

PENENTUAN HIPOSENTER GEMPA GUNUNG KARANGETANG SULAWESI UTARA MENGGUNAKAN METODA RANDOM SEARCH

Nia Maharani

STIKI Indonesia

email : maharani.nst@gmail.com

ABSTRAK

Paper ini membahas tentang aplikasi metoda pencarian acak dalam menentukan titik terjadinya gempa pada gunung Karangetang. Prinsip metoda ini pada dasarnya sama dengan metoda pencarian sistematis tetapi pemilihan model untuk dievaluasi dilakukan dengan cara membangkitkan bilangan random sebanyak 40. Data yang digunakan dalam penelitian adalah data waktu tiba gelombang Primer untuk kejadian gempa tanggal 3, 6, 7, 8, 9 dan 10 April 2002.

Kata Kunci : : hiposenter, metoda pencarian acak, inversi

ABSTRACT

This paper discusses the application of random search methods in determining the earthquake focus on Karangetang mountain. The principle of this method is basically the same as the systematic search method with model selection to be evaluated is done by generating 40 random numbers. The data used in this research is the arrival time of earthquake primary wave on 3, 6, 7, 8, 9 and 10 April 2002.

Keywords : *hypocenter, random search method, inversion*

PENDAHULUAN

Proses inversi di dalam geofisika sangat tergantung dari jumlah parameter model yang digunakan. Pada umumnya data geofisika jumlahnya lebih besar daripada jumlah parameter model sehingga permasalahan inversi dikatakan sebagai *over-determined* atau *over-constrained*.

Penentuan fokus gempa merupakan salah satu permasalahan geofisika yang hubungan antara data dan parameter modelnya tidak linier (non-linier). Solusi inversi non-linier dengan pendekatan linier memiliki kendala karena tebakan awal yang dipilih harus dekat dengan solusi, jika tidak maka solusi akan sangat jauh dengan solusi yang diharapkan dan dapat terjebak ke dalam nilai minimum lokal bukan minimum global. Semakin tidak

linier suatu fungsi obyektif dan semakin banyak jumlah parameter model maka akan semakin kompleks bentuk fungsi obyektifnya.

Untuk mengatasi kelemahan metoda inversi non-linier dengan pendekatan linier maka diperlukan informasi secara global mengenai bentuk permukaan informasi obyektif. Hal ini dapat dilakukan dengan cara evaluasi atau pencarian sistematis. Evaluasi dilakukan untuk setiap model pada ruang model dengan cara perhitungan ke depan (*forward modelling*). Namun metoda tersebut tidak efisien karena banyaknya *forward modelling* yang harus dilakukan untuk mengevaluasi fungsi obyektif jika jumlah parameter model cukup besar.

