

# PERUBAHAN LINGKUNGAN DAN EVOLUSI MANGROVE DI PULAU BELITUNG SELAMA HOLOSEN AKHIR BERDASARKAN REKAMAN POLEN

## *POLLEN RECORD OF LATE HOLOCENE ENVIRONMENTAL CHANGES AND MANGROVE EVOLUTION FROM BELITUNG ISLAND, INDONESIA*

Eko Yulianto<sup>1</sup>, Woro Sri Sukapti<sup>2\*</sup>, Praptisih<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Geoteknologi, LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135

<sup>2</sup>Pusat Survei Geologi, Jl. Diponegoro 57 Bandung 40115

\*email : [abiwaralintang@gmail.com](mailto:abiwaralintang@gmail.com)

Diterima : 06-08-2019, Disetujui : 29-10-2019

### ABSTRAK

Studi sejarah fluktuasi muka air laut dan perubahan lingkungan di Paparan Sunda masih sedikit dilakukan. Ada dua isu yang saling terkait yang menjadi permasalahan utama terkait dengan perubahan muka air laut di wilayah ini yaitu kurangnya rekaman data fluktuasi muka air laut dan perubahan lingkungan selama kurun waktu mid-late Holosen dengan kualitas yang bagus. Hal itu memiliki konsekwensi terhadap munculnya isu kedua yaitu tidak terdefinisiannya secara jelas dan tepat baik waktu maupun besaran posisi muka air laut pada saat mid-Holosen. Penelitian ini dilakukan untuk merekonstruksi perubahan lingkungan selama Holosen Akhir di wilayah Paparan Sunda menggunakan rekaman polen endapan mangrove. Pemboran tangan dilakukan guna pengamatan stratigrafi dan pengambilan sampel untuk analisis-analisis sedimentologi dan mikropaleontologi di laboratorium. Hasil studi ini menunjukkan bahwa perubahan lingkungan terjadi di Pulau Belitung selama setidaknya 1500 tahun terakhir sebagai akibat dari proses progradasi. Proses ini menyebabkan garis pantai terus maju hingga mencapai posisi saat ini. Endapan mangrove di lokasi penelitian juga merekam kejadian insidental yang secara hipotetis diduga sebagai peristiwa tsunami akibat letusan Krakatau yang terjadi pada tahun 1883 AD dan sekitar 535-536 AD.

Kata Kunci: Belitung, polen, mangrove, Mid-Holosen, Krakatau, muka laut, perubahan lingkungan.

### ABSTRACT

There is only minor study on sea-level fluctuation and environmental change in Sunda Shelf. The main issues in this area are lacking good quality of sea-level fluctuation and environmental change record during mid-late Holocene in which accordingly the onset time and sea-level height of the Mid-Holocene Maximum Transgression event have not been well defined. This study aims to reconstruct environmental changes during late Holocene in the Sunda Shelf area based on mangrove pollen record. Hand-auger was applied to make stratigraphic observation and sampling for sedimentological and micropaleontological analyses in the laboratory. Result of this study shows environmental changes occurred within the last ca.1500 years due to coastal progradation in Belitung. This progradation shifted the coastal line seaward to attain the present position. The pollen record also reflects rapid and brief changes that may hypothetically be interpreted as the 535-536 AD and 1883 AD Krakatau tsunamis.

Keywords: Belitung, pollen, mangroves, Mid-Holocene, Krakatau, sea level, environmental changes.

### PENDAHULUAN

Sinyal terbesar dari fluktuasi muka laut relatif dan perubahan lingkungan ditemukan di wilayah-wilayah yang pernah mengalami glasiasi, dimana hilangnya beban es mengakibatkan deformasi kerak bumi secara signifikan. Semakin jauh dari wilayah-wilayah pusat terjadinya glasiasi,

pengaruh hilangnya beban es terhadap fluktuasi muka air laut relatif dan perubahan lingkungan menjadi semakin berkurang sehingga sinyal eustatik (*eustatic* atau *melwater*) menjadi semakin dominan. Di daerah-daerah ini seperti di wilayah Paparan Sunda, sinyal fluktuasi muka laut relatif umumnya ditandai oleh adanya kenaikan

maksimum muka laut mid-Holosen, atau *highstand*. Penurunan muka air laut sejak mid-Holosen hingga saat ini terjadi sebagai akibat dari proses penyesuaian isostatik glasial (*glacial isostatic adjustment* – GIA) yang masih sedang berlangsung seperti pembebanan hidrostatis lokal dan penurunan muka air laut global baik akibat pembebanan hidro maupun glasio-isostatik dari permukaan bumi (Milne dan Mitrovica, 2008). Proses kenaikan dan penurunan muka air laut global ini berkonsekuensi terhadap evolusi hutan mangrove di Asia Tenggara. Terlepas dari beberapa kemajuan penting dalam studi sejarah perubahan muka air laut di wilayah-wilayah yang jauh dari pusat glasiasi, studi mengenai hal yang sama di Paparan Sunda masih sangat sedikit dilakukan.

Ada dua isu yang saling terkait yang menjadi permasalahan utama terkait dengan perubahan muka air laut di wilayah ini yaitu kurangnya rekaman data fluktuasi muka air laut dan perubahan lingkungan selama kurun waktu *mid-late Holosen* dengan kualitas yang bagus. Hal itu memiliki konsekuensi terhadap munculnya isu kedua yaitu tidak terdefinisiannya secara jelas dan tepat waktu besaran posisi muka air laut pada saat *mid-Holosen*. Kekurangan data itu memunculkan debat mengenai kebenaran terjadinya *mid-Holosen highstand* di wilayah ini (Horton dkk., 2005; Bird dkk., 2007; Briggs dkk., 2008). Selain dari itu, kekurangan data tersebut juga membatasi kemampuan kita untuk memecahkan permasalahan tektonik yang berkaitan dengan sejarah akumulasi dan pelepasan tegangan di sepanjang jalur *Megathrust* Sunda. Sejumlah studi tektonik telah dilakukan di pulau-pulau busur luar Pulau Sumatra menggunakan mikroatol untuk memperkirakan sejarah perubahan muka air laut relatif dan sejarah tektoniknya (Zachariassen, 1998; Zachariassen dkk., 1999, 2000; Natawidjaja dkk., 2004, 2006, 2007; Meltzner dkk., 2010, 2012). Namun, ketidakpastian dari kecepatan rata-rata perubahan muka air laut relatif baik sebagai akibat input estatik maupun penyesuaian isostatik memperbesar keraguan tentang nilai kecepatan rata-rata dari penurunan tektonik di wilayah itu. Memecahkan permasalahan sejarah perubahan muka air laut dengan data paleo-elevasi dari Paparan Sunda yang stabil menjadi langkah yang sangat penting untuk bisa menginterpretasikan sejarah tektonik dari *Megathrust* Sunda. Untuk memecahkan permasalahan-permasalahan di atas, penelitian ini akan menggunakan indikator

fluktuasi muka air laut dan perubahan lingkungan yaitu sedimen dan mikrofossil (lihat Martin, 2000). Perkembangan terkini dalam rekonstruksi muka air laut relatif berdasarkan mikrofossil adalah upaya peningkatan dalam hal akurasi dan jenis sedimen yang digunakan dalam studi muka air laut (Horton and Edwards, 2006).

Endapan rawa air asin yang kaya material organik memungkinkan dilakukannya banyak penanggalan dengan metode radiokarbon sehingga sejarah pengendapan detil berupa kronologi komposit dapat dibuat berdasarkan data isotop radiometri, lapisan-lapisan umur kunci dan model-model statistik umur-kedalaman (Kemp dkk., 2009).

Penelitian ini dirancang untuk merekonstruksi perubahan lingkungan selama mid-late Holosen khususnya selama 2000 tahun terakhir di wilayah Paparan Sunda. Pada tahun pertama ini penelitian bertujuan untuk merekonstruksi perubahan tersebut berdasarkan rekaman dalam sedimen mangrove di Pulau Belitung.

### Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di pesisir pantai Pulau Belitung. Karena proksi utama yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah analisis palinologi maka penelitian difokuskan di wilayah hutan mangrove Belitung (Gambar 1). Sebanyak dua buah transek bor dibuat masing masing di Muara Sungai Padang dan di Dermaga Manggar. Beberapa bor penjajagan dilakukan juga di beberapa tempat.

Sungai Padang adalah sungai yang di sisi kanan dan kiri muaranya ditutupi oleh hutan mangrove yang didominasi oleh *Rhizophora* spp. Jenis lain yang terlihat menonjol di lokasi ini adalah *Avicennia* spp. Lajur hutan mangrove ini berkembang menjorok ke darat, mengikuti alur sungai, dengan lebar di sisi kiri dan kanan tidak lebih dari 100 meter. Batas tumbuh mangrove adalah pada posisi paras air pasang tertinggi, sedangkan di Dermaga Manggar, hutan mangrove tumbuh menutupi zona pasang surut bagian atas, tidak terlalu rapat dan didominasi oleh *Avicennia* spp. dan *Rhizophora* spp.

### METODE

Sebelum dilakukan penelitian, survei penjajagan lokasi transek bor yang tepat dilakukan dengan mengobservasi beberapa alternatif lokasi. Setelah mengetahui lokasi terbaik, maka dilakukan



Gambar 1. Pulau Belitung dan lokasi penelitian, Sungai Padang di sisi utara dan Dermaga Manggar di sisi barat.

transek pemboran tangan dan pengambilan sampel untuk analisis laboratorium.

