

ABSTRAK
ANALISIS MODEL KECEPATAN TOMOGRAFI 3D BODY WAVES PADA GEMPA BUMI DI WILAYAH SULAWESI TENGAH TAHUN 2008-2018 MENGGUNAKAN LOTOS-12

Awit Juwitarini¹⁾, Supardiyono²⁾

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

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

Abstrak

Penelitian skripsi ini dilaksanakan bertujuan untuk menganalisis tomografi lokal di daerah Palu Sulawesi Tengah menggunakan *LOTOS-12 (Lotos Tomography Software-12)* dan menganalisis data distribusi anomali kecepatan gelombang P dan S yang dihasilkan pada daerah Palu Sulawesi Tengah. Sumber data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder di sekitar Sulawesi Tengah tahun 2008-2018 yang diunduh dari WebDC3 at BMKG (<http://202.90.198.100/webdc3/>). Dengan koordinat 2°22' LU dan 3°48' LS, serta 119°22' BT dan 124°22' BT dengan magnitudo ≥ 3 SR, dari rentang tahun 2008-2018. Diperoleh data kejadian gempa sebanyak 201 *event* gempa dan 7 stasiun seismik yang merekam kejadian gempa tersebut. Mekanisme pengoperasian perangkat lunak ini digunakan model kecepatan awal untuk daerah Sesar Palu Koro, selanjutnya akan dilakukan pengolahan dengan menggunakan inversi tomografi dengan *software LOTOS-12* dalam mode 3D. Hasil dari penelitian ini diperkirakan wilayah Sulawesi Tengah memiliki beberapa lapisan kerak diperoleh nilai V_p 5,961 km/s dan nilai V_s 3,589 km/s, pada kerak bawah nilai $V_p > 6,423$ km/s dan nilai V_s 3,816 km/s, pada mantel nilai V_p sekitar 6,423 km/s dan nilai V_s 3,816 km/s. Diperoleh nilai anomali rasio V_p/V_s maksimum sekitar 1,6, sedangkan nilai anomali rasio V_p/V_s maksimum sekitar 1,888. Anomali negatif deviasi kecepatan dalam bidang irisan horizontal menyebar di wilayah Palu Sulawesi Tengah dengan deviasi kecepatan maksimum yang teresolusi dengan baik untuk gelombang P dan S. Daerah tersebut adalah daerah yang terdapat patahan aktif yaitu Sesar Palu Koro. Sesar Palu Koro memotong Sulawesi bagian barat dan tengah, menerus ke bagian utara sampai Palung Sulawesi Utara yang merupakan batas tepi benua di Laut Sulawesi. Sesar Palu Koro juga memanjang dari Palu ke arah Selatan dan Tenggara melalui Sulawesi Selatan bagian Utara menuju ke Selatan Bone sampai di laut Banda. Patahan Palu Koro memanjang dari utara (Palu) ke selatan (Malili) hingga teluk Bone sepanjang \square 240 km. Bersifat *sinistral* dan aktif dengan kecepatan sekitar 25-30 mm/tahun. Patahan palu Koro berhubungan dengan patahan Matano Sorong dan Lawanoppo Kendari, sedang di ujung utara melalui selat Makassar berpotongan dengan zona subduksi lempeng laut Sulawesi.

Kata kunci : anomali gelombang, *latitude*, *local earthquake*, *longitude*, tomografi seismik

Abstract

Thesis research was conducted aiming to analyze local tomography in Central Sulawesi Palu area using *LOTOS-12 (Lotos Tomography Software-12)* and analyze the data distribution and P wave velocity anomaly S produced in region of Central Sulawesi Palu. The source of the data used in this research is secondary data around Central Sulawesi years 2008-2018 downloaded from WebDC3 at BMKG (<http://202.90.198.100/webdc3/>). With coordinates 2°22' LU and 3°48' LS, as well as 119°22' BT and 124°22' BT magnitude ≥ 3 SR., of 2008-2018 year range. Earthquake occurrence data obtained as many as 201 *event* earthquake seismic station and 7 recorded the earthquake occurrence. The mechanism of operation of this software is used for the initial speed model Fault Palu Koro, further processing will be done by using tomography inversion with *software LOTOS-12* in 3D mode. The results of this study estimated the region of Central Sulawesi have several layers of crust retrieved values V_p 5.961 km/s and the value V_s 3.589 km/s, on the crust below the value of $V_p > 6.423$ km/s and the value V_s km/s, 3.816 on mantle values V_p about 6.423 km/s and value V_s 3.816 km/s. Retrieved value anomaly V_p/V_s ratio maximum of about 1.6, while the value of the anomalous ratio V_p/V_s maximum around 1.888. Negative anomalies deviations in the areas of horizontal slices speed spread in the region of Central Sulawesi Palu with maximum speed deviation teresolusi for P and S wave. The area is the area contained an active fault line that is fault Palu Koro. Fault Palu Koro Koro cut Western and Central Sulawesi, continuously to the North to the North Sulawesi Trench which is the border of the continent in the Celebes Sea. Fault Palu Koro also extends from the Hammer to the South and South-East through the northern part of South Sulawesi, head South to the Bone in the Banda Sea. The Ridge extends from North of Koro Palu (Palu) to South (Malili) to the Bay of Bone along \pm 240 km. Are *sinistral* and is active at speeds of about 25-30 mm/year. The Palu Koro-related faulting Matano Slide and Lawanoppo Kendari, being at the northern end through the Makassar Strait intersect with the Celebes Sea plate subduction zone.

