami yang terjadi tahun 2006.

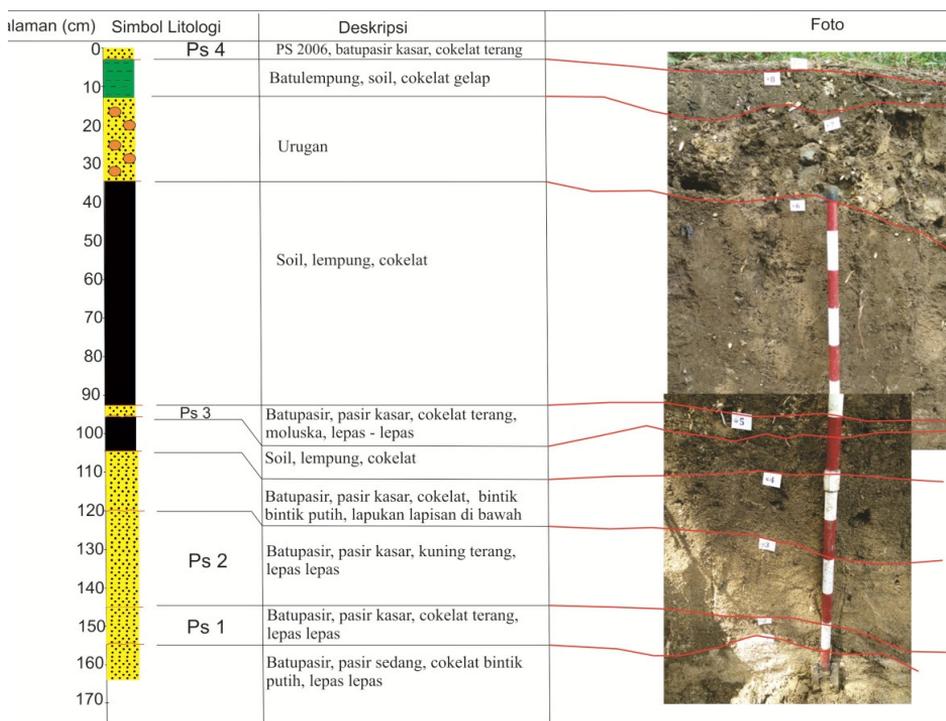
3.5.5. Titik Karapyak-5

Lokasi ini adalah tepat di muara hulu sungai kecil pada koordinat: 07,69513 LS – 108,76064 BT. Lokasi ini diamati ulang untuk memastikan kemenerusan lapisan yang diperkirakan sebagai endapan paleotsunami pada penelitian tahun 2011. Kedalaman sumur uji adalah 150 cm (Gambar 30). Pada penampang lubang pengamatan/sumur uji terlihat adanya 9 perLapisan berdasarkan pada perbedaan warna, besar butir dan ciri lapisan batuan, 4 Lapisan diantaranya diperkirakan sebagai lapisan endapan tsunami, yaitu Lapisan 2, Lapisan 3, Lapisan 5, dan Lapisan 9.

Lapisan terbawah (Lapisan 1) dari sumur uji ini kira-kira tebalnya 10 cm dari dasar sumur berupa lapisan pasir kasar berwarna putih terang dan kompak. Lapisan 2 di atas Lapisan 1 dengan tebal 10 cm diduga sebagai endapan tsunami. Ciri Lapisan 2 berupa pasir lempungan berwarna coklat gelap dan lepas-lepas. Lapisan 3 (tebal 25 cm) terdapat di atas Lapisan 2

juga diperkirakan sebagai endapan tsunami dengan ciri lapisan pasir kasar berwarna kuning terang dan lepas-lepas. Lapisan 4 (tebal 15 cm) di atas Lapisan 3 diperkirakan sebagai pelapukan dari Lapisan 3 berupa lapisan pasir kasar berwarna coklat berbintik-bintik putih. Lapisan 5 (tebal total 12,5 cm) yang dianggap sebagai endapan tsunami berikutnya, diendapkan di atas Lapisan 4, bagian bawahnya berupa soil hasil pelapukan dan bagian atasnya setebal 2,5 cm berupa endapan tsunami dengan ciri berupa lapisan pasir kasar lepas-lepas berwarna putih terang, agak lempungan dan terdapat pecahan moluska. Lapisan 6 (tebal 60 cm) di atas Lapisan 5 diperkirakan sebagai lempung soil berwarna coklat gelap.

Di atas Lapisan 6 terdapat lapisan hasil urugan (Lapisan 7) setebal 20 cm diperkirakan sebagai urugan jalan yang dilakukan tahun 1998. Di atas Lapisan 7 terdapat Lapisan 8 (tebal 10 cm), dianggap sebagai lempung soil berwarna coklat gelap. Lapisan 9 (tebal 3 cm) di atas Lapisan 8 dengan ciri lapisan pasir kasar lepas-lepas berwarna putih terang diinterpretasikan sebagai endapan tsunami yang terjadi tahun 2006.



Gambar 30. Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Karapyak 5.

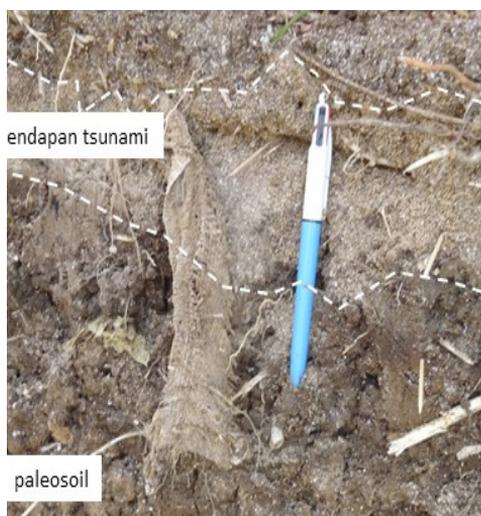
Endapan tsunami yang di atas (dekat permukaan) dianggap sebagai produk tsunami tahun 2006 (Gambar 31 dan 32).

Peristiwa tsunami pada tahun 2006 yang menghasilkan endapan tsunami 2006 tersebut disampaikan oleh saksi mata penduduk setempat (Bapak Pardi dan Ibu Ning) dan seorang warga Perancis yang tinggal di Pangandaran bernama Ibu Chaterine. Para saksi ini menjelaskan bahwa gelombang tsunami datang 2 kali ke arah daratan pantai. Bapak Pardi juga memberikan kesaksian adanya badai pada bulan November 2017 yang menghasilkan endapan seperti terlihat pada Gambar 33.

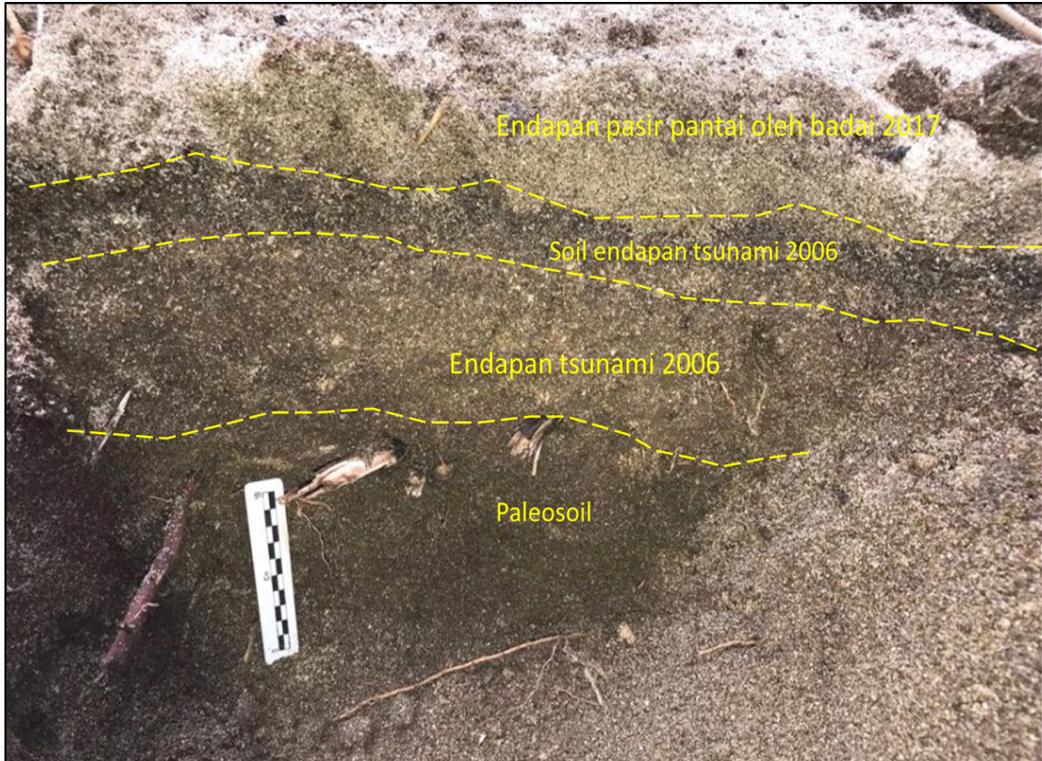
Pada waktu dilakukan pengamatan ulang di lokasi endapan tsunami tahun 2006 di titik yang berdekatan, pada pengamatan ini, terlihat adanya kontak antara lapisan pasir hasil endapan tsunami dan lapisan pasir oleh endapan badai yang terjadi pada tahun 2017 (Gambar 33).



Gambar 31. Singkapan yang menunjukkan lapisan tsunami (warna terang/putih). Lapisan endapan tsunami bagian atas diperkirakan sebagai produk tsunami tahun 2006. Lokasi hulu sungai kecil yang dijadikan tempat sampah, berjarak 1,5 meter dari lokasi Karapyak 5.



Gambar 32. Tampak dekat lapisan endapan tsunami yang di atas pada gambar sebelumnya (Gambar 31), yang memperlihatkan unsur antropogen sisa karung plastik sebagai produk tsunami tahun 2006. Lokasi hulu sungai kecil yang dijadikan tempat sampah, 1,5 meter dari lokasi Karapyak 5.



Gambar 33. Kontak antara endapan tsunami tahun 2006 dengan endapan badai tahun 2017 di daerah Karapyak. Lokasi pelataran di dekat hulu sungai kecil yang dijadikan tempat sampah, 10 meter arah selatan dari lokasi Karapyak 5

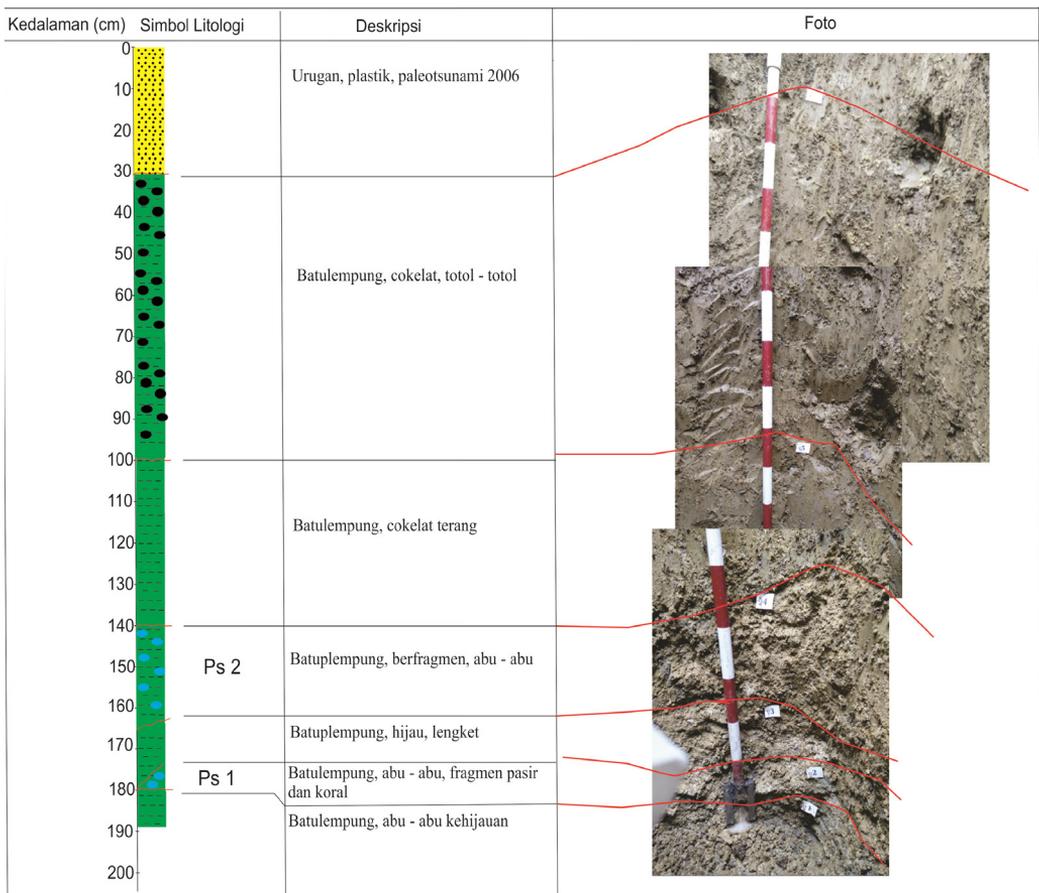
3.5.6. Titik Karapyah-6

Lokasi ini berada di koordinat: 07,69122 LS – 108,75451 BT, di dekat jalur evakuasi (kemenerusan jalur evakuasi pada lokasi 1) tetapi lebih ke arah darat (lebih ke arah utara), tepatnya di kaki bukit sebelum jalur evakuasi yang awalnya (dekat jalan) mendatar menjadi tanjakan. Kedalaman sumur uji adalah 210 cm (Gambar 34).

Pada penampang lubang pengamatan/sumur uji di lokasi ini terlihat adanya 7 lapisan berdasarkan pada perbedaan warna, besar butir dan ciri apisan batuan, 3 apisan diantaranya diperkirakan sebagai apisan endapan tsunami, yaitu Lapisan 2, Lapisan 4, dan Lapisan 7.

Lapisan terbawah (Lapisan 1) dari sumur uji ini kira-kira tebalnya 10 cm dari dasar sumur berupa lapisan lempung abu-abu kehijauan. Lapisan 2 melensa di atas Lapisan 1 dengan tebal sekitar 10 cm diduga sebagai endapan tsunami.

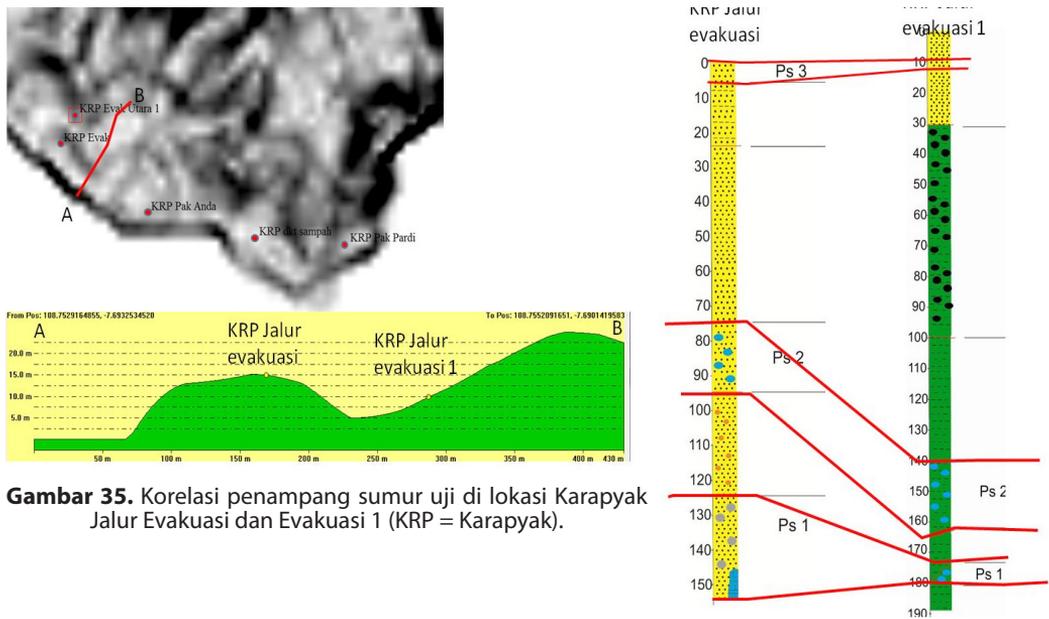
Ciri Lapisan 2 berupa lempung abu-abu berfragmen pasir dan koral. Lapisan 3 (tebal 15 cm) terdapat di atas Lapisan 1 dan 2 berupa batulempung berwarna hijau yang sangat lengket. Lapisan 4 (tebal 25 cm) diendapkan di atas Lapisan 3 diperkirakan sebagai endapan tsunami berikutnya, dengan ciri Lapisan lempung berfragmen koral besar-besar. Lapisan 5 (tebal 40 cm) di atas Lapisan 4, dengan ciri Lapisan lempung berwarna coklat terang. Lapisan 6 (tebal 100 cm) di atas Lapisan 5 berupa lempung berwarna coklat bertotol-totol hitam. Lapisan teratas adalah Lapisan 7 di atas Lapisan 6. Lapisan ini diperkirakan sebagai urugan, terdiri dari sampah plastik dan diperkirakan sebagai lubang tsunami tahun 2006.



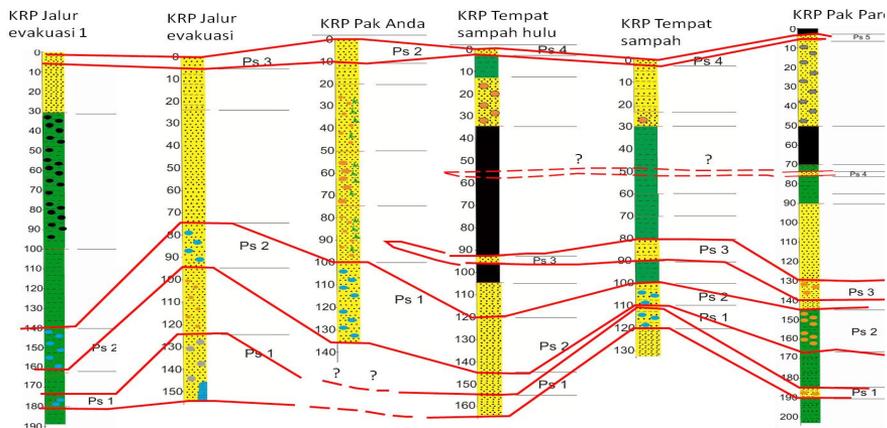
Gambar 34. Penampang dan zonasi lapisan sumur uji di lokasi Karapyak 6.

Dari data lapangan dan data analisis laboratorium contoh-contoh yang berasal dari beberapa lokasi pengamatan di daerah Karapyak kemudian dibuat korelasi sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 35 dan 36.

Hasil korelasi menunjukkan adanya beberapa lapisan paleotsunami yang menerus yang didapatkan diseluruh daerah Karapyak, kecuali ada 2 lapisan yang hanya menerus di 3 sumur uji. Lapisan paling atas adalah lapisan akibat tsunami tahun 2006.



