PENENTUAN PERSEBARAN HIPOSENTER GEMPA TAHUN 2008 KAWASAN KALDERA TOBA, SUMATERA UTARA

Novia Risnawati

(Teknik Geofisika, Jurusan Teknik Manufaktur dan Kebumian, Institut Teknologi Sumatera) e-mail : (novia.12116114@student.itera.ac.id)

Abstrak. Setelah letusan dahsyat yang terjadi 74000 tahun lalu dan mengakibatkan terbentuknya Kaldera Toba, Gunung Api Toba tidak lagi menunjukkan gejala aktivitasnya. Pada tahun 2008, terjadi sebuah gempa di bagian barat daya Sumatera Utara. Dengan menggunakan data rekaman seismik tersebut yang terfokus pada Kaldera Toba, dilakukan penelitian terkait penentuan persebaran hiposenter gempa dengan menggunakan metode Geiger's Adaptive Damping (GAD), serta dilakukan relokasi dengan menggunakan metode Coupled Hypocenter Velocity dan perangkat lunak VELESTuntuk mendapatkan lokasi hiposenternya. Pengolahan awal data dilakukan dengan picking data seismogram yang berasal dari 28 stasiun pengamatan yang mengelilingi Kaldera Toba untuk periode Mei 2008 hingga Oktober 2008. Dengan diperoleh nilai Vp/Vs sebesar 1,7239 km/s. Hasil akhir relokasi ini menunjukkan bahwa episenter gempa didominasi berada di sisi timur Pulau Samosir dengan hiposenternya pada kedalaman 2,5-7 km. Dibandingkan dengan hasil sebelum relokasi, rms yang diperoleh adalah kurang dari 5 sekon. Nilai kecepatan gelombang P yang diperoleh berkisar 0,7-4,45 km/s serta gelombang S berkisar 1,5-7,7 km/s, dengan jumlah lapisan yang diperoleh ialah 6 lapisan. **Kata Kunci** : Kaldera Toba, Relokasi Hiposenter, *Geiger's Adaptive Damping, Coupled Hypocenter Velocity*.

Abstract. After a massive eruption of 74,000 years ago that resulted in formation of the Toba Caldera, the Toba Volcano had no longer showed signs of its activity. In 2008, an earthquake struck in the southwest of north Sumatra. Using the seismic data which focused on the Toba Caldera, research has been conducted on measuring hiposenters by using Geiger's Adaptive Damping method (GAD), and then relocation by using Coupled Hypocenter Velocity methods and VELESTsoftware to get the location of the hypocenters. On first processing data is done with picking seismogram datas that come from 28 observation stations that surround Toba Caldera for the May 2008 to October 2008, with Vp/Vs value is 1.7239 km/s. The final result of this relocation indicates that the earthquake's epicenters was dominated to the east side of Samosir Island with its hypocenters at 2.5-7 km of depth. Compared to the results before relocation, the RMS obtained are less than 5 second. The velocity value of P wave would range from 0.7-4.45 km/s 0.7-4.45 km/s and velocity value of S wave from 1.5 to 7.7 km/s, with the total of 6 layers obtained.

Keywords : Toba Caldera, hypocenter relocation, Geiger's Adaptive Damping, Coupled Hypocenter Velocity.

