

MODEL KECEPATAN 1-D GELOMBANG P DAN RELOKASI HIPOSENTER GEMPA BUMI DI BENGKULU MENGGUNAKAN METODE *COUPLED VELOCITY HIPOCENTER*

Jihan Nia Shohaya, Madlazim, Endah Rahmawati

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Surabaya

e-mail : jihanniashohaya@gmail.com

Abstrak

Kondisi geografis wilayah Bengkulu terletak pada pertemuan lempeng tektonik Indo-Australia dan Eurasia yang bergerak aktif serta berada di antara dua patahan aktif yaitu patahan Semangko dan Mentawai. Sejarah gempa bumi dan adanya patahan yang berada di wilayah Bengkulu menunjukkan bahwa ketepatan dan keakuratan informasi parameter gempa bumi sangatlah penting. Tujuan dari penelitian adalah menentukan model kecepatan 1-D gelombang P dan merelokasi hiposenter gempa bumi di Bengkulu menggunakan metode *Coupled Velocity-Hypocenter*. Pada model kecepatan 1-D arah rambatan yang digunakan adalah arah vertikal, di mana arah vertikal adalah sumbu z yang menghubungkan stasiun pengamat dengan sumber gempa. Data yang digunakan adalah data gelombang primer yang diambil dari katalog gempa bumi BMKG tahun 2009-2013 dengan magnitudo ≥ 3 SR dan kedalaman 0-25 km di Bengkulu yang berlokasi $5^{\circ} 40' - 2^{\circ} 0' \text{ LS}$ dan $100^{\circ} 40' - 104^{\circ} 0' \text{ BT}$. Berdasarkan hasil analisa, model kecepatan 1-D gelombang primer menghasilkan model kecepatan baru di Bengkulu dengan diskontinuitas *conrad* di kedalaman 6 km dan diskontinuitas *moho* di kedalaman 18 km. Hiposenter hasil relokasi lebih mendekati permukaan bumi sehingga gempa bumi yang terjadi di Bengkulu merupakan gempa dangkal dengan GAP sebesar 179° dan RMS 0,34 detik, hal tersebut diduga aktivitas sesar Semangko yang bergerak *strike-slip* dari kedalaman 0 km sampai kedalaman tertentu.

Kata kunci : relokasi hiposenter, model kecepatan 1-D, *Coupled Velocity-Hypocenter*.

Abstract

Bengkulu is geographically located at the confluence of Indo-Australian and Eurasian tectonic plate which are moving actively. It also situated between two active faults of Semangko and Mentawai. History of earthquakes and the presence of fractures in the area of Bengkulu show that the precision and accuracy of earthquake parameter informations are very critical. This study aimed to determine 1-D P wave velocity model and to relocate hypocenter earthquake in Bengkulu using *Coupled Velocity-Hypocenter* method. This 1-D velocity model used vertical propagation of z axis which is connect station and hypocenter. This research used primary wave data from earthquake catalogue of BMKG from 2009-2013. It located in Bengkulu $50^{\circ} 40' - 2^{\circ} 0' \text{ LS}$ and $100^{\circ} 40' - 104^{\circ} 0' \text{ BT}$ and has magnitudes ≥ 3 SR also depth of 0-25 km. Based on result inversion method generates up dated velocity model of Bengkulu which has conrad discontinuity at a depth of 6 km and moho discontinuity at a depth of 18 km. The result of hypocenter relocation is closer to the earth's surface, it means the earthquakes in Bengkulu are include as shallow earthquake with GAP of 179° and RMS 0,34 seconds. It is estimated as activities of Semangko fault that has been moved *strike-slip* from a depth of 0 km up to a certain depth.

Keywords: hypocenter relocation, 1-D P wave velocity, *Coupled Velocity-Hypocenter*.

Universitas Negeri Surabaya

PENDAHULUAN

Secara geografis, Indonesia berada di antara $6^{\circ} \text{ LU} - 11^{\circ} \text{ LS}$ dan $95^{\circ} \text{ BT} - 141^{\circ} \text{ BT}$ serta terletak pada tiga pertemuan lempeng tektonik utama dunia, yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia dan lempeng Pasifik. Pertemuan antar lempeng menimbulkan terjadinya sesar-sesar regional yang selanjutnya menjadi daerah pusat sumber gempa. Salah satu wilayah yang rawan terhadap gempa bumi adalah wilayah Bengkulu. Wilayah Bengkulu berada di antara dua patahan aktif yakni patahan Semangko dan Mentawai. Kondisi tersebut menjadikan

wilayah Bengkulu sebagai wilayah rawan terhadap bencana gempa bumi (Arif dkk, 2010).

