

## **RELOKASI HIPOSENTER GEMPA MIKRO DENGAN METODE SED DAN JHD SEBAGAI ANALISIS RESERVOAR AREA PANAS BUMI-X**

**Cassandra Fitrianna Idat dan Udi Harmoko**

Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang  
E-mail: : [sandra.idat@st.fisika.undip.ac.id](mailto:sandra.idat@st.fisika.undip.ac.id)

### **ABSTRACT**

Mount Wayang and Windu, located about 35 kilometers south of Bandung, the capital of West Java, Indonesia. This area included in a set of active hydrothermal geothermal area around South Bandung. Microearthquake network is a collection of microearthquake recording station that has been used from 1960. Data from this network of micro earthquakes can predict permeable structure in the reservoir, which is as monitoring the pattern of fluid flow and reservoir limits, called cap rock that is impermeable. Analysis of seismic activity in micro earthquake data that is in determining the location of the hypocenter, for determining the location of the hypocenter can complicate the interpretation of the structure. Methods Single Event Determination (SED) and the Joint Hypocenter Determination method (JHD) can optimize the location of the hypocenter with a correction to the 1-D velocity model. There are 160 events were recorded from January 2014 to April 2014. The data is processed so that there are 55 local earthquake event data were inverted to obtain new hypocenter location using the SED and JHD. The second result of inversion produces more accurate hypocenter locations with a reservoir that has a moment epicenter distribution pattern direction Northwest - Southeast. Long reservoir SED results estimated 25 km with a depth of permeable zone of 20 km, whereas after correction obtained JHD same length but permeable zone is detected to a depth of 26 km.

*Keywords: Joint Hypocenter Determination, Single Event Determination, Microearthquake, Geothermal.*

### **ABSTRAK**

Gunung Wayang dan Gunung Windu, terletak sekitar 35 km arah selatan dari Bandung, Ibukota Jawa Barat, Indonesia. Area ini termasuk dalam sekumpulan area panas bumi hidrotermal aktif di sekitar Bandung Selatan. Jaringan gempa mikro merupakan sekumpulan stasiun pencatat aktivitas gempa mikro yang telah digunakan dari tahun 1960. Data dari jaringan gempa mikro ini dapat menduga struktur permeabel pada reservoir, yaitu sebagai monitoring pola aliran fluida serta batasan reservoir yang disebut cap rock yang bersifat impermeabel. Analisis aktivitas seismik dengan data gempa mikro yaitu dalam menentukan lokasi hiposenter, sebab penentuan lokasi hiposenter dapat menyulitkan dalam interpretasi struktur. Metode Single Event Determination (SED) dan Joint Hypocenter Determination metode (JHD) dapat mengoptimalkan lokasi hiposenter dengan koreksi terhadap model kecepatan 1-D. Terdapat 160 event yang direkam dari bulan Januari 2014 sampai dengan April 2014. Data tersebut diolah sehingga terdapat 55 data event gempa lokal yang diinversi untuk mendapatkan lokasi hiposenter baru menggunakan metode SED dan JHD. Hasil kedua inversi menghasilkan lokasi hiposenter yang lebih akurat dengan reservoir yang memiliki pola arah persebaran episenter sejurus Barat Laut – Tenggara. Panjang reservoir hasil SED diperkirakan 25 km dengan kedalaman zona permeabel 20 km, sedangkan setelah koreksi JHD didapatkan panjang yang sama namun zona permeabel terdeteksi sampai kedalaman 26 km.

*Kata Kunci: Joint Hypocenter Determination, Single Event Determination, Gempa Mikro, Panas Bumi.*

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan sejumlah gunung vulkanik aktif serta potensi panas bumi terbesar. Potensi panas bumi Indonesia mencapai 40% dari potensi dunia, sekitar 28.000 MW [1]. Pemanfaatan potensi panas bumi ini baru digunakan 4% atau 1.189 MW. Panas bumi merupakan salah satu energi alternatif yang bersifat baru terbarukan dan bersih (*renewable and clean*). Dalam perkembangan eksplorasi dan eksploitasi sumberdaya panas bumi, diperlukan suatu usaha untuk mencari serta mengelola cadangan sumber energi dengan teknologi reservoir. Pencarian sumber energi dapat melalui teknologi reservoir yang merupakan suatu upaya kuantitatif dari perilaku fluida dalam pori batuan sehingga bermanfaat dalam pengelolaan produksi ataupun injeksi fluida pada reservoir.