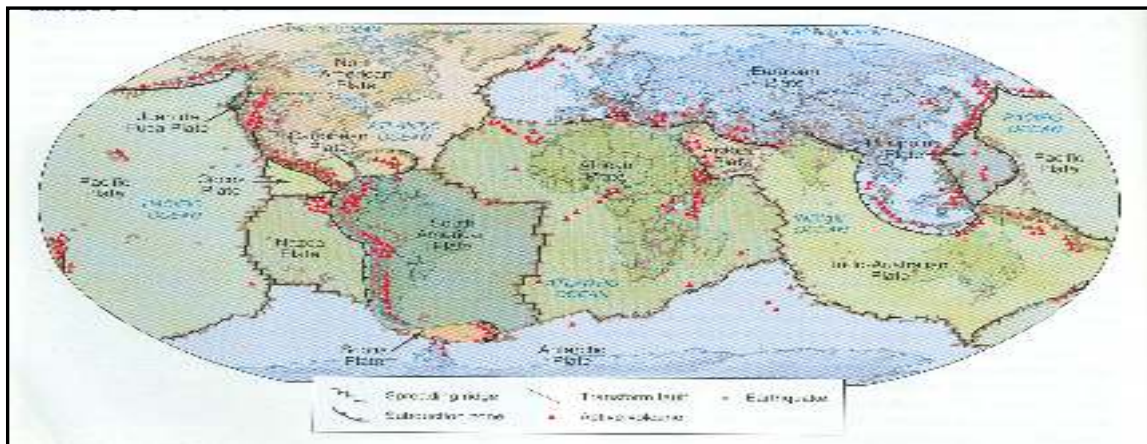
TINJAUAN PUSTAKA

Volkanik Indonesia

Volkanisme merupakan output penting sistem tektonik. Seluruh gunungapi terletak pada jalur tektonik yang memanjang mulai dari pulau Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, Kepulauan Banda, Halmahera dan Kepulauan Sangir Talaud. Gunungapi sepanjang busur cincin disebut ‘Ring of Fire’. Penyebaran gunungapi di Indonesia dibagi menjadi beberapa kelompok yaitu :

- a. Kelompok sunda dimulai dari pulau Weh, Sumatera, Jawa, Bali, Sumbawa, Flores dan beberapa pulau di sebelah utara dan timurnya.

- b. Kelompok Sulawesi – Sangihe tersebar mulai dari Teluk Tomini, Sulawesi Utara sampai dengan kepulauan Sangihe dan Gunungapi Karangetang termasuk kedalam kelompok ini.
- c. Kelompok Halmahera tersebar di beberapa pulau Halmahera bagian barat dan utara



Gambar 1. Jalur Gunung Api di Dunia (*Ring of Fire*)

(http://1.bp.blogspot.com/_gVdhMEug7dw/TSpG AixyEzI/AAAAAAAAAKA/s9aJ17UBEP8/s1600/Tandiarrang-Pembagian-Lempeng.png)

Berdasarkan sejarah erupsinya, gunungapi di Indonesia dibagi menjadi tiga yaitu:

- 1. Gunungapi tipe A
Gunungapi yang melakukan kegiatan erupsi magmatik sesudah tahun 1600.
Contoh diantaranya: Gunung Krakatau, Gunung Salak, Gunung Merapi, **Gunung Karangetang**
- 2. Gunungapi tipe B

Gunungapi yang sejak tahun 1600 tidak menunjukkan kegiatan erupsi magmatik tapi masih memperlihatkan indikasi kegiatan yang diwakili oleh solfatara (gas yang mengandung belerang)
Contoh diantaranya: Gunung Sibayak, Gunung Patuha, Gunung Lawu dan Gunung Wayang Windu

- 3. Gunungapi tipe C
Gunungapi yang pusat erupsinya tidak diketahui dalam sejarah

kegiatannya tetapi memperlihatkan ciri-ciri kegiatan masa lampau yang ditunjukkan oleh lapangan fumarole. Contoh diantaranya:

Kawah Kamojang, Gunung Lahendong, Gunung Sarongsong. Berikut ini disajikan lokasi penelitian.



Gambar 2. Lokasi gunungapi Karangetang terleak di Sulawesi Utara tepatnya di Pulau Siau

Geologi Daerah Penelitian

Struktur kawah

Dari Secara garis besar, kawah gunung Karangetang menempati puncak dan lereng bagian utara selatan yang membentuk satu garis lurus. Berdasarkan peta topografi yang dibuat oleh S. Harto (1962) maka terdapat lima kawah. Tiga kawah menempati di bagian utara yaitu kawah II, kawah III dan kawah IV serta dua lagi di bagian selatan yaitu kawah utama, kawah IV yang berada di kompleks kawah utama.

Kawah – kawah tersebut telah menjadi ajang letusan dalam beberapa periode, setelah itu tidak aktif lagi atau telah tertutup oleh lava. Peta topografi dan puncak lereng selatan gunung Karangetang yang dibuat tahun 1979 hanya memperlihatkan dua kawah yaitu kawah utama di bagian selatan dan kawah II di sisi utara. Dalam tahun 1993 terbentuk kubah lava didalam kawah II tetapi tidak menutupi secara keseluruhan permukaan kawah sehingga tetap terlihat dan pada

kenyataannya masih aktif. Pada Juli 2001, purna leutusan 25 Juni 2001 juga terbentuk kubah lava, di dinding selatan kawah utama atau menutupi kawah IV yang berada pada kompleks kawah utama.

