

PENENTUAN EPISENTRUM DAN HIPOSENTRUM GEMPA BUMI MENGGUNAKAN METODE *GRID SEARCH* DI ANTELOPE VALLEY, CALIFORNIA

Ambrosius Hernawan Wibisono*, Restu Wildanu Ahadi, Sultan Al Ghifari, Ilham Dani, dan Syamsurijal Rasimeng

Teknik Geofisika, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumatri Brojonegoro No. 1, Lampung 35145, Indonesia.

*Corresponding author. Email: ambroambro712@gmail.com

Manuscript received: 20 July 2021; Received in revised form: 11 October 2021; Accepted: 22 October 2021

Abstrak

Penentuan titik episenter (titik gempa terekam di permukaan bumi) dan hiposenter (titik gempa terekam di bawah permukaan bumi) dapat dilakukan dengan perhitungan numerik. Penelitian ini menentukan titik episenter dan titik hiposenter gempa yang terjadi di Antelope Valley, California, Amerika Serikat tahun 2021 dengan kekuatan sebesar magnitudo 6.0 pada geografis lintang 38.507° LU dan bujur 119.499° BB. Gempa terekam di tiga stasiun terdekat, yaitu stasiun NV31, PASC, dan CMB. Perkiraan titik gempa berada di tengah-tengah ketiga stasiun tersebut, sehingga data perekaman gempa pada ketiga stasiun tersebut sangat penting karena dianggap paling akurat. Penelitian ini menggunakan metode *Grid Search* dengan *plotting* 2D dan 3D. Pengolahan data menggunakan Google Colaboratory, dan SeisGram2K v7. Data perhitungan merujuk informasi resmi dari situs USGS (*United States Geological Survey*). Berdasarkan perhitungan, diperoleh hasil *plotting* 2D bahwa titik episenter pada lintang 39.255° LU dan bujur 119.833° BB. Hasil *plotting* 3D menunjukkan titik hiposenter pada lintang 38.627° LU, bujur 119.788° BB, dengan kedalaman 18 Km.

Kata Kunci: episenter; gempa bumi; *grid search*; hiposenter; SeisGram2K v7.

Abstract

Determination of the epicenter point (the epicenter point recorded on the earth's surface) and the hypocenter (the epicenter point recorded below the earth's surface) earthquakes can be done with numerical calculations. This study determined the epicenter and hypocenter point of the earthquake that occurred in Antelope Valley, California, United States in 2021 with a magnitude 6.0 at geographic latitude 38.507° NL and longitude 119.499° WL. The quake was recorded at three nearby stations, NV31, PASC, and CMB. The estimated point of the earthquake is in the middle of the three stations, so earthquake recording data at all three stations is very important because it is considered the most accurate. The study used Grid Search by plotting 2D and 3D method. Data processing using Google Collaboratory, and SeisGram2K v7. The calculation data refers to official information from the USGS (United States Geological Survey) website. Based on calculation, obtained the result of plotting 2D that the epicenter points at latitude $39,255^{\circ}$ NL and longitude 119.833° WL. The results of 3D plotting show the hypocenter point at latitude $38,627^{\circ}$ NL, longitude $119,788^{\circ}$ WL, with a depth of 18 Km.

Keywords: earthquake; epicenter; grid search; hypocenter; SeisGram2K v7.

Pendahuluan

Fisiografis daratan Amerika bagian utara terbagi atas dasar kesamaan karakteristik wilayahnya. Bentuk pengklasifikasian didasarkan pada karakteristik batuan, bentuk lahan, iklim, tanah, vegetasi, drainase, maupun sejarah geologi, dan geomorfologinya. Pengaruh asal fisiografis tersebut oleh karena adanya aktivitas tektonik, seperti penunjaman Lempeng Farallon terhadap Lempeng Amerika Utara, dan pergerakan *transform* antara Lempeng Pasifik dengan Lempeng Amerika Utara (DeCourten, 2008). Aktivitas tektonik tersebut merupakan pengaruh seismik dari dalam bumi yang mendasari dipilihnya daerah tersebut sebagai tempat penelitian. Maka dari itu, diperlukan sebuah metode untuk mendeteksi gelombang seismik tersebut yang dikenal oleh masyarakat umum sebagai gempa bumi. Berdasarkan letak geografis Pegunungan Sierra Nevada berada di California dengan mengarah barat laut dan membentang sejauh lebih dari 700 km. Gunung Whitney sebagai puncak tertinggi daratan Amerika Serikat dengan ketinggian 4418 mdpl terletak di kawasan Pegunungan Sierra Nevada. Batholit merupakan batuan dasar yang mendominasi Pegunungan Sierra Nevada pada era Mesozoik yang terletak di batas Amerika Utara bagian barat karena hasil dari subduksi Lempeng Farallon (Tanjung, 2018). *Strike-slip* aktif dan sesar normal di sepanjang batas timur Sierra Nevada terutama mengakomodasi translasi ke arah barat laut dari Lempeng Mikro Sierra Nevada–Central Valley. Sesar *strike-slip* yang berbatasan dengan Lempeng Mikro Sierra bagian timur adalah sub-paralel dengan lingkaran kecil di sekitar kutub Euler Sierra Nevada–Amerika Utara. Sesar normal dari sistem sesar *frontal* Sierra Nevada memiliki *strike* 45° searah jarum jam dari lintasan lingkaran kecil dan menunjukkan pola *en echelon*, konsisten dengan formasi dalam rezim *transcurrent* dekstral. Kinematik *inversion* pada *focal mechanisms* gempa dari Sabuk Walker

