

Relokasi Hiposenter Gempabumi Di Segmen (Toru, Angkola, Barumun) Dengan Menggunakan Metode *Double Difference* (Hypo-DD)

Milenia Aritonang¹, Alexander F.T. Parera², Nazaruddin Nasution³

^{1,3}Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

²Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika

Jln. Geofisika No.1 Tuntungan I, Pancur Batu Deli Serdang Kode Pos 20353

Email Korespondensi : mileniaaritonang02@gmail.ac.id

ABSTRAK

Wilayah Indonesia yang terkenal dengan pemicu gempabumi darat adalah Great Sumatran Fault berupa serangkaian sesar besar Sumatera. Sesar besar ini tersusun atas 19 segmen sesar, salah satunya terletak di Sumatera Utara dengan letak patahan berada di segmen Toru, Angkola, dan Barumun pada koordinat $95^{\circ}55'BT-99^{\circ}30'BT$, dan $0^{\circ}15'LU-1^{\circ}15'LU$. Tujuan pada penelitian ini adalah untuk menentukan relokasi titik patahan dari data hiposenter gempa bumi di wilayah Sumatera Utara khususnya wilayah Toru, Angkola, dan Barumun. Untuk mengetahui analisis perbedaan kedalaman relokasi sebelum dan sesudah di wilayah Sumatera Utara khususnya di wilayah sesar Angkola, Toru dan Barumun. Data yang digunakan adalah data gempa tektonik, sebanyak 86 gempa bumi di sesar Toru, Angkola dan Barumun, dari tanggal 1 Januari sampai dengan 31 Desember 2020. Proses perpindahan dilakukan dengan menggunakan metode *Double Difference* dan pengolahan data menggunakan *hypoDD*. Hasil perpindahan menggunakan *Double Difference* menghasilkan posisi hiposenter yang lebih baik, ditunjukkan dengan posisi sebaran hiposenter yang biasanya terdapat di Toru, Barumun dan Angkola. Distribusi persebaran hiposenter yang terjadi di wilayah sesar Toru, Angkola, dan Barumun rata-rata menunjukkan gempabumi karena aktivitas sesar, dan karena aktivitas subduksi. Gempa karena aktivitas sesar menyebar kedalaman 3-40 km yang tergolong sebagai gempabumi dangkal; sedangkan gempa pada kedalaman 61-200 km yang diakibatkan adanya subduksi tergolong sebagai gempabumi menengah.

Kata kunci : *Double Difference*, Hiposenter, Relokasi, Sesar dan Subduksi.

ABSTRACT

The area of Indonesia that is famous for triggering land earthquakes is the Great Sumatran Fault in the form of a series of large Sumatran faults. This large fault is composed of 19 fault segments, one of which is located in North Sumatra with faults located in the Toru, Angkola, and Barumun segments at coordinates $95^{\circ}55'E-99^{\circ}30'E$, and $0^{\circ}15'N-1^{\circ}15'LU$. The purpose of this study was to determine the relocation of fault points from earthquake hypocenter data in the North Sumatra region, especially the Toru, Angkola, and Barumun areas. This study aims to determine the analysis of differences in the depth of relocation before and after in the North Sumatra region, especially in the Angkola, Toru and Barumun fault areas. The data used is tectonic earthquake data, as many as 86 earthquakes in the Toru, Angkola and Barumun faults, from January 1 to December 31, 2020. The displacement process is carried out using the *Double Difference* method and data processing using *hypoDD*. The results of the displacement using *Double Difference* resulted in a better hypocenter position, indicated by the distribution position of the hypocenter which is usually found in Toru, Barumun and Angkola. The distribution of hypocenters that occur in the Toru, Angkola, and Barumun fault areas on average shows earthquakes due to fault activity, and due to subduction activity. Earthquakes due to fault activity spread at a depth of 3-40 km which are classified as shallow earthquakes; while earthquakes at a depth of 61-200 km caused by subduction are classified as medium earthquakes.

Keywords: *DoubleDifference*, Hypocenter, Relocation, Fault and Subduction.

A. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki berbagai potensi bencana alam, karena Indonesia terletak di daerah triple junction, salah satu bencana alam yang sering terjadi adalah gempa bumi. Dengan letak geografis Indonesia yaitu $6^{\circ}\text{LU}-11^{\circ}\text{LS}$ dan $95^{\circ}\text{BT}-141^{\circ}\text{BT}$. Indonesia sendiri disatukan oleh 3 lempeng besar, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Juga terdapat lempeng (minor) kecil yaitu lempeng Filipina (Gracynthia, 2015), hal inilah yang menyebabkan Indonesia sering mengalami gempa bumi berkekuatan kecil hingga besar setiap tahunnya. Adanya proses pergeseran lempeng tektonik menyebabkan Indonesia menjadi daerah yang rawan gempa tektonik aktif.

Salah satu daerah seismik tektonik aktif di Indonesia adalah Sumatera Utara. Bagian utara Sumatera memanjang dari Aceh hingga Lampung yang memiliki 19 segmen gempa tektonik aktif, salah satu segmen tersebut berada di utara Sumatera dengan posisi geografis $1^{\circ} - 4^{\circ}\text{LU}$ dan $98^{\circ} - 100^{\circ}\text{BT}$. dengan luas tanah 71.680 km^2 . Sumatera Utara sendiri memiliki segmen gempa tektonik aktif yang terletak di segmen Toru, Angkola dan Barumon. Membentang dari Kabupaten Tapanuli Utara hingga Padang Lawas dan Madinah. Ruas Toru terletak pada $95^{\circ}55'\text{BT}-99^{\circ}30'\text{BT}$ dan $1^{\circ}15'\text{N}-1^{\circ}15'\text{LU}$ dengan panjang ruas 95 km dan kedalaman 20 km dengan potensi gaya gempa maksimum sebesar magnitudo. 7.1. Ruas Angkola dengan koordinat $99^{\circ}\text{BT}-100^{\circ}\text{BT}$ dan $0^{\circ}15'\text{N}-1^{\circ}35'\text{N}$ dengan panjang segmen 160 km dan kedalaman 20 km dengan potensi gaya gempa maksimum sebesar 7,5 dengan kecepatan perjalanan 19 mm/tahun . Sedangkan ruas Barumon terletak pada koordinat $99^{\circ}30'\text{BT}-100^{\circ}30'\text{E}$ dan $0^{\circ}15'\text{N}-1^{\circ}15'\text{N}$ dengan panjang ruas 125 km dan kedalaman 20 km dengan potensi gempa. intensitas maksimum sebesar 7,1 dengan kecepatan perpindahan 4 mm/tahun . (Pusgen, 2017).

Gempa bumi adalah peristiwa yang melepaskan energi berupa gelombang getar yang menjalar ke seluruh permukaan bumi akibat adanya gangguan pada kerak bumi. Kejadian seismik sangat sulit diperkirakan dan seringkali mengakibatkan bencana yang

merusak, tak terkecuali dapat mengakibatkan tsunami dengan tingkat kerusakan yang tinggi serta dapat menelan korban jiwa. Bencana gempa bumi merupakan fenomena alam yang sangat ditakuti dan gempa ini berdampak pada hilangnya nyawa, kerugian harta benda dan kerusakan infrastruktur dan sebagainya.

Lokasi episentrum (titik pusat) gempabumi yang merupakan awal pelepasan energi yang merambatkan gelombang atau getaran disebut hiposenter atau fokus gempa. Peta yang menggambarkan pola sebaran gempa disebut peta seismik.

Menurut Fhera Chandra Dewi, Karyanto, dkk dalam penelitiannya yang berjudul Relokasi Hiposenter Gempa di Wilayah Sumatera Bagian Selatan Menggunakan Metode *Double Difference*. Di wilayah Sumatera Selatan, termasuk wilayah yang memiliki potensi gempa dengan intensitas rendah atau jarang, selama periode 2009-2017 dari data yang berhasil ditransfer 3592 kejadian seismik, dengan kedalaman 0 hingga 350 km .