Stratigrafi

Gunung Karangetang sangat kaya dengan lava. Hampir setiap saat terjadi peningkatan kegiatan selalu diikuti oleh lelehan lava. Dalam peta geologi gunungapi Karangetang (2000), batuan dsusun berdasarkan hasil kegiatan gunungapi tersebut, yaitu hasil primer dan skunder. Penamaan batuan primer didasarkan hasil kegiatan gunungapi tersebut. Penamaan batuan primer diurut dengan nomor misalnya dimulai K1.1 (Aliran lava Karangetang 1) hingga KL.17 kecuali Lava Arengkambing yang jelas kejadiannya dalam tahun 1976. Berikut ini keterangan singkat dari stratigrafi batuan Gunung Karangetang dari yang tua hingga yang paling muda.

- a. Aliran Lava 1 Karangetang (Kl.1).
Lava andesit, dijumpai di kaki selatan dan barat sejak pantai hingga ketinggian 300 m.
 - b. Aliran Lava 2 Karangetang. (Kl.2).
Lava andesit basaltis, tersingkap di barat laut puncak.
 - c. Aliran Lava 3 Karangetang (Kl.3).
Lava andesit basaltis ini tersingkap di Nameng, Batubulan (utara).
 - d. Aliran Lava 4 Karangetang (Kl.4).
Satuan lava andesit, dijumpai di tenggara dan sepanjang sisi timur di Kali Beha dan Kali Lanage.
 - e. Aliran Lava 5 Karangetang (Kl.5).
Satuan ini tersingkap di lereng selatan dan umumnya ditutupi oleh lapukan setebal 0,5 m dan berasosiasi dengan endapan guguran lava, berkomposisi andesit.
 - f. Aliran Lava 7 Karangetang (Kl.7).
Lava andesit basaltis, dijumpai di Kali Kanawong dan Batuawang, barat daya puncak selatan Karangetang.
 - g. Aliran Lava 8 Karangetang (Kl.8).
Lava yang menjadi fondasi jalan antara Batuawang dan Beong yang berasosiasi dengan material guguran lava, berkomposisi andesit.
 - h. Aliran Lava 9 Karangetang (Kl.9).
Satuan ini membentuk morfologi Bukit Arengkambing (1400 m) adalah andesit.
 - i. Aliran Lava 10 Karangetang (Kl.10).
Lava andesit abu-abu.
 - j. Aliran Lava 11 Karangetang (Kl.11).
Dari jenis andesit basaltis yang di jumpai di Kali Beha Barat, lereng barat puncak.
 - k. Aliran Lava 12 Karangetang (Kl.12).
Satuan ini berkomposisi andesit basaltis dan dijumpai di bagian timur pada ketinggian 1600 m.
 - l. Aliran Lava 13 Karangetang (Kl.13).
Tersingkap di Kiawang berkomposisi andesit berwarna abu-abu.
 - m. Aliran Lava 14 Karangetang (Kl.14).
Lava ini tersebut di bagian utara di Desa n.Batubulan berkomposisi andesit basaltis.
 - o. Aliran Lava 16 Karangetang (Kl.16).
Lava ini tersingkap di bagian utara puncak adalah lava andesit basaltis.
 - p. Aliran Lava Arengkambing (Akl).
Leleran lava ini terjadi dalam tahun 1976 dan merupakan letusan samping G. Karangetang. Titik letusannya di lereng Arengkambing, pada ketinggian 900 m. Lava mengalir hingga mendekati pantai tenggara Pulau Siau.
 - q. Kubah Lava 1 Karangetang (Kk.1).
Dierupsikan dari Kawah Utara berkomposisi andesit basaltis dan membentuk kubah di puncak.
 - r. Kubah Lava 2 Karangetang (Kk.2).
Terbentuk di Kawah Selatan berkomposisi andesit basaltis berwarna hitam.
 - s. Aliran Lava 17 Karangetang (Kl. 17).
Lava ini mengalir ke barat dan selatan hingga ketinggian 500 $\frac{1}{2}$ 600 m, berkomposisi andesit basaltis.
- Batuan sekunder terdiri dari endapan lahar dan alluvial

METODE PENELITIAN

Data

Data waktu tiba gelombang P diperoleh dengan cara picking pada seismogram digital yang dilakukan di Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi Bandung.

