

**PENCITRAAN TOMOGRAFI MENGGUNAKAN DATA WAKTU  
TEMPUH GELOMBANG P DAN S WILAYAH SELAT SUNDA**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains  
pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Sriwijaya



Disusun Oleh :  
SELVI ASTRIA  
NIM. 08021181419012

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2018**

# LEMBAR PENGESAHAN

PENCITRAAN TOMOGRAFI MENGGUNAKAN DATA WAKTU TEMPUH  
GELOMBANG P DAN S WILAYAH SELAT SUNDA

## SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Sains  
Pada Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Sriwijaya

Oleh:  
**Selvi Astria**  
NIM. 08021181419012

Inderalaya, 2 Agustus 2018

Menyetujui,

**Pembimbing II**



Nurul Hidayat, S.Si, M.T.

NIP: 198712202008121001

**Pembimbing I**

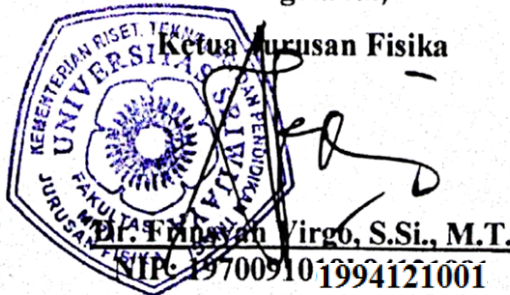


M. Yusup Nur Khakim, Ph.D.

NIP: 197203041999031002

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Fisika**



Dr. Fransyah Virgo, S.Si, M.T.  
NIP: 197009101994121001

## **ABSTRAK**

### **PENCITRAAN TOMOGRAFI MENGGUNAKAN DATA WAKTU TEMPUH GELOMBANG P DAN S WILAYAH SELAT SUNDA**

**Oleh**

**SELVI ASTRIA**

Telah dilakukan penelitian tomografi Selat Sunda dan sekitarnya dengan letak posisi geografis yaitu  $6,01^{\circ} LS - 7,00^{\circ} LS$  dan  $104,01^{\circ} BT - 106^{\circ} BT$ , daerah penelitian berada di antara selatan pulau Sumatera dan Barat pulau Jawa. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui seismisitas dan struktur bawah permukaan Selat Sunda melalui distribusi anomali kecepatan. Data yang digunakan adalah waktu tempuh gelombang P dan S dari bulan April 2009 sampai dengan Desember 2017, data model kecepatan referensi 1D dan koordinat stasiun sebagai data penunjang. Dalam penelitian ini, pertama dilakukan relokasi hiposenter dan dilanjutkan dengan penentuan distribusi kecepatan 3 dimensi yang terbagi dalam tiga tahapan, yaitu penentuan lokasi dalam model 3D menggunakan algoritma ray tracing, parameterisasi noda dan inversi menggunakan metode LSQR. Hasil analisis menunjukkan bahwa daerah dengan nilai kecepatan rendah untuk gelombang P dan S, serta nilai rasio tinggi terletak pada Zona Krakatau, barat daya di Selat Sunda, dan daratan Pulau Jawa. Model anomali  $V_p$  dan  $V_s$  adalah -2,1 % dan -4,9 % dengan rasio  $V_p/V_s$  1,861 hingga 1,876 pada kedalaman berkisar 2-10 km. Berdasarkan distribusi seismisitas dan dilihat dari struktur bawah permukaan daerah penelitian, dapat diduga bahwa sumber gempa disebabkan oleh aktivitas vulkanik dan tektonik.