Lane yang berbatasan dengan Sierra Nevada timur menunjukkan bahwa deformasi seismogenik terutama dicirikan oleh geser horizontal dan penipisan kerak miring. Sesar normal di sepanjang sebagian besar *front* jangkauan Sierran timur dengan demikian tampaknya terutama mengakomodasi translasi lempeng mikro daripada pengangkatan Sierran atau perluasan *basin* dan rentang regional (Unruh dkk., 2003)

Gempa bumi adalah fenomena yang menimbulkan getaran di bumi karena adanya pergerakan lempeng, aktivitas vulkanik, dan runtuhnya batuan (Rysnawati dkk., 2017). Terjadinya gempa bumi tektonik diakibatkan pergerakan lempeng yang terakumulasi. Gelombang seismik bergerak sebagai efek energi yang menghantarkan getaran atau guncangan tanah sehingga dirasakan di permukaan bumi (Sunarjo dkk., 2012). Ketika gempa merambat pada batuan maka terjadi elastisitas. Padatan elastis dapat menyebabkan pergerakan permukaan setelah gempa karena merambatkan berbagai fase gelombang. Gelombang yang merambat, berupa gelombang P dan gelombang S. Selain itu terdapat gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love* sebagai gelombang kombinasi (Palupi dan Raharjo, 2020). Penelitian akan fenomena gempa bumi memunculkan pengetahuan akan dampak akibat gempa bumi, pemodelan gempa bumi, dan diketahuinya informasi untuk mempelajari parameter-parameter kegempaan (Arimuko dkk., 2019). Parameter kegempaan berupa waktu tiba gelombang gempa (*origin time*), sumber asal (hiposenter) dan magnitudo (Rahman dan Santosa, 2013).

Hiposenter merupakan titik pusat terjadinya gempa bumi pada kedalaman tertentu. Menurut Kusuma (2018) ada beberapa jenis gempa bumi berdasarkan kedalaman hiposenternya, yang pertama gempa bumi dangkal dengan kedalaman pusat kurang dari 70 Kilometer, gempa bumi sedang

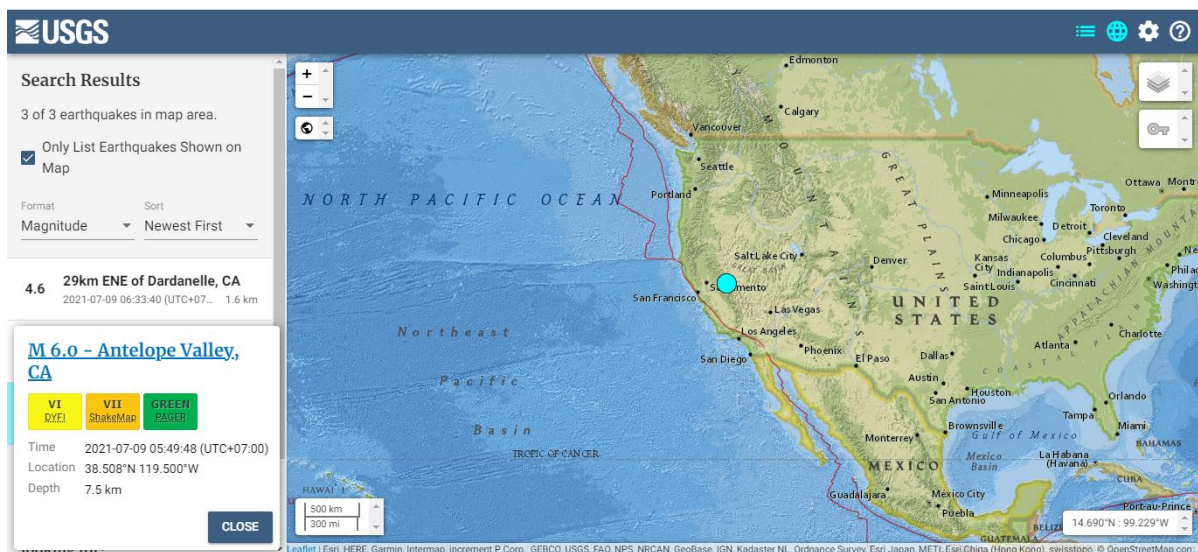
dengan kedalaman pusat 70 – 300 Kilometer. Gempa bumi dalam dengan kedalaman pusat 300 – 700 Kilometer. Dalam seismologi, penentuan lokasi hiposenter dapat diketahui menggunakan perhitungan numerik berbasis komputer. Keunggulan dari penggunaan perhitungan numerik yaitu untuk mendapatkan hasil dengan cepat (Arimuko dkk., 2019).

