

## Aplikasi Metode Modified Joint Hypocenter Determination (MJHD) dan Hypocenter Double Difference (HYPODD) untuk Relokasi Gempabumi Swarm di Wilayah Mamasa

<sup>1</sup>Randy Sitorus Pane, <sup>2</sup>Emelda Meva Elsera

<sup>1</sup>Stasiun Geofisika Klas III Gunungsitoli, <sup>2</sup>Balai Besar Meteorologi Klimatologi Geofisika wilayah IV Makassar  
Email: randysitorus06@gmail.com

**Abstrak** – Pada tahun 2018 terjadi peningkatan aktifitas seismik yang cukup signifikan di wilayah Mamasa dan fenomena tersebut diklasifikasikan sebagai gempabumi *swarm*. Gempabumi *swarm* adalah rentetan gempabumi kecil yang terjadi pada wilayah yang sangat lokal secara terus menerus dengan periode waktu kejadian tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk merelokasi gempabumi *swarm* yang terjadi di wilayah Mamasa menggunakan metode *Modified Joint Hypocenter Determination* (MJHD) dan *Hypocenter Double Difference* (HypoDD) agar menghasilkan akurasi gempabumi yang lebih baik. Data yang digunakan berupa data *arrival time* BMKG dengan rentang waktu November 2018 – Juni 2019 dengan batasan wilayah 2,70 LS – 3,20 LS dan 119,20 BT – 119,70 BT. Relokasi gempabumi menggunakan metode *Modified Joint Hypocenter Determination* (MJHD) dan *Hypocenter Double Difference* (HypoDD) keduanya menunjukkan nilai *Root Mean Square* (RMS) yang lebih baik dibandingkan sebelum dilakukan relokasi. Berdasarkan metode MJHD, kedalaman hiposenter berada pada kedalaman 0 - 52,81 km, sedangkan berdasarkan hasil relokasi hypoDD kedalaman hiposenter berada pada kedalaman 5,07 – 24,877 km. Posisi gempabumi sebelum dan setelah relokasi dipetakan untuk melihat perubahan yang terjadi. Hasil relokasi hiposenter gempabumi ini memiliki keterkaitan dengan kondisi tektonik di wilayah Mamasa, namun perlu kajian lebih lanjut untuk melihat keterkaitan ini.

**Kata kunci:** HYPODD, MJHD, RMS, Swarm

**Abstract** – In 2018 there was a significant increase in seismic activity at Mamasa region and the phenomenon was classified as an earthquake swarm. Swarm earthquake is a series of small earthquakes that occur in a very local area continuously with a certain period of time. This study aims to relocate the swarm earthquake that occurred in the Mamasa region using the Modified Joint Hypocenter Determination (MJHD) and Hypocenter Double Difference (HypoDD) methods to produce better earthquake accuracy. The data used in the form of BMKG arrival time data in November 2018 - June 2019 with an area limit of 2.00 LS - 3.20 LS and 119.20 BT - 119.70 BT. Earthquake relocation using the Modified Joint Hypocenter Determination (MJHD) and Hypocenter Double Difference (HypoDD) methods both show better Root Mean Square (RMS) values than before relocation. According MJHD method, the depth between 0 - 52,81 km, although according relocation result of hypoDD, the depth in 5,07 – 24,877 km. The position of the earthquakes before and after relocation are mapped to see the changes that occur. The results of this earthquake hypocenter relocation have a connection with tectonic conditions in the Mamasa region, but further studies are needed to see this relation.

**Keywords:** HYPODD, MJHD, RMS, Swarm

### I. PENDAHULUAN

Pada rentang waktu bulan November 2018 hingga bulan Juni 2019, fenomena serangkaian gempabumi kecil terjadi di wilayah Mamasa. Fenomena rangkaian gempabumi di wilayah Mamasa tersebut dapat diklasifikasikan sebagai gempabumi *swarm*. Gempabumi *swarm* adalah rentetan gempabumi kecil yang terjadi pada wilayah yang sangat lokal secara terus menerus dengan periode waktu kejadian tertentu. Menurut Putri (2015), umumnya gempabumi *swarm* terjadi di daerah vulkanik atau di daerah patahan atau di daerah terjadi konsentrasi stress [1].