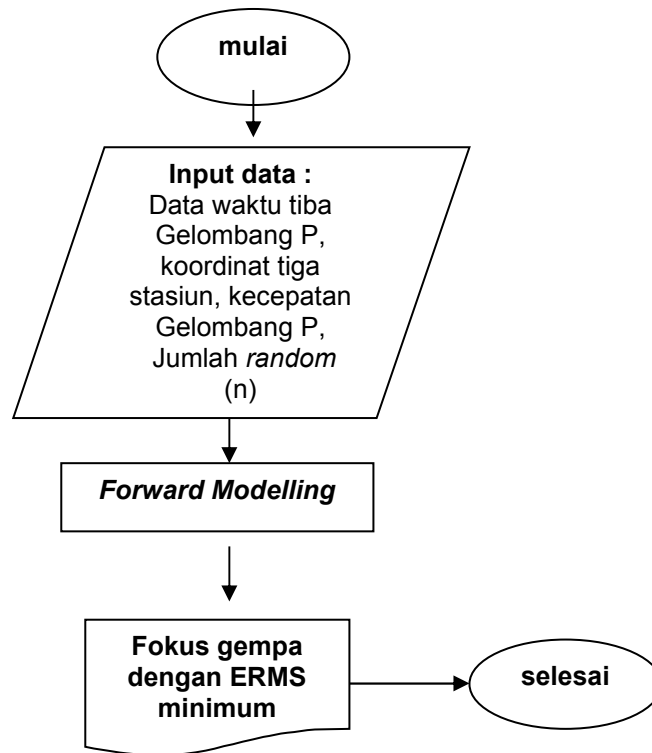
Tabel 1. Koordinat Stasiun Pencatat Gempa Gunung Karangetang

| Stasiun | X (km) | Y (km) | Z (km) |
|---------|--------|---------|--------|
| S0-1 | 1,000 | -1, 889 | 0,300 |
| S0-3 | -2,111 | -1,778 | 0,335 |
| S0-4 | -3,888 | 0,000 | 0,060 |

Tabel 2. Data Waktu Tiba Observasi Gelombang p Dari Tiga Stasiun.

| Tanggal | S0-1 (detik) | S0-3 (detik) | S0-4 (detik) |
|---------------|--------------|--------------|--------------|
| 3 April 2002 | 19,141 | 19,200 | 19,240 |
| 6 April 2002 | 18,710 | 18,660 | 18,671 |
| 7 April 2002 | 30,110 | 30,600 | 29,681 |
| 8 April 2002 | 48,241 | 48,520 | 48,460 |
| 9 April 2002 | 27,191 | 27,330 | 27,590 |
| 10 April 2002 | 12,200 | 12,170 | 12,660 |

Flowchart Penelitian



FORWARD MODELLING

Pemodelan kedepan pada prinsipnya adalah menghitung data yang secara teoritik akan teramati dibawah permukaan bumi. Untuk kasus penentuan hiposenter gempa bumi, misalkan (Xf, Yf, Zf) dengan menggunakan data waktu tiba gelombang P (Ti) di tiga stasiun pencatat gempa dengan masing masing koordinat (Xsi, Ysi, Zsi), dimana i = 1, 2 dan 3. Asumsi yang diambil dalam penelitian ini adalah kecepatan gelombang P (Vp) tetap atau konstan dan wakt terjadinya gempa (*origin*

time) to diketahui. Dari asumsi-asumsi tersebut maka fungsi pemodelan kedepan untuk memperoleh data perhitungan *arrival time* (tical) untuk suatu model atau hiposenter gempa (Xf, Yf dan Zf) dirumuskan seperti berikut :

$$T_{i, cal} = \frac{\sqrt{(X_{s_i} - X_f)^2} + \sqrt{(Y_{s_i} - Y_f)^2} + \sqrt{(Z_{s_i} - Z_f)^2}}{V_p} \tag{1}$$