Keywords: wave anomalies, *latitude*, *longitude*, *local earthquake*, seismic tomography

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang berbentuk kepulauan yang terletak di pertemuan lempeng-lempeng tektonik dunia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, Lempeng Indo-Australia, dan Laut Filipina (Hall, 2002). Pertemuan lempeng tersebut mengakibatkan terbentuknya susunan tektonik yang rumit. Di wilayah Indonesia bagian timur susunan tektoniknya melibatkan lempeng utama, mikro kontinen, dan busur kepulauan (Supartoyo dkk, 2014). Provinsi Sulawesi Tengah merupakan bagian dari wilayah Indonesia bagian timur yang memiliki susunan tektonik yang rumit, Sulawesi Tengah juga merupakan salah satu daerah yang berisiko terhadap gempa bumi di Indonesia, karena letaknya dekat dengan sumber gempa bumi yang berada di darat dan di laut. (Supartoyo dan Surono, 2008). Sumber gempa bumi di laut berasal dari penunjaman wilayah Sulawesi Utara yang terletak di sebelah utara Pulau Sulawesi, sedangkan sumber gempa bumi di darat berasal dari beberapa patahan aktif di daratan Sulawesi Tengah, salah satunya Sesar Palu Koro.

Sesar Palu Koro merupakan sesar utama di Pulau Sulawesi dan tergolong sebagai sesar aktif (Bellier et al., 2001). Sesar ini memanjang kurang lebih 240 km dari utara (Kota Palu) ke selatan (Malili) hingga Teluk Bone. Sesar ini merupakan sesar sinistral aktif dengan kecepatan pergeseran sekitar 25 – 40 mm/tahun. Sesar Palu Koro berhubungan dengan Sesar Matan Sorong dan Lawanoppo Kendari, sedangkan di ujung utara melalui selat Makasar berpotongan dengan zona subduksi lempeng Laut Sulawesi (Kaharuddin dkk., 2011).

Menurut Kepala Data, Informasi dan Humas BNPB, sebelumnya gempa berkekuatan 7,4 skala richter mengguncang Palu, Donggala, Sigi dan Parigi Moutong pada Jumat, 28 September 2018 yang lalu. Gempa disusul terjadinya tsunami di kawasan Palu. Korban meninggal terbanyak di Kota Palu, yaitu 1.519 orang. Korban meninggal sebanyak 159 orang di Donggala, 69 orang di Sigi, 15 orang di Parigi Moutong dan 1 di Pasangkayu. Sementara korban hilang 265 orang, korban luka 2.632 orang (Sutopo Purwo Nugroho, 2018).

Kejadian bencana alam tersebut semakin memperkuat bahwa Sulawesi Tengah merupakan wilayah yang rawan terhadap gempa bumi. Mitigasi bencana yang perlu dilakukan oleh pemerintah maupun masyarakat dengan melalui tindakan peringatan dini. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan di daerah Sulawesi Tengah, dengan mengacu pada penelitian sebelumnya dilakukan oleh Suliyanti Pakpahan, dkk dengan judul “Analisis Kegempaan di Zona Sesar Palu Koro, Sulawesi tengah.” [1] oleh Masyitha Retno dengan judul “Relokasi Gempa bumi di Sepanjang Sesar Palu Koro Menggunakan “Metode Modified Joint Hypocenter Determination dan Double Difference.” [2]. Serta oleh Maria Fransisca Gracynthia dengan judul “Relokasi Hipocenter Gempa

Bumi Menggunakan Metode *Couple Velocity-Hypocenter* dan *Local Earthquake Tomography* untuk Sesar Palu Koro” [3]. Pada penelitian tersebut, model kecepatan yang dihasilkan masih berupa data numerik dan berbentuk 1D (kedalaman) yang hanya dapat diamati oleh satu sumbu saja, maka dilakukan penelitian lebih lanjut dengan model kecepatan gelombang seismik P dan S di bawah permukaan dan relokasi hipocenter gempa bumi yang berbentuk 3D dan dapat diamati dari tiga sumbu x, y, dan z sebagai fungsi *latitude*, *longitude*, dan kedalaman menggunakan inversi tomografi lokal dengan *software LOTOS-12* (Koulakov, 2009).

Gempa Bumi

Gempa bumi (earthquake) merupakan getaran tanah yang diakibatkan adanya pelepasan energi secara mendadak pada lapisan kerak bumi. Energi berasal dari berbagai sumber yang berbeda-beda, seperti ranjau atau karts (Elnasi dan Sarno, 2008). Gempa bumi dibedakan menjadi dua yaitu gempa bumi tektonik dan vulkanik. Gempa bumi tektonik terjadi akibat adanya aktivitas lempeng tektonik. Sedangkan gempa bumi vulkanik terjadi disebabkan adanya aktivitas gunung berapi. Gerakan secara mendadak oleh struktur batuan dari perut bumi memperoleh energi yang akan terpancar pada semua arah dalam bentuk gelombang gempa bumi. Saat gelombang sampai pada permukaan bumi, pergerakannya bisa mengakibatkan kerusakan semua yang ada pada lapisan terluar bumi. Misalnya infrastruktur serta lain-lain yang bisa mengakibatkan kerugian materiil maupun non materiil (Sunarjo dkk, 2012).