Pemboran dilakukan dengan bor tangan berdiameter 1 inchi untuk deskripsi stratigrafi, dan pengambilan sampel untuk analisis- analisis di laboratorium. Pemboran dilakukan pada transek-transek yang melintasi rawa-rawa mangrove. Interval titik pemboran maksimum 25 meter. Pemboran dilakukan hingga mencapai kedalaman 5 meter atau lebih dangkal jika batuan dasarnya berada pada kedalaman kurang dari 5 meter atau apabila alat bor tidak bisa menembus lebih dalam lagi. Stratigrafi setiap titik akan dikorelasikan dengan titik lainnya berdasarkan hasil analisis sedimen.

Data foraminifera akan digunakan untuk menentukan terjadinya perubahan lingkungan secara perlahan-lahan akibat perubahan muka air laut relatif. Analisis foraminifera dilakukan dengan interval 1 cm atau interval yang memungkinkan analisis dengan resolusi tinggi. Sampel untuk analisis ini diambil dari beberapa titik bor. Analisis palinologi digunakan untuk mengetahui perubahan lingkungan. Analisis palinologi dilakukan dengan interval 1 cm atau interval yang memungkinkan analisis dengan resolusi tinggi. Sampel untuk analisis ini diambil dari titik bor yang terpilih.

## HASIL PENELITIAN

### Stratigrafi & Sedimentologi

Stratigrafi endapan mangrove di muara Sungai Padang dan di Dermaga Manggar ditampilkan dalam gambar 2 dan 3. Secara umum endapan mangrove di kedua lokasi tersusun oleh tiga satuan endapan yaitu endapan lanau-lempung pada bagian paling bawah (unit 3), endapan gambut di bagian tengah (unit 2), dan endapan pasir halus-pasir sedang di bagian paling atas (unit 1). Unit 1 tersusun oleh lanau pasiran, pasir halus lanauan atau lempung. Endapannya berwarna abu-abu, abu-abu kehijauan, abu-abu kecoklatan-kemerahan atau hijau. Endapan ini mengandung sedikit pecahan cangkang dan sisa-sisa tumbuhan. Dalam endapan ini kadang-kadang dijumpai fragmen litik atau kuarsa berukuran hingga kerikil. Batas atas endapan ini berundulasi, berada pada kisaran kedalaman 150-250 cm pada transek Sungai Padang dan berada pada kisaran kedalaman 70-120 cm pada transek Dermaga Manggar.

Unit 2 tersusun oleh gambut pasiran, pasir halus lanauan atau lanau pasiran, pasir halus-pasir sedang mengandung sisa-sisa tumbuhan sangat banyak. Warna endapannya adalah coklat kemerahan, coklat keabu-abuan, coklat tua-coklat hitam, atau hitam. Dalam endapan ini seringkali dijumpai sisipan-sisipan lapisan pasir dan lapisan cangkang sangat tipis, dan lapisan yang mengandung konsentrasi kerikil. Yang

membedakan endapan ini dari Endapan lanau-lempung adalah kandungan sisa-sisa tumbuhan yang sangat tinggi. Batas atas endapan ini berundulasi, berada pada kisaran kedalaman 100-130 cm pada transek Sungai Padang, dan berada pada kisaran kedalaman 20-30 cm pada transek Dermaga Manggar.

Unit 3 tersusun oleh pasir halus atau pasir sedang yang bersih. Endapan ini berwarna berwarna abu-abu, abu-abu tua-hitam, atau coklat kekuningan. Pecahan cangkang dan fragmen litik berukuran kerikil mudah dijumpai dalam endapan ini. Di dalam endapan ini, kadang-kadang dijumpai lapisan tipis pecahan cangkang. Sisa-sisa tumbuhan jarang dijumpai di dalam endapan ini.

Di dalam ketiga satuan endapan itu terdapat sisipan lapisan fragmen kasar yang mudah dikenali dan dapat dilacak keberadaannya di hampir semua titik bor. Lapisan itu tersusun oleh litik dan kuarsit berukuran kerikil dan kerakal, seringkali bercampur dengan pecahan-pecahan cangkang berukuran kasar, dan fragmen-fragmen kayu. Pada transek Sungai Manggar lapisan ini dapat dijumpai di dua kedalaman berbeda. Lapisan pertama terlampar di bagian bawah endapan pasir halus-pasir sedang. Batas atasnya berada pada kisaran kedalaman 20-120 cm. Lapisan kedua terlampar di bagian bawah endapan gambut. Batas atasnya berada pada kisaran kedalaman 130-270 cm. Pada transek Dermaga Manggar, lapisan fragmen kasar ini hanya ada satu, terusun terutama oleh kerikil dan kerakal. Batas atas lapisan ini berada pada kisaran kedalaman 90-110 cm. Profil dan korelasi stratigrafi dari inti bor pada semua transek Sungai Padang dan Dermaga Manggar ditampilkan masing-masing pada Gambar 2 dan 3.

### Kandungan Material Organik

Data kualitatif kandungan material organik diukur dengan metode Hilang Dibakar (LOI-*Lost on Ignition*). Sampel untuk pengukuran LOI diambil dari bor SP 10 pada transek Sungai Padang. Hasil pengukuran LOI (Gambar 6) menunjukkan bahwa secara umum endapan mangrove di Sungai Padang memiliki kandungan material organik yang tinggi yaitu berkisar 89-99% dengan nilai LOI rata-rata 94,6%. Dari sampel paling bawah (296 cm) hingga permukaan, nilai LOI memperlihatkan kecenderungan berkurang. Namun pada observasi yang lebih teliti, nilai LOI dari bawah hingga kedalaman sekitar 150 cm terlihat berfluktuasi di sekitar angka 96%. Dari kedalaman sekitar 150 cm hingga permukaan nilai LOI memperlihatkan

kecenderungan menurun dari sekitar 96% menjadi sekitar 90%.

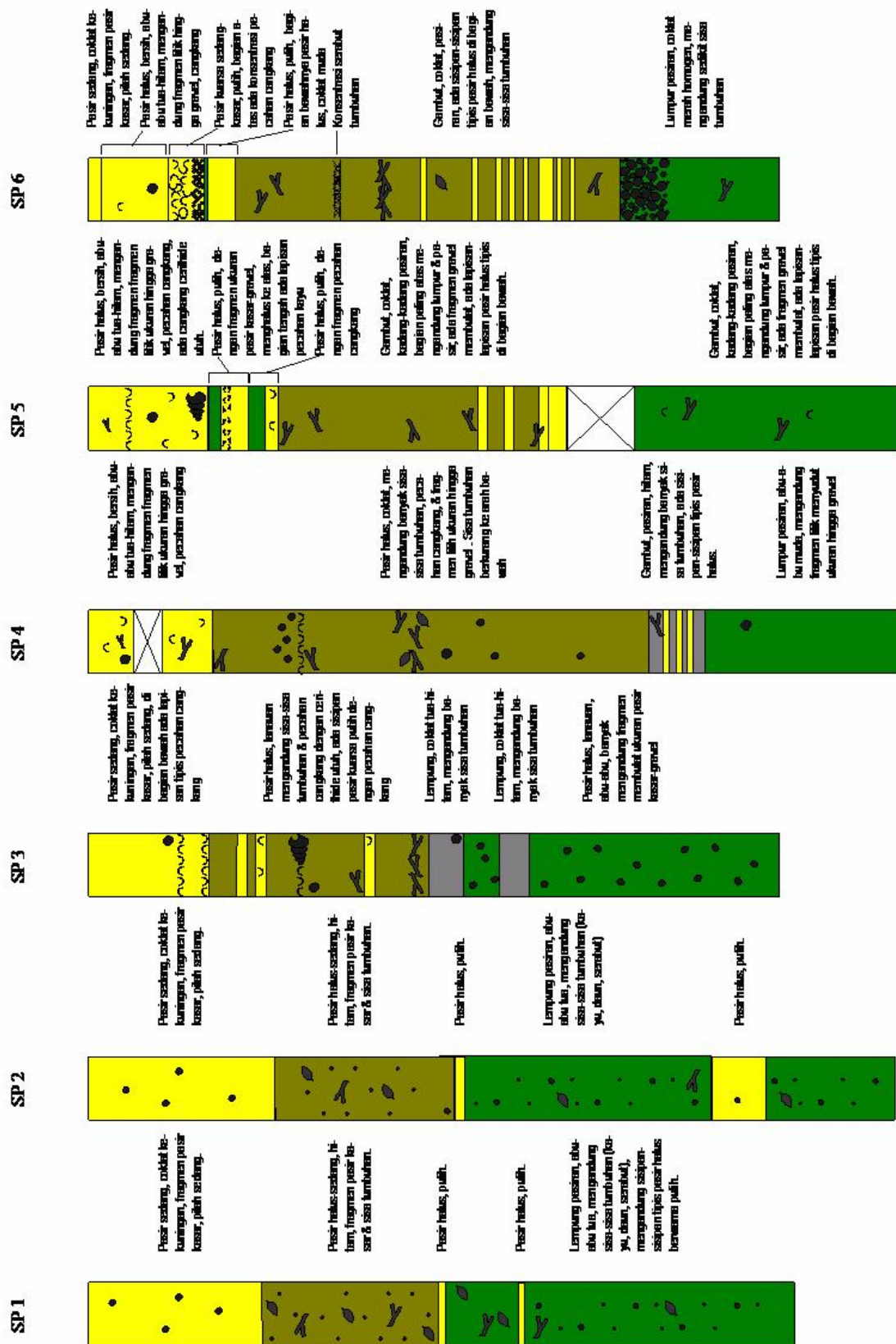
### Palinologi

Hasil analisis palinologi dari bor Sungai Padang SP 10 ditampilkan dalam diagram polen (Gambar 7). Foto-foto beberapa polen yang dijumpai dalam sampel-sampel yang dianalisis ditampilkan dalam Gambar 8. Dalam diagram polen juga ditampilkan stratigrafi bor SP 10, kurva LOI dan kurva kumulatif frekuensi polen. Diagram polen Sungai Padang dapat dibagi menjadi 3 zonasi polen (ZP). ZP 1, ZP 2 dan ZP 3 masing-masing berada pada kedalaman 0-20 cm, 20-180 cm, dan 180-290 cm.