Penelitian ini menggunakan perhitungan numerik untuk menentukan titik episenter dan titik hiposenter gempa yang terjadi di Valley, California, Amerika Serikat tahun 2021 melalui data yang terekam oleh stasiun gempa. Pemilihan stasiun gempa pada daerah penelitian didasarkan adanya rentang letak antar stasiun yang relatif dekat, sehingga menambah tingkat keakuratan penelitian ini. Pemilihan daerah penelitian didasarkan keterbaruan informasi data gempa yang terekam oleh stasiun gempa dalam kurun waktu terkini.

Sehingga belum adanya pengolahan akan data gempa tersebut. Maka perlu ditelaah letak hiposenter dan episenter gelombang gempa tersebut sebagai sebuah informasi fenomena yang terjadi dalam kurun waktu saat ini di daerah penelitian. Metode perhitungan menggunakan metode *Grid Search* dengan *plotting* 2D dan 3D, sedangkan pengolahan data menggunakan Google Colaboratory berbasis Phyton 3, dan SeisGram2K v7. Data perhitungan merujuk informasi resmi dari situs USGS.

Metode Penelitian

Perangkat utama/ peralatan penunjang penelitian ini berupa perangkat keras (*hardware*), yaitu laptop dengan spesifikasi core i7 dan RAM 8 GB. Perangkat lunak (*software*) untuk mengolah data, yaitu program Google Colaboratory, dan SeisGram2K v7.0.OX10.



Gambar 1. Lokasi episenter gempa (lingkaran warna biru muda) di Antelope Valley, California, berdasarkan USGS.

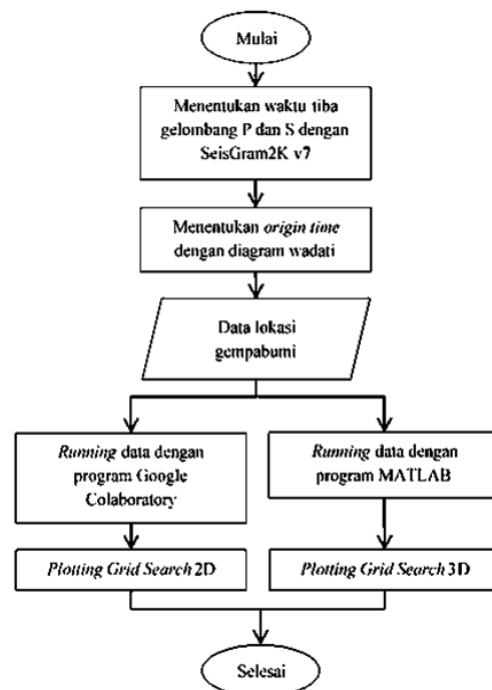
Gambar 1 menunjukkan data lokasi episenter penelitian sebagai data validasi/ rujukan yang dirilis oleh USGS (*United States Geological Survey*), sedangkan data perhitungan yang dipergunakan dalam penelitian ini menggunakan katalog data yang dirilis situs IRIS (*Incorporated Research Institutions for Seismology*). Data penelitian diunduh pada katalog IRIS tanggal 8 Juli 2021, pukul 22:49:48 UTC

merupakan data gempa dengan kekuatan magnitudo 6.0 dengan kedalaman 7,45 km berada di Antelope Valley, di negara bagian California, Amerika Serikat. Dengan lokasi titik gempa terukur lintang 38.5075° LU, bujur 119.499833° BB. Penelitian akan titik gempa ini terekam oleh sebanyak 3 stasiun pengamatan gempa terdekat, yaitu CMB (Columbia College) di Columbia, California, Amerika Serikat dengan