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan perpindahan titik sesar dari data hiposenter gempa di wilayah Sumatera Utara, khususnya di wilayah Toru, Angkola dan Barumon, dan untuk mengetahui analisis perbedaan kedalaman sebelum dan sesudah sesar di wilayah Sumatera Utara khususnya pada daerah sesar Angkola, Toru dan Barumon.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan analisis komparatif dengan mengumpulkan data dari tanggal 1 Januari sampai dengan 31 Desember 2020 dengan dampak 86 gempa bumi di Sumatera Utara, khususnya di sesar Toru, Angkola, dan Barumon.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan September hingga November 2021 di Stasiun Geofisika Kelas 1 Deli Serdang milik Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).

Daerah Penelitian

Batasan wilayah yang digunakan pada penelitian ini yakni dari segmen Toru, Angkola, dan Barumon dengan titik

koordinat yang membentang dari 98°55' BT-100°30' BT dan 0,15°30' LU-2°0' LU.

Data Penelitian

Data yang dianalisa dalam penelitian ini adalah waktu datangnya gelombang gempa terjadi di wilayah Toru, Angkola, dan Barumon dengan kedalaman gempa 1-200 km. Dengan kejadian gempa selama seluruh periode tahun 2020 mulai 01 Januari sampai dengan 31 Desember 2020. Data diperoleh dari katalog gempa kelas 1 BMKG di Deli Serdang.

Telah tercatat ada 145 kejadian gempabumi di Sumatera Utara yang tercakup dalam wilayah penelitian ini, setelah dilakukannya sortir data ternyata ada 95 kejadian gempabumi, selanjutnya data tersebut dimasukkan kedalam program HypoDD setelah data dimasukkan dalam program HypoDD data yang dihasilkan menjadi 86 kejadian gempabumi, sepanjang periode pada tahun 2020.

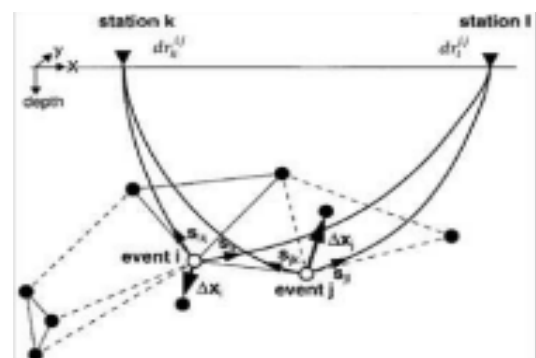
Data gempa didasarkan pada data parameter waktu gempa, lintang, bujur, kedalaman, magnitudo dan waktu datangnya gelombang arus yang terekam di setiap lokasi pemantauan seismik.

Metode Penelitian

Metode *Double Difference* (DD) merupakan salah satu metode relokasi hiposenter yang pertama kali diperkenalkan oleh Felix Waldhauser dan Ellsworth pada tahun (2000) dan implementasi dari metode ini adalah software hypoDD versi 1.0-03/2001 yang dibuat untuk memfasilitasi hiposenter dan perhitungan relokasi. Dalam melakukan reposisi hiposenter seismik dengan menggunakan metode *double difference*, ada dua program penting yang harus diperhatikan yaitu `ph2dt.inp` dan `hypoDD.inp` yang merupakan teknik posisi seismik dengan tujuan untuk mendapatkan tempat atau posisi yang lebih tepat. posisi dari hiposenter untuk beradaptasi dengan kondisi tektonik nyata. Prinsip metode (Hypo-DD) adalah meminimalkan residual time dari waktu tempuh yang dihitung dan waktu tempuh dari pengamatan yang dilakukan pada dua kejadian seismik yang berdekatan pada jumlah stasiun pengamat yang sama, gempa tektonik. Jarak antara dua peristiwa seismik tektonik harus jauh lebih

kecil dari jarak antara stasiun pengamat gempabumi. Asumsi tersebut menunjukkan bahwa kedua peristiwa memiliki *ray path* yang sama. (Waldhauser dan Ellsworth, 2000).