Parameter Gempa Bumi

Rekaman sinyal yang terbentuk menjadi gelombang akan menghasilkan informasi seismik pada setiap peristiwa gempa bumi, dengan proses manual maupun otomatis akan menjadi data bacaan fase (*phase reading data*). Informasi seismik selanjutnya akan mengalami proses pengumpulan, pengolahan dan analisa sehingga menjadi parameter gempa bumi. Parameter gempa bumi terdiri atas :

a. Waktu terjadinya gempa bumi

Waktu terjadinya gempa bumi atau *origin time* merupakan waktu terjadinya gempa bumi pada sumbernya dalam kedalaman tertentu.

b. Magnitudo

Kekuatan gempa bumi atau magnitudo adalah ukuran yang menyatakan kekuatan gempa bumi berdasarkan energi yang dipancarkan pada saat terjadinya gempa bumi.

c. Hipocenter

Pusat terjadinya gempa bumi atau titik kejadian gempa bumi di dalam bumi.

d. Episentris

Pusat gempa bumi di permukaan bumi sebagai proyeksi dari focus gempa di dalam bumi. Lokasi episentris dinyatakan dalam koordinat geografis (lintang dan bujur).

e. Intensitas Gempa bumi

Suatu besaran yang digunakan untuk mengukur besarnya kerusakan akibat gempa bumi di daerah tertentu.

Struktur Tektonik Pulau Sulawesi

Pulau Sulawesi terletak pada daerah pertemuan tiga lempeng besar dunia yaitu pergerakan lempeng Hindia-Australia dari selatan dengan kecepatan rata-rata 7 cm/ tahun, lempeng Pasifik bergerak dari timur dengan kecepatan sekitar 6 cm/ tahun, dan lempeng Eurasia bergerak cenderung pasif ke tenggara kurang lebih 3 cm/tahun. Perkembangan tektonik di daerah Pulau Sulawesi berlangsung sejak zaman dahulu hingga sekarang, sehingga bentuknya yang unik menyerupai huruf "K", dan mempunyai kejadian geologi yang rumit dan kompleks. Sulawesi dalam tektonik global tidak terlepas dari tatanan tektonik Indonesia yang terdapat pada daerah pertemuan tiga lempeng besar dunia yang saling berhubungan satu dengan yang lain. Sehingga menyebabkan Sulawesi menjadi daerah yang berpotensi gempa dan tsunami.

Salah satu dari manifestasi pergerakan lempeng adalah pembentukan sesar. Sesar merupakan bidang retakan yang disertai oleh adanya pergeseran relatif (*displacement*) satu wilayah terhadap wilayah batuan yang lainnya. Dalam rentang waktu geologi, bidang sesarnya mengalami pergeseran dari yang berukuran beberapa sentimeter sampai puluhan kilometer. Secara regional, Pulau Sulawesi mendapat tekanan dari luar sehingga terjadi deformasi secara terus menerus yaitu tekanan dari Laut Flores di bagian selatan yang mengaktifkan patahan Palu-Koro dan Walanae, Banggai-Sula dan Laut Banda dari timur mengaktifkan subduksi Laut Sulawesi dan patahan Gorontalo dan aktivitas gunung api di Sulawesi Utara.

Model Kecepatan

Penentuan model kecepatan berfungsi untuk mengintegrasikan kecepatan gelombang seismik yang terukur. Mencitrakan data seismik secara mendalam, dan mendapatkan informasi tentang kecepatan yang lebih baik. Seperti waktu kedatangan gelombang P dan S (jarak) dan analisis hodogram (arah) yang digunakan untuk menciptakan model kecepatan yang akurat di wilayah penelitian. Kecepatan perambatan gelombang dipengaruhi oleh medium perambatan yang dilalui. Pada penelitian ini, diperlukan model kecepatan awal berupa 1D sebagai acuan model kecepatan baru. Model kecepatan 1D ini sebagai fungsi kedalaman yang diimplementasikan kedalam satu sumbu saja (sumbu x atau y) (Novianti dan santosa, 2016). Setelah pengolahan data menggunakan software *LOTOS-12* diperoleh model kecepatan lokal baru dalam bentuk 3D (*longitude*, *latitude*, dan besarnya kecepatan pada kedalaman tertentu) (Koulakov, 2009; Koulakov, 2012). Dari model kecepatan 3D tersebut dapat digunakan untuk merelokasi hiposenter di wilayah yang diteliti. Faktor utama dalam merelokasi hiposenter adalah waktu tiba gelombang P dan S, kecepatan gelombang, dan *origin time*. Waktu tiba

dan waktu tempuh gelombang P lebih mudah deteksi daripada gelombang S sebab gelombang P merupakan gelombang yang pertama tercatat pada seismogram. Berikut merupakan model referensi struktur kecepatan 1D wilayah Sulawesi Tengah

LOTOS-12 (*Local Tomography Software*)

Local Tomography Software-12 (LOTOS) merupakan perangkat lunak hasil rancangan Ivan Koulakov, yang berfungsi untuk memberikan gambaran tomografi gempa bumi lokal dalam bentuk 3D. (Koulakov, 2009) Pada umumnya perangkat ini di aplikasikan pada wilayah dengan kontras yang tinggi. Seperti pada zona subduksi dan wilayah gunung api, sehingga diperlukan pendekatan linier yang berulang dimana kecepatan gelombang dikemas ke dalam model 3D terbaru. (Koulakov, 2009).

