

APLIKASI METODE DOUBLE DIFFERENCE DALAM RELOKASI HIPOSENTER UNTUK MENGGAMBARAKAN ZONA TRANSISI ANTARA BUSUR BANDA DAN BUSUR SUNDA

Iis Nur Jannah¹, Titi Anggono², dan Tony Yulianto M.T¹

¹*Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang*

²*Pusat Penelitian dan Teknologi, Fisika Lipi, Serpong.*

E-mail: iis.nurjannah@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

The region along of zone transition between Banda arc and Sunda arc is very vulnerable region of earthquake disaster because of this region is located at active subduction zone which caused by convergent boundaries of two tectonic plate, Eurasian plate and Indo-Australian plates. Precise catalogue data will be important as references to tectonic and earthquake study in this area. Because that reason, precise hypocenter information is very important. Earthquake relocation is used to calculate earthquake hypocenter to become precisely. The purpose of this study is to get precise hypocenter distribution of zone transition between Banda arc and Sunda arc.

The double-difference (DD) method is a relative hypocenter method using residual time data of pairs of events to each seismographic station. In this research used by using P wave travel time from the International Seismological Center (ISC). Earthquake that relocated are earthquake which recorded from 2014 until 2011. The results show relocated hypocenters move toward a certain structure and from a clear pattern of seismicity. A clear seismicity pattern is located in northern 119° which active subduction zone of two tectonic plate. The double-difference (DD) method can provide a significant improvement in the hypocenter location. This is indicated by residual time that decline.

Keyword: *relocation hypocenter, double-difference method, zone transition between Banda arc and Sunda arc.*

ABSTRAK

Daerah sepanjang zona transisi antara busur Banda dan busur Sunda adalah daerah yang sangat rawan terhadap bencana gempa bumi karena daerah tersebut merupakan zona subduksi aktif yang disebabkan oleh pertemuan dua lempeng tektonik yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia. Data katalog yang presisi sangat dibutuhkan sebagai data referensi untuk studi tektonik dan studi kegempaan pada area ini. Untuk memahami kondisi tektonik yang tepat diperlukan analisis hiposenter yang akurat. Karena itulah informasi mengenai hiposenter yang akurat sangat penting. Relokasi gempa bumi dilakukan untuk menentukan ulang hiposenter gempa bumi menjadi lebih akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan distribusi hiposenter yang lebih akurat pada zona transisi antara busur Sunda dan busur Banda.

Metode double difference (DD) adalah suatu metode relokasi hiposenter relatif yang menggunakan data waktu tempuh residual dari pasangan hiposenter ke setiap stasiun seismograf. Pada penelitian menggunakan data waktu tempuh gelombang-P dari International Seismological Center (ISC). Gempa bumi yang direlokasi adalah data gempa bumi yang tercatat pada 2011 sampai 2012. Hasil relokasi hiposenter menunjukkan hiposenter relokasi tampak semakin mendekat ke struktur tertentu dan membentuk pola seismisitas yang jelas. Pola seismisitas yang jelas terdapat pada bujur 119° yang merupakan zona subduksi aktif yang disebabkan oleh pertemuan dua lempeng tektonik. Metode double difference (DD) mampu memberikan perbaikan lokasi hiposenter yang signifikan. Hal ini diindikasikan dengan residual waktu tempuh yang menurun.

Kata kunci: relokasi hiposenter, metode double-difference, zona transisi antara busur Banda dan busur Sunda.

PENDAHULUAN

Dalam seismologi, penentuan hiposenter gempa bumi secara tepat dan akurat sangat penting. Seiring dengan perkembangan teknologi penentuan hiposenter dapat dilakukan secara cepat. Namun, parameter hiposenter yang dihasilkan dianggap masih perlu lebih diakuratkan karena dalam penentuannya, model kecepatan yang digunakan adalah model kecepatan satu dimensi yang global [1].

