

## ANALISIS MODEL KECEPATAN 3D GELOMBANG P DAN S GEMPA BUMI LOKAL DI JAWA TIMUR MENGGUNAKAN LOTOS-12

Nofi Ambarsari<sup>1</sup>, Supardiyono<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

Email: [nofiambarsari@mhs.unesa.ac.id](mailto:nofiambarsari@mhs.unesa.ac.id)

### Abstrak

Tujuan dari penelitian skripsi ini adalah untuk menganalisis model kecepatan 3D gelombang P dan S gempa bumi lokal di Jawa Timur menggunakan LOTOS-12. Data penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari laman webdc3. Data yang digunakan adalah data gempa bumi di Jawa Timur dengan magnitudo  $\geq 3$  SR pada tanggal 01 Januari 2008 – 23 Maret 2018 dengan letak astronomi antara  $111^\circ$  BT sampai  $114,4^\circ$  BT dan  $-6,6^\circ$  LS sampai  $-8,6^\circ$  LS. Hasil penelitian ini, anomali kecepatan gelombang P negatif mengidentifikasi daerah tersebut adanya patahan yang sesuai dengan keadaan geologi permukaan bawah sedangkan anomali kecepatan gelombang P positif menjelaskan daerah tersebut adanya batuan keras di atas kerak yang tidak terdeformasi oleh *stress regional*. Namun, jika anomali kecepatan gelombang S rendah menunjukkan terjadinya gempa pada area tersebut. Area anomali rasio  $V_p/V_s$  minimum (1,6 km/s) mengidentifikasi adanya batuan sedimen sedangkan pada area dengan anomali rasio  $V_p/V_s$  maksimum (1,888 km/s) mengartikan pada area tersebut terdapat batuan yang mengandung fluida lebih tinggi sehingga pada temperatur tinggi batuan tersebut mengalami perubahan tekanan yang dapat mengakibatkan terjadinya gempa bumi. Gempa yang terjadi di Jawa Timur disebabkan adanya sesar Kendeng dan sesar-sesar lokal yaitu sesar Pasuruan dan sesar Probolinggo.

**Kata Kunci** : anomali kecepatan gelombang P dan S, anomali rasio  $V_p/V_s$ , gempa bumi.

### Abstract

The purpose of this thesis research is to analyze the 3D earthquake P and S waves of local earthquakes in East Java using LOTOS-12. This research data uses secondary data, this data obtained from the webdc3 page. The data used earthquake data in East Java with a magnitude of  $\geq 3$  SR on January 1, 2008 - March 23, 2018 with astronomical locations between  $111^\circ$  East to  $114.4^\circ$  East and  $-6.6^\circ$  LS to  $-8,6^\circ$  LS. The negative P wave velocity anomaly identifies the faults is in accordance with the geological conditions under the East Java surface while the positive P wave velocity anomaly explains the presence of hard rock above the undermined crust by regional stress. However, if the S wave velocity anomaly is low it indicates an earthquake in that area. The minimum anomaly area of  $V_p / V_s$  ratio (1.6 km/s) identifies sedimentary rocks while in areas with anomalies the maximum  $V_p / V_s$  ratio (1,888 km/s) means that there are rocks containing higher fluid so that at high temperatures the rock undergoes a change in pressure can cause earthquakes. The earthquake that occurred in East Java was caused by the existence of the Kendeng fault dan local faults, namely the Pasuruan fault dan the Probolinggo fault.

**Key Words**: P and S wave velocity anomalies,  $V_p / V_s$  ratio, earthquake.

### PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik aktif, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia. Kondisi tersebut menyebabkan Indonesia dikategorikan sebagai Negara yang rawan terjadinya gempa bumi, salah satunya daerah Jawa Timur. Hal ini karena Jawa Timur berada pada zona subduksi yaitu pertemuan lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia [7]. Pergerakan lempeng tersebut menimbulkan terjadinya sesar-sesar yang memicu gempa bumi di Jawa Timur. Sesar Kendeng merupakan sesar mayor di Jawa Timur yang memanjang dari Jawa Tengah dan Jawa Timur, selain itu juga terdapat sesar-sesar lokal, seperti sesar Pasuruan dan Probolinggo. Gempa bumi merupakan getaran tanah yang disebabkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba di kerak bumi.

