

RELOKASI HIPOCENTER MENGGUNAKAN METODE *MODIFIED JOINT HYPOCENTER DETERMINATION* (STUDI KASUS GEMPABUMI LAUT MALUKU TANGGAL 15 NOVEMBER 2019)

Sisca Cicilya Sabonbali¹⁾, Heinrich Taunaumang²⁾, Ferdy Dungus³⁾, Muhammad Zulkifli⁴⁾, dan Sesar Prabu Dwi Sriyanto⁵⁾

^{1,2,3}FMIPA, Universitas Negeri Manado

^{4,5}Stasiun Geofisika Manado, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
email: cicilyasabonbali@gmail.com

ABSTRAK

Pada penelitian ini ditentukan lokasi hiposenter akurat tanggal 15 November 2019 gempa susulan gempa Laut Maluku dengan menggunakan metode Modified Joint Hypocenter Determination (MJHD). Metode ini menghitung koreksi hiposenter dan stasiun seismik secara bersamaan menggunakan inversi waktu tempuh gelombang seismik. Waktu kedatangan gelombang P dan S di setiap stasiun dari database BMKG digunakan dalam studi ini. Setelah direlokasi, sebagian besar hiposentrum gempa susulan dikategorikan sebagai gempa dangkal dan sedang dengan kisaran kedalaman fokus antara 25-150 km.

Kata kunci: Relokasi, MJHD, Gempa

ABSTRACT

In this study, we determined the accurate hypocenter location of November 15, 2019, the Molucca Sea earthquake aftershocks using the Modified Joint Hypocenter Determination (MJHD) method. This method calculated the hypocenter and seismic station correction simultaneously using the seismic wave travel time inversion. The P and S wave arrival time at each station from the BMKG database was used in this study. After relocated, most of the aftershocks hypocenter categorized as shallow and medium depth earthquakes with the range of focal depth between 25-150 km.

Keywords: Relocation, MJHD, Earthquake

1. PENDAHULUAN

Wilayah Laut Maluku termasuk salah satu wilayah dengan aktivitas gempabumi yang tinggi di Indonesia. Secara tektonik, wilayah Laut Maluku memiliki tatanan yang cukup kompleks karena terdapat interaksi dari beberapa lempeng antara lain lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, lempeng Filipina, dan lempeng mikro Laut Maluku yang merupakan bagian yang terpisah dari lempeng makro. Lempeng-lempeng inilah yang secara aktif berkontribusi pada keaktifan seismik di wilayah Laut Maluku. Lempeng Laut Maluku menunjam ke kedua arah, baik ke bawah lempeng Eurasia di arah barat maupun ke bawah lempeng Filipina di arah timur. Terbentuknya tunjaman di kedua sisi yang juga disebut dengan subduksi ganda ini menghasilkan busur Kepulauan Halmahera di sebelah timur Laut Maluku, dan busur Kepulauan Sangihe di sebelah barat (Setiadi dkk, 2016).

Penentuan hiposenter gempabumi yang merupakan salah satu parameter gempabumi sangatlah penting di dalam dunia seismologi. Sebaran lokasi hiposenter gempabumi sangat diperlukan dalam analisis struktur tektonik secara detail, misalnya untuk identifikasi zona patahan maupun pola zona subduksi. Konfigurasi jaringan stasiun seismik, distribusi data gempa, pembacaan waktu tiba gempabumi dan model struktur kecepatan merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi akurasi penentuan lokasi titik hiposenter gempabumi (Dewi, 2018).

Parameter hiposenter gempabumi yang dirilis oleh BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) masih kurang optimal dalam hal akurasi karena lebih berfokus pada kecepatan informasi untuk peringatan dini tsunami bagi masyarakat. Oleh karena itu, perlu dilakukan relokasi atau perbaikan lokasi parameter hiposenter gempabumi yang telah dihasilkan sebelumnya. Relokasi hiposenter merupakan koreksi dari lintang, bujur, kedalam dan *origin time* dari gempabumi (Purnamasari, 2018).

Pada penelitian ini dilakukan relokasi parameter hiposenter gempabumi susulan (*aftershock*) di Laut Maluku berdasarkan kejadian gempabumi utama pada tanggal 15 November 2019 pada pukul 00:17:43 WITA menggunakan metode relokasi *Modified Joint*

Hypocenter Determination (MJHD). Metode ini memanfaatkan waktu tiba gelombang P dan S dari beberapa stasiun seismik. Metode MJHD dikembangkan oleh Hurokawa dan Imoto (1992) menggunakan model kecepatan seismik global IASP91 yang merupakan suatu model kecepatan global yang dihasilkan oleh *International of Seismology and Physics of the Earth's Interior* (IASPEI) dengan memperhatikan keheterogenan suatu lapisan bumi (Sari, 2017).