Persyaratan utama dari metode *Double Difference* adalah bahwa jarak antara dua hiposenter seismik yang direlokasi lebih kecil dari jarak antara masing-masing hiposenter dan stasiun. Namun, metode ini tidak memerlukan gempa besar (main event) sehingga dapat digunakan untuk mereposisi sejumlah besar gempa secara bersamaan dengan distribusi jarak hiposenter yang besar.



Gambar 1. Ilustrasi relokasi hiposenter dengan algoritma double difference. Gempa i dan j dipindahkan bersama-sama di stasiun k (Waldhauser dan Ellsworth, 2000)

Gambar 1 menunjukkan ilustrasi perpindahan hiposenter. Lingkaran hitam putih menunjukkan sebaran hiposenter yang dihubungkan oleh gempa bumi menggunakan data korelasi silang (garis solid) atau data katalog (garis putus-putus). Pada gambar di atas, gempa bumi *i* dan *j* yang ditandai dengan lingkaran putih, tercatat di stasiun (*k* dan *i*) yang sama dengan perbedaan waktu tempuh, dan letak kedua peristiwa tersebut jauh lebih kecil daripada jarak antara kedua peristiwa tersebut. stasiun perekaman gempa bumi, ini berarti *ray path* cenderung sama. Panah Δx_i dan Δx_j menunjukkan vektor perpindahan gempa.

Algoritma perbedaan *double difference* meminimalkan selisih waktu tempuh, untuk menentukan pasangan gempabumi pada stasiun yang sama sehingga diperoleh hasil relokasi yang bebas dari kesalahan waktu tempuh yang berkaitan dengan struktur kecepatan, namun tetap menyisakan

kesalahan acak di lokasi awal. Untuk meminimalkan akibat dari kesalahan tersebut, maka perlu kehati-hatian dalam membaca waktu kedatangan antara pasangan hiposenter yang akan direlokasi.

Sisa waktu antara pengamatan dan perhitungan didefinisikan sebagai selisih waktu tempuh antara pengamatan dan perhitungan antara dua kejadian seismik yang dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$dr_k^{ij} = (t_k^i - t_k^j)^{obs} - (t_k^i - t_k^j)^{cal} \quad (1)$$

Persamaan di atas dapat didefinisikan sebagai perbedaan double difference, menunjukkan bahwa persamaan tersebut dapat digunakan untuk langkah waktu kejadian yang diamati dengan menggunakan waktu tempuh absolut, t , atau perbedaan waktu tempuh relatif dari korelasi silang.

Persamaan diatas didefinisikan sebagai persamaan *Double Difference*, dimana :

$(T_k^i - T_k^j)^{obs}$ = merupakan residual waktu tempuh pengamatan dari sumber ke- i dan sumber ke- j ke penerima k .

$(T_k^i - T_k^j)^{cal}$ = merupakan residual waktu tempuh kalkulasi dari sumber ke- i dan sumber ke- j ke penerima- k

Dimana :

dr_k^{ij} = sisa waktu tempuh kedua gempa i dan j ke stasiun pengamatan k

i dan j = dua hiposenter yang berdekatan

k dan i = dua stasiun yang merekam kedua peristiwa seismik.

T_k^i = waktu tempuh gempa bumi i ke stasiun k

T_k^j = waktu tempuh gempa bumi j ke stasiun k

T^{obs} = waktu perjalanan pengamatan (direkam oleh stasiun penerima)

T^{cal} = waktu tempuh kalkulas.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

