

ANALISIS MODEL KECEPATAN 3D GELOMBANG SEISMIK DI DAERAH SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN LOTOS-12

Irma Safitri Yanuars¹⁾, Supardiyono²⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Fisika Universitas Negeri Surabaya, email: irmayanuarsi@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Dosen Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: supardiyono@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian skripsi ini bertujuan untuk menganalisis tomografi 3D dan mengetahui anomali kecepatan gelombang P dan S di daerah Sumatera Barat dengan menggunakan LOTOS-12. Data penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari katalog WebDC3 at BMKG (<http://202.90.198.100/webdc3/>), dengan koordinat -1.77 LS – 0.83 LS dan 99.00 BT – 101.78 BT dan nilai magnitudo ≥ 3 SR, dari rentang tahun 2008-2018, diperoleh data sebanyak 149 *event* gempa dan 6 stasiun seismik yang mencatat kejadian gempa tersebut. Mekanisme pengoperasian *software* ini membutuhkan input model kecepatan 1D yaitu model referensi struktur kecepatan bumi Madlazim-Santosa di Wilayah Sumatera Barat. Selain itu, penentuan distribusi kecepatan 3D terdiri dari menentukan lokasi dalam model 3D menggunakan metode algoritma *ray tracing*, parameterisasi grid dan inversi menggunakan metode LSQR (*Least Square*), selanjutnya akan dilakukan pengolahan dengan menggunakan inversi tomografi *Local Earthquake Tomography* LOTOS-12 dalam model 3D. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa pada lapisan kerak atas diperoleh nilai V_p sekitar 6.192 km/s dan V_s sekitar 3.717 km/s, pada lapisan kerak bawah diperoleh nilai V_p sekitar 7.083 km/s dan V_s sekitar 3.964 km/s dan pada lapisan mantel atas diperoleh nilai V_p sekitar 8.217 km/s dan V_s 4.679 km/s. Nilai rasio V_p/V_s rendah pada bidang vertikal diperoleh pada kedalaman sekitar 30 km hingga 60 km dan pada kedalaman sekitar 80 km hingga 120 km, sedangkan rasio V_p/V_s tinggi diperoleh pada kedalaman 10 km hingga 30 km. Distribusi kecepatan 3-D anomali V_p dan V_s di bagian barat Sumatera lebih dominan pada anomali negatif yang ditandai adanya deviasi kecepatan negatif maksimum yang teresolusi dengan baik untuk gelombang P dan S terdapat pada daerah Kepulauan Nias, Kepulauan Mentawai dan Padang, dikarenakan pada daerah tersebut terdapat beberapa jenis segmen patahan diantaranya adalah Patahan Mentawai, Patahan Barumun, Patahan Sumpur, Patahan Sianok dan Patahan Sumani.

Kata Kunci: gempa bumi, tomografi seismik, rasio V_p/V_s

Abstract

This thesis is intended to analyze 3D tomography and recognizing P and S wave anomalies in Western Sumatera by using LOTOS-12. These research data came up with a secondary data acquired from the catalog WebDC at BMKG (<http://202.90.198.100/webdc3/>) with coordinate -1.77 LS – 0.83 LS dan 99.00 BT – 101.78 BT and magnitudo value ≥ 3 SR, from 2008-2018 got 149 quake events and 6 seismic stations registering the seismic events. The operating mechanism of this software required the 1D speed mode input, which the reference model for the speed structure of the Madlazim-Santosa earth speed model in the Western Sumatera region. In addition, determining 3D speed distribution consists of determining locations in 3D models using the ray tracing algorithm method, grid parameterization and inversion use LSQR (*Least Square*) method, further processing will be done using the local earthquake tomography style and inversion tomography LOTOS-12 in 3D model. Data processing shows that in the top layer of the crust there got V_p value at around 6.192 km/s and V_s around 3.717 km/s, in the lower layer of crust there is the value of V_p is about 7.083 km/s, and the V_s about 3.964 km/s and in the upper crust there is the value of V_p about 8.217 km/s and V_s about 4.679 km/s. The low V_p/V_s ratio on vertical areas is obtained at a depth of approximately 30 km to 60 km and at a depth of approximately 80 km to 120 km, whereas the higher V_p/V_s ratios are acquired at a depth of 10 km to 30 km. Distribution 3D anomaly V_p and V_s in West Sumatera dominates the negative anomaly highlighted in negative maximum speed deviation known well for the waves of P and S is found in the Nias Island, Mentawai and Padang. Because there are several types of fault segments among which are the The Mentawai Fault, The Barumun Fault, The Sumpur Fault, The Sianok Fault and The Sumani Fault.

