

ESTIMASI MODEL KECEPATAN LOKAL GELOMBANG SEISMIK 1D DAN RELOKASI HIPOSENTER DI DAERAH SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN HYPO-GA DAN VELEST33

Nina Iswati, Supardiyono, Madladzim

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
niswati037@gmail.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap gempa bumi. Salah satu daerah yang rawan gempa bumi adalah Sumatera Barat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis model kecepatan lokal gelombang P 1D dan merelokasi hiposenter di daerah Sumatera Barat. Metode yang digunakan adalah metode Algoritma Genetika dan inversi menggunakan *software* Hypo-GA dan Velest33. Data yang digunakan sebanyak 50 data dengan rentang pada 15 April 2009–13 Februari 2013. Setelah melalui pengolahan didapatkan hasil model kecepatan akhir pada lapisan ke-1 dengan kedalaman 0,00 km sampai 17,10 km memiliki kecepatan sebesar 5,58 km/s, pada lapisan ke-2 dengan kedalaman 17,10 km sampai 41,80 km memiliki kecepatan sebesar 7,59 km/s dan pada lapisan ke-3 dengan kedalaman diatas 41,80 memiliki kecepatan 7,94 km/s. Dari model kecepatan lokal tersebut didapatkan semakin ke dalam kecepatan gelombang primer semakin tinggi, hal tersebut menunjukkan semakin ke dalam struktur bumi semakin rapat dan menyebabkan gelombang primer menjalar lebih cepat. Berkaitan dengan koreksi stasiun pada penelitian ini, stasiun BKNI, KRJI, MKBI, MNSI, dan SDSI bernilai negatif, menunjukkan waktu tempuh gelombang P sampai pada stasiun perekam lebih cepat dibandingkan waktu tempuh gelombang P dari pusat gempa bumi menuju stasiun referensi. Hal ini mengindikasikan batuan disekitar stasiun seismik tersusun oleh batuan padat (*hardrock*). Nilai koreksi stasiun positif pada stasiun PBSI, PDSI, PPSI, dan SISI mengindikasikan bahwa struktur batuan di sekitar stasiun seismik tersusun atas batuan sedimen yang menyebabkan gelombang P merambat lebih lambat untuk sampai pada stasiun pencatat. Pada relokasi hiposenter menunjukkan sebagian *events* mengalami kenaikan posisi kedalaman dan pergeseran posisi episenter yang tidak terlalu besar. Perbaikan posisi digunakan untuk memperbaiki hasil dari lembaga seismik yang dikeluarkan secara cepat saat terjadinya gempa bumi. Penelitian ini mempunyai nilai GAP sebesar 225 dengan RMS error 0,50.

Kata Kunci : *model kecepatan lokal, relokasi hiposenter, hypo-GA, velest33*

Abstract

Indonesia is a country prone to earthquakes. One of the areas is prone to earthquakes of West Sumatra. The purpose of this study was to analyze the P wave velocity model local 1D and relocated hypocenter in West Sumatra. The method used is the inversion method using Genetic Algorithms and software Hypo-GA and Velest33. The data used as the data with a range of 15 April 2009 - February 13, 2013. After going through processing obtained in initial velocity model output results Hypo-GA, the layer-1 to a depth of 0,000 km to 17.10 km has a speed of 6.10 km/s, the layer-2 with a depth of 17.10 km to 41.80 km has a speed of 7.04 km/s and the 3rd layer above a depth of 41.80 has a speed of 8.21 km/s. Final velocity model at the output layer to Velest33 on-1 with a depth of 0,000 km to 17.10 km has a speed of 5.58 km/s, the layer-2 with a depth of 17.10 km to 41.80 km has a speed of 7, 59 km/s and the 3rd layer above a depth of 41.80 has a speed of 7.94 km/s. Of the local velocity model obtained in the primary wave velocity will be higher, it shows the structure of the earth is getting tight and causing primary wave will spread faster. Judging by the correction station on this study, as in BKNI KRJI, MKBI, MNSI, and SDSI is negative, showing P wave travel time to arrive at a recording station faster than the P-wave travel time from the epicenter to the station reference. This indicates seismic stations around the rock is composed of solid rock (*hardrock*). Positive correction value at station as in PBSI, PDSI, PPSI, and SISI indicate that the seismic station rock structure composed of sedimentary rocks which causes P waves propagate slower to arrive at a recording station. At the hypocenter relocation shows some events has increased the depth and position of the epicenter of the shift is not too large. Fixes the position used to improve the results from the agency that issued for the seismic moment of the earthquake. This study has a value of 225 GAP with RMS error 0.50.