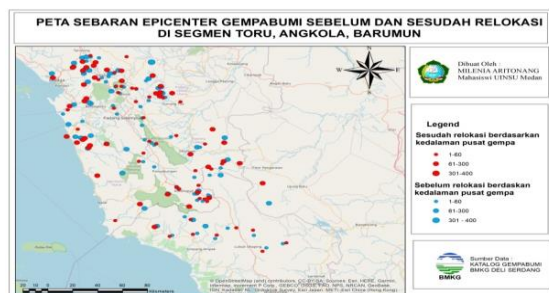
Telah dinyatakan oleh Fhera Chandra Dewi, Karyanto, Rustadi, Adhi Wibowo (2017) bahwa gempabumi di Sumatera bagian Selatan dengan data yang berhasil direlokasi sebanyak 3592 pusat kejadian gempabumi disebabkan oleh Sesar dan zona Subduksi dengan distribusi persebaran hiposenter yang terjadi kedalaman 0-350 km termasuk gempabumi dangkal dan dalam.

Telah dikemukakan oleh Chi Chi Novianti dan Bagus Jaya Santosa (2016) bahwa gempa-gempa di wilayah Jawa Timur dengan data yang berhasil direlokasi hingga 100 pusat gempa disebabkan oleh zona subduksi dengan sebaran hiposenter yang terjadi di kedalaman 0-200 km termasuk gempa superfisial dan sedang.

Hasil Relokasi Hiposenter Gempabumi

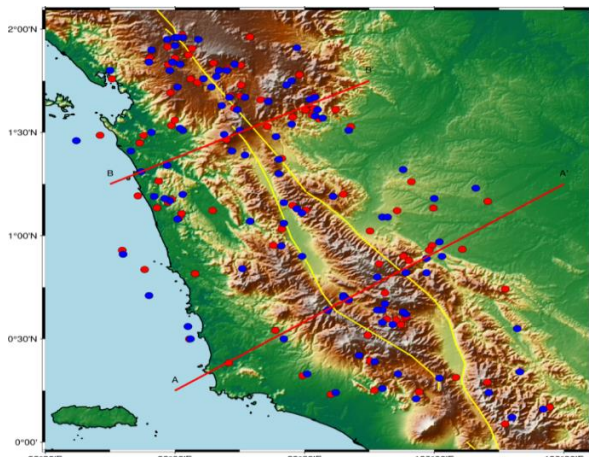
Dalam melakukan proses pengolahan data dengan menggunakan *software* hypoDD digunakan sebuah prinsip *trial and error*, dimana nanti prinsip ini akan digunakan untuk mendapatkan hasil dari posisi hiposenter yang lebih baik dan akurat, penelitian ini menggunakan data kejadian gempabumi didaerah segmen Toru, Angkola, dan Barumon mulai dari tanggal 01 Januari sampai dengan 31 Desember 2020. Data kejadian gempabumi pada tahun 2020 sebanyak 95 kejadian dengan 7 stasiun pengamat gempabumi.

Dari 95 gempa yang berhasil direlokasi, hanya 86 kejadian. Terdapat 9 event yang tidak memenuhi kriteria menurut hypoDD. Hasil perpindahan hiposenter gempabumi setelah diolah menggunakan hypoDD menggunakan metode *Double Difference* diperoleh hasil dari segi lintang, bujur dan kedalaman setiap kejadian gempabumi.



Gambar 2. sebelum dan sesudah relokasi berdasarkan kedalaman

Gambar 2 menunjukkan gabungan sebelum dan sesudah relokasi dimana terdapat pasangan-pasangan gempa bumi, warna biru sebelum yang menunjukkan persebaran gempa bumi yang tidak merata, dan merah sesudah relokasi dimana gempa bumi mendekati pusat gempa bumi di segmen Toru, Angkola, Barumun menggunakan *double difference*. Peta ini dibuat dengan menggunakan pemetaan Arcgis.