Mengingat keadaan tektonik di Jawa Timur, maka diperlukan keakuratan informasi parameter untuk

mitigasi bencana gempa bumi di Jawa Timur. Keakuratan parameter gempa bumi salah satunya ditentukan oleh model kecepatan dan koreksi yang digunakan, memiliki karakteristik yang mewakili karakteristik di daerah tertentu [6]. Untuk menentukan model kecepatan gelombang P dan S pada penelitian ini menggunakan bantuan piranti lunak LOTOS-12 (*Local Tomography Software*). *Software* tersebut menghasilkan model kecepatan 3D gelombang P dan S, dimana dijelaskan secara detail meliputi *longitude*, *latitude*, besarnya kecepatan pada kedalaman tertentu. Kecepatan yang dihasilkan dilihat dari degradasi warna yang menunjukkan besarnya anomali kecepatan gelombang P dan S. Anomali kecepatan merupakan suatu penyimpangan kecepatan rata-rata di daerah tertentu. Anomali kecepatan terdiri atas dua yaitu positif dan negatif.

# Analisis Model Kecepatan 3D Gelombang P dan S Gempa Bumi Lokal di Jawa Timur Menggunakan LOTOS-12

- Anomali kecepatan positif menunjukkan bahwa kecepatan yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan kecepatan rata-rata di daerah tersebut;
- Anomali negatif menyatakan bahwa kecepatan yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan rata-rata di daerah tersebut.

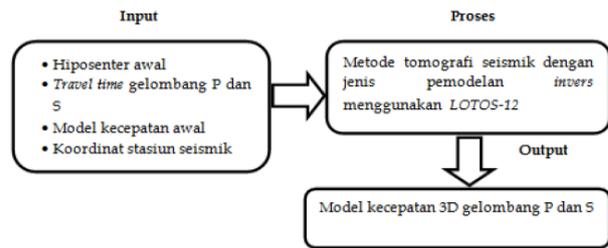
Gelombang P gelombang seismik longitudinal, di mana gerakan partikel medium sejalan terhadap arah perambatan gelombang. Gelombang P dapat merambat melalui semua jenis medium baik padat maupun cair, yang mana kecepatan rambat gelombang berbanding lurus dengan rapat medium yang dilalui. Gelombang P memiliki kecepatan lebih besar dibandingkan gelombang S. Gelombang S merupakan gelombang yang memerlukan medium padat dalam perambatannya. Gelombang ini termasuk gelombang seismik transversal di mana gerakan partikel medium tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang dan bersifat destruktif.

Penelitian dengan menerapkan penelitian LOTOS-12 di wilayah Costa Rica [2]. Dengan software sama LOTOS-12 di Beni-ilmane [1]. Pada 2015 dengan software yang sama beliau menerapkan di Indonesia khususnya untuk wilayah Sumatra [3] Dan menerapkan LOTOS-12 di Jepang [7].

Mengingat di wilayah Jawa Timur masih sedikit penelitian yang dilakukan namun memiliki potensi gempa bumi. Berdasarkan katalog BMKG dari tahun 2008-2018 terjadi gempa sekitar 153 kali (Webdc3), hal ini menyebabkan peneliti menerapkan LOTOS-12 di Jawa Timur. Pada penelitian ini diharapkan dapat mitigasi bencana gempa dimana dampak yang ditimbulkan dari gempa bumi cukup besar.

## METODE

Data gempa yang digunakan pada penelitian ini 153 data untuk gempa-gempa lokal yang terjadi di wilayah penelitian  $111^{\circ}$  BT sampai  $114,4^{\circ}$  BT dan  $-6,6^{\circ}$  LS sampai  $-8,6^{\circ}$  LS dengan magnitudo  $\geq 3$  SR yang bersumber dari webdc3. Stasiun perekam data gempa bumi tersebut ada 14, diantaranya ABJI, BLJI, BYJI, GMJI, GRJI, JAGI, KMMI, KRK, NGJI, PCJI, PWJI, SNJI, SWJI, dan TBJI. Pada penelitian ini sebagai model kecepatan awal 1D gelombang P dan S adalah model kecepatan bumi regional Haslinger-Santosa (H\_S) di Pulau Jawa.

