

Persebaran Hiposenter Maluku Selatan Menggunakan Metode Double Difference

Ryandi Bachrudin Yusuf, Bagus Jaya Santosa.

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: bjs@physics.its.ac.id

Abstrak—Wilayah Maluku Selatan merupakan wilayah bagian timur Indonesia dengan potensi gempa yang tinggi. Salah satu penyebab daerah ini rawan gempa adalah tatanan lempeng tektonik yang masuk dalam zona tektonik kompleks, yaitu zona pertemuan lempeng Eurasia, lempeng Filipina, dan lempeng Pasifik, serta pada bagian Pulau Seram merupakan perbatasan zona subduksi lempeng Indo-Australia. Sebagai upaya mitigasi bencana gempa bumi, perlu adanya studi kegempaan berupa relokasi hiposenter dan menganalisa persebaran hiposenter di wilayah Maluku Selatan. Prinsip metode *double difference* ini adalah jika ada dua gempa yang saling berdekatan, dimana jarak relatif antar gempa lebih kecil daripada jarak relative gempa ke stasiun perekam, maka *raypath* dan *waveform* dapat dianggap sama, sehingga kesalahan akibat model kecepatan bisa diminimalkan. Hasil relokasi menggunakan metode *double difference* mampu memberikan hasil yang lebih akurat, hal ini ditunjukkan dengan nilai RMS hasil relokasi yang jauh lebih baik (mendekati nol) dibandingkan dengan nilai RMS sebelum relokasi. Persebaran hiposenter gempa banyak terjadi dekat patahan, dan zona subduksi lempeng, pergeseran episenter lebih terkumpul pada satu titik dan kedalaman hiposenter lebih tersebar (keluar dari *fixed depth*) didominasi antara 2-50 Km.

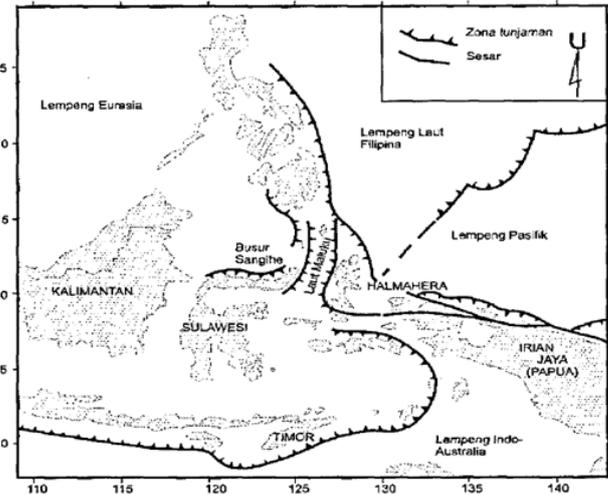
Kata Kunci— *Double difference*, Maluku Selatan, persebaran, relokasi hiposenter, residual.

I. PENDAHULUAN

Kepulauan Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng aktif dunia, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Hal ini menyebabkan Indonesia termasuk dalam daerah dengan potensi gempa yang cukup tinggi, tercatat lebih dari 14.000 event gempa bumi yang terjadi di Indonesia sejak tahun 1900-2000. Salah satu wilayah di Indonesia yang bisa dibidang mempunyai potensi gempa yang cukup tinggi adalah Indonesia bagian Timur, termasuk daerah Maluku Selatan. Sehingga pada penelitian tugas akhir ini dikhususkan di daerah Maluku Selatan. ^[1]

Maluku Selatan termasuk dalam zona tektonik kompleks, karena merupakan pertemuan tiga lempeng yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Filipina, serta pada bagian utara Pulau Seram merupakan batas zona subduksi lempeng Indo-Australia.. Secara tektonik dan kondisi geologinya, wilayah ini dipengaruhi oleh subduksi Busur Banda di utara, *thrust* Laut Seram di selatan, subduksi lempeng Laut Maluku, serta sesar Sula-Sorong di selatan. Tercatat lebih dari 160 event gempa bumi dimulai sejak Januari 2000 sampai Februari 2016 yang dapat terekam oleh stasiun perekam gempa. Dari potensi gempa yang sering terjadi, perlu adanya studi kegempaan berupa relokasi hiposenter sebagai upaya mitigasi bencana. Salah satu metode yang dapat

dilakukan untuk relokasi hiposenter adalah menggunakan metode *double difference* (DD). ^[2]



