

## ANALISIS MODEL KECEPATAN 3D GELOMBANG P DAN S PADA GEMPABUMI JAWA TENGAH TAHUN 2008-2018 MENGGUNAKAN LOTOS-12

Nur Azizah Qomaria, Supardiyono

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

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

### Abstrak

Gempabumi (*earthquake*) merupakan bencana alam yang disebabkan oleh guncangan di bumi akibat patahan dan pergerakan dari batuan terluar lempeng tektonik penyusun kerak bumi secara tiba-tiba. Seiring dengan perkembangan teknologi komputasi, perkembangan dalam penentuan parameter gempabumi kini semakin cepat. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan LOTOS-12 (*Local Tomography Software-12*) yang berfungsi untuk menentukan model kecepatan 3D gelombang P dan gelombang S di bawah permukaan bumi, dengan menggunakan metode tomografi seismik dan pemodelan inversi. Provinsi Jawa Tengah dengan letak astronomis  $6^{\circ}$ - $8^{\circ}$  LS dan  $108^{\circ}$ - $111^{\circ}$  BT merupakan wilayah yang dipilih dalam penelitian ini, karena Jawa Tengah terletak pada zona subduksi, yaitu pertemuan dua lempeng tektonik aktif (lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia), dan terdapat beberapa sesar aktif yang dapat menyebabkan terjadinya gempabumi, salah satunya yaitu Sesar Lasem. Data input didapat dari katalog BMKG (WebDC3) yang merupakan data gempabumi lokal di Jawa Tengah (kedalaman kurang dari 1.000 km), dengan magnitudo  $\geq 3$  SR dalam rentang waktu dari 01 Januari 2008 hingga 01 April 2018. Dalam rentang waktu tersebut tercatat 62 kejadian gempabumi, dan terdapat 7 stasiun seismik. Variabel yang digunakan adalah variabel input dan output. Di mana variabel inputnya terdiri dari model kecepatan awal, *travel time*, dan koordinat stasiun seismik. Variabel outputnya adalah model kecepatan gelombang seismik (gelombang P dan S). Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah *picking* gelombang P dan S dengan menggunakan Seisgram2k70, untuk selanjutnya inversi tomografi gempabumi lokal menggunakan LOTOS-12. Hasil *output* yang didapatkan dari penelitian ini sesuai dengan kondisi geologi bawah permukaan wilayah Jawa Tengah. Anomali kecepatan gelombang positif mengidentifikasi suatu daerah bersifat lebih padat dan terdapat batuan keras, seperti wilayah Kabupaten Purworejo, dll. Anomali kecepatan gelombang negatif menunjukkan suatu daerah memiliki materi batuan yang lebih cair (berongga) dan adanya patahan yang terbentuk sesuai geologi bawah permukaan Jawa Tengah, seperti wilayah Banjarnegara, Cilacap, Kebumen, dll.

**Kata kunci** : LOTOS-12, Tomografi seismik, Gempabumi lokal, Wilayah Jawa Tengah.

### Abstract

Earthquake is a natural disaster caused by shocks on the earth due to faults and movements of the outermost rock constituents of the earth's crust suddenly. Along with the development of computing technology, developments in determining earthquake parameters are now getting faster. Therefore, this study uses LOTOS-12 (*Local Tomography Software-12*) which serves to determine the 3D velocity model of P waves and S waves below the earth's surface, using seismic tomography and inversion modeling methods. Central Java Province with an astronomical location of  $6^{\circ}$ - $8^{\circ}$  LS and  $108^{\circ}$ - $111^{\circ}$  BT is the area chosen in this study, because Central Java is located in the subduction zone, namely the meeting of two active tectonic plates (Eurasian plate and Indo-Australian plate), and there are several active faults that can cause earthquakes, one of which is Lasem Fault. The input data is obtained from the BMKG catalog (WebDC3) which is a local earthquake data in Central Java (depth less than 1.000 km), with a magnitude of  $\geq 3$  SR in the period from January 1, 2008 to April 1, 2018. Within that time period there were 62 earthquake events, and there are 7 seismic stations. The variables used are input and output variables. Where the input variable consists of the initial velocity model, travel time, and seismic station coordinates. The output variable is the seismic wave velocity model (waves P and S). The steps in this study were picking P and S waves using Seisgram2k70, for further inversion of local earthquake tomography using LOTOS-12. The output results obtained from this study are in accordance with the subsurface geological conditions of the Central Java region. Positive wave velocity anomaly identifies an area that is denser and has hard rock, such as the Purworejo Regency area, etc. Negative wave velocity anomaly indicates that an area has more fluid (hollow) rock material and the faults formed according to the subsurface geology of Central Java, such as Banjarnegara, Cilacap, Kebumen, etc.