Aktifitas gempabumi di wilayah Mamasa dipengaruhi oleh adanya sesar Saddang yang memanjang dari pesisir pantai Mamuju, memotong diagonal melintasi daerah Sulawesi Selatan bagian tengah. Keaktifan dari sesar Saddang ini diakibatkan karena adanya pengaruh aktifitas tektonik lain di wilayah Sulawesi Selatan seperti pemekaran dasar laut di sekitar selat Makassar, subduksi lokal di sekitar

danau Tempe dan Sidenreng, pemekaran dasar laut di teluk Bone, dan sesar Matano (Utami, 2011)[2].

Pada penelitian ini, metode HypoDD menggunakan waktu tiba gelombang P dan S, sedangkan untuk metode MJHD menggunakan waktu tiba gelombang P saja. Adapun tujuan dari penelitian ini akan membahas perubahan hiposenter dari hasil relokasi gempabumi *swarm* di wilayah Mamasa menggunakan metode MJHD dan HypoDD.

### II. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *arrival time* gelombang P dan S yang diambil dari BMKG untuk wilayah Mamasa dengan batasan wilayah 2,70 LS – 3,20 LS dan 119,20 BT – 119,70 BT pada bulan November 2018 sampai dengan bulan Juni 2019. Jumlah gempabumi yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 611 gempabumi.

A. *Modified Joint Hypocenter Determination* (MJHD)

MJHD merupakan metode yang dikembangkan oleh Hurokawa dan Imoto (1992) berdasarkan metode *Joint Hypocenter Determination* (JHD) yang dikembangkan oleh Douglas (1967) [4]. Metode MJHD menambahkan batasan pada kedalaman dan episenter. Sehingga metode ini mampu menghasilkan posisi gempabumi secara akurat walaupun struktur dalam bumi sangat heterogen dan distribusi stasiun yang tidak merata (Budiaty, 2013)[5]. Prinsip dari Metode MJHD adalah secara simultan menginversikan waktu tempuh sekelompok data gempabumi untuk mendapatkan lokasi hiposenter yang lebih baik.

Adanya penambahan koreksi stasiun berupa faktor *azimuth* dan jarak relatif stasiun, hasil yang didapatkan menjadi lebih akurat meskipun model kecepatan yang digunakan sama dengan hiposenter awal. Penambahan faktor *azimuth* dan jarak relatif stasiun akan membuat metode ini dapat mengadaptasi variasi kecepatan lateral yang cukup heterogen serta distribusi stasiun yang umumnya tidak merata (Aswad, 2012)[6].

Persamaan yang digunakan dalam penentuan hiposenter menggunakan MJHD adalah persamaan (1):

$$(O - C)_{ij} = (t_{ij} - T_{o_i}) - T_{ij}$$

$$= \frac{\partial t_{ij}}{\partial x_j} \partial x_j + \frac{\partial t_{ij}}{\partial y_j} \partial y_j + \frac{\partial t_{ij}}{\partial z_j} \partial z_j + dT_{o_j} + dS_i \quad (1)$$

O = waktu tempuh yang diamati, C = waktu tempuh yang dihitung,  $(C - O)_{ij}$  = residu waktu tempuh pada gempabumi ke-i di stasiun ke-j,  $t_{ij}$  dan  $T_{ij}$  adalah waktu tiba dan waktu tempuh yang dihitung dari gempabumi sejumlah j pada stasiun i,  $dS_i$  = koreksi stasiun ke i,  $T_{o_j}$  = waktu terjadi gempabumi, sedangkan  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ ,  $dT_o$  adalah koreksi hiposenter percobaan dari event ke-j.