Gambar 1. Peta tektonik Laut Maluku dan sekitarnya (Silver & Moore, 1978).^[1]

Gambar 1. Peta Tektonik Maluku ^[2]

Metode *double difference* (Waldhauser & Ellsworth, 2000) merupakan salah satu teknik relokasi gempa bumi. Teknik ini menggunakan data katalog gempa serta data koreksi silang, namun bisa digunakan salah satu atau keduanya. Metode *double difference* (DD) didasari pada asumsi bahwa jika terdapat dua pusat gempa (gempa berpasangan) dengan jarak yang lebih kecil dibandingkan dengan jarak antara dua pusat gempa ke stasiun perekam, maka *raypath* dan *waveform* kedua gempa ini bisa dianggap sama. Dengan asumsi tersebut, maka selisih waktu tempuh antara kedua gempa yang terekam pada stasiun yang sama dianggap sebagai fungsi jarak antar kedua pusat gempa, sehingga dapat meminimalkan kesalahan model kecepatan tanpa menggunakan koreksi stasiun. ^[3]

$$d r_{ek}^{ij} = \left(t_k^i - t_k^j \right)^{obs} - \left(t_k^i - t_k^j \right)^{cal} \quad (1)$$

Dengan i dan j menunjukkan indeks dua hiposenter yang berdekatan, dan k adalah indeks stasiun perekam untuk dua hiposenter yang berdekatan. Persamaan (2.40) dapat dilinearisasikan dengan deret Taylor orde pertama sebagai berikut,

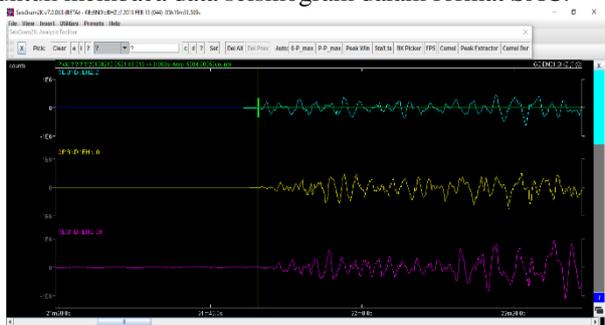
$$d r_{ek}^{ij} = \frac{\partial T_k^i}{\partial x} dx^i + \frac{\partial T_k^i}{\partial y} dy^i + \frac{\partial T_k^i}{\partial z} dz^i + d\tau^i - \frac{\partial T_k^j}{\partial x} dx^j - \frac{\partial T_k^j}{\partial y} dy^j - \frac{\partial T_k^j}{\partial z} dz^j - d\tau^j \quad (2)$$

Dengan x, y, z menunjukkan posisi hiposenter dalam koordinat kartesian, dan τ menunjukkan waktu, dan indeks i, j untuk dua hiposenter yang berdekatan, dan untuk indeks k adalah stasiun pengamat untuk dua

Gambar 4 menunjukkan cara untuk membuka dan mengekstrak data gempa hingga menjadi data SAC. Untuk data yang *restricted* digunakan cara pertama (pada kotak merah) agar menjadi data yang tidak terkunci dan mengubah format *openssl.seed* menjadi *.seed* dengan software *openssl.jar* sudah terinstall, dan selanjutnya untuk membuat data *.seed* menjadi data gempa *.SAC* digunakan cara kedua (pada kotak hijau) dengan software *jrdseed.jar* terletak pada satu folder dengan data gempa yang akan diekstrak.