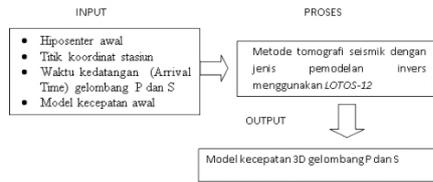
Penelitian ini menggunakan LOTOS-12 ini menghasilkan model kecepatan 3D gelombang P dan S. pada gambar distribusi anomali gelombang yang dihasilkan terdiri dari depth, longitude, dan latitude, serta degradasi warna yang merupakan anomali kecepatan gelombang. Anomali kecepatan gelombang adalah suatu penyimpangan kecepatan gelombang pada daerah tertentu. Anomali kecepatan gelombang terbagi jadi 2 : anomali kecepatan positif serta anomali kecepatan negatif. Anomali kecepatan gelombang positif adalah menandakan adanya batuan keras dan bersifat lebih padat di daerah tertentu. Anomali kecepatan gelombang negatif menandakan di daerah tersebut memiliki materi yang lebih cair sehingga terdapat patahan. (Abacha, et al. 2014).

Dalam seismik tomografi, LOTOS (*Local Tomography Software*) merupakan salah satu perangkat lunak untuk interpretasi tomografi di suatu daerah yang selanjutnya diperoleh inversi simultan struktur V_p dan V_s serta koordinat sumber. Perangkat lunak LOTOS dengan versi 12 dapat digunakan pada system operasi berbasis *Windows* memiliki kelebihan dari versi sebelumnya antara lain dapat melakukan inversi pada V_p - V_p/V_s , struktur *file* dan program yang lebih sederhana, adanya lokasi sumber awal dan hasil yang diperoleh pada bidang horizontal dapat ditampilkan dengan basis PNG *bitmap* (Koulakov, 2009).

METODE

Penelitian skripsi ini merupakan penelitian yang berbasis komputasi, dimana mengolah data sesuai dengan variabel yang dibutuhkan oleh program (*software*) yang tersedia. Pada penelitian ini mengkaji wilayah di Sulawesi Tengah dengan letak koordinat antara $2^{\circ}22'$ LU dan $3^{\circ}48'$ LS, serta $119^{\circ}22'$ BT dan $124^{\circ}22'$ BT. Data yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari katalog WebDC3 at BMKG, diakses melalui web <http://202.90.198.100/webDC3/>. Dengan menggunakan magnitudo sebesar ≥ 3 SR dan diperoleh data kejadian gempa bumi sebanyak 201 data, serta terdapat 7 stasiun seismik yang merekam kejadian gempa tersebut,

diantaranya yaitu APSI, LUWI, MSSI, PCI, SKSI, SRSI, dan TTSI. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode tomografi seismik menggunakan pemodelan inversi, menggunakan perangkat lunak LOTOS-12 (*Local Tomography Software-12*). Berikut adalah struktur pemetaan penelitian komponen gempa bumi (Gambar 1).



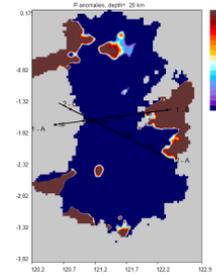
Gambar 1. Struktur pemetaan penelitian komponen gelombang gempa bumi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor yang penting dalam menentukan model kecepatan gelombang seismik menggunakan LOTOS-12 ini adalah hiposenter awal, *travel time* gelombang seismik dan koordinat dari stasiun seismik. Nilai *travel time* gelombang P maupun S diperoleh secara manual dari selisih nilai *arrival time* dengan *origin time*. Dimana nilai *origin time* atau waktu kedatangan gelombang didapatkan melalui *picking* data gelombang P dan S menggunakan perangkat lunak Seisgram2k80. Gelombang P tiba paling awal dari gelombang lainnya, sedangkan gelombang S tiba setelah gelombang P dan sebelum gelombang Rayleigh dan gelombang Love tiba. Menurut penelitian, gelombang P mudah diamati daripada gelombang S, sebab gelombang P dapat merambat melalui semua medium (padat, cair dan gas). Sedangkan gelombang S hanya dapat merambat melalui medium padat saja.

