

---

## KOREKSI LOKASI HIPOSENTRUM GEMPABUMI DI SULAWESI UTARA MENGGUNAKAN METODE *MODIFIED JOINT HYPOCENTER DETERMINATION*

Sike Suwuh, Armstrong F. Sompotan, Sixtus Iwan Umboh  
Prodi Fisika FMIPA Universitas Negeri Manado  
Email: sikesuwuh16@gmail.com

---

**ABSTRAK** Sulawesi Utara merupakan salah satu wilayah yang memiliki tingkat aktivitas kegempaan yang cukup tinggi yang pernah terjadi, karena posisi Pulau Sulawesi Utara yang terletak dekat dengan sumber gempa bumi. Salah satu parameter gempabumi yang dapat dihitung yaitu hiposentrum gempabumi. Penentuan hiposentrum gempabumi sangatlah penting didalam dunia seismologi. metode Modified Joint Hypocenter Determination (MJHD) dilakukan untuk relokasi hiposentrum gempabumi. Untuk mengetahui Bagaimana hasil Koreksi Lokasi Hiposentrum dengan menggunakan MJHD dan Pola tektonik zona subduksi Lempeng Laut Sulawesi. Hasil relokasi menggunakan metode MJHD (Modified Joint Hypocenter) menunjukkan kualitas data yang lebih baik dan akurat dilihat dari nilai residual (RMS) sebelum ( $\geq 1$  s) dan sesudah relokasi ( $\leq 1$  s). Berdasarkan hasil seismisitas relokasi dengan menggunakan metode MJHD diperoleh cluster gempa bumi terkonsentrasi pada kedalaman dangkal kisaran 20 – 80 km. Pada kedalaman 250 – 300 dan jarak 400 km terjadi adanya seismic gap sehingga pada zona ini jarang terjadi gempa bumi.

**ABSTRACT.** North Sulawesi is one of the areas that has had a fairly high level of seismic activity that has occurred, due to the position of North Sulawesi Island which is located close to the earthquake source. One of the parameters of an earthquake that can be calculated is the earthquake hypocenter. Determining the hypocenter of an earthquake is very important in the world of seismology. The Modified Joint Hypocenter Determination (MJHD) method was carried out for relocation of the earthquake hypocenter. To find out how the results of the Hypocenter Location Correction using MJHD and the tectonic pattern of the Sulawesi Sea Plate subduction zone. The results of relocation using the MJHD (Modified Joint Hypocenter) method showed better and more accurate data quality seen from the residual value (RMS) before ( $\geq 1$  s) and after relocation ( $\leq 1$  s). Based on the seismicity results of relocation using the MJHD method, it was found that the earthquake clusters were concentrated at a shallow depth of the range of 20 - 80 km. At a depth of 250 - 300 and a distance of 400 km, there is a seismic gap so that earthquakes rarely occur in this zone.

Kata Kunci : Seismik, MJHD, Gempa Bumi, Zona Subduksi,

Keywords: Seismic, MJHD, Earthquake, Subduction Zone

## PENDAHULUAN

Indonesia berada pada zona tektonik yang sangat aktif karena terletak di daerah dengan tingkat aktifitas gempa bumi tinggi, hal tersebut akibat dari bertemunya tiga lempeng besar dunia yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia bertabrakan dengan Lempeng Eurasia di lepas pantai Sumatera, Jawa dan Nusa Tenggara. Sedangkan Lempeng Pasifik di utara Irian dan Maluku Utara, keberadaan interaksi antar lempeng-lempeng ini menempatkan wilayah Indonesia sebagai wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi dimana Sulawesi termasuk pada wilayah yang rawan akan terjadinya gempa bumi.

Sulawesi atau Celebes terletak di bagian tengah wilayah kepulauan Indonesia dengan luas wilayah 174.600 km<sup>2</sup>. Bentuknya yang unik menyerupai huruf K dengan empat semenanjung, yang mengarah ke timur, timur laut, tenggara dan selatan. Sulawesi berbatasan dengan Borneo di sebelah barat, Filipina di sebelah utara, Flores di sebelah selatan, Timor di sebelah tenggara dan Maluku di sebelah timur. Sulawesi dan sekitarnya merupakan daerah yang kompleks karena merupakan tempat pertemuan tiga lempeng besar yaitu; lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara, lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat dan lempeng Eurasia yang bergerak ke arah selatan-tenggara serta lempeng yang lebih kecil yaitu lempeng Filipina (Sompotan, 2012).