3) *Picking Gelombang P*

Tahapan ini menjelaskan tentang picking atau pencuplikan gelombang P pada data seismogram. Pada tahapan ini dilakukan menggunakan *seisgram2k70*, yaitu sebuah software dengan ekstensi java yang digunakan untuk membaca data seismogram dalam format SAC.



Gambar 5. Picking gelombang P

Gambar 5 menunjukkan cara picking gelombang P, dimana gelombang P merupakan fase gelombang yang pertama kali datang, karena mempunyai kecepatan paling cepat, sehingga dari Gambar 5 picking gelombang P terdapat pada garis hijau vertikal. Karena data yang digunakan merupakan data *travel time*, maka dari picking gelombang akan didapatkan nilai *arrival time*, dan *travel time* didapatkan dari selisih antara *arrival time* dan *origin time*.

4) *Relokasi Hiposenter Menggunakan hypoDD*

Pada tahapan ini akan dijelaskan proses relokasi gempa bumi menggunakan program *hypoDD* yang berbasis pada metode *double difference*. Pada proses relokasi menggunakan *hypoDD* terbagi atas dua tahap proses, yang pertama tahap untuk menghubungkan gempa yang satu dengan gempa disekitarnya menggunakan program *ph2dt* dan untuk proses kedua digunakan program *hypoDD* untuk menghubungkan gempa satu dengan yang lainnya menjadi sebuah *cluster* dan melakukan koreksi waktu tiba dan stasiun untuk mendapatkan hasil relokasi gempa bumi.

5) *Plot Peta Seismisitas*

Pada tahap ini digunakan untuk membuat peta seismisitas untuk mengetahui pergerakan lokasi gempa bumi sebelum dan sesudah direlokasi. Pembuatan peta seismisitas ini digunakan menggunakan software GMT, yang sebelumnya harus diinstal *gsview* dan *ghostscript* untuk dapat membaca script pada program GMT dan dapat menampilkan peta seismisitas yang dibuat sendiri.

6) *Analisa Persebaran Gempa Bumi*

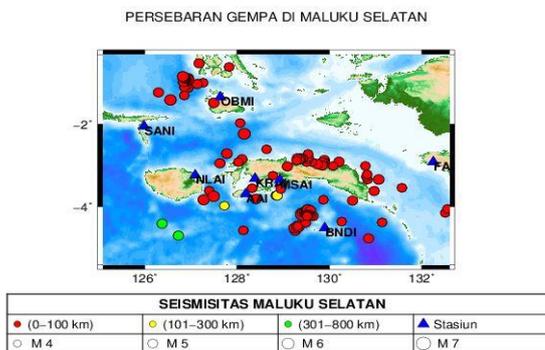
Tahapan terakhir adalah analisa persebaran gempa bumi dimana pada tahap ini dilakukan analisa untuk persebaran gempa bumi, ditinjau dari pergeseran terjauh, arah pergeseran terjauh menggunakan plot diagram kompas dengan bantuan MATLAB, kemudian arah pergeseran gempa paling banyak menggunakan plot

diagram rose dengan bantuan MATLAB, serta plot kedalaman hiposenter menggunakan GMT.

III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. *Seismisitas Wilayah Maluku Selatan*

Pada penelitian ini data gempa yang digunakan merupakan data open source dari *webdc.eu*. data gempa yang digunakan adalah data gempa di wilayah Maluku Selatan, periode 18 Januari 2011 sampai 25 Februari 2016 dengan magnitude minimal 4.8SR. Data yang digunakan sebanyak 99 event gempa bumi yang tersebar di wilayah Maluku Selatan (Gambar 6).