Gambar 35. Korelasi penampang sumur uji di lokasi Karapyak Jalur Evakuasi dan Evakuasi 1 (KRP = Karapyak).

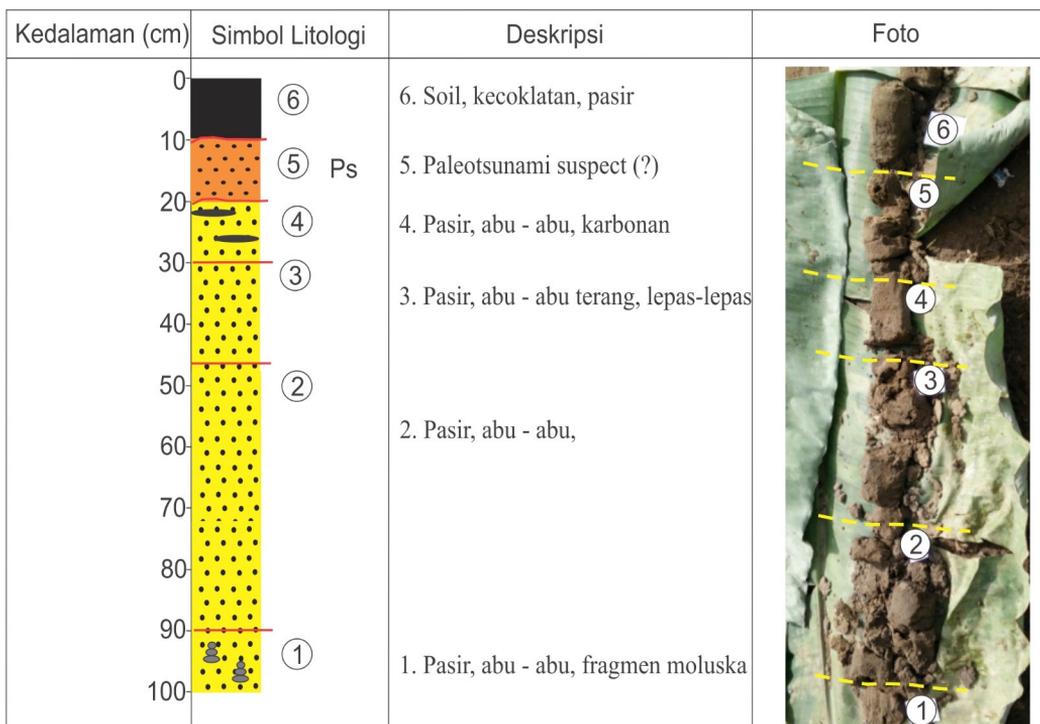


Gambar 36. Korelasi penampang beberapa Sumur uji di lokasi Karapyak (KRP = Karapyak).

3.6. Lokasi Palataran

Lokasi pengamatan Palataran terletak di tengah ladang penduduk dengan koordinat 7.68861 LS - 108.79027 BT. Pengambilan sampel pada lokasi ini dilakukan dengan menggunakan hand bor dan hanya didapatkan satu lapisan yang dicurigai sebagai endapan paleotsunami.

Endapan palotsunami ini adalah lapisan batupasir berwarna abu-abu terang (Lapisan 5 dan Gambar 37), yang diapit oleh batupasir karbonan di bagian bawah dan lapisan paleosoil berupa batupasir lempungan berwarna kecoklatan di bagian atasnya.



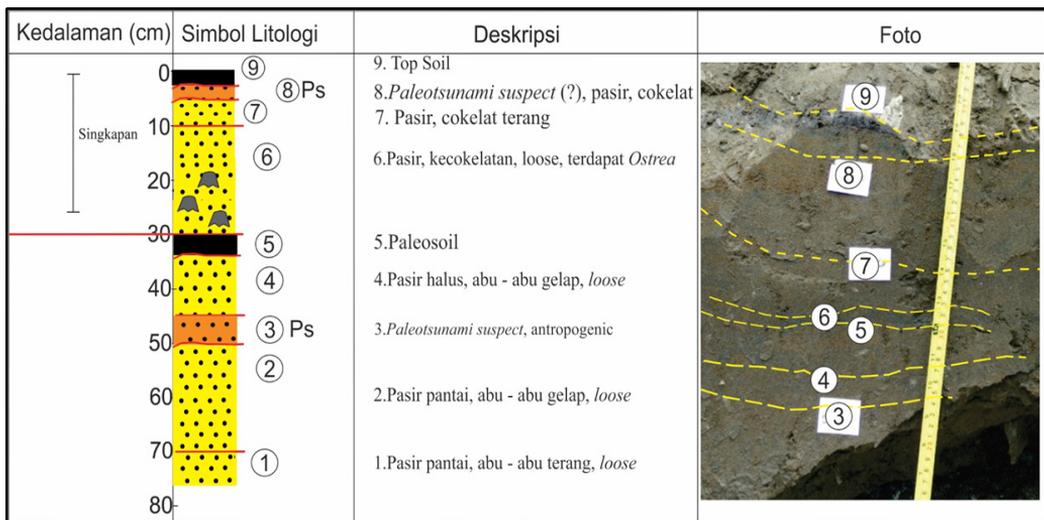
Gambar 37. Stratigrafi dari sedimen hasil bor di daerah Palataran.

3.7. Lokasi Tangkisan

Lokasi pengamatan endapan paleotsunami Tangkisan terletak di tengah sawah kering milik penduduk setempat dengan koordinat 7.685 LS - 108.775 BT. Pada lokasi ini penggalian paritan dilakukan dengan menggunakan cangkul.

untuk bagian atas dan menggunakan hand bor pada bagian bawah. Karena sifat material sangat liat, sehingga pemboran dengan menggunakan mesin hand bor tidak dapat menembus terlalu dalam.

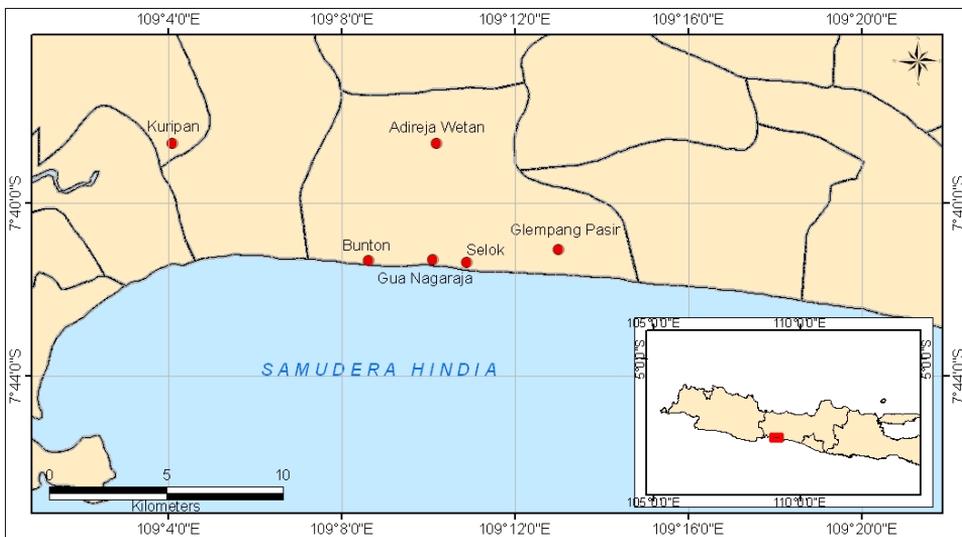
Hasil pengamatan menunjukkan setidaknya terdapat empat (4) lapisan endapan paleotsunami (Gambar 38) yaitu: Lapisan 2e berupa batupasir halus lepas-lepas berwarna coklat terang, Lapisan 1c berupa lapisan batupasir antropogenik halus kecoklatan, Lapisan 1 berupa batupasir lepas-lepas berwarna kecoklatan di atas lapisan paleosoil dan Lapisan 3 berupa batupasir lepas-lepas kecoklatan yang mengindikasikan terdapatnya gejala liquefaction pada waktu pembentukan.



Gambar 38. Stratigrafi dari paritan daerah Tangkisan

BAB 4: PENELUSURAN JEJAK TSUNAMI MASA LALU DI CILACAP

Studi Paleotsunami di wilayah Cilacap dilakukan di 13 (tiga belas) lokasi, yaitu: Kuripan, Adipala, Bunton, Adireja Wetan, Gua Nagaraja, Selok, Glempang Pasir, Kebon Dalem, Pantai Ayah, Jetis, Lengkong, Widara Payung (Gambar 39).



Legenda:

- Lokasi Survei
- Batas Kecamatan

Gambar 39. Lokasi titik pengamatan studi paleotsunami Cilacap

4.1. Lokasi Kuripan

Titik pengamatan terdapat pada lokasi bekas galian pasir yang terdapat di kampung Wungu Sanggari, dengan koordinat 7.645 LS - 109.076 BT. Lokasi ini berada cukup jauh dari pantai selatan yaitu sekitar 5 km di utara Cilacap. Pada dinding yang dikikis oleh aktivitas penambangan nampak perlapisan batuan sedimen yang cukup besar tersingkap jelas. Singkapan batuan sedimen ini umumnya menunjukkan perselingan batupasir dengan batulempung karbonatan.

Di salah satu sudut lokasi kuari terdapat singkapan kecil yang berupa perselingan antara batupasir kasar batupasir halus dan batulanau. Dari kekerasannya dapat diperkirakan bahwa batuan sedimen ini cukup tua dengan kisaran umur sekitar Miosen - Pliosen. Pada singkapan ini dijumpai 1 lapisan yang dicurigai sebagai endapan tsunami, yaitu Lapisan 4 dan 5 dengan ketebalan 22 – 26 cm (Gambar 41). Lapisan 4 dialasi oleh paleosoil yang berupa lapisan berwarna coklat dengan ketebalan sekitar 5 cm. Lapisan 4 sendiri berupa batupasir kasar yang mengandung fragmen konglomerat serta terdapat struktur rip up di bagian dasar lapisan.

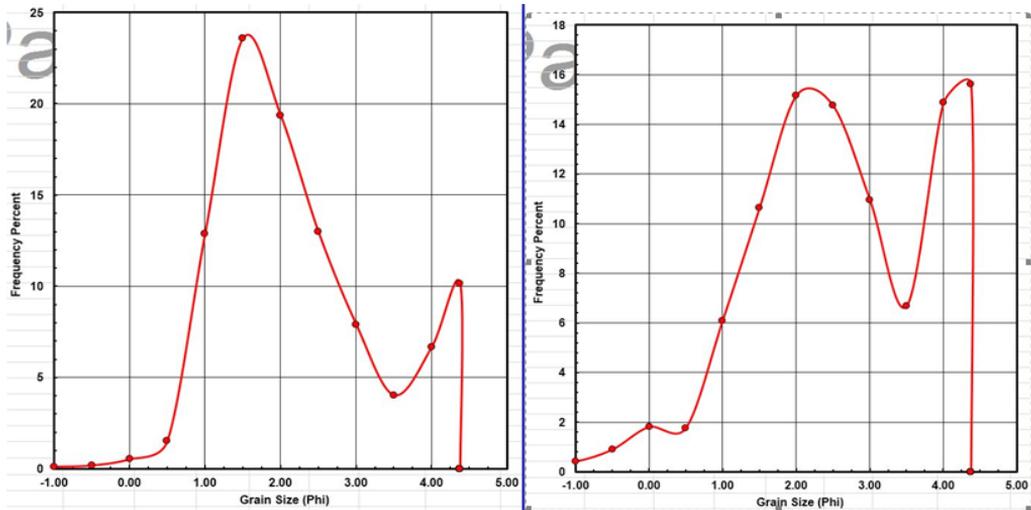


Gambar 40. Singkapan batuan sedimen laut berupa perselingan napal, batupasir, breksi dan lempung berumur Miosen Akhir - Pliosen di Desa Kuripan. Di dalam paket batuan sedimen ini dijumpai adanya Lapisan suspect tsunami. Garis putus-putus dengan panah merah adalah jejak sesar normal.

Kedalaman (cm)	Simbol Litologi	Deskripsi	Foto
0	⑩	10. Batupasir kasar, abu - abu	
10	⑨	9. Paleosoil, lempung lanauan, kecokelatan	
20	⑧	8. Perselingan batupasir kuning dengan batupasir hitam	
30	⑦	7. Paleosoil, lempung kecokelatan	
40	⑥	6. Batupasir, flaser,	
50	⑤	5. Batupasir, kemerahan, <i>rip-up clast</i>	
60	④	4. Batupasir konglomeratan, <i>rip - up clast</i>	
70	③	3. Paleosoil, lempung lanauan, kuning	
80	②	2. Batupasir kasar, cokelat terang	
90	①	1. Batupasir kasar, abu - abu gelap, <i>rip-up</i>	

Gambar 41. Stratigrafi detail lapisan *suspect* tsunami dalam sedimen Pliosen di desa Kuripan

Pada lokasi ini 2 contoh sampel diambil dari Lapisan 5 dan Lapisan 4 untuk dilakukan analisis sebaran ukuran butir. Hasil sebaran butir dari contoh tersebut terlihat sebaran ukuran butir yang sangat signifikan dari suatu endapan tsunami (Gambar 42), sebaran dalam bentuk bimodus yang sangat kuat.



Gambar 42. Hasil analisis ukuran butir pada sampel dari Desa Kuripan.

Gambar 42 (kiri) merupakan hasil sebaran ukuran butir dari Lapisan 5 dan Gambar 42 (kanan) merupakan sebaran ukuran butir Lapisan 4. Pada Gambar terlihat pada lapisan 4 fragmen berupa rip up clay clast yang mengambang dalam masa dasar pasir sedang pada Lapisan 5 kandungan butirannya (fragmen) yang lebih halus, sehingga dapat ditafsirkan bahwa Lapisan 4 terbentuk saat gelombang tsunami yang besar sebagai gelombang datang dan Lapisan 5 sebagai arus baliknya dengan kekuatan arus yang relatif kecil dibandingkan gelombang datang.

Mikrofosil yang dijumpai pada Lapisan 4 (Tabel 7) adalah *Orbulina universa*, *Globorotalia tumida*, *Globoquadrina dehiscens*, *Amphistegina sp.*, *Ammonia sp.*, *Nodosaria sp.* Berdasarkan atas *First Appearance Datum* (FAD) dari *Globorotalia tumida tumida* dan *Last Appearance Datum* (LAD) dari *Globoquadrina dehiscens*, maka sampel tersebut berumur N – 18 atau setara dengan Miosen Akhir – Pliosen. Umur N – 18 secara umur mutlak setara dengan 5,33 juta tahun yang lalu (Gradstein dkk., 2004).

Pada analisis foraminifera bentonik yang diambil pada sampel Desa Kuripan No. 3-4, terdapat pencampuran fosil dari batimetri Neritik Tengah, yaitu *Amphistegina sp.* dengan fosil dari batimetri yang lebih dangkal, yaitu *Ammonia sp.*, yang hidup dari lingkungan pantai – Neritik Dalam. Adanya pencampuran fosil ini merupakan indikasi lain sebagai endapan paleotsunami. Hasil yang sama ditunjukkan oleh sampel Desa Kuripan 8 – 9.

Telah terjadi percampuran fosil dari batimetri Neritik Tengah, yaitu *Robulus sp.*, dengan fosil dari batimetri yang lebih dangkal, yaitu *Haphlophragmoides sp.*, yang hidup dari lingkungan pantai bakau.

Tabel 7. Hasil analisis pada beberapa lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami di lokasi Kuripan.

Lapisan	Analisa Ukuran Butir	Kandungan Biota Laut	Umur Pb-210
5	Menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Orbulina universa</i> , <i>Globorotalia tumida</i> <i>Sphaerodinellopsis sp.</i> , <i>Robulus sp.</i> <i>Haphlophragmoides sp.</i> , <i>Nodosaria sp.</i> (neritik dalam)	Miosen Akhir-Pliosen
4	Menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Orbulina universa</i> , <i>Globorotalia tumida</i> <i>Globoquadrina dehiszens</i> , <i>Ammonia sp.</i> <i>Amphistegina sp.</i> , <i>Nodosaria sp.</i> (neritik dalam - tengah)	Miosen Akhir - Pliosen

4.2. Lokasi Lengkong

Singkanan di jumpai pada sisi utara punggung pasir (dune) yang memanjang sepanjang Pantai Lengkong pada lokasi 7.694 LS – 109.065 BT (Gambar 43), sebagian sebagai tanggul buatan untuk menghalangi gelombang besar dan sebagian lagi sebagai tanggul alam.

Pengenalan singkanan terlihat dari perubahan warna antara yang dianggap sebagai endapan pasir (dune) dengan warna lapisan penutupnya (Gambar 44), abu-abu (bagian bawah) yang ditutupi oleh warna abu-abu terang dengan batas berupa tanah purba (paleosol) (Gambar 45).

Pada singkapan terlihat adanya bentuk kemiringan dasar lapisan penutup yang diperkirakan sebagai kemiringan akibat pengaruh topografi saat pengendapan lapisan penutup yang kearah atas berangsur menjadi lebih datar.

Pada lapisan penutup tidak dijumpai adanya struktur sedimen, sedang pada lapisan dibawahnya dijumpai adanya struktur sedimen berupa perLapisan silang dan perlapisan sejajar.

Di lokasi ini dilakukan pengukuran penampang lateral pantai, yang datanya dapat dilihat dalam Tabel 8 dan Gambar 46.

Berdasarkan keterangan saksi mata (Ibu Kitem, 48 tahun), saat terjadi tsunami tahun 2006, perahu-perahu terbawa arus tsunami hingga batas jalan, lebih dari 10 perahu hancur, namun tak ada korban dari daerah ini. Endapan tsunami berupa lapisan pasir yang menutupi vegetasi rumput (Gambar 47).



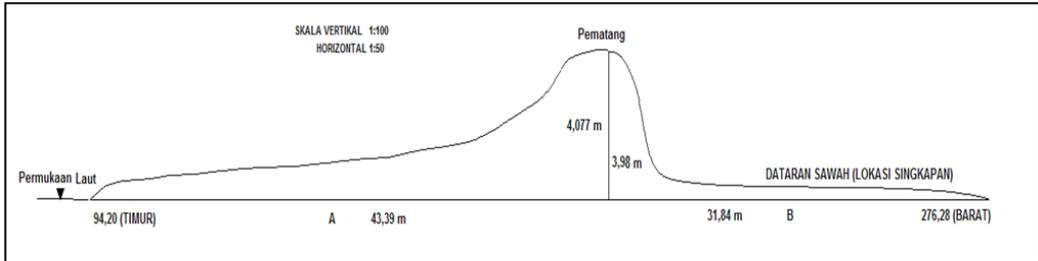
Gambar 43. Kenampakan morfologi dan lokasi pengamatan endapan tsunami.