PENDAHULUAN

Wilayah Sumatera Utara memiliki potensi gempa bumi yang cukup sering terjadi, baik gempa bumi tektonik atau gempa bumi vulkanik. Terlebih dikarenakan adanya jalur patahan besar Sumatera yang memanjang dari utara hingga selatan provinsi Sumatera Utara, serta terdapat Kaldera Toba yang merupakan sebuah kaldera tektonik vulkanik terbesar di bumi yang mana dahulunya merupakan sebuah Gunung Api Toba yang aktif. Kejadian letusan dahsyat Gunung Api Toba yang terjadi pada 74000 tahun lalu, yang memuntahkan seluruh material piroklastik yang ada di dalam kantong magmanya, sangat mempengaruhi kondisi bumi pada saat itu. Letusan dahsyat tersebut diketahui memiliki VEI (Volcanic Explosivity Index) yang mencapai level 8, hal ini ditandai dengan ditemukannya material piroklastik sisa letusan Gunung Api Toba di China dan India. Selain itu, kehadiran Kaldera Toba yang memiliki Pulau Samosir ditengahnya, juga merupakan hasil letusan dahsyat Gunung Api Toba. Namun setelah letusan tersebut, aktivitas Gunung Api Toba tidak lagi diketahui perkembangannya, bahkan status Gunung Api Toba saat ini telah menjadi gunung api tipe C.

Pada tahun 2008, terdapat rekaman aktivitas gempa yang terjadi di Sumatera Utara. Rekaman gempa tersebut, yang difokuskan pada daerah Kaldera Toba. digunakan peneliti untuk diidentifikasi sumbernya atau aktivitas apa yang menyebabkan gempa tersebut terjadi, apakah merupakan aktivitas tektonik atau merupakan aktivitas vulkanik yang berasal dari Gunung Api Toba itu sendiri. Terlebih dikarenakan keadaan geologi daerah ini yang cukup kompleks serta dekat dengan patahan besar Sumatera. Selain itu, penelitian terdahulu adanya mengenai ditemukannya kembali lokasi magma Gunung Api Toba yang berada dibawah Pulau Samosir dengan kedalaman yang cukup dangkal (Jaxybulatov, 2014), menimbulkan keingintahuan untuk dilakukan penelitian kembali mengenai sumber gempa tersebut.

METODOLOGI

Lokasi penelitian yang digunakan ialah daerah Kaldera Toba, Provinsi Sumatera Utara, menggunakan data seismik dari 28 stasiun perekam dengan periode data Mei hingga Oktober 2008, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Stasiun Daerah Penelitian

Terdapat beberapa tahapan penelitian yang dilakukan hingga memperoleh hasil yang sesuai dengan sasaran.

1. Diagram Alir



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2. Deskripsi Diagram ALir

Secara garis besar, penelitian ini mengikuti alur pada Gambar 4.5 yang di deskripsikan sebagai berikut.

A. Studi Literatur

Tahapan ini dilakukan untuk mendalami teori yang berkaitan mengenai penelitian ini dengan cara membaca paper atau jurnal yang berkaitan dengan daerah penelitian dan metode penelitian yang digunakan yaitu GAD (*Geiger's with Adaptive Damping*) dan *Coupled Velocity Hipocenter*.

B. Picking Data

Penelitian ini menggunakan data dengan format .mseed yang di download dari GFZ Postdam.

Kemudian dilakukan picking terhadap data tersebut untuk memperoleh nilai waktu tiba gelombang P dan S.

C. Plot Diagram Wadati

Dilakukan dua tahap dalam plot Diagram Wadati. Pertama, plot nilai ts-tp dengan tp untuk memperoleh nilai gradien seperti persamaan (1) yang akan disubsitusikan pada persamaan (2) untuk mendapat nilai OT.

$$y = ax + b \tag{1}$$

Kedua, dilakukan plot data ts-tp dengan nilai tp-OT untuk mendapatkan nilai gradien hasil plot yang merupakan nilai origin time keseluruhan. Nilai tersebut akan disubsitusi dalam persamaan (3) untuk mendapatkan nilai vp/vs kejadian gempa.

$$vp/vs = a + 1$$
 (3)

D. GAD Processing

Metode GAD (Geiger's with Adaptive Damping), digunakan untuk memperoleh hasil yang berupa posisi hiposenter awal dengan menggunakan perangkat lunak GAD (Nishi, 2005) yang bertujuan untuk memperoleh nilai residual (rms) terkecil yang seperti pada persamaan (4) dan persamaan (5).