Gambar 6. Peta Persebaran Gempa Bumi dan Stasiun perekam di wilayah Maluku Selatan

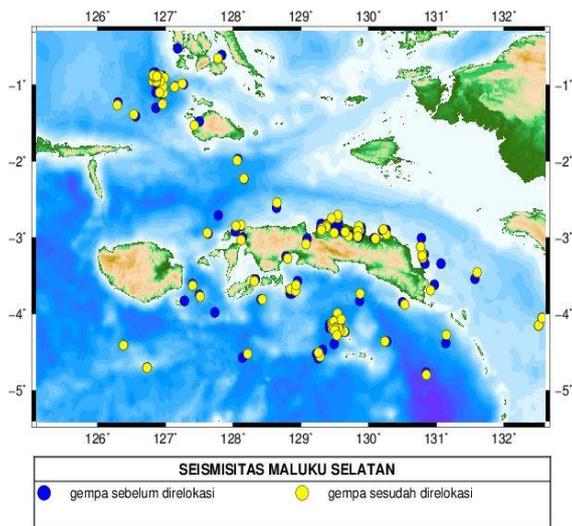
Jika diamati pada Gambar 6, terlihat gempa yang diteliti tersebar di seluruh wilayah Maluku Selatan, hanya beberapa gempa yang terlihat berkumpul menjadi satu dan berdekatan antara satu dengan yang lainnya. Untuk gempa dangkal antara kedalaman 0-100 Km ditunjukkan dengan warna merah, untuk gempa menengah dengan kedalaman 101-300 Km warna kuning, dan untuk gempa dengan kedalaman 301-800 Km, dan untuk kekuatan gempa (magnitude) ditunjukkan dengan besar kecilnya lingkaran. Terlihat dari Gambar 6 bahwa kondisi seismisitas pada wilayah Maluku Selatan didominasi oleh gempa dangkal kedalaman 0-100 Km dengan kekuatan 4-5 SR.

B. *Analisa Hasil Relokasi Hiposenter*

Setelah pengolahan data menggunakan program *hypoDD*, didapatkan hasil relokasi dalam file *hypoDD.reloc* yang berisi informasi tentang *latitude*, *longitude*, *depth* yang baru hasil relokasi menggunakan *hypoDD*. Kemudian hasil sebelum direlokasi, sesudah direlokasi, dan gabungan dari sebelum dan sesudah relokasi di buat peta seismisitasnya menggunakan GMT dan hasilnya sebagai berikut.



Gambar 7. Plot peta hiposenter sesudah relokasi

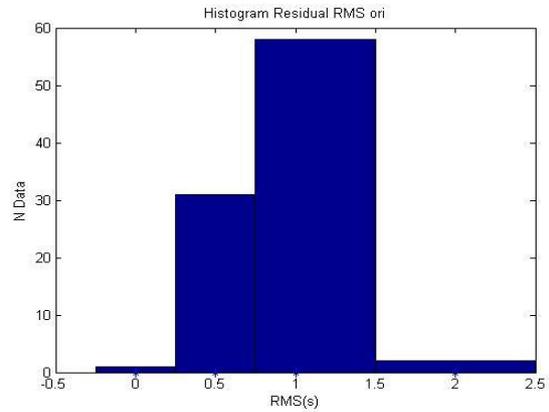


Gambar 8. Plot peta epicenter sebelum dan sesudah direlokasi

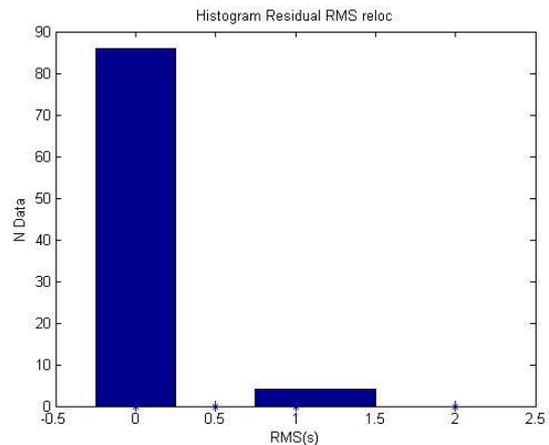
Hasil relokasi dapat dilihat pada Gambar 7, dan hasil gabungan bisa dilihat pada Gambar 8 dengan warna biru adalah gempa sebelum direlokasi, sedangkan warna kuning merupakan gempa sesudah direlokasi. Gambar 7 memperlihatkan bahwa episenter yang terelokasi memiliki kecenderungan berkumpul di suatu wilayah, dan perubahan lokasi epicenter setelah direlokasi cenderung ke arah yang tidak tentu/acak, namun untuk gempa yang berdekatan, epicenternya cenderung berkumpul pada satu titik yang saling mendekat. Terlihat pada Gambar 8, ada beberapa gempa yang tidak terelokasi, hal ini dikarenakan gempa terlalu jauh dengan pasangan gempa yang lain. Jika ingin melaksanakan gempa untuk dapat terelokasi, maka nilai MAXSEP dan WDCT harus sangat besar, nilai MAXSEP yang tinggi akan berdampak pada nilai outliers dan akan membuat hasil relokasi gempa tidak berjalan, atau bisa disebut hasil epicenter gempa yang sudah direlokasi akan sama persis dengan gempa sebelum direlokasi atau tidak terjadi perbuahan posisi pada epicenter gempa. Dengan begitu, maka tidak ada proses relokasi yang terjadi.