Gambar 44. Singkapan yang dicurigai sebagai endapan tsunami



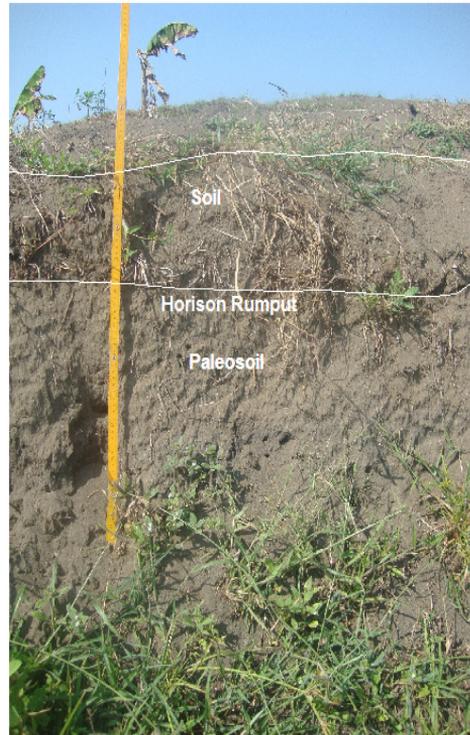
Gambar 45. Kontak endapan pasir pantai dengan endapan tsunami



Gambar 46. Penampang lateral pantai di Pantai Lengkong

Tabel 8. Hasil pengukuran profil di Lengkong dari rata-rata muka air laut hingga lokasi singkapan.

Notasi	Arah Jurus	Jarak Miring (m)	Jarak Datar (m)	BedaTinggi (m)	Hz
A	94,10917	43,5298	43,3708	-4,0769	274,11472
B	276,57861	32,0491	31,8436	-3,9839	-



Gambar 47. Lokasi ditemukannya indikasi endapan tsunami.

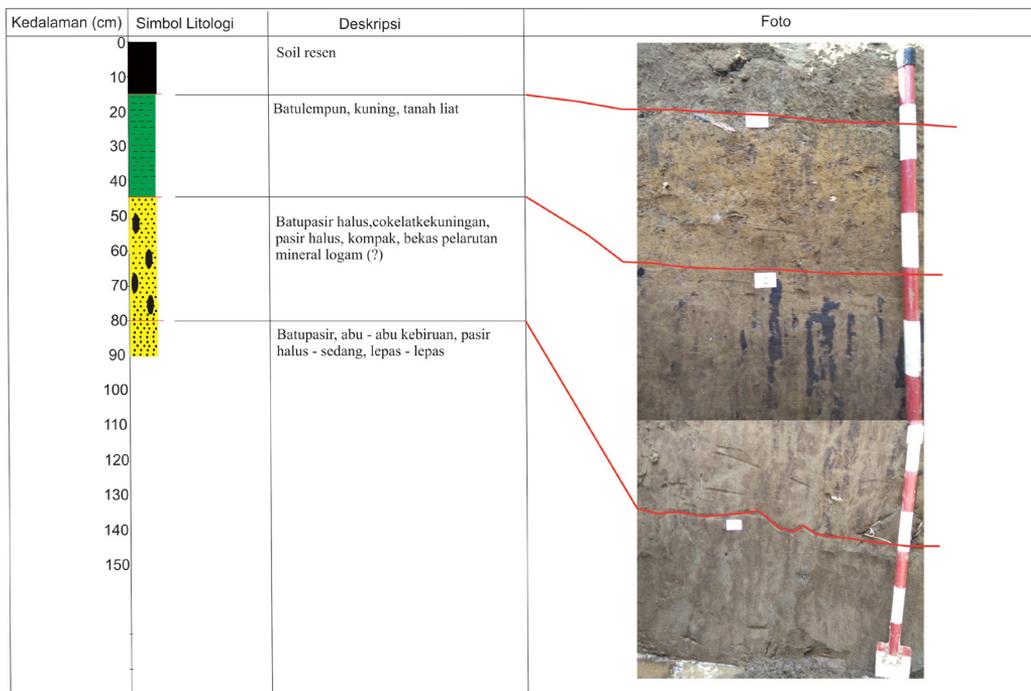
4.3. Lokasi Adipala

4.3.1 Titik Pabrik Bata Desa Adipala

Lokasi pengamatan berupa sumur uji berukuran 1,5 x 1,5 x 1,5 m, terletak di pekarangan rumah Bapak Doni dekat pabrik batubata. Koordinat lokasi sumur: 07,66576 LS dan 109,15204 BT. Lokasi ini terletak pada daerah tinggian/punggungan (*ridge*) yang memanjang dengan arah relatif barat-timur.

Pada penampang sumur uji (Gambar 48), terlihat ada perlapisan dari perubahan warna, dan batas perubahan warna terlihat secara berangsur bukan sebagai batas kontras, yang diperkirakan terjadi karena perbedaan tingkat pelapukan, kecuali pada lapisan aling atas sebagai tanah penutup.

Di sumur uji ini hanya dilakukan pengambilan contoh guna analisis penentuan umur absolut.



Gambar 48. Penampang dan zonasi lapisan pada sumur uji di Lokasi Pabrik Batubata di Adipala

4.3.2. Titik Kebon Dalam Desa Adipala

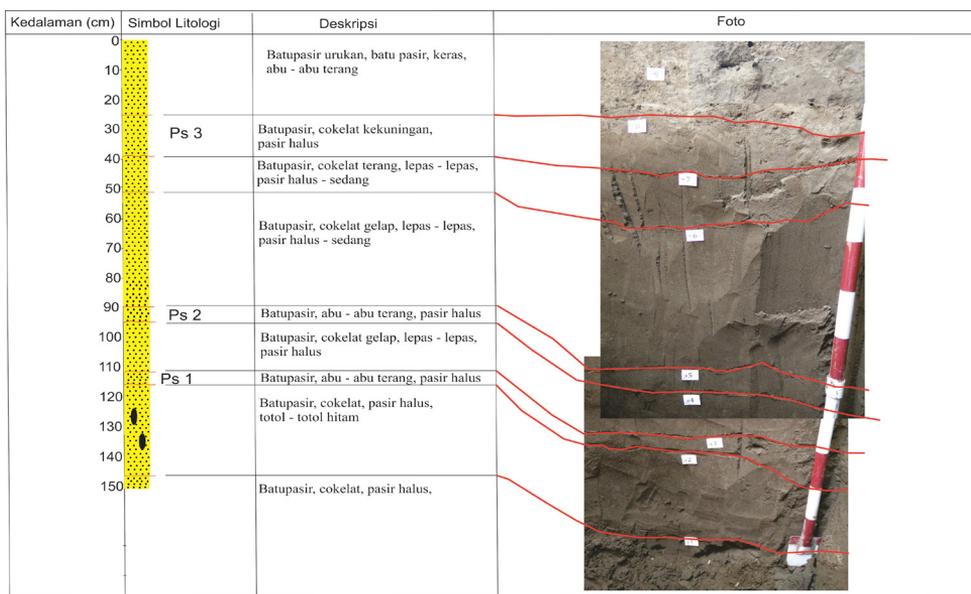
Lokasi ini terletak di sebelah selatan dari lokasi sumur uji di Pabrik Batubata di Desa Adipala dengan koordinat 07,67167 LS dan 109, 14863 BT. Lokasi pengamatan berupa sumur uji berukuran 1,5 x 1,5 x 1,5 m terletak di pekarangan rumah Bapak Najib. Pada penampang sumur uji (Gambar 49) terlihat adanya beberapa perLapisan yang ditunjukkan oleh perbedaan warna Lapisan 3 di antara lapisan ini dicurigai sebagai lapisan endapan tsunami.

Lapisan paling bawah dengan ketebalan besar dari 15 cm, berupa lapisan pasir halus, berwarna coklat, bersifat lepas, mengandung biota berupa biota. Pada lapisan ini dilakukan pengambilan contoh untuk analisis besar butir dan analisis kandungan biota.

Di atas lapisan ini dijumpai lapisan pasir halus setebal lebih kurang 30 cm, berwarna coklat dengan banyak bintik-bintik hitam yang menunjukkan intensitas pelapukan. Batas kedua lapisan tidak jelas karena perubahan warna secara berangsur, kemungkinan lapisan ini merupakan paleo-soil.

Paleosoil ini ditutupi oleh lapisan pasir halus dengan ketebalan 3-5 cm, berwarna coklat terang, bersifat lepas, dicurigai sebagai endapan tsunami, dan dilakukan penyontohan untuk analisis kandung biota dan analisis besar butir. Lapisan ini kemudian ditutupi oleh lapisan pasir halus, kadang lempungan berwarna coklat gelap dengan ketebalan lapisan 14-16 cm, kemudian di atasnya dijumpai lapisan pasir halus, berwarna abu-abu terang dengan ketebalan lapisan 4-6 cm. Lapisan ini juga dicurigai sebagai lapisan endapan tsunami, dan dilakukan penyontohan untuk analisis kandungan biota dan analisis besar butir (granulometri).

Lapisan yang dicurigai sebagai endapan paleotsunami ditutupi oleh lapisan pasir halus sampai sedang berwarna coklat sampai coklat gelap, bersifat lepas, kadang lempungan, dengan ketebalan lapisan 35-37 cm, kearah atas bergradasi menjadi warna yang lebih cerah (coklat terang) setebal 12 cm. Di atas lapisan ini terdapat lapisan pasir halus, berwarna coklat kuning, bersifat lepas, ketebalan lapisan 10-13 cm. Lapisan ini diperkirakan sebagai lapisan endapan tsunami, dilakukan pengambilan contoh untuk analisis granulometri/besar butir dan analisis kandungan biota. Diatas lapisan ini terdapat lapisan pasir yang telah mengalami pengerasan/kompaksi dengan ketebalan lapisan 24-28 cm.



Gambar 49. Penampang dan zonasi lapisan di sumur uji Kebon Dalam

4.4. Lokasi Bunton



Gambar 50. Kenampakan morfologi datar, petak-petak bekas galian pasir besi.

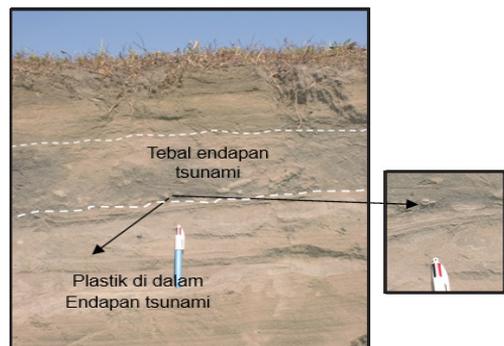
Di daerah Bunton banyak sekali terdapat lapisan pasir besi, yang di beberapa tempat dilakukan eksplorasi penambangan. Kenampakan morfologi berupa petak-petak bekas galian pasir besi, dimana bentuk morfologinya sudah tidak dapat dikenali lagi (Gambar 50).

Dari pengamatan singkapan pasir besi yang dilakukan pada beberapa lokasi, Lapisan pasir besi menunjukkan karakter yang sama yaitu: warna abu-abu gelap – hitam, kompak dan padat, berukuran pasir halus – sedang. Lapisan pasir besi ini menutupi pasir sedang – sangat kasar mengandung fragmen berukuran kerikil sampai kerakal, di bawahnya terdapat lapisan pasir sedang dengan struktur paralel laminasi.

Dari pengamatan singkapan pasir besi yang dilakukan pada beberapa lokasi, Lapisan pasir besi

Pengenalan lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami adalah dengan adanya perubahan warna yang sangat kontras antara lapisan penutup dengan lapisan yang ditutupi dan keberadaan lapisan paleosoil di bawah lapisan yang diduga sebagai Lapisan endapan tsunami, ditunjang pula oleh tidak dijumpai atau tidak adanya struktur sedimen disamping adanya unsur penunjang lainnya yaitu material antropogen seperti plastik, kain, pecahan genting/batubata, dll.

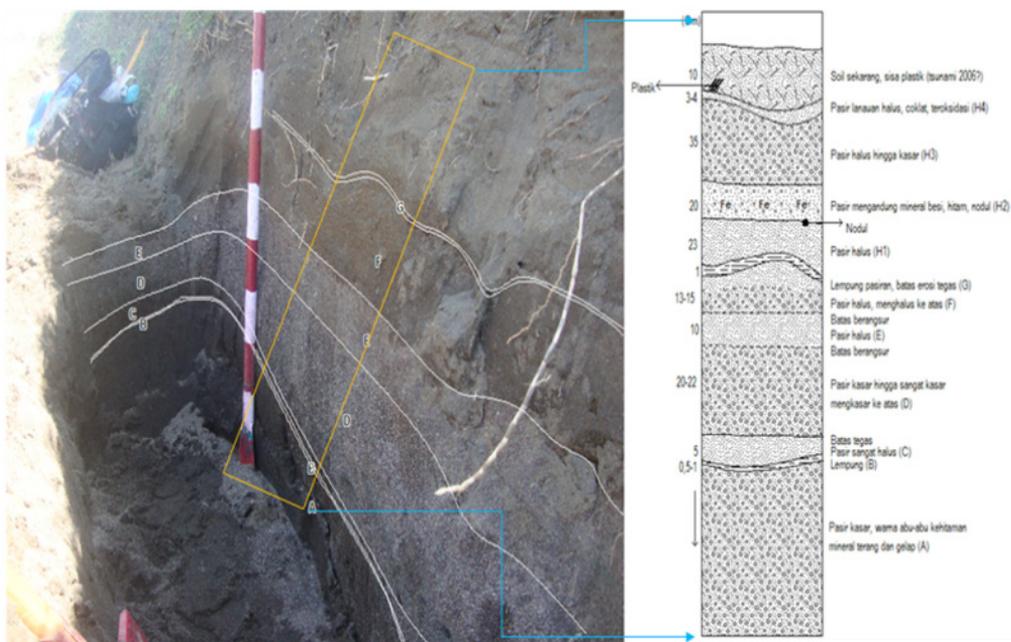
Di atas lapisan ini terdapat lapisan pasir besi berukuran pasir kasar, berwarna hitam, menunjukkan struktur perlapisan konvolut ke arah atas memperlihatkan adanya struktur perlapisan bersusun (graded bedding), dan dalam lapisan ini terdapat material antropogen seperti plastik dan karet.



Gambar 51. Singkapan Lapisan pasir di Bunton yang cukup tebal, diduga sebagai endapan paleotsunami.

4.4.1. Titik Bunton-1

Sedimen tsunami berada di posisi 7,689 LS – 109,143 BT. Di desa Bunton ini terdapat plastik di dalam endapan tsunami. Endapan tsunami ini belum diketahui apakah endapan tsunami tahun 2006 atau endapan tsunami tua (paleotsunami, plastik ditemukan tahun 1970-an). Bila plastik merupakan endapan tsunami 2006, maka Desa Bunton pada 2006 lalu terkena tsunami yang cukup besar, hal ini dibuktikan dengan tebalnya endapan tsunami (Gambar 51).

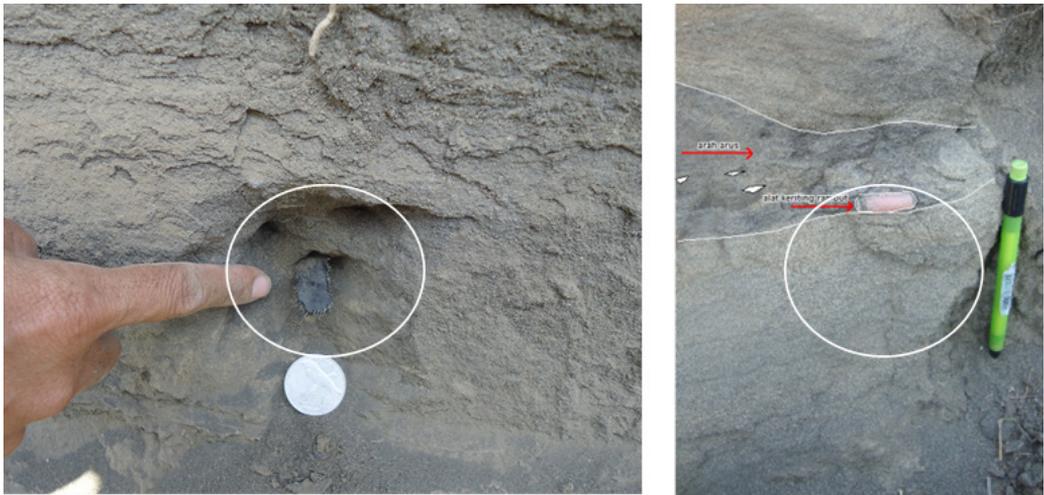


Gambar 52. Singkapan dari parit uji di daerah Bunton 1 memperlihatkan lapisan sedimen yang mempunyai tekstur dan warna berubah secara berangsur.

Di parit uji yang lain, masih di lokasi penelitian yang sama di daerah Bunton, Lapisan pasir besi yang menjadi lapisan pandu (key bed), mempunyai struktur sedimen konvolut, dune and anti dune serta ripple, mengandung fragmen-fragmen batuan serta benda-benda antropogenik seperti plastik, botol, potongan karet ban mobil dan potongan kain/ pakaian (Gambar 53).

Hasil analisis ukuran butir memperlihatkan kurva distribusi ukuran butir lapisan pasir didominasi oleh butiran kasar,

sebagai hasil pengendapan oleh sistem arus traksi yang kuat, hal mana ditunjukkan juga oleh data lapangan dengan adanya butiran sangat kasar berupa fragmen batuan berukuran kerikil-kerakal. Kurva-kurva distribusi besar butir hampir semuanya menunjukkan kurva bimodal, kecuali contoh BC yang tidak bimodal (Gambar 54).

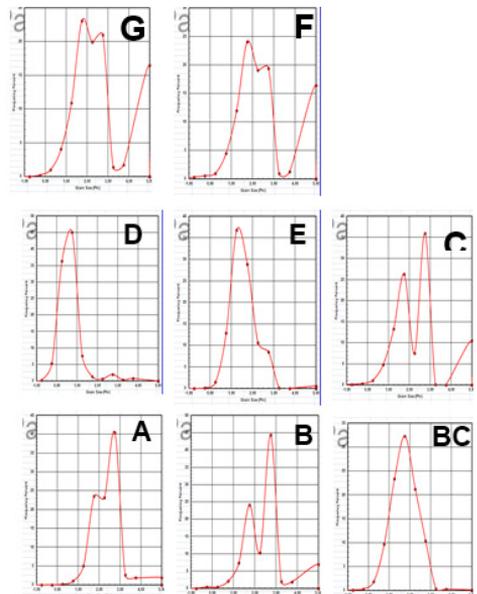


Gambar 53. Benda antropogenik berupa potongan karet ban mobil (kiri) dan potongan botol plastik (kanan)

Adanya kurva bimodal biasanya menunjukkan hasil pengendapan oleh proses tsunami, hal ini diperkuat dengan adanya benda-benda antropogenik seperti plastik, botol, potongan karet ban mobil dalam lapisan yang sangat mungkin sebagai hasil endapan tsunami.

4.5. Titik Bunton-2

Lokasi Bunton 2 terletak di sekitar area pelelangan ikan. Pada lokasi ini terdapat 4 titik pengamatan singkapan dengan jarak yang relatif dekat antara satu titik dengan titik lainnya. Salah satu



Gambar 54. Kurva hasil analisis ukuran butir sedimen di Lokasi Bunton 1.

titik pengamatan adalah lokasi penggalian untuk pembuatan tambak (Gambar 55).