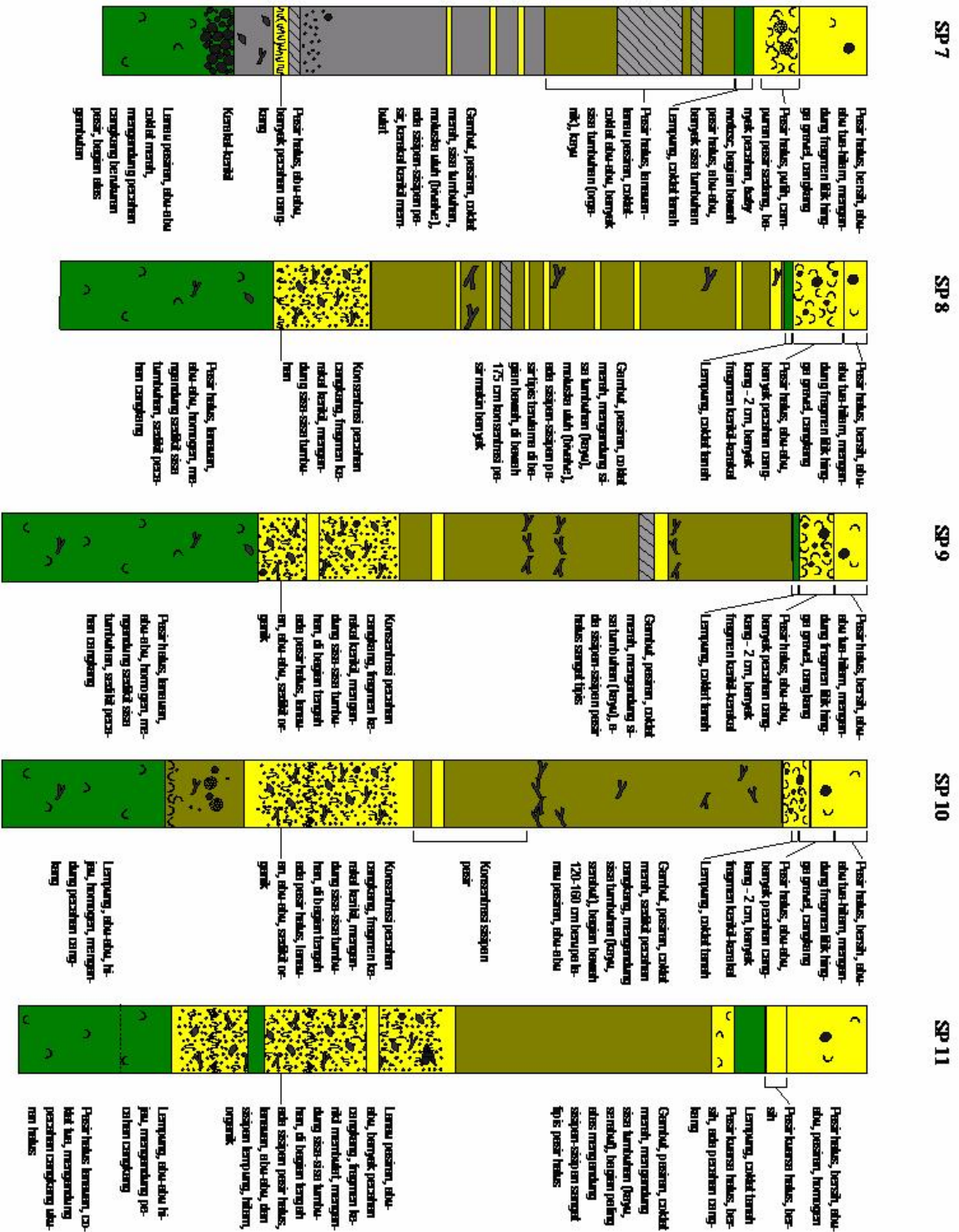
ZP 1 ditandai oleh tingginya frekuensi polen-polen tumbuhan darat terutama *Elaeocarpus* sp. serta spesies-spesies tak teridentifikasi dari Utricaceae dan Graminae, serta rendahnya frekuensi polen mangrove terutama *Rhizophora* spp. Polen tumbuhan pegunungan yang direpresentasikan oleh *Castanopsis* sp./*Lithocarpus* sp. dan hampir konsisten hadir di ZP 2 dan ZP 3 dengan frekuensi rendah, menghilang di ZP 1 ini. Frekuensi polen Gramineae terlihat sangat menonjol di ZP 1 ini. Frekuensi spora paku-pakuan juga terlihat meningkat di ZP 1 ini.

ZP 2 ditandai oleh frekuensi polen mangrove yang tinggi terutama *Rhizophora* spp. Namun frekuensi polen mangrove di ZP 2 ini terlihat sedikit lebih rendah daripada frekuensi polen mangrove di ZP 3. Polen-polen tumbuhan darat diwakili terutama oleh *Elaeocarpus* sp., *Eugenia* sp., spesies-spesies tak teridentifikasi dari Meliaceae, Rubiaceae, dan Utricaceae, masing-masing dengan frekuensi rendah. *Castanopsis* sp./*Lithocarpus* sp. hadir secara konsisten di ZP 2 ini dengan frekuensi rendah, demikian juga polen-polen Gramineae.

ZP 3 ditandai oleh frekuensi polen mangrove yang paling tinggi jika dibandingkan dengan ZP 2 dan ZP 1 dengan *Rhizophora* spp. Sebagai komponen utamanya. Komponen tumbuhan darat, terutama diwakili oleh *Elaeocarpus* sp., *Eugenia* sp. dan spesies-spesies tak teridentifikasi dari Meliaceae, Rubiaceae, dan Urticaceae, hadir dengan frekuensi rendah dan terlihat berfluktuasi. Polen tumbuhan pegunungan yang diwakili oleh *Castanopsis* sp./*Lithocarpus* sp. dan polen tumbuhan padang rumput yang diwakili oleh polen-polen Gramineae hadir dengan frekuensi sangat rendah di bagian bawah namun meningkat frekuensinya di bagian atas ZP 3.

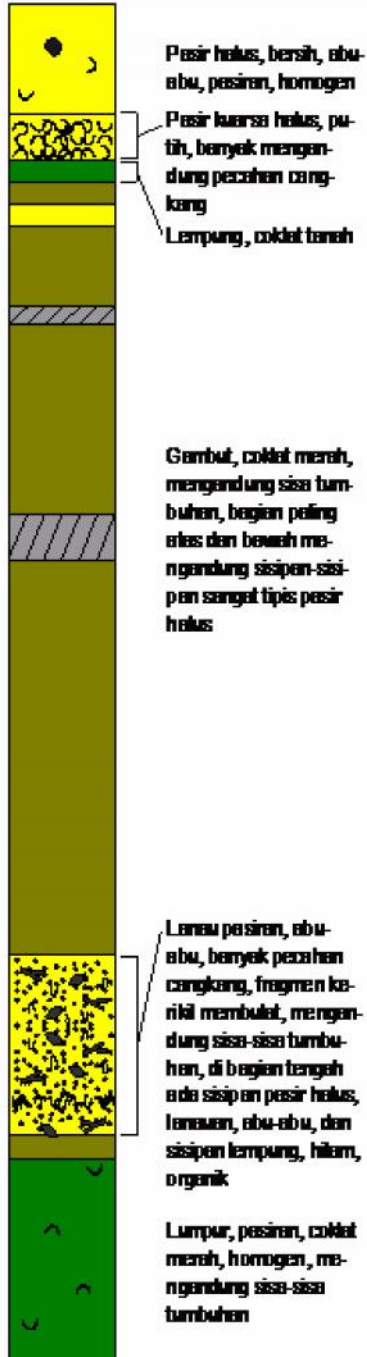


Gambar 2a. Profil stratigrafi bor-bor Sungai Padang, menunjukkan tiga satuan stratigrafi.

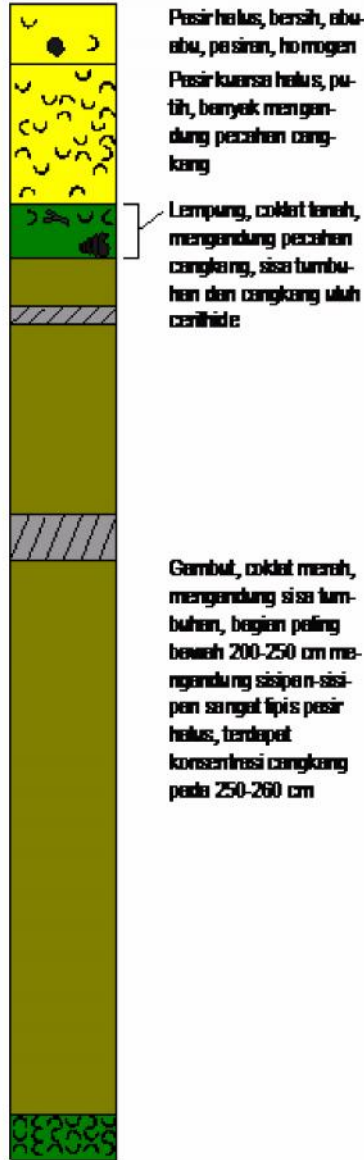


Gambar 2b. Profil stratigrafi bor-bor Sungai Padang, menunjukkan tiga satuan stratigrafi (lanjutan).