Keywords: earthquake, seismic tomography, ratio V_p/V_s

PENDAHULUAN

Kepulauan Indonesia memiliki kondisi tektonik yang berada pada daerah pertemuan 3 (tiga) lempeng besar dunia, yakni Lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik. Berdasarkan catatan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) wilayah Indonesia digoncang gempa bumi mencapai puluhan kali setiap harinya, baik yang

dirasakan oleh manusia, maupun yang hanya dapat direkam oleh alat pencatat gempa bumi.

Gempa bumi yang paling ekstrim terjadi di dekat atau di batas antar lempeng tersebut. Gesekan antar lempeng menimbulkan pelepasan energi, dimana energi ini menimbulkan efek gelombang elastis yang dapat menyebar secara luas, sehingga terjadi gempa bumi yang dapat dirasakan di perairan maupun di daratan,. Gempa

bumi kuat dapat memicu gunung berapi meletus, namun bergantung pada kondisi dapur magma gunung tersebut (Madlazim, 2013).

Kondisi geologi di Pulau Sumatera Barat yaitu zona subduksi antar batas lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia dapat menyebabkan gempa bumi besar dan merusak yang sudah banyak terjadi di wilayah Sumatera Barat dan sekitarnya antara lain gempabumi Padang Panjang tahun 2007 dengan Mw 6,4 dan 6,3, gempabumi Pariaman tahun 2009 Mw 7,9 dan gempabumi Pagai Selatan Kep. Mentawai tahun 2010 dengan Mw 7,2. Potensi bencana yang diakibatkan dari pergerakan dua lempeng ini adalah gempa bumi tektonik yang apabila terjadi di laut dengan magnitudo sangat besar akan mengakibatkan terjadinya tsunami. Pada tahun 2004 di Provinsi Aceh terjadi tsunami yang memakan banyak diperkirakan sebanyak 131.066 orang meninggal dunia dan sebanyak 38.786 orang dilaporkan hilang (Doocy, Balk & Robinson, 2007).

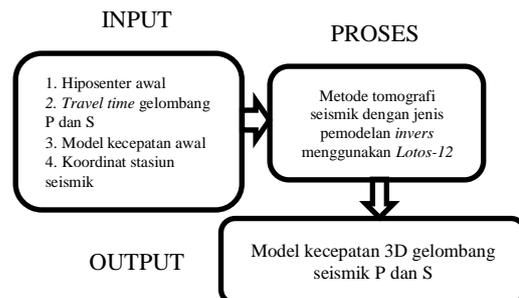
Selain itu terdapat zona Sesar Sumatera yaitu Sesar Semangko yang merupakan salah satu sesar teraktif di dunia, pergeseran sesar ini menghasilkan zona lemah yang memungkinkan menjadi jalan keluarnya magma pada aktivitas vulkanisme dan menghasilkan jajaran Pegunungan Barisan dan Pegunungan Mediterania (Darman dan Sidi, 2000). Pada tahun 1979 Gunung Marapi mengalami letusan yang menimbulkan banyak korban lebih dari 100 orang meninggal dan luka-luka serta diperkirakan mengakibatkan kerugian material yang besar.

Hal ini semakin memperkuat bahwa Sumatera Barat merupakan wilayah yang rawan terhadap gempa bumi. Usaha untuk mengatasi akibat dari gempa bumi tersebut perlu dilakukan oleh pemerintah maupun masyarakat melalui tindakan peringatan dini. Untuk itu penelitian ini dilakukan di daerah ini, penelitian sebelumnya dilakukan oleh Nina Iswati dengan menentukan “Estimasi Model Kecepatan Gelombang Seismik 1D dan Relokasi Hiposenter dengan menggunakan *software* Hypo-GA dan Velest33 di daerah Sumatera Barat” [1] dan Aprilia Dwi Ardianti “Penentuan Model Kecepatan Lokal 1-D Gelombang P dan S Sebagai Fungsi Kedalaman di Wilayah Sumatera Barat menggunakan Metode Inversi Algoritma Genetika” [2]. Karena model kecepatan yang dihasilkan masih berupa data numerik dan berbentuk 1D yang hanya dapat diamati dengan satu sumbu saja (sumbu z), maka dilakukan penelitian lebih lanjut dengan model kecepatan gelombang seismik P dan S di bawah permukaan dan relokasi hiposenter gempa bumi yang berbentuk 3D dan dapat diamati dari tiga sumbu x, y, dan z sebagai fungsi *longitude*, *latitude*, dan kedalaman dengan bantuan perangkat lunak inversi tomografi lokal *LOTOS-12* (Koulakov, 2009), dengan mengambil wilayah Sumatera