Gunung Wayang dan Gunung Windu, terletak sekitar 35 km arah selatan dari Bandung, Ibukota Jawa Barat, Indonesia. Area ini termasuk dalam sekumpulan area panas bumi hidrotermal aktif di sekitar Bandung yang mencakup Darajat [2], Kamojang [3], Karaha-Telaga Bodas [4], Papandayan dan Tangkuban Perahu [5]. Aktivitas gunung Wayang dan Windu tidak hanya dari intrusi magma, namun dari aktivitas tektonik di sekitarnya.

Jaringan gempa mikro merupakan sekumpulan stasiun pencatat aktivitas gempa mikro yang telah dioperasikan sejak tahun 1960 [6]. Kegunaan jaringan gempa mikro diantaranya sebagai pemetaan sesar aktif, *monitoring* aktivitas seismik sebagai prediksi gempa, serta investigasi struktur kerak dan mantel bumi. Data jaringan gempa mikro dapat menduga struktur permeabel pada reservoir, yaitu sebagai *monitoring* pola aliran fluida serta batasan reservoir yang bersifat impermeabel disebut *cap rock*.

Permasalahan dalam analisis aktivitas seismik dengan data gempa mikro yaitu dalam menentukan lokasi hiposenter, sebab

penentuan lokasi hiposenter dapat menyulitkan dalam interpretasi struktur. Data hasil pengambilan di lapangan dengan gempa mikro dapat merekam dalam periode yang cukup lama, sehingga jumlah data yang dihasilkan dapat mencapai ratusan bahkan ribuan. Data hasil rekaman tersebut merupakan data mentah dari keseluruhan aktivitas panas bumi ataupun kegiatan lain di sekitar area. Oleh sebab itu diperlukan suatu pengolahan data untuk memperbaiki rekaman data tersebut sehingga didapatkan data yang lebih jelas. Adapun *Single Event Determination (SED)* dapat memperbaiki lokasi dengan model kecepatan 1-D, sedangkan metode *Joint Hypocenter Determination* metode dapat menginversi waktu tempuh secara simultan serta menghasilkan koreksi stasiun oleh adanya kesalahan akibat model kecepatan 1-D.

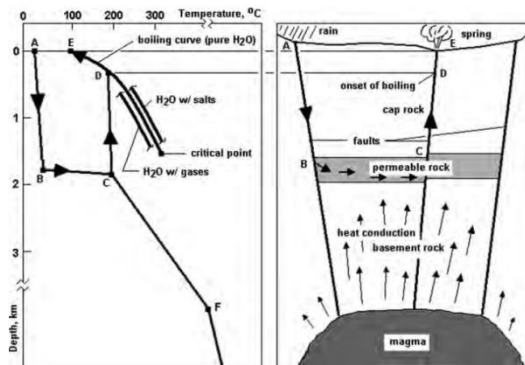
## DASAR TEORI

### Sistem Panas Bumi

Area panas bumi biasanya diklasifikasikan atau dibagi kedalam beberapa macam. Sebagian sebagai tipe dominan air atau dominan uap, rendah atau tingginya temperatur panas bumi, proses sedimentasi atau keberadaan vulkanik dan lain sebagainya. Pembagian sistem panas bumi berdasarkan keadaan kesetimbangan reservoir panas bumi, tipe fluida, temperatur reservoir, *host rock*, dan sumber panas [7]. Berdasarkan tipe fluida sebuah reservoir panas bumi dapat dibagi menjadi sebagian dominasi cair dan dominasi uap. Temperatur reservoir menjadi salah satu pertimbangan dalam penentuan potensi sumber energi dan *host rock* sebagai peninjau komposisi air dan gas dari reservoir.

Kesetimbangan reservoir merupakan dasar dari sistem panas bumi dan menjadi acuan untuk sirkulasi fluida dan aliran panas dalam reservoir. Sistem dinamika kesetimbangan akan secara terus menerus diisi kembali oleh air yang memasuki reservoir. Air dipanaskan dan dikeluarkan dari reservoir ke

permukaan ataupun ke bawah zona permeabel. Panas diteruskan melalui sistem dengan konveksi dan aliran dari fluida.