C. Perhitungan RMS Hasil Relokasi Hiposenter

Untuk mengetahui hasil relokasi itu akurat atau tidak, bisa ditinjau dari dua hal. Pertama dari nilai RMS pada hasil relokasi, dan yang kedua adalah dikorelasikan antara hasil relokasi dengan kondisi geologi daerah penelitian. Dari sini, maka nilai RMS sangat penting dalam menunjukkan apakah relokasi terbilang akurat atau tidak, dan untuk mengetahui apakah RMS kita akurat, maka harus ada data pembanding berupa data sebelum direlokasi. Hasil dari relokasi menunjukkan nilai RMS pada kolom kedua dari kanan dalam file *hypoDD.reloc.* untuk lebih mudahnya dalam menganalisa nilai RMS hasil relokasi, maka dibuat histogram nilai RMS hasil relokasi dan hasil sebelum direlokasi. Karena data gempa merupakan data *open source* dari *webdc.eu*, maka tidak diberikan nilai RMS data katalog gempa, sehingga untuk data pembanding digunakan nilai RMS pada iterasi pertama, dan untuk hasil relokasi digunakan nilai RMS pada iterasi kelima, dan hasilnya sebagai berikut.



Gambar 9. Histogram nilai RMS sebelum relokasi



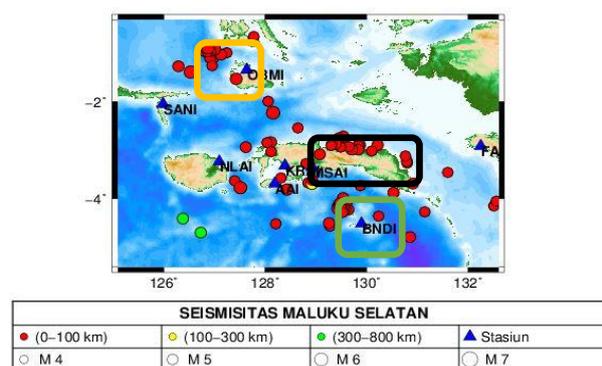
Gambar 10. Histogram nilai RMS sesudah relokasi

Dari perbandingan Gambar 9 dan Gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai RMS hasil relokasi berkisar antara didominasi oleh nilai yang mendekati nol, dan hanya 2 event dengan nilai RMS diatas 1, sedangkan untuk data sebelum direlokasi (Gambar 10) nilai RMS didominasi dengan nilai diatas 1, dan ada nilai yang diatas 2. Sehingga dapat disimpulkan bahwa relokasi menggunakan metode *double difference* memberikan hasil relokasi yang lebih akurat, ditunjukkan dari nilai RMS hasil relokasi menggunakan metode *double difference*.

D. Analisis Persebaran Hiposenter

Hasil dari relokasi gempa bumi yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menganalisa bagaimana persebaran hiposenter di daerah penelitian.