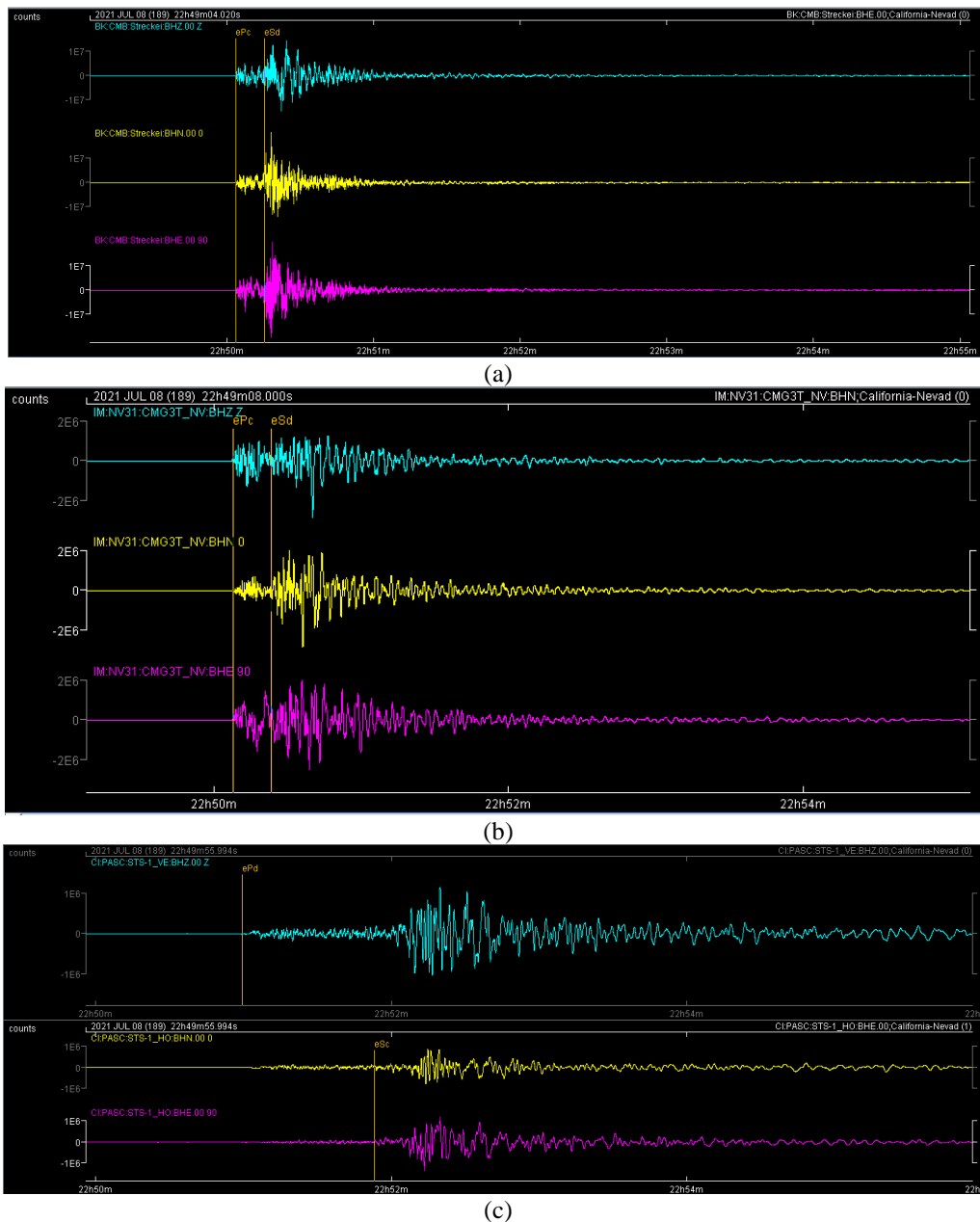
koordinat lintang $38,03^{\circ}$ LU, bujur $120,39^{\circ}$ BB, stasiun NV31 (NVAR Array Site 31) di Mina, Nevada, Amerika Serikat dengan koordinat lintang $38,43^{\circ}$ LU, bujur $118,16^{\circ}$ BB, dan stasiun PASC (Art Center College of Design (GSN-affiliate)) di Los Angeles, Amerika Serikat dengan koordinat lintang $34,17^{\circ}$ LU, bujur $118,19^{\circ}$ BB.