**Gambar 1.** Skema model sistem panas bumi [8]

### Jaringan Gempa Mikro

Jaringan gempa mikro memperluas studi seismologi mengenai jangkauan gempa mikro. Jaringan tersebut memerlukan jarak yang berdekatan dan stasiun seismografis dengan tingkat sensitivitas tinggi. Jaringan ini dapat dioperasikan dengan sinyal telemetri ke pusat pencatatan data atau dengan pencatatan langsung di area. Jaringan ini memiliki banyak aplikasi diantaranya: pemetaan seismisitas dan patahan aktif, studi tekanan tektonik, penyelidikan struktur kecepatan dari kerak bumi, eksplorasi sumber panas bumi, seismisitas oleh kegiatan manusia, monitoring seismisitas gunung vulkanik dan lainnya.

### Relokasi Gempa Mikro

Penentuan lokasi gempa memerlukan perhitungan komputasi dari travel time antara sumber dengan stasiun melalui koreksi lokasi. Lokasi hiposenter didapatkan melalui komputasi dari model gempa. Model gempa yang digunakan merupakan model gempa dengan struktur bumi yang mirip dengan struktur aslinya. Solusi dalam pemodelan struktur bumi didapatkan dari meminimalisir root mean square (*RMS*) residual. *RMS*

residual didapatkan dari selisih antara waktu observasi dengan waktu datang ( $R_i$ ).

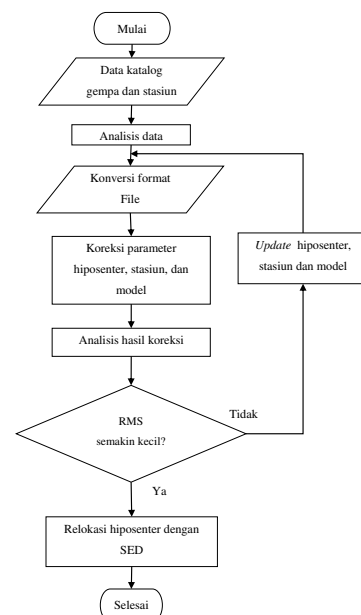
$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N R_i^2}{N - 1}} \quad (1)$$

Penentuan *RMS* dapat dilakukan dengan menggunakan dugaan hiposenter awal, linearisasi persamaan, dan perhitungan solusi. Solusi tersebut dapat digunakan sebagai dugaan hiposenter setelahnya, proses ini berlangsung sampai perubahan dugaan hiposenter semakin kecil.

### Metode Single Event Determination (*SED*)

Prinsip metode *Single Event Determination (SED)* menggunakan prinsip Geiger. Geiger merupakan prosedur iterasi dengan optimasi *least square* untuk menentukan lokasi hiposenter [9].  $t_i$  adalah waktu tiba gelombang seismik pada stasiun ke- $i$  ( $x_i, y_i, z_i$ ) dari hiposenter ( $x_0, y_0, z_0$ ).  $T_i$  adalah waktu tempuh dugaan berdasar model kecepatan dugaan bawah permukaan dan  $t_0$  adalah waktu kejadian gempa. Selisih antara hasil observasi dan hasil kalkulasi bisa dihitung dengan persamaan (2).