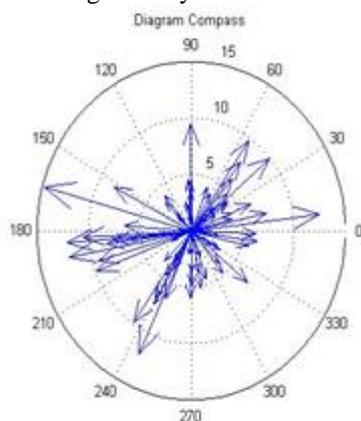
PERSEBARAN GEMPA DI MALUKU SELATAN



Gambar 11. Pola persebaran hiposenter

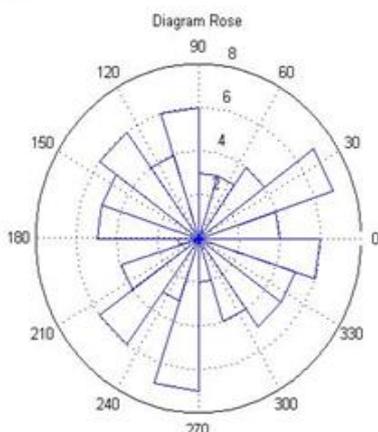
Pada Gambar 11 terlihat ada beberapa gempa yang berkumpul dalam satu titik, dimana yang diberikan dengan kotak oranye, hitam, dan hijau. Zona yang banyak terjadi gempa menurut peta potensi gempa (Tim revisi peta gempa Indonesia, 2010) merupakan zona rawan gempa, dimana hiposenter dengan kotak oranye (Gambar 11) merupakan zona *thrust* pada Laut Maluku dengan *slip-rate* sebesar 29 mm/tahun dan jenis *focal mechanism*-nya adalah tipe normal-slip, sedangkan pada kotak berwarna hijau di Selatan, merupakan zona *thrust* laut Seram selatan yang bergerak ke arah utara dengan pergerakan 8.5 mm/tahun dengan *focal mechanism* tipe normal-slip, dan untuk lingkaran berwarna hitam terlihat bahwa beberapa gempa terpusat disana, dan zona tersebut merupakan zona subduksi Laut Banda (Peta Hazard Gempa Indonesia, 2010). Sedangkan untuk gempa yang terjadi menyebar di Pulau Seram bisa diperkirakan karena efek gempa susulan (*aftershock*) akibat gempa utama dengan magnitudo yang besar. Dan beberapa gempa yang terjadi di dasar lautan, bisa karena efek vulkanik di dasar laut, maupun zona subduksi lempeng Indo-Australia.

Kemudian untuk mendapatkan pergeseran posisi hiposenter hasil relokasi, dapat menggunakan diagram kompas untuk mengetahuinya.



Gambar 12. Diagram kompas

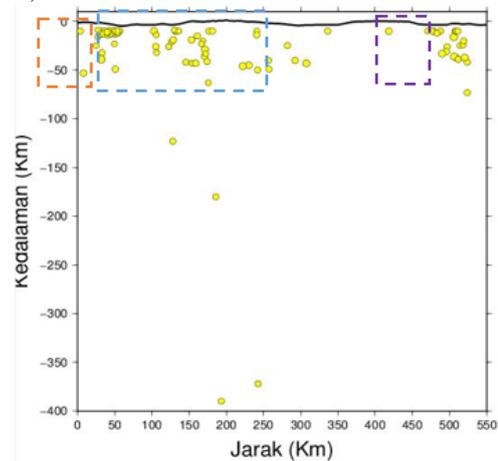
Dari Gambar 12 dapat diketahui bahwa hiposenter bergeser paling jauh sebesar 14.7830 Km dengan besar sudut 164.7650° dari 0° ke arah barat daya, dimana 0° merupakan arah utara menurut kompas. Untuk memperoleh pergeseran gempa yang paling banyak terjadi bergeser ke arah mana, digunakan diagram rose sebagai berikut.