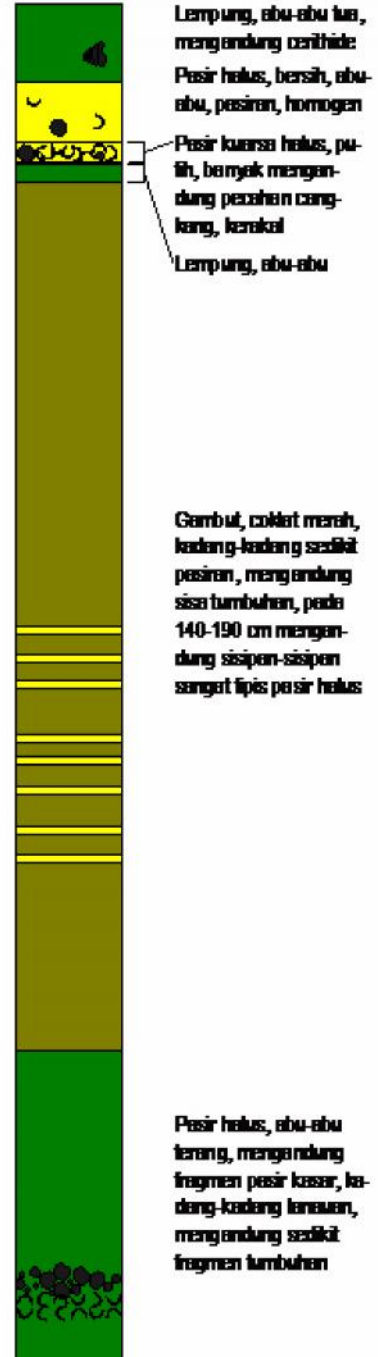
SP 12



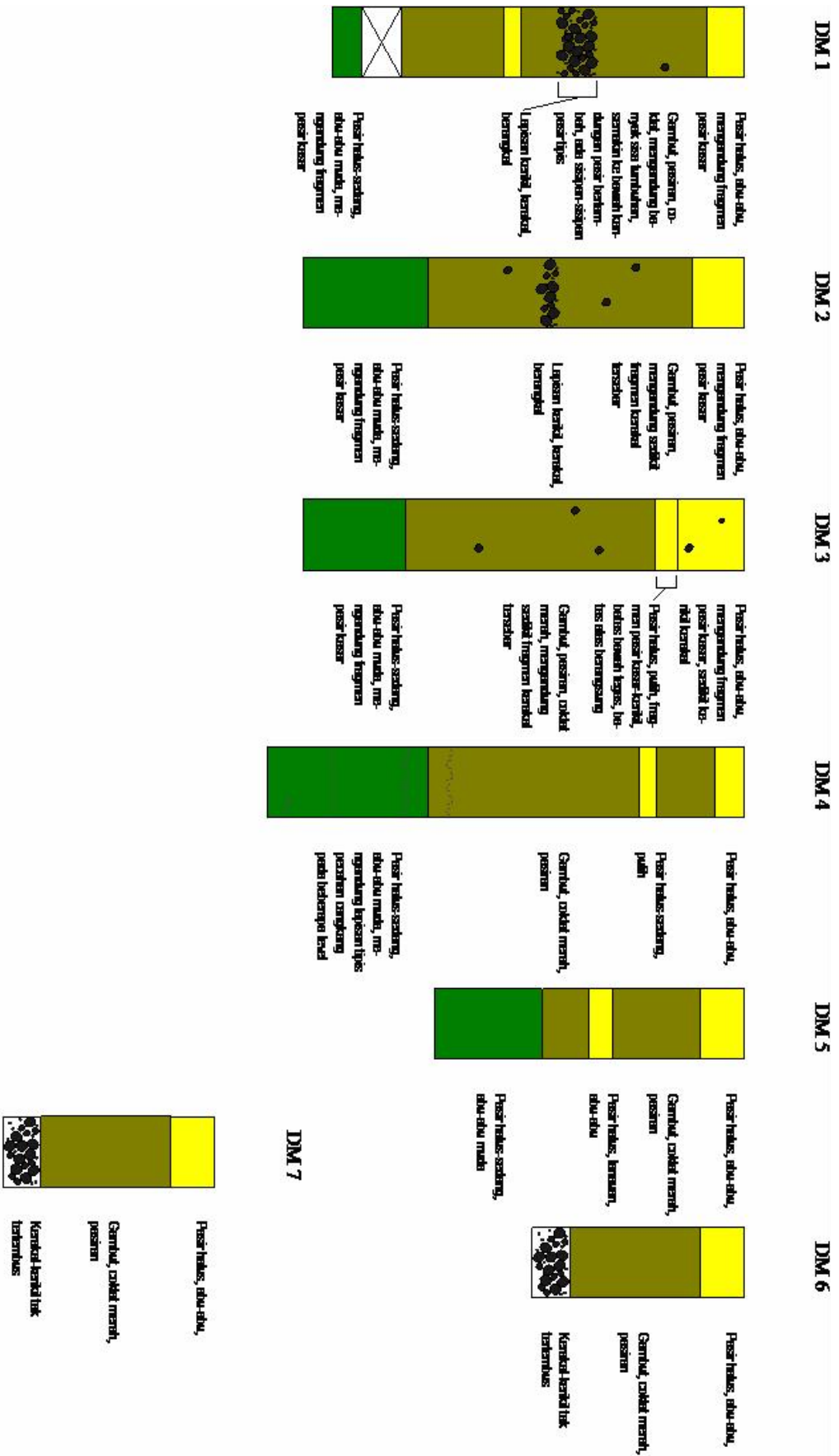
SP 13



SP 14



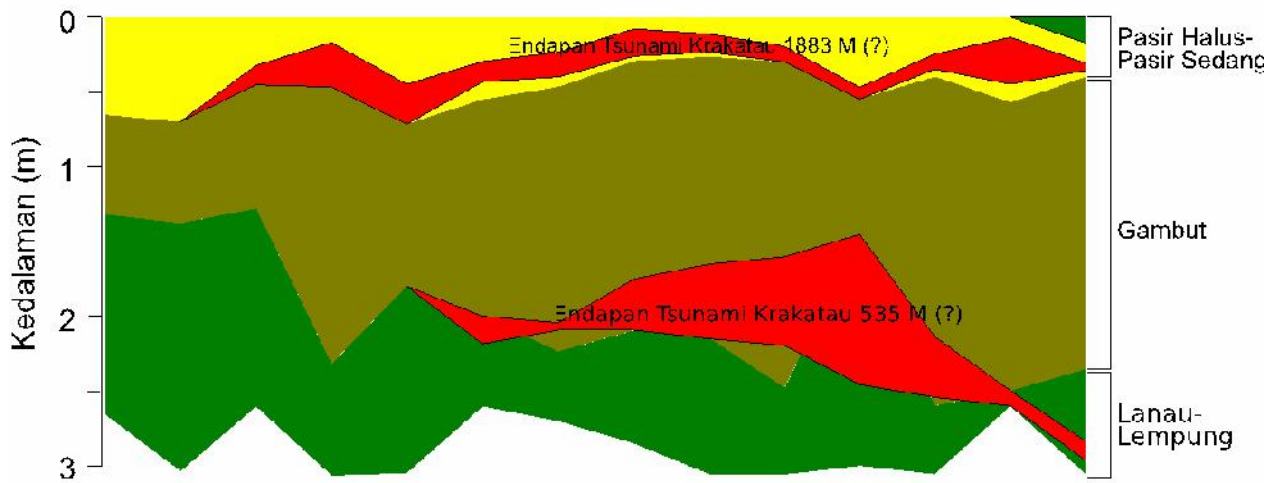
Gambar 2c. Profil stratigrafi bor-bor Sungai Padang, menunjukkan tiga satuan stratigrafi (lanjutan).



Gambar 3. Profil stratigrafi inti bor-inti bor Dermaga Manggar, menunjukkan tiga satuan stratigrafi.