Pengolahan data dilakukan dengan metode *Grid Search* untuk menemukan hasil titik episenter dan titik hiposenter gempa. Metode ini dapat menghasilkan *plotting* berbentuk 2D untuk mengetahui titik episenter dan 3D untuk mengetahui titik hiposenter. Metode *Grid Search* diketahui sebagai solusi atas inversi non-linier yang menyertakan pendekatan global (Nugroho dkk., 2007). Metode *Grid Search* juga mengevaluasi rentang pencarian dari sumber gempa bumi. Definisi dari mengevaluasi setiap titik adalah menghitung nilai t_i^{cal} (waktu tiba gelombang pada stasiun ke-I hasil perhitungan) di titik tersebut. Nilai t_i^{cal} setiap stasiun akan dibandingkan dengan t_i^{obs} (waktu tiba gelombang pada stasiun ke-i) setiap stasiun. Jika dievaluasi setiap titik, maka akan ada sebuah titik yang memiliki nilai t_i^{cal} mirip dengan t_i^{obs} . Titik ini lah yang berpotensi menjadi titik sumber gempa. Pengukuran kemiripan nilai t_i^{cal} dan t_i^{obs} adalah dengan menghitung nilai *error root mean square* (RMS). Metode inversi digunakan untuk memperoleh informasi akan suatu sistem fisika berdasarkan observasi terhadap sistem tersebut dimana dalam bentuk metode matematika dan statistika (Grandis, 2009). Metode ini adalah kebalikan dari *forward modelling*. Metode inversi terbagi atas inversi linier dan non-linier. Inversi diterapkan sebagai cara mencari minimum suatu fungsi obyektif yang menyatakan selisih antara data pengamatan dan data teoritis untuk suatu model tertentu. Secara general, data geofisika bersifat non-linier,

dikarenakan berupa data yang acak atau *random*, yang dapat dijumpai pada data gempa bumi dari beberapa stasiun yang tentu saja berbeda koordinat pada setiap stasiun. Pengolahan data dapat dilakukan dengan *picking* data terlebih dahulu oleh program SeisGram2K untuk menentukan waktu tiba gelombang primer (P) dan sekunder (S) serta interval keduanya dari setiap stasiun gempa. Informasi data tersebut kemudian dapat diolah untuk mendapatkan t_o atau *origin time* gempa menggunakan Diagram Wadati. Kemudian dilanjutkan untuk mengolah data dengan Google Colaboratory untuk menentukan titik episenter yang berbentuk *plotting* 2D. Di samping itu, dihasilkan juga *plotting* 3D untuk mendapatkan titik hiposenter. Proses dalam mengolah data gempa bumi memerlukan adanya t_i^{obs} pada setiap stasiun pengamat gempa bumi. t_i^{obs} ini diperlukan untuk mengetahui waktu tempuh gelombang P yang tercatat pertama kali pada stasiun pencatat. Adapun tahapan penelitian digambarkan pada diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Penelitian.



Gambar 3. Hasil picking gelombang P dan S pada stasiun (a) CMB, (b) NV31, (c) PASC.

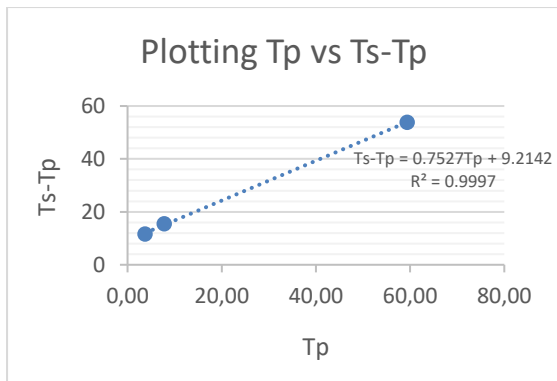
Sebelum melakukan pengolahan data menggunakan *Grid Search*, maka harus ditentukan terlebih dahulu interval waktu tiba gelombang P dan gelombang S. Proses penentuan tersebut menggunakan SeisGram2K v7 dengan cara *picking* fasa gelombang P dan S. Adapun hasil picking gelombang P dan S dari ketiga stasiun ditunjukkan pada Gambar 3.

Berdasarkan hasil *picking* fasa gelombang P dan S dari ketiga stasiun pada Gambar 3 dapat diperoleh tabel hasil perhitungan sebagai berikut (Tabel 1),

Tabel 1. Interval waktu tiba gelombang P dan S.