Keywords: local velocity model, relocation hypocenter, hypo-GA, velest33

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap gempa bumi. Ditinjau secara geologis wilayah Indonesia dilalui oleh Pegunungan Mediterania dan Pegunungan Sirkum Pasifik. Adanya jalur pegunungan tersebut menyebabkan Indonesia memiliki gunung api yang aktif. Indonesia juga dilalui oleh tiga lempeng yaitu lempeng Eurasia, lempeng pasifik dan lempeng Indo-Australia yang bergerak relatif menekan. Lempeng tersebut menimbulkan patahan/sesar, dimana sesar merupakan salah satu penyebab gempa bumi.

Salah satu daerah yang rawan terhadap gempa bumi di Indonesia adalah Sumatera Barat. Letak Sumatera Barat secara tektonik berdekatan dengan zona subduksi, yaitu zona perbatasan dua lempeng tektonik berupa penunjaman lempeng India-Australia ke bawah lempeng Eurasia yang bergerak dengan kecepatan 6 cm per tahun. Selain itu, wilayah Sumatera Barat terdapat Sesar Semangko yang merupakan salah satu sesar teraktif di dunia. Sesar Semangko terbentang di sepanjang Pulau Sumatra, mulai dari ujung Aceh hingga Selat Sunda, sesar ini menyebabkan terjadinya gempa bumi di darat. Hal ini semakin memperkuat bahwa Sumatera Barat merupakan wilayah yang rawan terhadap gempa bumi.

Gempa bumi merupakan getaran yang terjadi akibat tumbukan antar lempeng, patahan/sesar aktif, dan aktivitas gunung api. Gempa bumi yang pernah terjadi di daerah Sumatera Barat adalah gempa bumi pada tanggal 12 September 2007 sekitar pukul 18.10 WIB dengan kekuatan 7,9 SR. Titik pusat gempa tercatat oleh BMKG sekitar $4,67^{\circ}$ LS dan $101,13^{\circ}$ BT atau 159 km barat daya Bengkulu. Hingga tanggal 14 September 2007, BMKG mencatat sudah terjadi 54 kali gempa susulan yang terjadi di Bengkulu, Barat daya Painan (Sumatera Barat), Padang, dan Jambi. Hal ini merupakan salah satu bukti bahwa di Sumatera Barat merupakan daerah yang sering terjadi gempa bumi. Upaya mengurangi dampak gempa bumi tersebut melalui tindakan peringatan dini sangat perlu dilakukan oleh pemerintah maupun masyarakat. Hal inilah yang membuat perlu adanya banyak informasi yang berhubungan dengan gempa bumi. Salah satunya adalah dengan model kecepatan gelombang P dan relokasi hiposenter gempa bumi.

Model kecepatan gelombang P merupakan suatu fungsi dari kedalaman (h) terhadap kecepatan gelombang P (V_p) dan relokasi hiposenter merupakan koreksi dari lintang, bujur, dan kedalaman dari gempa bumi. Koreksi dari parameter hiposenter digunakan untuk memperbarui informasi yang dikeluarkan secara cepat saat terjadi gempa bumi.

Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah Hypo-GA dan Velest33 yang memiliki sistem

operasi berbeda, yaitu Linux-Suse dan Windows 7. Meskipun memiliki sistem operasi yang berbeda, namun hasil yang didapatkan dari Hypo-GA akan menjadi *inputan* di *software* Velest33.