$$rms = t_{obs} - t_{cal}$$
 (4)

$$r = \frac{\partial T}{\partial x_i} \Delta x + \frac{\partial T}{\partial y_i} \Delta y + \frac{\partial T}{\partial z_i} \Delta z + \Delta t$$
 (5)

Keterangan :

- y : gradien
- *a* + *b* : konstanta
- i : konstanta
- *Vp* : Kecepatan gelombang P (km/s)
- *Vs* : Kecepatan gelombang S (km/s)
- OT : Origin time (sekon)
- *tp* : Waktu tiba gelombang P (sekon)
- ts : Waktu tiba gelombang S (sekon)

E. Coupled Velocity Hypocenter Processing Coupled Velocity Hypocenter merupakan metode yang digunakan untuk melakukan relokasi posisi hiposenter akhir dengan menggunakan perangkat lunak Velest (Kissling, 1995) dengan prinsip yang sama dengan Metode Geiger. Secara umum prinsip yang digunakan dalam metode ini sama dengan metode Geiger seperti pada persamaan (6), namun terdapat koreksi stasiun dan diperoleh model kecepatan baru 1-D yang membedakan metode ini dengan metode GAD.

$$r = t_{obs} - t_{cal} = \sum_{k=1}^{4} \frac{\partial f}{\partial h_k} \Delta h_k + \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial f}{\partial m_i} \Delta m_i + e$$
(6)

F. GMT Processing

Pada proses ini, dilakukan plot terhadap posisi hiposenter yang diperoleh dari masing-masing metode. Kemudian dilakukan analisis dan perbandingan tehadap hasil relokasi yang diperoleh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan relokasi posisi hiposenter dari metode GAD dengan menggunakan metode Coupled Velocity Hypocenter, dilakukan perbandingan terhadap hasil yang diperoleh. Hasil relokasi episenter gempa dapat dilihat pada Gambar 3 dan hiposenter gempa dapat dilihat pada Gambar 4.



Terdapat perbedaan yang terjadi setelah dilakukan relokasi hiposenter. Sebelum dilakukan relokasi, posisi hiposenter yang diperoleh cukup menyebar disekitar Kaldera Toba namun berada dominan di Pulau Samosir. Setelah dilakukan relokasi, posisi episenter yang diperoleh lebih terfokus pada Pulau Samosir dan dominan pada sisi timur dari pulau tersebut. Perbedaan yang diperoleh terhadap hiposenter tidak cukup jauh. Namun terdapat hiposenter yang lebih dangkal dan yang lebih dalam dari hiposenter sebelum relokasi, dimana hiposenter sebelum relokasi berkisar antara 3-6 km dibawah permukaan bumi, namun hiposenter setelah relokasi berada diantara 2,5-7 km dibawah permukaan bumi. Perbedaan tersebut dapat terjadi akibat adanya pengaruh koreksi stasiun yang dilakukan pada metode Coupled Hypocenter Velocity , dimana waktu tiba gelombang pada masing-masing stasiun disesuaikan dengan variasi kecepatan lateral terhadap kondisi geologi masing-masing stasiun.



Gambar 5. (a) Diagram Kompas (b) Diagram Rose

Setelah dilakukan plot arah pergeseran dari hasil relokasi dalam diagram rose dan diagram kompas, diperoleh hasil yang mana terdapat beberapa kejadian gempa yang bergeser sejauh 8 km, serta arah pergeseran mendominasi kearah tenggara dan barat daya. Adapun hasil plot tersebut dapat dilihat pada Gambar 5a untuk Diagram Rose dan Gambar 5b untuk Diagram Kompas.