Gambar 1. Zona Batas Lempeng Indonesia (Hall and Smyth, 2008 dikutip dari Sompotan 2012)

Pada bagian utara pulau Sulawesi terdapat palung Sulawesi utara yang terbentuk oleh subduksi kerak samudera dari laut Sulawesi, sedangkan di bagian tenggara Sulawesi terdapat sesar Tolo yang merupakan tempat berlangsungnya subduksi antara lengan tenggara Pulau Sulawesi dengan bagian utara laut Banda, dimana kedua struktur utama tersebut dihubungkan oleh sesar Palu-Koro dan Matano. Adapun dibagian barat Sulawesi terdapat selat Makasar yang memisahkan bagian barat Sulawesi dengan busur Sunda yang merupakan bagian lempeng Eurasia yang diperkirakan terbentuk dari proses pemekaran lantai samudera pada masa Miosen, sedangkan dibagian timur terdapat fragmen-fragmen benua yang berpindah karena strike-slip faults dari New Guinea (Sompotan 2012).

Sulawesi Utara merupakan salah satu wilayah yang memiliki tingkat aktivitas kegempaan yang cukup tinggi yang pernah terjadi, karena posisi Pulau Sulawesi Utara yang terletak dekat dengan sumber gempa bumi. Gempabumi yang terjadi di merupakan implikasi geodinamika dari deformasi aktif. Kejadian gempa yang terjadi di dekat batas pertemuan antara Lempeng Samudera yang menunjam masuk ke bawah Lempeng Benua diklasifikasikan sebagai Zona Subduksi.

Salah satu parameter gempa bumi yang dapat dihitung yaitu hiposentrum gempa bumi. Penentuan hiposentrum gempabumi sangatlah penting didalam dunia seismologi. Hal ini sangat diperlukan dalam analisis struktur tektonik secara detail, misalnya untuk identifikasi zona patahan maupun pola Zona Subduksi. Namun, parameter hiposentrum yang dihasilkan masih kurang optimal karena hanya untuk memberikan informasi sesegera mungkin kepada masyarakat tentang bahaya gempa bumi. Sehingga, perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk merelokasi parameter

hiposentrum gempa bumi yang telah dihasilkan sebelumnya.

Penentuan parameter hiposentrum sebelumnya ditentukan dengan menggunakan waktu tiba gelombang P dan S dari beberapa stasiun menggunakan pendekatan *Single Event Determination* (SED) yang dapat menghasilkan origin time dari setiap event gempabumi. Dari pendekatan SED ini hanya menghasilkan hiposentrum yang belum akurat karena hanya menggunakan kecepatan bumi 1D yang belum termodelkan. Sehingga untuk menyelesaikan permasalahan ini dilakukanlah relokasi hiposentrum gempa bumi dengan menggunakan metode *Modified Joint Hypocenter Determination* (MJHD) yang dikembangkan oleh Hurokawa dan Imoto, (1992). MJHD ini menggunakan model kecepatan global IASP91. Model kecepatan IASP91 merupakan suatu model kecepatan global yang dihasilkan dari International of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI) dengan memperhatikan keheterogenan suatu lapisan bumi. Model kecepatan IASP91 ini merupakan hasil pemodelan dengan menggunakan ribuan data gelombang P dan gelombang S yang direkam oleh seismograph. Relokasi hiposentrum merupakan koreksi dari lintang, bujur, dan kedalaman dari gempa bumi. Dalam studi ini, penulis melakukan koreksi lokasi hiposentrum gempa bumi di Sulawesi Utara dengan menggunakan metode *Modified Joint Hypocenter Determination* (MJHD). Metode MJHD dipilih karena metode ini mampu merelokasi posisi gempa bumi relatif lebih akurat dengan struktur dalam bumi yang heterogen dan distribusi stasiun yang tidak merata. Metode ini dapat menghitung banyak data gempa bumi secara simultan (Maung, 2009).

## KAJIAN TEORI

Busur Sulawesi Utara mencakup Propinsi Sulawesi Utara dan Gorontalo, memanjang sekitar 500km dari 121°E - 125°20'E dengan lebar 50-70 km dan memiliki ketinggian lebih dari 2065 m,

dimana ketinggian daerah di sekitar leher pulau Sulawesi mencapai 3.225 m.