Metode *Double Difference* menggunakan data katalog gempa dan juga *waveform crosscorrelation*, metode *Double Difference* pertama kali kemukakan oleh Waldhauser dan Ellsworth pada tahun 2000. Model ini masih memiliki kesalahan (error) ketika adanya variasi kecepatan yang tidak dimodelkan, contohnya seperti stasiun yang terletak lebih tinggi atau lebih rendah dan adanya kontras kecepatan dekat stasiun. Dengan menggunakan metode *Double Difference*, kesalahan akibat hal tersebut dapat dikurangi tanpa membutuhkan koreksi stasiun. Kelebihan Metode Double-Difference yaitu dapat merelokasikan hiposenter sehingga tampak pola seismisitas yang lebih jelas [2]

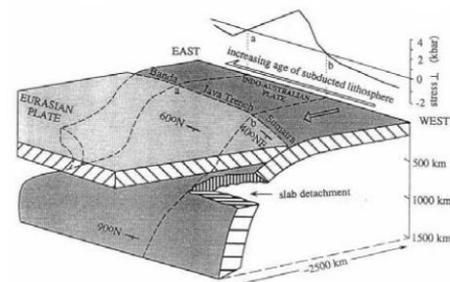
Busur Banda dan Busur Sunda merupakan salah satu wilayah dengan tingkat seismisitas yang tinggi. Hal ini disebabkan karena wilayah ini menjadi pertemuan tiga lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan lempeng Pasific. Batas-batas lempeng-lempeng ini merupakan sebuah zona subduksi yang merupakan zona aktif gempa bumi. [3]

DASAR TEORI

Wilayah Busur Sunda dan Paparan Sunda

Busur Sunda adalah busur kepulauan hasil dari interaksi lempeng samudera (disini lempeng Indo-Australia yang bergerak ke utara dengan kecepatan 7 cm pertahun) yang

menunjam di bawah lempeng benua (Lempeng Eurasia). Wilayah Busur Sunda meliputi busur kepulauan yang membentang dari Sumatera, Jawa sampai pulau-pulau di sebelah timurnya, sampai Pulau Sumbawa, sementara wilayah Paparan Sunda meliputi wilayah Kalimantan ke barat melalui daerah Natuna hingga menyambung dengan Semenanjung Malaya, disebelah selatannya termasuk Laut Jawa, bagian utara-barat Jawa dan bagian paling timur – utara Sumatera [4]

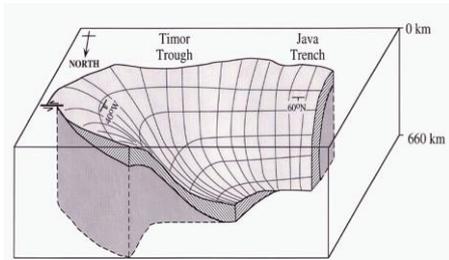


Gambar 1. Zona penunjaman di bawah busur Sunda [5]

Wilayah Busur Banda

Tatanan tektonik di Busur Banda cukup kompleks, sebelah selatan terdapat palung Timor dandi utara adalah palung Seram. Kedua palung ini melingkar membentuk setengah lingkaran mulaidari selatan pulau Timor, Tanimbar, berbelok keatas di sebelah timur pulau Seram dan Buru. Hal ini disebabkan tumbukan lempeng Eurasia yang relatif diam dengan lempeng Indo-Australia dari sebelah selatan dengan kecepatan sekitar 70mm/tahun, sementara lempeng pasifik menabrak dari sebelah timur dengan kecepatan sekitar 90 mm/tahun.

Zona zubduksi di bawah Busur Banda sangat unik, di mana *slab* litosfer yang menunjam membentuk struktur yang menyerupai sendok. Hal ini dimungkinkan oleh proses terputarnya Busur Banda yang hampir 180° berlawanan dengan arah putar jarum jam. Geometri dari litosfer yang ter subduksi di bawah Busur Banda digambarkan secara 3-D dengan lebih jelas dalam diagram blok pada Gambar 2

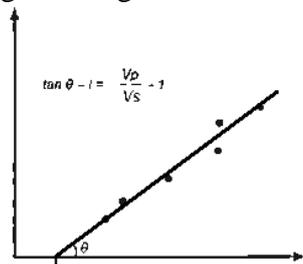


Gambar 2. Struktur 3-D dari penunjaman litosfer yang membuat sebuah bentuk sendok di bawah busur Banda [6]

Parameter Gempa Bumi

a. (Origin Time)

Origin Time atau waktu terjadinya gempa bumi merupakan waktu dimana pelepasan energi pertama kali terjadi pada lempeng tektonik bumi yang mengalami tekanan akibat tumbukan atau gesekan. Untuk menentukan origin time, secara sederhana dapat menggunakan grafik Wadati.