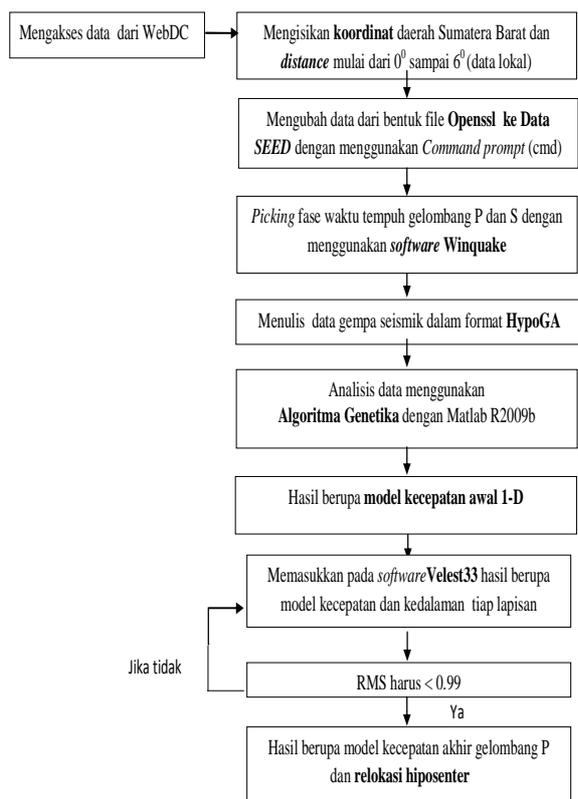
Pada penelitian relevan yang dilakukan oleh Waluyo (1979) yang menghasilkan model kecepatan global terdiri dari lapisan *Conrad* pada kerak benua dengan kedalaman ≤ 15 km, dan pada lapisan *Moho* dengan kedalaman ≤ 33 km. Dengan batuan penyusunnya secara homogen terdiri dari batuan granit pada lapisan *Conrad* dan Basalt pada lapisan *Moho*. Selanjutnya penelitian Macelo (2011) dengan hasil berupa rentang nilai kedalaman setiap lapisan. Pada lapisan *Conrad* dengan kedalaman ≤ 25 km dan pada lapisan *Moho* dengan kedalaman ≤ 50 km. Selain itu penelitian Lailatul (2011) yang melakukan analisis model kecepatan gelombang, koreksi stasiun dan perbaikan hiposenter di Sumatera Selatan dengan analisis menggunakan *software* Velest33. Penelitian-penelitian yang sudah dilakukan masih menggunakan data gempa global yang kurang akurat. Selain itu, penelitian di wilayah Sumatera Barat masih sedikit padahal wilayah tersebut sangat rawan terhadap gempa. Hal inilah yang menyebabkan penelitian yang berjudul Estimasi Model Kecepatan Gelombang Seismik 1D dan Relokasi Hiposenter di Daerah Sumatera Barat perlu dilakukan untuk memberikan informasi mengenai gempa lokal dan relokasi hiposenternya di daerah Sumatera Barat.

METODE

Jenis penelitian yang dilakukan merupakan jenis penelitian laboratorium berbasis komputasi (inversi). Data gempa bumi yang digunakan dengan rentang data dari 15 April 2009 – 13 Februari 2013 sebanyak 50 data. Data tersebut diperoleh dari Webdc yang diakses melalui alamat <http://webdc.eu/arclink/> dengan menggunakan stasiun perekam gelombang seismik yaitu BKNI, KRJI, MKBI, MNSI, PBSI, PDSI, PPSI, SDSI, dan SISI. *Software* utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah Hypo-GA dan Velest33. Metode yang digunakan adalah metode Algoritma genetika dengan penerapan metode inversi yang menggunakan sistem random (acak).

Prosedur pengolahan data yang pertama dengan memilih data pada WebDC dengan batasan koordinat yaitu -3.36° LS – 0.93° LS dan 97.58° BT – 101.83° BT dengan nilai magnitudo > 4 . Kemudian mengisikan *distance* 0° - 6° agar memperoleh data lokal. Data yang didapatkan masih berupa Openssl yang akan diubah dalam bentuk SEED. Selanjutnya melakukan picking dengan menggunakan Winquake dan menuliskannya dalam format Hypo-GA. Analisis datanya menggunakan Algoritma Genetika dengan Matlab R2009b untuk mendapatkan model kecepatan awal. Model kecepatan tersebut akan menjadi *inputan* pada *software* Velest33 dan didapatkan model kecepatan akhir dan relokasi hiposenter di daerah Sumatera Barat. RMS yang

didapatkan harus < 0.99 untuk mendapatkan hasil yang presisi. Berikut Diagram alir penelitian ini :



Gambar 1. Plot Grafik model kecepatan awal dan akhir di daerah Sumatera Barat.