**Kata Kunci:** Tomografi Seismik, Selat Sunda, LSQR.

## **ABSTRACT**

### **TOMOGRAPHY IMAGING USING THE DATA OF TRAVEL TIME WAVES P AND S OF THE SUNDA STRAIT REGION**

**By**

**SELVI ASTRIA**

The research about tomography of Sunda Strait and surrounding areas with a geographical location in  $6,01^{\circ} LS - 7,00^{\circ} LS$  and  $104,01^{\circ} BT - 106^{\circ} BT$  has been done, the study area is located between the southern island of Sumatra and the West of Java Island. The aims of this research are to determine the seismicity and subsurface of Sunda Strait through the distribution of velocity anomalies. The data used in this study is the travel time of P and S waves from April 2009 to December 2017, 1D reference velocity model, and station coordinates as supporting data. In this study, the first step is to relocate the hypocenter and continued by determining the three-dimensional velocity distribution that is divided into three stages, there are determine of the location in the 3D model using ray tracing algorithm, stains parameterization and inversion using an iterative method LSQR. The results of the analysis show that zone with low P and S velocity, and high ratio value located in the Krakatau zone, southwest in Sunda Strait, and the mainland of Java Island. The anomalous models  $V_p$  and  $V_s$  respectively had negative deviations of about -2.1% and -4.9% with a ratio of  $V_p / V_s$  of about 1.861 to 1.876 at depths ranging from 2-10 km. Based on the distribution of seismicity and seen from the subsurface structure of the study area, it can be expected that the source of the earthquake is caused by volcanic and tectonic activity.

**Key Word :** Seismic Tomography, Sunda Strait, LSQR

## LEMBAR PERSEMBAHAN

*“Barang siapa menempuh suatu jalan untuk mencari ilmu, maka Allah SWT memudahkannya mendapat jalan ke surga”  
(H.R. Muslim)*

*“Ingat satu hal, langit tak perlu menjelaskan bahwa dirinya tinggi.”  
(Don Pesso)*

*“Karena hidup itu perjuangan, jangan sampai ada kata menyerah”  
(Gita Savitri Devi)*

*“Jika kita ikhlas berusaha untuk kebahagiaan kehidupan keluarga, Allah akan mewujudkan dan menunjukkan jalannya”*

Karya ini di persembahkan untuk:

- Kedua orang tua saya, papa M. Sataruddin (*Alm*) dan mama Siti Asia.
- Saudaraku Febsen Denasta dan Oksen Asta Syaputra
- Keluarga besar Halimatu Sa’diah, Keluarga besar Anwaruddin, Farhan Syawali, Fitri Ayu Pertiwi, dan dosen-dosenku.
- Sahabat dekatku (nama alias: Adewitri, Acah, Atok, Celek, Citham, Jijah, Ocak, Roro, Tutik).
- Teman-teman seperjuanganku Fisika angkatan 2014 “Berandal 14”
- Almamaterku Universitas Sriwijaya.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Tugas akhir dilaksanakan di BMKG, Stasiun Geofisika Kelas III Kepahiang dan dilanjutkan di Jurusan Fisika FMIPA UNSRI sejak Februari 2018 sampai dengan Juni 2018. Judul tugas akhir yaitu “Pencitraan Tomografi Menggunakan Data Waktu Tempuh Gelombang P Dan S Wilayah Selat Sunda”. Selesaiannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, berbagai hambatan penulis lalui selama proses tugas akhir maupun penulisan skripsi tetapi berkat doa dan pertolongan Allah SWT skripsi ini dapat diselesaikan.

Penulis sangat berterima kasih atas motivasi, saran, bimbingan dan waktunya dari Bapak M.Yusup Nur Khakim, Ph.D selaku pembimbing I dan Bapak Nurul Hidayat, S.Si, M.T selaku pembimbing II. Penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc., selaku Dekan FMIPA UNSRI.
2. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T. selaku ketua Jurusan Fisika dan Bapak Khairul Saleh, S.Si. M.Si. selaku Sekretaris Jurusan.
3. Bapak Litman, S.T selaku Kepala Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. Stasiun Geofisika Kelas III Kepahiang, Bengkulu.
4. Bapak Dr. Dedi Setiabudidaya, M.Sc selaku dosen pembimbing akademik.
5. Bapak Drs. Pradanto Poerwono, DEA., bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T., dan bapak Wijaya Mardiansyah, S.Si., M.Si. selaku penguji dalam menempuh ujian sarjana yang memberikan saran dan kritik yang membangun.
6. Seluruh Dosen Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.
7. Seluruh Staff dan Karyawan Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. Stasiun Geofisika Kelas III Kepahiang, Bengkulu.
8. Babe (Pak Nabair), Kak David, mbak Fitri dan mbk Yun selaku Staff dan Karyawan di Jurusan Fisika FMIPA UNSRI.
9. Seluruh pihak terkait yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dalam penulisan skripsi ini. Masukan dan kritikan yang membangun sangat penulis harapkan untuk memperbaiki tulisan laporan skripsi ini. Semoga skripsi yang telah

disusun ini dapat bermanfaat dan menambahkan pengetahuan kita semua. Akhir kata penulis menyampaikan permohonan maaf apabila ada tingkah laku dan perkataan penulis, baik sengaja maupun tidak sengaja yang mungkin tidak berkenan di hati pembaca.