**Keywords**: LOTOS-12, Seismic tomography, Local earthquake, Central Java region.

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu kepulauan yang mempunyai tingkat seismisitas dan intensitas gempabumi yang tinggi karena terletak pada daerah pertemuan tiga lempeng tektonik yang aktif, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia (Aryanti, 2014). Lempeng-lempeng tersebut saling bergerak dan berinteraksi satu sama lain. Hal inilah yang menyebabkan Indonesia sebagai negara yang rawan terhadap bencana gempabumi tektonik. Gempabumi (*earthquake*) merupakan bencana alam yang disebabkan oleh guncangan di bumi akibat patahan dan pergerakan dari batuan terluar lempeng tektonik penyusun kerak bumi secara tiba-tiba (Hariyono, 2016).

Wilayah yang dipilih dalam penelitian ini adalah provinsi Jawa Tengah dengan letak astronomis Jawa Tengah antara  $6^{\circ}$ - $8^{\circ}$  LS dan  $108^{\circ}$ - $111^{\circ}$ BT yang merupakan salah satu provinsi yang ada di Pulau Jawa. Ini dikarenakan di provinsi Jawa Tengah terdapat sesar aktif yang dapat memicu terjadinya gempabumi, salah satunya yaitu Sesar Lasem, dan juga terletak pada zona subduksi, yaitu pertemuan dua lempeng tektonik aktif (lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia). Dalam penelitian ini, data gempa yang digunakan adalah gempabumi dengan magnitudo  $\geq 3$  Skala Richter, karena gempanya lebih terasa dan dampaknya lebih terlihat.

Seiring dengan perkembangan teknologi komputasi, perkembangan dalam penentuan parameter gempabumi kini semakin cepat. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Salsabella, 2014 dalam penentuan model kecepatan menggunakan *Velest output*-nya berbentuk 1D (hanya fungsi kedalaman saja) dan berbentuk data numerik. Oleh sebab itu dalam penelitian ini menggunakan *LOTOS-12 (Local Tomography Software-12)* yang *output*-nya berbentuk 3D (x,y,z sebagai fungsi latitude, longitude dan kedalaman). *LOTOS-12* berfungsi untuk menentukan model kecepatan 3D gelombang P dan S di bawah permukaan bumi serta koordinat sumber (Koulakov, 2009) yang dikembangkan oleh Ivan Koulakov, dengan menggunakan metode tomografi seismik dan pemodelan inversi. Menggunakan metode tomografi seismik karena metode ini untuk mengetahui kondisi bawah permukaan bumi berdasarkan data waktu tiba gelombang seismik yang terekam oleh seismograf. Dan pemodelan inversi merupakan salah satu pemodelan untuk memperoleh parameter model bawah permukaan bumi dengan data langsung.

Selaras dengan masalah yang telah diuraikan diatas maka tujuan dalam penelitian ini adalah:

Mengetahui model kecepatan 3D gelombang P dan S pada gempabumi di Jawa Tengah menggunakan *LOTOS-12*.

## Gempabumi

Gempabumi (*earthquake*) merupakan bencana alam yang disebabkan oleh guncangan di bumi akibat patahan dan pergerakan dari batuan terluar lempeng tektonik penyusun kerak bumi secara tiba-tiba (Hariyono, 2016). Berdasarkan jarak sumber gempa (lokasi gempa) terhadap posisi seismograf, maka gempa dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu :

### 1) Gempabumi Lokal

Gempabumi lokal atau gempabumi dekat merupakan gempa yang jarak episenter terhadap stasiun pencatatnya kurang dari 1000 km (Madlazim, 2016)

### 2) Gempabumi Regional

Gempabumi regional merupakan gempa yang jarak episenter terhadap stasiun pencatatnya antara 1000-2000 km (Madlazim, 2016).

### 3) Gempabumi Teleseismik

Gempabumi teleseismik atau gempabumi jauh merupakan gempa yang jarak episenter terhadap stasiun pencatatnya lebih dari 2000 km (Madlazim, 2016).

Berdasarkan sumber terjadinya gempabumi dibedakan menjadi 3 (Hariyono, 2016), yaitu :

### 1) Gempabumi Vulkanik

Merupakan gempa yang terjadi akibat meningkatnya aktivitas gunung berapi yang disebabkan oleh naiknya magma dari perut bumi ke permukaan bumi (Hariyono, 2016).