$$r_i = t_i - t_0 - T_i \quad (2)$$

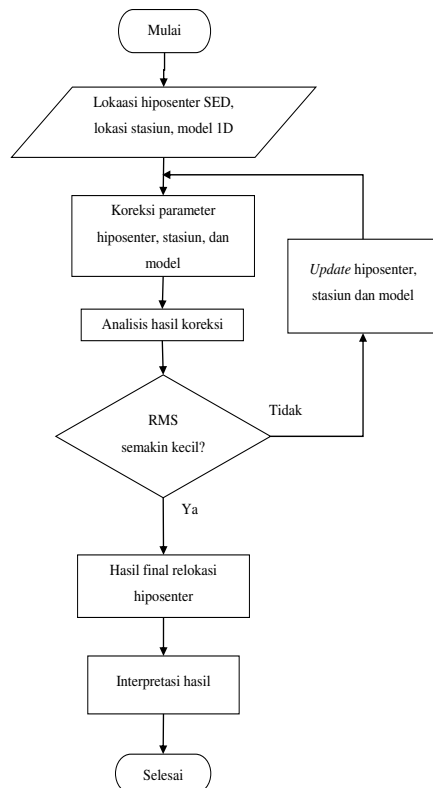


**Gambar 2.** Diagram alir algoritma metode *SED*

### Metode Joint Hypocenter Determination (JHD)

Salah satu metode untuk merelokasi hiposenter dengan lebih akurat adalah *Joint Hypocenter Determination (JHD)*. Metode ini secara simultan akan menginversi waktu tempuh sekelompok hiposenter untuk mendapatkan lokasi hiposenter yang lebih akurat serta besaran koreksi stasiun sebagai koreksi terhadap kesalahan akibat model kecepatan 1-D yang digunakan. Koreksi stasiun adalah suatu koreksi untuk memasukkan variasi kecepatan ke arah lateral yang tidak diperhitungkan dengan penggunaan model kecepatan 1-D. Koreksi ini dilakukan pada semua stasiun pengamat. Dengan memperhitungkan koreksi stasiun, maka residual waktu tempuh yang didapatkan pada stasiun ke- $i$  pada persamaan (3).

$$r_i = t_i - (T_i + S_i) \quad (3)$$



Gambar 3. Diagram alir algoritma metode JHD

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan proses analisis data katalog dan pengelompokan *event*. Penggunaan catatan data gempa mikro dimulai dari bulan Januari 2014 – April 2014 dari Star Energy Geothermal Ltd. Setelah dianalisis data tersebut dikonversikan kepada beberapa format sehingga data dapat direlokasikan menggunakan metode *SED* serta *JHD*. Hasil relokasi hiposenter akan di *plotting* serta dianalisis sebagai reservoir dugaan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

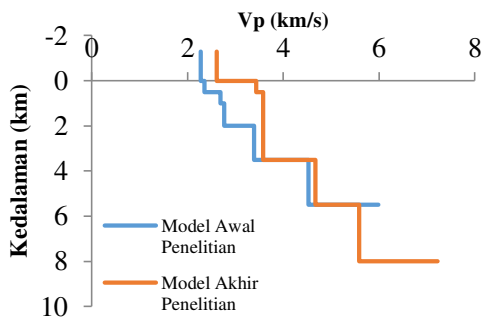
#### Data Katalog dan Model 1-D

Data katalog dianalisis sebagai penentuan informasi yang diperlukan dalam proses relokasi hiposenter. Dalam proses analisis akan dapat memilih *event* yang akan digunakan, sebab diperlukan *event* yang jarak stasiunnya berdekatan dan masih berfungsi. Proses selanjutnya dengan memodelkan 1-D sebagai tinjauan lapisan tanah di area panas bumi.

Pada reservoir terdapat berbagai lapisan yang terdiri dari medium padat, cair dan gas, serta tiap lapisan tersebut dapat dideteksi dari rambatan gelombang P. Karakteristik gelombang P yang dapat merambat di medium padat, cair dan gas menjadi dasar pemodelan, sebab gelombang S hanya merambat pada medium padat.

Model awal pada Gambar 5 merupakan model dengan rasio  $V_p/V_s$  1,6. Nilai rasio  $V_p/V_s$  1,6 menunjukkan batuan *clean sandstone* atau batuan pasir sebagai penyusun suatu reservoir [10]. Pada Gambar 4.1 didapatkan informasi kecepatan gelombang P terhadap kedalaman, dimana kecepatan gelombang P semakin tinggi saat semakin dalam. Kecepatan semakin tinggi terjadi karena perbedaan struktur batuan tiap lapisan, pada struktur batuan yang lebih keras maka kecepatan semakin tinggi, sedangkan pada struktur batuan lunak kecepatan semakin

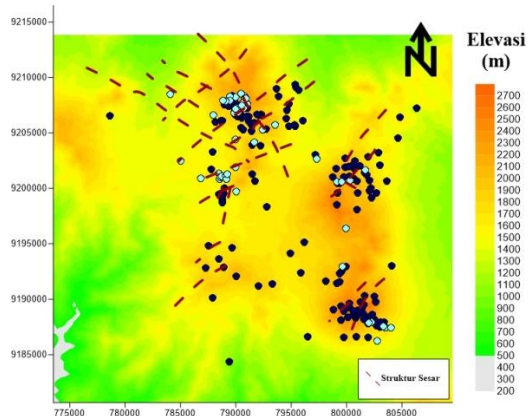
rendah. Dengan kecepatan serta kedalaman yang sama memberikan informasi untuk satu lapisan batuan dengan struktur yang sama. Model akhir atau model minimum 1-D pada Gambar 5 merupakan model penelitian yang telah mengalami koreksi. Hasil koreksi lokasi terlihat pada kedalaman 2 km, bahwa model akhir lebih cepat 0,19 km/s serta pada kedalaman lebih dari 5 km membentuk lapisan baru dengan kecepatan 5,58 km/s.