Stasiun	T_p	T_s	$T_s - T_p$
CMB	22:50:03,654	22:50:15,280	11.626
PASC	22:50:59,430	22:51:53,324	53.894
NV31	22:50:07,776	22:50:23,264	15.488

Tahap selanjutnya adalah menentukan nilai *origin time* dari gempa menggunakan Diagram Wadati, sehingga diperoleh grafik sebagai berikut (Gambar 4):



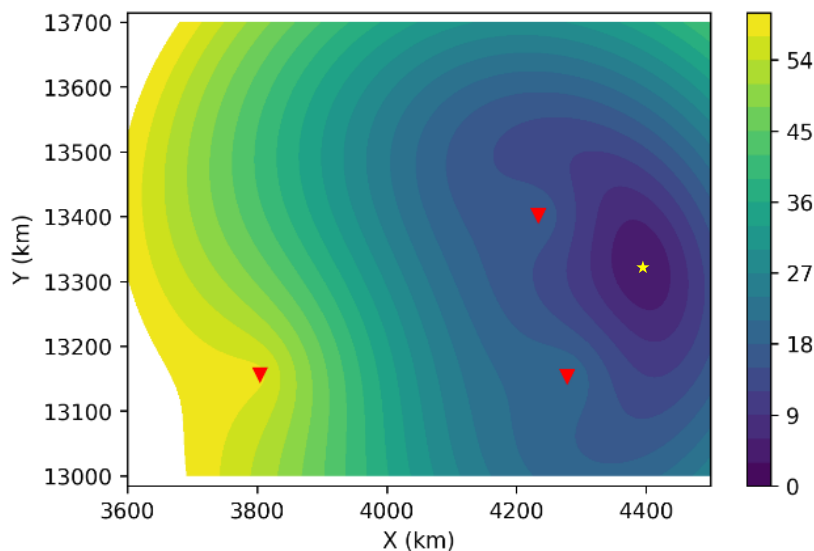
Gambar 4. Grafik hubungan T_p vs T_s-T_p .

Berdasarkan Gambar 4. diperoleh bahwa formula $T_s-T_p = 0,7527T_p + 9,2142$ menunjukkan nilai koefisien determinasi sebesar 0,9997, mengikuti keterangan pada

sumbu X adalah T_p atau t_i^{obs} dan sumbu Y adalah T_s-T_p (interval waktu tiba gelombang S dan P) diperoleh parameter *origin time*, yaitu 10:49:48 PM.

Hasil dan Pembahasan

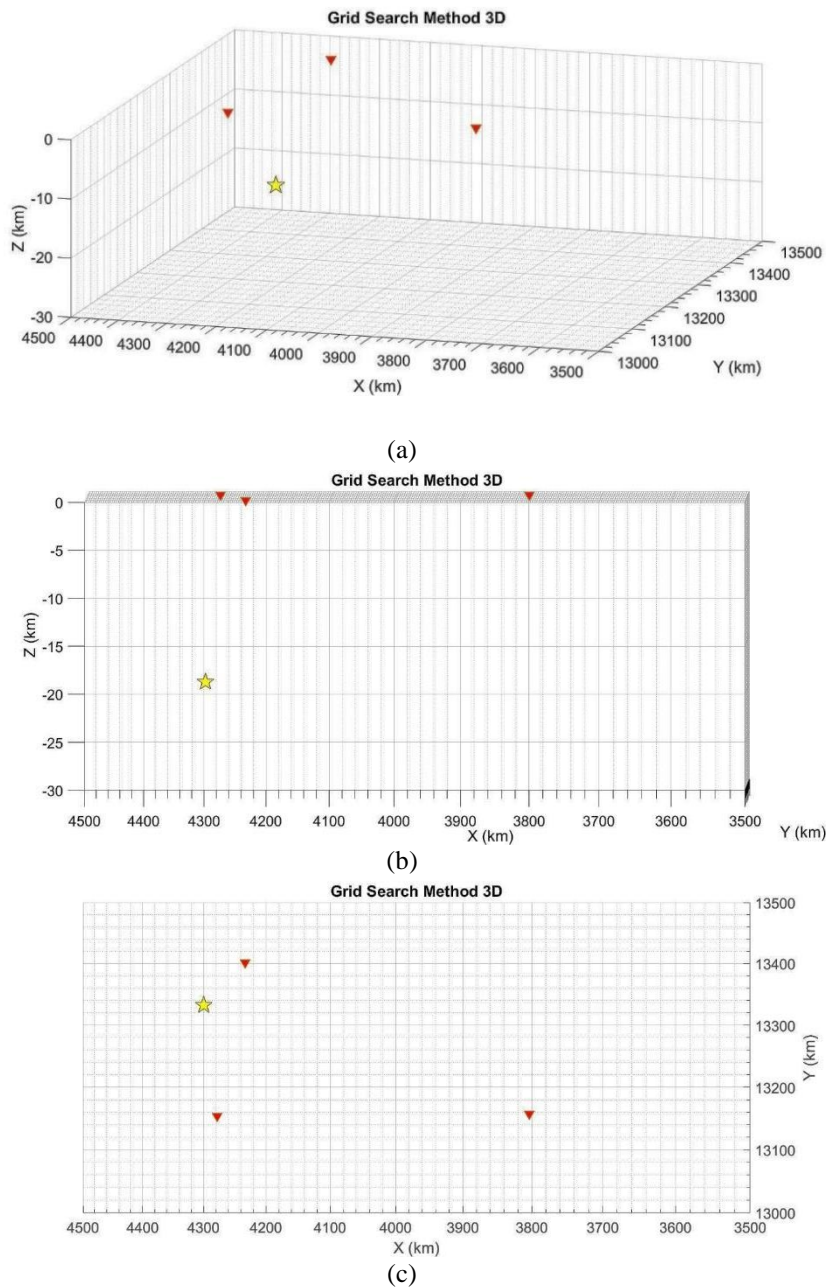
Pemakaian metode *Grid Search* dapat dilakukan proses penentuan episenter dengan tampilan 2D dan hiposenter dengan tampilan 3D untuk menentukan lokasi gempa, dengan adanya *origin time* sebagai parameter pedeteksi titik gempa. Berikut adalah hasil perhitungan episenter menggunakan metode *Grid Search 2D*:



Gambar 5. Hasil relokasi episenter gempa (bintang kuning) beserta letak stasiun gempa (segitiga merah) dengan metode *Grid Search 2D*.

Berdasarkan Gambar 5 diperoleh perkiraan posisi episenter berada di sumbu X (garis lintang) 4370 km dan sumbu Y (garis bujur) pada 13340 km. Perkiraan posisi episenter tersebut diperoleh karena memiliki nilai *error RMS* yang paling kecil, yakni sebesar 0-1 detik (warna ungu tua). Hasil posisi episenter tersebut masih dalam bentuk kilometer, sehingga untuk mendapatkan dalam bentuk derajat perlu dilakukan konversi sehingga diperoleh nilai lintang $39,255^\circ$ LU dan bujur $119,833^\circ$ BB. Hasil perkiraan tersebut masih belum cukup dijadikan parameter dalam penentuan

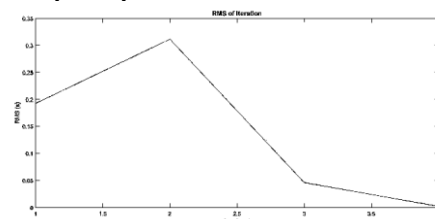
posisi hiposenter gempa yang akurat karena belum memiliki komponen kedalaman. Akan tetapi dengan nilai *error RMS* yang kecil maka dapat digunakan sebagai penentuan awal lokasi episenter gempa yang kemudian akan dikombinasikan dengan metode *Grid Search 3D* untuk menentukan hiposenter gempa. Penentuan hiposenter gempa menggunakan *Grid Search 3D* dengan menerapkan pendekatan inversi non-linear diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 6. Hasil relokasi hiposenter gempa (bintang kuning) beserta stasiun gempa (segitiga merah) dengan metode *Grid Search* 3D tampak (a) seluruh, (b) samping, (c) atas.

Hasil penentuan hiposenter gempa menggunakan *Grid Search* 3D pada Gambar 6 dapat diketahui bahwa sumbu X (*West-East*) adalah garis lintang dalam km, sumbu Y (*North-South*) adalah garis bujur dalam km, dan sumbu Z (*Depth*) adalah zona kedalaman yang membentuk ruang relokasi titik hiposenter. Simbolisasi bintang berwarna kuning menandakan titik hiposenter dan segitiga berwarna merah menandakan posisi stasiun gempa bumi. Titik hiposenter berada pada garis lintang

4300 km, garis bujur 13335 km dan pada kedalaman 18 km. Apabila dikonversi dalam derajat maka diperoleh nilai lintang $38,627^\circ$ LU, bujur $119,788^\circ$ BB. Nilai *error* RMS seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik *Error* RMS Metode *Grid Search* 3D.

Berdasarkan hasil perhitungan relokasi diperoleh titik hiposenter gempa pada lintang $38,627^{\circ}$ LU, bujur $119,788^{\circ}$ BB dengan kedalaman 18 km serta titik episenter gempa pada lintang $39,255^{\circ}$ LU dan bujur $119,833^{\circ}$ BB. Hasil perhitungan dapat dirujuk kepada data USGS sebagai validasi. Data USGS menyatakan bahwa lokasi hiposenter gempa pada lintang $38,508^{\circ}$ LU, bujur $119,500^{\circ}$ BB, dan di kedalaman 7,5 km. Terdapat selisih episenter $0,747^{\circ}$ LU dan $0,333^{\circ}$ BB dari data hasil.