### 2) Gempabumi Tektonik

Merupakan gempabumi yang disebabkan oleh aktivitas tektonik, yaitu pergeseran lempeng tektonik dengan melepaskan energi yang beragam. (Hariyono, 2016).

### 3) Gempabumi Runtuhan

Gempa yang disebabkan oleh runtuhnya material di lereng pegunungan atau perbukitan yang sering terjadi di pegunungan kapur (Hariyono, 2016).

## Parameter Gempabumi

### 1) Waktu Terjadinya Gempabumi (*Origin Time*)

Waktu terjadinya gempabumi menunjukkan waktu terlepasnya akumulasi energi dari sumber gempabumi.

### 2) Episenter

Episenter merupakan pusat gempa di permukaan bumi sebagai proyeksi dari fokus gempa di dalam bumi dan dinyatakan dalam koordinat geografis (derajat lintang dan bujur).

### 3) Hiposenter

Merupakan titik kejadian gempabumi di fokus (bagian dalam bumi) atau pusat terjadinya gempabumi.

### 4) Magnitudo

Magnitudo adalah ukuran untuk menyatakan kekuatan gempabumi berdasarkan energi yang dipancarkan pada

saat terjadinya gempabumi yang dinyatakan dalam satuan Skala Richter (*Richter Scale*).

#### 5) Intensitas Gempabumi

Intensitas gempabumi merupakan suatu besaran yang dipergunakan untuk mengukur besarnya kerusakan di daerah tertentu akibat dari gempabumi.

### Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang elastis yang menjalar di dalam bumi. Gelombang seismik dapat timbul secara alami, misalnya karena gempa. Selain itu gelombang seismik juga bisa timbul akibat gangguan yang dibuat oleh manusia, biasanya digunakan untuk eksplorasi (Waluyo, 2002).

#### 1) Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan merambat dalam badan medium yang berarti dapat pula merambat di permukaan medium.

##### a) Gelombang P

Gelombang P merupakan gelombang longitudinal (arah rambatnya sejajar dengan arah getarannya) dan dapat merambat melalui medium padat dan cair. Gelombang ini merupakan gelombang yang pertama kali dicatat oleh seismometer, karena gelombang ini mempunyai kecepatan rambat paling besar dibandingkan gelombang yang lain.

##### b) Gelombang S

Gelombang S merupakan gelombang transversal (arah rambatnya tegak lurus dengan arah getarannya) dan hanya dapat merambat melalui medium padat. Gelombang S memiliki kecepatan yang lebih lambat jika dibandingkan gelombang P.

#### 2) Gelombang Permukaan (*Surface Wave*).

Gelombang permukaan adalah gelombang yang terpadu oleh suatu permukaan bidang batas medium.

##### 1) Gelombang *Love*

Gelombang yang membutuhkan beberapa jenis panduan gelombang yang dibentuk oleh peningkatan kecepatan dengan kedalaman (gradien atau lapisan) (Madlazim, 2016).

##### 2) Gelombang *Rayleigh*

Gelombang yang merambat pada setiap permukaan bebas. Gelombang ini terjadi akibat interferensi konstruktif antara gelombang P dan SV (Madlazim, 2016).

### Letak Geologis Jawa Tengah

Jawa Tengah merupakan salah satu provinsi yang terletak di tengah Pulau Jawa, yang secara astronomis terletak antara  $6^{\circ}$ - $8^{\circ}$  LS dan  $108^{\circ}$ - $111^{\circ}$  BT. Jawa Tengah terletak pada zona subduksi, yaitu pertemuan dua lempeng tektonik aktif (lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia), dan terdapat beberapa sesar aktif yang

dapat menyebabkan terjadinya gempabumi, salah satunya yaitu Sesar Lasem.

### LOTOS-12 (*Local Tomography Software-12*)

*LOTOS-12 (Local Tomography Software-12)* merupakan perangkat lunak hasil rancang Ivan Koulakov untuk memberikan gambaran tomografi gempabumi lokal dalam bentuk 3D (Koulakov, 2009).

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

Pada penelitian ini, menghasilkan gambar distribusi anomali kecepatan gelombang P dan S yang terdiri dari empat kedalaman, yaitu kedalaman 10 km, 20 km, 30 km, dan 40 km. *LOTOS-12* menghasilkan gambar distribusi anomali kecepatan gelombang dengan kedalaman kurang dari 50 km, karena *LOTOS-12* penurunan rumusnya menggunakan koordinat kartesian dimana koordinat kartesian yang menganggap bahwa bumi itu datar, sehingga kalau lebih dalam lagi (kedalamannya lebih dari 50 km) tidak berlaku dalam koordinat kartesian.