Dari model kecepatan awal tersebut didapatkan kedalaman dan kecepatan dari masing-masing lapisan *conrad* dan *moho*. Pada lapisan *conrad* dengan kedalaman 0,000 km sampai 17,10 km kecepatannya sebesar 6,10 km/s sedangkan pada lapisan *moho* dengan kedalaman 17,10 km sampai dengan 41,80 km kecepatannya sebesar 7,04 km/s.

Dari model kecepatan akhir didapatkan kedalaman dan kecepatan dari masing-masing lapisan *conrad* dan *moho*. Pada lapisan *conrad* dengan kedalaman 0,000 km sampai 17,10 km kecepatannya sebesar 5,58 km/s sedangkan pada lapisan *moho* dengan kedalaman 17,10 km sampai dengan 41,80 km kecepatannya sebesar 7,59 km/s.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model Kecepatan Gelombang P 1-D melalui pengolahan Hypo-GA

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari Hypo-GA berupa model kecepatan awal sebanyak 25 data dan dirata-rata sehingga didapatkan data kecepatan awal pada tiap-tiap lapisan. Kecepatan tersebut selanjutnya menjadi inputan pada *velest33* dan didapatkan model kecepatan akhir. Berikut merupakan data model kecepatan awal dan akhir:

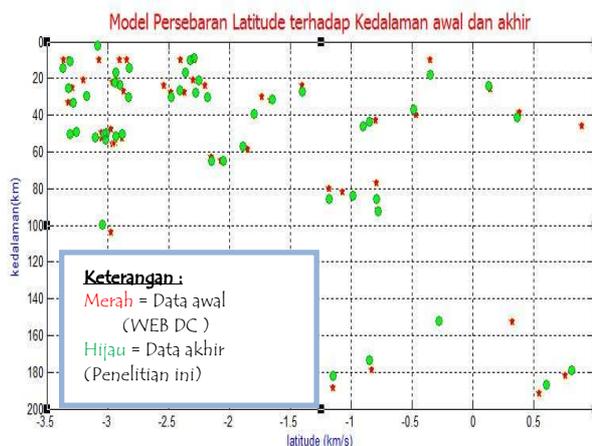
Tabel 1. Data kecepatan awal dan akhir terhadap kedalaman.

Lapisan ke-	Kedalaman (km)	Vp awal (km/s)	Vp akhir (km/s)
1	0 – 17,10	6,10	5,58
2	17,10 – 41,80	7,04	7,59
3	>41,80	8,21	7,94

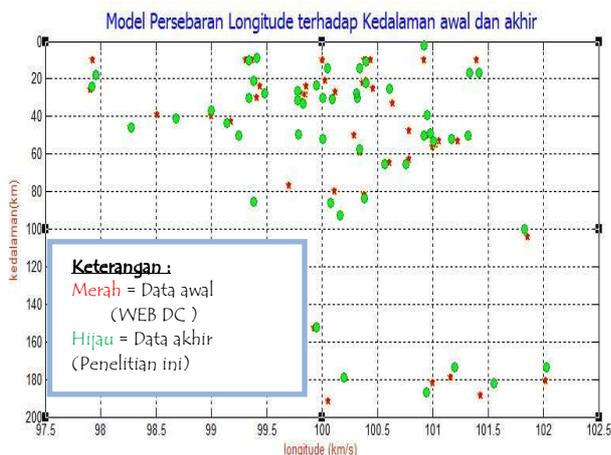
Dari tabel di atas dapat terlihat bahwa model kecepatan awal dan akhir untuk gelombang primer 1D di daerah Sumatera Barat terletak pada kedalaman 0 km sampai 41,80 km pada kerak bumi dan sebagian dari mantel atas bumi. Berdasarkan pada tabel di atas, dapat dibuat plot grafik model kecepatan awal dan akhir gelombang P 1-D sebagai berikut :

B. Relokasi hiposenter

Berdasarkan hasil relokasi kedalaman yang didapatkan setelah pengolahan melalui *software Velest33* dapat ditunjukkan melalui model persebaran *latitude* terhadap kedalaman dan *longitude* terhadap kedalaman sebagai berikut :

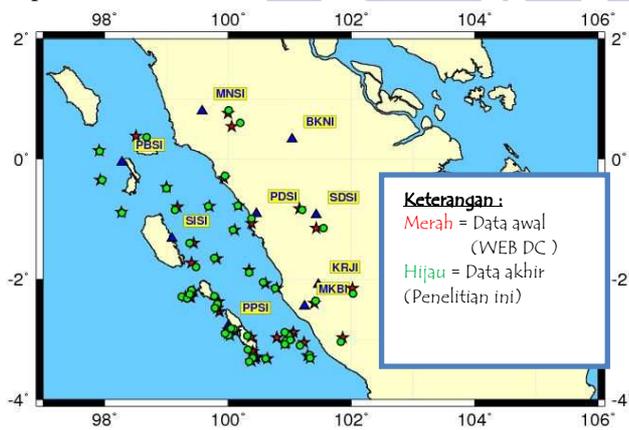


Gambar 2. Model Persebaran *Latitude* terhadap kedalaman awal dan akhir.



Gambar 3. Model Persebaran *Longitude* terhadap kedalaman awal dan akhir.

Berdasarkan gambar diatas terlihat posisi awal mengalami kenaikan posisi. Hal ini menunjukkan sebagian kejadian gempa bumi yang terjadi di Sumatera Barat pada penelitian ini semakin dalam. Begitu pula pada pergeseran posisi episenter setelah direlokasi tidak terlihat pergeseran yang besar. Hal ini menunjukkan hasil yang didapatkan pada penelitian ini baik. Berikut peta distribusi episenter awal dan akhir di Sumatera Barat dapat terlihat di bawah ini :



Gambar 4. Distribusi awal dan akhir Episenter.

Dari peta distribusi diatas terlihat posisi *event* gempa bumi mengalami pergeseran yang tidak terlalu besar, namun tetap hasil terbanyak kejadian gempa bumi mendekati laut, dan sebagian ada yang mendekati sesar semangko yang berada pada tengah-tengah Pulau Sumatera yang memanjang dari wilayah Sumatera bagian Utara hingga Sumatera bagian Selatan. Sesar semangko merupakan sesar teraktif di dunia yang merupakan salah satu penyebab daerah Sumatera Barat rawan terhadap gempa bumi.

Event gempa yang terjadi pada penelitian ini kebanyakan berada di wilayah laut, hal ini dikarenakan adanya zona subduksi yang merupakan zona pertemuan antara kedua lempeng India Australia dan Eurasia yang pergerakannya perlahan-lahan menyebabkan penumpukan energi di zona subduksi.

C. Koreksi Stasiun

Koreksi stasiun merupakan perbaikan waktu yang dibutuhkan gempa bumi sampai pada stasiun pencatat. Hasil *output* koreksi stasiun berupa nama stasiun, koordinat posisi stasiun, selisih waktu yang dibutuhkan gelombang untuk sampai pada stasiun pencatat, hasil tersebut dapat terlihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2. Koreksi Stasiun di daerah Sumatera Barat.

No.	Nama Stasiun pencatat	Koreksi Stasiun (s)
1	BKNI	-0.82
2	KRJI	-0.45
3	MKBI	-0.31
4	MNSI	-0.13
5	PBSI	0.30
6	PPSI	0.36
7	SDSI	-0.59
8	SISI	0.76
9	PDSI	0.00

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan tabel diatas, koreksi stasiun relatif terhadap stasiun referensi PDSI, yang koreksi stasiunnya adalah tetap di 0.00 dan stasiun PDSI menjadi stasiun yang digunakan sebagai koordinat referensi. Nilai koreksi stasiun di daerah Sumatera Barat kebanyakan bernilai negatif, yaitu stasiun BKNI, KRJI, MKBI, MNSI, dan SDSI, yang menunjukkan bahwa waktu tempuh gelombang P untuk sampai pada stasiun perekam lebih cepat dibandingkan waktu tempuh gelombang P dari pusat gempa bumi menuju ke stasiun referensi. Penyebabnya adalah struktur dari permukaan bumi di sekitar stasiun bermedium padat dengan struktur tanah berupa bebatuan padat (*hardrock*). Hal ini yang menyebabkan gelombang P merambat dengan cepat sampai pada stasiun perekam. Nilai koreksi stasiun positif mengindikasikan bahwa struktur batuan stasiun seismik tersebut tersusun atas batuan sedimen yang menyebabkan gelombang P merambat lebih lambat untuk sampai pada stasiun pencatat (Madlazim,dkk, 2010).

D. GAP Azimuth

Dalam penelitian model kecepatan lokal gelombang seismik 1-D di daerah Sumatera Barat, diperoleh nilai GAP pada masing-masing kejadian gempa bumi. Rentang nilai yang didapatkan antara 111 sampai 314 dengan rata-rata sebesar 226. Data yang baik mempunyai nilai GAP kurang dari 300. Pada hasil penelitian ini menunjukkan rata-rata nilai GAP yang sudah dibawah 300. Namun ada beberapa *event* yang memiliki nilai GAP lebih dari 300, hal tersebut dikarenakan lokasi gempa jauh dari stasiun seismik penerima sehingga nilai GAP yang terdeteksi cukup besar.

E. RMS

RMS (*Root Mean Square*) dalam penelitian ini merupakan selisih antara *travel time* kalkulasi dan *travel time* observasi. Nilai RMS menunjukkan tingkat ketelitian data gempa yang digunakan. RMS yang didapatkan dalam penelitian harus memiliki nilai kurang dari 1 untuk mendapatkan hasil yang presisi. Pada *Output* keseluruhan didapatkan nilai rata-rata RMS sebesar 0,50.

Kutipan

Batuan penyusun tiap lapisan berbeda-beda. Secara homogen, pada lapisan *conrad* batuan penyusunnya terdiri dari batuan granit, dan pada lapisan *moho* batuan penyusunnya terdiri dari batuan Basalt. Hasil pada penelitian ini bersesuaian dengan penelitian Waluyo (1979) pada struktur bumi secara global. Pada penelitian Waluyo (1979) menunjukkan lapisan *conrad* pada posisi ≤ 15 km, sedangkan pada lapisan *moho* pada posisi ≤ 33 km. Hasil penelitian ini masih melebihi dari penelitian Waluyo, dikarenakan data yang digunakan dalam penelitian Waluyo menggunakan data gempa regional, sedangkan pada penelitian ini menggunakan data gempa lokal. Namun penelitian ini lebih bersesuaian dengan rentang model kecepatan pada penelitian Marcelo, 2011 yang pada lapisan *Conrad* dengan kedalaman ≤ 25 km, sedangkan pada lapisan *Moho* kedalamannya terletak ≤ 50 km. Hal ini tertera pada tabel model kecepatan pada penelitian Marcelo, 2011 berikut ini :

Tabel 3. Data kecepatan awal dan akhir terhadap kedalaman pada penelitian Marcelo, 2011.

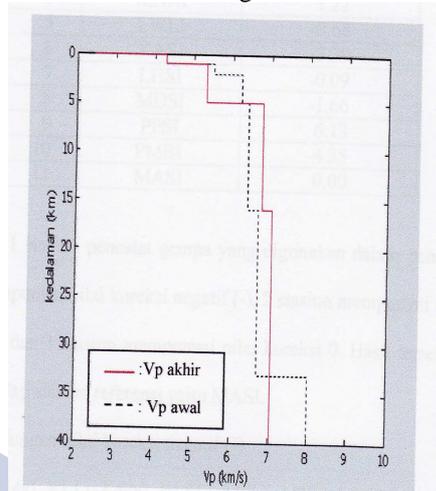
Kedalaman (km)	Vp awal (km/s)	Vp akhir (km/s)
0 – 9,50	5,75	6,50
9,5 – 25,00	6,55	7,48
25,0 – 50,00	7,88	8,50

Sebagai hasil perbandingan pada nilai kecepatannya maka hasil penelitian ini akan dibandingkan dengan penelitian Isna Lailatul (2011) mengenai penentuan model kecepatan gelombang P 1-D di daerah Sumatera bagian Selatan, menggunakan 42 *event* gempa bumi dengan rentang data pada 1 Januari 2010 sampai dengan 6 September 2010 didapatkan model kecepatan awal dan akhir gelombang P sebagai berikut :

Tabel 4. Data kecepatan awal dan akhir terhadap kedalaman pada penelitian Lailatul (2011).

Kedalaman (km)	Vp awal (km/s)	Vp akhir (km/s)
0	2,31	2,45
1,00	4,27	4,28
2,00	5,52	5,34
5,00	6,23	5,34
16,00	6,41	6,79
33,00	6,70	7,05
40,00	8,00	7,05

Berdasarkan tabel diatas, dibuat plot grafik model kecepatan awal dan akhir sebagai berikut :



Gambar 5. Model Kecepatan di Sumatera Selatan (Lailatul, 2011).

Dari hasil kedua model kecepatan lokal gelombang primer 1-D pada penelitian Lailatul dan penelitian ini didapatkan model kecepatan yang berbeda. Hal ini menunjukkan model kecepatan gelombang P pada setiap wilayah berbeda-beda karena bergantung pada kecepatan awal gelombang P dan variasi kedalaman yang menjadi *inputan* pada *Velost33* serta karakteristik tanah pada masing-masing daerah. Hubungan antara kedalaman dengan kecepatan gelombang P (V_p) berbanding lurus. Semakin ke dalam kecepatan gelombang primer juga semakin besar. Hal ini mengindikasikan bahwa jenis material pada setiap kedalaman itu berbeda dan semakin kebawah lapisan penyusun bumi akan semakin rapat sehingga kecepatannya besar.

PENUTUP

Simpulan

1. Model kecepatan awal, pada lapisan 1 dengan kedalaman 0,000 km sampai 17,10 km kecepatan gelombang P sebesar 6,10 km/s , pada lapisan 2 dengan kedalaman 17,10 km sampai 41,80 km kecepatannya sebesar 7,04 km/s dan pada lapisan 3 dengan kedalaman diatas 41,80 memiliki kecepatan 8,21 km/s.

Model kecepatan akhir pada lapisan 1 dengan kedalaman 0,000 km sampai 17,10 km memiliki kecepatan gelombang P sebesar 5,58 km/s , pada lapisan 2 dengan kedalaman 17,10 km sampai 41,80 km memiliki kecepatan sebesar 7,59 km/s dan pada lapisan 3 dengan kedalaman diatas 41,80 memiliki kecepatan 7,94 km/s.

Dari model kecepatan tersebut didapatkan semakin ke dalam kecepatan gelombang primer semakin tinggi, hal tersebut menunjukkan semakin ke dalam struktur bumi semakin rapat dan menyebabkan gelombang primer akan menjalar lebih cepat.

Dalam penelitian ini didapatkan nilai GAP sebesar 225 dengan nilai RMS error dalam penelitian ini adalah 0,50;

2. Relokasi hiposenter di daerah Sumatera Barat pada posisi kedalamannya menunjukkan nilai rata-rata mengalami peningkatan yang mengindikasikan gempa yang terjadi semakin dalam. Sedangkan pada posisi episenter terlihat mengalami pergeseran yang tidak terlalu besar. *Event* gempa yang terjadi kebanyakan berada di laut, hal ini di karenakan adanya zona subduksi yang mengelilingi sebagian besar wilayah Indonesia.

Nilai koreksi stasiun BKNI, KRJI, MKBI, MNSI, dan SDSI bernilai negatif, menunjukkan waktu tempuh gelombang P untuk sampai pada stasiun perekam lebih cepat dibandingkan waktu tempuh gelombang P menuju ke stasiun referensi. Hal ini menunjukkan batuan disekitar stasiun seismik tersusun oleh batuan padat. Nilai koreksi stasiun positif pada stasiun PBSI, PDSI, PPSI, dan SISI mengindikasikan bahwa struktur batuan stasiun seismik tersebut tersusun atas batuan sedimen yang menyebabkan gelombang P merambat lebih lambat untuk sampai pada stasiun pencatat.