Kesimpulan

1. Berdasarkan pengolahan dengan Metode *Grid Search* secara 2D dan 3D maka didapatkan posisi hiposenter relokasi berada pada lintang $38,627^{\circ}$ LU, bujur $119,788^{\circ}$ BB dan kedalaman 18 Km. Sedangkan berdasarkan data USGS, hiposenter gempa berada pada lintang $38,508^{\circ}$ LU, bujur $119,500^{\circ}$ BB dan kedalaman 7,5 km.
2. Pada penentuan posisi episenter gempa bumi menggunakan Metode *Grid Search* 2D didapatkan selisih episenter $0,747^{\circ}$ LU dan $0,333^{\circ}$ BB dari data acuan (USGS), artinya penggunaan Metode *Grid Search* 2D dapat digunakan sebagai penentuan posisi episenter yang sesungguhnya.
3. Penentuan posisi episenter dan hiposenter tidak dapat dilakukan menggunakan Metode *Grid Search* saja, akan tetapi harus dilengkapi pendekatan inversi secara non-linear terutama pada Metode *Grid Search* 3D. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kedalaman gempa yang memiliki *error* tidak terlalu jauh dengan yang sesungguhnya.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan kepada IRIS (*Incorporated Research Institutions for Seismology*) sebagai penyedia sumber data. Kemudian, kepada USGS (*United States*

Geological Survey) atas pengaksesan data gempa. Juga kepada rekan – rekan satu penelitian yang sudah saling membantu menyelesaikan dan menyusun penelitian ini hingga selesai.

Daftar Pustaka

- Arimuko, A., Yoga, D.P., dan Hendri, S. 2019. *Model Kecepatan 1-D Gelombang P dan Gelombang S dari Data Hasil Relokasi Hiposenter di Wilayah Gunung Sinabung*. Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika 5(3), pp.1-10. doi: <https://doi.org/10.36754/jmkg.v5i3.77>
- Decourten, F. 2008. *Geology of Northern California*. Department of Earth Science Sierra College. USGS.
- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika. Edisi ke-1*. Bandung: Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
- Kusuma, A.T. 2018. *Penentuan Zona Reservoir Menggunakan Data Magnetotelluric (MT), Microearthquake (MEQ) dan Metode Fault and Fracture Density (FFD) Pada Lapangan Panasbumi "ITE" Provinsi Nusa Tenggara Timur*. Skripsi. Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi Universitas Trisakti, Jakarta.
- Nugroho, H., Widiyantoro, S., dan Ibrahim, G. 2007. *Penentuan Posisi Hiposenter Gempa bumi Dengan Menggunakan Metoda Guided Grid Search Dan Model Struktur Kecepatan Tiga Dimensi*. Jurnal Meteorologi Dan Geofisika, 8(1), pp.48-60. <https://doi.org/10.31172/jmg.v8i1>
- Palupi, I.R., dan Raharjo, W. 2020. *Studi Automatic Picking Waktu Tiba Gelombang P dan S dengan menggunakan Spektogram pada Obspy Python*. Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika. 8(1), pp.77-83.

<https://doi.org/10.23960/JTAF.V8I1.2433>

- Rysnawati, N.M., Sukarasa, I.M., dan Paramarta, I.D.A. 2017. *Analisa Tingkat Bahaya dan Kerentanan Bencana Gempa Bumi di Wilayah Nusa Tenggara Timur (NTT)*. Buletin Fisika. 6(1), pp.32-37. <https://doi.org/10.24843/BF.2017.v18.i01.p06>
- Rahman, Y.Y. dan Santosa, B.J. 2013. *Relokasi Hiposenter Gempa Bumi di Sumatera Selatan dengan Menggunakan Hypo71*. Jurnal Sains dan Seni Pomits. 2(2), pp.82-86. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v2i2.4278>
- Sunarjo., Gunawan, M.T., dan Pribadi, S. 2012. *Gempa Bumi Edisi Populer. Edisi ke-1*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Tanjung, N.A.F. 2018. *Pemodelan Zona Subduksi Lempeng Gorda Dan Area Great Basin di California, Nevada, dan Utah Berdasarkan Data Anomali Gravitasi Satelit*. Disertasi. Universitas Gadjah Mada.
- Unruh, J., Humphrey, J., and Barron, A. 2003. *Transtensional model for the Sierra Nevada frontal fault system, eastern California*. Geology. 31(4), pp.327-330. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2003\)031%3C0327:TMFTS N%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2003)031%3C0327:TMFTS N%3E2.0.CO;2)