Gambar 7. Model Kecepatan Gelombang S

Terjadi kenaikan nilai kecepatan pada model kecepatan akhir, baik pada gelombang P ataupun gelombang S walau tidak begitu signifikan. Diperolehnya nilai akhir yang tidak jauh berbeda dengan nilai input kecepatan yang diberikan, menunjukkan bahwa nilai kecepatan tersebut semakin mendekati nilai kecepatan masingmasing lapisan. Kenaikan tersebut dipengaruhi oleh geologi yang dilalui oleh gelombang yang memiliki tingkat kepadatan batuan yang berbeda pada daerah yang berbeda. Kepadatan lapisan batuan tersebut dapat dipengaruhi oleh ketebalan masing-masing lapisan, serta jenis batuan yang ikut terendapkan pada lapisan tersebut. Dari hasil yang diperoleh, hal ini mengindikasikan bahwa kejadian gempa tersebut dipicu dari keberadaan Sesar Tuktuk dan Sesar Samosir yang berada pada sisi timur Pulau Samosir (Chesner, 2020).

Selain itu, jika ditinjau dari kedalaman hiposenter yang dangkal, lokasi tersebut merupakan daerah kacau balau (isotrophy) Kaldera Toba yang sangat terdampak oleh letusan dahsyat Gunung Api Toba. Lapisan ini merupakan lapisan yang tidak stabil, dikarenakan jenis batuan penyusun lapisan yang kompleks. Berdasarkan penelitian (Jaxybulatov, 2014), lapisan daerah hiposenter penelitian berkaitan dengan lapisan anisotrophy yang berada dibawah lapisan isotrophy Kaldera Toba. Lapisan anisotrophy ini, merupakan lapisan kerak bumi yang tersusun secara horizontal hingga kedalaman 30 km yang masih dipengaruhi oleh magma Toba bentuk sill. Sill tersebut dalam yang menghubungkan lapisan anisotrophy dan isotrophy daerah ini. Sehingga dapat diketahui bahwa aktivitas gempa ini diindikasi terjadi karena keberadaan lapisan anisotrophy yang dipengaruhi sill yang mulai bergerak naik mencapai lapisan isotrophy dan berpengaruh terhadap posisi sesar Tuktuk dan Sesar Samosir yang diindikasi aktif



Gambar 8. Grafik iterasi hasil relokasi



Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Nilai RMS Metode GAD dengan VELEST

Selain itu diperoleh nilai GAP hasil pengolahan data hiposenter dengan rata-rata 168. Nialai iterasi dan perbandingan nilai rms sebelum relokasi dengan setelah relokasi dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan 5.9

SIMPULAN

Fokus lokasi persebaran episenter gempa Kaldera Toba yang diperoleh berada pada Pulau Samosir dengan kedalaman hiposenter pada 2,5-7 km. Selisih waktu tiba gelombang P dan waktu tiba gelombang S bernilai kurang dari 9 sekon serta jarak episenter terhadap stasiun kurang dari 10000 km. Sehingga gempa yang terjadi dikategorikan sebagai gempa lokal. Seismisitas gempa di kawasan Kaldera Toba, diindikasikan karena adanya aktivitas tektonik yang terjadi pada daerah tersebut, yang berasal dari dua sesar di Pulau Samosir yaitu Sesar Tuktuk dan Sesar Samosir, serta dipicu oleh keberadaan sill yang terdapat pada lapisan isotrophy dan anisotrophy Kaldera Toba yang juga mempengaruhi aktivitas tersebut.

SARAN

Dalam melakukan picking gelombang P dan S, lebih teliti dalam menentukan waktu tiba, agar diperoleh hasil plot Diagram Wadati dan hasil pengolahan hiposenter yang baik. Diperlukan ketelitian yang lebih dalam penggunaan perangkat lunak GAD dan Velest, karena sensitifitas perangkat lunak tersebut cukup teliti terhadap parameter input.

DAFTAR PUSTAKA

K. Jaxybulatov, N. M. Shapiro, I. Koulakov, A. Mordret, M. Landès, dan C. Sens-Schönfelder, "A large magmatic sill complex beneath the Toba caldera," *Science (80-.).*, vol. 346, no. 6209, hal. 617–619, 2014, doi: 10.1126/science.1258582.