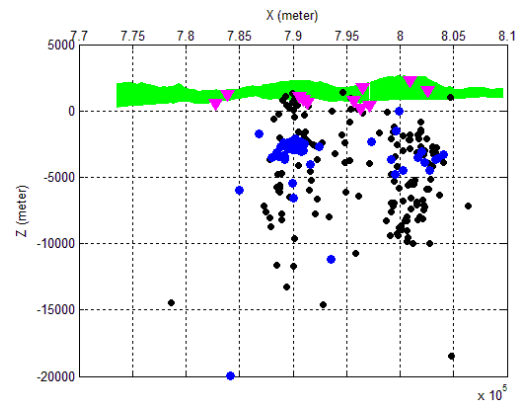
Gambar 4. Model kecepatan 1D data gempa mikro gelombang P

### Relokasi Hiposenter dengan Metode SED

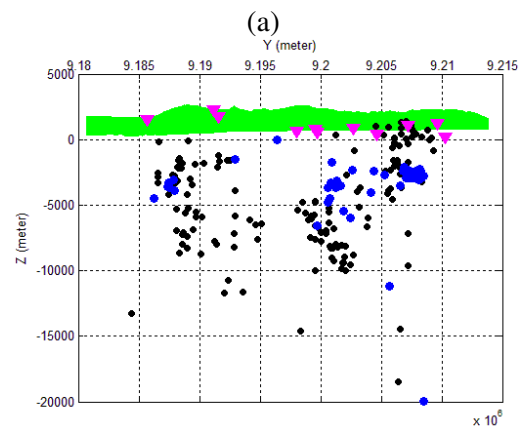
Relokasi hiposenter gempa mikro dengan metode SED dilakukan dengan menggunakan data stasiun, hiposenter awal, dan model 1-D. Data masukan awal inversi ini terdapat jumlah gempa tercatat sebanyak 150 gempa lokal dengan rasio model kecepatan 1-D  $V_p/V_s$  1,6. Persebaran episenter pada Gambar 4.2 menunjukkan relokasi mengurangi event yang tidak berkorelasi di area dengan arah relokasi cenderung ke Barat laut – Tenggara.



Gambar 5. Persebaran episenter sebelum dan sesudah metode SED



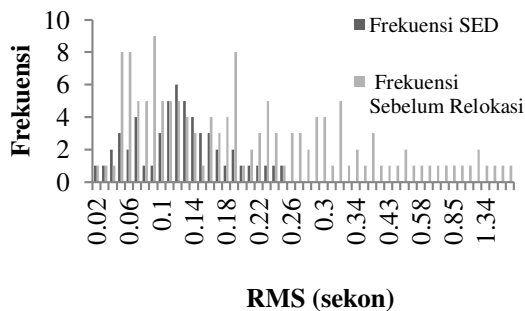
- ▼ Stasiun pengamatan
- Hiposenter sebelum relokasi
- Hiposenter setelah relokasi
- Penampang Topografi



- ▼ Stasiun pengamatan
- Hiposenter sebelum relokasi
- Hiposenter setelah relokasi
- Penampang Topografi

Gambar 6. Penampang hasil relokasi metode SED sejajar: (a) koordinat Easting / X (b) koordinat Northing