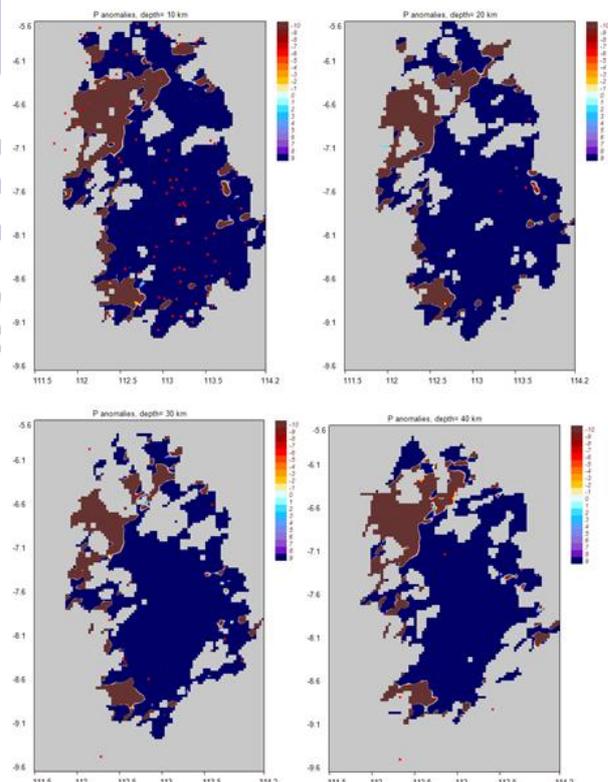


Gambar 1. Skema pemetaan penelitian komponen gempa bumi.

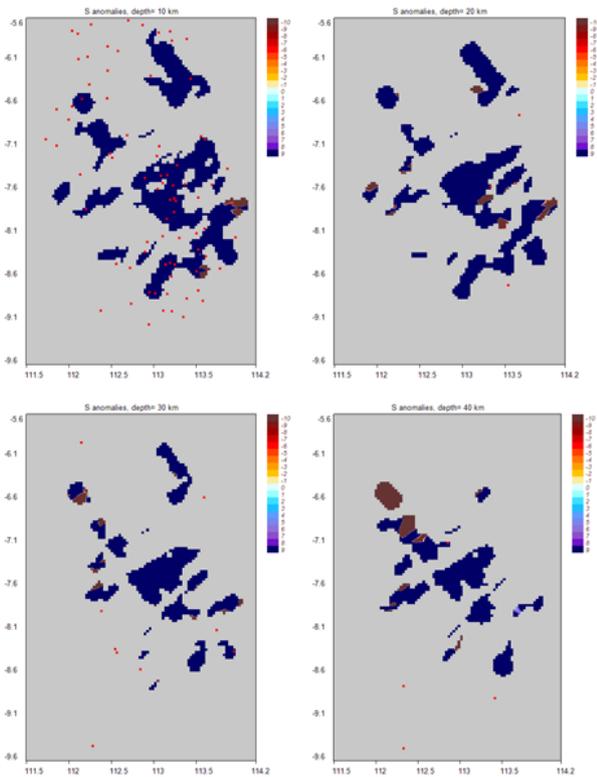
Model kecepatan yang dihasilkan pada penelitian ini merupakan model kecepatan 3D gelombang P dan S (yang dijelaskan secara detail, meliputi *longitude*, *latitude*, besarnya kecepatan pada kedalaman tertentu) dilakukan menggunakan piranti lunak LOTOS-12. Degradasi warna menunjukkan anomali kecepatan gelombang P dan S.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Fokus penelitian ini menentukan model kecepatan 3D gelombang P dan S di Jawa Timur yang dipresentasikan dengan variasi kedalaman yang berbeda-beda (10 km, 20 km, 30 km, dan 40 km). Hal ini dikarenakan LOTOS-12, penurunan rumusnya menggunakan koordinat kartesian dimana koordinat kartesian yang menganggap bahwa bumi itu datar, sehingga apabila kedalamannya lebih dalam (kedalaman lebih dari 50 km) tidak berlaku dalam koordinat kartesian. Gambar 2 dan 3 distribusi anomali kecepatan gelombang P dan S.



**Gambar 2.** Distribusi anomali kecepatan gelombang P pada tomografi irisan horizontal kedalaman 10 km, 20 km, 30 km, dan 40 km.



**Gambar 3.** Distribusi anomali kecepatan gelombang S pada tomografi irisan horizontal kedalaman 10 km, 20 km, 30 km, dan 40 km.