Gempa bumi merupakan getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Gempa bumi yang pernah terjadi di wilayah Bengkulu pada tahun 1833, 1914, 1940, 1980, pada tanggal 4 Juni 2000 dengan magnitudo 8 SR dan 12 September 2007 dengan magnitudo 7,9 SR (BMKG, 2010). Sehingga mengakibatkan wilayah Bengkulu rawan terhadap gempa bumi. Untuk mewaspadai bencana gempa bumi tersebut

diperlukan peningkatan penentuan ketepatan parameter gempa bumi. Keakuratan dalam penentuan parameter gempa bumi tersebut dapat menentukan kualitas data dan memberikan informasi yang lebih akurat kepada masyarakat. Salah satunya dengan menentukan model kecepatan gelombang P dan relokasi hiposenter.

Parameter gempa bumi meliputi : (1) Waktu kejadian gempa bumi (*Origin Time*); (2) Episenter; (3) Kedalaman sumber gempa bumi; dan (4) Kekuatan gempa bumi atau magnitudo.

Relokasi hiposenter merupakan koreksi dari parameter hiposenter gempa bumi. Relokasi hiposenter dilakukan untuk memperbaharui lokasi hiposenter gempa bumi dari data BMKG. Faktor penting untuk menentukan hiposenter gempa bumi adalah waktu tiba gelombang primer (t_p), kecepatan gelombang primer (V_p) dan *origin time*.

Model kecepatan gelombang primer merupakan suatu fungsi dari kedalaman (h) dan kecepatan gelombang primer (V_p). Gelombang primer merupakan gelombang yang tercatat pertama kali di seismogram. Gelombang tersebut mempunyai kecepatan rambat 7 km/s sampai 14 km/s. Model struktur kecepatan gelombang gempa dapat ditentukan dengan memanfaatkan seperangkat data pengamatan gempa yang meliputi data waktu tiba (*arrival time*) atau waktu tempuh (*travel time*) gelombang gempa yang terekam pada seismogram. Penentuan model struktur kecepatan gelombang gempa semacam ini dikenal sebagai metoda inversi (Puspito, 1996). Salah satu metode dalam metoda inversi ini adalah metode *Coupled Velocity-Hypocenter*.

Metode *Coupled Velocity-Hypocenter* merupakan metode yang digunakan untuk memecahkan permasalahan menentukan model kecepatan 1-D gelombang, relokasi gempa dan koreksi stasiun secara bersamaan menggunakan prinsip metode Geiger. Metode ini digunakan untuk gempa lokal (Rachman dan Nugraha, 2012). Permasalahan metode tersebut dapat diselesaikan menggunakan *software* Velest 3.3.

Pada penelitian sebelumnya oleh Rachman dan Nugraha (2012) di wilayah segmen sesar Aceh dan segmen Renun yang merupakan bagian dari *Sumatra Fault Zone (SFZ)* dengan *software* Velest 3.1 menggunakan metode *Coupled Velocity-Hypocenter* menghasilkan lokasi gempa bumi setelah relokasi menunjukkan lebih terfokus dan terkonsentrasi di sekitar segmen Aceh dan segmen Renum dan model 1-D struktur kecepatan gelombang P disekitar sesar-sesar juga berhasil ditentukan dimana pada kedalaman < 8 km lebih cepat dari pada kecepatan model awal, sedangkan pada kedalaman 8-50 lebih lambat dari pada kecepatan model awal.

Meninjau dari permasalahan tersebut diperlukan model kecepatan pada setiap wilayah salah satunya pada wilayah Bengkulu yang intensitas gempa bumi cukup tinggi. Pada penelitian ini bermaksud menerapkan metode *Coupled Velocity-Hypocenter* untuk menentukan model kecepatan 1-D gelombang P dengan asumsi-asumsi bahwa bumi terdiri dari lapisan-lapisan tipis dan setiap lapisan mempunyai sifat homogen serta menentukan relokasi hiposenter menggunakan *software* Velest 3.3 pada wilayah Bengkulu.