Inderalaya, 2 Agustus 2018

Penulis

Selvi Astria

08021181419012

## DAFTAR ISI

COVER	
LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v-vi
DAFTAR ISI.....	vii-viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Geologi Regional.....	3
2.2 Gempa Bumi.....	4
2.3 Tahapan-tahapan Kejadian Gempa Bumi.....	4
2.4 Penyebab Gempa Bumi.....	6
2.5 Gelombang Seismik.....	6
2.6 Pencitraan Tomografi.....	7
2.7 Tomografi seismik dengan menggunakan data waktu tempuh.....	9
2.8 <i>Ray Tracing Metode Pseudo Bending</i> .....	12
2.9 Teknik Inversi LSQR.....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.2 Data BMKG.....	18
3.3 Pengolahan Data.....	20
3.3.1 Pengumpulan dan seleksi data BMKG.....	20
3.3.2 Proses Pengolahan Data LOTOS.....	20



3.4	Interpretasi.....	21
3.5	Diagram Alir Penelitian.....	22
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>23</b>
4.1	Uji Resolusi.....	23
4.2	Hasil RMS.....	24
4.3	Analisa Seismisitas.....	24
4.4	Analisa Model Anomali $v_p$ , $v_s$ dan rasio $v_p/v_s$ .....	25
4.5	Analisa Struktur Bawah Permukaan.....	29
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>		<b>31</b>
5.1	Kesimpulan.....	31
5.2	Saran.....	31

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema urutan terjadinya gempa bumi.....	5
Gambar 2. 2 Gelombang P .....	7
Gambar 2. 3 Gelombang S .....	7
Gambar 2. 4 Contoh objek eksperimen tampak atas (a) silinder aluminium (b) silinder aluminium dan karet (c) ginjal hewan (d) paru-paru dan jantung hewan....	8
Gambar 2. 5 Citra rekonstruksi penampang lintang objek (a) silinder aluminium (b) silinder aluminium dan karet (c) ginjal hewan (d) paru-paru dan jantung hewan.....	8
Gambar 2. 6 Ilustrasi persamaan tomografi yang sangat non-linier.....	10
Gambar 2. 7 Ilustrasi untuk skema tiga titik untuk penjejakan sinar gelombang dalam metode pseudo bending .....	13
Gambar 2. 8 Hasil plotting data observasi dalam sumbu x dan sumbu y .....	14
Gambar 2. 9 Contoh Solusi regresi linear.....	17
Gambar 3. 1 Daerah Penelitian (Selat Sunda). .....	17
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian .....	22
Gambar 4.1 (a) papan <i>checkerboard</i> (b) model sintetik (c) hasil tes resolusi <i>checkerboard</i> dengan model sintetik (d) hasil pemulihan model.....	23
Gambar 4. 2 Peta Seismisitas Wilayah Selat Sunda dan Sekitarnya.....	25
Gambar 4. 3 Model anomali kecepatan gelombang P dan S (%)......	26
Gambar 4. 4 Rasio $V_p/V_s$ (a) kedalaman 2 km (b) kedalaman 5 km (c) kedalaman 10 km .....	27
Gambar 4. 5 Penampang seismik secara vertikal (a) anomali $V_p$ (b) anomali $V_s$ (c) rasio $V_p/V_s$ .....	28
Gambar 4. 6 Penampang Vertikal Gunung Api Anak Krakatau.....	29

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	18
Tabel 3. 2 Daftar Nama dan Koordinat Stasiun Seismograf Jaringan INA-TEWS .....	19
Tabel 3. 3 Referensi Model Kecepatan 1-D Gelombang P dan S .....	19
Tabel 4. 1 Nilai RMS dari 1 iterasi hingga 7 iterasi.....	24