B. A. Bolt, "The Nature of Earthquake Ground Motion," *Seism. Des. Handb.*, vol. 5, hal. 1–31, 1989, doi: 10.1007/978-1-4615-9753-7_1.

H. F. Reid, "The California Earthquake of April 18, 1906," *Bull. Am. Geogr. Soc.*, vol. 42, no. 2, hal. 139, 1910, doi: 10.2307/199583.

Sunarjo, M. T. Gunawan, dan S. Pribadi, *Gempabumi Edisi Populer*. 2012.

A. Ratdomopurbo, "Monitoring a Temporal Change of Seismic Velocity in a Volcano: Application to the 1992 Eruption of Mt. Merapi (Indonesia)," vol. 22, no. 7, hal. 775–778, 1995.

Joachim Wassermann, "Volcano Seismology," *Treatise Geophys.*, vol. 4, hal. 389–420, 2007, doi: 10.1016/B978-044452748-6.00073-0.

E. Kissling, W. L. Ellsworth, dan U. Kradolfer, "Initial Reference Models In Local Earthquake Tomography," vol. 99, 1994.

N. Hurukawa, M. Popa, dan M. Radulian, "Relocation of large intermediate-depth earthquakes in the Vrancea region, Romania, since 1934 and a seismic gap," *Earth, Planets Sp.*, vol. 60, no. 6, hal. 565–572, 2008, doi: 10.1186/BF03353119.

Geiger, "Probability method for the determination of earthquakeepicenters from the arrivaltime only, Bull," *St. Louis Univ.*, vol. 8, hal. 60–71, 1912.

K. Nishi, "Hypocenter Calculation Software GAD (Geiger's method with Adaptive Damping)," vol. 1, no. 5 hal. 1–5, 2005.

N. E. Matthews, C. Huber, D. M. Pyle, dan V. C. Smith, "Timescales of magma recharge and reactivation of large silicic systems from ti diffusion in quartz," *J. Petrol.*, vol. 53, no. 7, hal. 1385–1416, 2012, doi: 10.1093/petrology/egs020.

D. T. Aldiss dan S. A. Ghazali, "The regional geology and evolution of the Toba volcano-tectonic depression, Indonesia.," *J. Geol. Soc. London.*, vol. 141, no. 3, hal. 487–500, 1984, doi: 10.1144/gsjgs.141.3.0487.

C. A. Chesner, W. I. Rose, A. Deino, R. Drake, dan J. A. Westgate, "Eruptive history of Earth's largest Quaternary caldera (Toba,Indonesia) clarified," *Geology*, vol. 19, no. 3, hal. 200–203, 1991, doi: 10.1130/0091-7613(1991)019<0200:EHOESL>2.3.CO;2.

"Pokja Sanitasi Kabupaten Toba Samosir," *BKPEKDT*, hal. 22–52, 2012.

S. Mousavi, K. Bauer, M. Korn, dan B. Hejrani, "Seismic tomography reveals a mid-crustal intrusive body, fluid pathways and their relation to the earthquake swarms inWest Bohemia/Vogtland," *Geophys. J. Int.*, vol. 203, no. 2, hal. 1113–1127, 2015, doi: 10.1093/gji/ggv338.

E. Kissling, U. Kradolfer, dan H. Maurer, "Velest user's guide -," *Inst. Geophys. ETH Zurich*, vol. 1, no. 10, 1995.

I. Koulakov, T. Yudistira, B. G. Luehr, dan Wandono, "P, S velocity and VP/VS ratio beneath the Toba caldera complex (Northern Sumatra) from local earthquake tomography," *Geophys. J. Int.*, vol. 177, no. 3, hal. 1121–1139, 2009, doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04114.x.

C. A. Chesner, O. A. Barbee, dan W. C. McIntosh, "The enigmatic origin and emplacement of the Samosir Island Iava domes, Toba Caldera, Sumatra, Indonesia," *Bull. Volcanol.*, vol. 82, no. 3, 2020, doi: 10.1007/s00445-020-1359-9.