Gambar 3. Hasil sebaran epicenter gempa bumi di (Toru, Angkola, dan Barumun) sebelum dan setelah grelokasi. Peta menggunakan pemetaan GMT

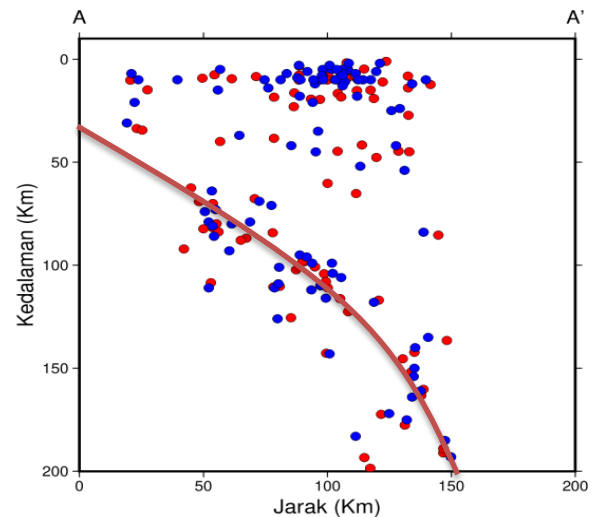
Gambar 3 menunjukkan hasil sebaran relokasi gempa bumi di segmen Toru, Angkola, dan Barumun, Warna Biru sebelum relokasi, warna merah setelah relokasi. Dapat dilihat bahwa penyebaran gempa bumi di Sumatera Utara pada tahun 2020, lebih banyak terjadi di segmen Toru dilanjutkan dengan gempa bumi di wilayah Barumun, dan di akhiri dengan gempa bumi di wilayah Angkola.

Pembahasan

Analisis Sebaran Hiposenter Gempabumi

Keluaran yang digunakan oleh program hypoDD.reloc adalah data yang telah dipindahkan. Berdasarkan hasil posisi hiposenter, selanjutnya diplot menggunakan software GMT yang digunakan untuk menentukan penampang sebaran hiposenter setelah direposisi. Tujuan pembuatan penampang adalah untuk melihat konsentrasi sebaran hiposenter, serta kedalaman dan letaknya sehingga dapat diketahui bidang sesar pada segmen tersebut. Penampang tersebut dibagi menjadi dua

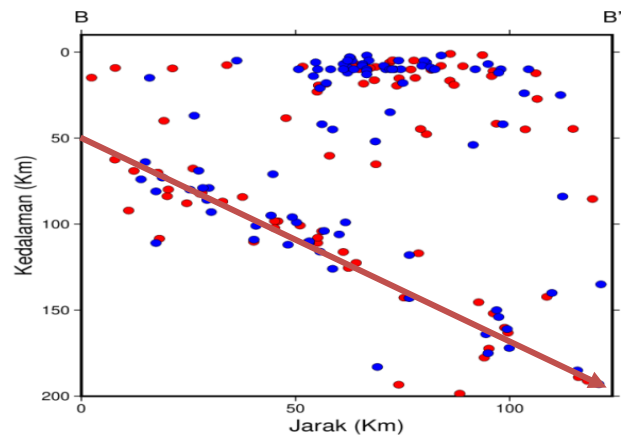
bagian, yaitu A – A' dan B-B'. Seleksi Silang pada A-A' dilakukan atas dasar kontinuitas sebaran hiposenter yang membentuk cluster, sedangkan pada segmen B-B' tegak lurus dengan segmen A-A'.



Gambar 4. Cross Section A-A'

Gambar 4 menunjukkan penampang A-A', sehingga memudahkan kita untuk melihat penampang tiga dimensi dimana pada gambar ini sebagian besar gempa permukaan terjadi pada kedalaman 5-30 km. Hal ini menunjukkan bahwa gempa tersebut terjadi karena dipicu oleh aktivitas sesar Sumatera, dalam hal ini sesar Angkola dan Barumun.