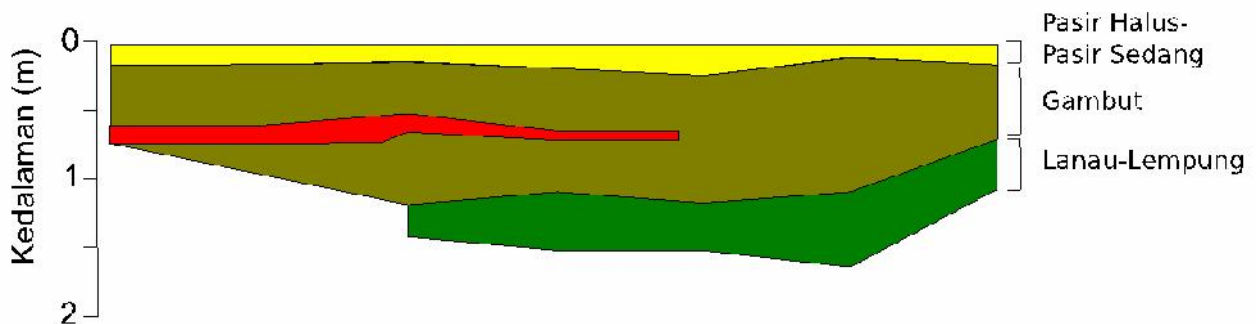


## Penampang Profil Stratigrafi Lintasan Sungai Padang

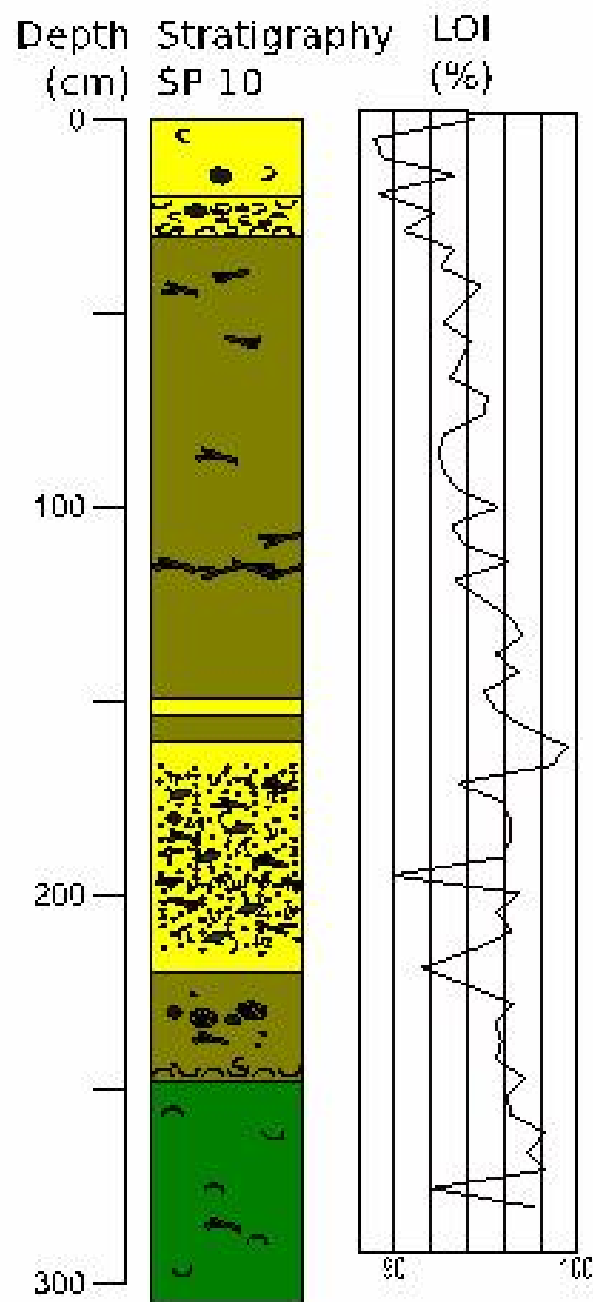


Gambar 4. Korelasi stratigrafi bor-bor di transek Sungai Padang, menunjukkan korelasi dari 3 unit stratigrafi. Warna kuning adalah unit 1 (unit atas), warna hijau toska adalah unit 2 (tengah), dan warna hijau adalah unit 3 (bawah), warna merah adalah sisipan lapisan kerikil bercampur dengan fragmen cangkang dan kayu (warna merah).