Penampang stratigrafi vertikal dari setiap titik tersebut dibuat penampang komposit. Dari penampang komposit tersebut secara keseluruhan ditemukan 3 lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami yaitu Lapisan 3, Lapisan 5 dan Lapisan 9 (Gambar 56 dan 57).

Pada lokasi ini dilakukan analisis sebaran ukuran butir sebanyak 2 contoh dari 3 lapisan yang dicurigai sebagai endapan tsunami yaitu Lapisan 5 dan Lapisan . Hasil sebaran butir dari contoh tersebut ternyata 3 tidak menunjukkan sebaran butir yang sangat signifikan dari suatu endapan tsunami (Gambar 58).

Baik pada Gambar 58 kiri ataupun kanan tidak terlihat dengan jelas adanya bentuk pola sebaran bimodus, sehingga dapat dikatakan bahwa sebaran ukuran butir pada lapisan ini dapat disebabkan oleh pengaruh tsunami dan dapat juga akibat pengaruh sedimentasi biasa di daerah pantai yaitu endapan pasir pantai (*sand beach deposits*).

Analisis kandungan fauna menunjukkan bahwa Lapisan 3 dan Lapisan 6 memiliki indikasi tsunami. Adanya organisme laut yang tertransport dari lingkungan laut



Gambar 55. Pengambilan data dari galian dengan alat eskavator di Bunton 2.

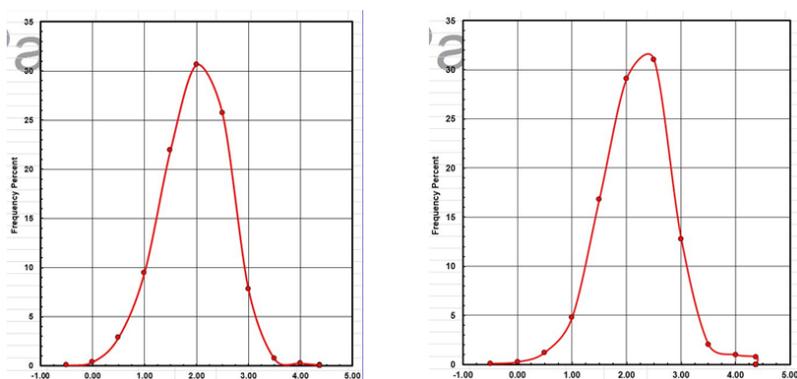


Gambar 56. Pengamatan di Titik Bunton 2.



Gambar 57. Stratigrafi detail lapisan *suspect* tsunami dalam sedimen di Desa Bunton 2.

yang lebih dalam, yaitu Neritik Dalam, sebagai penanda adanya peristiwa tsunami. Sampel Bunton (Tabel 9) untuk Lapisan 3 menunjukkan adanya mikrofauna yang pecah, yaitu Ostracoda dan *Nodosaria sp.* Fauna tersebut secara habitatnya berasal dari lingkungan Neritik Dalam. Hal ini mendukung dugaan bahwa Lapisan 3 sebagai endapan tsunami. Adanya mikrofauna *Bolivina sp.*, *Nodosaria sp.*, dan *Robulus sp.* mengindikasikan adanya transportasi sedimen dari lingkungan Neritik Dalam.



Gambar 58. Analisis sebaran butir contoh dari Desa Bunton.

Tabel 9. Hasil analisis pada beberapa lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami di lokasi Bunton

Lapisan	Analisa Ukuran Butir	Kandungan Biota Laut	Umur Pb-210
6	Tidak menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Bolivina sp.</i> , <i>Nodosaria sp.</i> , <i>Robulus sp.</i> (neritik dalam)	-
3	Tidak menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Ostracoda</i> , <i>Nodosaria sp.</i> (neritik dalam)	-

4.5. Lokasi Adireja Wetan

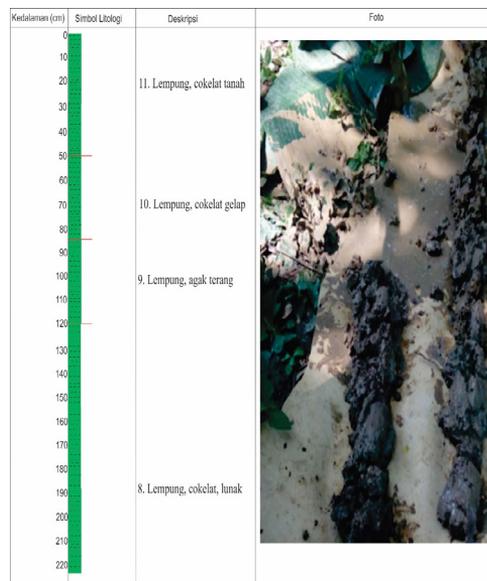
Lokasi pengamatan terletak dalam pekarangan rumah di kampung Karang Wangkal dengan koordinat 7.644 LS - 109.174 BT.

Pengamatan dilakukan terhadap hasil pemboran menggunakan cara yang sangat sederhana dengan menggunakan peralatan berupa bambu, sebelumnya juga dicoba pengambilan sampel dengan menggunakan hand bor, tetapi karena materialnya sangat liat sehingga pemboran dengan menggunakan mesin hand bor tidak dapat melakukan penetrasi yang dalam.

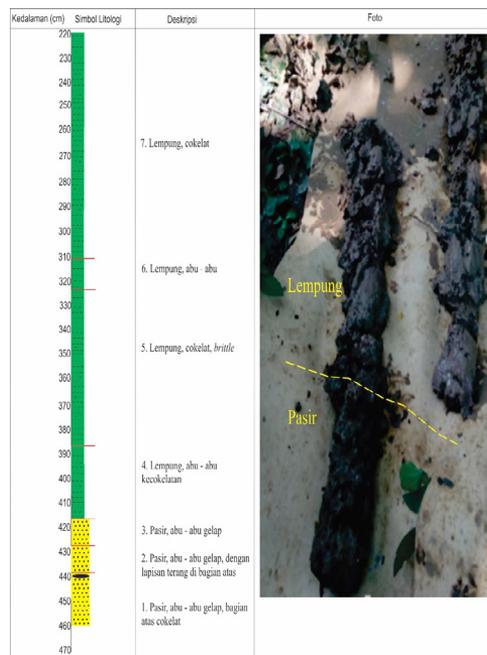
Dari hasil pemboran yang dilakukan dicurigai terdapat 2 lapisan endapan tsunami yang dijumpai pada kedalaman 140 cm dari permukaan, dan kedalaman 420 cm. Kecurigaan sebagai endapan tsunami hanya didasarkan pada warna yang relatif lebih terang dari lapisan yang mengapitnya, tetapi secara deskripsi detail tidak dapat dilakukan dengan baik karena kondisi sampel yang diperoleh sudah dalam keadaan rusak dan pelapukan yang sangat intensif seperti yang dapat dilihat pada Gambar 59 dan 60.

4.6. Lokasi Gua Nagaraja

Gua Nagaraja merupakan lokasi objek wisata masyarakat di sekitar pantai selatan Adipala. Gua ini juga terkenal sebagai tempat pertapaan atau ritual lainnya. Lokasi Gua berjarak sekitar 200 m



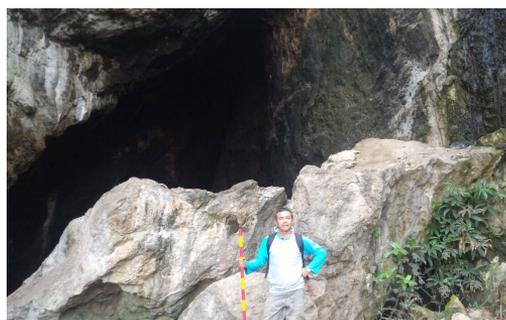
Gambar 59. Kolom vertikal stratigrafi di lokasi Adireja Wetan (kiri) dan hasil core yang diperoleh dengan menggunakan bambu (kanan) pada bagian atas.



Gambar 60. Kolom vertikal stratigrafi sedimen di lokasi Adireja Wetan (kiri) dan hasil core yang diperoleh dengan menggunakan bambu (kanan) pada bagian bawah.

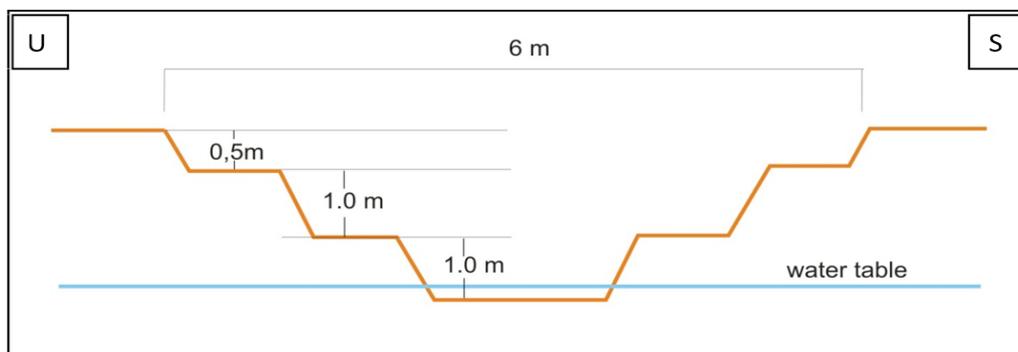
dari pinggir pantai dengan koordinat 7.688 LS - 109.171 BT. Disamping gua juga terdapat aliran sungai yang bermuara ke laut selatan. Gua Nagaraja merupakan bagian dari sebuah bukit yang tersusun oleh batugamping. Gua ini terbentuk karena proses pelarutan tubuh batugamping oleh air tanah.

Untuk *trenching*, dipilih gua yang paling besar karena gua yang besar memungkinkan untuk menyimpan endapan tsunami dengan sebaran yang cukup luas. Selain itu ruangan gua yang luas juga akan memudahkan dalam operasional penggalian (*trenching*). Ruang dalam gua Nagaraja berukuran sekitar 50 x 50 m² dengan tinggi atap sekitar 20 meter. Gua besar ini memiliki hubungan dengan dua gua kecil di sekitarnya (Gambar 61).



Gambar 61. Foto Pintu masuk Gua Nagaraja

Pada lantai gua dibuat galian (*ekskavasi*). Target awal kedalaman galian adalah 3 meter. Untuk kedalaman tersebut diperlukan bukaan selebar 1,5 x 3 meter. Akan tetapi, karena kondisi endapan yang belum kompak sehingga mudah longsor. Oleh karena itu, untuk menjaga kestabilan lereng pit dibuat galian dengan lebar 2 meter dan panjang 6 meter dengan 3 undak/bench dengan arah utara - selatan (Gambar 62). Dengan disain pit seperti itu dapat dicapai kedalaman 2,45 m (sampai batas muka air tanah). Untuk membuat galian sebesar itu diperlukan 4 orang tenaga gali dari penduduk setempat serta membutuhkan waktu satu hari penuh.

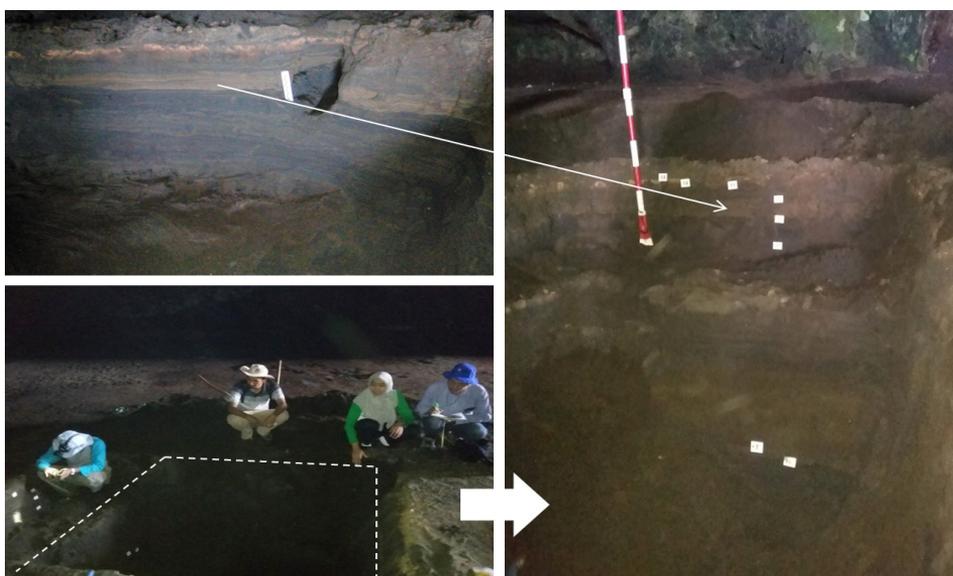


Gambar 62. Penampang test pit memanjang berarah utara – selatan dalam Gua Nagaraja. Kedalaman total 2,5 meter. Pada kedalaman 2,45 m terdapat muka air tanah (*water table*).

Bagian paling atas dari lantai gua adalah lapisan tanah yang cukup keras. Endapan ini berupa lempung berwarna coklat kekuningan yang tersemankan karbonat sehingga sangat keras. Endapan lempung ini diduga merupakan endapan genangan air yang tenang di lantai gua berupa suspensi lempung (endapan limbah banjir). Di dalam gua ini dilakukan juga pemboran dengan menggunakan Mesin Bor Tangan (Gambar 63). Urutan stratigrafinya dapat dilihat pada Gambar 64.

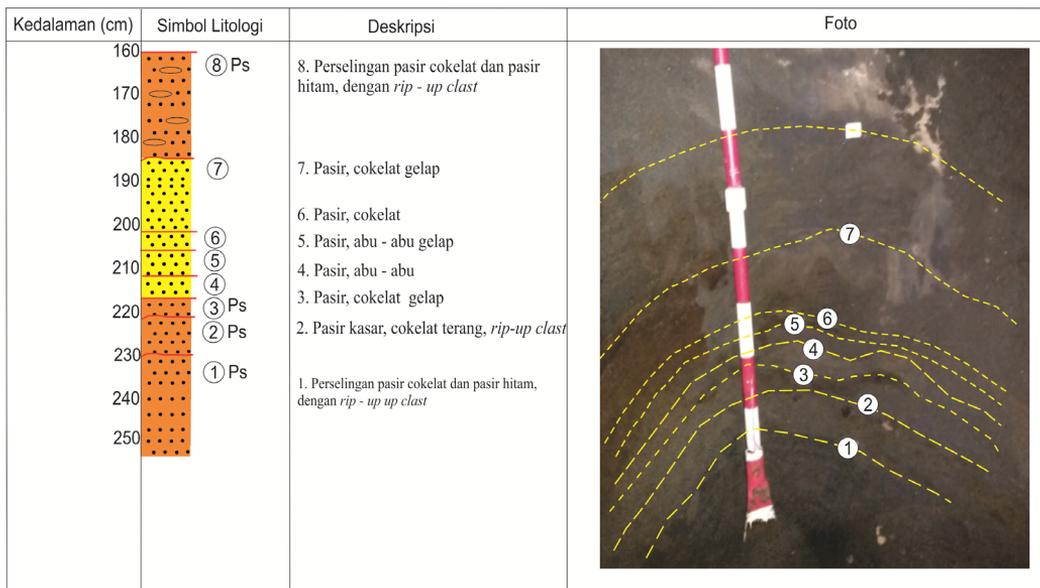


Gambar 63. Pemboran lantai gua dengan alat mesin bor tangan (*hand auger machine*).

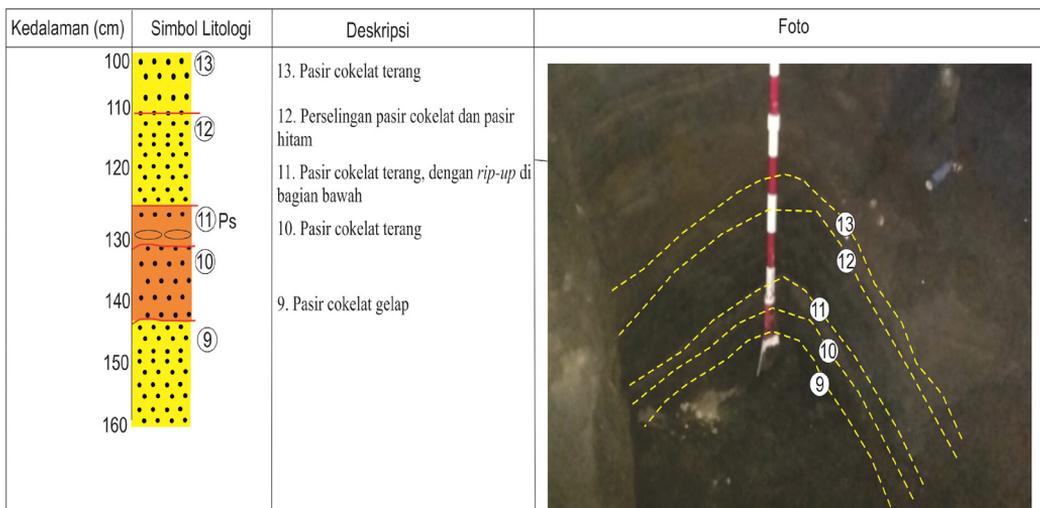


Gambar 64. Stratigrafi endapan gua (kanan). Endapan *suspect* tsunami paling atas (kiri atas). Lubang *test pit* (kiri bawah).

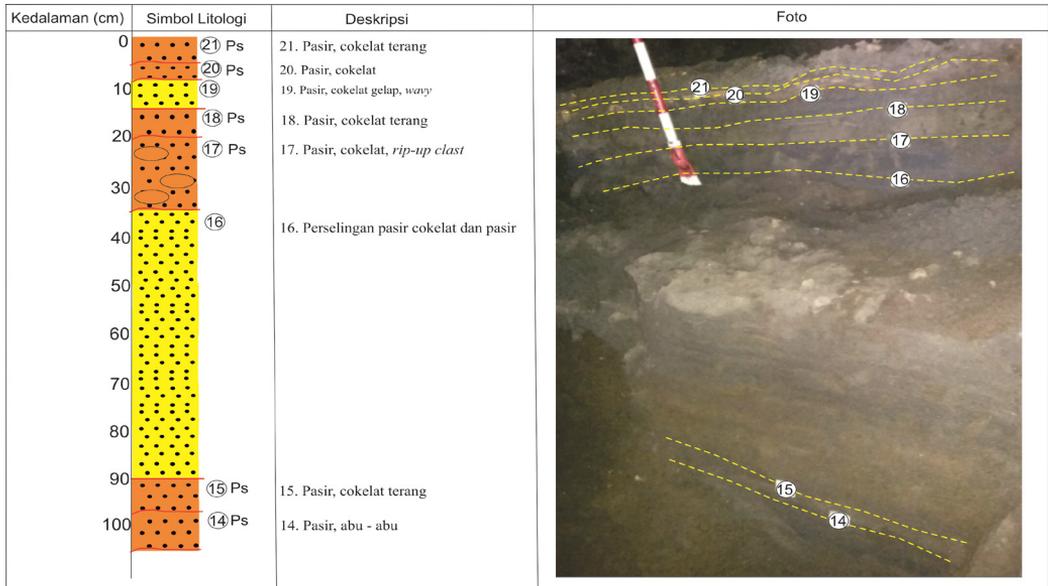
Dari hasil deskripsi litologi pada dinding paritan (Gambar 66 - 68), dapat diidentifikasi adanya 13 perlapisan sedimen dimana 6 lapisan di antaranya dicurigai sebagai endapan tsunami. Stratigrafi detail dari dinding paritan tersebut digambarkan dengan penampang stratigrafi pada Gambar 65 - 67.