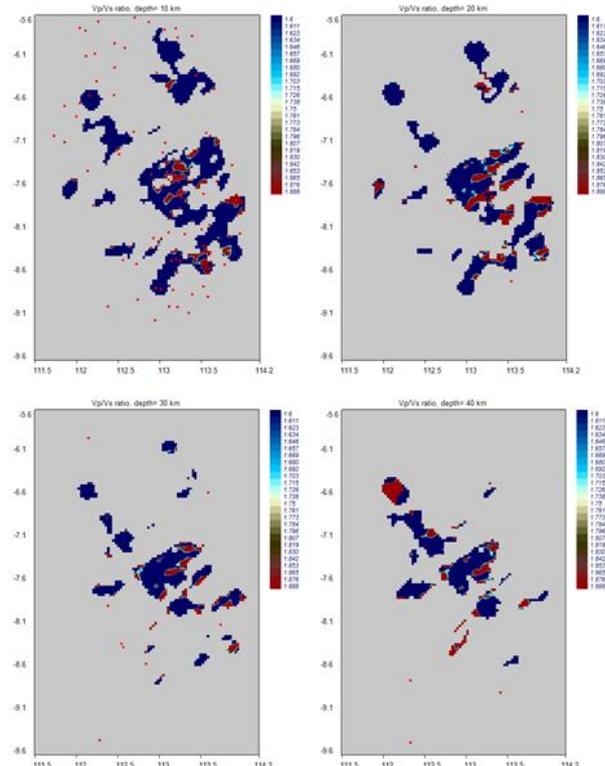
Keterangan:

- sumbu x : Longitude (° BT)
- sumbu y : Latitude (° LS)
- degradasi warna : besarnya anomali kecepatan gelombang masing-masing (km/s)
- : relokasi hiposenter

Anomali kecepatan positif (maksimum) ditandai dengan warna biru tua yang bernilai 9 km/s dan anomali kecepatan negatif (minimum) diwakili warna coklat tua dengan besar -10 km/s. Sebagaimana yang terlihat gambar 2, pada kedalaman 10 km dengan letak astronomi *longitude* 112 °BT dan *latitude* -7 °LS memiliki anomali kecepatan 0 km/s. Sedangkan kedalaman 40 km anomali kecepatan gelombang terbilang 9 km/s. Penelitian ini menunjukkan semakin dalam maka anomali kecepatan gelombang P semakin teramati dengan kata lain anomali bernilai positif, hal ini membuktikan semakin kedalam maka lapisan penyusun bumi memiliki densitas yang lebih rapat yang ditandai dengan kecepatan gelombang P yang semakin besar pula. Sehingga daerah yang memiliki nilai anomali positif mengidentifikasi daerah tersebut memiliki sifat materi lebih padat dan terdapat batuan keras yang tidak dapat terdeformasi oleh tekanan regional, sedangkan anomali negatif menandakan daerah tersebut memiliki lapisan penyusun bumi yang lebih cair

atau berongga dan adanya patahan yang sesuai geologi permukaan bumi [1].

Gambar 3 merupakan distribusi anomali kecepatan gelombang S. Model kecepatan gelombang S sangat berbeda dengan gelombang P, yang mana anomali kecepatan gelombang S negatif pada wilayah tersebut bertepatan dengan adanya hiposenter gempa. Penurunan kecepatan gelombang S disebabkan lapisan di bawah permukaan terdiri atas cairan dan gas, sehingga mempengaruhi laju kecepatan gelombang S menurun. Mengingat, gelombang S hanya dapat merambat melalui medium padat.



**Gambar 4.** Distribusi anomali rasio Vp/Vs pada irisan horizontal untuk kedalaman 10 km, 20 km, 30 km, dan 40 km.

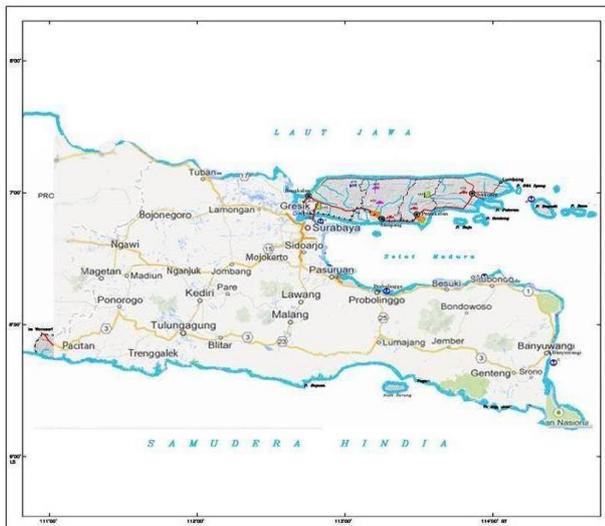
Keterangan:

- sumbu x : Longitude (° BT)
- sumbu y : Latitude (° LS)
- degradasi warna : besarnya rasio Vp/Vs (km/s)
- : relokasi hiposenter

Tomografi anomali rasio Vp/Vs irisan horizontal yang ditunjukkan pada gambar 4. Nilai anomali rasio Vp/Vs secara umum sebesar 1,7 km/s; sedangkan penelitian ini memperlihatkan rentang anomali rasio kecepatan gelombang P dan S berkisar antara 1,6 km/s sampai 1,888 km/s. Dimana, warna biru menunjukkan anomali rasio Vp/Vs minimum senilai 1,6 km/s sedangkan anomali rasio maksimum ditunjukkan dengan warna merah sebesar 1,888 km/s. Yang mana anomali rasio minimum mengidentifikasi adanya batuan sedimen dan nilai maksimum mengindikasikan pada area tersebut terdapat batuan yang mengandung fluida lebih tinggi

pada temperatur tinggi batuan tersebut akan mengalami perubahan tekanan sehingga mengakibatkan retakan atau patahan dan selanjutnya berkontribusi terjadinya gempa bumi [1, 3].

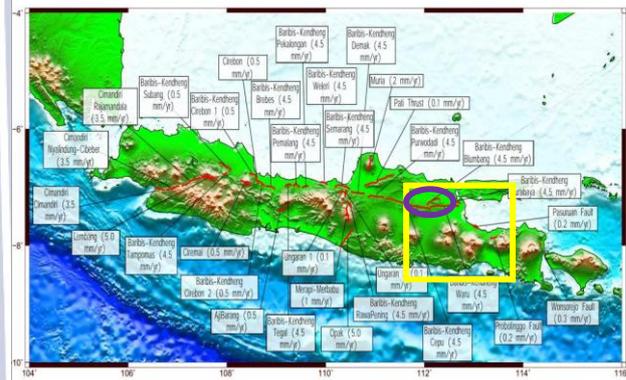
Pada dasarnya event gempa memiliki kedalaman yang berbeda-beda bergantung jenis gempa yang terjadi. Terlihat pada gambar di atas (Gambar 2,3, dan 4), wilayah Jawa Timur antara *longitude* 111,5 °BT sampai 114 °BT dan *latitude* -6,6 °LS sampai -8,5 °LS menunjukkan semakin dalam kedalaman maka persebaran relokasi hiposenter semakin sedikit. Karakteristik gempa dangkal yaitu gempa yang hiposenter pada kedalaman kurang dari 70 km [4]. Dengan demikian, maka gempa yang terjadi di Jawa Timur ini mayoritas dikategorikan sebagai gempa yang berjenis dangkal. Sependapat dengan Peltzer, dkk. (2001) [5], Pulau Jawa memiliki beberapa sesar (*tectonic fault*), dimana *tectonic fault* yaitu zona deformasi lokal yang mengakomodasi pergerakan lempeng melalui *creeping* seismik pada bagian kedalaman tertentu serta gempa atau *creeping* yang bersifat episodik pada bagian lapisan yang lebih dangkal.



Gambar 4. Peta Jawa Timur.

Gambar 4. merupakan daerah-daerah di Jawa Timur, yang digunakan untuk mengetahui daerah mana yang mengandung batuan keras, cairan, dan patahan dengan mencocokkan *longitude*, *latitude*, dan besarnya anomali kecepatan gelombang P dan S. Pada *longitude* 112 °BT dan *latitude* -6,6 °LS tepatnya daerah Bojonegoro bagian utara menunjukkan nilai anomali kecepatan P dan S sebesar -10 km/s atau anomali negatif (Gambar 2 dan 3). Wilayah yang memiliki anomali negatif mengindikasikan wilayah tersebut memiliki lapisan penyusun bumi yang lebih cair atau berongga dan adanya sesar lokal yang mengakibatkan gempa bumi [1]. Hasil penelitian ini sesuai gempa di Jawa Timur disebabkan karena adanya zona subduksi (lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia). Pergerakan antar lempeng mengakibatkan adanya penumpukan energi di