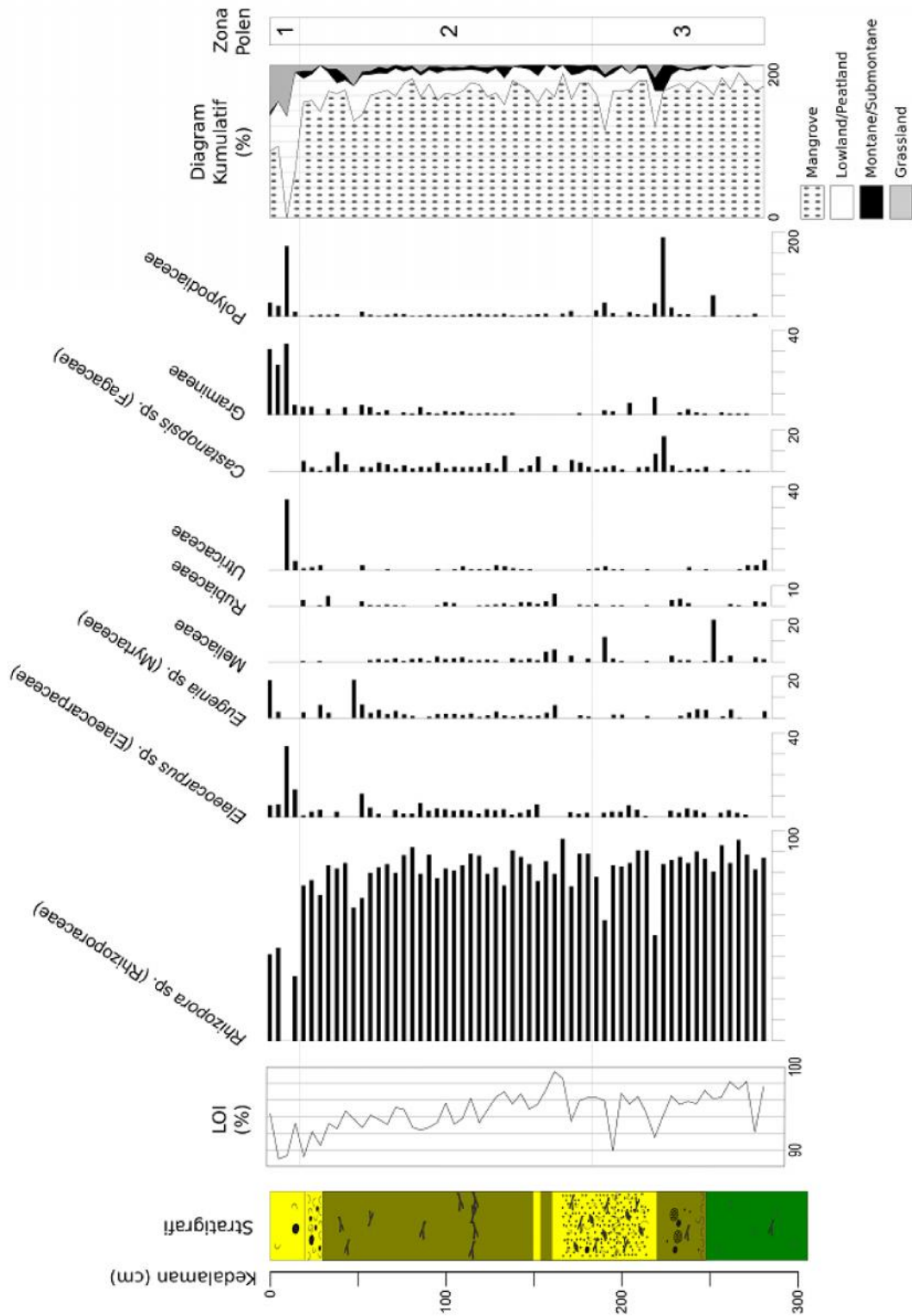
## Penampang Profil Stratigrafi Dermaga



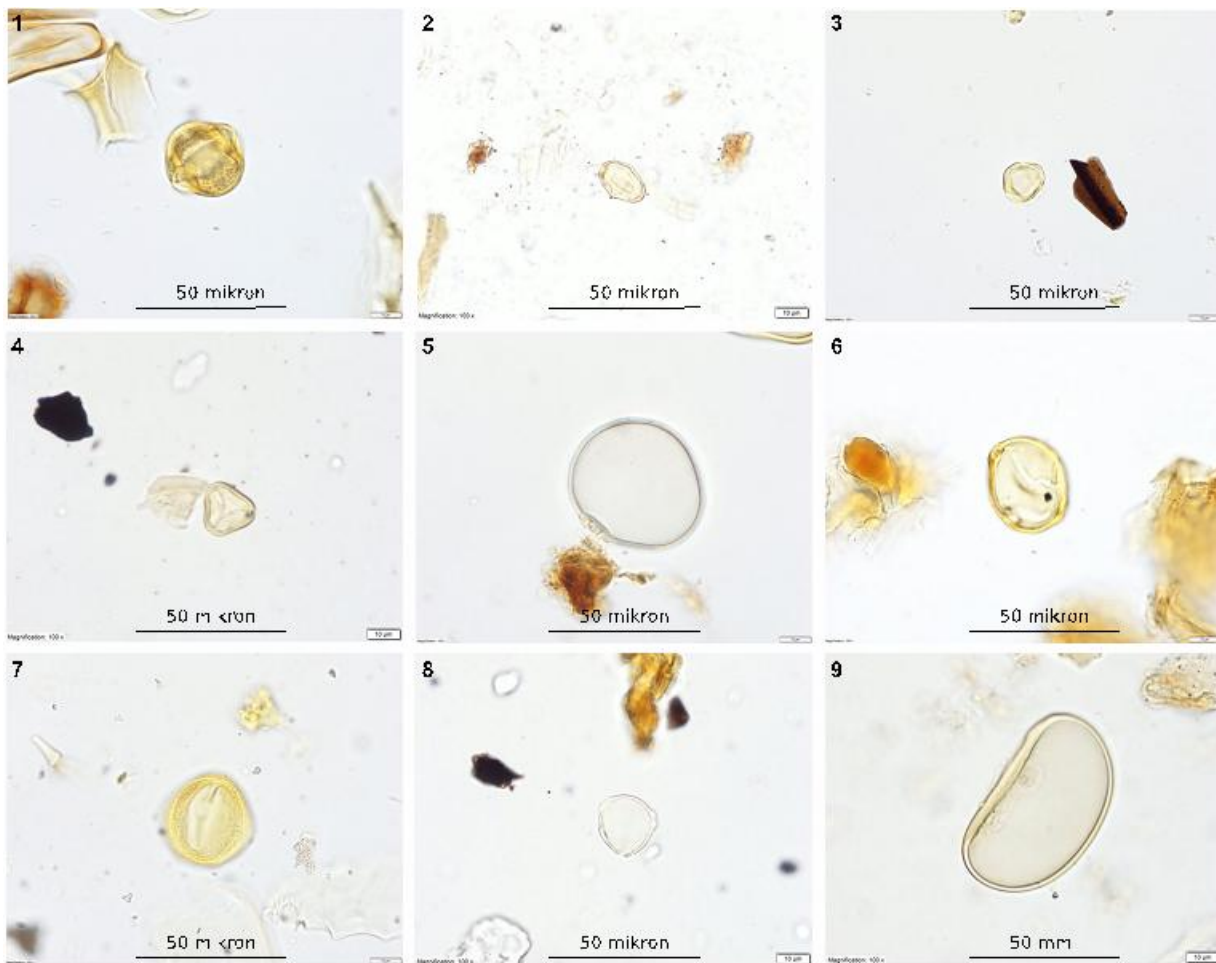
Gambar 5. Korelasi stratigrafi bor-bor di transek Dermaga Manggar, menunjukkan korelasi 3 unit stratigrafi. Warna kuning adalah unit 1 (unit atas), warna hijau toska adalah unit 2 (tengah), dan warna hijau adalah unit 3 (bawah). Warna merah adalah sisipan lapisan kerikil bercampur fragmen cangkang dan kayu di dalam unit 2.



**Gambar 6.** Kurva kandungan material organik dalam sampel yang ditampilkan sebagai kurva LOI setelah pembakaran pada suhu 550° selama 6 jam.



Gambar 7. Diagram polen SP 10, memperlihatkan profil stratigrafi, kandungan material organik (LOI), diagram kumulatif dan zona polen.



Gambar 8. Polen dan spora yang teridentifikasi di dalam sampel-sampel yang dianalisis: 1. *Rhizophora* sp., 2. *Castanopsis* sp., 3. *Elaeocarpus* sp., 4. *Eugenia* sp., 5. Gramineae, 6. Meliaceae, 7. Rubiaceae, 8. Urticaceae, 9. Polypodiaceae.

### Analisis Foraminifera

Sampel untuk analisis foraminifera diambil dengan interval 1 cm. Semua sampel mengandung silika dalam jumlah yang sangat tinggi. Namun foraminifera tidak hadir pada semua sampel yang dianalisis.

### PEMBAHASAN

#### Perubahan Muka Air Laut, Perubahan Lingkungan & Evolusi Hutan Mangrove

Profil stratigrafi transek Sungai Padang (Gambar 2) dan transek Dermaga Manggar (Gambar 3) menunjukkan kesamaan. Stratigrafi kedua transek itu menunjukkan bahwa awal mula pengendapan yaitu unit paling bawah yang berkorelasi dengan ZP 3, terjadi di lingkungan-lingkungan dengan pengaruh marin yang masih kuat. Pengaruh marin ini ditunjukkan oleh kehadiran lempung abu-abu, kadang-kadang pasir, mengandung sisipan-sisipan tipis pasir.

Warna endapan yang terlihat terang (abu-abu) mengindikasikan bahwa unit itu diendapkan di lingkungan anoksik. Warna terang itu sekaligus juga menunjukkan bahwa sebagian besar material organik yang terdapat di unit ini tidak berasal dari sisa-sisa tumbuhan namun berasal dari material marin seperti sisa-sisa cangkang. Hal-hal tersebut di atas mengindikasikan lingkungan pengendapan masih berada di daerah pasang surut (*tidal environment – sub littoral*).

Relatif tingginya konsentrasi dan frekuensi polen mangrove menunjukkan bahwa pada saat unit stratigrafi paling bawah ini diendapkan, hutan mangrove sudah berkembang di daerah Sungai Padang. Garis pantai yang ditutupi oleh hutan mangrove diduga masih berada di belakang garis pantai saat ini dan bahkan berada di belakang lokasi transek Sungai Padang.

Lingkungan pengendapan daerah penelitian mulai berubah ketika unit stratigrafi bagian tengah

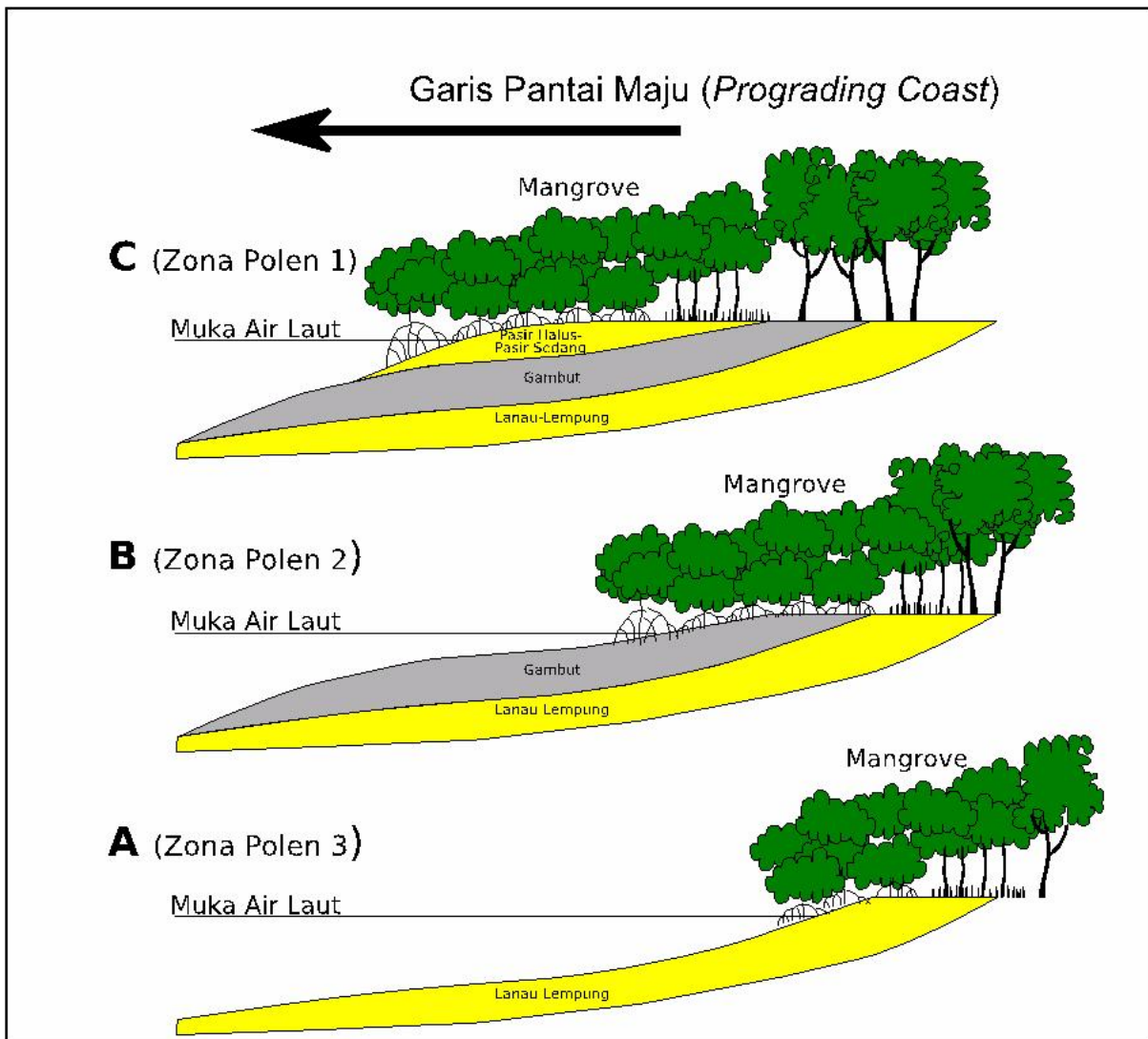
yang berkorelasi dengan ZP 2 diendapkan. Perubahan ini berlangsung secara berangsur, ditandai oleh perubahan secara berangsur jenis endapan dan kandungan fosil yang ada di dalam endapan itu. Unit stratigrafi bagian tengah tersusun terutama oleh endapan gambut dengan campuran pasir, lanau atau lempung. Pecahan-pecahan cangkang yang membentuk lapisan atau tercampur dalam gambut mudah ditemui pada unit ini. Sisa-sisa tumbuhan baik kayu maupun daun juga mudah didapatkan. Konsentrasi dan frekuensi polen mangrove sangat tinggi di unit ini. Itu semua menjadi petunjuk bahwa lokasi transek Sungai Padang berada di dalam hutan mangrove (*littoral-supra littoral*) pada saat unit stratigrafi ini diendapkan. Perubahan lingkungan pengendapan dari *tidal-sub littoral* menjadi *littoral-supra littoral* menunjukkan terjadinya proses regresi. Kecenderungan semakin berkurangnya kandungan organik secara kronologis menjadi petunjuk bahwa regresi dan perubahan lingkungan itu kemungkinan lebih disebabkan oleh proses progradasi. Hal ini sekaligus menunjukkan bahwa proses-proses erosi yang membawa sedimen dan mengendapkannya di lingkungan muara sungai dan pantai menjadi semakin kuat sehingga garis pantai semakin maju. Masih bertahannya hutan mangrove mengikuti majunya garis pantai itu menunjukkan bahwa progradasi yang terjadi kemungkinan berlangsung tidak terlalu cepat. Ini mengingat mangrove sangat peka terhadap faktor-faktor edafik yaitu fluktuasi tingkat kegaraman dan peningkatan laju sedimentasi. Proses sedimentasi yang terlalu cepat akan mengakibatkan kerusakan atau kematian pada hutan mangrove.