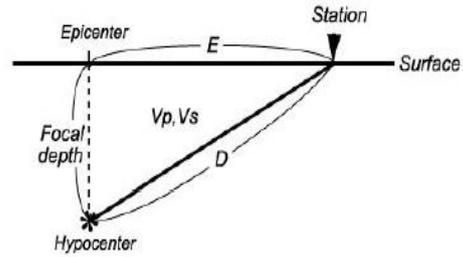
Gambar 3. Grafik Wadati

$$T_o = T_p - \frac{T_{sp}}{l} \tag{1}$$

dengan Tsp adalah $T_s - T_p$ dan l adalah $\frac{V_p}{V_s} - 1$

b. Hiposenter

Hiposenter merupakan pusat gempa bumi yang berada di dalam permukaan bumi. Untuk memudahkan seseorang terkadang hiposenter diasumsikan sebagai sebuah titik namun pada kenyataannya hiposenter merupakan sebuah bidang yang luasnya tergantung pada besarnya energi yang dilepaskan. Penentuan hiposenter juga dapat menggunakan grafik Wadati, dengan mengasumsikan bahwa lapisan bumi adalah homogen. Pada gambar dibawah, D adalah jarak hiposenter dengan stasiun pencatat, dan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:



Gambar 4. Jarak hiposenter [7]

$$D = T_{po} \cdot V_p \tag{2}$$

$$D = T_{so} \cdot V_s \tag{3}$$

$$D = T_s - T_o \cdot V_s \tag{4}$$

$$D = \{ (T_s - T_p) + (T_p - T_o) \} \cdot V_s \tag{5}$$

$$D = T_{sp} + T_{po} \cdot V_s \tag{6}$$

dengan Tsp adalah $T_s - T_p$, Tpo adalah $T_p - T_o$ dan Tso adalah $T_s - T_o$.

c. Episenter

Episenter merupakan sebuah daerah di permukaan bumi yang tegak lurus terhadap hiposenter.

d. Magnitudo

Merupakan besaran yang menunjukkan kekuatan gempa bumi secara empiris. Satuan yang dipakai adalah Skala Richter.

Metode Double-Difference

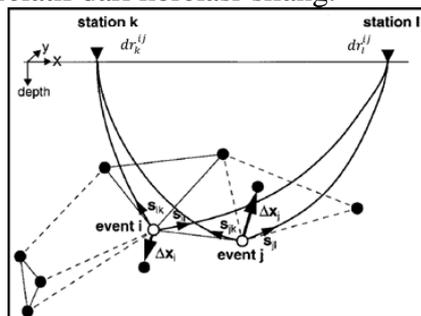
Metoda *double-difference* merupakan teknik relokasi gempa bumi dengan tujuan untuk mendapatkan posisi hiposenter yang lebih presisi agar sesuai dengan kondisi tektoniknya [8]. Prinsip metoda ini adalah dengan meminimumkan residual time dari waktu tempuh hasil perhitungan dan waktu tempuh hasil pengamatan pada dua event gempa yang berdekatan dengan sejumlah stasiun pencatat gempa yang sama. Jarak antara dua event gempa tersebut harus jauh lebih kecil dibandingkan terhadap jarak stasiun-stasiun pencatat gempanya. Asumsi tersebut menunjukkan bahwa kedua event tersebut memiliki ray path yang sama.