Barat pada batasan koordinat yaitu -1.77 LS – 0.83 LS dan 99.00 BT – 101.78 BT dengan nilai magnitudo ≥ 3 SR, dari rentang tahun 2008-2018 berdasarkan katalog BMKG. *LOTOS (Local Tomography Software)* merupakan salah satu perangkat lunak untuk interpretasi tomografi di suatu daerah yang selanjutnya diperoleh inversi simultan struktur Vp dan Vs serta koordinat sumber. Dengan jenis pemodelan seismik tomografi pemodelan ke belakang (*inverse modeling*) yang bertujuan untuk mendapatkan distribusi kecepatan struktur batuan bawah permukaan bumi dengan cara meminimumkan (*error*) antara waktu rambat pengamatan dengan waktu rambat perhitungan. Perangkat lunak *LOTOS* dengan versi 12 dapat digunakan pada system operasi berbasis *Windows* memiliki kelebihan dari versi sebelumnya antara lain dapat melakukan inversi pada Vp-Vp/Vs, struktur *file* dan program yang lebih sederhana, adanya lokasi sumber awal dan hasil yang diperoleh pada bidang horisontal dapat ditampilkan dengan basis PNG *bitmap* (Koulakov, 2009).

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini merupakan penelitian berbasis komputasi. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data yang diperoleh dari katalog WebDC3 at BMKG (<http://202.90.198.100/webdc3/>) yang merupakan data sekunder kejadian gempa bumi yang tersedia secara online dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika). Data gempa yang digunakan berlokasi di wilayah Sumatera Barat dengan letak astronomi 99° BT sampai 101.78° BT dan -1.77° LS sampai 0.83° LS, dengan mengambil lokasi data gempa di wilayah laut dan daratan pada kedalaman data gempa yang diperoleh kisaran 0 - 250 kmn data kejadian gempa sebanyak 149 data dan magnitudo ≥ 3 SR, serta ada 6 stasiun seismik yang merekam kejadian gempa tersebut, diantaranya yaitu BKNI, MNSI, PDSI, PPI, SDSI, SISI. Dalam penelitian ini dipilih magnitudo ≥ 3 SR karena magnitudo tersebut merupakan skala minimum gempa yang tercatat di stasiun seismik. Berikut merupakan mekanisme penentuan model kecepatan 3D gelombang P dan S dalam penelitian ini:



Gambar 1. Skema penentuan model kecepatan 3D gelombang P dan S

HASIL DAN PEMBAHASAN

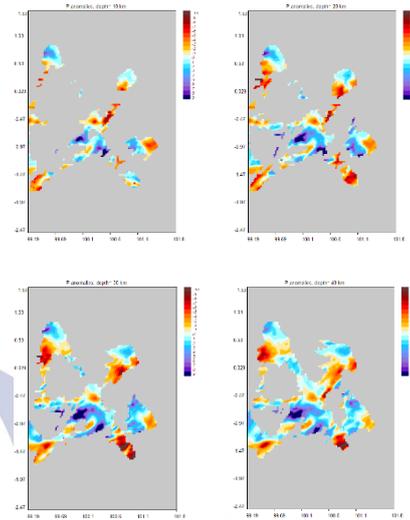
Pada hasil penelitian ini menggunakan *software* LOTOS-12 diperoleh penampang model kecepatan Pulau Sumatera Barat, dimana berupa model kecepatan gelombang P dan S terbarukan berbentuk 3D dari Pulau Sumatera Barat, untuk mengetahui struktur bawah permukaan bumi dan hiposenter. Distribusi kecepatan dalam 3 dimensi diperoleh melalui beberapa tahapan, pertama penentuan lokasi dalam model 3 dimensi dengan menggunakan algoritma *ray tracing* pada minimalisasi *travel time* yang diperoleh, kedua sumber gempa dan lokasi awal yang telah diperoleh direlokasi kembali menggunakan metode 3D *ray tracing (bending tracing)* dan yang ketiga parameterisasi grid serta anomali distribusi kecepatan antara *node* yang diinterpolasi secara linier sehingga menjadi blok tetrahedral (Kaulakov, 2009). Proses pengoperasian *software* ini membutuhkan input model kecepatan 1D yang pada penelitian ini menggunakan model referensi struktur kecepatan bumi Madlazim-Santosa di Wilayah Sumatera Barat. Selain itu, faktor penting dalam menentukan model kecepatan gelombang P dan S dengan *software* LOTOS-12 yaitu hiposenter awal, *travel time* serta koordinat seismik. Nilai *travel time* gelombang P dan S diperoleh melalui proses picking data dengan bantuan *software* Seisgram2K80, dengan menyelisihkan data *arrival time* dengan *origin time*. Berikut daftar stasiun seismik yang mencatat data gempa bumi dari penelitian ini dengan posisi stasiun yang tersebar di Pulau Sumatera sebagai berikut:

Tabel 4.1 Daftar Stasiun Seismik di Pulau

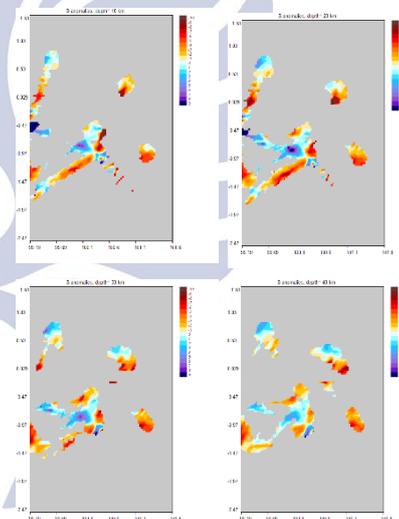
No	Kode	Letak Stasiun	Latitude	Longitude
1	BKNI	Bangkinang, Riau	0.326416	101.03964
2	MNSI	Mandailing Natal, Sumatera Utara	0.795498	99.579627
3	PDSI	Padang, Sumatera Barat	-0.911800	100.46170
4	PPI	Padang Panjang, Sumatera Barat	-0.455030	100.39630
5	SDSI	Sungai Dareh, Sumatera Barat	-0.932500	101.42800
6	SISI	Pulau Saibi, Sumatera Barat	-1.326500	99.089500

Selanjutnya setelah melalui ketiga tahapan maka akan diperoleh penampang bawah permukaan pulau Sumatera yang diwakili oleh peta distribusi kecepatan gelombang P (V_p), peta distribusi kecepatan gelombang S (V_s) dan rasio V_p/V_s dalam irisan bidang horizontal dan irisan bidang vertikal. Citra anomali yang diperoleh berdasarkan *travel time* P dan S ditampilkan dalam besaran persentase deviasi V_p dan V_s dengan satuan besaran deviasi adalah km/detik. Distribusi model kecepatan gelombang P dan gelombang S pada irisan

horizontal diambil sebanyak 4 kedalaman yaitu pada kedalaman 10 km, 20 km, 30 km, dan 40 km seperti yang ditampilkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



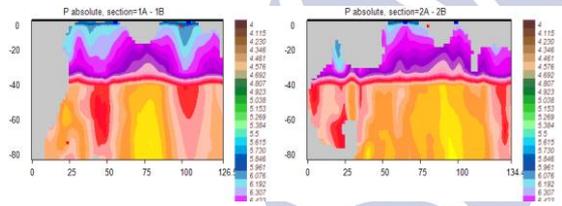
Gambar 2. Distribusi anomali kecepatan gelombang P pada irisan horizontal dari kedalaman 10 km, 20 km, 30 km dan 40 km