Sumber gempa bumi yang terletak di darat berasal dari beberapa sesar aktif. Kota Manado diperhatikan terletak dekat dengan sesar aktif yang berarah Barat Laut – Tenggara. Pada peta geologi lembar Manado juga terlihat adanya kelurusan berarah Barat Laut – Tenggara dekat dengan Kota Manado.

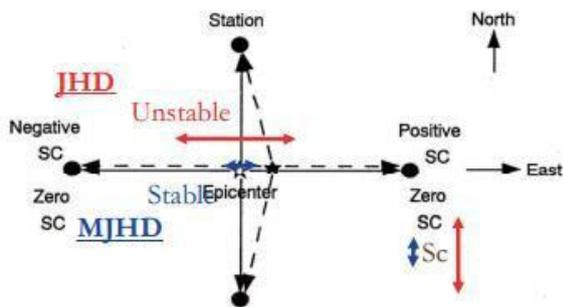
Gempa bumi adalah gejala fisik yang ditandai dengan bergetarnya bumi dengan berbagai intensitas. Getaran-getaran yang terjadi karena terlepasnya energy secara tiba-tiba.

Gelombang seismic adalah rambatan energi yang disebabkan karena adanya gangguan di dalam kerak bumi, misalnya adanya patahan atau adanya ledakan. Energi ini akan merambat ke seluruh bagian bumi yang dapat terekam oleh seismometer. Efek yang ditimbulkan oleh adanya gelombang seismic ini adalah apa yang kita kenal sebagai fenomena gempabumi. Perambatan gelombang seismic tergantung dari sifat elastisitas yang dimiliki oleh suatu batuan. Gelombang seismic yang melalui bidang interior bumi disebut Gelombang Badan sedangkan gelombang seismic yang merambat melalui luar bumi disebut Gelombang Permukaan (Munadi, 2002).

Setiap kejadian gempa bumi akan menghasilkan informasi seismic berupa rekaman sinyal berbentuk gelombang yang setelah melalui proses manual atau non manual akan menjadi data bacaan fase. Informasi seismic selanjutnya mengalami proses pengumpulan, pengolahan dan analisis sehingga menjadi parameter gempa bumi. Parameter gempa bumi tersebut meliputi waktu terjadinya gempa (*Origin time*), hiposentrum, episentrum dan magnitude.

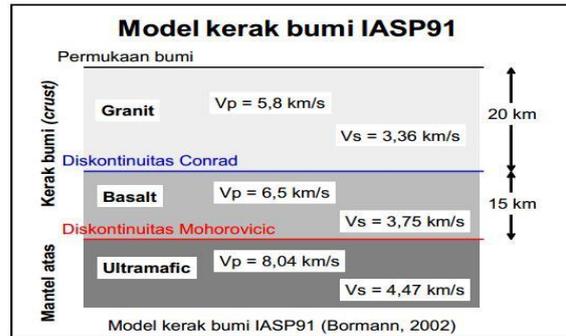
Dalam penelitian ini digunakan metode MJHD yang merupakan satu metode untuk merelokasi posisi pusat gempa bumi (lintang, bujur, kedalaman, dan origin time). Perubahan yang signifikan pada umumnya terjadi pada parameter

kedalaman hiposentrum. Relokasi pusat gempa menggunakan metode MJHD mempunyai kelebihan yaitu karena adanya penambahan koreksi stasiun, sehingga meskipun model kecepatan yang digunakan sama seperti yang digunakan untuk mendapatkan hiposentrum awal, namun hasilnya akan berbeda dan menjadi lebih akurat. Demikian pula dengan adanya penambahan faktor azimuth dan jarak relatif stasiun membuat metode ini bisa mengadaptasi variasi kecepatan lateral yang cukup heterogen serta distribusi stasiun yang umumnya tidak merata (Aswad, dkk., 2012). Berikut merupakan model ilustrasi relokasi menggunakan metode MJHD (Gambar 3)



Gambar 3. Ilustrasi relokasi menggunakan MJHD (Hurukawa dan Imoto, 1992)