Selain itu, pada kedalaman menengah tepatnya pada kedalaman 60-200 km dibawah permukaan, terdapat cukup banyak gempa bumi, sebaran hiposenternya membentuk pola vertikal yang jika diinterpretasikan, terkait dengan zona penunjam (subduksi)



Gambar 5. Cross Section B-B'

Gambar 5 menunjukkan *Cross Selection B-B'* terlihat penampang tiga dimensi antara, dimana pada kedalaman 3-40 km mengindikasikan bahwa gempa-gempa tersebut terjadi akibat aktivitas sesar Sumatera, dalam hal ini sesar Toru-Barumun. Selain itu pada kedalaman menengah tepatnya pada kedalaman 60-200 km dibawah permukaan, terdapat banyak gempabumi, sebaran hiposenternya membentuk pola vertikal jika diinterpretasikan, terkait dengan zona penunjam Subduksi.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diambil kesimpulan sebagai berikut:

Hasil relokasi menggunakan *Double Difference* menghasilkan posisi hiposenter yang lebih baik, ditandai dengan posisi sebaran hiposenternya lebih mendekati sesar Toru, Barumun, Angkola, sebagai sumber gempa bumi. Dimana pada tahun 2020, sesar yang paling aktif di Sumatera Utara adalah sesar Toru ditandai dengan kejadian 33 pusat gempabumi dengan kejadian gempa bumi yang lebih banyak dibandingkan dengan Barumun 30 pusat gempabumi, dan Angkola 23 pusat gempabumi.

Distribusi persebaran hiposenter yang terjadi di wilayah sesar Toru, Angkola, dan Barumun rata-rata menunjukkan gempabumi karena aktivitas sesar, dan karena aktivitas subduksi. Gempa karena aktivitas sesar menyebar dikedalaman 3-40 km yang tergolong sebagai gempabumi dangkal; sedangkan gempa pada kedalaman 61-200 km yang diakibatkan adanya subduksi tergolong sebagai gempabumi menengah.

E. DAFTAR PUSTAKA

Dewi F.C, Karyanto, Rustadi, Wibowo. A. (2017). *Relokasi Hiposenter Gempabumi Wilayah Sumatera Bagian Selatan Menggunakan Metode Double Difference (Hypo-dd)*. Jurnal Geofisika Eksplorasi Vol.3 No.2, pp,2-4.

F.Waldhauser, (2001). *HypoDD – A Program to Compute Double-Difference Hypocenter Location (HypoDD version 1.0 -03/2001)*. U.S. Geol. Survey.

F.Waldhauser, and W. L. Ellsworth, A double-difference earthquake location algorithm : Method and application to the Northern Hayward Fault, California, Bull. Seism. Soc. Am. 90, 1353-1368, 2000.

Gracynthia, M. F. (2015). *Relokasi Hiposenter Gempa Bumi Menggunakan Metode Couple Velocity-Hypocenter dan Local Earthquake Tomography Untuk Sesar Palu Koro*. Surabaya : ITS-Institut teknologi Sepuluh Nopember.

Lis, N., J, Titi, A, Tony, Y M.T (2016). Aplikasi Metode *Double Difference* Dalam Relokasi Hiposenter Untuk Menggambarkan Zona Transisi Antara Busur Banda Dan Busur Sunda. *Youngster Physics journal*, vol. 5, no. 3, pp.113-122

Muhlis. (2018). Relokasi Hiposenter Gempabumi Menggunakan Metode *Double Difference* Di Daerah (Cianjur-Sukabumi). (Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta 2018). Diakses dari <https://repository.uinjkt.ac.id>

Novianti. C dan Santoso. B. J (2016). *Penentuan Hiposenter Gempabumi dan Model Kecepatan Lokal di Wilayah Jawa Timur Menggunakan Metode Double Difference*. Jurnal SAINS DAN SENI ITS Vol. 5 No.2 (2016) 2337-3520.

Palvis, G. L. 1986. Appraising earthquake hypocenter location errors: a complete practical approach for single-event location. Bull Seism. Soc. Am, 1600-1717.

PuSGen, P. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung : Puskim.

Rande, N, M. Ulfiana, E., (2018). Analisis Relokasi Hiposenter Gempabumi menggunakan Algoritma Double Difference Wilayah Sulawesi Tengah . Tanggerang Selatan : Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

Sunardi, B. Rohadi, S, & Masturyono, dkk, (2012). Relokasi Hiposenter Gempabumi Wilayah Jawa Menggunakan Teknik *Double Difference*. Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG.