

## **ABSTRACT**

# **INVESTIGATION OF UPPER CRUSTAL STRUCTURE BENEATH EAST JAVA AND BALI - INDONESIA, USING AMBIENT NOISE TOMOGRAPHY METHOD**

By

**Agustya Adi Martha**

**NIM: 32411301**

**(Earth Sciences Doctoral Program)**

Physiographically, this study area was divided into six zones: (a) Quaternary volcanoes, (b) Alluvial Plains of Northern Java, (c) Rembang-Madura Anticlinorium, (d) Bogor, Northern Serayu and Kendeng Anticlinorium, (e) Central Depression zone of Java and Randublatung and (f) Southern Mountains zone. Based on the structure and stratigraphy, the eastern Java were divided into four tectonostratigraphic zones from south to north: the Southern Mountains, Present-day Volcanic Arc, Kendeng, and Rembang zones. The complexity of geological structures in East Java and Bali does not only provide important opportunities for natural resource exploitation, but also vulnerable to natural disasters.

Such condition makes East Java an important area for exploration of the structure of subsurface seismic wave velocity, especially in its upper crustal. This study was aimed to obtain information on geometry of upper crustal structure beneath East Java and Bali using Ambient Noise Tomography (ANT). The study used ANT method to make an image of the upper crustal structure under this study area. Also, the study used seismic data recorded at 24 seismographs of BMKG spreaded in East Java and Bali. In addition, the study installed 28 portable seismographs in East Java from April 2013 to January 2014 for 2-8 weeks, and additional 28 seismographs simultaneously throughout East Java from August 2015 to April 2016.

The study obtained more than 1,500 inter-station cross correlations from 2,000 available station pairs (some were dropped since Rayleigh wave signals are not well represented in some cross-correlations). The results of cross-correlation between PCJI station and other stations showed an average of Rayleigh wave group velocities of about 3 km/s. This relatively high velocity may occur due to the area around PCJI that is dominated by igneous rocks.

Several checkerboard tests have been conducted to ascertain the resolution of the velocity of Rayleigh wave group maps produced in tomographic inversion for each period. These tests have been conducted using the configuration of ray paths from source to the receiver resulted from the seismometer deployments described above. Based on the results test, this study decided to use parameters grid size of 27.8 km x 27.8 km with maximum velocity perturbation of 1 km/s. In addition, the study

selected values for the damping and smoothing parameters from a range of 500 to 5000 to get the optimum values, and found optimum values of 1800 and 1800, respectively.

The study also used Neighborhood Algorithm (NA) developed by Sambridge (1999) to invert the curves of ANT group velocity dispersion for  $V_s$  depth profiles at each point in a regular grid covering the study area. Using a grid spacing of 13.9 km, the study took 512 sample points of group velocity resulted in the period range from 0.5 to 12.2 seconds in the study area. The dispersion curve at each of these points was inverted to obtain the profile of  $V_s$  as the function of depth.

Low shear wave velocity is associated with basins and sedimentary layers, while high velocity anomaly is well associated with igneous rocks and carbonates. The Kendeng basin thickness reaches 8 to 10 km, but Madura Sea has thicker sediment. Active volcanoes bound the Kendeng and Southern Mountains zones. The existences of volcanoes in the eastern Java region are associated with moderately low velocity structures. The existence of mud volcano beneath the study area can be identified by the lower shear wave velocity anomaly than the surrounding sediments.

Keywords: Ambient Noise Tomography (ANT); East Java and Bali; cross-correlation; Neighborhood algorithm; shear wave; sediment.

## ABSTRAK

# INVESTIGASI STRUKTUR KERAK ATAS DI BAWAH JAWA TIMUR DAN BALI, INDONESIA MENGGUNAKAN METODE *AMBIENT NOISE TOMOGRAPHY*

Oleh

**Agustya Adi Martha**

**NIM: 32411301**

**(Program Doktor Sains Kebumihan)**

Secara fisiografis, wilayah penelitian terbagi menjadi enam zona: (a) gunung berapi kuarter, (b) dataran alluvial utara Jawa, (c) Anticlinorium Rembang-Madura, (d) Bogor, Serayu Utara dan Antiklinorium Kendeng, (e) Depresi Pusat Zona Jawa dan Randublatung dan (f) Pegunungan Selatan. Berdasarkan struktur dan stratigrafi, bagian timur Jawa terbagi menjadi empat zona tektonostratigrafi dari selatan ke utara: Zona Pegunungan Selatan, Busur Vulkanik kini, Kendeng, dan Rembang. Kompleksitas struktur geologi di Jawa Timur dan Bali memberikan peluang besar untuk eksploitasi sumber daya alam, namun wilayah ini juga beresiko terdampak bencana alam.

Kondisi seperti ini membuat kawasan Jawa Timur menjadi daerah sangat menarik untuk dieksplorasi mengenai struktur kecepatan gelombang seismik bawah permukaan, terutama di bagian atas kerak bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai geometri struktur kerak atas di bawah Jawa Timur dan Bali dengan menggunakan metode *Ambient Noise Tomography* (ANT). Kami menggunakan metoda ANT untuk menggambarkan struktur kerak atas di bawah area penelitian. Kami menggunakan data seismik yang tercatat di 24 seismograf Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang tersebar di Jawa Timur dan Bali. Selain itu, kami memasang 28 seismograf portabel di Jawa Timur mulai April 2013 sampai Januari 2014 selama 2-8 minggu, dan kami memasang 28 seismograf tambahan secara bersamaan di seluruh Jawa Timur dari Agustus 2015 hingga April 2016.

Kami memperoleh ~1.500 korelasi silang dari ~2.000 pasang stasiun yang tersedia (beberapa tidak digunakan karena kualitas korelasi silang kurang bagus). Hasil korelasi silang antara stasiun PCJI ke stasiun lain, menunjukkan kecepatan kelompok gelombang Rayleigh rata-rata sekitar 3 km/s. Kecepatan yang relatif tinggi ini disebabkan oleh daerah sekitar PCJI yang didominasi oleh batuan beku.

Beberapa uji *checkerboard* telah dilakukan untuk menghasilkan resolusi peta kecepatan kelompok gelombang Rayleigh yang dihasilkan dalam inversi tomografi untuk setiap periode. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan konfigurasi jalur gelombang dari sumber ke penerima yang dihasilkan dari penyebaran seismometer yang dijelaskan di atas. Berdasarkan hasil uji, kami memutuskan untuk menggunakan parameter ukuran grid 27,8 km x 27,8 km dengan gangguan kecepatan maksimum 1 km/s. Kami memilih nilai untuk parameter *damping* dan *smoothing* dari kisaran 500 sampai 5000 untuk mendapatkan nilai optimum, dan menemukan nilai optimum masing-masing 1800 dan 1800.

Dalam penelitian ini, kami menggunakan Algoritma Lingkungan (NA) yang dikembangkan oleh Sambridge (1999) untuk menginversi kurva dispersi kecepatan kelompok ANT untuk profil kedalaman Vs pada setiap titik grid yang mencakup area penelitian. Penelitian ini menggunakan jarak grid 13,9 km, penelitian ini mengambil 512 titik sampel dari hasil kecepatan kelompok dalam rentang waktu 0,5 sampai 12,2 detik di daerah penelitian. Kurva dispersi pada masing-masing titik ini diinversi untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang S (Vs) sebagai fungsi kedalaman.

Vs rendah berasosiasi dengan cekungan dan lapisan sedimen, sedangkan anomali kecepatan tinggi dikaitkan dengan batuan beku. Ketebalan zona Kendeng mencapai 8 sampai 10 km, namun laut Madura memiliki sedimentasi yang lebih tebal. Zona Kendeng dan Pegunungan Selatan dibatasi oleh gunung berapi aktif. Keberadaan gunung berapi di wilayah Jawa bagian timur dikaitkan dengan struktur kecepatan rendah. Keberadaan *mud volcano* di bawah daerah penelitian dapat diidentifikasi dengan anomali Vs yang lebih rendah dibandingkan sedimen sekitarnya.

Kata kunci: *Ambient Noise Tomography* (ANT); Jawa Timur dan Bali; Korelasi silang; Algoritma Lingkungan; gelombang *Shear*; sedimen.