Metode MJHD ini memiliki kelebihan yaitu adanya penambahan koreksi stasiun pada proses penentuan ulang hiposenter gempabumi. Metode ini dipilih karena menambahkan batasan pada kedalaman dan episenter, sehingga tetap mampu merelokasi gempa secara lebih akurat walaupun struktur didalam bumi sangat heterogen dan distribusi stasiun tidak merata (Purnamasari, 2018).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pola sebaran gempabumi susulan di wilayah Laut Maluku berdasarkan perubahan parameter gempabumi hasil relokasi dengan menggunakan metode MJHD. Dengan diketahuinya pola sebaran hiposenter gempabumi pada daerah penelitian ini dapat membantu untuk memberikan gambaran pola tektonik di wilayah tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di daerah Laut Maluku, relokasi hiposenter gempabumi dimulai dari periode waktu 15 November 2019 – 21 November 2019, dengan batas koordinat 0.94 LU – 2.55 LU dan 125.68 BT – 127.06 BT.

Alat dan bahan yang digunakan yaitu berupa Laptop untuk pengolahan data dan penulisan, *software Cygwin* digunakan untuk menjalankan relokasi data gempabumi dengan menggunakan metode MJHD, *software GMT* digunakan untuk melakukan plotting peta sebelum relokasi maupun hasil dari relokasi, *software GIS* digunakan untuk pemetaan lokasi penelitian, *microsoft Excel* digunakan untuk menentukan nilai perubahan rms.

Data hasil dalam penelitian ini, dimulai dengan data yang di donwload dari katalog BMKG, berupa data tiba gelombang P dan S. Kemudian format data tersebut diubah menjadi format data MJHD agar bisa dilakukan relokasi. Untuk proses penyeleksian stasiun, dimasukkan jumlah

minimal gempabumi yang dicatat oleh stasiun dan jumlah minimal stasiun yang dipakai dalam satu gempabumi. Selain itu, dimasukkan pula jumlah gempabumi dan jumlah stasiun yang akan digunakan. Ketika data tersebut diproses, maka akan muncul hasil inputan. Untuk menghasilkan nilai residual, harus melalui tahap pemilihan input NST. Nilai residual yang digunakan pada penelitian ini yaitu 2 detik, jika nilai residual sudah sesuai dengan yang ditentukan maka akan keluar hasil output yang berupa lokasi hiposenter gempabumi terelokasi. Hasil tersebut selanjutnya dipetakan untuk mengetahui sebaran hiposenter sebelum dan sesudah direlokasi.

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menganalisis data sebelum dan sesudah hasil direlokasi berupa nilai RMS dan jumlah stasiun pencatatan gempa yang digunakan. Selanjutnya dari data tersebut kita dapat mengetahui apakah ada perbaikan lokasi hiposenter dan juga dapat menentukan arah sebaran hiposenter gempabumi susulan di wilayah penelitian berdasarkan distribusi relokasi gempabumi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Relokasi Hiposenter Gempabumi

Proses relokasi menggunakan metode MJHD menghasilkan hiposenter yang lebih akurat. Seperti penelitian-penelitian sebelumnya, peningkatan akurasi ini dibarengi dengan perubahan lokasi hiposenter. Perubahan yang cukup signifikan ada pada parameter kedalaman. Metode MJHD ini menggunakan data waktu tiba gelombang P dan waktu tiba gelombang S yang diperoleh dari katalog BMKG sebagai input awal. Pada penelitian ini digunakan Minimum jumlah gempabumi (MEQ) = 5 dan Minimum jumlah stasiun (MNST) = 5.