Dalam metode MJHD ini menggunakan model kecepatan global IASP91 yang merupakan model kecepatan bumi satu dimensi yang dihasilkan oleh International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI) yang merupakan hasil pemodelan dengan menggunakan ribuan data gelombang P dan S yang direkam oleh ribuan seismometer di seluruh dunia. Model IASP91 ini hanya berisikan parameter kecepatan gelombang P dan S. Pada kecepatan IASP91 ini memerhitungkan dua lapisan diskontinuitas pada lapisan kerak bumi kedalaman 20 sampai 365 km, lapisan diskontinuitas dimantel bumi pada kedalaman 410 sampai 660 km. Berikut merupakan model kecepatan IASP91 yang digunakan (Gambar 4).



Gambar 4 Model kecepatan IASP91 (Putri, 2012)

## METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan data gempa bumi yang didapatkan dari kantor BMKG Stasiun Geofisika Manado yang terjadi pada periode Januari 2016 s.d Desember 2019 dengan yang digunakan yaitu sebanyak 520 event gempabumi. Data tersebut akan dianalisis untuk memperoleh hasil koreksi lokasi hiposentrum.

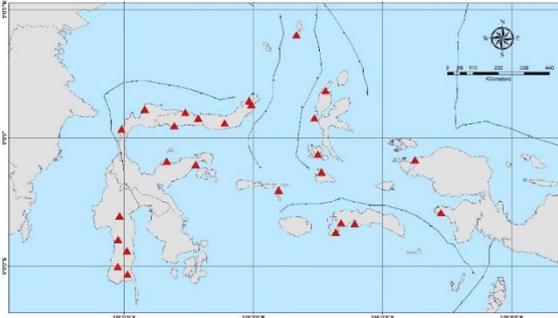
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain perangkat keras Laptop untuk menjalankan Software. Software yang digunakan adalah Software Cygwin untuk melakukan relokasi data gempa bumi dengan menggunakan metode MJHD, Software GMT untuk melakukan plotting peta sebelum relokasi maupun hasil dari relokasi, dan Software Excel untuk menentukan pola dan sudut zona subduksi daerah penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Relokasi Hiposentrum Gempa Bumi

Proses relokasi dengan metode MJHD menggunakan data waktu tiba (P dan S) dari katalog BMKG yang dijadikan sebagai input awal. Pada penelitian ini digunakan  $MEQ=5$  dan  $MNST=5$ .  $MEQ$  ditentukan 5 artinya 1 stasiun pengamat gempa bumi harus mencatat minimal 5 gempa bumi dari semua data yang digunakan.  $MNST$  ditentukan 5 artinya satu event gempa bumi harus terekam minimal pada 5 stasiun. Nilai tersebut diilih agar gempa bumi yang di relokasi dapat diloloskan lebih banyak tetapi tetap memperhatikan keakuratan parameter yang dihasilkan. Jumlah stasiun

(NST) yang digunakan dalam pengolahan tergantung pada nilai MEQ dan MNS. Pada penelitian ini diperoleh total keseluruhan stasiun pencatat sebanyak 26 stasiun. Distribusi stasiun yang digunakan pada (gambar 5)

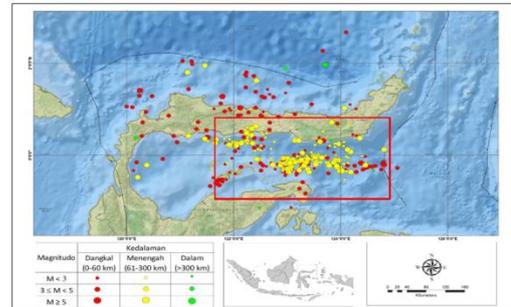


Gambar 5 Distribusi stasiun (segitiga merah)

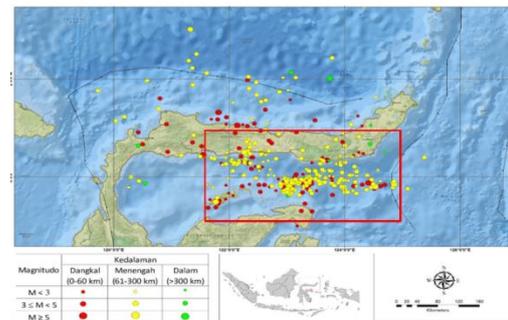
Jumlah data gempa yang diperoleh dari katalog BMKG sebagai input awal dalam relokasi MJHD sebanyak 520 event meliputi gempa bumi utama (mainshock) dan gempa bumi susulan (*aftershock*). Hasil relokasi MJHD diperoleh 359 event gempa bumi yang tersebar dengan magnitudo kedalama bervariasi.