METODE

Penentuan model kecepatan 1-D gelombang P dan relokasi hiposenter secara simultan pada penelitian ini menggunakan program Velest 3.3. Metode yang digunakan dalam program tersebut adalah metode *Coupled Velocity-Hypocenter* yang merupakan salah satu metode inversi. Dalam proses inversi metode *Coupled Velocity-Hypocenter* akan menghasilkan inversi *travel time*.

Data Input

- Parameter Gempa bumi
- Model kecepatan
- Travel Time
- Koordinat Station pencatat gempa

Model Kuantitatif

$$r_{res} = t_{obs}^i - t_{cal}^i$$

Data Output

- Model Kecepatan baru
- Relokasi Hiposenter

Gambar 1. Skema rancangan metode inversi menggunakan Velest 3.3

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari *origin time*, lokasi episenter, kedalaman pusat gempa, magnitudo dan waktu tiba gelombang gempa di setiap stasiun yang diperoleh dari katalog data BMKG. Data gempa yang digunakan ± 40 data untuk gempa-gempa lokal yang terjadi di wilayah penelitian $5^{\circ} 40' \text{ LS} - 2^{\circ} 0' \text{ LS}$ dan $100^{\circ} 40' \text{ BT} - 104^{\circ} 0' \text{ BT}$, dengan magnitudo $\geq 3,0$ SR dan kedalaman 0-25 km. Stasiun perekam gelombang seismik yang digunakan yaitu KRJI, KSI, MNAI, MASI, MDSI, MKBI, LHSI, PPSI, SLSI, UBSI, LWLI dan EGSI.

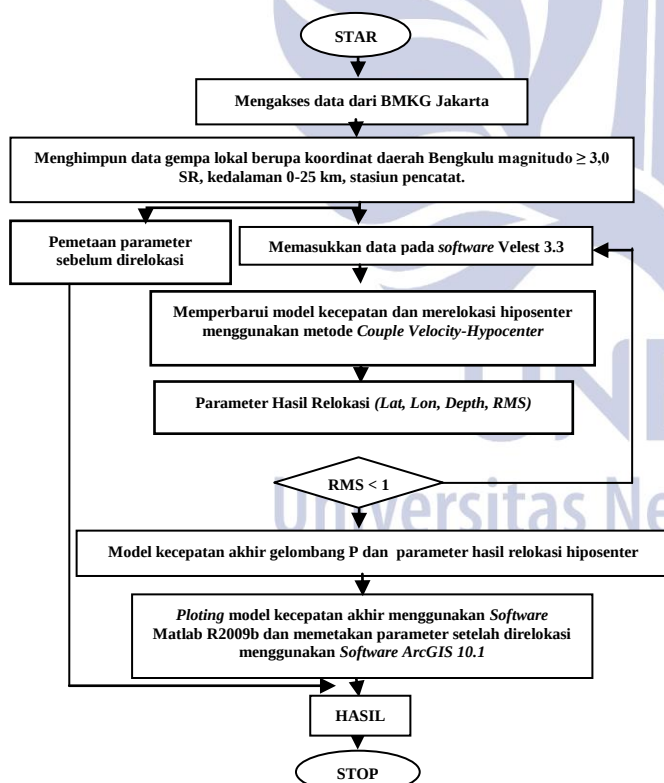
Pada penelitian ini sebagai model awal kecepatan gelombang P (V_p) yang digunakan adalah model struktur kecepatan hasil penelitian Madlazim dan Santosa (2010) untuk struktur kecepatan gelombang P di sepanjang *Sumatran Fault Zone (SFZ)*. Model awal struktur kecepatan dibuat dengan asumsi model bumi berlapis.

Pada model awal kecepatan ini sampai kedalaman 50 km. Jumlah lapisan adalah 9 lapisan dengan tebal masing-masing lapisan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Model awal 1-D kecepatan gelombang P dalam penelitian ini (Madlazim dan Santosa, 2010)

Kedalaman (km/s)	Kecepatan Gelombang P (km/s)
3.89	-3 s/d 4
3.97	4 s/d 6
4.47	6 s/d 8
5.87	8 s/d 10
6.5	10 s/d 18
6.7	18 s/d 22
7.15	22 s/d 35
7.67	35 s/d 50
8.01	> 50