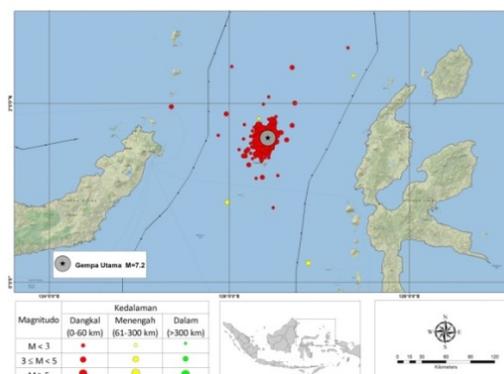
MEQ ditentukan 5 berarti satu stasiun pengamat gempabumi harus mencatat minimal 5 gempabumi dari semua data yang digunakan dan MNST ditentukan 5 maksudnya satu *event* gempabumi harus terekam minimal 5 stasiun. Nilai tersebut dipilih agar gempabumi yang direlokasi dapat diloloskan lebih banyak, tetapi tetap memperhatikan keakuratan parameter yang dihasilkan. Jumlah stasiun (NST) yang digunakan dalam pengolahan tergantung pada nilai MEQ dan MNST dan nilai NST yang

diperoleh adalah 23 stasiun. Distribusi stasiun yang digunakan terdapat pada Gambar 1.

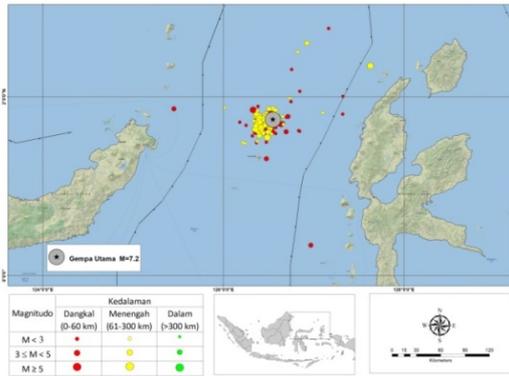


Gambar 1. Distribusi Stasiun (segitiga merah) yang digunakan Dalam Penelitian

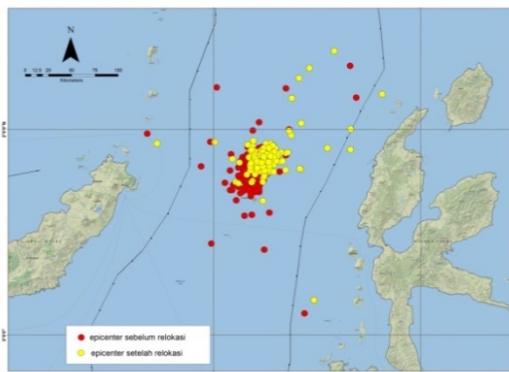
Jumlah data gempabumi yang diperoleh dari katalog BMKG sebagai input awal dalam perhitungan relokasi berjumlah 336 *event* meliputi 1 gempabumi utama (*main shock*) dan 335 gempabumi susulan (*after shock*) dan hasil relokasi menggunakan MJHD diperoleh 131 *event* gempabumi yang tersebar dengan kedalaman dan magnitudo bervariasi. Beberapa data yang tidak terelokasi diakibatkan oleh besarnya residual waktu tiba melebihi residual yang ditentukan atau jumlah stasiun yang mencatat kejadian gempabumi tersebut kurang dari batas minimal yang ditentukan. Dalam pengolahan data ini nilai residual (O-C) minimal yang digunakan adalah dua detik sedangkan rentang kedalaman antara 0 – 400 km. Nilai rentang kedalaman ini ditentukan berdasarkan distribusi data kedalaman gempabumi.