Residual time antara observasi dan kalkulasi didefinisikan sebagai perbedaan waktu tempuh observasi dan kalkulasi antara

dua event gempa yang dituliskan dalam persamaan:

$$dr_k^{ij} = (t_k^i - t_k^j)^{obs} - (t_k^i - t_k^j)^{cal} \quad (7)$$

dengan persamaan (7) didefinisikan sebagai double difference perlu diperhatikan bahwa persamaan (7) dapat digunakan untuk fase dengan waktu datang teramati menggunakan waktu tempuh absolut, t , atau selisih waktu tempuh relatif dari korelasi-silang.



Gambar 5. Ilustrasi relokasi hiposenter dengan algoritma *double-difference* [8].

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini menggunakan beberapa perangkat lunak komputer sebagai berikut :

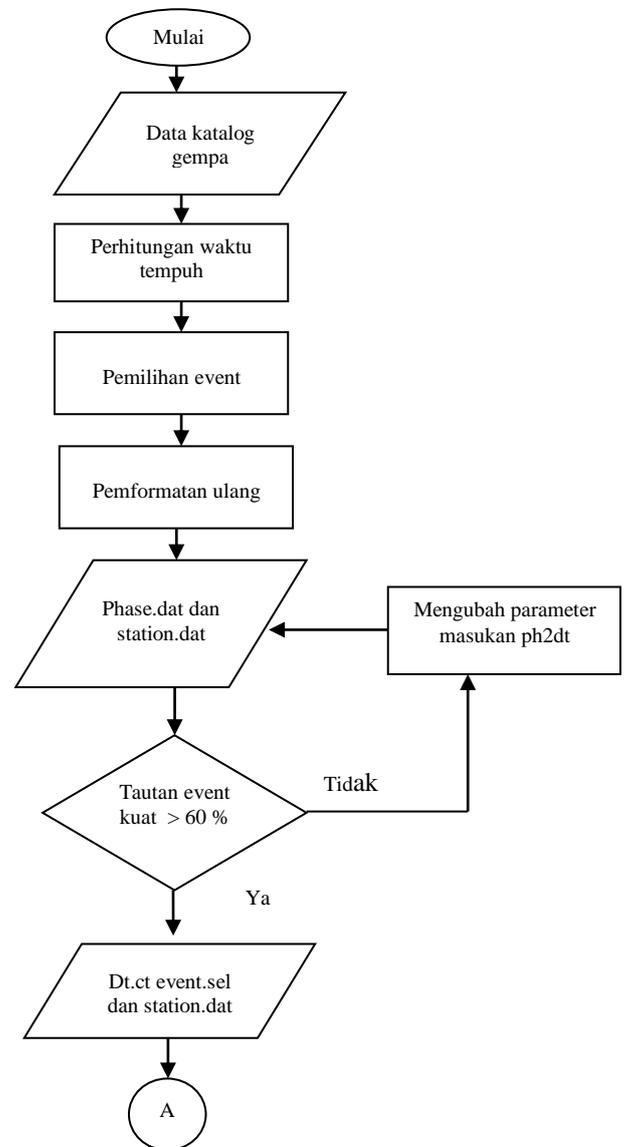
- Perangkat lunak HypoDD digunakan untuk pengolahan data relokasi gempa bumi.
- Perangkat lunak GMT (*Generic Mapping Tools*) digunakan untuk pemetaan lokasi hiposenter gempa bumi sebelum dan sesudah terkoreksi.
- Perangkat lunak Microsoft Excel digunakan untuk menghitung nilai waktu tempuh (*travel time*) gempa bumi.
- Notepad untuk penyusunan data teks dan angka

Data yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- Data data waktu tiba (*arrival time*) gelombang P dan hiposenter katalog gempa bumi ISC (*International Seismological Center*) untuk gempa bumi zona transisi antara busur Sunda dan busur Banda pada tahun 2004 sampai 2011.