Fungsi obyektif yang didefinisikan yang didefinisikan sebagai jumlah kuadrat error (faktor kesalahan) dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \sum_{i=1}^n (T_{observasi_i} - T_{perhitungan_i})^2 \tag{2}$$

Fungsi obyektif tersebut menyatakan selisih antara data pengamatan (observasi) dengan data perhitungan (teoritik). Solusi yang diharapkan adalah model yang

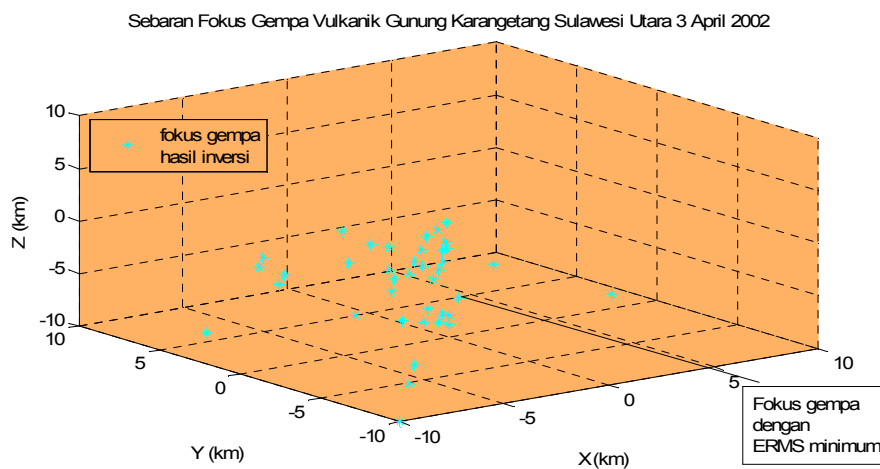
memiliki tingkat kesalahan yang kecil (*misfit* kecil). *Misfit* dalam penelitian ini menggunakan ERMS (*Error Root Mean Square*) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$ERMS = \sqrt{\frac{(T_{observasi_i} - T_{perhitungan_i})^2}{N}} \tag{3}$$

Dimana N adalah banyaknya data

HASIL

a. Data 3 April 2002



Gambar 3. Fokus Gempa Gunungapi Karangetang : 4 5 -10 km

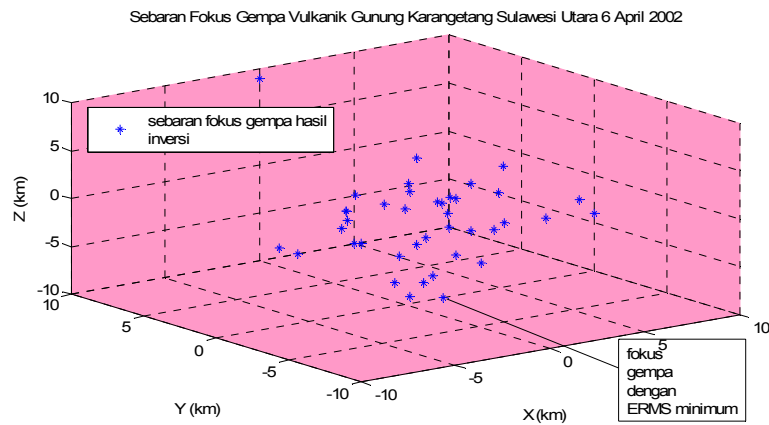
INVERSE MODELLING

Metoda inversi dengan pencarian acak (*random search*)

Metoda ini memiliki nama lain yaitu Monte Carlo yang pada dasarnya dilakukan untuk mencari solusi optimum tanpa mengevaluasi secara keseluruhan fungsi obyektif seperti metoda *grid search*. Prinsip metoda ini adalah pola permukaan