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Berdasarkan kondisi tektonik, Indonesia termasuk salah satu negara di dunia yang memiliki tingkat aktivitas kegempaan yang sangat tinggi. Seperti halnya wilayah Selat Sunda yang terletak di Indonesia bagian barat, tepatnya diantara pulau Jawa dan Sumatera yang berpeluang menghasilkan gempa-gempa besar. Hal ini disebabkan Selat Sunda berada pada pertemuan dua lempeng utama dunia yang aktif. Lempeng Samudera Hindia-Australia dan Lempeng Benua Eurasia yang terus bergerak saling mendekati sehingga terjadinya tumbukan antara kedua lempeng tersebut yang menyebabkan lempeng Samudera Hindia-Australia menyusup ke bawah lempeng benua Eurasia, yang mengakibatkan pulau sumatera bagian barat terangkat dan membentuk deretan pegunungan dan bukit barisan serta terdapatnya sesar Sumatera yang membelah pulau Sumatera dari Aceh hingga Lampung. Palung Selat Sunda yang menjadi batas pertemuan lempeng merupakan wilayah yang paling berpeluang menghasilkan gempa-gempa besar.

Pada tahun 1883, di kawasan Selat Sunda terjadi letusan Gunung Api Krakatau. Peristiwa bersejarah ini telah menarik seluruh perhatian dunia, karena material yang dimuntahkan telah memicu terjadinya Tsunami yang melanda sebagian Sumatera bagian Selatan dan Jawa Barat bagian Barat, sehingga menewaskan lebih kurang 36.000 jiwa manusia (Yudhicara dan Budiono, 2008).

Dari penelitian sebelumnya oleh Yudhicara dan Budiono (2008), mengenai Tsunamigenik di Selat Sunda: Kajian terhadap katalog Tsunami Soloviev menyimpulkan bahwa sumber tsunamigenik dipengaruhi oleh kondisi geologi dan tektonik di perairan selat sunda seperti berkaitan dengan subduksi sunda, erupsi gunung api bawah laut krakatau, longsoran di pantai, dan longsoran bawah laut disekitar selat sunda. Dan diawal tahun 2018 ini telah terjadi gempa bumi dengan magnitudo 6,4 *SR* pada tanggal 23 Januari 2018 di wilayah Lebak-Banten pada kedalaman 10 *km* yang mengakibatkan kerusakan bangunan-bangunan serta jalan di sekitar wilayah.

Berdasarkan kejadian gempa bumi di wilayah Selat Sunda, maka diperlukannya informasi mengenai penyebab terjadinya gempa bumi di wilayah Selat Sunda. Informasi

yang dimaksud adalah informasi yang terkait dengan rekonstruksi kondisi bawah permukaan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk merekonstruksi kondisi bawah permukaan adalah dengan menggunakan metode tomografi seismik. Dalam merekonstruksi kondisi bawah permukaan, metode ini memanfaatkan data waktu tempuh dari gelombang seismik. Hasil yang diperoleh dengan tomografi seismik merupakan model struktur bawah permukaan 3D berupa analisa kecepatan gelombang  $P$  dan kecepatan gelombang  $S$ . Model anomali 3D nantinya diharapkan dapat mengidentifikasi struktur bawah permukaan di wilayah Selat Sunda. Program yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan program LOTOS-13 (*Local Tomography Software*) yang telah dikembangkan oleh Koulakov, program ini digunakan karena sudah memiliki optimalisasi kecepatan 1D yang lebih akurat dan algoritma yang lebih efektif pada model 3D.

## **1.2 Perumusan Masalah**

- 1 Bagaimana persebaran seismisitas wilayah Selat Sunda?
- 2 Bagaimana model variasi anomali  $vp$ ,  $vs$ , dan rasio ( $vp/vs$ ) berdasarkan data gempa di wilayah selat sunda?
- 3 Bagaimana kondisi struktur bawah permukaan wilayah Selat Sunda?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui seismisitas wilayah Selat Sunda berdasarkan data relokasi gempa.
2. Mendapatkan model anomali  $vp$ ,  $vs$ , dan rasio ( $vp/vs$ ) berdasarkan data gempa bumi.
3. Menganalisa struktur bawah permukaan wilayah Selat Sunda.