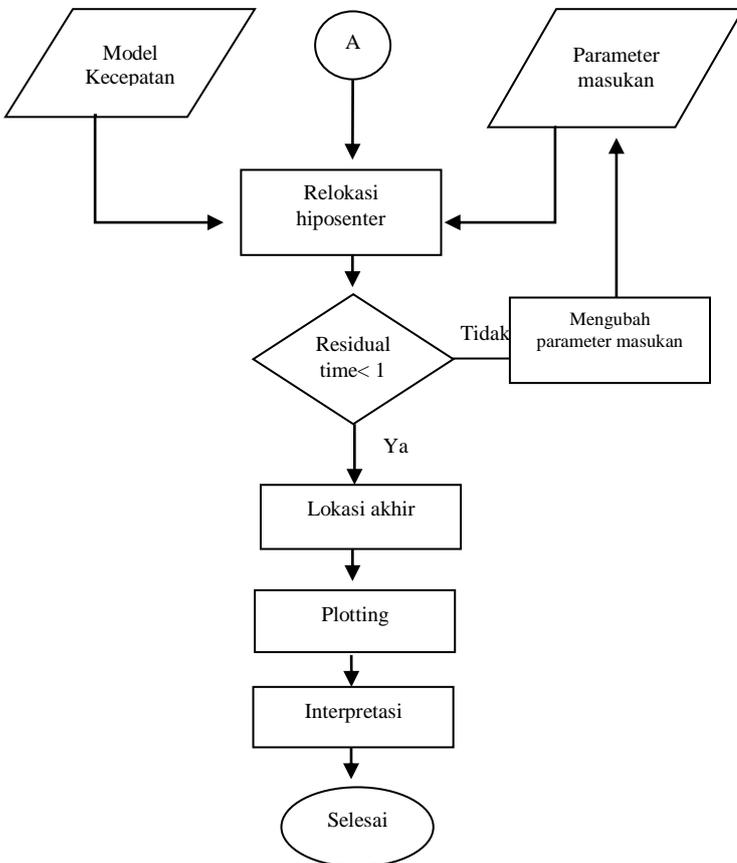
Diagram Alir Penelitian

a. Pra Pengolahan



Gambar 6. Diagram alir pra pengolahan

b. Relokasi Hiposenter

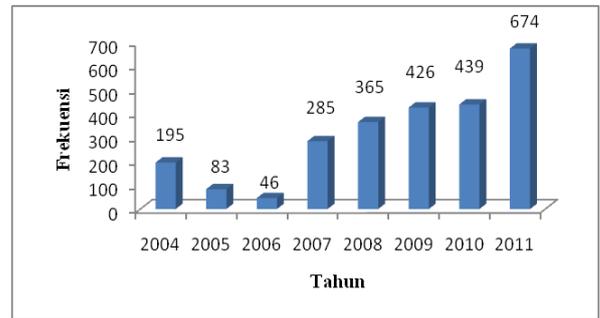


Gambar 7. Diagram alir relokasi hiposenter

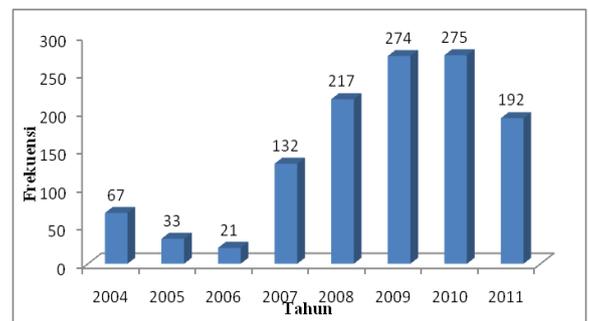
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Data Katalog

Dari 2513 jumlah gempa data katalog ISC mulai tahun 2004 sampai tahun 2011 didapatkan data gempa sejumlah 1211 dan 89 stasiun pencatat yang akan direlokasi. Gambar 8 menunjukkan distribusi jumlah gempa dari tahun 2004 sampai tahun 2011 sebelum relokasi dan Gambar 9 menunjukkan distribusi jumlah gempa setelah relokasi.