Hubungan antara MEQ dan MNST dengan banyaknya gempa yang direlokasi akan berbanding terbalik. Semakin besar nilai MEQ dan MNST maka gempa yang di relokasi semakin sedikit karena hanya gempa-gempa yang tercatat di bayak stasiun yang di relokasi sedangkan gempa-gempa yang hanya dicatat sedikit stasiun tidak akan di relokasi. Data yang tidak terelokasi dikarenakan besarnya residual waktu tiba melebihi residual yang ditentukan atau jumlah stasiun yang mencatat kejadian gempa bumi tersebut kurang dari batas minimal yang ditentukan. Sedangkan residual waktu (O-C) akan semakin baik jika nilai residualnya semakin kecil. Data yang diperoleh dari BMKG dinilai akurat karena stasiun-stasiun pencatat gempa cukup rapat sehingga nilai residual dapat ditentukan cukup kecil. Setelah dilakukan pengolahan ada beberapa event gempa hilang dikarenakan tidak memenuhi baik MNST dan MEQ. Persyaratan lain yang digunakan yang digunakan dalam pengolahan adalah nilai

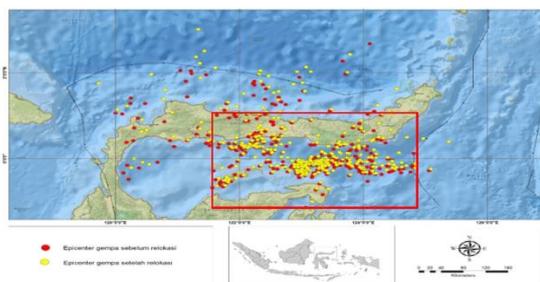
residual (O-C)  $< 1$  dan rentang kedalaman yang digunakan adalah antara 0-450 KM. Nilai rentang kedalaman ini ditentukan berdasarkan distribusi data kedalaman gempa bumi yang diunduh dari katalog BMKG.



Gambar 6. Peta gempa bumi sebelum di relokasi



Gambar 7. Peta gempa bumi setelah direlokasi



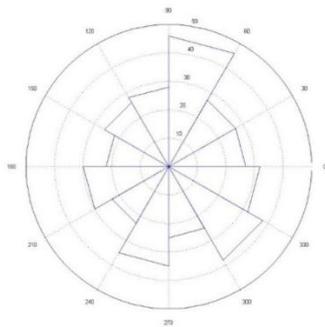
Gambar 8. Peta gabungan gempa bumi sebelum dan sesudah relokasi

Gambar 6 dan 7 menunjukkan perbandingan posisi episentrum gempa bumi sebelum dan sesudah relokasi disepanjang wilayah subduksi Laut Sulawesi yang memanjang dari arah Barat lungan Utara Pulau Sulawesi sampai kearah Timur. Dilihat secara horizontal kedua posisi episentrum dari kedua gambar tersebut tidak terlalu signifikan dimana gempa menyebar kesemua arah. Setelah

diploting secara bersamaan Gambar 8 terlihat adanya perubahan posisi episentrum yang menunjukkan hasil sesudah relokasi dimana gempanya relative lebih banyak terkumpul pada satu cluster sehingga menutupi daerah sebelum relokasi. Selain itu pola yang signifikan terlihat pada perubahan kedalaman, jika diperhatikan terdapat beberapa gempa pada kedalaman fixed depth telah berhasil direlokasi menjadi kedalaman yang sesuai dengan kondisi tektonik tersebut.

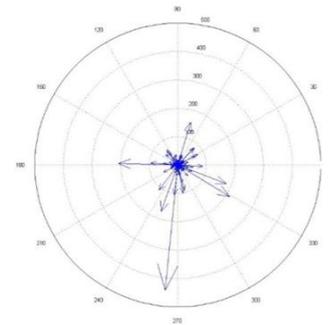
### B. Diagram Kompas dan Rose

Diagram kompas dan 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 diinput untuk menampilkan kedua diagram ini adalah azimuth dan jarak antara posisi sebelum dan sesudah relokasi..