Gambar 2. Peta Episenter Gempabumi Sebelum Relokasi

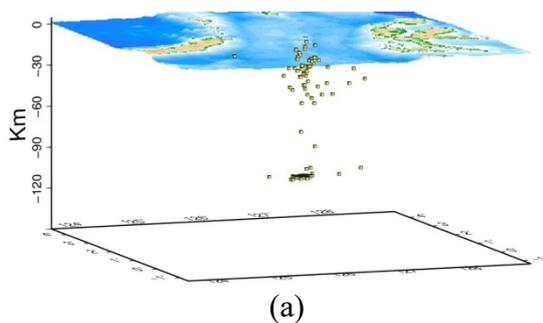


Gambar 3. Peta Episenter Gempabumi Sesudah Relokasi

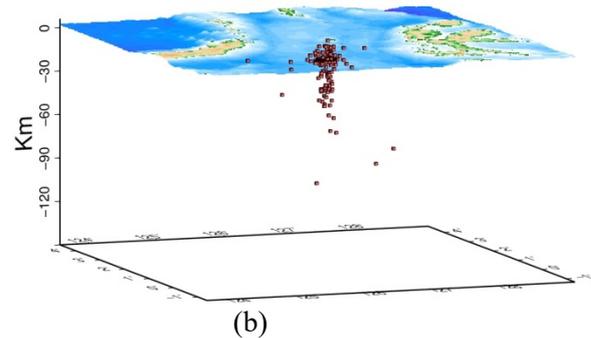


Gambar 4. Peta Perbandingan Episenter Gempabumi Sebelum dan Sesudah Relokasi

Pada Gambar 2 dan 3 di atas ditunjukkan perbandingan posisi episenter gempabumi sebelum dan sesudah direlokasi di wilayah Laut Maluku. Secara horizontal, posisi episenter dari kedua gambar tersebut berbeda tidak terlalu signifikan dan setelah diplot secara bersamaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4., terlihat adanya perubahan posisi episenter sebelum dan sesudah relokasi. Posisi episenter yang direlokasi ditunjukkan dengan lingkaran berwarna kuning, mengalami perubahan posisi dan relatif berkumpul pada satu kluster.



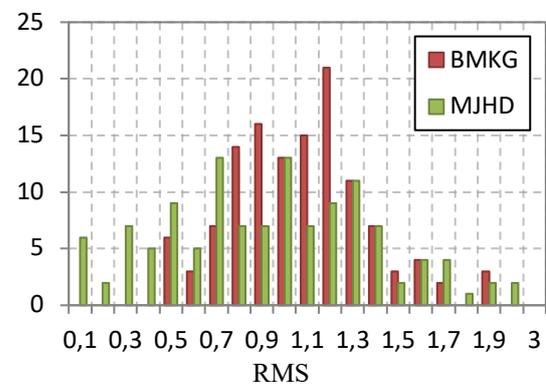
(a)



(b)

Gambar 5. Peta Seismitas dalam 3-D Sebelum Relokasi (a) dan Sesudah Relokasi (b)

Gambar 5 memberikan gambaran distribusi hiposenter sebelum dan sesudah direlokasi dalam bentuk 3-D. Pada Gambar 5 (a), memperlihatkan posisi gempa-gempanya menyebar dan didominasi oleh gempa-gempa dengan kedalaman 10 km (*fix depth*). Sedangkan pada Gambar 5 (b), memperlihatkan distribusi hiposenter setelah direlokasi, terlihat gempa-gempa yang sebelumnya menyebar, berkumpul mengikuti pola tektonik yang ada pada wilayah penelitian. Terlihat jelas bahwa setelah direlokasi, gempabumi dengan kedalaman 10 km (*fix depth*) mengalami perubahan posisi kedalaman.



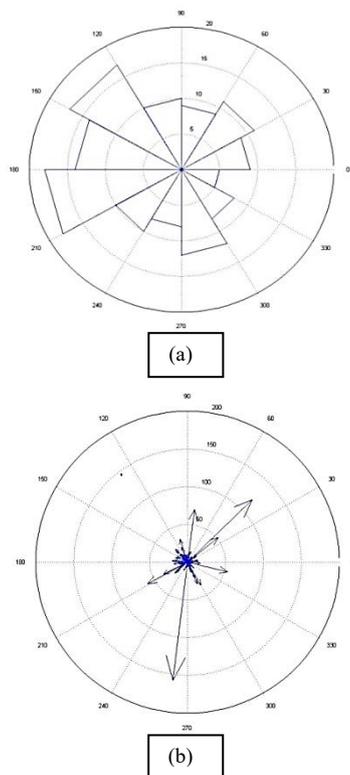
Gambar 6. Grafik Perbandingan RMS Gempabumi Sebelum dan Sesudah Relokasi

Salah satu indikator yang menunjukkan hasil relokasi menggunakan MJHD lebih baik adalah adanya penurunan nilai RMS (*Root Mean Square*). Pada Gambar 6 tersebut dapat dilihat bahwa RMS sebelum relokasi tertinggi pada nilai 1.2 dengan 21 data. Sebagian besar RMS sebelum relokasi berkisar antara 0.7 hingga 1.4, bahkan tidak ada RMS yang bernilai antara 0.1-0.4. Sementara itu, setelah dilakukan relokasi sebaran nilai RMS lebih merata dari 0.1 hingga 2.0 dengan data

terbanyak pada nilai 0.7 dan 1.0. Perbaikan nilai RMS juga dapat dilihat dari adanya peningkatan jumlah data yang berada di bawah nilai 1.0. Sebelum relokasi hanya ada 59 data namun setelah direlokasi meningkat menjadi sejumlah 74 data atau 60.2 % dari keseluruhan data.

B. Diagram Kompas dan Diagram Rose

Diagram kompas dan diagram *rose* digunakan untuk melihat perubahan posisi hiposenter gempa bumi. Diagram kompas menunjukkan arah pergeseran sedangkan diagram *rose* menunjukkan interval sudut perubahan arah setelah direlokasi. Nilai yang diinputkan menampilkan kedua diagram ini adalah azimuth dan jarak antara posisi sebelum dan setelah direlokasi.