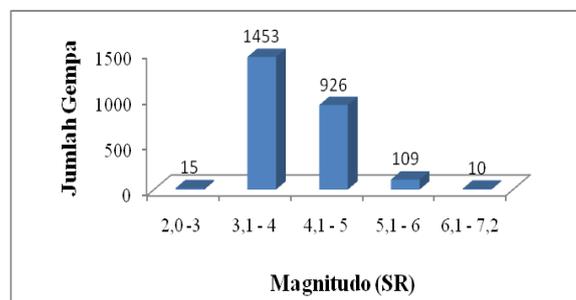


Gambar 8. Grafik jumlah gempa dari tahun 2004 sampai 2011 sebelum relokasi

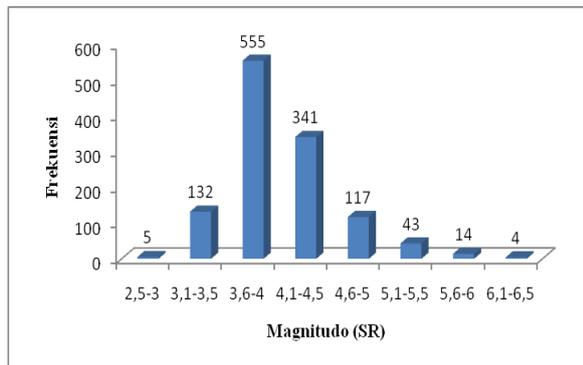


Gambar 9. Grafik jumlah gempa dari tahun 2004 sampai 2011 setelah relokasi

Gempa yang terjadi dari tahun 2004 sampai tahun 2011 memiliki kekuatan gempa (magnitudo) yang berbeda-beda berkisar dari 2 sampai 6,5. Gambar 10 menunjukkan distribusi jumlah gempa dan magnitudo gempa sebelum relokasi dan Gambar 11 menunjukkan distribusi gempa setelah relokasi.



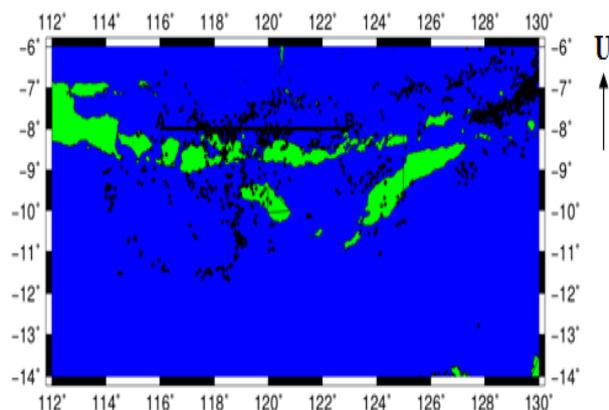
Gambar 10. Grafik distribusi antara jumlah gempa dan magnitudo dari tahun 2004 sampai 2011 sebelum relokasi



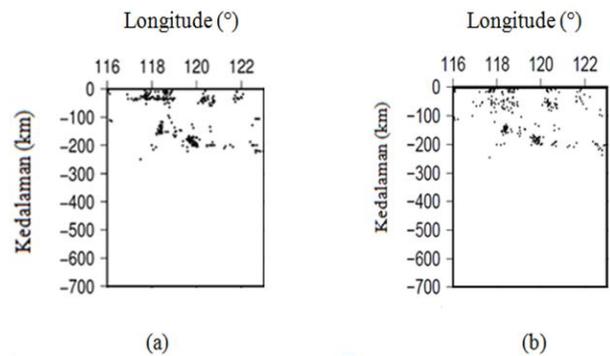
Gambar 11. Grafik distribusi antara jumlah gempa dan magnitudo dari tahun 2004 sampai 2011 setelah relokasi.

Distribusi Hiposenter Sebelum dan Setelah Relokasi

Hasil keluaran dari program hypoDD merupakan data hiposenter yang telah direlokasi. Berdasarkan hasil hiposenter yang telah terlokasi kemudian di lakukan *plotting* menggunakan *software* GMT (*Generic Mapping Tools*). Hal ini di lakukan untuk mengetahui lokasi distribusi hiposenter sebelum dan setelah di relokasi. Penggunaan *software* GMT (*Generic Mapping Tools*) ini juga digunakan untuk mengetahui *cross section* dari distribusi hiposenter untuk mengetahui pergeseran lokasi hiposenter setelah relokasi serta kedalaman hiposenter.



Gambar 12. *Cross section* hiposenter pada 116°-123°



Gambar 13. *Cross section* hiposenter pada 116°-123° (a) sebelum relokasi (b) setelah relokasi

Gambar 12 menunjukkan hasil *cross section* hiposenter pada longitude 116°-123° sebelum dan sesudah direlokasi. Dari Gambar 12 terlihat perbedaan distribusi kedalaman hiposenter sebelum dan setelah direlokasi. Distribusi kedalaman hiposenter yang telah direlokasi cenderung lebih tersebar merata. Hal ini disebabkan distribusi hiposenter setelah di relokasi mengalami pergeseran, namun pergeseran ini tidak terlalu signifikan.

Interpretasi

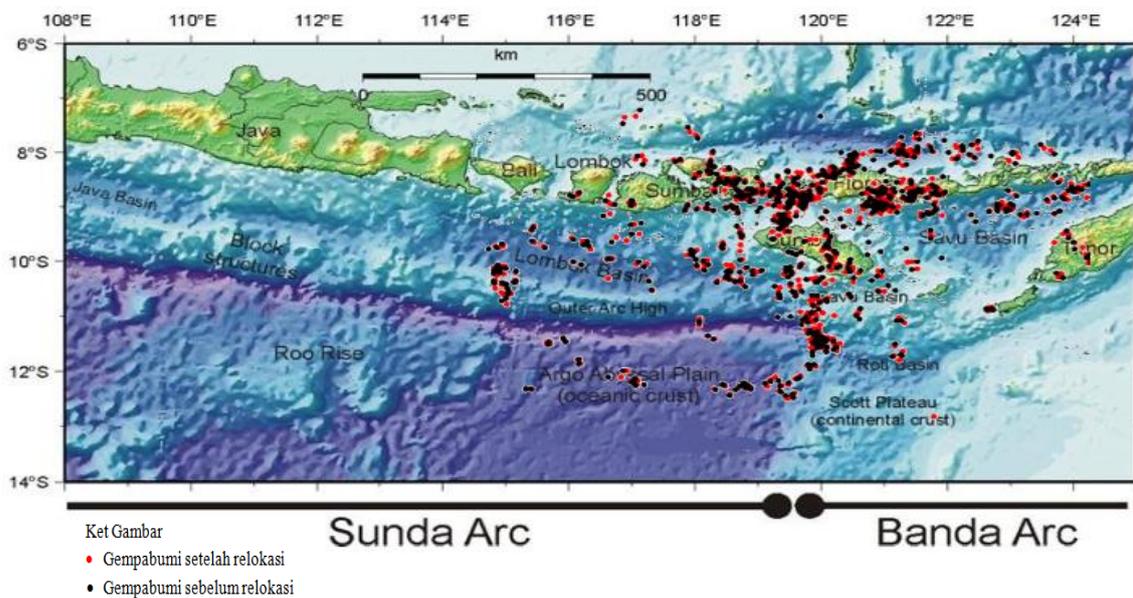
Metode *Double Difference* mempunyai tingkat kepercayaan yang lebih besar. Hal itu karena dari analisis koherensi semua hiposenter dalam satu kelompok mempunyai koherensi yang sangat mirip (mendekati satu), sehingga dapat diinterpretasikan bahwa hiposenter tersebut berasal dari satu mekanisme gempa yang sama dan terletak saling berdekatan pada satu trend bidang rekah atau struktur.

Gambar 13 menunjukkan peta persebaran lokasi awal gempa sebelum dan setelah relokasi, dimana lingkaran hitam merupakan distribusi lokasi gempa bumi sebelum relokasi dan lingkaran merah merupakan distribusi lokasi gempa bumi setelah relokasi. Pada Gambar 4.20 tampak bahwa gempa bumi relokasi lebih mendekat pada struktur tertentu yaitu yang berada pada longitude sekitar 119° jika dibandingkan dengan gempa bumi awal.