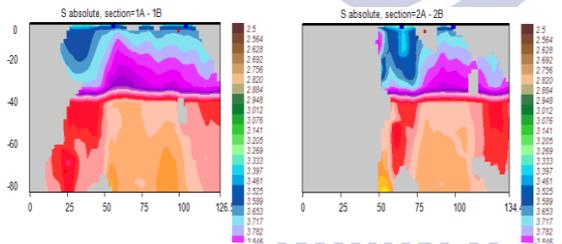
Gambar 3. Distribusi anomali kecepatan gelombang S pada irisan horizontal dari kedalaman 10 km, 20 km, 30 km dan 40 km

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan perangkat lunak LOTOS-12 diperoleh distribusi anomali kecepatan gelombang P dan gelombang S pada irisan horizontal seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3. Degradasi warna biru tua menunjukkan anomali kecepatan positif maksimum, sedangkan warna merah tua menunjukkan anomali kecepatan negatif maksimum. Anomali kecepatan positif menunjukkan bahwa kecepatan yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan kecepatan rata-rata pada daerah tersebut serta menandakan

adanya batuan keras dan bersifat lebih padat pada daerah tertentu. Anomali kecepatan negatif menunjukkan bahwa kecepatan yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan rata-rata daerah tersebut dan menandakan di daerah tersebut memiliki materi yang lebih cair atau rongga dan terdapat patahan (Abacha, et al, 2014). Pada Gambar 2 dan Gambar 3, distribusi kecepatan gelombang P dan kecepatan gelombang S lebih dominan memiliki anomali negatif yang ditandai dengan degradasi warna kuning hingga merah tua, yang dapat terlihat jelas pada seluruh kedalaman baik 10 km, 20 km, 30 km dan 40 km yang terletak sepanjang latitude antara -1.47 sampai 0.53 dan longitude antara 99.19 sampai 101.1. Kecepatan anomali negatif ini menyebar di beberapa daerah seperti di bagian barat Sumatera dengan deviasi kecepatan negatif maksimum yang teresolusi dengan baik untuk gelombang P dan S terdapat pada daerah Kepulauan Nias, Kepulauan Mentawai dan Padang, dikarenakan pada daerah tersebut terdapat beberapa jenis segmen patahan, diantaranya adalah Patahan Mentawai, Patahan Barumun, Patahan Sumpur, Patahan Sianok dan Patahan Sumani (D. Hilman dan K. Sieh, 2000).



Gambar 4. Distribusi kecepatan absolut gelombang P pada irisan vertikal



Gambar 5. Distribusi kecepatan absolut gelombang S pada irisan vertikal

Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5 yang merupakan anomali kecepatan absolut gelombang P dan gelombang S pada irisan vertikal menunjukkan bahwa karakter pada penjalaran gelombang P dan gelombang S terdapat sedikit perbedaan dimana karakter gelombang P lebih mampu menjalar pada semua medium sedangkan karakter gelombang S tidak mampu menjalar pada medium fluida. Walaupun demikian secara umum penampang yang dihasilkan menunjukkan kemiripan struktur batuan di bawah Pulau Sumatera Barat, hal ini

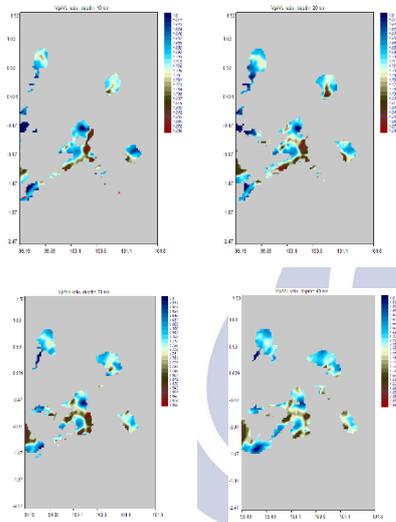
dapat terlihat pada gambar yang dihasilkan. Dalam kasus penelitian ini berdasarkan model referensi struktur lapisan bumi dan kecepatan bumi wilayah Sumatera Barat diperkirakan terdapat beberapa lapisan struktur bumi yaitu kerak atas di kedalaman sekitar 0 km sampai 20 km, kerak bawah pada kedalaman sekitar 20 km sampai 45 km dan mantel atas pada kedalaman lebih dari 45 km (Madlazim dan Santosa, 2010).