*LOTOS-12* dijalankan menggunakan metode tomografi seismik yaitu suatu metode untuk merekonstruksi struktur bawah permukaan bumi dengan menggunakan data bentuk gelombang (*waveform*) atau data kedatangan (*arrival time*) dari gelombang seismik (Koulakov, 2009).

### Metode Tomografi Seismik

Metode tomografi seismik merupakan suatu metode untuk merekonstruksi struktur bawah permukaan bumi dengan menggunakan data bentuk gelombang (*waveform*) atau data kedatangan (*arrival time*) dari gelombang seismik (Koulakov, 2009).

### Pemodelan Inversi

Pemodelan inversi merupakan salah satu pemodelan untuk memperoleh parameter model bawah permukaan bumi dengan data langsung.

## METODE

Penelitian ini adalah penelitian berbasis komputasi, yaitu mengolah data sesuai dengan variabel yang dibutuhkan oleh program yang tersedia. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang terdiri dari gempabumi tektonik lokal yang diperoleh dari katalog gempa BMKG. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah tomografi seismik dengan bantuan perangkat lunak *LOTOS-12 (Local Tomography Software-12)* untuk mengetahui model struktur kecepatan 3D gelombang P dan S di bawah permukaan tanah dan koordinat sumber. Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan adalah variabel input dan output. Di mana variabel inputnya terdiri dari model kecepatan awal, waktu kedatangan (*arrival time*), dan koordinat stasiun seismik. Variabel outputnya adalah model kecepatan gelombang seismik (gelombang P dan S).

Teknik pengumpulan data adalah suatu metode atau cara yang digunakan untuk mengumpulkan data dalam suatu penelitian. Langkah dalam teknik pengumpulan data : Akses WebDC3 at BMKG secara online dengan mengunjungi link <http://202.90.198.100/webdc3/> dan mengisi beberapa komponen yang dibutuhkan, kemudian pilih *search*. Pilih *Explore Stations* untuk memperoleh data gempa yang dicatat oleh stasiun seismik. Kemudian pilih *BH* dan *Append*. Pilih *Submit Request* dan pilih *waveform (Mini-SEED)* untuk memperoleh file dengan format Mini-SEED dan masukkan email. Pilih *Download Data* untuk memperoleh file data yang dibutuhkan. Setelah dpengumpulan data, berikutnya adalah teknik pengolahan data. Data yang sudah diperoleh akan diatur urutannya, dikelompokkan dalam suatu pola atau kategori sehingga akan diperoleh data yang sudah berdasarkan variabel dan jenis respondennya supaya mendapatkan hasil (*output*) berupa model kecepatan 3D gelombang P dan S. Sebelum prosesnya selesai, hasil akan di-*crosscheck*, jika tidak sesuai dengan data awal maka akan kembali pada tahap proses koordinat sumber model 3D. Pada penelitian ini, Picking data *arrival time body waves* (gelombang P dan S) tetap menggunakan Seisgram 2k70. Namun untuk picking gelombang S dilakukan secara manual. Untuk gempabumi lokal, jarak gelombang S lebih dekat dengan gelombang permukaan. Adapun contoh dari picking data menggunakan seisgram 2k70. Teknik analisis data adalah suatu teknik penyederhanaan data kedalam bentuk yang mudah dibaca.