Gambar 65. Penampang stratigrafi detail sedimen di Gua Nagaraja bagian bawah

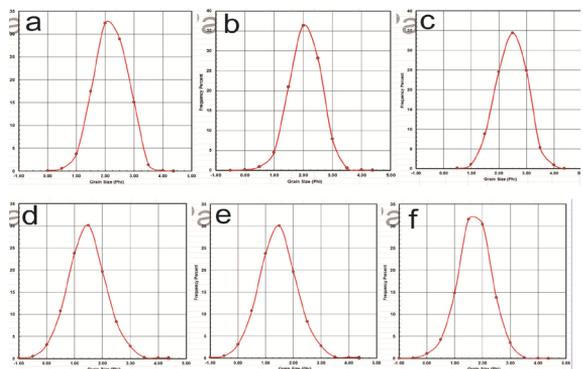


Gambar 66. Penampang stratigrafi detail sedimen di Gua Nagaraja bagian tengah.



Gambar 67. Penampang stratigrafi detail sedimen di Gua Nagaraja bagian atas.

Analisis granulometri dilakukan untuk 6 sampel yang diambil dari 6 lapisan yang dicurigai sebagai endapan tsunami. Hasil analisis granulometri dari keenam sampel sedimen tersebut menunjukkan distribusi ukuran butir berbentuk unimodus. Bentuk ini tidak menunjukkan ciri signifikan sebagai endapan tsunami (Gambar 68). Dengan demikian maka secara granulometri semua lapisan tersebut masih memiliki 2 kemungkinan proses pembentukannya, yaitu: endapan oleh tsunami atau sebagai endapan pantai biasa.



Gambar 68. Analisis granulometri dari 6 sampel sedimen di Gua Nagaraja di Cilacap.

Pembuktian berikutnya untuk memperkuat dugaan bahwa endapan yang terdapat dalam Gua Nagaraja merupakan endapan tsunami adalah dengan melakukan analisis mikrofauna. Hasil analisis mikrofauna dapat mengungkap asal sedimen yang terendapkan.

Dengan analisis tersebut dapat diketahui dari mana sedimen berasal, apakah dari lingkungan darat, pantai, laut atau laut dalam.

Sampel Lapisan 1a juga menunjukkan transportasi fauna dari lingkungan Neritik Dalam – Neritik Tengah, dengan adanya pencampuran *Rotalia* sp. dengan *Oolina* sp. Sampel Lapisan 3 menunjukkan hasil yang sama, yaitu transportasi fosil dari lingkungan Neritik Dalam – Neritik Tengah. Ini dapat diamati dengan adanya pencampuran *Rotalia* sp. dengan *Amphistegina* sp.

Sampel Lapisan 6 menunjukkan adanya transportasi fosil dari lingkungan laut Neritik Dalam – Neritik Tengah. Ini ditandai dengan adanya pencampuran antara *Elphidium* sp. dengan *Amphistegina* sp. Sampel Lapisan 7a dan 8a menunjukkan transportasi fosil dari lingkungan yang lebih dalam, yaitu Neritik Tengah. Hal ini ditandai dengan tertransportnya *Pyrgo* sp., *Amphistegina* sp., dan *Amphicorina* sp. Untuk keterangan fosil dapat dilihat pada Tabel 10 dan lampiran foto fosil.

Tabel 10. Hasil analisis pada beberapa lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami di lokasi Kuripan.

Lapisan	Analisa Ukuran Butir	Kandungan Biota Laut	Umur Pb-210
13	Tidak menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	Barren	-
8a	Tidak menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Pyrgo</i> sp. <i>Amphistegina</i> sp. <i>Amphicorina</i> sp. (neritik tengah)	-
7a	Tidak menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Pyrgo</i> sp. <i>Amphistegina</i> sp. <i>Amphicorina</i> sp. (neritik tengah)	-
6	Tidak menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Elphidium</i> sp. <i>Amphistegina</i> sp. (neritik dalam – tengah)	-

4.7. Lokasi Selok

Di daerah Selok terdapat 3 titik pengamatan yaitu Selok, Selok 1 dan Selok Kuburan.

4.7.1 Titik Selok

Lokasi ini terletak cukup jauh dari pinggir pantai sekarang, singkapan dijumpai pada pinggir kebun dekat galian pasir (07,69015 LS – 109,18257 BT).

Endapan yang dicurigai hasil gelombang tsunami di lokasi ini hanya berupa Lapisan pasir halus bersifat lepas, tidak mempunyai struktur sedimen menutupi Lapisan pasir yang mempunyai struktur sedimen lapisan sejajar (Gambar 69).

Lapisan ini dicurigai sebagai endapan tsunami didasarkan pada kehadiran lapisan paleosoil diantara lapisan pasir berwarna yang lebih terang bersifat lepas serta mengandung unsur antropogen seperti plastik pada bagian bawah, atau tercampur dengan lapisan paleosoil.

Endapan lepas diatas lapisan paleosoil belum dapat dipastikan apakah sebagai endapan tsunami atau bukan. Hal ini sangat sulit untuk ditentukan karena di lokasi ini juga dijumpai endapan angin yang cukup signifikan.

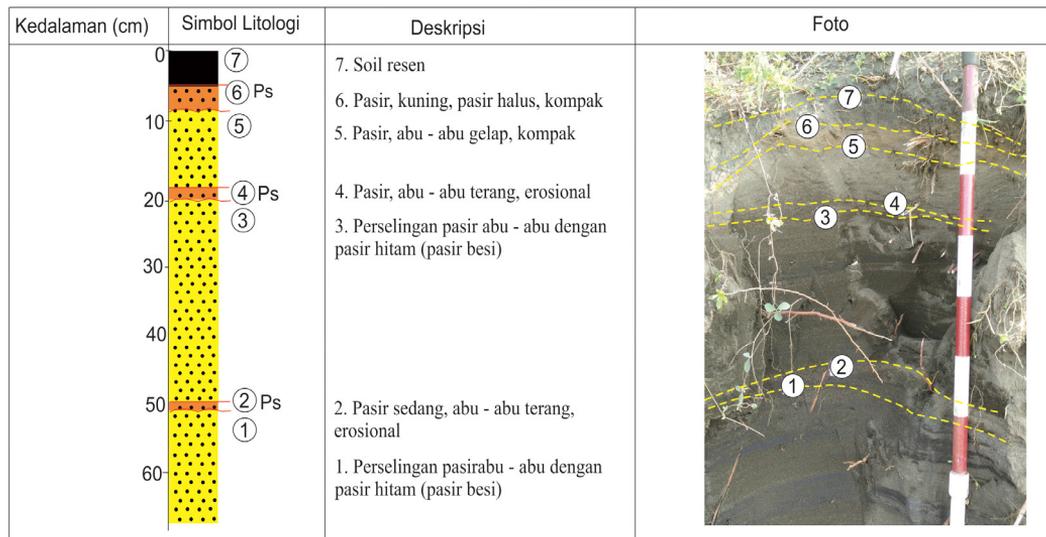


Gambar 69. Singkapan berupa endapan dune yang memperlihatkan perlapisan sejajar dan lapisan silang siur, yang ditutupi oleh endapan tsunami yang ditandai oleh material antropogenik berupa plastik di batas kedua endapan

4.7.2 Titik Selok-1

Lokasi ini terdapat pada tebing selatan bekas galian pasir dekat pinggir jalan desa yang menuju ke Gua Nagaraja, koordinat lokasi pengamatan: 07,168968 LS dan 109,18135 BT. Singkapan membentang dengan arah relatif barat – timur sekitar 50 meter.

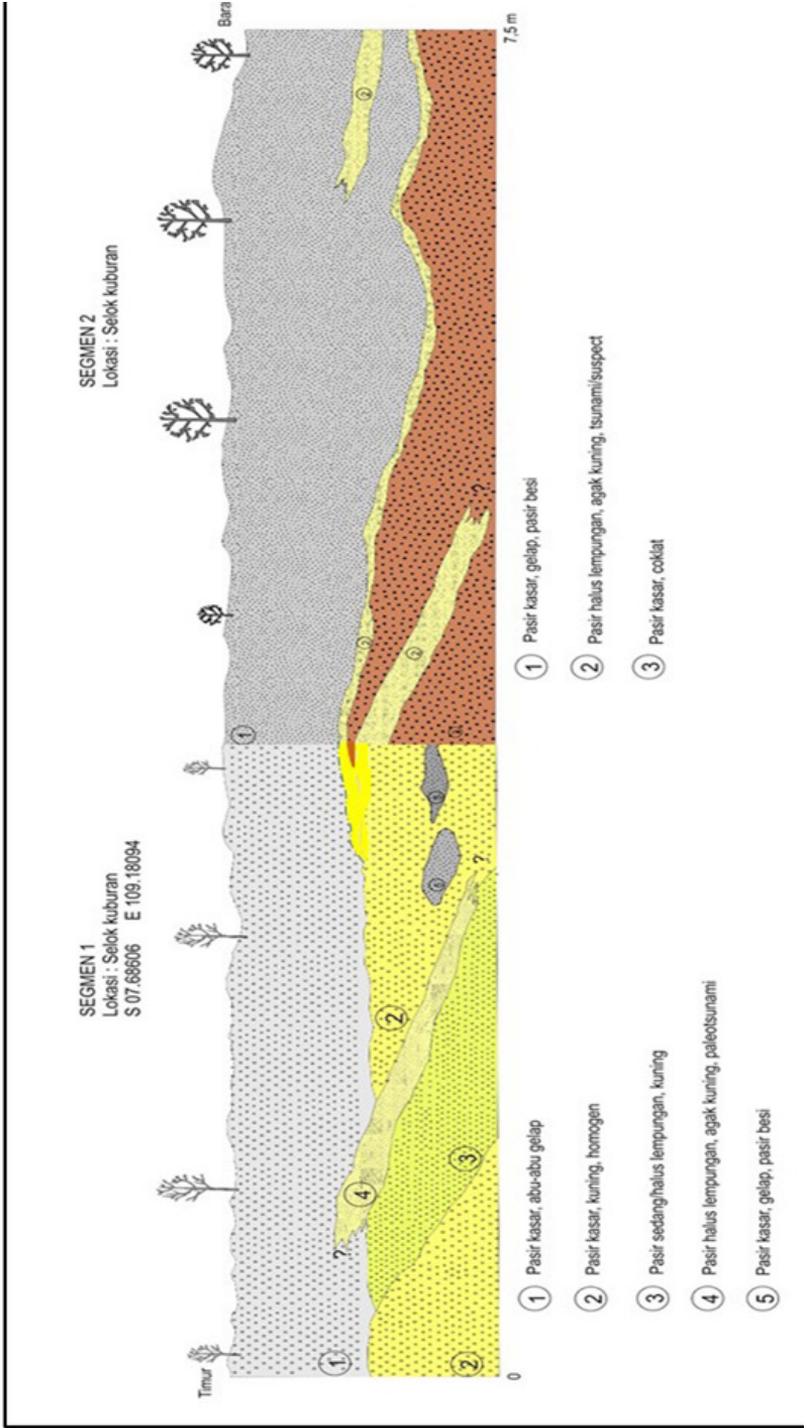
Pada penampang singkapan diperkirakan terdapat 3 lapisan endapan tsunami (Gambar 70), yaitu berupa perulangan sisipan lapisan berwarna terang dalam lapisan berwarna gelap (pasir besi), ketebalan endapan yang diperkirakan sebagai endapan tsunami bervariasi dari 1 sampai 3 cm.



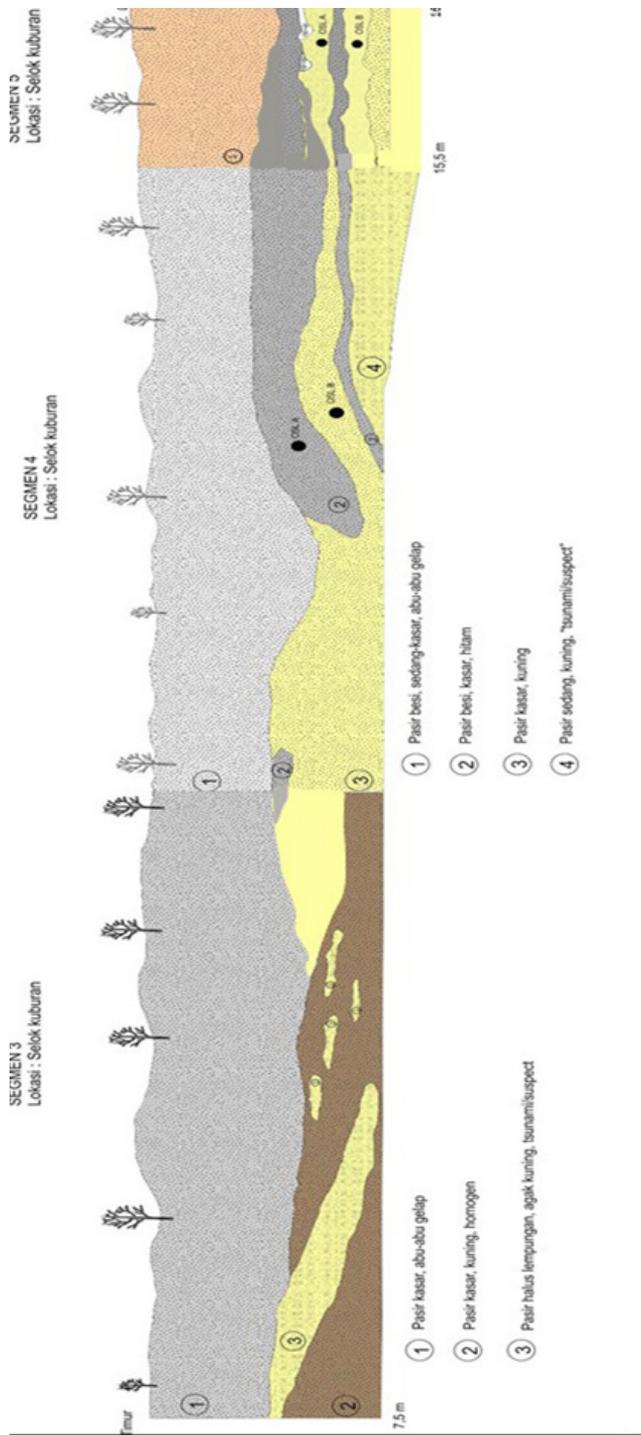
Gambar 70. Penampang dan zonasi Lapisan pada singkapan di Sumur uji Selok 1

4.7.3. Titi Selok Kuburan

Titik ketiga yakni Titik Selok Kuburan, berlokasi di sepanjang pematang sawah di lereng utara bukit Kuburan Selok sepanjang 16 meter. Lokasi diambil di sebuah singkapan dalam parit sedalam sekitar 1,5 meter antara lereng bukit dan pematang sawah penduduk, maka pengambilan data tidak dapat dilakukan secara fotografi, yang oleh sebab itu dibuat dalam sketsa singkapan lapangan yang dibagi atas 2 segmen gambar sketsa, keduanya berarah timur-barat, diambil dari arah utara. Sketsa Segmen 1 dari ujung paling timur dari singkapan paritan pematang (Gambar 71), disambung Segmen 2 yang berakhir sampai ujung paling barat dari singkapan paritan pematang (Gambar 72) Pada kedua segmen sketsa tersebut dapat diamati hubungan stratigrafi antara lapisan pasir pantai, pasir besi, lapisan lempung soil dan paleosoil, yang terbentuk baik oleh proses sedimentasi biasa dari endapan pantai maupun lapisan yang suspek sebagai hasil pengendapan tsunami/paleotsunami.



Gambar 71. Sketsa Segmen 1 mulai dari ujung paling timur singkapan paritan pematang. Gambar sketsa berarah timur-barat, diambil dari arah utara. Lokasi Selok Kuburan.



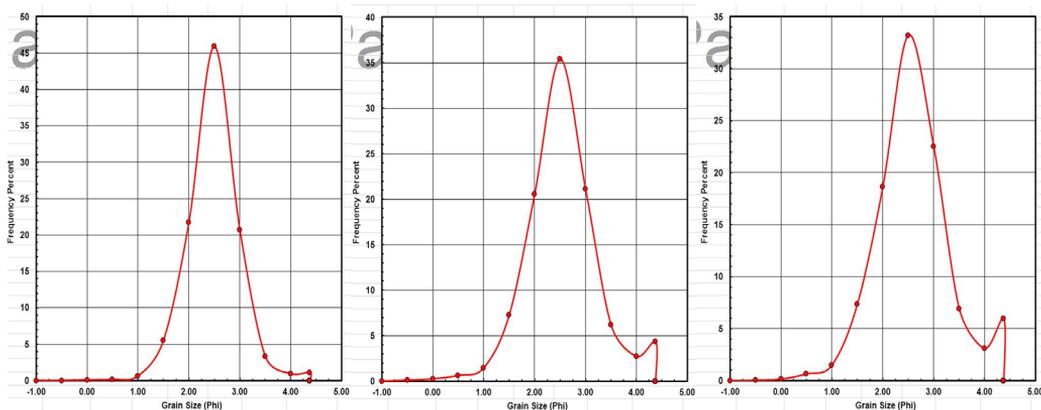
Gambar 72. Sketsa Segmen 2, lanjutan dari Sketsa Segmen 1 yang berakhir sampai ujung paling barat dari singkapan paritan pematang. Titik hitam adalah lokasi pengambilan contoh untuk analisis OSL. Gambar sketsa berarah timur-barat, diambil dari arah utara. Lokasi Selok Kuburan.

Guna pengambilan data fotografi lapangan untuk stratigrafi dan zonasi pelapisan telah dibuat galian paritan pada bagian ujung barat parit pematang tersebut sebagaimana dalam Gambar 73.

Pada lokasi ini diambil sampel untuk analisis OSL (Gambar 72B), serta penyontohan untuk analisis ukuran butir/ granulometri yang hasilnya seperti dalam Gambar 74., sedangkan hasil analisis mikrofauna dari sumur uji Selok 1 dan Selok Kuburan dapat dilihat pada Tabel 11.



Gambar 73. Penampang dan zonasi lapisan pada singkapan Selok Kuburan.



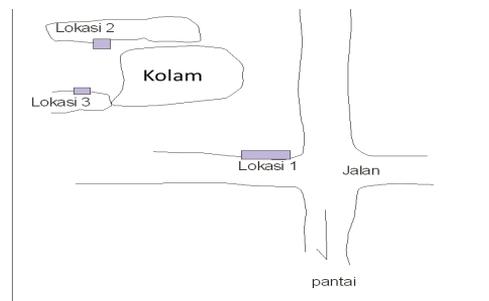
Gambar 74. Kurva distribusi ukuran butir kumulatif untuk lapisan suspect paleotsunami Selok Kuburan.