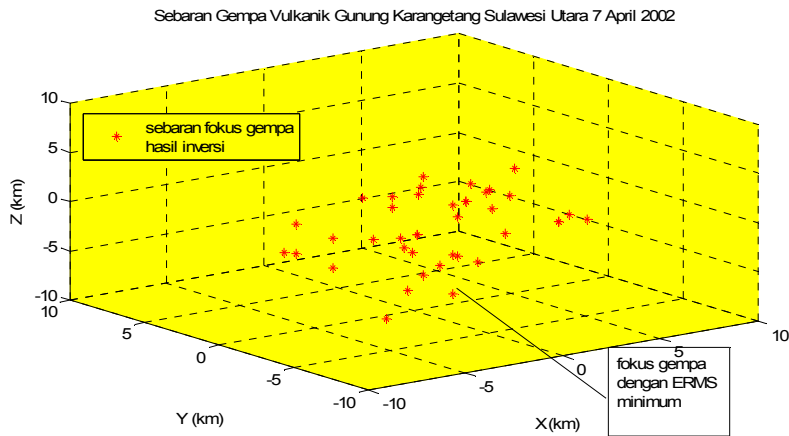
fungsi obyektif dapat diperkirakan berdasarkan harga fungsi obyektif beberapa titik (model) dalam ruang model. Pemilihan model dilakukan secara *random* sehingga setiap model dalam ruang model memiliki peluang yang sama untuk dipilih sebagai sampel. Perhitungan pemodelan kedepan dilakukan pada model yang dipilih.

b. Data 6 April 2002



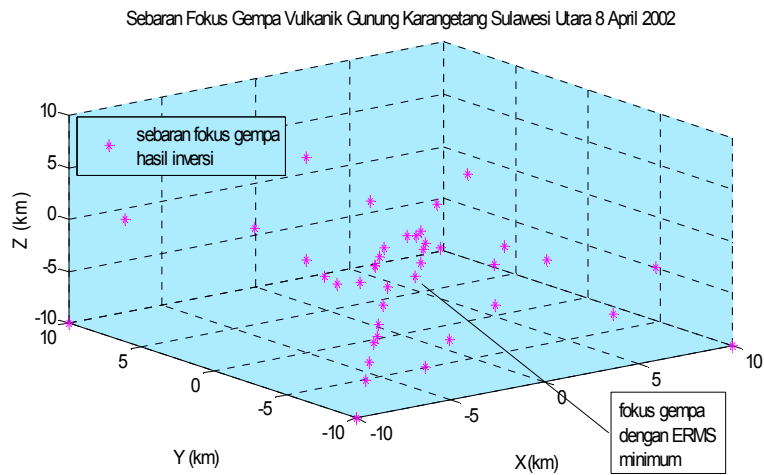
Gambar 4. Fokus Gempa Gunungapi Karangetang : 2 0 -10 km

c. Data 7 April 2002



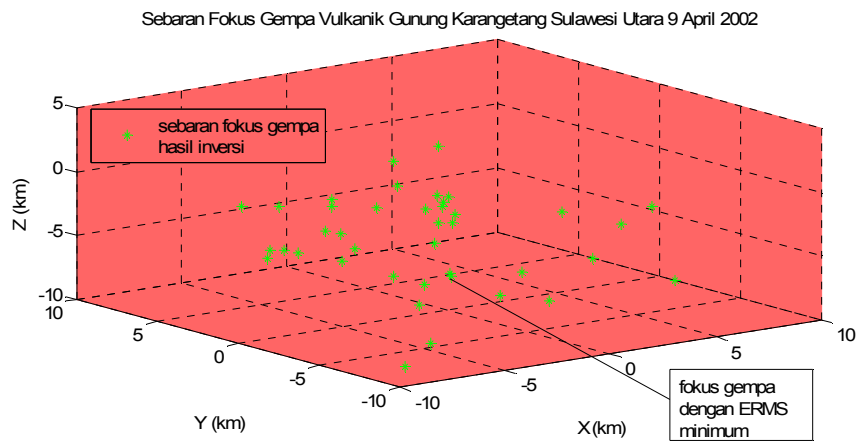
Gambar 5. Fokus Gempa Gunungapi Karangetang : 3 -0,5 -10 km