Terdapat penambahan *prior* dalam metode MJHD, yaitu *prior* terhadap kedalaman pada (2) dan *prior* terhadap episenter (3). Adanya *prior* terhadap kedalaman dan episenter akan membuat koreksi stasiun tidak bergantung pada jarak dan nilai azimuth antara pusat studi dan stasiun yang dipakai.

$$\sum_{i=1}^n S_i D_i = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n S_i \cos \theta_i = 0 \text{ dan } \sum_{i=1}^n S_i \sin \theta_i = 0 \quad (3)$$

Kemudian penjumlahan dari seluruh koreksi stasiun yang digunakan harus sama dengan nol.

$$\sum_{i=1}^n S_i = 0 \quad (4)$$

$S_i$  = koreksi stasiun di stasiun ke-i,  $D_i$  = jarak antara stasiun i dan pusat daerah studi,  $\theta_i$  = sudut azimuth stasiun i dari pusat daerah dan n = jumlah stasiun pengamat.

### B. Hypocenter Double Difference (HypoDD)

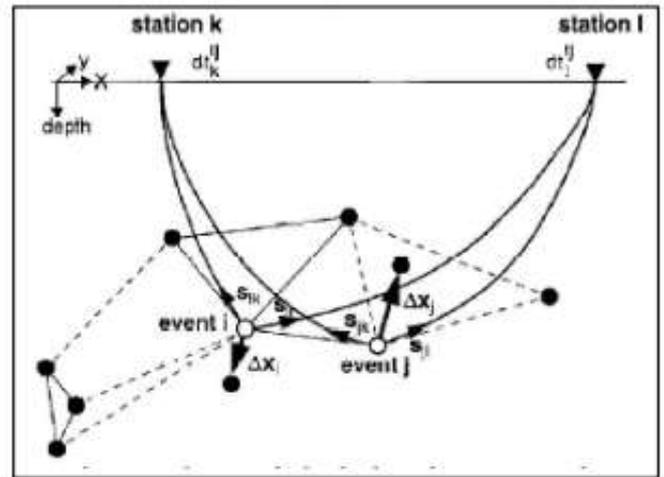
Metode relokasi lain yang digunakan pada penelitian ini adalah metode DD yang dijalankan melalui program HypoDD (*Hypocenter Double Difference*). Gambar 1 memperlihatkan metode DD mempunyai prinsip mengasumsikan jarak hiposenter antara dua gempabumi yang lebih pendek dibandingkan jarak antara hiposenter dan stasiun, maka *raypath* kedua gempabumi dianggap sama. Sehingga, selisih waktu tempuh antara kedua gempabumi yang terekam pada satu stasiun yang sama dapat dianggap hanya sebagai fungsi jarak antara kedua hiposenter. Sehingga kesalahan model kecepatan bisa diminimalisasi

tanpa menggunakan koreksi stasiun (Waldhauser dan Ellsworth, 2000) [7].

Nilai residual mendekati nol antara perbedaan waktu tempuh kalkulasi dan observasi dua gempabumi pada stasiun pencatat merupakan salah satu solusi yang dicari pada metode ini. Residual antara waktu tempuh kalkulasi dengan observasi dua gempabumi yang berdekatan, didefinisikan sebagai berikut :

$$dr_k^{kl} = (t_k^i - t_k^j)^{obs} - (t_k^i - t_k^j)^{cal} \quad (5)$$

$t_k^i$  merupakan waktu tempuh gelombang gempabumi i ke stasiun k dan  $t_k^j$  adalah waktu tempuh gelombang gempabumi j ke stasiun k.



Gambar 1. Ilustrasi metode HypoDD (Waldhauser dan Ellsworth, 2000)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

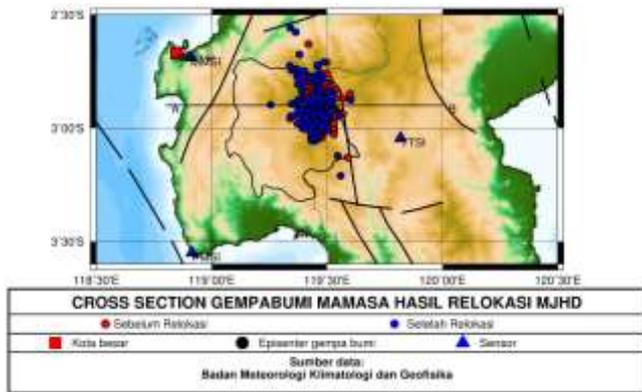
Pada pengolahan dengan menggunakan metode MJHD diperlukan beberapa input dalam proses perhitungan hiposenter. Parameter tersebut adalah *Minimum Number of earthquake* (MEQ), yaitu jumlah minimal gempabumi yang tercatat pada satu stasiun dan *Minimum Number of Station* (MNST), yaitu jumlah minimal stasiun yang mencatat satu gempabumi. Pada penelitian ini, nilai MEQ dan MNST yang digunakan adalah 7.