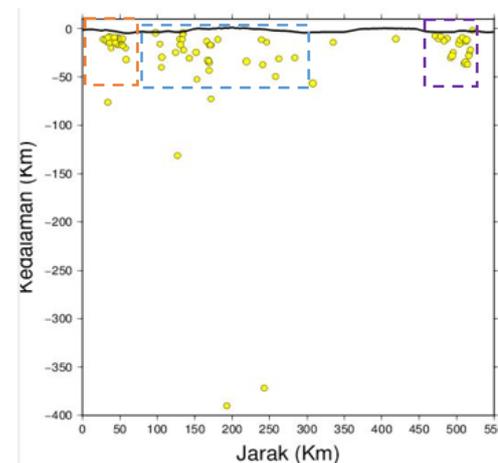
Gambar 13. Diagram rose

Dari Gambar 13 dapat dianalisa bahwa gempa tersebar secara acak, dan gempa paling banyak bergeser ke arah barat laut dan ke arah timur dengan jumlah gempa sebanyak 7 event.

Analisis persebaran selanjutnya dilakukan dengan melihat seluruh gempa yang sudah terelokasi dalam fungsi kedalaman, sehingga dapat diketahui persebaran hiposenter dalam fungsi kedalaman. Maka dibuat sebuah *sumcross* antara kedalaman (Km) dan jarak (Km) sebagai berikut,



Gambar 14. Analisa persebaran berdasarkan penampang vertikal dengan kondisi hiposenter sebelum direlokasi



Gambar 15. Analisa persebaran berdasarkan penampang vertikal dengan kondisi hiposenter sesudah direlokasi

Dari Gambar 14 dan Gambar 15 terlihat bahwa distribusi hiposenter berubah, dimana pada saat sebelum direlokasi (Gambar 14) distribusi masih menyebar dan kedalamannya masih banyak pada kedalaman 10 Km dimana merupakan *fixed depth*, namun setelah dilakukan relokasi (Gambar 15) distribusi hiposenternya kedalamannya lebih menyebar, namun untuk pergeserannya lebih berkumpul. Seperti pada kotak berwarna pada Gambar 14 maupun Gambar 15 menunjukkan perubahan hiposenter pada event gempa yang sama.

IV. KESIMPULAN

Dari pengolahan data, analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian Tugas Akhir ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Relokasi menggunakan metode *double difference* mampu memberikan hasil relokasi yang lebih akurat,

hal ini ditunjukkan dengan nilai RMS hasil relokasi yang jauh lebih baik (mendekati nol) dibandingkan dengan nilai RMS sebelum relokasi.

2. Persebaran hiposenter gempa banyak terjadi dekat patahan, dan zona subduksi lempeng, pergeseran episenter lebih terkumpul pada satu titik dan kedalaman hiposenter lebih tersebar (keluar dari *fixed depth*) didominasi antara 2-50 Km.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada dosen pembimbing Prof.Dr.rer.nat Bagus Jaya Santosa S.U atas bimbingan yang diberikan selama penulis menyelesaikan penelitian. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada, dosen-dosen, dan teman-teman atas dukungan serta semangatnya. Penulis juga berterima kasih kepada laboran dan kepala laboratorium geofisika di jurusan Fisika ITS yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afnimar. 2009. *Seismologi*. Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- [2] Hall, Robert. 1991. *Plate Boundaru Evolution in the Halmahera Region, Indonesia*. Elsevier Science Publishers, Tectonophysics, 144, 337-352.
- [3] Waldhause, Felix. 2001. *HypoDD: A computer program to compute double-difference earthquake location*, U.S. Geol. Surv. Openfile report, 01-113, Menlo Park, California.
- [4] Aswad, Sabrianto. 2010. *Relokasi Gempa Vulkanik Kompleks Gunung Guntur Menggunakan Algoritma Double Difference*. Karya Tulis. Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- [5] Waldhauser, Felix and William L. Ellsworth. 2000. *A Double Difference Earthquake Location Algorithm: Method and Application to the Northern Hayward Fault, California*. Bulletin of the Seismological Society of America, 90, 6, pp. 1353-1368.