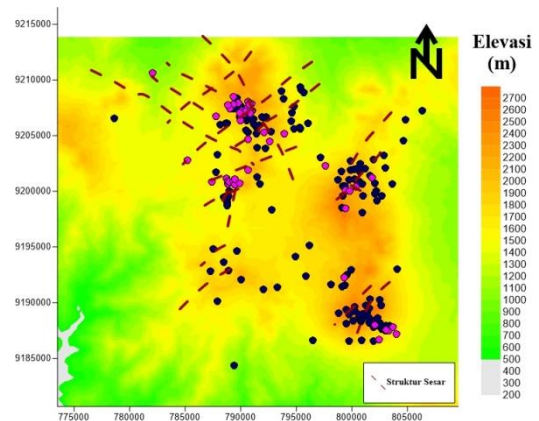
Hasil relokasi dengan *SED* sejajar koordinat *Easting* dan *Northing* dapat terlihat pada Gambar 4.3 Didapatkan reservoir dugaan sepanjang 25 km dengan kedalaman 20 km. Terdapat pergeseran titik hiposenter dari sebelumnya menyebar disekitar 775000E – 810000E menjadi 780000E-800000E pada searah *Easting* sedangkan untuk searah *Northing* pergeseran titik hiposenter tidak terlalu berbeda. Lebih lanjut pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa *RMS* data menurun dari 42 sekon sebagai *RMS* tertinggi, menjadi 0,25 sekon setelah melalui proses metode *SED*. Hal tersebut menunjukkan bahwa *SED* memiliki kualitas solusi yang baik, kualitas solusi yang baik akan menghasilkan relokasi hiposenter yang lebih akurat. Kualitas solusi diperoleh dari koreksi model kecepatan 1-D pada data penelitian.



**Gambar 7.** Histogram distribusi *RMS* dengan frekuensi gempa

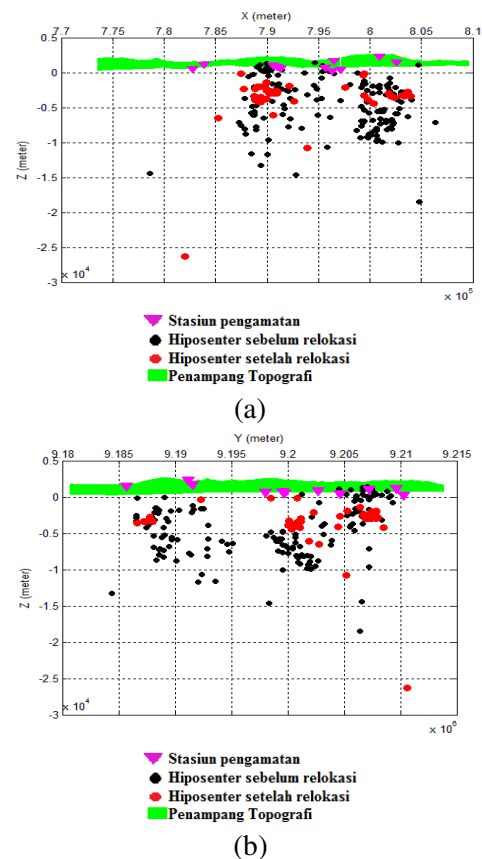
### Relokasi Hiposenter dengan Metode *JHD*

Metode relokasi dengan *Joint Hypocenter Determination* merupakan metode yang digunakan untuk mengoreksi kesalahan akibat model kecepatan 1-D. Data relokasi *JHD* menggunakan hasil relokasi dari metode *SED*, yaitu hasil dari parameter hiposenter ( $x,y,z,t$ ), parameter stasiun dan parameter model kecepatan 1-D.



**Gambar 8.** Overlay episenter sebelum dan setelah relokasi *JHD*

Hasil relokasi dengan metode *JHD* dari Gambar 4.5 merupakan persebaran episenter pada area panas bumi X. Terlihat bahwa episenter berkumpul di arah Barat Laut - Tenggara yang dapat menjadi potensial reservoir.



**Gambar 9.** Penampang hasil relokasi metode *JHD* sejajar: (a) koordinat *Easting* / X (b) koordinat *Northing*

Metode *JHD* pada Gambar 4.6 menunjukkan adanya dugaan zona permeabel yaitu reservoir di sekitar area. Jika terdapat hiposenter terjadi di atas 0 km, hal tersebut disebabkan area perekaman data yang berada di gunung seperti warna hijau yang menjadi penampang topografi area penelitian pada kedua gambar tersebut. Kumpulan hiposenter searah *Easting* pada Gambar 9 menunjukkan bahwa terdapat reservoir dugaan yang berupa zona permeabel sepanjang 25 km dengan kedalaman 26 km. Pergeseran titik hiposenter searah *Easting* sebelumnya berada di 775000E-810000E menjadi 780000E-800000E, sedangkan pada searah *Northing* sebelumnya terdeteksi dari 9180000N-9210000N bergeser menjadi 9185000N-9215000N.