Pada bagian kerak atas diperoleh kecepatan gelombang P sekitar 6.192 km/s, pada bagian kerak bawah diperkirakan kecepatan gelombang P sekitar 7.083 km/s dan pada bagian mantel atas diperkirakan kecepatan gelombang P sekitar 8.217 km/s. Hasil ini dikuatkan oleh penelitian yang telah dilakukan oleh Aprilia D. Ardianti (2012) pada penelitian daerah Sumatera Barat menggunakan Metode Inversi Algoritma Genetika untuk Menentukan Model Kecepatan Lokal 1-D Geombang P dan S menunjukkan untuk daerah Sumatera Barat kecepatan gelombang-P pada lapisan kerak atas di kedalaman 0 km sampai 19.650 km sekitar 6.120 km/s, pada lapisan kerak bawah di kedalaman 19.650 km sampai 45.030 km sekitar 6.937 km/s dan pada bagian mantel atas di kedalaman lebih dari 45.030 km sekitar 8.200 km/s.

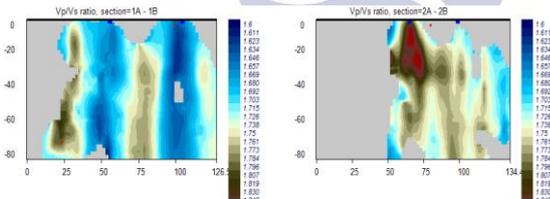
Sedangkan untuk kecepatan gelombang S penelitian ini menunjukkan bahwa pada bagian kerak atas diperoleh kecepatan gelombang S sekitar 3.717 km/s, pada bagian kerak bawah diperkirakan kecepatan gelombang S sekitar 3.964 km/s dan pada bagian mantel atas diperkirakan kecepatan gelombang S sekitar 4.679 km/s. Penelitian lain yang dilakukan oleh Ardianti (2012) yang melakukan penelitian kecepatan gelombang S pada daerah Sumatera Barat menunjukkan bahwa kecepatan gelombang S pada lapisan kerak atas di kedalaman 0 km sampai 19.650 km sekitar 3.532 km/s, pada lapisan kerak bawah di kedalaman 19.650 km sampai 45.030 km sekitar 4.007 km/s dan pada bagian mantel atas di kedalaman lebih dari 45.030 km sekitar 4.737 km/s. Patahan Sumatera seperti patahan besar lainnya sangat tersegmentasi. Kebanyakan segmen kurang dari 100 km dan hanya 2 dari 19 segmen yang diidentifikasi lebih dari 200 km. Dari 19 segmen Patahan Sumatera, 7 diantaranya terdapat di wilayah Provinsi Sumatera Barat. Adapun ketujuh segmen patahan tersebut adalah Segmen Siulak (2.25°S - 1.0°S), Segmen Suliti (1.75°S - 1.0°S), Segmen Sumani (1.0°S-0.5°S), Segmen Sianok (0.7°S - 0.1°S), Segmen Sumpur (0.1°S - 0.3°S), Segmen Barumun (0.3°S - 1.2°S), dan Segmen Angkola (1.2°S - 1.8°S) (D. Hilman dan K. Sieh, 2000). Dari hasil kecepatan gelombang P dan gelombang S terlihat bahwa pada lapisan permukaan bumi (kerak atas) memiliki kecepatan gelombang yang lebih rendah dibandingkan lapisan bumi yang tinggi kedalamannya (lapisan mantel). Hal ini disebabkan karena lapisan bumi yang tinggi kedalamannya memiliki kerapatan yang lebih

besar dibandingkan kerapatan di lapisan permukaan bumi, oleh sebab itu semakin tinggi kedalaman suatu lapisan bumi maka semakin besar pula kecepatannya.

Berdasarkan inversi tomografi yang telah dilakukan oleh perangkat lunak LOTOS-12 menghasilkan tomografi yang diperoleh dari Tp dan Ts selanjutnya diturunkan model tomografi Vp/Vs baik pada irisan bidang horizontal maupun pada irisan bidang vertikal yang ditampilkan pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 berikut ini:



Gambar 6. Distribusi Rasio Vp/Vs pada irisan horizontal pada kedalaman 10 km, 20 km, 30 km dan 40 km