Gambar 7. Diagram *Rose* (a) dan Diagram Kompas (b) Hasil Relokasi dengan MJHD

Gambar 7 (a) merupakan diagram *rose* yang menunjukkan jumlah gempa bumi dengan interval sudut perubahan arah episenter setelah direlokasi. Skala 0-330 menunjukkan interval sudut perubahan setelah dilakukan proses relokasi, sementara lingkaran yang ditunjukkan dengan garis putus-putus menunjukkan jumlah *event* gempa bumi. Diagram tersebut menunjukkan

interval sudut perubahan gempa bumi setelah direlokasi menyebar ke segala arah. Perubahan posisi yang terbesar pada arah barat daya dengan nilai tengah sudut perubahan sebesar 195 derajat sebanyak 18 *event*.

Gambar 7 (b) adalah diagram kompas hasil relokasi hiposenter menggunakan MJHD. Tanda panah menunjukkan arah perubahan posisi gempa bumi, sedangkan lingkaran dengan garis putus-putus yang ditunjukkan dengan skala 50-200 menunjukkan panjang pergeseran episenter masing-masing gempa bumi dalam satuan kilometer. Diagram di atas menunjukkan nilai maksimum perubahan posisi gempa bumi setelah direlokasi adalah 157 km. Terdapat 7 gempa bumi yang mengalami pergeseran sebesar 30-150 km, dan 12 gempa bumi yang mengalami pergeseran sebesar 40-60 km. Jumlah gempa bumi yang mengalami pergeseran yang besar ini apabila dibandingkan dengan jumlah semua *event* gempa bumi yang berhasil direlokasi yaitu sebanyak 131 *event* relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa hasil relokasi dengan MJHD cukup baik karena hanya sedikit gempa bumi yang mengalami perubahan posisi besar.

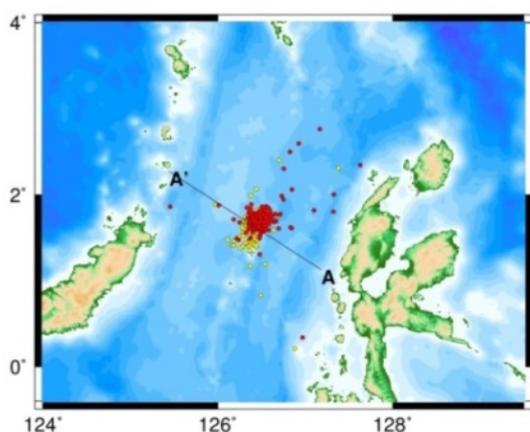
C. Pola Sebaran Gempabumi Susulan di Laut Maluku

Banyaknya distribusi gempa bumi susulan yang terjadi di Laut Maluku berdasarkan kejadian gempa bumi utama magnitudo 7.1 pada tanggal 15 November 2019 pada pukul 00:17:43 WITA, menunjukkan bahwa wilayah Laut Maluku mempunyai tingkat aktivitas seismik yang tinggi. Berdasarkan Gambar 8 terlihat bahwa distribusi gempa bumi susulan di wilayah Laut Maluku didominasi oleh gempa bumi dangkal (0-60 km) dan beberapa gempa bumi pada kedalaman menengah (60-300 km).

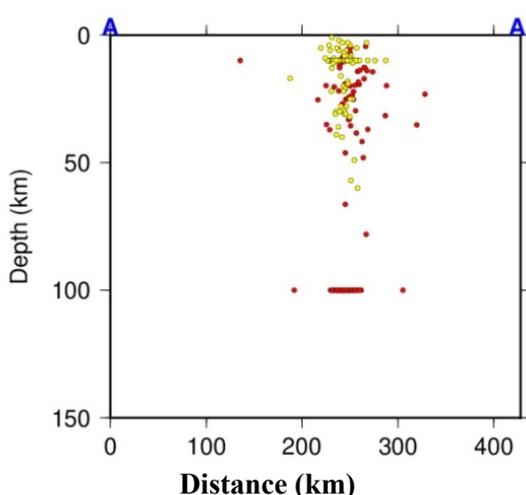
Penampang vertikal yang ditunjukkan pada Gambar 9 memperlihatkan pola gempa bumi yang lebih jelas di wilayah penelitian. Gambar 9 merupakan hasil irisan vertikal segemen A-A'. Sumbu absis menunjukkan irisan segemen A-A' dan sumbu ordinat merupakan kedalaman gempa bumi. Setelah direlokasi terlihat bahwa pola sebaran gempa bumi susulan menjadi jelas dibandingkan sebelum direlokasi dimana

distribusi gempabumi yang sebelumnya tersebar acak dan setelah direlokasi sebaran gempa berkumpul membentuk *cluster* tersendiri. Distribusi hiposenter gempabumi susulan yang relatif memanjang dari atas ke bawah sesuai dengan hasil analisis focal mekanisme sumber gempabumi utama yang menunjukkan bahwa gempabumi dibangkitkan oleh patahan naik (*thrust fault*) (BMKG, 2020).

CROSS SECTION



Gambar 8. Peta Seismitas Hasil Relokasi dan Pembagian Segmen Irisan Vertikal



Gambar 9. Penampang Vertikal pada Segmen A-A'

Perubahan signifikan yang terlihat sebelum dan sesudah direlokasi yaitu dari segi kedalaman gempabumi. Dimana hampir sebagian besar kedalaman hasil relokasi berubah bervariasi baik dangkal dan menengah. Menurut Christophersen (2000), secara spasial distribusi untuk gempabumi susulan seharusnya berada di sekitar

gempabumi utama karena berada pada bidang patahan yang sama. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Soputan (2018), mengungkapkan bahwa pada segmen patahan lempeng Laut Maluku memiliki pola sudut penunjaman landai kisaran 9.5 derajat. Hal ini berasosiasi dengan kedalaman pada segmen ini didominasi oleh gempa-gempa dangkal kisaran 25-60 km dan gempa menengah kisaran 61-150 km. Dari penelitian ini terlihat bahwa hasil sesudah dilakukan relokasi menggunakan MJHD bersesuaian dengan segmen tersebut.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian relokasi hiposenter gempabumi utama Laut Maluku 15 November 2019 beserta gempabumi susulannya menggunakan metode MJHD, maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa hasil dari relokasi telah mengalami perubahan parameter, berupa perubahan hiposenter gempa yang lebih akurat dimana setelah direlokasi terlihat bahwa pola sebaran gempabumi susulan berkumpul membentuk *cluster* tersendiri. Perubahan paling signifikan terjadi pada parameter kedalaman gempabumi, dimana hampir sebagian besar kedalaman hasil relokasi berubah bervariasi baik gempa dangkal kisaran 25-60 km dan gempa menengah kisaran 61-150 km.

5. REFERENSI

- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), (2020). *Earthquake repository*. Diakses melalui <http://repogempa.bmkg.go.id/> pada tanggal 6 Juni 2020
- Christophersen, A., (2000). The probability of a damaging earthquake following a damaging earthquake. *Dissertation*. Victoria University of Wellington.
- Dewi, C. F., (2018). Relokasi Hiposenter Gempabumi Wilayah Sumatera Bagian Selatan Menggunakan Metode Double - Difference (HYPODD). *Skripsi*. Jurusan Teknik Geofisika. Fakultas Teknik. Universitas Lampung.
- Hurukawa, N., dan Imoto, M., (1992). Subducting Oceanic Crust of the Philippine Sea and Pacific Plates and

- Weak-Zone-Normal Compression in the Kanto District, Japan. *Geophysical Journal International*, Vol. 109, 639-652.
- Purnamasari, F, (2018). Relokasi Hiposenter Gempabumi Sesar Semangko Provinsi Lampung Menggunakan Metode Modified Joint Hypocenter Determination (MJHD). *Skripsi*. Jurusan Teknik Geofisika. Fakultas Teknik. Universitas Lampung
- Sari, D, (2017). Relokasi Hiposenter Gempabumi Menggunakan Metode Modified Joint Hypocenter Determination (MJHD) Untuk Analisis Zona Subduksi Sumatera Selatan. *Skripsi*. Jurusan Teknik Geofisika. Fakultas Teknik. Universitas Lampung
- Setiadi, A. P, dkk. (2016). Relokasi Hiposenter Gempabumi Menggunakan Metode Teleseismic Double Difference Untuk Analisis Pola Tektonik Di Wilayah Laut Maluku. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika* Vol. 17 No. 2.
- Soputan, E. T., (2018). Analisis Pola Tektonik di Sulawesi Utara dengan Menggunakan Metode Relokasi MJHD (Modified Joint Hypocenter Determination). *Skripsi*. Jurusan Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Manado.