Tabel 11. Hasil analisis pada beberapa lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami di lokasi Selok 1 dan Selok Kuburan

Lapisan	Analisa Ukuran Butir	Kandungan Biota Laut	Umur Pb-210
Selok 1 Lapisan 3	Menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Anomalinoidea (Robulus (?) sp. Bulimina costata, Lagena hispida</i> (neritik tengah)	-
Selok 1 Lapisan 2	Menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Dentalina sp. Lenticulina sp. Bolivina nitida, Nodosaria sp. Textularia sp.</i> (neritik dalam - tengah)	-
Selok 1 Lapisan 1	Tidak menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Amphicoryna hirsute Lagena hispida, Bolivina sp. (quadrilotera?), Oolina globose.</i> (neritik tengah)	-
Selok Kuburan	Menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Anomalinoidea (Robulus (?) sp., Bulimina costata, Lagena hispida.</i> (neritik dalam - tengah)	763 +- 82 Tahun lalu

4.8. Lokasi Glempang Pasir

Lokasi ini terletak di areal persawahan penduduk berupa lokasi bekas galian pasir. Pada lokasi ini pengamatan dilakukan di 4 titik yang berdekatan, yaitu: Glempang Pasir 1, 2, 3 dan lokasi halaman rumah Bapak Syaiful. Denah ke empat lokasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 75.



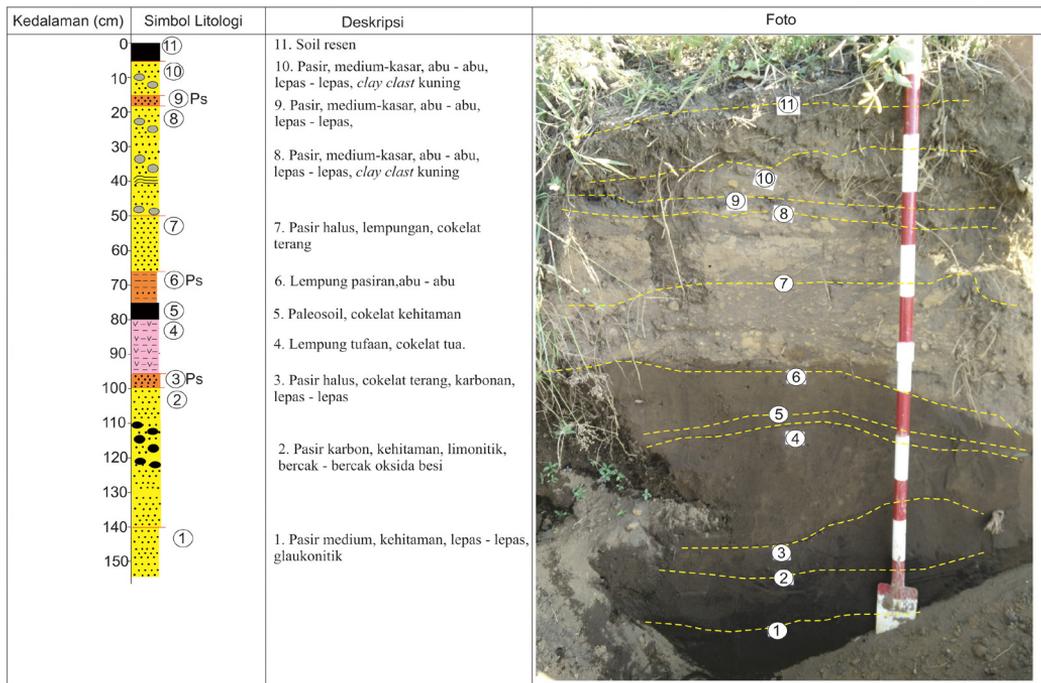
Gambar 75. Sketsa peta lokasi pengamatan di Glempang Pasir

4.8.1. Titik Glempang Pasir-1

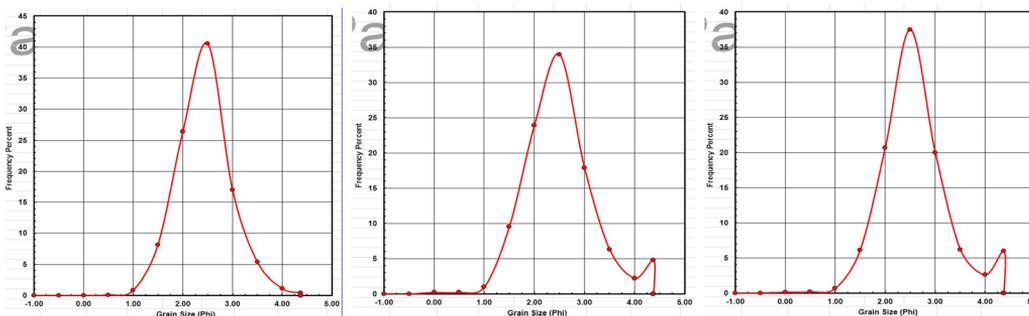
Singkapan terdapat pada dinding jalan dengan sawah sebelah selatan dengan koordinat 07,68468 LS – 109,21638 BT. Pada singkapan terlihat beberapa perlapisan yang sangat jelas dan terdapat 3 lapisan dicurigai sebagai lapisan endapan tsunami (Gambar 76), deskripsi detil penampang sebagai berikut:

- Bagian paling bawah setebal kurang lebih 15 cm, (diukur dari dasar penampang), berupa lapisan pasir berukuran sedang, berwarna abu-abu gelap sampai kehitaman, bersifat lepas dan mengandung mineral glaukonit.
- Di atasnya terdapat lapisan pasir dengan ketebalan lebih kurang 40 cm, banyak mengandung karbon dan mangan, lapisan yang telah mengalami pelapukan terlihat dari bintik-bintik berwarna hitam dan teroksidasi (limonitik/oksida besi) yang tersebar merata dalam lapisan. Pada lapisan ini dilakukan pengambilan contoh untuk analisis umur mutlak (Pb-210).
- Lapisan ini ditutupi oleh lapisan pasir halus setebal 6-10 cm, berwarna coklat terang dan bersifat lepas yang dicurigai sebagai endapan tsunami. Pada lapisan ini dilakukan pengambilan contoh untuk analisis ukuran butir, analisis kandungan biota dan penentuan umur mutlak.
- Di atas lapisan pasir halus terdapat lapisan paleosoil yang terdiri dari lempung pasiran berwarna coklat sampai coklat kemerahan dengan ketebalan sekitar 30 cm. Lapisan ini ditutupi oleh lapisan pasir halus berwarna coklat terang, bersifat lepas setebal 10-15 cm yang dicurigai sebagai endapan tsunami dan dilakukan pengambilan contoh untuk analisis penentuan umur mutlak.
- Batas dengan lapisan di atasnya terlihat sangat kontras dan tegas, berupa lapisan pasir berukuran pasir sedang sampai pasir kasar, banyak mengandung fragmen lempung berwarna coklat kuning, tebal Lapisan 40-45 cm, pada bagian atas terdapat sisipan lapisan tipis (3-5 cm) berupa endapan pasir berukuran sedang sampai kasar, yang diperkirakan sebagai endapan tsunami. Pada sisipan ini dilakukan pengambilan contoh untuk analisis ukuran butir, analisis kandungan fauna dan penentuan umur mutlak.

Hasil analisis ukuran butir menunjukkan bahwa pada Lapisan 1 tidak menunjukkan pola bimodal, sedangkan Lapisan 2 dan 3 menunjukkan pola bimodal (Gambar 77). Untuk hasil analisis mikrofauna dapat dilihat pada Tabel 12., sedangkan data mikrofauna dan hasil analisis Pb-210 dalam Gambar 78.



Gambar 76. Penampang dan zonasi lapisan di lokasi Glempang Pasir 1



Gambar 77. Kurva distribusi butir kumulatif dari sampel Lapisan 1, 3 dan 6 Lokasi Glempang Pasir

Tabel 12. Hasil analisis pada beberapa lapisan yang diduga sebagai endapan tsunami di lokasi Glempang Pasir

Lapisan	Analisa Ukuran Butir	Kandungan Biota Laut	Umur Pb-210
6	Menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Orbulina bilobata</i> <i>Planularia australis</i> <i>Amphicorina sp.</i> (neritik tengah)	-
3	Menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Nodosaria sp.</i> <i>Lenticulina submamiligera</i> (neritik dalam)	-
1	Tidak menunjukkan ciri yang jelas sebagai suatu endapan tsunami	<i>Spiroloculina sp.</i> <i>Trochammina nitida</i> (neritik tengah)	-



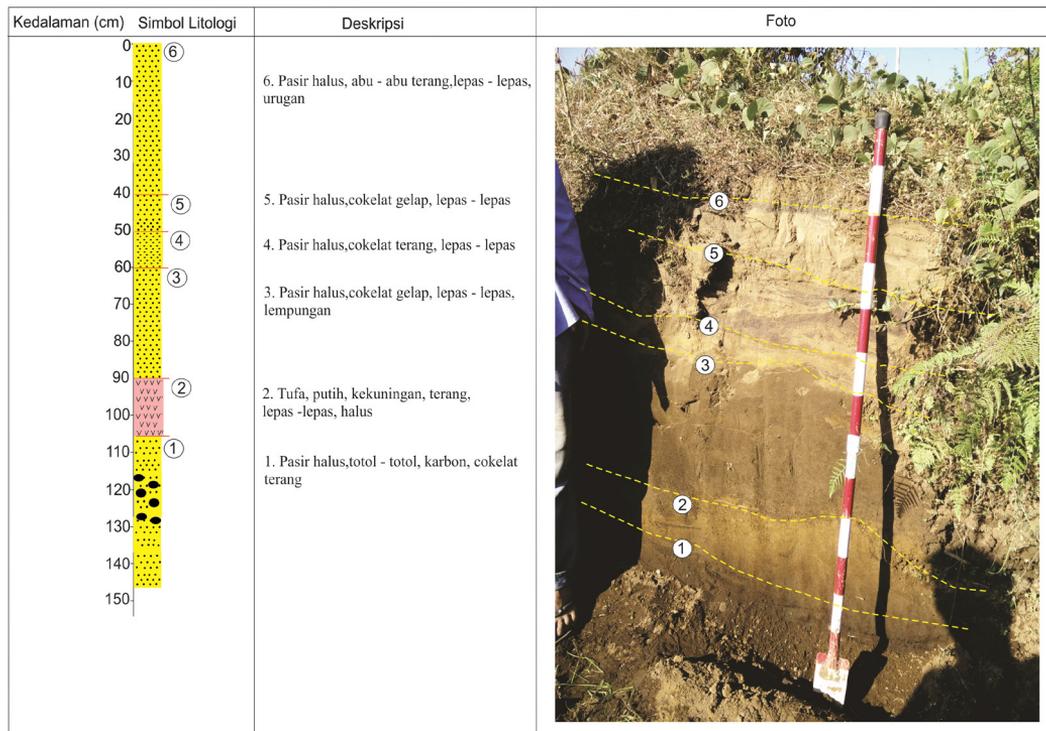
No	Kode sampel	Umur (tahun)
1	GP 9.	1,3
2	GP 8.	2,8
3	GP 7.	4,1
4	GP 6. d	6,6
5	GP 6. c	8,2
6	GP 6. b	9,5
7	GP 6. a	10,4
8	GP 3.2	13,3
9	GP 5.1	20,6
10	GP 4.3	29,6
11	GP 4.2	71,0
12	GP 4.1	136,7
13	GP 3.1	138,9
14	GP 2.2	167,0
15	GP 2.1	-
16	GP 1.1	-

Gambar 78. Foto Mikrofauna dan hasil pertanggalan Pb-210 dari Sumur Uji Glempang Pasir

4.8.2. Titik Glempang Pasir-2

Pada lokasi ini pengamatan singkapan dilakukan pada tebing selatan bukit kecil yang terdapat dalam area persawahan. Pada singkapan terlihat perLapisan yang secara umum tidak begitu berbeda dengan singkapan pada lokasi 1, sehingga pada lokasi ini tidak dilakukan pengambilan contoh untuk analisis ukuran butir ataupun analisis kandungan biota, namun penyontohan hanya dilakukan untuk analisis umur.

Perbedaan Lapisan di lokasi 2 dengan yang ada di lokasi 1 adalah dengan terdapatnya lapisan setebal 15-20 cm berupa endapan berwarna putih sampai kuning terang bersifat tufaan dengan komposisi yang banyak mengandung gelas vulkanik. Lapisan bersifat tufaan ini diperkirakan sebagai endapan hasil letusan gunung api. Penampang urutan lapisan dan deskripsi lapisan dapat dilihat pada Gambar 79.

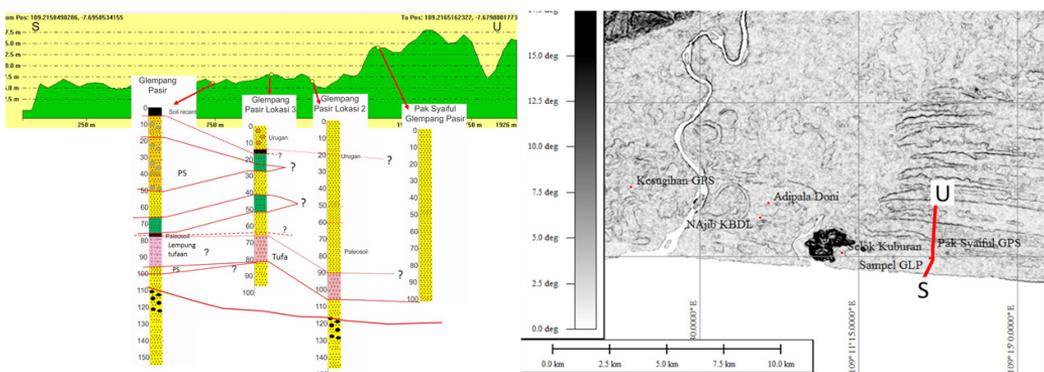


Gambar 79. Penampang dan zonasi lapisan di lokasi Glempang Pasir

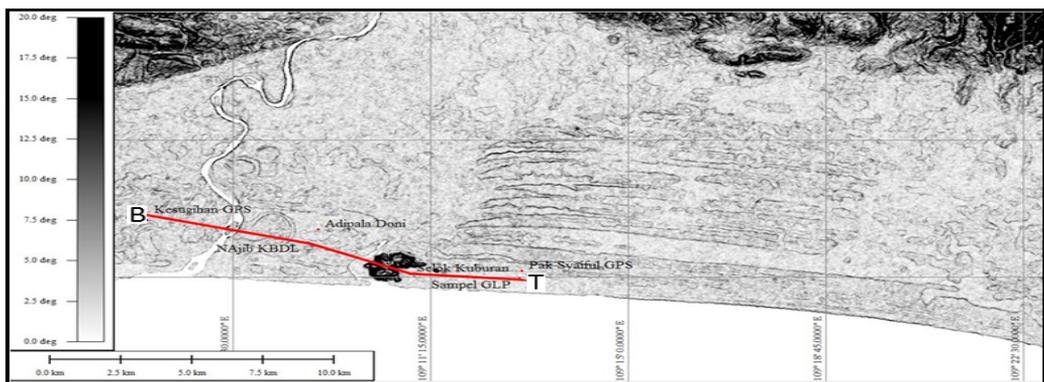
4.8.3. Titik Glempang Pasir-3

Lokasi pengamatan terdapat pada bukit pasir yang terletak di sebelah Selatan lokasi 2. Urutan lapisan yang terdapat di lokasi ini terlihat sangat mirip dengan urutan Lapisan yang dijumpai pada Lokasi 2. Pada Lokasi 3 ini juga terdapat lapisan berukuran pasir halus dan berwarna putih sampai kuning terang, diperkirakan sebagai hasil produk letusan gunung api berupa endapan abu vulkanik (tufa).

Dari data lapangan dan data analisis laboratorium contoh-contoh yang berasal dari beberapa lokasi pengamatan di daerah Kesugihan dan Glempang Pasir kemudian dibuat korelasi sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 80 dan 81. Hasil korelasi menunjukkan adanya beberapa lapisan paleotsunami yang menerus namun ada beberapa yang tidak menerus.



Gambar 80. Penampang melintang dan korelasi beberapa sumur uji dari pantai Glempang Pasir ke arah bukit (Penampang S – U)



Gambar 81. Korelasi penampang sumur uji dari lokasi Kesugihan di barat ke lokasi Glempang Pasir di timur (Penampang Barat – Timur).

4.9. Lokasi Jetis

Lokasi ini terletak di wilayah pantai dekat Desa Jetis, merupakan lokasi paling timur di daerah Cilacap. Secara keseluruhan lokasi ini dibentuk oleh gundukan pasir lepas (dune), dengan bentuk morfologi berundulasi rendah, yang pada saat sekarang dimanfaatkan penduduk sebagai lahan pertanian (Gambar 82). Pada lokasi ini tidak dijumpai endapan tsunami yang terlihat secara jelas. Berdasarkan informasi penduduk gelombang tsunami yang terjadi pada tahun 2006 mencapai lokasi pengamatan.

Dari kenampakan singkapan, tidak terlihat ada batas yang sangat jelas antara endapan tsunami dan yang bukan tsunami. Indikasi yang digunakan disini adalah melihat kehadiran paleosol dan unsur antropogen yang terdapat di dalam endapan (Gambar 83 dan 84).



Gambar 82. Endapan tsunami yang dijumpai di kebun penduduk.



Gambar 83. Kenampakan endapan tsunami mengandung bahan antropogenik berupa plastik.



Gambar 84. Batas antara endapan pasir pantai dengan endapan tsunami yang ditandai adanya batas soil dan akar tanaman

4.10. Lokasi Widara Payung

Lokasi terletak dalam wilayah pantai (07,69697 LS – 109,26754 BT), berdasarkan informasi penduduk setempat, daerah ini dilanda gelombang tsunami pada tahun 2006 mengakibatkan kerusakan yang cukup parah.

Dari pengamatan yang dilakukan di lokasi ini tidak dijumpai adanya endapan tsunami yang cukup signifikan, sehingga untuk mendapat endapan perlu dilakukan pembuatan lobang pengamatan (Gambar 85). Endapan yang dijumpai hanya berupa lapisan tipis pasir lepas berwarna terang dan bersifat lepas, yang tersebar diantara rumput dan tanaman penduduk.

Perbedaan dengan endapan pantai sekarang, hanya pada warna, dimana warna endapan pantai sekarang berwarna lebih gelap dari endapan akibat gelombang tsunami.



Gambar 85. (Kiri) Pembuatan lobang pengamatan untuk mendapatkan endapan tsunami dan Kenampakan endapan tsunami yang sangat tipis dekat batas akar rumput (Kanan) Kenampakan endapan pada lokasi pengamatan Widara Payung.