Selain pergeseran setelah proses metode *JHD*, adapun jika dibandingkan dengan *SED* dapat terlihat adanya perbedaan kedalaman tanpa ada pergeseran titik hiposenter. Oleh adanya koreksimodel kecepatan 1-D serta koreksi jarak sumber ke stasiun perekam, kedalaman hiposenter dengan metode *SED* sebesar 20 km menjadi 26 km.

Metode *JHD* memiliki akurasi dan presisi yang lebih baik dibandingkan *SED*. Gambar 4.7 menjadi validasi bahwa frekuensi *RMS* dengan metode *JHD* lebih kecil dengan selang 0,005-1,038 sekon sedangkan dengan metode *SED* yaitu 0-1,07 sekon. Data *RMS* metode *SED* memang memiliki akurasi yang baik jika dilihat dari Gambar 4.4, namun jika dibandingkan dengan metode *JHD* maka metode tersebut memiliki akurasi yang lebih tinggi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan untuk analisis reservoir di area panas bumi X dengan menggunakan metode *Single Event Determination* dan *Joint Hypocenter Determination* dapat disimpulkan bahwa:

1. Kedalaman zona permeabel pada metode *SED* berjarak 20 km dan hasil metode *JHD* memiliki kedalaman 26 km. Perbedaan hasil disebabkan adanya koreksi model kecepatan 1-D.
2. Reservoir dugaan pada koordinat *Easting* dan *Northing* dengan metode *SED* dan *JHD* memiliki panjang reservoir 25 km.
3. Kualitas solusi penelitian yaitu *RMS* mengalami penurunan setelah menggunakan metode *SED* dan menjadi lebih akurat dengan metode *JHD*.

## SARAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka saran yang sebaiknya dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Pemilihan model kecepatan 1-D akan berpengaruh terhadap kualitas solusi *RMS* yang didapatkan, sehingga sebaiknya pemilihan model disesuaikan dengan daerah penelitian.
2. Data untuk *monitoring* reservoir sebaiknya menggunakan data dengan periode waktu pencatatan rekaman yang lebih lama dan sebaiknya menggunakan data sumur. Data sumur akan memperjelas aktivitas hiposenter yang terekam.
3. Pendeteksian *event* memerlukan pengaturan dengan stasiun perekam yang cukup banyak sehingga didapatkan deteksi *event* yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Hadi, Andi U., 2008, *Potensi Dan Wilayah Kerja Pertambangan Panas Bumi di Indonesia, Jurnal Ilmiah MTG*, Vol.1, No.2
- [2]. Hadi, J., Harrison, C., Keller, J., & Rejeki, S., 2005, *Overview of Darajat reservoir characterization; a volcanic hosted reservoir*, Prosiding, Antalya, Turki.

- [3]. Utami, P., 2000, *Charasteristics of the Kamojang geothermal reservori (West Java) as revealed by its hydrothermal alteration mineralogy, Proceedings of the World Geothermal Congress*, (hal. 1921-1926), Kyushu-Tohoku, Jepang.
- [4]. Moore, J. A., 2002, *Petrological evidence for boiling to dryness in the Karaha-Telega Bodas geothermal system Indonesia*, Proceedings of the Twenty-seventh Workshop on Geothermal (hal. 223-232), Stanford, California, Amerika: Stanford University.
- [5]. Wibowo, H., 2006, *Spatial data analysis and integration for regional-scale geothermal prospectivity mapping, West Java, Indonesia*, MSc Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, Belanda.
- [6]. Kayal, J., 2008, *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*, Springer.
- [7]. Nicholson, D., 1993, *Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Technique*, Berlin: Springer.
- [8]. Di Pippo, R., 2008, *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Studies, and Environmental Impact, Second Edition*, New York: Elsevier.
- [9]. Sahara, D. P., Kusumo, A. W., Widiyantoro, S., & Sule, R., 2009, *Aplikasi Metode Double Difference Untuk Relokasi Hiposenter Gempa Vulkanik Gunung Kelud Secara Akurat*. JTM.
- [10]. Zinszner, B., & Pellerin, F. M., 2007, *A Geoscientist's Guide to Petrophysics*. Paris: TECHNIP.