Parameter lain yang digunakan sebagai input, yaitu nilai residu antara waktu tempuh yang diamati terhadap waktu tempuh yang dihitung. Nilai residual antara waktu tempuh yang diamati terhadap waktu tempuh yang dihitung < 1 detik. Berdasarkan parameter diatas, gempabumi yang berhasil direlokasi menggunakan metode MJHD sebanyak 185 gempabumi dari 611 gempabumi.

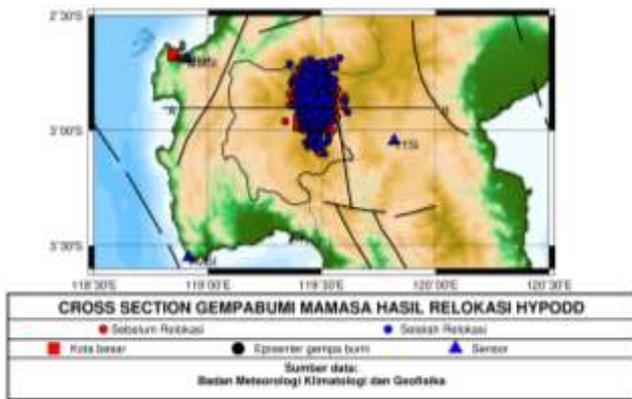
Pada metode DD juga terdapat beberapa kategori dalam pemilihan data gempabumi. Misalnya, jarak minimal stasiun dan jumlah stasiun minimal yang mencatat gempabumi. Jarak yang digunakan pada penelitian ini adalah 250 km, sedangkan jumlah stasiun minimal yang mencatat adalah 7 stasiun. Berdasarkan kategori tersebut, data gempabumi yang berhasil direlokasi sebanyak 471 gempabumi.

Gambar 2 dan 3 menunjukkan distribusi hiposenter gempabumi sebelum dan setelah relokasi. Warna merah menunjukkan posisi gempabumi sebelum relokasi, sedangkan warna biru adalah posisi gempabumi yang telah direlokasi. Berdasarkan peta tersebut, hasil relokasi kedua metode menunjukkan terjadi pergeseran posisi hiposenter

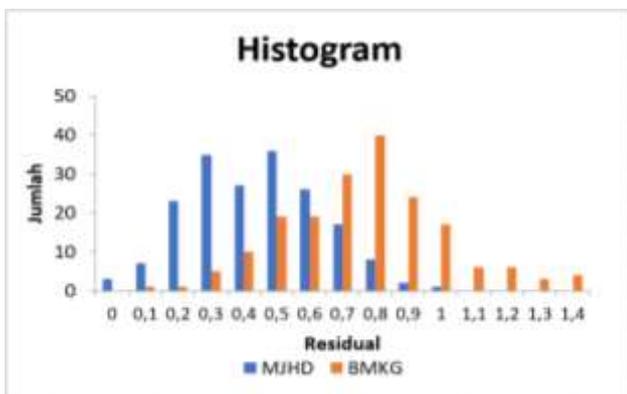
terhadap posisi awal. Berdasarkan distribusi hasil relokasi tersebut, posisi hiposenter gempabumi mengalami pergeseran dan membentuk suatu pola yang berkelompok. Pergeseran dan pengelompokan ini dianggap sebagai yang berasosiasi dengan sumber pembangkit gempabumi, sehingga posisi gempabumi dapat ditarik dekat dengan kumpulan pasangan gempabumi yang awalnya telah terbentuk dengan baik.