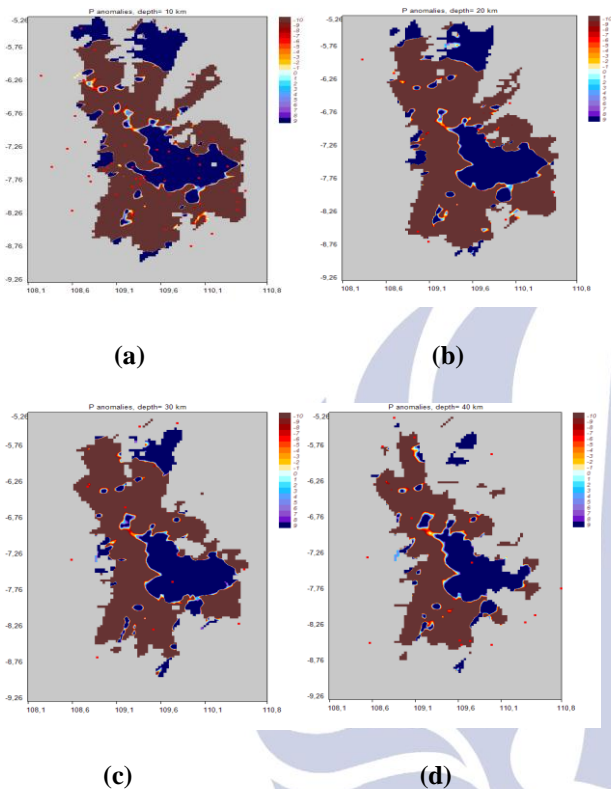
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian gempabumi ini menggunakan *LOTOS-12 (Local Tomography Software-12)*. *Software* ini berfungsi untuk menentukan model kecepatan 3D gelombang P dan gelombang S di bawah permukaan bumi, dengan menggunakan metode tomografi seismik dan pemodelan inversi (Koulakov, 2009). Pada proses menentukan model kecepatan gelombang P dan gelombang S diperlukan inputan berupa model kecepatan 1D, dimana dalam penelitian ini menggunakan model kecepatan regional Haslinger\_Santosa (H-S) di Jawa. Selain itu diperlukan juga beberapa faktor dalam menentukan model kecepatan gelombang P dan gelombang S, yaitu *travel time* (selisih nilai *arrival time* dengan *origin time*), stasiun seismik, *latitude*, *longitude*, dan *depth* (kedalaman).

Data gempabumi yang dipilih dalam penelitian ini berlokasi di Jawa Tengah dengan letak astronomis 6°-10° LS dan 108° sampai 112°BT, dimana data tersebut diperoleh dari WebDC3 yang dikelola oleh BMKG dengan jenis gempabumi lokal, yaitu gempabumi yang kedalamannya kurang dari 1.000 km. Terdapat 62 event dengan magnitudo  $\geq 3$  Skala Richter dan 7 stasiun pencatat gelombang seismik gempabumi di Jawa Tengah.

### Analisis Model Kecepatan 3D Gelombang P dan S

Model kecepatan 3D dalam penelitian ini akan diperoleh penampang bawah permukaan dari wilayah Jawa Tengah, yang diwakili oleh gambar distribusi anomali kecepatan gelombang P ( $V_p$ ), gambar distribusi anomali kecepatan gelombang S ( $V_s$ ), dan anomali rasio  $V_p/V_s$  dalam irisan bidang vertikal dan horizontal.



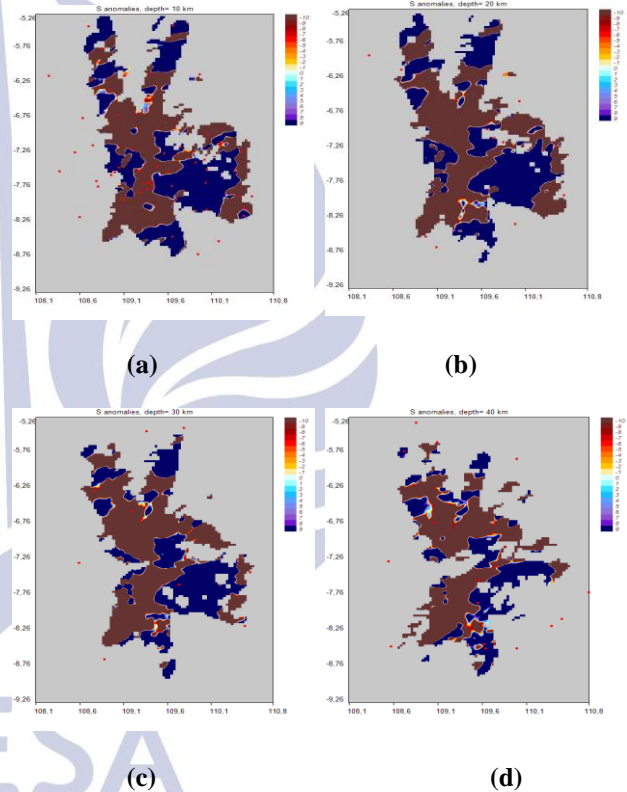
**Gambar 1.** Distribusi anomali kecepatan gelombang P pada tomografi irisan horizontal (a) 10 km; (b) 20 km; (c) 30 km; (d) 40 km.

Pada penelitian ini menampilkan empat kedalaman yang berbeda yaitu 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 kalau lebih dalam lagi (kedalaman lebih dari 50 km) tidak berlaku dalam koordinat kartesian.