## **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah penelitian Tugas Akhir ini adalah sumber data gempa yang digunakan berasal dari data BMKG dari bulan April 2009 sampai dengan Desember 2017 saja dan referensi model kecepatan awal yang digunakan adalah model kecepatan 1-D daerah Krakatau.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amin, T.C., Sidarto, S., Santosa, dan Gunawan, W., 1993. Peta Geologi Lembar Kota Agung, Sumatera. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Biot, M.A, dan Romain, J.E., 1965. *Mechanics of incremental deformations*. Physics Today. 18:68.
- Bolt, B., A., 1976. *Nuclear Explosions and earthquakes: the parted veil*. Freeman: San Francisco.
- Effendi, A.C., Bronto, S., dan Sukhyar, R., 1986. Peta Geologi Gunung Api Anak Krakatau, Provinsi Lampung. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Elnashai, dan Sarno, D.L., 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*, Hongkong: Wiley.
- Gadallah, R.M., dan Fisher, R., 2009, *Exploration Geophysics*, Berlin: Springer.
- Harjono, H., Diament, M., Dubois, J., Larue, M., dan Zen, JR. M. T., 1991. Seismicity of the sunda strait: evidence for crustal extension and volcanological implications. *Tectonics* 10: 17-30.
- Jaxybulatov, K., Koulakov, I., Seht, M., I., V., Klinge, K., Reichert, C., Dahren, B., Troll, V., R., 2011. *Evidence for high fluid/melt content beneath Krakatau volcano (Indonesia) from local earthquake tomography*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 206:99.
- Koulakov, I. 2009. *LOTOS Code for Local Earthquake Tomographic Inversion: Benchmarks For Testing Tomographic Algorithms*. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 99(1):194-214.
- Kurniadi, D., Ain, K., Wibowo, R.A., dan Sapuan, I., 2012. *Sistem Tomografi Impedansi Listrik Sebagai Sarana Uji Tak Rusak Sederhana*. *Jurnal Matematika Sains dan Teknologi*, 13(1): 19-20.
- Monalia, P., 2011. *Analisis Model Kecepatan Berdasarkan Tomografi Refleksi Waktu Tempuh (Travel Time Tomography Reflection)*, Jakarta: Universitas Sriwijaya.
- Naryanto, H., S., 2008. Analisis potensi kegempaan dan tsunami di kawasan pantai barat lampung kaitannya dengan mitigasi dan penataan kawasan. *Jurnal sains dan teknologi indonesia*, 10(2): 71.
- Pawirodikromo, W., 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar: Yogyakarta.

- Sarkowi, M., 2010. *Buku Ajar Pengantar Teknik Geofisika*, Lampung: UNILA.
- Sudana, D., dan Santosa, S., 1992. Peta Geologi Lembar Cikarang, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Supriyanto, 2007. *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*, Jakarta: Departemen Fisika-FMIPA Universitas Indonesia.
- Sutawidjaja, I., S., 2006. Pertumbuhan Gunung Api Anak Krakatau Setelah Letusan Katastrofis 1883. *Jurnal Geologi Indonesia* (1)3: 144.
- Thurber, C.H., 1993. *Local Earthquake Tomography Velocities And Vp/Vs Theory*. *Seismic Tomography: Theory And Practice*, pp. 563-583, edited by H. M. Iyer dan K. Hirahara, CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Um, J., dan Thurber, C. H., 1987. A fast algorithm for two point seismic ray tracing. *Bull Seismol. Soc. Am.*, 77: 972-986.
- Yudhicara, dan Budiono, K., 2008. *Tsunamigenik di Selat Sunda: Kajian terhadap katalog Tsunami Soloviev*. *Jurnal Geologi Indonesia* (3)4: 242-245.
- Widiantoro, S., 2009. *Fisika Dan Struktur Interior Bumi*, Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Wisyanto, 2009. Perencanaan Tata Ruang Pesisir Kota Agung Berbasis Analisis Risiko Bencana Tsunami. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia* (11)1: 18-19.