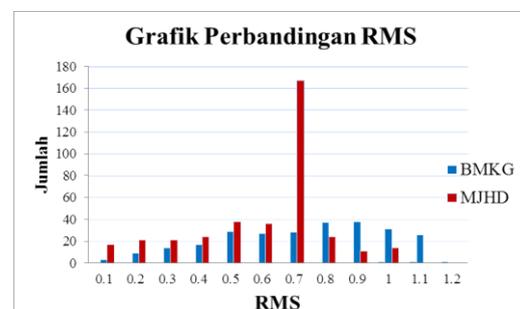
Gambar 9. Diagram Rose

Gambar 9 merupakan diagram rose yang menunjukkan jumlah gempa bumi dengan interval sudut perubahan arah episentrum setelah direlokasi. Skala 0 hingga 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 kesegala arah. Perubahan posisi dominan pada arah Utara dan dengan besar sudut perubahan 80 derajat sebanyak 42 even.



Gambar 10. Diagram Kompas

Gambar 10 adalah diagram kompas hasil relokasi hiposentrum dengan MJHD. Tanda panah menunjukkan arah perubahan posisi gempa bumi sedangkan lingkaran dengan garis putus-putus ditunjukkan dengan skala 10-50 menunjukkan besar perubahan masing-masing gempa bumi dalam satuan kilometer (km). diagram diatas menunjukkan nilai maksimum perubahan posisi gempa bumi setelah direlokasi adalah 420 km. terdapat dua gempa bumi yang mengalami pergeseran sebesar 210 km, sedangkan secara umum tidak terjadi perubahan arah yang signifikan setelah hasil relokasi. Jumlah gempa bumi yang mengalami pergeseran yang besar ini apabila dibandingkan dengan jumlah semua event gempa bumi yang berhasil direlokasi yaitu sebesar 359 event relative kecil. Hal ini menunjukkan bahwa hasil relokasi dengan MJHD cukup baik karena hanya sedikit gempa bumi yang mengalami perubahan posisi yang besar.



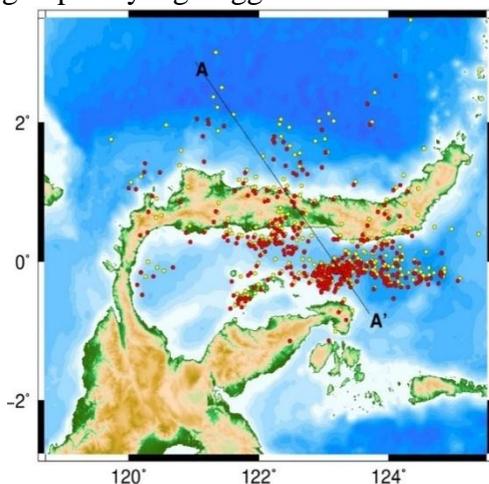
Gambar 11. Grafik perbandingan RMS gempa bumi sebelum dan sesudah relokasi.

Setelah salah satu indikator yang menunjukkan hasil relokasi menggunakan MJHD adalah nilai RMS (Root Mean

Square) yang menunjukkan nilai RMS sesudah di relokasi (MJHD) terkonsentrasi pada nilai 0,1 – 1, sementara nilai RSM sebelum relokasi (BMKG) tersebar pada setiap nilai bahkan nilai residualnya mencapai 1,2. Hal ini membuktikan hasil relokasi MJHD menghasilkan nilai yang baik.

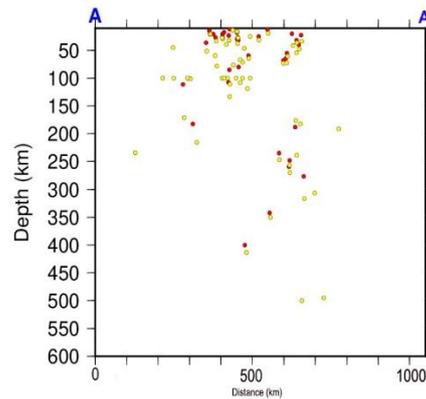
### C.Pola Subduksi di Sulawesi Utara

Banyaknya kejadian gempa bumi yang tercatat di Pulau Sulawesi Utara dalam rentan waktu Januari 2016 s.d Desember 2019, membuktikan bahwa wilayah Sulawesi Utara memiliki tingkat aktivitas kegempaan yang tinggi.