d. Data 8 April 2002



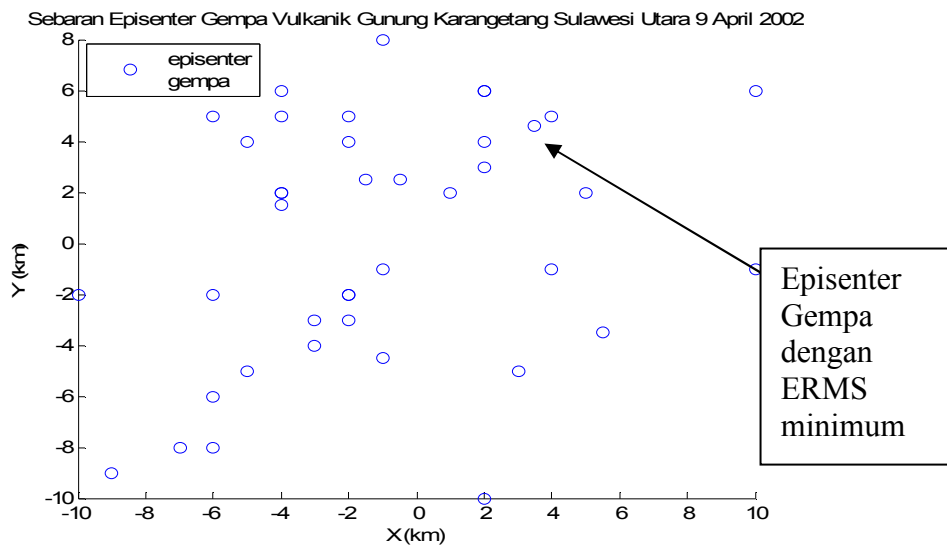
Gambar 6. Fokus Gempa Gunungapi Karangetang : 5,5 6 -10 km

e. Data 9 April 2002



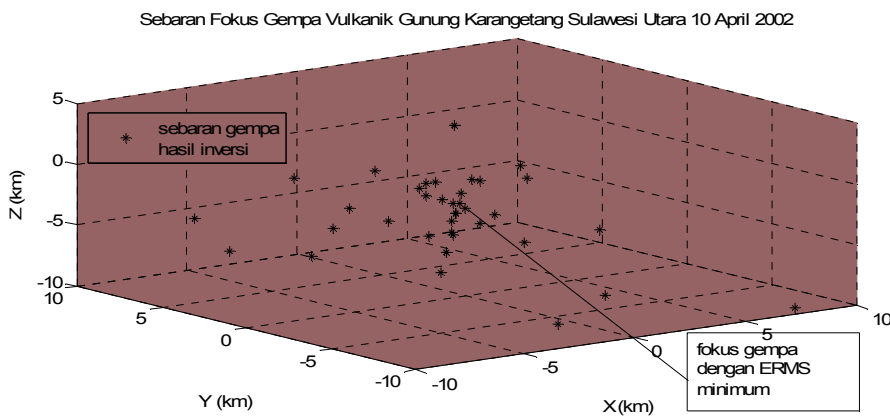
Gambar 7. Fokus gempa Gunungapi Karangetang : 4 5 -10 km

Ket: Fokus gempa yang diperoleh adalah -10 km dengan pola yang menyebar.