Gambar 7. Distribusi Rasio Vp/Vs pada irisan vertikal

Berdasarkan citra tomogram yang dihasilkan pada bidang horizontal, di daerah dekat permukaan mempunyai nilai rasio Vp/Vs yang rendah jika dibandingkan dengan daerah yang lebih dalam. Vp/Vs yang bernilai tinggi sering dikaitkan dengan retakan pada batuan yang berisi fluida dan tingginya tingkat saturasi air. Sedangkan rasio Vp/Vs rendah dikaitkan dengan batuan kering yang terisi oleh gas. Batuan yang banyak terisi fluida akan menimbulkan perubahan tekanan pori yang akan berujung pada retakan dan selanjutnya akan berkontribusi pada kejadian gempa bumi (Moos and Zoback, 1983). Pada kedalaman 10 km, 20 km dan 30 km serta 40 km citra tomogram rasio Vp/Vs dapat teresolusi dengan jelas dengan nilai rasio Vp/Vs minimum sebesar 1.695 dan nilai rasio Vp/Vs maksimum sebesar 1.899. Nilai rasio Vp/Vs dengan nilai maksimum yang ditandai dengan degradasi warna merah dapat teresolusi dengan

baik pada kedalaman 10 km, 20 km, 30 km yaitu pada *longitude* 100.0 sampai 100.5 dan *latitude* -1.37 sampai -0.67, namun kurang teresolusi dengan baik pada kedalaman 40 km. Pada daerah dengan koordinat *longitude* dan *latitude* ini merupakan daerah sekitar Provinsi Padang yang struktur bawah permukaannya terdapat adanya beberapa jenis segmen Patahan Sumatera (*Sumatera Fault Zone*) yang membentang dari Banda Aceh hingga Teluk Semangko di selatan Lampung.

PENUTUP

Simpulan

1. Data *event* gempa diperoleh dari katalog WebDC3 at BMKG pada laman (<http://202.90.198.100/webdc3/>), dengan *event* gempa sebanyak 149 *event* pada kedalaman 5.0 km hingga 233.0 km di wilayah Sumatera Barat pada koordinat -1.77 LS – 0.83 LS dan 99.00 BT – 101.78 BT dengan nilai magnitudo ≥ 3 SR, dari rentang tahun 2008-2018;
2. Lapisan pada kedalaman 0-20 km (kerak atas) diperoleh nilai Vp sekitar 6.192 km/s dan Vs sekitar 3.717 km/s, pada lapisan dengan kedalaman 20-45 km (kerak bawah) diperoleh nilai Vp sekitar 7.083 km/s dan Vs sekitar 3.964 km/s dan pada lapisan dengan kedalaman >45 km (mantel atas) diperoleh nilai Vp sekitar 8.217 km/s dan Vs 4.679 km/s. Nilai anomali rasio Vp/Vs minimum sebesar 1.611 dan nilai rasio Vp/Vs maksimum sebesar 1.888. Lapisan mantel atas bumi memiliki kerapatan yang lebih tinggi dibanding dengan lapisan kerak atas bumi, oleh karena itu semakin tinggi kedalaman suatu lapisan bumi maka kecepatan gelombang P dan S lebih besar;
3. Hasil distribusi kecepatan 3-D anomali Vp dan Vs di bagian barat Sumatera lebih dominan pada anomali negatif yang ditandai adanya deviasi kecepatan negatif maksimum yang teresolusi dengan baik untuk gelombang P dan S terdapat pada daerah Kepulauan Nias, Kepulauan Mentawai dan Padang, dikarenakan pada daerah tersebut terdapat beberapa jenis segmen patahan diantaranya adalah Patahan Mentawai, Patahan Barumun, Patahan Sumpur, Patahan Sianok dan Patahan Sumani.
4. Dengan model kecepatan 3D informasi gempa akan lebih akurat, hal ini disebabkan karena semua arah diperhitungkan (sumbu x, y, z) untuk memperoleh data *origin time*, *latitude*, *longitude*, *depth* dan *magnitude*. Sehingga penanganan mitigasi bencana untuk masyarakat sekitar akan lebih maksimal.

Saran

Adapun saran dari penulis yaitu diharapkan pada penelitian selanjutnya untuk *picking* data dilakukan secara otomatis sehingga waktu tiba (*arrival time*) gelombang P

dan gelombang S lebih teliti, perlu adanya perluasan cakupan wilayah penelitian agar stasiun seismik yang merekam kejadian gempa jumlahnya banyak sehingga jumlah data *event* gempa bertambah dan diharapkan dapat dilakukan pengujian dengan data sintesis agar data *event* gempa mempunyai distribusi sinar yang merata serta mendapatkan citra tomografi yang lebih real.