Gambar 12. Peta seismisitas hasil relokasi dan pengambilan segmen irisan vertical

Gempa bumi di wilayah Sulawesi Utara berasal dari sepanjang wilayah subduksi Laut Sulawesi yang memanjang dari arah Barat Lengan Utara sampai Timur Pulau Sulawesi, gempa bumi didominasi oleh gempa dangkal ( $60 < km$ ) dan dalam ( $60 > 600 km$ ). terlihat jelas dari peta, gempa bumi tersebar kesegala arah. Penampang vertical memperlihatkan pola gempa bumi yang lebih jelas di wilayah penelitian.



Gambar 13. irisan vertical segem (A-A') hasil irisan vertical segem A-A', warna merah merupakan gempa bumi (sebelum relokasi) dan warna kuning hasil (relokasi) Sumbu absis menunjukkan jarak irisan segem A-A' dan sumbu koordinat merupakan kedalaman gempa bumi. Setelah relokasi terlihat bahwa pola penunjaman menjadi lebih jelas dibandingkan sebelum relokasi dimana distribusi gempa bumi yang sebelumnya tersebar acak dan setelah relokasi sebaran hiposentrum mengikuti pola tunjaman yang baik dari zona subduksi Laut Sulawesi yang memanjang dari Lengan Barat Utara sampai Timur dan Sekitarnya, terlihat jelas sudut penunjaman yang sangat landai dari zona subduksi tersebut dengan kedalaman maksimal 500 km. Hasil relokasi juga menunjukkan adanya gempa bumi dominan tersebar pada kedalaman antara 10 – 80 km konsentrasi gempa bumi tersebut dimulai dari jarak 450 – 750 km dari sepanjang zona subduksi wilayah Laut Sulawesi yang memanjang dari Lengan Barat Utara sampai Timur dan Sekitarnya. Sedangkan pada kedalaman 250 – 300 dan jarak 400 km adanya seismic gap (tidak ada aktivitas gempa bumi) pada kedalaman tersebut dan gempa bumi muncul lagi pada kedalaman 500 km. Proses seismic gap tersebut terjadi karena batuan yang heterogen sehingga pada segmen yang sama ada beberapa batuan yang telah melepaskan energi sedangkan pada area seismic gap masih terjadi sumbatan sehingga belum melepaskan energi. Secara umum sebagian besar gempa bumi terkonsentrasi pada kedalaman dangkal kisaran 20-80 km.

Sompotan, A.F. 2012, Struktur Geologi Sulawesi. Institut Teknologi Bandung, Sains Kebumihan.

## KESIMPULAN

- Hasil relokasi menggunakan metode MJHD (Modified Joint Hypocentrum) menunjukkan kualitas data yang lebih baik dan akurat dilihat dari nilai residual (RMS) sebelum ( $\geq 1$  s) dan sesudah relokasi ( $\leq 1$  s).
- Berdasarkan hasil seismisitas relokasi dengan menggunakan metode MJHD diperoleh cluster gempa bumi terkonsentrasi pada kedalaman dangkal kisaran 20 – 80 km. Pada kedalaman 250 – 300 dan jarak 400 km terjadi adanya seismic gap sehingga pada zona ini jarang terjadi gempa bumi

## DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Maung, P.M., 2009, *Relocation of Earthquakes in Myanmar by MJHD Method: Aftershocks of Large Earthquakes and Seismicity Along the Sagaing Fault*, IISEE, Tsukuba, Ibaraki, Japan.
- Munadi, S, 2002, *Pengolahan Data Seismik Prinsip Dasar dan Metodologi*, Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Indonesia: Depok.
- Putri, Y.T., 2012, *Relokasi Gempabumi Utama Dan Gempabumi Susulan Menggunakan Metode MJHD (Studi Kasus Gempabumi Mentawai 25 Oktober 2010)*, *Skripsi*, Depok: Universitas Indonesia.
- Hurukawa, N., dan Imoto, M., 1992, *Subducting Oceanic Crust of the Philippine Sea and Pacific Plates and Weak-Zone-Normal Compression in Kanto District, Japan*, *Geophys. J. Int.*, 109: 639652