Pengolahan data pada penelitian ini yang pertama kita menghimpun data dari BMKG. Mengolah data tersebut menggunakan *software* Velest 3.3 sehingga menghasilkan perbaharuan model kecepatan 1-D gelombang P dan relokasi hiposenter dengan nilai RMS dan GAP. RMS yang dihasilkan harus < 1 dan GAP bernilai antara 122° sampai 180° (Kissling et al, 1995). Diagram alir pengolahan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir pengolahan data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model Kecepatan 1-D Gelombang P

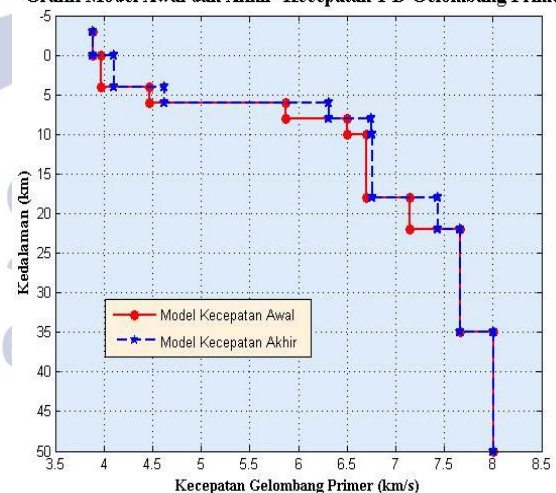
Berdasarkan data gempa bumi di Bengkulu diperoleh data model kecepatan gelombang seismik berupa kecepatan awal dan akhir gelombang P terhadap kedalaman dan relokasi hiposenter gempa bumi di Bengkulu. Perbandingan antara model awal dan akhir kecepatan 1-D gelombang primer terhadap kedalaman, seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Model awal dan akhir kecepatan 1-D gelombang P

Lapisan	Kedalaman (km)	Vp Awal (km/s)	Vp Akhir (km/s)
1	-3 s/d 4	3.89	3.89
2	4 s/d 6	3.97	4.11
3	6 s/d 8	4.47	4.63
4	8 s/d 10	5.87	6.33
5	10 s/d 18	6.5	6.75
6	18 s/d 22	6.7	6.76
7	22 s/d 35	7.15	7.44
8	35 s/d 50	7.67	7.67
9	> 50	8.01	8.01

Berdasarkan Tabel 2 didapatkan kecepatan akhir mengalami peningkatan kecepatan pada beberapa lapisan di antara kedalaman 6 km sampai kedalaman 22 km. *Ploting* grafik model awal dan akhir kecepatan 1-D gelombang P seperti pada Gambar 3.

Grafik Model Awal dan Akhir Kecepatan 1-D Gelombang Primer



Gambar 3. Grafik model awal dan akhir kecepatan 1-D gelombang P

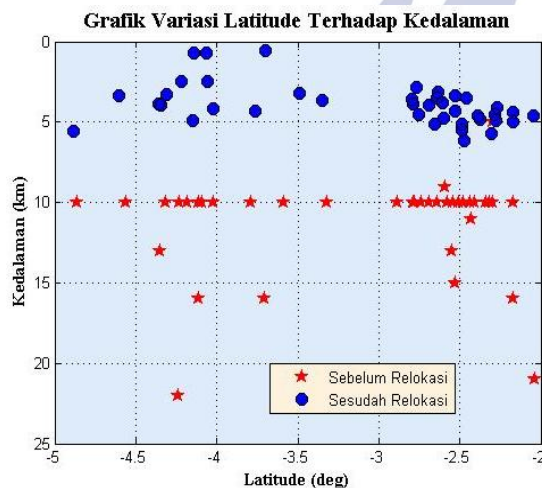
Berdasarkan Gambar 3, *ploting* grafik hubungan antara kecepatan rambat gelombang seismik terhadap kedalaman suatu lapisan jika dibandingkan dengan model kecepatan awal, menghasilkan peningkatan kecepatan gelombang primer pada kedalaman 4 km sampai 22 km dengan kecepatan sebesar 4,22 km/s sampai 7,44 km/s,

sedangkan pada model kecepatan awal dengan yang sama menghasilkan kecepatan 3,97 km/s sampai 7,15 km/s.

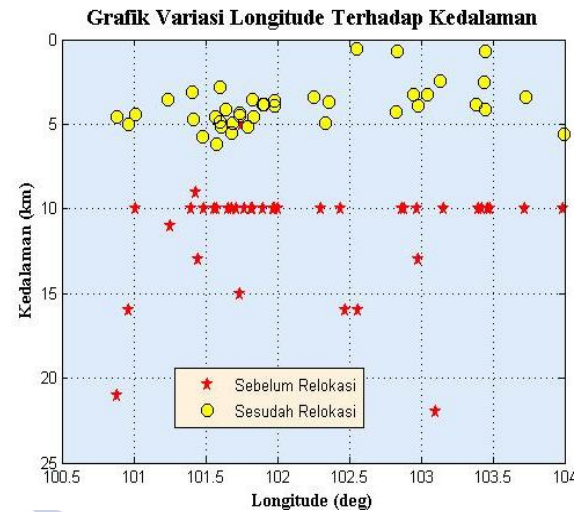
Pada grafik tersebut didapatkan kedalaman dan kecepatan dari masing-masing lapisan *conrad* dan *moho*. pada model akhir kecepatan di wilayah Bengkulu untuk lapisan *conrad* terletak pada kedalaman 6 km dan lapisan *moho* terletak pada kedalaman 18 km, sedangkan pada model awal kecepatan awal di sepanjang Sumatera untuk lapisan *conrad* terletak pada kedalaman 6 km dan lapisan *moho* terletak pada kedalaman 22 km.

B. Relokasi Hiposenter

Berdasarkan hasil relokasi diperoleh data hiposenter dan kedalaman. Data tersebut dapat ditunjukkan melalui grafik sebaran hiposenter terhadap kedalaman seperti pada Gambar 4 dan 5.

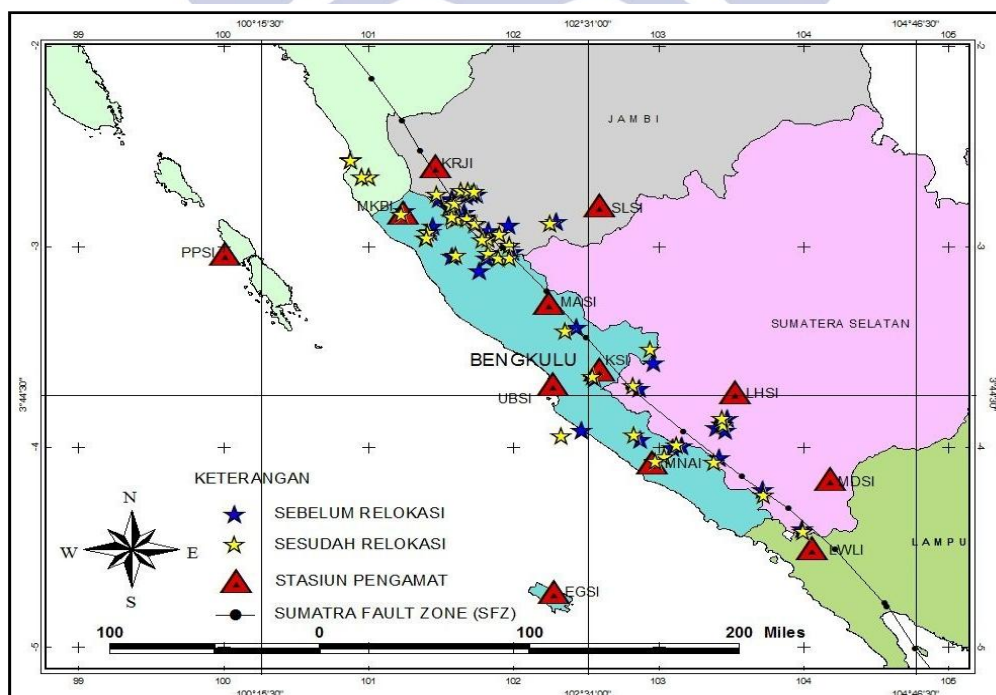


Gambar 4. Posisi variasi latitude terhadap kedalaman



Gambar 5. Posisi variasi longitude terhadap kedalaman

Berdasarkan Gambar 4 dan 5, terlihat posisi hiposenter sebelum relokasi sebagian besar berada pada kedalaman 5 km sampai 22 km. Setelah direlokasi, hiposenter gempa bumi mengalami kenaikan dari posisi awal. Posisi hiposenter sesudah di relokasi sebagian besar berada pada kedalaman antara 0 km sampai 7 km hingga mendekati permukaan. Berdasarkan kedalaman yang dihasilkan, hiposenter gempa bumi tersebut menunjukkan gempa yang terjadi merupakan gempa bumi dangkal. Sehingga peluang terjadinya gempa bumi dengan intensitas kerusakan semakin besar. Berikut peta distribusi hiposenter sebelum dan sesudah relokasi di Bengkulu dapat terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta distribusi hiposenter gempa bumi sebelum dan sesudah relokasi.