DAFTAR PUSTAKA

- Abacha, I., Koulakov, I., semmane, F., and Chaouche, A. K. Y., 2014. *Seismic Tomography of the Area of the 2010 Beni-Ilmane Earthquake Sequence, North-Central Algeria*. Springer Plus, pp.3-650
- Ardianti, D. (2012), "Penentuan Model Kecepatan Lokal 1D Gelombang P dan S sebagai Fungsi Kedalaman di Wilayah Sumatera Barat Menggunakan Metode Inversi Algoritma Genetika", *E-journal Universitas Negeri Surabaya*, Vol.1. No.1 hal. 1-11.
- 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.
- Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2006, *Gempabumi dan Tsunami*
- Doocy, S., Gorokhovich, Y., Burnham, G., Balk, D., & Robinson, C. (2007). Tsunami mortality estimates and vulnerability mapping in Aceh, Indonesia. *American Journal of Public Health*, 97(S1), S146–S151.
- Febriani, S. D. A. and Santosa, B. J. 2015. *3D Tomography Analysis of Earthquake in Sumatra Using Local Earthquake Tomography*. Proceeding of The 5th Annual Basic Science International Conference Receiver
- Furumura, T., Theory of Seismic Wave, IISSE, BRI, Japan 2006.
- Ibrahim, G. dan Subardjo, Buku Gempabumi, Penerbit BMKG, 2001.
- 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.
- Kious, W. Jacquelyne, dan Tilling, Robert I. 2008. USGS This Dynamic Earth: The Story of Plate Tectonics. Washington: U.S. Government Printing Office. Copyright@2014 by Djauhari Noor
- Koulakov, I. 2009. *LOTOS Code For Local Earthquake Tomographic Inversion*. Benchmarks for Testing Tomographic Algorithms. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 99, No. 1, pp. 194-214, doi: 10.1785/0120080013
- Koulakov, I. 2012. *LOTOS-12 Code for 3D Tomographic Inversion Based on Passive Seismic Data from Local and Regional Events*. Benchmarks for testing tomographic algorithms. Novosibirsk, Rusia
- Madlazim dan Santosa, B.J., (2010), "Simultaneous Inversion for 1-d P-wave Velocity Model, Station Corrections and Hypocenters of Sumatra Earthquakes: 5th Ketingan Physics Forum, Sahid Jaya Solo Hotel.
- Madlazim. 2016. *Fisika Bumi Seismologi*. Surabaya: Unesa University Press
- McCaffrey, R. (2009), "The Tectonic Framework of the Sumatran Subduction Zone", *Annual Review*, No.37. hal.345-366.
- Natawidjaja, D.H., and W. Triyoso. (2007) The Sumatran fault zone: from source to hazard, 1 (No.1), 21-47.
- Natawidjaja, D.H.,(2003). Neotectonics of the Sumatran Fault and paleogeodesy of the Sumatran subduction zone.
- Santoso, Djoko. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: ITB.
- Sieh, K., and Natawidjaja, D.H., (2000). Neotectonics of the Sumatera fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*. 105, B12, pp. 28, 295- 28, 326.
- Suantika, G. (2009), "Pencitraan Tomografi Atenuasi Seismik 3-D untuk
- Sudiyanto, A.S. (2014), "Interpretasi Struktur Kerak dan Mantel Atas di Bawah Provinsi Bengkulu Menggunakan Tomografi Seismik Waktu Tunda", Tesis. Tidak Dipublikasikan. Universitas Gadjah Mada.
- Thurber C.H. Aki K., 1987. Three-dimensional seismic imaging. *Ann. Rev. Earth planet. Sci.* 132 115-139
- Thurber C.H., 1987. Analysis methods for kinematic data from local earthquakes. *Rev. Geophys.* 132 793-805
- Um J. Thurber C., 1987. A fast algorithm for two-point seismic ray tracing. *Bull. Seism. Soc. Am.* 132 972-986
- 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*.
- Wyss, M., S. Wiemer, and S. Tsuboi, (1973). Mapping b-value anomalies in the subducting slabs beneath Japan, using the JUNE data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, submitted.