Anomali kecepatan gelombang merupakan suatu penyimpangan kecepatan gelombang pada wilayah tertentu. Gambar anomali yang diperoleh dengan *travel time* gelombang P dan gelombang S ditampilkan dalam presentase anomali  $V_p$  dan  $V_s$ , dengan satuan km/s. Nilai anomali dari distribusi model kecepatan gelombang P dan gelombang S terletak antara -10 km/s hingga 9 km/s seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1** dan **Gambar 2** dimana nilai anomali kecepatan minimum (-10 km/s) ditunjukkan dengan warna coklat tua, dan nilai kecepatan maksimal (9 km/s) ditunjukkan dengan warna biru tua.

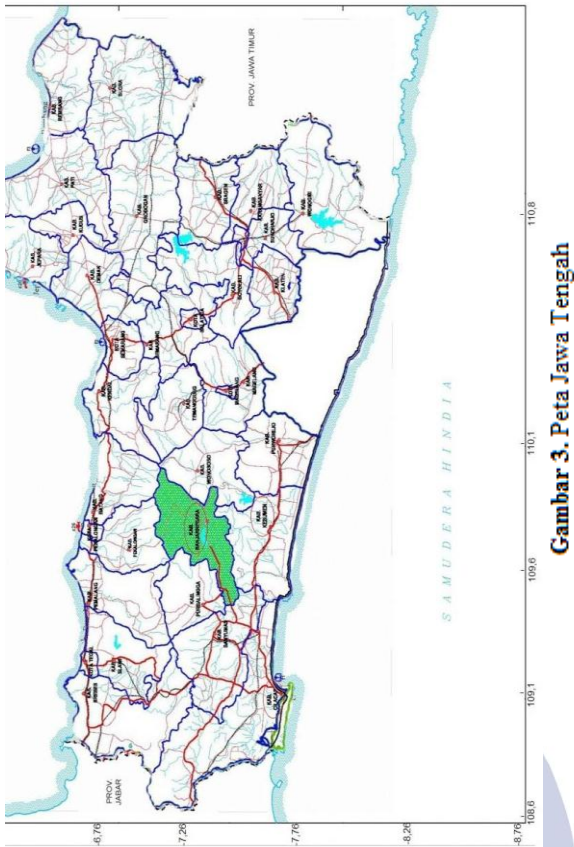
**Gambar 1** merupakan anomali kecepatan gelombang P yang memiliki nilai anomali kecepatan minimum -10 km/s, dan anomali kecepatan maksimumnya 9 km/s. Anomali kecepatan gelombang merupakan suatu

penyimpangan kecepatan gelombang pada wilayah tertentu. Anomali kecepatan gelombang P negatif menunjukkan daerah tersebut mengandung batuan yang lebih cair (rongga) dan adanya patahan yang terbentuk sesuai geologi bawah permukaan Jawa Tengah, sedangkan anomali kecepatan gelombang P positif mengidentifikasi daerah tersebut bersifat lebih padat dan terdapat batuan keras (Abacha, et al, 2014). Misal, pada *longitude* 109.2 dan *latitude* -6.76 di kedalaman 10 km memiliki anomali kecepatan gelombang P sebesar 2 km/s; kedalaman 20 km sebesar 6 km/s; 30 km sebesar 8 km/s; dan kedalaman 40 km sebesar 9 km/s. Hal ini menjelaskan bahwa semakin besar nilai kedalaman, maka semakin besar juga anomali kecepatan gelombang P, karena gelombang P dapat merambat pada semua medium.



**Gambar 2.** Distribusi anomali kecepatan gelombang S pada tomografi irisan horizontal. a) 10 km; (b) 20 km; (c) 30 km; dan (d) 40 km.

**Gambar 2** merupakan anomali kecepatan gelombang S dalam tomografi irisan horizontal yang mana anomali kecepatan minimumnya bernilai -10 km/s, dan anomali kecepatan maksimumnya 9 km/s. Anomali kecepatan gelombang S negatif mengindikasikan bahwa di daerah tersebut terdapat medium lebih cair (rongga) dari sekelilingnya. Anomali kecepatan gelombang S positif mengindikasikan bahwa di daerah tersebut bersifat lebih padat dan terdapat batuan keras (Abacha, et al, 2014). Pada gelombang S semakin besar nilai kedalaman, maka anomali kecepatan gelombang S semakin menurun. Hal ini disebabkan karena gelombang S hanya dapat merambat melalui medium padat.