Pada Gambar 6 menunjukkan perubahan lokasi hiposenter gempa bumi sebagian besar menjadi lebih terfokus dan merapat pada sesar Semangko, akan tetapi masih terdapat beberapa sebaran hiposenter gempa bumi yang berada jauh dari sesar Semangko. Sesar Semangko merupakan sesar aktif di dunia dan merupakan salah satu penyebab terjadinya gempa bumi di Bengkulu. Berdasarkan pemetaan relokasi hiposenter gempa bumi pada penelitian ini dapat dipetakan daerah yang masih memiliki potensi gempa cukup tinggi.

C. GAP dan RMS

Pada penelitian ini di peroleh GAP azimuth setiap *event* berkisar antara 0° – 358° . Rata-rata GAP yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 179° . Dalam penelitian model kecepatan lokal gelombang seismik 1-D rentang nilai GAP yang baik antara 122° sampai 180° (Kissling et al, 1995).

RMS (*Root Mean Square*) 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. Rata-rata nilai RMS pada penelitian ini kurang dari 1 yaitu sebesar 0,34 detik.

PENUTUP

Simpulan

Pada penelitian ini menggunakan perambatan gelombang primer. Faktor penting dalam menentukan hiposenter gempa bumi adalah waktu tiba gelombang primer (t_p), kecepatan gelombang primer (v_p) dan *origin time*. Gelombang primer merupakan gelombang yang tercatat pertama kali di seismogram. Hal ini menyebabkan gelombang primer lebih mudah untuk dideteksi sehingga mendapatkan waktu tiba maupun waktu tempuh.

Model kecepatan 1-D gelombang P yang dihasilkan dalam penelitian ini menunjukkan perbedaan lebih cepat dengan model kecepatan awal. Diskontinuitas *conrad* berada pada kedalaman 6 km dan diskontinuitas *moho* pada kedalaman 18 km. Hiposenter hasil relokasi lebih mendekati permukaan bumi, sehingga gempa bumi yang terjadi di Bengkulu merupakan gempa dangkal dengan GAP sebesar 179° dan RMS 0,34 detik, hal tersebut diduga aktivitas sesar Semangko yang bergerak *strike-slip* dari kedalaman 0 km sampai kedalaman tertentu.

Saran

Pada penelitian selanjutnya diharapkan dalam pengambilan data harus disesuaikan dengan model kecepatan yang digunakan, untuk melakukan *picking* data gempa bumi diperlukan ketelitian dan Jika didapatkan nilai RMS > 1 maka dapat mengurangi beberapa *travel time* yang bernilai tinggi pada setiap *event* pada inputan *Velest* 3.3.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BMKG yang telah menyediakan data katalog gempa bumi di wilayah Bengkulu.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I. H., Suhendra, dan Efriyadi. 2010. Studi Analisis Parameter Gempa Bengkulu Berdasarkan Data *Single-Station* dan *Multi-Station* serta Pola Sebarannya. Berkala Fisika: ISSN. 1410-9662, Vol. 13, No. 4, Oktober 2010, 105-112.
- BKMG. 2010. Laporan Gempa Bumi Mentawai 25 Oktober 2010. Jakarta.
- Kissling, E., Kradolfer, U., dan Maurer, H. 1995. *Program Velest User's Guide – Short Introduction*. ETH Zuerich. *Second draft version 5th October 1995*.
- Madlazim and Santosa, J.S. 2010. *Simultan Inversion for 1-D P-Wave Velocity Model, Stasiun Correction and Hypocenter of Sumatra Earthquake*. 5th *Kentingan Physics Forum*.
- Puspito, N.T., 1996. Struktur Kecepatan Gelombang Gempa dan Koreksi Stasiun Seismologi di Indonesia. JMS, Vol.1. No.2, November 1996.
- Rachman, T. D., dan Nugraha, A. D. 2012. Penentuan Model 1-D Kecepatan Gelombang P Dan Relokasi Hiposenter Secara Simultan Untuk Data Gempabumi Yang Berasosiasi Dengan Sesar Sumatra Di Wilayah Aceh Dan Sekitarnya. JTM, Vol. XIX No.1, 2012.