Saran

Diharapkan pada penelitian selanjutnya untuk *picking* data dilakukan secara otomatis sehingga waktu tiba gelombang primer dan sekunder lebih teliti. Jika didapatkan nilai RMS >0.99 maka dapat dikurangi dengan pengubahan bobot pada *calarea*. Hal tersebut dilakukan karena setiap data *travel time* memiliki bobot tertentu saat dimasukkan di dalam *software* *Velest33*.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada WebDC (www.webdc.eu) yang telah menyediakan data seismik, Lopes A.E.V dan Kissling E. Yang menyediakan *software* *Hypo-Ga* dan *Velest33*. Tjipto Prastowo, Ph.D dan Asnawi, S.Si, M.Si selaku Dosen Penguji Skripsi yang telah memberikan saran dan kritik yang membangun. Bunda Ayah (Sadinah dan Sugiyanto), Bulek dan seluruh keluargaku serta Rizqy Ainun Najib yang selalu mendo'akan serta memberikan semangat kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2009. *Gempa bumi di Sumatera Barat*, [online], ([http://Wikipedia.com/Gempa-bumi-di-Sumatera Barat](http://Wikipedia.com/Gempa-bumi-di-Sumatera-Barat), diakses pada tanggal 3 November 2012).

Anonim. 2006. *Struktur Bumi*, [online], (<http://Wikipedia.org/Bumi>, diakses pada tanggal 20 Oktober 2012).

Anonim. 2010. *Fault (Patahan)*, [online], (<http://poetrafic.wordpress.com/2010/08/15/fault-patahan/>, diakses pada tanggal 2 Desember 2012).

Badan Meteorologi dan Geofisika. 2011. *Gempa bumi*, [online], (http://bmgk.go.id/bmgk_pusat/Geofisika/gempa-bumi.bmgk, diakses pada tanggal 24 Oktober 2012).

Grandis, Hendra. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika* : Bandung, Himpunan Ahli Geofisika (HAGI).

Madlazim, K. 2010. *Earthquake source parameters at the sumatran fault zone: identification of the activated fault plane*. Central European Journal of Geosciences. (DOI:10.2478/v10085-010-0016-5).

Kissling, E. 1995. *Program Velest User Guide*, Switzerland: Institute of Geophysics and Swiss Seismological Service, ETH-Hoenggerberg.

Lailatul, I. 2011. *Analisis Model Kecepatan Gelombang P 1-D, koreksi Stasiun dan perbaikan hiposenter gempa bumi di Sumatera Bagian Selatan (Skripsi Yang Tidak Dipublikasikan)*. Surabaya: UNESA.

Lopes, A. 2010. *Genetic Algorithm Inversion of the Average 1D Crustal Structure Using Local and Regional Earthquakes*. Brazil : IAG-USP.

Puspito, N. 1996. *Struktur Kecepatan Gelombang Gempa dan Koreksi Stasiun Seismologi di Indonesia*. Bandung: ITB.

Rozaq, A. 2011. *Penentuan Parameter Gempa Bumi di Daerah Blitar dan Madiun dengan Menggunakan TDS (Time Digital Seismograph) Tipe 303 Q (Laporan PKL yang tidak dipublikasikan)*. Malang: UNIBRAW.

Santoso, J. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: ITB.

Supriyanto, E. 2007. *Analisis Data Geofisika Memahami Teori Inversi. Diktat Jurusan Fisika Komputasi*. Universitas Indonesia.

Umami, H. 2011. *Batuan-batuan penyusun bumi*, [online], (<http://himiumami.blogspot.com/>, diakses pada tanggal 11 Mei 2013).

Waluyo. 2002. *Diktat Kuliah Seismologi*. Yogyakarta: UGM.

Widiyantoro, S. 2008. *Seismisitas dan Model Zona Subduksi di Indonesia Resolusi Tinggi*. Bandung: ITB.