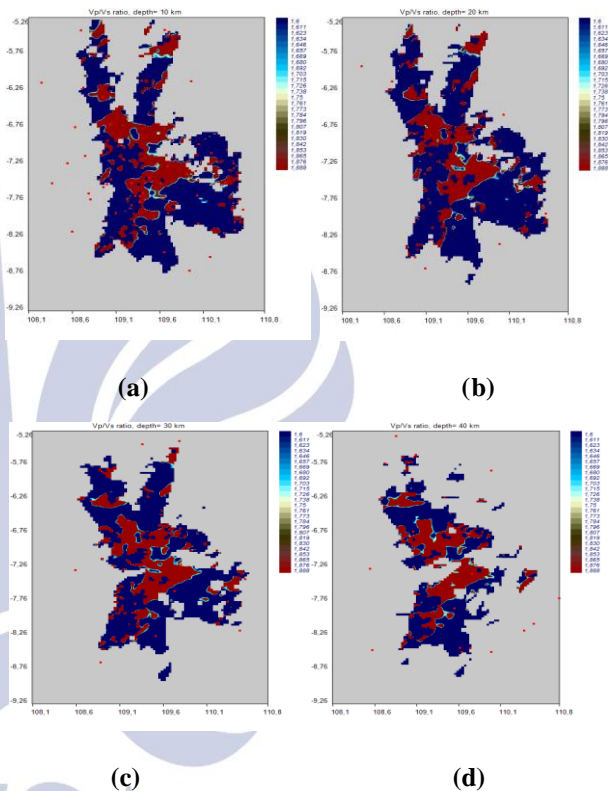


Gambar 3. Peta Jawa Tengah

Gambar 3 merupakan peta Jawa Tengah untuk mengetahui di daerah mana yang mengandung batuan keras, cair, dan patahan dengan cara melihat dan menyocokkan *longitude*, *latitude*, dan besarnya anomali kecepatan gelombang pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.

Pada Gambar 1 dan 2 dapat dilihat *longitude*  $110^{\circ}8'$  BT dan *latitude*  $7^{\circ}54'$  LS menunjukkan anomali kecepatan positif yang mengidentifikasi daerah tersebut bersifat lebih padat dan terdapat batuan keras (Abacha, et al, 2014). Pada Gambar 3 posisi tersebut merupakan wilayah Kabupaten Purworejo yang mengandung batuan keras (Pratama, dkk, 2017). Sedangkan pada *longitude*  $109^{\circ}45'$  BT dan *latitude*  $7^{\circ}31'$  LS; *longitude*  $109^{\circ}22'$  BT dan *latitude*  $7^{\circ}45'$  LS; *longitude*  $109^{\circ}50'$  BT dan *latitude*  $7^{\circ}50'$  LS menunjukkan nilai anomali kecepatannya bernilai negatif yaitu  $-10$  km/s, ini mengidentifikasi bahwa daerah tersebut mengandung batuan yang lebih cair dan adanya patahan yang menyebabkan terjadinya gempa (Abacha, et al, 2014). Dan pada Gambar 3, letak astronomis tersebut berturut-turut merupakan wilayah Kabupaten Banjarnegara, Cilacap, dan Kebumen. Hal ini menunjukkan bahwa hasil (*output*) dari penelitian ini sesuai dengan geologi bawah permukaan Jawa Tengah, dimana wilayah Kabupaten Purworejo mengandung batuan keras (Pratama, dkk, 2017), Kabupaten

Banjarnegara mengandung batuan yang lebih cair dan adanya sesar lokal yang mengakibatkan gempa (Mustofa dan Sehad, 2016), Kabupaten Cilacap mengandung batuan yang lebih cair dan adanya patahan (Dialosa, 2017), dan wilayah Kabupaten Kebumen yang juga mengandung batuan lebih cair dan adanya patahan yang menyebabkan terjadinya gempa (Putri, dkk, 2014). Oleh karena itu, untuk wilayah yang memiliki nilai anomali negatif (adanya cairan, patahan atau sesar yang menyebabkan terjadi gempa) sebaiknya menggunakan standar bangunan tahan gempa, sehingga dapat meminimalisir dampak dari gempa itu sendiri.



Gambar 4. Distribusi anomali rasio Vp/Vs dalam irisan horizontal. (a) 10km; (b) 20km; (c) 30km; dan (d) 40km.

#### Analisis Struktur Vp/Vs

Gambar tomografi berdasarkan pada model rasio Vp/Vs yang ditunjukkan, nilai rasio Vp/Vs bergantung pada estimasi kecepatan gelombang P dan kecepatan gelombang S. Pada umumnya rasio Vp/Vs 1.7. Warna biru gelap mewakili rasio Vp/Vs minimum, dan warna coklat mewakili rasio Vp/Vs maksimum.