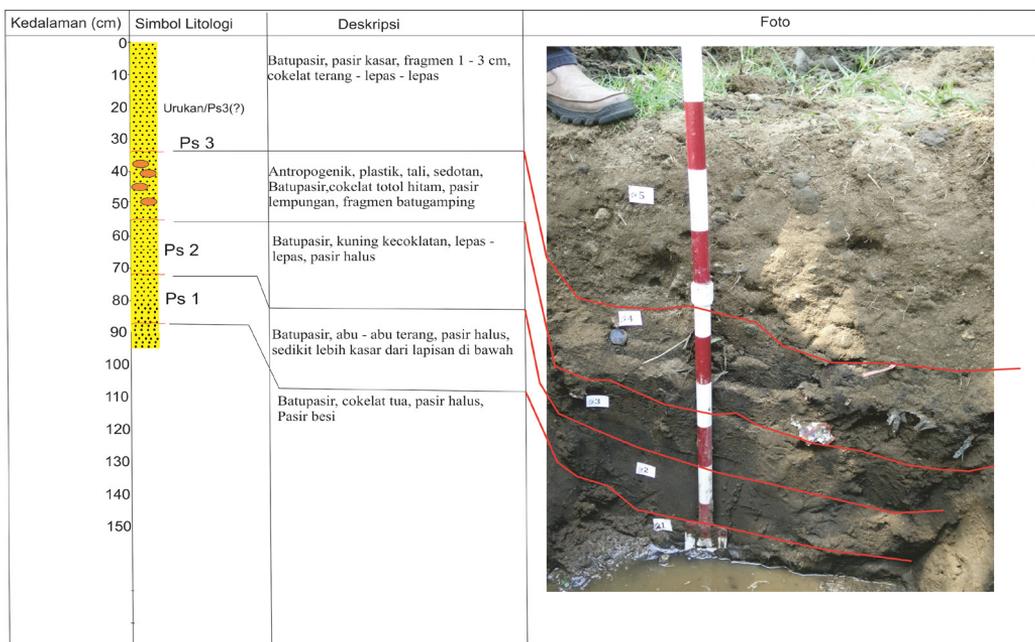
4.10. Lokasi Pantai Ayah

Lokasi wisata Pantai Ayah merupakan lokasi paling timur dari daerah yang diteliti. Di lokasi ini dilakukan pembuatan sumur uji dengan ukuran 1 x 1 x 1 m, untuk melihat penampang per lapisan sedimennya. Lokasi sumur uji terletak dekat alur sungai kecil yang mengalir di dalam lokasi wisata Pantai Ayah.

Pada penampang sumur uji terlihat adanya beberapa perlapisan yang terlihat dari perbedaan warna dan material pembentuk lapisan tersebut, dan di lokasi ini dicurigai terdapat 3 lapisan sebagai hasil endapan tsunami (Gambar 86).

Lapisan paling bawah berupa lapisan pasir halus, berwarna coklat gelap, bersifat lepas, banyak mengandung mineral hitam (besi), diperkirakan sebagai endapan pantai, ketebalan besar dari 20 cm. Di atas lapisan ini terdapat lapisan pasir setebal 12-16 cm, yang menunjukkan penghalusan ke arah atas, berwarna abu-abu terang, Lapisan ini dicurigai sebagai endapan tsunami, pada Lapisan ini dilakukan pengambilan contoh untuk penentuan umur mutlak. Lapisan pasir kemudian ditutupi oleh lapisan pasir kemudian ditutupi oleh lapisan pasir halus berwarna kuning kecoklatan, bersifat lepas, yang juga suspek sebagai lapisan dari endapan tsunami dengan ketebalan 15-17 cm. Pada lapisan ini juga dilakukan penyontohan untuk penentuan umur mutlak. Lapisan ini ditutupi oleh lapisan pasir sedang sampai kasar dan kadang bersifat lempungan.

Lapisan yang juga dicurigai sebagai lapisan dari endapan tsunami ini telah mengalami pelapukan (paleosoil), banyak mengandung material antropogen berupa plastik, tali, dan fragmen batugamping, dengan ketebalan lapisan sekitar 20 cm. Lapisan paling atas dengan ketebalan 30-40 cm, terdiri lapisan pasir mengandung kerikil, berwarna coklat terang, bersifat lepas, bagian atas berupa pasir halus yang dicurigai sebagai hasil endapan tsunami.



Gambar 86. Penampang dan zonasi lapisan sumur uji Pantai Ayah

BAB 5 : RINGKASAN HASIL PENELITIAN

Dari hasil studi paleotsunami di wilayah Cilacap-Pangandaran, telah ditemukan beberapa endapan yang diduga merupakan endapan tsunami. Hasil dugaan di lapangan selanjutnya dibuktikan dengan pengujian laboratorium yang berupa analisis ukuran butir, fauna, dan fosil. Analisis umur juga dilakukan dengan metode analisis radioaktif menggunakan unsur Pb210 dan OSL.

Hasil analisis umur endapan paleotsunami yang ditemukan di Pangandaran (daerah Ciliang) dan Cilacap yaitu: 11,9 tahun (2003), 80,8 tahun (1934), 121,2 tahun (1871), dan 144,1 tahun (1894), 132,6 tahun dan 139 tahun. Hasil analisis umur dengan metode OSL menghasilkan umur endapan tsunami yang lebih tua di Pangandaran dan Cilacap (Karapyak dan Selok), yaitu: 586, 636, dan 763 tahun (Tabel 13).

Tabel 13. Hasil analisis penanggalan dengan metode OSL untuk lokasi Selok, Karapyak3 pada Lapisan 2 dan Lapisan 4.

Sample code	Depth (m)	Grain Size (μm)	Beta rate ^a (Gy ka ⁻¹)	Gamma rate ^b (Gy ka ⁻¹)	Cosmic-ray rate ^c (Gy ka ⁻¹)	Water Content ^d	Age ^h
Selok Kuru OSL0	0.50	180-212	0.502 ± 0.049	0.295 ± 0.018	0.179 ± 0.018	$4/5 \pm 2.0$	0.763 ± 0.082
Kara OSL2	1.80	180-212	0.486 ± 0.042	0.217 ± 0.038	0.141 ± 0.014	$33 / 20 \pm 5$	0.636 ± 0.076
Kara OSL4	1.60	180-212	0.507 ± 0.048	0.232 ± 0.016	0.142 ± 0.014	$33 / 20 \pm 5$	0.586 ± 0.060

Hasil analisis dating dari ketiga sampel tersebut menunjukkan adanya endapan paleotsunami berumur absolut (dalam tahun yang lalu/ years ago) $586+60$ dan $636+76$ di Karapyak Pangandaran, dan $763+82$ di Selok Cilacap.

Selanjutnya hasil studi paleotsunami ini diperbandingkan dengan katalog tsunami BMKG tahun 2015 (Tabel 14). Beberapa data paleotsunami dikorelasikan dengan beberapa kejadian gempa yang terdapat dalam katalog.

Tabel 14. Perbandingan katalog tsunami BMKG dengan hasil studi paleotsunami

Tahun	Umur (tahun lalu)	Lokasi	Korelasi Peristiwa	Keterangan
2009	7	Tasikmalaya	-	Katalog
2006	10	Pangandaran	-	Katalog
1994	22	Banyuwangi	-	Katalog
1982	34	Palung	-	Katalog
1971	45	Selatan Jawa	-	Katalog
1963	53	Selatan Jawa	-	Katalog
1957	59	Selatan Jawa	-	Katalog
1950	66	Selatan Jawa	-	Katalog
1936	80	Selatan Jawa	Gempa selatan Jawa 1932	Studi Paleotsunami
1932	84	Jawa Tengah	-	Katalog
1930	86	Selatan Jawa	-	Katalog
1930	86	Selatan Jawa	-	Katalog
1930	86	Krakatau	-	Katalog
1921	95	Selatan Jawa	-	Katalog
1917	99	Selatan Jawa	-	Katalog
1904	112	Selatan Jawa	-	Katalog
1894	121	Pangandaran	Belum ada catatan	Studi Paleotsunami
1889	127	Selatan Jawa	-	Katalog
1889	127	Anyer	-	Katalog
1882	132	Pangandaran	Letusan G. Krakatau 1882	Studi Paleotsunami
1883	133	Krakatau	-	Katalog
1877	139	Pangandaran-Cilacap	Gempa selatan Jawa 1867	Studi Paleotsunami
1871	144	Pangandaran	Belum ada catatan	Studi Paleotsunami
1867	149	Selatan Jawa	-	Katalog
1863	153	Selatan Jawa	-	Katalog
1862	154	Selatan Jawa	-	Katalog
1861	155	Selatan Jawa	-	Katalog
1856	160	Selatan Jawa	-	Katalog
1843	173	Selatan Jawa	-	Katalog

Tabel 14 (Lanjutan). Perbandingan katalog tsunami BMKG dengan hasil studi paleotsunami

Tahun	Umur (tahun lalu)	Lokasi	Korelasi Peristiwa	Keterangan
1840	176	Selatan Jawa	-	Katalog
1823	193	Selatan Jawa	-	Katalog
1722	294	Selatan Jawa	-	Katalog
1430	586	Pangandaran	belum ada catatan	Studi Paleotsunami
1380	636	Cilacap	belum ada catatan	Studi Paleotsunami
1253	763	Cilacap	belum ada catatan	Studi Paleotsunami
...
416	1600	Selatan Jawa	-	Katalog

Endapan tsunami berumur 80,8 tahun lalu atau sekitar tahun 1934 dikorelasikan dengan gempa pada tahun 1932 yang terjadi di selatan Jawa dengan Skala 6,2 Richter. Endapan tsunami berumur 132,65 tahun dikorelasikan dengan letusan Gunung Krakatau tahun 1882. Dari adanya endapan ini di Pangandaran maka dapat diketahui bahwa dampak letusan Krakatau sampai juga di Pangandaran. Endapan tsunami berumur 138,9 tahun berkorelasi dengan kejadian tsunami tahun 1876.

Tiga endapan tsunami tertua yang ditemukan di daerah Cilacap dan Pangandaran berumur 586, 636, dan 763 tahun. Dalam katalog tsunami BMKG maupun beberapa katalog tsunami lainnya di dunia belum tercatat adanya peristiwa tsunami pada rentang waktu tersebut. Ketiga endapan tsunami ini menjadi sebuah temuan baru yang akan melengkapi data katalog tsunami yang ada.

Jika peristiwa-peristiwa tsunami masa lampau (paleotsunami) yang terjadi di daerah Cilacap dan Pangandaran dikorelasikan, maka terlihat adanya beberapa peristiwa yang sangat mungkin bersamaan sebagai akibat suatu peristiwa tektonik berupa gempabumi yang bersamaan pula, sebagaimana terlihat dari data korelasi waktu peristiwa serta stratigrafi dari daerah Cilacap dan Pangandaran, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 87 dan 88.

Cilacap

No	Kode sampel	Umur (tahun)
1	GP 9.	1,3
2	GP 8.	2,8
3	GP 7.	4,1
4	GP 6. d	6,6
5	GP 6. c	8,2
6	GP 6. b	9,5
7	GP 6. a	10,4
8	GP 5.2	15,3
9	GP 5.1	20,6
10	GP 4.3	29,6
11	GP 4.2	71,0
12	GP 4.1	136,7
13	GP 3.1	138,9
14	GP 2.2	167,0
15	GP 2.1	-
16	GP 1.1	-

Pangandaran

No	Kode	Umur (tahun)
1	BH 7.1	3,1
2	BH 6.1	11,9
3	BH 5.4	22,9
4	BH 5.3	33,7
5	BH 5.2	47,5
6	BH 5.1	67,0
7	BH 4.1	80,8
8	BH 3.3	89,8
9	BH 3.2	100,4
10	BH 3.1	105,9
11	BH 2.b	121,2
12	BH 2.a	144,1
13	BH 2.2	-
14	BH 2.1	-
15	BH 1.1	-

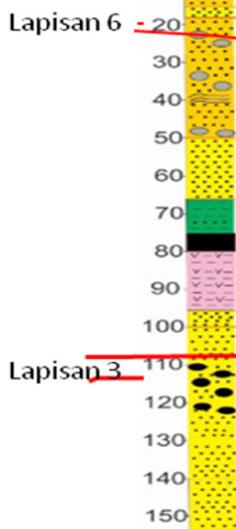
Kedekatan umur.
Gempa 2006

Gempa 1932

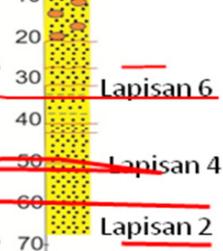
Kedekatan umur.
Periode 1876 – 1882

Gambar 87. Korelasi umur peristiwa tsunami di daerah Cilacap dan Pangandaran.

Cilacap (Glempang Pasir)

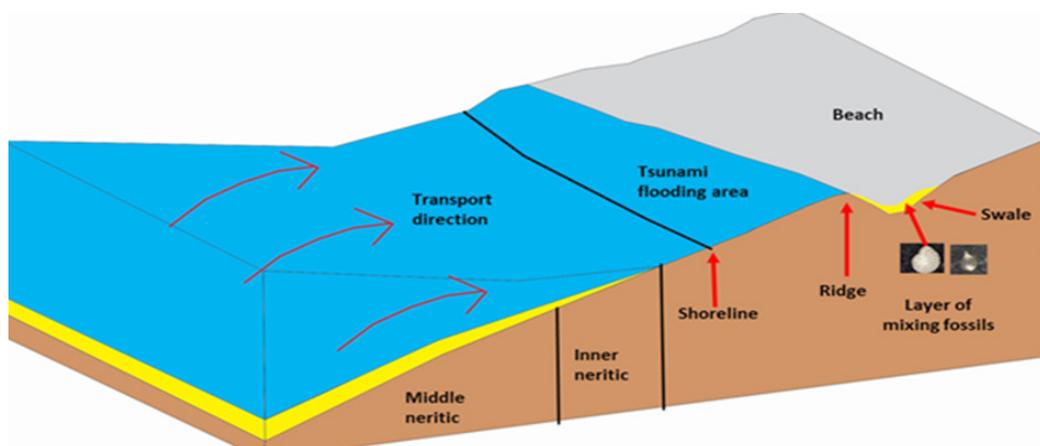


Pangandaran (Batuhijau)



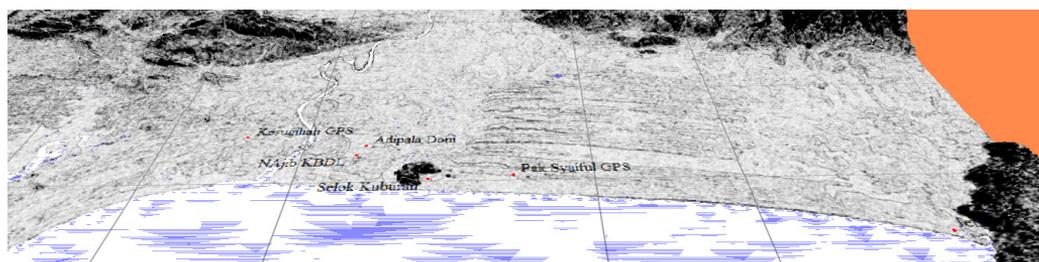
Gambar 88. Korelasi stratigrafi peristiwa tsunami di daerah Cilacap dan Pangandaran.

Sebagai ilustrasi, telah dibuat sketsa bagaimana tsunami akibat gempa bumi yang dapat melampaui tinggian (ridge) mencapai daratan sekitar pantai membawa material berasal dari dasar laut lalu diendapkan pada daerah rendahan (swale) sebagai lapisan sedimen akibat peristiwa tsunami tersebut (warna kuning), yang dapat dijadikan data bukti terjadinya suatu peristiwa tsunami (Gambar 89).

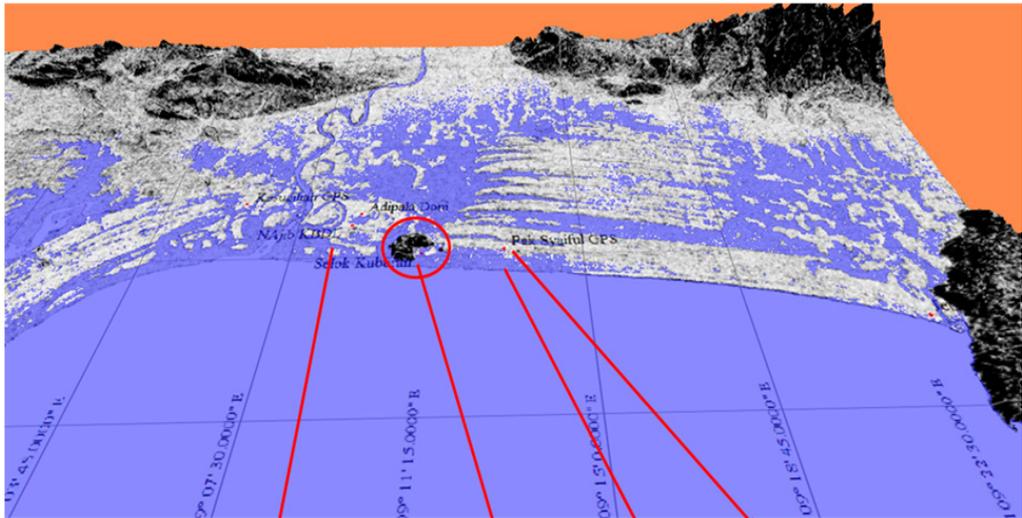


Gambar 89. Sketsa diagram balok (block diagram) peristiwa tsunami

Peristiwa sebagaimana dalam sketsa tersebut dapat pula melanda wilayah Cilacap maupun Pangandaran. Pada keadaan normal, wilayah pantai Cilacap disimulasikan seperti dalam Gambar 90. Ketika terjadi tsunami, dan gelombang tsunaminya sangat kuat mencapai sekitar 8 meter, maka dapat dibayangkan hampir seluruh wilayah Cilacap dilanda tsunami, sebagaimana disimulasikan dalam Gambar 91. Genangan tersebut dapat melampaui daerah tinggian, seperti Selok, Glempang Pasir bahkan daerah wisata Pantai Ayah juga terendam genangan air akibat tsunami, sebagaimana Gambar 92 dan Gambar 93.