Regresi dan perubahan lingkungan akibat proses progradasi terus berlanjut ketika unit stratigrafi paling atas diendapkan. Ini ditandai oleh perubahan sedimen yaitu pengendapan unit stratigrafi paling atas yang tersusun terutama oleh endapan pasir, peningkatan secara signifikan frekuensi polen-polen tumbuhan darat (*lowland/peatland*), dan penurunan kandungan material organik. Frekuensi polen Gramineae yang meningkat drastis bisa jadi menandai menguatnya pengaruh-pengaruh antropogenik. Peningkatan frekuensi polen Gramineae ini kemungkinan disebabkan oleh meningkatnya intensitas pembukaan lahan dan/atau mulainya budidaya tanaman padi-padian. Pembukaan lahan untuk penambangan timah di Pulau Belitung sudah dimulai sekitar tahun 1710 (Gusnelly, 2016). Model perubahan lingkungan di Pulau Belitung ini ditampilkan dalam Gambar 9.

## Rekaman Kejadian Khusus di Dalam Endapan Mangrove

Disamping merekam fenomena perubahan muka air laut dan perubahan lingkungan, endapan mangrove di Sungai Padang dan Dermaga Manggar juga merekam fenomena lain yang boleh jadi berkaitan dengan dua buah fenomena katastrofik. Fenomena ini ditandai oleh pengendapan lapisan yang tersusun oleh endapan gambut, lempung organik atau pasir yang mengandung banyak sekali fragmen berukuran kasar terdiri dari pecahan cangkang, lithik, kadang-kadang dijumpai kerikil, cangkang gastropoda (*cerithidea*) utuh dan kadang-kadang fragmen koral. Lapisan ini dapat dilacak dalam kebanyakan bor (Gambar 2 dan 3). Lapisan pertama umumnya berada pada kedalaman kurang dari 50 cm dengan ketebalan mencapai sekitar 30 cm. Lapisan kedua berada pada kedalaman antara 150-250 cm dengan ketebalan maksimum lebih dari 60 cm. Pada lapisan kedua fragmen-fragmen kayu berukuran cukup besar seringkali dijumpai.

Fragmen-fragmen penyusun lapisan yang berukuran kasar menjadi petunjuk bahwa material tersebut diendapkan oleh arus dengan energi kuat. Percampuran antara fragmen berukuran kasar dan masa dasar berukuran halus (lempung, lanau atau pasir) mungkin merupakan indikasi bahwa arus yang mengendapkan cenderung berupa arus turbulen. Arus seperti ini bisa jadi berupa banjir, badai (*storm*) atau tsunami. Jika kecepatan sedimentasi besarnya normal dan diasumsikan sebesar 0,1-0,2 cm/tahun, maka lapisan setebal 3 meter akan diendapkan selama rentang waktu 1500-3000 tahun. Jika Sungai Padang adalah sebuah sungai yang secara periodik mengalami banjir yang mampu mengendapkan fragmen kasar maka dalam rentang waktu selama itu tentunya lapisan berfragmen kasar seperti itu akan lebih banyak dijumpai di dalam profil stratigrafi dan bukan hanya dua lapis saja. Arus banjir seringkali juga bukan arus turbulen sehingga endapan banjir yang berukuran kasar lebih cenderung membentuk lapisan yang bergradasi dan bukan bercampur dalam matriks yang berukuran lebih halus. Selain itu, banjir juga akan menyebabkan peningkatan pengendapan material klastik. Dengan demikian pada endapan banjir kandungan material non organik akan meningkat dan kandungan material organik akan berkurang (Ishii dkk., 2017). Jika hal ini terjadi, kurva LOI akan merekam kejadian itu. Banjir juga akan membawa banyak material yang berasal dari daratan termasuk didalamnya adalah polen-polen dari tumbuhan darat (*lowland/peatland*) dan tumbuhan



**Gambar 9.** Model perubahan lingkungan di daerah Belitung selama *late-Holocene* yang terjadi bersamaan dengan proses majunya garis pantai: A. Pengendapan Unit-1 (Lanau-Lempung) terjadi ketika posisi mangrove masih berada jauh di belakang posisinya saat ini; B. Pada saat pengendapan Unit-2 (Gambut) terjadi, posisi mangrove sudah lebih ke arah laut daripada lokasinya saat Unit-1 diendapkan; C. Unit-3 (Pasir Halus-Pasir Sedang) menjadi unit stratigrafi paling atas yang diendapkan hingga saat ini. Posisi mangrove berada lebih ke arah laut daripada posisinya saat Unit-2.

pegunungan (*montane/submontane*) (Slater dkk., 2017). Peningkatan frekuensi polen tumbuhan darat (*lowland/peatland*) juga tidak terekam di dalam diagram polen.

Badai adalah fenomena lain yang dapat menyebabkan pengendapan lapisan berfragmen kasar. Endapan badai seringkali juga mengandung material-material yang berasal dari laut seperti cangkang atau koral (Swindles dkk., 2018). Seandainya badai yang menjadi penyebab pengendapan lapisan berfragmen kasar tersebut di lokasi penelitian, maka jumlah lapisan tersebut seharusnya juga akan lebih dari dua buah mengingat rentang waktu pengendapan seluruh profil yang setidaknya mencapai 1500 tahun. Hal

ini karena badai biasanya juga terjadi secara periodik bukan insidental.

Tsunami adalah satu fenomena yang juga memungkinkan terjadinya pengendapan lapisan berfragmen kasar. Arus tsunami yang turbulen juga memungkinkan terjadinya pencampuran endapan berukuran halus dengan endapan berukuran kasar (Szcucinski, 2013). Meskipun tsunami bisa juga dikatakan sebagai sebuah fenomena yang terjadi secara periodik, interval antar dua kejadian biasanya sangat panjang kadang-kadang sampai mencapai ratusan atau bahkan ribuan tahun. Pada kondisi demikian, untuk rentang waktu 1500 tahun, kejadian tsunami akan cenderung muncul sebagai kejadian yang insidental

sifatnya sehingga hanya terjadi satu atau dua kali saja. Jadi secara hipotetis, kedua lapisan itu diduga sebagai lapisan-lapisan kandidat tsunami.

Pulau Belitung tidak berhadapan langsung dengan jalur subduksi yang menjadi sumber gempa bumi yang dapat memicu tsunami. Lebih dari itu, kedalaman laut di sekitar pulau ini juga relatif dangkal sehingga jika ada patahan di bawah laut yang bergerak, atau terjadi longsoran bawah laut, kolom air yang relatif dangkal tidak akan mampu membangkitkan gelombang tsunami yang besar.

Hal lain yang dapat memicu tsunami yang melanda Belitung adalah letusan Gunung Krakatau yang berjarak tidak terlalu jauh dari Pulau Belitung. Gunung Krakatau pernah meletus hebat dan memicu tsunami besar pada tahun 1883. Catatan tertulis tentang fenomena tsunami Krakatau di Pulau Belitung tidak didapatkan. Namun, tsunami Krakatau 1883 adalah fenomena tsunami lintas samudra (*trans-oceanic*) sehingga bahkan gelombangnya mencapai pantai-pantai Samudra India, Samudra Atlantik dan Samudra Pasifik (Choi dkk., 2003). Pengaruh tsunami Krakatau 1883 tercatat mencapai Teluk Jakarta (Verbeek, 1885). Ini mengindikasikan bahwa landaan tsunami Krakatau 1883 di pantai-pantai Pulau Belitung mungkin terjadi akibat refraksi gelombang seperti yang melanda Teluk Jakarta.

Jika letusan Krakatau dianggap sebagai sumber pemicu tsunami yang melanda Pulau Belitung maka lapisan berfragmen kasar kedua yang ditemukan di profil stratigrafi Sungai Padang dan Dermaga Manggar bisa jadi diendapkan oleh tsunami Krakatau yang lain. Serat Pustaka Raja Purwa mencatat adanya letusan Gunung Kapi yang diduga merupakan nama kuno Gunung Krakatau. Dalam kitab yang ditulis dalam huruf Jawa kuno oleh Ronggowarsito (1926), peristiwa itu terjadi tahun 416 AD. Dalam catatan itu disebutkan bahwa akibat letusan itu terjadi banjir besar dari lautan. Setelah letusan itu Pulau Jawa terpisah dari Pulau Sumatera. Rekaman letusan gunung berapi katastrofik di daerah tropis, ada dalam rekaman inti es dan lingkaran tahun pohon. Beberapa laporan menduga bahwa rekaman ini berkaitan dengan letusan Krakatau kuno yang terjadi sekitar 535-536 AD (Keys, 1999; Larsen dkk., 2008; Ferris dkk., 2011; Sigl dkk., 2013; Osipov dkk., 2014; Baillie dan McAneney, 2015). Peristiwa ini menyebabkan perubahan lingkungan dan budaya secara signifikan (Keys, 1999; Tvauri, 2014).