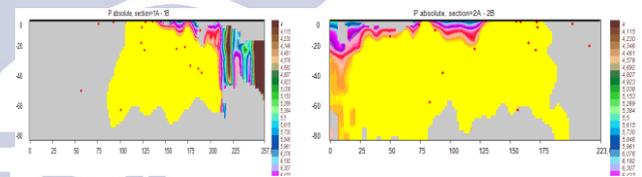
Pembahasan

Faktor yang penting dalam menentukan model kecepatan gelombang seismik menggunakan LOTOS-12 ini adalah hiposenter awal, *travel time* gelombang seismik dan koordinat dari stasiun seismik. Nilai *travel time* gelombang P maupun S diperoleh secara manual dari selisih nilai *arrival time* dengan *origin time*. Dimana nilai *origin time* atau waktu kedatangan gelombang didapatkan melalui *picking* data gelombang P dan S menggunakan perangkat lunak Seisgram2k80. Gelombang P tiba paling awal dari gelombang lainnya, sedangkan gelombang S tiba setelah gelombang P dan sebelum gelombang Rayleigh dan gelombang Love tiba. Menurut penelitian, gelombang P mudah diamati daripada gelombang S, sebab gelombang P dapat merambat melalui semua medium (padat, cair dan gas). Sedangkan gelombang S hanya dapat merambat melalui medium padat saja.

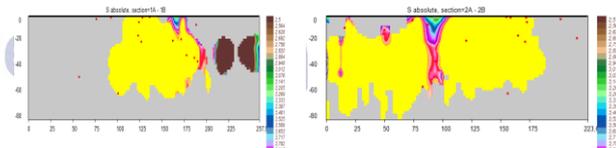


Gambar 2. Cross section pada daerah penelitian

Gambar 2. menunjukkan bahwa didapatkan hasil *cross section* gambaran tomografi di daerah penelitian. *Cross section* itu sendiri digunakan untuk menampilkan irisan vertikal untuk distribusi kecepatan gelombang P. Serta hubungan antara hiposenter dan tomografi gempa bumi pada koordinat kedalaman. Gambar diatas merupakan hasil tomografi yang didapatkan. Dimana pada gambar, sumbu x merupakan *Longititude*, sumbu y merupakan *Latitude*, dan degradasi warna merupakan besarnya anomali kecepatan gelombang (km/s), serta titik-titik merah merupakan relokasi hiposenter. Pertama pada bagian 1-A posisi *latitude* -1,70 dan *longitude* pada -120,2, pada bagian 1-B posisi *latitude* -1,40 dan *longitude* pada 122,5, pada bagian 2-A posisi *latitude* -2,20 dan *longitude* pada 122,5, pada bagian 2-B posisi *latitude* -1,30 dan posisi *longitude* pada 120,7. Degradasi warna coklat menggambarkan adanya anomali negatif maksimum dan warna biru tua menggambarkan adanya anomali positif maksimum. Hasil *cross section* pada penelitian ini didapatkan terdapat nilai anomali positif yang relatif dominan pada model kecepatan gelombang P pada kedalaman 20km. Pada posisi *latitude* 0,17 sampai -3,82 dan posisi *longitude* 120,2 sampai 122,9.



Gambar 3. Anomali kecepatan absolut gelombang P

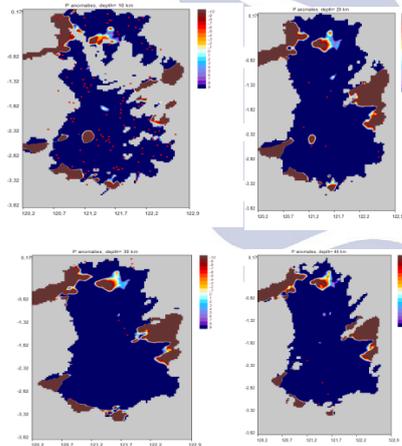


Gambar 4. Anomali kecepatan absolut gelombang S

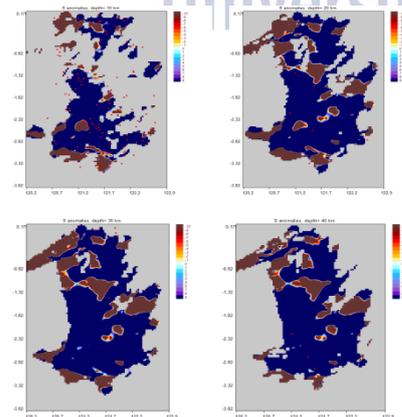
Gambar 3. dan Gambar 4. menunjukkan bahwa anomali kecepatan absolut gelombang P dan S pada irisan vertikal, karakteristik perambatan gelombang P dan S memiliki perbedaan dimana pada gelombang P dapat merambat pada semua medium sedangkan pada gelombang S tidak dapat merambat melalui medium cair / fluida. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Palu Sulawesi Tengah diperkirakan memiliki beberapa lapisan yaitu kerak atas pada kedalaman 0 – 20 km dengan ditandai gambar berwarna biru tua sampai biru muda,

kerak bawah pada kedalaman 20 – 40 km ditandai dengan gambar berwarna hingga merah dan mantel atas pada kedalaman > 40 km ditandai dengan gambar berwarna merah muda sampai orange (kedalaman maksimum yang teresolusi pada penelitian ini yaitu 80 km) (Madlazim dan Santoso, 2010).