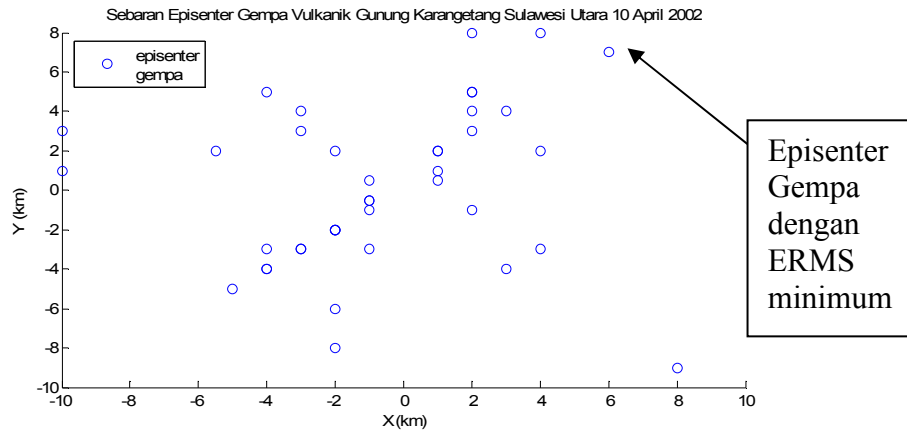


Gambar 8. Sebaran Episenter Gempa

f. Data 10 April 2002



Gambar 8. Fokus gempa Gunungapi Karangetang : 4 8 -6 km



Gambar 9. Sebaran episenter gempa : 4 dan 8 km

PEMBAHASAN

Dari hasil *running* program MATLAB, diperoleh kedalaman gempa vulkanik 10 km untuk tanggal 3 April 2002, atau dengan kata lain posisi *magma chamber* berada pada kedalaman 10 km. Tanda minus menunjukkan arah kedalaman ke bawah. Tipe Gunungapi Karangetang adalah tipe A, sehingga kedalaman kantong magma berkisar 1- 10 km (sumber : Direktorat Volkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung). Pada gambar 3, sebaran fokus gempa terlihat bahwa range kedalaman fokus gempa berkisar -5 sampai -10 km. Jumlah perandoman (n) adalah 40. Polanya secara umum adalah menyebar. Nilai ERMS minimumnya adalah sekitar 0,002. Fokus gempa yang diperoleh untuk gempa tanggal 6 April 2002 adalah -10 km dengan ERMS minimumnya 0,001 sama dengan fokus gempa yang diperoleh pada tanggal 3 April 2002 dan sebaran fokus gempanya berada pada -3 sampai dengan - 10 km.

Hiposenter gempa yang diperoleh untuk gempa tanggal 7 April 2002 adalah terdistribusi ke tengah dengan fokus gempa -10 km dengan sebaran -2 sampai - 10 km. Jumlah perandoman (n) sama dengan 40. Gempa vulkanik yang terjadi

pada tanggal 8 April 2002 memiliki hiposenter 10 km dengan episenter 5,5 dan 6 km dan penyebarannya terfokus di tengah. Gempa vulkanik yang terjadi pada tanggal 9 April 2002 memiliki episenter 4 dan 5 km dengan titik pusat gempa 10 km sedangkan gempa 10 April 2002 memiliki episenter 4 dan 8 km serta fokus gempa 6 km dengan ERMS minimum 0,025.

KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan data dapat diambil kesimpulan bahwa pemilihan parameter model yang diambil yaitu kecepatan gelombang Primer dan jumlah perandoman (n) sama dengan 40 dapat memberikan hasil yang cukup baik dan posisi *magma chamber* gunung Karangetang berada pada kedalaman 10 km dengan pola secara umum menyebar dengan kisaran fokus gempanya 1-10 km dan kisaran episenternya berada -1 sampai 8 km.

DAFTAR PUSTAKA

Davidson., Reed., Davis., (1997), *Exploring Earth : An Introduction to Physical Geology*, Prentice hall,
 Grandis, H., Syaripudin, A., (2001), *Inversi Data Magnetotellurik 1-D Menggunakan Metoda Simulated*

Annealing, Kontribusi Fisika
Indonesia

Maharani, N., (2009). Penentuan Episenter
Gempa Vulkanik Gunung
Karangetang Sulawesi Utara
Menggunakan Metoda Inversi Non-
Linier dengan Pendekatan Linier.
*Proseding Seminar Nasional
Kebumian*, 343-351.

Meju, A. M., (1994), Geophysical data
analysis: understanding inverse
problem theory and practice, Society
of Exploration Geophysic.

Trantola, A., (1987), Inverse problem
theory: Methods for data fitting and
model parameter estimation.