## KESIMPULAN

Penelitian perubahan muka laut dan perubahan lingkungan di endapan mangrove Pulau Belitung dengan pendekatan sedimentologi dan mikropaleontologi ini menunjukkan hal-hal sebagai berikut:

Endapan mangrove Pulau Belitung merekam kejadian regresi dan perubahan lingkungan selama rentang waktu setidaknya 1500 tahun. Perubahan itu terekam dalam endapan mangrove yang terlihat dari perubahan sedimentologi dan stratigrafi endapan itu serta kandungan polen yang ada di dalamnya.

Sekitar 1500 tahun yang lalu daerah penelitian adalah lingkungan pasang surut. Setelahnya, garis pantai cenderung maju sebagai akibat adanya proses progradasi hingga mencapai posisi saat ini.

Endapan mangrove di Pulau Belitung juga merekam fenomena insidental yang diduga sebagai tsunami akibat letusan gunung Krakatau pada tahun 1883 dan letusan sebelumnya yang terjadi sekitar tahun 535-536 AD.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Nandang Supriatna yang telah membantu dalam melakukan pemboran tangan di lapangan. Kegiatan penelitian ini dibiayai dengan anggaran DIPA Puslit Geoteknologi LIPI tahun 2011.

## DAFTAR ACUAN

- Bird, M.I., Fifield, L.K., Teh, T.S., Chang, C.H., Shirlaw, N., Lambeck, K. 2007. *An inflection in the rate of early mid-Holocene eustatic sea-level rise: A new sea-level curve from Singapore*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 71, 523-536.
- Baillie, M.G.L. dan McAneney, J. 2015. *Tree ring effects and ice core acidities clarify the volcanic record of the First millennium*. *Climate of The Past* 11, 105-114.
- Briggs, R.W., Sieh, K., Amidon, W.H., Galetzka, J., Prayudi, D., Suprihanto, I., Sastra, N., Suwargadi, B., Natawidjaja, D., Farr, T.G. 2008. *Persistent elastic behavior above a megathrust rupture patch: Nias island, West Sumatra*. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 113, B12406.
- Choi, B.H., Pelinovsky, E., Kim, K.O., Lee, J.S. 2003. *Simulation of the trans-oceanic tsunami propagation due to the 1883*

- Krakatau volcanic eruption*. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3, 321–332
- Ferris, D.G., Cole-Dai, J., Reyes, A.R., Budner, D.M. 2011. South Pole ice core record of explosive volcanic eruptions in the First and Second Millennia A.D. and evidence of a large eruption in the tropics around 535 A.D. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 116, D17308.
- Gusnelly. 2016. *Sejarah Pengelolaan Timah dan Tanggung Jawab Sosial Perusahaan Tambang Timah di Bangka Belitung*. Jakarta, LIPI, 17 hal.
- Horton, B.P., Gibbard, P.L., Mine, G.M., Morley, R.J., Purintavaragul, C., Stargardt, J.M. 2005. *Holocene Sea Levels and Palaeoenvironments, Malay-Thai Peninsula, Southeast Asia*. *The Holocene* 15(8), 1199–1213.
- Horton, B.P. dan Edwards, R.J. 2006. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Spec. Publ.* 40, 97 pp.
- Ishii, Y., Hori, K., Momohara, A. 2017. *Middle to late Holocene flood activity estimated from loss on ignition of peat in the Ishikari lowland, northern Japan*. *Global and Planetary Change* 153.
- Kemp, A.C., Horton, B.P., Culver, S.J., Corbett, D.R., van de Plassche, O., Gehrels, W.R., Douglas, B.C., Parnell, A.C. 2009. *Timing and magnitude of recent accelerated sea-level rise (North Carolina, United States)*. *Geology* Vol. 37, No. 11., 1035–1038.
- Larsen, L.B., Vinther, B., Briffa, K.R., Hantemirov, R.M. 2008. *New ice core evidence for a volcanic cause of the A.D. 536 dust veil*. *Geophysical Research Letters* 35(4), L04708.
- Keys, D. 1999. *Catastrophe: An investigation into the origins of the modern world*. Century Books, London, pp 368.
- Martin, R. E. (Ed.). 2000. *Environmental Micropaleontology: The Application of Microfossils to Environmental Geology*. *Topics in Geobiology* Vol. 5, 460 hal.
- Meltzner, A. J., Sieh, K., Chiang, H.-W., Shen, C.-C., Suwargadi, B.W., Natawidjaja, D.H., Philibosian, B.E., Briggs, R.W., Galetzka, J. 2010. Coral evidence for earthquake recurrence and an A.D. 1390–1455 cluster at the south end of the 2004 Aceh–Andaman rupture. *J. Geophys. Res.*, 115, B10402.
- Meltzner, A. J., Sieh, K., Chiang, H.-W., Shen, C.-C., Suwargadi, B.W., Natawidjaja, D.H., Philibosian, B.E., Briggs, R.W. 2012. Persistent termini of 2004- and 2005-like ruptures of the Sunda megathrust. *J. Geophys. Res.*, 117, B04405.
- Milne, G.A. dan Mitrovic, J.X. 2008. *Searching for Eustasy in Deglacial Sea-level Histories*. *Quat. Sci. Rev.* 27, 2292–2302.
- Natawidjaja, D.H., Sieh, K., Ward, S., Edwards, R.L., Galetzka, J., Suwargadi, B. 2004. Paleogeodetic records of seismic and aseismic subduction from central Sumatran microatolls. *Journal of Geophysical Research*, 109, B4, B04306.
- Natawidjaja, D.H., Sieh, K., Chlieh, M., Galetzka, J., Suwargadi, B., Cheng, H., Edwards, R.L., Avouac, J.P., Ward, S. 2006. Source parameters of the great Sumatran megathrust earthquakes of 1797 and 1833 inferred from coral microatolls. *Journal of Geophysical Research*, 111, B06403.
- Natawidjaja, D.H., K. Sieh, J. Galetzka, B. Suwargadi, H. Cheng, R.L. Edwards. 2007. Interseismic deformation above the Sunda megathrust recorded in coral microatolls of the Mentawai islands, West Sumatra. *Journal of Geophysical Research*, 112, B02404.
- Osipov, E.Y., Khodzher, T.V., Golobokova, L.P., Onischuk, N.A., Lipenkov, V.Y., A., Shibaev, Y.A., Osipova, O.P. 2014. *High-resolution 900 year volcanic and climatic record from the Vostok area, East Antarctica*. *The Cryosphere* 8, 843–851.
- Ronggowarsito, R. Ng. 1926. *Serat Pustaka Raja Purwa* (Dalam Bahasa Jawa dan tulisan Jawa), Ki Padma Susastra (Ed). H. Buning, Yogyakarta.
- Sigl, M., McConnell, J.R., Layman, L., Maselli, O., McGwire, K., Pasteris, D., Dahl-Jensen, D., Steffensen, J.P., Vinther, B., Edwards, R., Mulvaney, R., Kipfstuhl, S. 2013. A new bipolar ice core record of volcanism from WAIS Divide and NEEM and implications for climate forcing of the last 2000 years. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118, 1151–1169.
- Slater, S.M., McKie, T., Vieira, M., Wellman, C.H., Vajda, V. 2017. *Episodic river flooding events revealed by palynological assemblages in Jurassic deposits of the Brent Group, North*



- Sea*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 485, 389–400.
- Szczucinski, W. 2013. *Limitations of tsunami deposits identification - problem of sediment sources, sedimentary environments and processes, and post-depositional changes*. Conference paper of the 4th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology (PATA), 9-14 October 2013, Aachen, Germany.
- Swindles, G.T., Galloway, J.M., Macumber, A.L., Croudace, I.W., Emery, A.R., Woulds, C., Bateman, M.D., Parry, L., Jones, J.M., Selby, K., Rushby, G.T., Baird, A.J., Woodroffe, S.A., Barlow, N.L.M., 2018. Sedimentary records of coastal storm surges: Evidence of the 1953 North Sea event. *Marine Geology* 403 (2018) 262–270.
- Tvauri, A. 2014. The impact of the climate catastrophe of 536-537 AD in Estonia and neighbouring areas. *Estonian Journal of Archaeology*, 2014, 18, 1, 30-56.
- Verbeek, R.D.M. 1885. Krakatau. *Batavia*, 495 p.
- Zachariasen, J. 1998. *Paleoseismology and paleogeodesy of the Sumatran Subduction Zone: a study of vertical deformation using coral microatolls*. Ph.D. Thesis, California Institute of Technology, Pasadena, California, 418 pp.
- Zachariasen, J., Sieh, K., Taylor, F.W., Edwards, R.L., Hantoro, W.S. 1999. Submergence and uplift associated with the giant 1833 Sumatran subduction earthquake: Evidence from coral microatolls. *Journal of Geophysical Research*, 104, 895–919.
- Zachariasen, J., Sieh, K., Taylor, F.W., Hantoro, W.S. 2000. Modern Vertical Deformation above the Sumatran Subduction Zone: Paleogeodetic Insights from Coral Microatolls. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90, 4, 897–913.