Gambar 90. Simulasi keadaan wilayah Pantai Cilacap saat keadaan normal

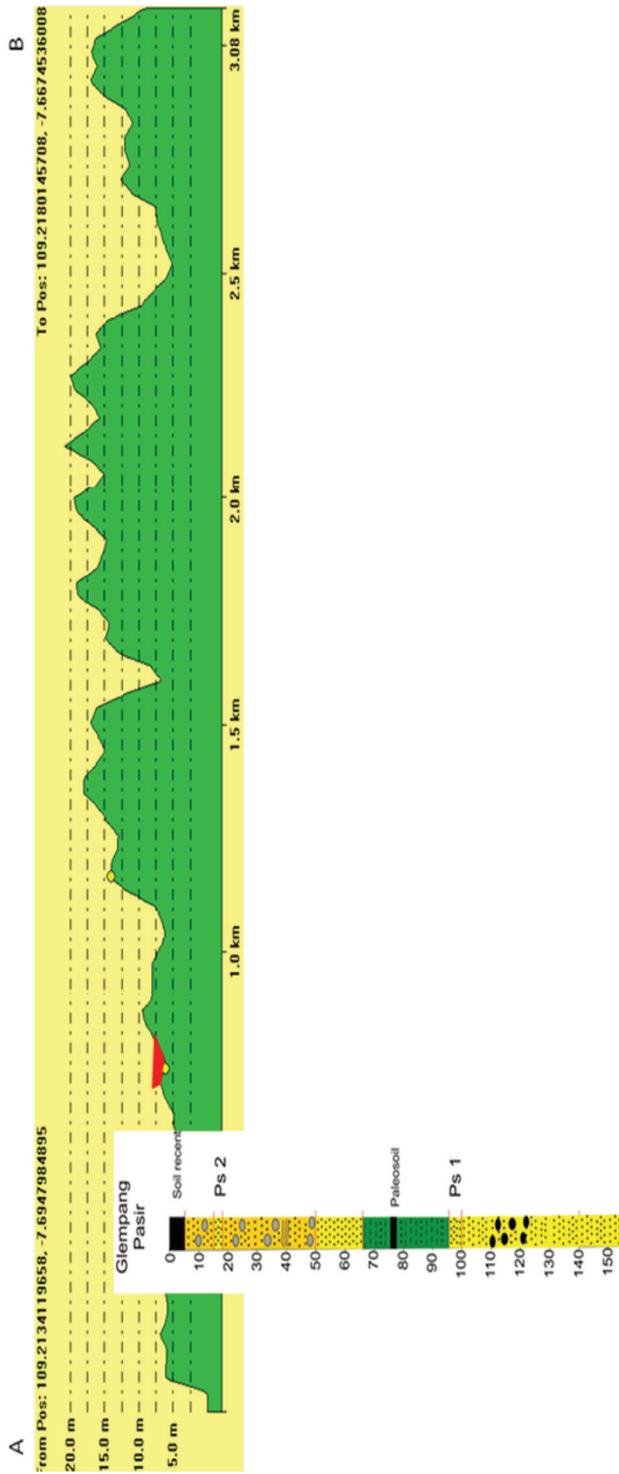


Air mulai naik ke daerah Adipala
 Selok terendam
 Pak Syaiful tidak pernah terendam
 Tsunami Suspect pinggir Jalan

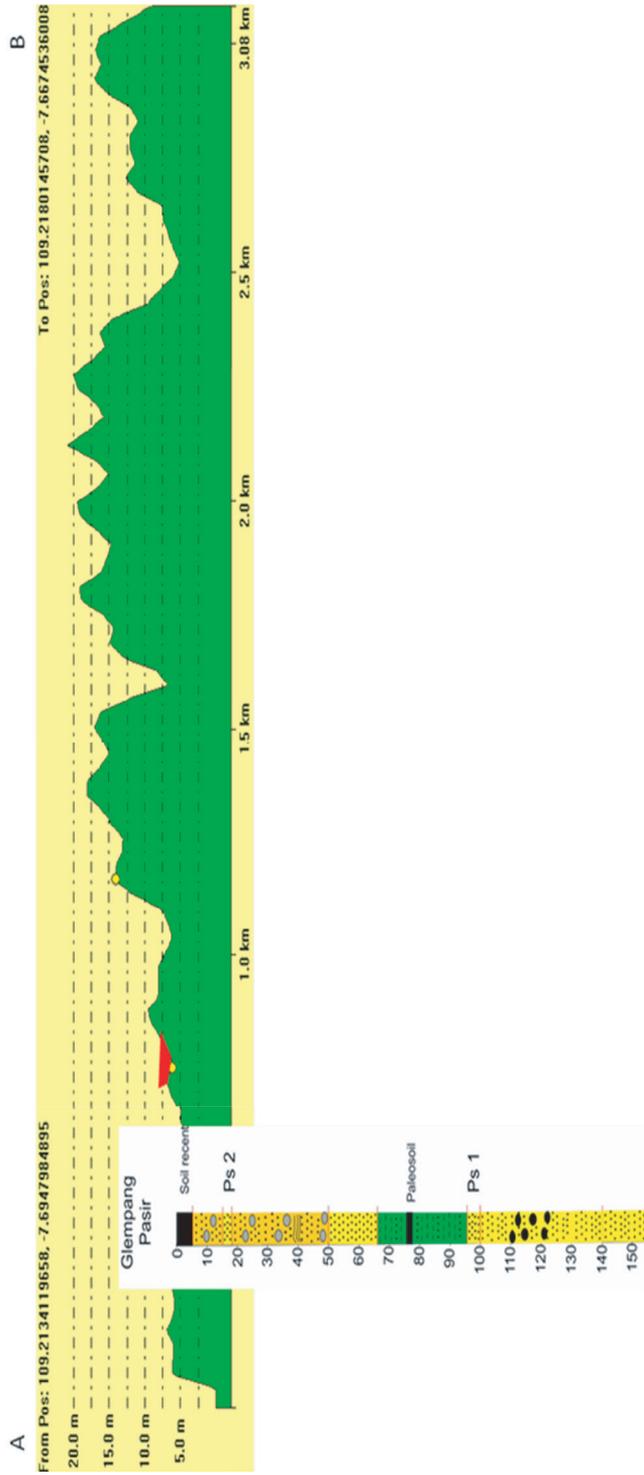
Gambar 91. Simulasi keadaan wilayah Pantai Cilacap yang seluruhnya dilanda tsunami, jika terjadi tsunami dengan ketinggian gelombang 8 meter.

Dari data studi tsunami masa lalu (paleotsunami) dapat diketahui bahwa peristiwa tsunami pernah terjadi beberapa kali melanda daerah Cilacap dan Pangandaran dan hal ini dapat menjadi peringatan dan kesiapsiagaan bagi masyarakat di wilayah pesisir.

Pemahaman terhadap peristiwa tersebut tsunami masa lalu (paleotsunami) adalah sangat penting, agar masyarakat jangan terlena dengan perasaan aman karena selama ini tidak terjadi peristiwa tsunami yang melanda daerahnya, namun dengan data adanya beberapa kali tsunami masa lalu (paleotsunami) yang pernah terjadi, maka masyarakat di pesisir Cilacap dan Pangandaran harus selalu waspada, terlebih jika terjadi gempa bumi besar yang sangat mungkin disertai oleh peristiwa tsunami yang mungkin sekali membawa gelombang laut yang dahsyat, yang dapat menjadi bencana dan harus tetap diwaspadai.



Gambar 92. Penampang daerah Glempong Pasir, Cilacap yang dilanda tsunami (warna merah).



Gambar 93. Penampang daerah wisata Pantai Ayah, Cilacap yang dilanda tsunami (warna merah)



PANTAI SELOK, DEPAN GUA NAGARAJA - CILACAP

DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharya, H. N., Bandyopadhyay, Sandip. 1998. *Seismites in a Proterozoic tidal succession*, Singhbhum, Bihar, India, In: *Sedimentary Geology*, Volume 119, Issue 3: 239-252.
- BMKG. 2018. *Katalog Tsunami Indonesia Tahun 416-2017*. Jakarta: BMKG.
- Cheevaporn, V., and Mekkongpa, P. 1996. *Pb-210 Radiometric Dating of Estuarine Sediments from the Eastern Coast of Thailand*. *Science Social* , 313-324.
- Fujiwara, Osamu & Kamataki, Takanobu. 2007. *Identification of tsunami deposits considering the tsunami waveform: An example of subaqueous tsunami deposits in Holocene shallow bay on southern Boso Peninsula, Central Japan*. *Sedimentary Geology*. 200. 295-313.
- Felix M. Gradstein, James G. Ogg, Mark D. Schmitz, Gabi M. Ogg. 2012. *The Geologic Time Scale: Chapter 2 - The Chronostratigraphic Scale*. Elsevier, 31-42, ISBN 9780444594259.
- Hutton, J. 1795. *Theory of the Earth*, the Royal Society of Edinburgh
Jeter, H. 2000. *Determining the Ages of Recent Sediments Using Measurements of Trace Radioactivity*. *Terra et Aqua* , 21-28.
- Lavigne,F, C. Gomez, M. Giffa, P. Wassmer, C. Hoebreck, D. Mardiatno, J. Priyono, dan R. Paris. 2007. *Field observations of the 17 July 2006 Tsunami in Java*, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 177–183.
- Morton, R.A., G. Gelfenbaum, and B.E. Jaffe .2007. *Physical criteria for distinguishing sandy tsunami and storm deposits using modern examples*, In: *Sedimentary Geology* 200: 184–207.

DAFTAR PUSTAKA

Pemerintah Indonesia. 2010. *UU No 11 Tahun 2010 Tentang Cagar Budaya*.

Rizal, Y., Aswan, Yahdi Zaim, Wahyu Dwijo Santoso, Nur Rochim, Daryono, Suci Dewi Anugrah, Wijayanto, Indra Gunawan, Tatok Yatimantoro, Hidayanti, Resti Herdiyani Rahayu, Priyobudi. 2017. *Tsunami Evidence in South Coast Java, Case Study: Tsunami Deposit along South Coast of Cilacap*, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 71 doi:10.1088/1755-1315/71/1/012001.

Robert, F. 2009. January 7. *Understanding the Pb-210 Method*. Dipetik Februari 18, 2013, dari flettresearch: <http://www.flettresearch.ca/Webdoc4.htm>

Sugawara, D., Minoura, K., Nemoto, N., Tsukawaki, S., Goto, K., and Imamura, F., .2009. *Foraminiferal evidence of submarine sediment transport and deposition by backwash during the 2004 Indian Ocean tsunami*, *Island Arc* 18, 513–525.

Yudhicara, Y. Zaim, Y. Rizal, Aswan, R. Triyono, U. Setiyono, and D. Hartanto 2011. *Preliminary Result of Paleotsunami Study in Cilacap and Pangandaran*, *Indonesian Journal of Geology*, Vol. 8 No. 4 December 2013: 163 – 175.

LAMPIRAN KATALOG TSUNAMI WILAYAH JAWA

No.	Waktu Kejadian		Mag. Gempa (M)	Vol / Tek	Sumber Tsunami	Lokasi		Mag. lida	H (m)	Korban Meninggal	Catatan Pengamatan
	Tanggal	Pukul				Lat	Lon				
1.	02/09/2009	07:55:00	7,3	T	Tasikmalaya, Jawa Barat	8,2	107,32			81	Tercatat tsunami lokal di Pameungpeuk setinggi 1 m dan di Pelabuhan Ratu setinggi 0,2 cm
2.	17/07/2006	08:19:22	6,8	T	Pangandaran, Jawa Barat	9,4	107,2	0	3 – 8	664	Lihat keterangan di bawah

Catatan Pengamatan:

Gempa dengan guncangan yang lemah dirasakan oleh sebagian besar penduduk pantai selatan Jawa Barat. Tsunami melanda kawasan pantai selatan P. Jawa sepanjang 500 km. Tsunami merusak desa-desa di pantai selatan Jawa Barat yaitu: Cipatujah(Tasikmalaya), Pangandaran(Ciamis), dan lokasi wisata pantai Pangandaran. Di Pulau Nusakambangan tercatat tinggi runup mencapai 20 m dengan kedalaman genangan 8m. Hal ini mengindikasikan slip terbesar yang terjadi tepat di selatan P. Nusa Kambangan. Pendapat lain menyatakan bahwa terjadi longoran besar tepat di selatan pulau tersebut. Tinggi runup di Jawa Barat: Pameungpeuk 1 m; Pangandaran 3-8m; Jawa Tengah: Nusa Kambangan 20m; Cilacap 2m; Widara Payung 2-5m, Ayah 1 m; Yogyakarta: Parangtritis 3m; Jawa Timur: Sendangbiru 2m.

3.	02/06/1994	18:17:34	7,8	Tek.	Laut Selatan Jawa Timur	10,48	112,83	3,7	13.9		Lihat Keterangan di bawah :
----	------------	----------	-----	------	-------------------------	-------	--------	-----	------	--	-----------------------------

Catatan Pengamatan:

- Pancer-Banyuwangi: Terletak di koordinat 8,58 S - 114,00 E, Pancer adalah desa yang mengalami dampak terburuk akibat tsunami. Dari 3.081 jumlah penduduk, 121 orang tewas dan 27 orang luka-luka berat. Di antara 996 rumah yang ada, 704 yang runtuh akibat serangan tsunami.
- Lampon-Banyuwangi: Ketinggian Tsunami / run-up pada beberapa titik di Pancer berkisar 5,7-9,4 m yang diukur oleh tim survey Jepang. Terletak pada koordinat 8,62 S - 114,01 E, desa Lampon juga sangat hancur oleh gelombang tsunami. Dari total populasi 645, jumlah korban tewas mencapai 39, satu orang dilaporkan hilang dan 4 terluka parah. Dari 171 rumah yang ada, 112 tersapu oleh tsunami dan dibiarkan dalam reruntuhan. Ini berarti bahwa 65 persen dari rumah-rumah roboh. Run-up tsunami tingginya pada suatu titik di Lampon mencapai 9,3 m seperti yang dilaporkan oleh tim survey Jepang.
- Rejawksi - Banyuwangi: Run-up tsunami tingginya pada suatu titik di Lampon mencapai 9,3 m seperti yang dilaporkan oleh tim survei Jepang. Rejawksi terletak di koordinat 8,56 S - 113,94 E. Run-up tsunami dengan ketinggian 13,9 m pada suatu titik ke arah timur dari desa di daerah bencana. Dari 1205 total penduduk, 33 orang tewas dan 14 orang dilaporkan hilang. 71 Rumah runtuh dari total 301 rumah yang ada.

No.	Waktu Kejadian		Mag. Gempa (M)	Vol / Tek	Sumber Tsunami	Lokasi		Mag. lida	H (m)	Korban Meninggal	Catatan Pengamatan
	Tanggal	Pukul				Lat	Lon				
<ul style="list-style-type: none"> • Grajangan - Banyuwangi: Terletak pada koordinat 8,6 S - 114,22 E. Desa Grajangan juga tidak luput diserang oleh tsunami yang menewaskan 13 orang. Ketinggian maksimum gelombang tsunami adalah 4,1 m. • Ambulu - Jember: Tsunami menyebabkan 56 rumah hanyut dan tenggelam 9 nelayan di Payangan yang merupakan daerah desa Sumberrejo. • Kabupaten Ambulu Puger: Gelombang tsunami menghancurkan 57 perahu nelayan. Tidak Ada korban manusia atau kerusakan rumah. • Klateng, PBali: Tsunami mencapai ketinggian 3,5 m. Tidak ada kerusakan bangunan dan orang-orang meninggal. • Kuta: Tinggi tsunami mencapai 1 m. • Tanah Lot: Tinggi tsunami mencapai <2 m. • Soka: Tsunami mencapai ketinggian 3,7 m. • Antap: Tsunami mencapai ketinggian 4,1 m. 											
4.	13/04/1985	01:06:01	-	Tek.	Laut Selatan Jawa Timur	-9,25	114,19	-	2	-	Tidak ada keterangan
5.	16/01/1963	-	6.5	Tek.	Perairan Banten	-6.2	105.4	-0,5	0,7	-	Labuan: Dilaporkan adanya tsunami kecil.
6.	26/09/1957	-	-	Tek.	Laut Selatan Jawa Timur	-8,2	107,3	-0,5	0,7	-	Banyumas: Gempa diiringi oleh banjir pasang.
7.	19/07/1930	15:20:12	-	Tek.	Perairan Kep. Madura	-9,3	114,3	-3,3	0,1	-	Besuki: Sekitar pukul 02:00, menara mercusuar di Bansiring (Kecamatan Besuki)
8.	17/06/1930	13:07:27	6	Tek.	Teluk Betung, Lampung	-5,6	105,3	3,9	1,5	-	Gelombang pasang naik 1.5 m di atas level pasang naik hari sebelumnya. Pada hari yang sama, sekitar pukul 13:30 gempa ringan mengguncang Jakarta

No.	Waktu Kejadian		Mag. Gempa (M)	Vol / Tek	Sumber Tsunami	Lokasi		Mag. lida	H (m)	Korban Meninggal	Catatan Pengamatan
	Tanggal	Pukul				Lat	Lon				
9.	17/03/1930	-	-	Vol.	Selat Sunda	-6.102	105.42	0	5	-	Tidak ada keterangan
10.	11/09/1921	04:01:38	7,5	Tek.	Laut Selatan Jawa Tengah	-11	111	-	0,1	-	Pr. Tritis: berada di wilayah pantai selatan Yogyakarta, mengalami tsunami kecil (sekitar 10 cm)
11.	23/11/1889	-	-	Tek.	Perairan Kep. Madura	-7,136	113,97	0	0	-	Gersikputi: Terletak di Kep. Madura, wilayah pemukiman pesisir Gersikputi mengalami perbedaan ketinggian muka air dari kondisi biasanya.
12.	26/08/1883	-	-	Vol.	Selat Sunda	-6.102	105,42	-	-	-	Gn. Krakatau Meletus : Pemukiman tersapu gelombang, 36000 orang tewas 297 desa mengalami kerusakan
13.	16/08/1889	-	-	Tek.	Laut Selatan Jawa Barat	-	-	-	-	-	Tidak ada keterangan
14.	20/10/1859	-	-	Tek.	Laut Selatan Jawa Tengah	-9	111	-	-	-	Pacitan: Terjadi gempa kuat disertai tsunami, gelombang tiba saat kapal Ottolina bersiap untuk melepas jangkar. Sebelas dari 13 awak kapal selamat

No.	Waktu Kejadian		Mag. Gempa (M)	Vol / Tek	Sumber Tsunami	Lokasi		Mag. lida	H (m)	Korban Meninggal	Catatan Pengamatan
	Tanggal	Pukul				Lat	Lon				
15.	04/05/1851	-	-	Tek.	Lampung, Selat Sunda	-5,716	105,32	-0,5	1,5	-	Teluk Betung: Setelah terjadi dua guncangan, dari kejauhan terdengar suara gemuruh. Kapal yang tertambat dipelabuhkan berderak sangat kencang. air surut sekitar 0.5 m, namun setelah itu naik setinggi 1 - 1.5 m. Riak air terlihat.
16.	07/02/1843	-	-	Tek.	Laut Selatan Jawa Timur	-7,2	114	0	0		Lihat Keterangan di bawah
Catatan Pengamatan:											
Gempa terletak di selatan P. Madura. P. Genteng mengalami alunan kuat yang tidak biasa di pantai selatan. Alun ini disebabkan oleh gempa bawah laut. Kemudian sebuah batu muncul 0.3 m di atas muka air laut.											
17.	04/01/1840	-	-	Tek.	Laut Selatan Jawa Tengah	-8	110.5	-	-	-	Gempa kuat dirasakan sampai Semarang. Gempa kuat diikuti oleh gelombang pasang di Pacitan
18.	09/09/1823	-	6,8	Tek.	Laut Selatan Jawa Barat	-6,4	108,5	-	-	-	Gempa disertai dengan suara bergemuruh dan pada saat yang bersamaan muka air laut naik hingga mencapai tinggi 0,3 m.

No.	Waktu Kejadian		Mag. Gempa (M)	Vol / Tek	Sumber Tsunami	Lokasi		Mag. lida	H (m)	Korban Meninggal	Catatan Pengamatan
	Tanggal	Pukul				Lat	Lon				
19.	24/08/1757	-	7.5	Tek.	Laut Jawa	-6	107	1	0,5	-	Lihat Keterangan di bawah
Catatan Pengamatan: Selama terjadi gempa kuat, permukaan air Sungai Ciliwung naik hingga di atas 0.5 m dari kondisi normal.											
20.	416	-	-	Vol.	Selat Sunda	-6.102	105,42	2	-	-	Tidak ada keterangan