Gambar 2. Peta distribusi gempabumi sebelum dan setelah relokasi metode MJHD



Gambar 3. Peta distribusi gempabumi sebelum dan setelah relokasi metode HypoDD

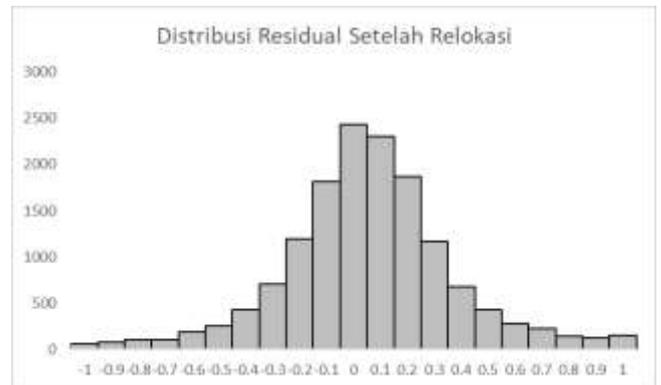


Gambar 4. Perbandingan histogram *Root Mean Square* (RMS) antara MJHD dan BMKG

Selain pergeseran posisi hiposenter, hasil relokasi juga memperbaiki nilai *Root Mean Square* (RMS). Berdasarkan hasil relokasi menggunakan metode MJHD, nilai RMS

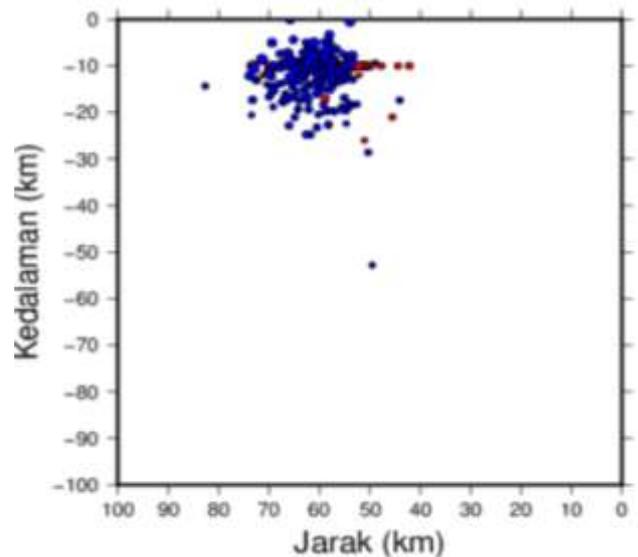
mengalami perubahan dengan sangat baik. Nilai RMS setelah relokasi memiliki rentang antara 0 hingga 1, sedangkan nilai RMS sebelum relokasi memiliki sebaran antara 0,1 hingga 1,4 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.

Hasil yang diperoleh berdasarkan metode HypoDD juga menunjukkan terdapat perubahan pada RMS. Sebelum relokasi rentang RMS berkisar antara 0,1 hingga 1,5. Namun setelah relokasi, nilai RMS memiliki rentang antara -1 hingga 1. Berdasarkan gambar 5, nilai RMS yang mendekati nol semakin banyak. Hal ini menunjukkan bahwa posisi hasil relokasi semakin presisi.



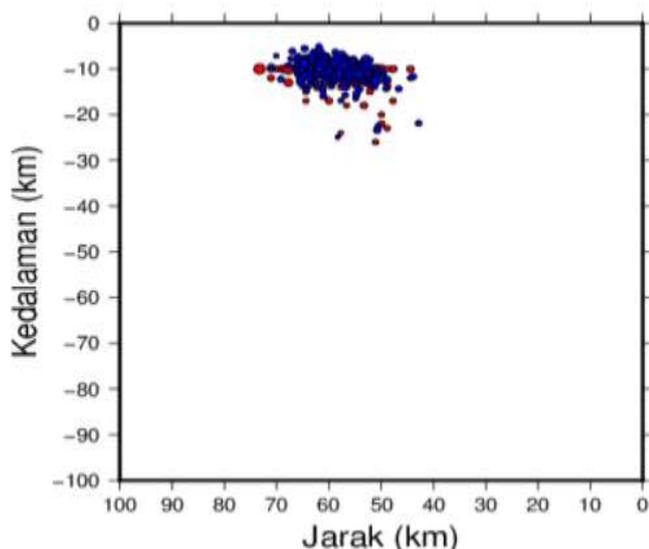
Gambar 5. RMS hasil relokasi metode HypoDD