Pada penelitian di wilayah Sulawesi Tengah ini dihasilkan nilai V_p pada kerak atas sekitar 5,961 km/s, sedangkan nilai V_s pada kerak atas (0-20 km) sekitar 3,589 km/s, pada kerak bawah (20-40 km) nilai $V_p > 6,423$ km/s dan nilai V_s 3,816 km/s. Serta pada mantel atas (>40 km) nilai V_p sekitar 6,423 km/s dan nilai V_s sekitar 3,816 km/s. Sedangkan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan pada daerah Sesar Palu Koro oleh Azizah (2014) dihasilkan untuk gelombang P pada kedalaman 0-20 km nilai V_s 3,28 km/s sampai 6,45 km/s, kedalaman 20-40 km nilai V_p 6,45 km/s sampai 7,50 km/s. Dan kedalaman > 40 km diperoleh nilai $V_p > 7,50$ km/s. Sedangkan untuk gelombang S pada kedalaman 0-20 km nilai V_s 1,89 km/s sampai 3,72 km/s, kedalaman 20-40 km nilai V_s 3,72 km/s sampai 4,35 km/s. Dan kedalaman > 40 km diperoleh nilai $V_s > 4,35$ km/s. Hasil dari penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terdapat sedikit perbedaan, karena wilayah yang dikaji pada penelitian ini yaitu di daerah Sulawesi Tengah sedangkan pada penelitian sebelumnya yang dikaji daerah Sesar Palu Koro

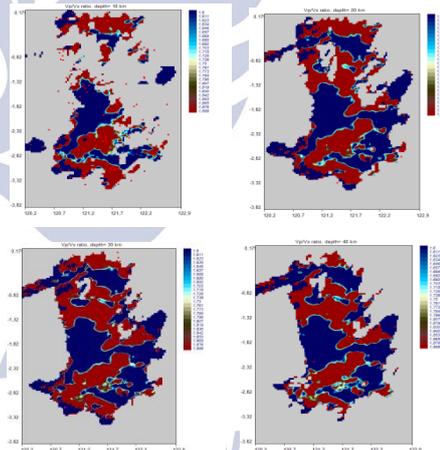


Gambar 5. Irisan gelombang P pada kedalaman 10km, 20km, 30km, 40km



Gambar 6. Irisan gelombang S pada kedalaman 10km, 20km, 30km, 40km

Gambar 5. dan Gambar 6. menunjukkan bahwa irisan horizontal kecepatan gelombang pada beberapa kedalaman yaitu 10 km, 20 km, 30 km, dan 40 km. Degradasi warna tersebut menunjukkan adanya anomali kecepatan gelombang. Warna coklat menunjukkan terdapat anomali negatif maksimum pada daerah sedangkan warna biru menunjukkan adanya anomali positif maksimum. Anomali negatif menunjukkan bahwa kecepatan yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan rata-rata daerah tersebut dan menandakan pada daerah tersebut terdapat materi yang lebih cair dan berongga sehingga terdapat patahan. Sedangkan anomali positif menunjukkan bahwa kecepatan yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan kecepatan rata-rata daerah tersebut dan menandakan pada daerah tersebut terdapat menandakan adanya batuan keras dan bersifat lebih padat pada daerah tertentu. Anomali negatif terlihat pada gambar diatas dalam kedalaman 10 km, 20 km, 30 km dan 40 km, terletak pada *latitude* 0,17 sampai -3,82 dan pada *longitude* dari 120,2 sampai 122,9. Anomali kecepatan negatif menyebar di wilayah Sulawesi Tengah dengan deviasi kecepatan maksimum yang teresolusi dengan baik gelombang P dan S. Daerah ini merupakan daerah yang sering terjadi gempa bumi, dikarenakan pada daerah ini terdapat patahan aktif yaitu sesar Palu-Koro. Sesar Palu-Koro ini juga menyebabkan lemahnya daerah di sulawesi Tengah sehingga mengakibatkan adanya anomali negatif pada daerah tersebut

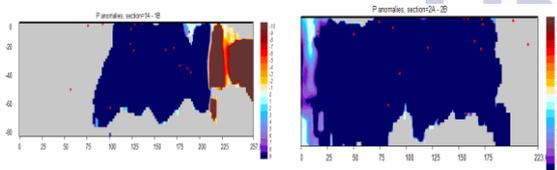


Gambar 7. Irisan horizontal rasio V_p/V_s pada kedalaman 10km, 20km, 30km, 40km

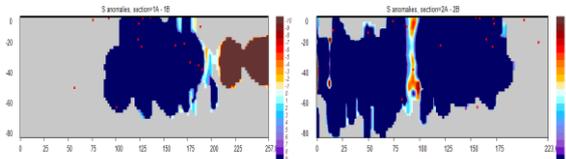
Gambar 4.6 diatas menunjukkan hasil distribusi anomali rasio V_p/V_s . Dimana pada gambar, sumbu x merupakan *Longitude*, sumbu y merupakan *Latitude*, dan degradasi warna merupakan besarnya anomali kecepatan gelombang (km/s), serta titik-titik merah merupakan relokasi hiposenter. Berdasarkan inversi tomografi oleh *software* LOTOS menghasilkan tomografi yang diperoleh dari T_p dan T_s , kemudian diturunkan model tomografi V_p/V_s pada irisan horizontal maupun vertikal. Secara umum nilai rasio V_p/V_s memiliki nilai besaran yang berbeda-beda tergantung dari estimasi dari masing-masing gelombang seismik. Dari hasil penelitian diperoleh nilai anomali rasio V_p/V_s maksimum sekitar