sekitar perbatasan lempeng apabila lapisan batuan tidak mampu mempertahankan tumpukan energi maka energi akan terlepas dan mengakibatkan adanya patahan pada kerak bumi yang menyebabkan terjadinya gempa bumi. Salah satu bentuk patahan atau deformasi pada kerak bumi yang disebabkan pelepasan energi yaitu adanya sesar mayor yang melewati daerah Bojonegoro yaitu sesar Kendeng yang berkontribusi besar terjadinya gempa bumi (lingkaran ungu pada gambar 5). Selain sesar mayor, gempa bumi di Jawa Timur disebabkan karena adanya sesar - sesar lokal yang berkontribusi menyumbang terjadi gempa di Jawa Timur meskipun laju geser sesar cukup kecil per tahun, seperti sesar Pasuruan (0,2 mm/yr) dan sesar Probolinggo (0,2 mm/yr) (kotak kuning pada gambar 5) [5].



Gambar 5. Laju geser segmen-segmen sesar di Jawa [5].

## PENUTUP

### Simpulan

Anomali kecepatan gelombang P negatif menandakan daerah tersebut terdapat lapisan penyusun bumi yang lebih cair dan adanya patahan yang mana sesuai keadaan geologi bawah permukaan Jawa Timur sedangkan anomali kecepatan gelombang P positif menjelaskan materi penyusun bumi bersifat lebih padat dan adanya batuan keras di atas keras yang tidak terdeformasi oleh *stress regional*. Namun, jika anomali kecepatan gelombang S rendah menunjukkan terjadinya gempa pada area tersebut. Untuk anomali rasio  $V_p/V_s$  minimum (1.6 km/s) mengidentifikasi adanya batuan sedimen sedangkan anomali rasio  $V_p/V_s$  maksimum (1.888 km/s) mengartikan pada area tersebut terdapat batuan yang mengandung fluida lebih tinggi dan diprediksi terdapat hiposenter gempa bumi. Gempa bumi di Jawa Timur disebabkan sesar mayor yaitu Kendeng dan sesar-sesar lokal seperti sesar Probolinggo dan Pasuruan.

### Saran

Pada penelitian selanjutnya perlu menggunakan referensi model kecepatan 1D gelombang P dan S sesuai

dengan fokus area penelitian yang dikaji untuk mendapatkan hasil yang lebih bagus. *Picking* gelombang seismik P dan S masih dilakukan secara manual kedepannya dapat menggunakan *software* yang terbaru.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abacha, I., Koulakov, I., Semmane, F., and Chaouche, A. K. Y., 2014. Seismic Tomography of the Area of the 2010 Beni-Illmane Earthquake Sequence, North-Central Algeria. *SpringerPlus*, pp.3-650
- [2] Dinc, A. N., Koulakov, I., Thorwart, m., Rabbel., Flueh, E. R., Arroya, I., Taylor, W. and Alvarado, G., 2010. Local Earthquake Tomography of Central Costa Rica: Transition from Seamount to Ridge Subduction. *Geophysical, J. Int.* No.183, pp.286-302. doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04717.x.
- [3] Febriani, S. D. A. and Santosa, B. J., 2015. 3D Tomography Analysis of Earthquake in Sumatra Using Lokal Earthquake Tomography. *Proceeding of The 5<sup>th</sup> Annual Basic Science Internasional Conference Receiver*.
- [4] Hariyono, Eko. 2016. *Pengantar Geosains Fokus Kajian Gunungapi*. Surabaya: UNESA University Press.
- [5] Irsyam, M., Widiyantoro, S., Natawidjaja, D. H., Meilano, I., Rudyanto, A., Hidayati, S., Triyoso, W., Hanifa, N. R., Djarwadi, D., Faizal, L. dan Sumarjito. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: PuSGen.
- [6] Madlazim. 2016. *Fisika Bumi seismologi*. Surabaya : Unesa University Press.
- [7] Setiawan, M. R. dan Setiawan, A., 2015. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Zona Subduksi dan Busur Gunungapi Jawa Timur berdasarkan Analisis Data Gravitasi. *Jurnal Fisika Indonesia*. Vol.19, No.57, pp.13-18.
- [8] Wilujeng, I. and Santosa, B. J., 2015. 3D Seismic Tomography Analysis of Japan Substructure Using Lokal Earthquake Tomography. *Proceeding of Internasional Conference on Research, Implementation and Education of Mathematics and Sciences 2015*.