Gambar 6 dan 7 menunjukkan hasil *slicing* hiposenter gempabumi berdasarkan kedalaman. Pergeseran hasil relokasi menggunakan metode MJHD dan HypoDD yang signifikan terlihat pada kedalaman. Kedalaman data awal rata-rata memiliki kedalaman 10 km. Kedalaman yang dihasilkan dari kedua metode yang dipakai memiliki hasil kedalaman yang lebih bervariasi. Berdasarkan hasil relokasi menggunakan metode MJHD, kedalaman hiposenter berada pada kedalaman 0 - 52,81 km, sedangkan berdasarkan hasil relokasi hypoDD kedalaman hiposenter berada pada kedalaman 5,07 - 24,877 km.



Gambar 6. Perbandingan kedalaman gempabumi antara MJHD dan BMKG





**Gambar 7.** Perbandingan kedalaman gempabumi antara HypoDD dan BMKG

Berdasarkan hasil relokasi tersebut, gempabumi di wilayah Mamasa dikategorikan sebagai gempabumi dangkal ( $H < 60$  km). Berdasarkan sebaran hiposenter, gempabumi Mamasa memiliki pola yang terkonsentrasi pada suatu kondisi tektonik tertentu. Kondisi tektonik tersebut dikaitkan dengan sesar Saddang yang berada di wilayah Mamasa.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan metode MJHD dan HypoDD dapat disimpulkan bahwa hasil relokasi menyebabkan terjadi pergeseran posisi hiposenter yang lebih baik dibandingkan posisi awal. Selain perubahan posisi, relokasi hiposenter juga memperbaiki nilai RMS dan kedalaman. Nilai RMS yang diperoleh setelah relokasi memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan nilai RMS sebelum relokasi. Kedalaman hasil relokasi juga lebih bervariasi jika dibandingkan dengan data awal yang memiliki nilai dominan di kedalaman 10 km. Berdasarkan sebaran hiposenter, gempabumi Mamasa memiliki pola yang terkonsentrasi pada suatu kondisi

tektonik tertentu. Kondisi tektonik tersebut dikaitkan dengan sesar Saddang yang berada di wilayah Mamasa.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada BMKG yang telah menyediakan data, sehingga penulis dapat menggunakan data gempabumi *swarm* di wilayah Mamasa untuk menyelesaikan penelitian ini.

#### PUSTAKA

- [1] Putri, Y.T., 2015, Quick determination of fault planes of large earthquake in indonesia and study of recent seismicity in the aceh segment of the sumatran fault, *Thesis*, National Graduate Institute for Policy Studies, Tokyo.
- [2] Utami, M., 2011, Analisis mekanisme pusat gempa Soroako, *Skripsi*, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- [3] Hurokawa, N. and Imoto, M., *Subducting Oceanic Crust of Philippine Sea and Pacific Plates and Weak Zone Normal Compression in Kanto District, Japan*. *Geophys. J. Int.* 109, 1992, 639-652.
- [4] Douglas, A., Joint Hypocenter Determination, *Nature*, 215, 1967, 47-48.
- [5] Budiati, M.R., 2013, Relokasi gempa di sepanjang sesar palu koro menggunakan metode mjhd dan double difference, *Skripsi*, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- [6] Aswad, S., Ahmad, D., dan Budiati, M.R., 2012, Relokasi gempa di sepanjang sesar palu koro menggunakan metode *modified joint hypocenter deterministik* dan *double difference*, Prodi Geofisika, Jurusan Geofisika, Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin.
- [7] Waldhauser, F. and Ellsworth, W.L., A Double-difference Earthquake Location Algorithm: Method and Application to the Northern Hayward Fault, California, *Bull. Seismo. Soc. Am.*, vol. 90, 2000, pp. 1353-1368