1,6 sedangkan nilai anomali rasio V_p/V_s maksimum sekitar 1,888. Degradasi warna merah tua menandakan terdapat rasio V_p/V_s maksimum sedangkan warna biru tua menandakan terdapat rasio V_p/V_s minimum. Tingginya nilai V_p/V_s sering dikaitkan dengan adanya retakan pada batuan yang berisi fluida dan tingginya saturasi air. Sedangkan rendahnya nilai V_p/V_s dihubungkan dengan adanya batuan kering terisi oleh gas (Moos and Zoback, 1983). Batuan ini akan menimbulkan perubahan tekanan sehingga menyebabkan adanya tekanan yang dapat mengakibatkan terjadinya gempa bumi. Berdasarkan citra tomogram yang dihasilkan, daerah dekat permukaan memiliki nilai rasio V_p/V_s yang rendah dibandingkan daerah yang lebih dalam. Pada kedalaman 10 km, 20 km, 30 km dan 40 km citra tomogram teresolusi dengan baik, pada *latitude* -0,17 sampai -3,82 dan *longitude* 120,2 sampai 122,9.

Secara umum event gempa bumi mempunyai kedalaman yang berbeda-beda tergantung jenis gempa yang terjadi. Terlihat pada gambar diatas, semakin dalam suatu kedalaman maka persebaran relokasi hiposenter semakin sedikit. Karakteristik gempa dangkal yaitu gempa yang memiliki hiposenter pada kedalaman kurang dari 70 km. Maka gempa yang terjadi pada wilayah Sulawesi Tengah ini merupakan gempa dangkal. Menurut Kaharuddin (2011), diwilayah Sulawesi terdapat patahan aktif yaitu sesar Palu-Koro. Sesar Palu Koro memotong Sulawesi bagian barat dan tengah, menerus ke bagian utara sampai Palung Sulawesi Utara yang merupakan batas tepi benua di Laut Sulawesi. Sesar Palu Koro juga memanjang dari Palu ke arah Selatan dan Tenggara melalui Sulawesi Selatan bagian Utara menuju ke Selatan Bone sampai di laut Banda. Patahan Palu Koro memanjang dari utara (Palu) ke selatan (Malili) hingga teluk Bone sepanjang \square 240 km. Bersifat *sinistral* dan aktif dengan kecepatan sekitar 25-30 mm/tahun. Patahan palu Koro berhubungan dengan patahan Matano Sorong dan Lawanoppo Kendari, sedang di ujung utara melalui selat Makassar berpotongan dengan zona subduksi lempeng laut Sulawesi.



Gambar 8. Anomali kecepatan gelombang P irisan vertikal



Gambar 8. Anomali kecepatan gelombang S irisan vertikal

Gambar 7. dan Gambar 8. merupakan hasil distribusi anomali gelombang P dan gelombang S untuk irisan vertikal. Dimana pada gambar, sumbu x merupakan

Longitude, sumbu y merupakan *Latitude*, dan degradasi warna merupakan besarnya anomali kecepatan gelombang (km/s), serta titik-titik merah merupakan relokasi hiposenter. Karakter pada perambatan gelombang P dan S terdapat sedikit perbedaan dimana karakter gelombang P lebih mampu merambat pada semua medium sedangkan karakter gelombang S hanya merambat pada medium padat saja. Walaupun begitu, secara umum penampang yang dihasilkan gelombang p dan S menunjukkan kemiripan struktur batuan bawah permukaan wilayah Sulawesi Tengah. Palu Sulawesi Tengah diperkirakan memiliki beberapa lapisan yaitu kerak bagian atas pada kedalaman 0 – 20 km dengan ditandai gambar berwarna biru tua sampai biru muda, kerak bagian bawah pada kedalaman 20 – 40 km ditandai dengan gambar berwarna hingga merah dan mantel atas pada kedalaman lebih dari 40 km ditandai dengan gambar berwarna merah muda sampai orange (Madlazim dan Santoso, 2010).

Degradasi warna coklat/merah tua menandakan adanya anomali negatif maksimum sedangkan warna biru tua menandakan adanya anomali positif maksimum. Pada penelitian ini dihasilkan anomali negatif pada gelombang P dan S dengan kecepatan gelombang sekitar -10 km/s, sedangkan anomali positif dengan kecepatan gelombangnya sekitar 9 km/s. Apabila pada daerah penelitian menunjukkan adanya anomali negatif, dapat diindikasikan daerah tersebut terdapat zona patahan, sedangkan apabila menunjukkan adanya anomali positif maka diindikasikan daerah tersebut terdapat materi yang lebih cair