Gambar 4 merupakan distribusi anomali rasio Vp/Vs dalam irisan horizontal pada kedalaman 10 km, 20 km, 30 km, dan 40 km. Pada area yang dekat permukaan memiliki nilai rasio Vp/Vs yang rendah (lebih kecil), hal ini dikaitkan dengan adanya batuan sedimen di daerah tersebut, karena ketika nilai Vs lebih tinggi dibandingkan Vp menunjukkan daerah tersebut lebih padat dari pada sekelilingnya. Sedangkan area yang lebih dalam (*center*) memiliki nilai rasio Vp/Vs yang tinggi (lebih besar) sering dikaitkan dengan retakan di bebatuan yang mengandung fluida, dan diprediksi terdapat hiposenter

gempabumi (Abacha, et al, 2014; Febriani, dkk, 2015). Batuan yang mengandung banyak cairan akan menyebabkan perubahan tekanan pori yang akan menyebabkan retakan dan selanjutnya berkontribusi terhadap gempa.

## PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

Anomali kecepatan gelombang positif mengidentifikasi daerah tersebut bersifat lebih padat dan terdapat batuan keras di daerah tersebut. Anomali kecepatan gelombang negatif menunjukkan daerah tersebut memiliki materi batuan yang lebih cair (berongga) dan adanya patahan yang terbentuk sesuai geologi bawah permukaan Jawa Tengah, seperti wilayah Banjarnegara, Cilacap, Kebumen, dll. Hasil *output* yang didapatkan dari penelitian ini sesuai dengan kondisi geologi bawah permukaan wilayah di Jawa Tengah.

### Saran

Untuk penelitian lanjutan yang menggunakan topik yang serupa dan mendapatkan hasil yang lebih baik serta tepat sasaran, disarankan untuk melakukan hal berikut :

Dalam pemilihan materi (tema, judul, bab, dll.) penelitian skripsi, sebaiknya memilih materi yang lebih dikuasai atau dipahami, supaya tidak menghambat waktu dalam penyelesaian skripsi. Untuk penelitian selanjutnya dengan menggunakan *software* LOTOS-12, kita harus banyak membaca dan memahami buku panduan dan referensi dengan baik, supaya hasil akan sesuai dengan apa yang kita harapkan. Dan ketelitian dalam setiap langkah-langkah penggunaan LOTOS-12 sangat menentukan hasil *output*-nya.

## 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
- Aryanti, Intan Novia. 2014. *Identifikasi Potensi Gerakan Tanah dengan Pendekatan Ground Shear Strain Menggunakan Pengukuran Mikromotor di Kecamatan Pacitan Jawa Timur*. Yogyakarta : Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga
- Dialosa, Kuku. 2017. *Analisis Tingkat Resiko Dampak Gempabumi di Kabupaten Cilacap Menggunakan Metode DSHA dan Data Mikrotremor*. Lampung : Universitas Lampung
- Febriani, S. D. A. and Santosa, B. J. 2015. *3D Tomography Analysis of Earthquake in Sumatra*

*Using Local Earthquake Tomography*. Proceeding of The 5<sup>th</sup> Annual Basic Science International Conference Receiver

- Hariyono, 2016. *Pengantar Geo Sains Fokus Kajian Gunung Api*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya
- 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. 2016. *Fisika Bumi Seismologi*. Surabaya: Unesa University Press
- Mustofa, Imam, dan Sehad. 2016. *Pemodelan Sesar Di Kecamatan Banjarnegara Kabupaten Banjarnegara Berdasarkan Data Anomali Gravitasi*. Banyumas : Universitas Jenderal Soedirman
- Pratama, Ikra Wahyu, dkk. 2017. *Studi Petrogenesis Batuan Beku di Daerah Semono dan Sekitarnya, Kecamatan Kaligesing Dan Bagelen, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah Dengan Metode Sayatan Tipis*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada
- Putri, R.R.A., dkk. 2014. *Studi Analisis Penentuan Jenis Sesar Penyebab Gempa Kebumen 25 Januari 2014 dengan Metode Pergerakan Awal Gelombang P*. Malang : Universitas Brawijaya
- Salsabella, Yashinta. 2014. *Penentuan Model Kecepatan 1D Gelombang P, Koreksi Stasiun Dan Relokasi Hiposenter Gema Bumi di Jawa Barat Dengan Metode Coupled Velocity-Hypocenter*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya
- Waluyo. 2002. *Diktat Kuliah Seismologi*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada (UGM).