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan dari analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari kejadian gempa bumi yang dipeoleh dari katalog webDC3 at BMKG Pada laman (<http://202.90.198.100/webdc3/>), dengan kejadian gempa sebanyak 201 kejadian pada kedalaman 5.0 km hingga 88.0 km di wilayah Sulawesi Tengah pada koordinat diantara $2^{\circ}22'$ LU dan $3^{\circ}48'$ LS, serta $119^{\circ}22'$ BT dan $124^{\circ}22'$ BT, menggunakan magnitudo ≥ 3 SR dari rentang tahun 2008-2018;
2. Hasil penelitian diperkirakan wilayah Sulawesi Tengah memiliki beberapa lapisan kerak atas (0-20 km) diperoleh nilai V_p 5,961 km/s dan nilai V_s 3,589 km/s, pada kerak bawah (20-40 km) diperoleh nilai $V_p > 6,423$ km/s dan nilai V_s 3,816 km/s, pada mantel atas (> 40 km) diperoleh nilai V_p sekitar 6,423 km/s dan nilai V_s 3,816 km/s. Diperoleh nilai anomali rasio V_p/V_s maksimum sekitar 1,6, sedangkan nilai anomali rasio V_p/V_s maksimum sekitar 1,888.
3. Anomali negatif deviasi kecepatan dalam bidang irisan horizontal menyebar di wilayah Palu Sulawesi Tengah dengan deviasi kecepatan maksimum yang teresolusi dengan baik untuk gelombang P dan S.

Daerah tersebut adalah daerah yang terdapat patahan aktif yaitu Sesar Palu Koro.

Saran

Pada penelitian skripsi ini, kesulitan yang dialami oleh peneliti adalah saat *running* data pada *software* LOTOS. Dimana apabila peneliti kurang teliti dalam memasukkan data misalnya kurang spasi maka akan berdampak pada *output* nya, tidak akan sesuai dengan keinginan. Keakuratan hasil dipengaruhi dari referensi model kecepatan 1D, diharapkan pada penelitian selanjutnya menggunakan referensi model kecepatan 1D yang sesuai dengan daerah penelitian yang dikaji. Dan saat *picking* gelombang P dan S masih dilakukan secara manual, diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan *software* terbaru agar lebih mudah dalam penentuan gelombang S. Dan diharapkan pada penelitian selanjutnya, dilakukan pengujian dengan data sintesis agar data kejadian gempa mempunyai distribusi sinar yang merata dan mendapatkan citra tomografi yang lebih baik dan 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.
- Dwa Desa Warnana, H. G. S., & Rochman, J. P. G. N. (2018). Pemodelan 3D Kecepatan Gelombang P Dengan Metode Double different dan Tomografi Travel Time Untuk Identifikasi Patahan (studi Kasus: Patahan Palu-Koro). *Jurnal Geosaintek*, 4(2), 51-62.
- Hariyono, 2016. *Pengantar Geo Sains Fokus Kajian Gunung Api*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Iswati, N., Supardiyono, & Madladzim. (2013). Estimasi Model Kecepatan Lokal Gelombang Seismik 1D dan Relokasi Hiposenter Di Daerah Sumatera Barat Menggunakan Hypo-GA dan *Velest33*. *Fisika*, 02(02), 0-5.
- Koulakov, I. et al., 2007, "Joint Inversion of Active and Passive Seismic Data in Central Java," *Geophysics Journal International*, Vol. 170, p. 923-932.
- Koulakov, I. 2009, "LOTOS Code For Local Earthquake Tomographic Inversion: Benchmarks for Testing Tomographic Algorithms," *Bulletin of Seismological Society of America (BSSA)*, No. 1, Vol.99, p. 194-214.
- Koulakov, I., Jakovlev, A., & Luehr, B. G. (2009). Anisotropic structure beneath central Java from local earthquake tomography. *An Electronic Journal Of The Earth Sciences*, 10(2), 1-31.
- Koulakov, I., Kaban, M. K., Tesauro, M., & Cloetingh, S. (2009). P- and S-velocity anomalies in the upper mantle beneath Europe from tomographic inversion of ISC data. *Geophys*, 179, 345-366.
- Koulakov, I. 2012. *LOTOS Code For 3D Tomographic Inversion Based on Passive Seismic Data from Local and Regional Events*. Benchmarks for testing tomographic algorithms. Novosibirsk, Rusia.
- Madladzim. 2016. *Fisika bumi Seismologi*. Surabaya: Unesa University Press.
- Maria Fransisca Gracynthia. (2015). *Relokasi Hiposenter Gempa Bumi Menggunakan Metode Coupled Velocity-Hypocenter dan Local Earthquake Tomography Untuk Sesar Palu Koro*.
- Pakpahan, S., Ngadmanto, D., Masturyono, Rohadi, S., Rasmid, Widodo, H. S., ... BMKG, P. G. B. dan T. (2015). Analisis Kegempaan di Zona Sesar Palu Koro, Sulawesi Tengah. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 6(3), 253-264.
- Risna Widyaningrum. (2012). *Penyelidikan Geologi Teknik P otensi Liquefaksi Daerah Palu, Provinsi Sulawesi Tengah*.
- Rochman, J. P. G. N., Santosa, B. J., & Firdaus, F. R. (2012). Model Struktur 1-D Kecepatan Gelombang P di daerah Minahasa. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 8(2).
- Sari, A. W., & Suparta, G. B. (2018). Imaging of 3D Seismic Tomography For Internal Structure Under The Mountain Merapi Using The LOTOS-10 Software. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 3(2), 105-116.
- Supartoyo, Sulaiman, C., & Junaedi, D. (2014). Kelas tektonik sesar Palu Koro, Sulawesi Tengah. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 5(2), 111-128.