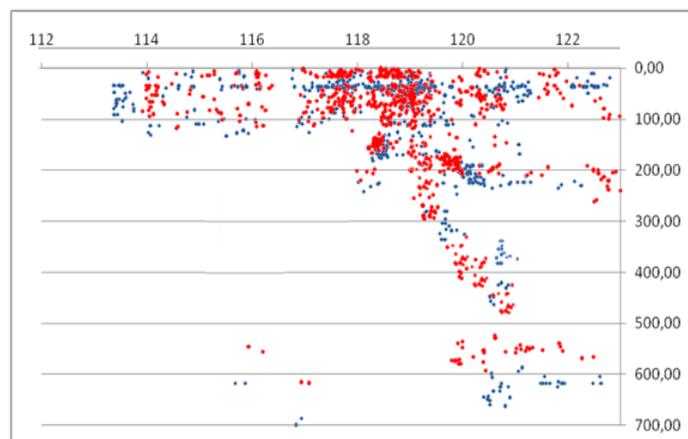
Distribusi hiposenter yang berada pada latitude 119° sebelum relokasi berjumlah 118, setelah dilakukan relokasi distribusi hiposenter berjumlah 162.

Gambar 14 merupakan peta persebaran lokasi awal hiposenter sebelum dan setelah relokasi, Hiposenter relokasi tampak menyusut serta tampak pola seismisitas yang cukup jelas. Pola seismisitas yang cukup jelas

menunjukkan adanya aktifitas seismik yang tinggi. Tingginya aktifitas seismik mengindikasikan adanya zona subduksi lempeng. Pada Gambar 14 tampak jelas adanya lineasi sumber gempa setelah relokasi. Lineasi ini menggambarkan dengan lebih jelas adanya zona subduksi zona transisi antara busur Banda dan busur Sunda.



Gambar 13. Distribusi lokasi gempabumi sebelum dan setelah relokasi.

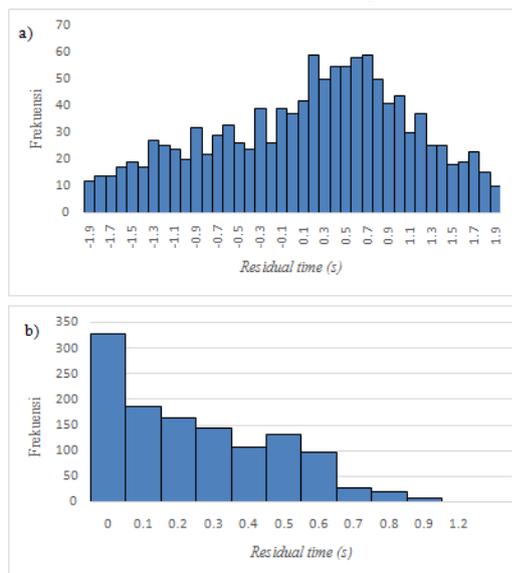


Gambar 14. Distribusi lokasi hiposenter sebelum dan setelah relokasi

Validasi Data

Validasi digunakan untuk menguji hasil relokasi hiposenter. Dengan melakukan validasi dapat diketahui apakah hasil yang diperoleh sudah benar atau tidak. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan frekuensi *residual time* sebelum dan sesudah relokasi hiposenter [9].

Gambar 15 menunjukkan frekuensi *residual time* sesudah relokasi hiposenter yang mendekati nol jauh lebih tinggi sebelum relokasi hiposenter. Kondisi tersebut menunjukkan setelah relokasi hiposenter terjadi perbaikan posisi hiposenter. Residual time mendekati nol menunjukkan antara model bumi dan kenyataan tidak terlalu jauh berbeda. Residual time yang besar menunjukkan sebaliknya. Metode *double-difference* mampu memberikan perbaikan lokasi hiposenter yang signifikan. Hal ini diindikasikan dengan naiknya jumlah residual waktu tempuh (mendekati nol sampai 0,3) sebelum relokasi yang berjumlah 292 (24%) menjadi 820 (67,71%) setelah dilakukan relokasi hiposenter.



Gambar 15. Histogram residual time dan frekuensi (a) sebelum relokasi hiposenter (b) setelah relokasi hiposenter.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan Metode *double difference* yang diterapkan pada zona transisi antara busur Sunda dan busur Banda mampu memberikan solusi hiposenter yang lebih baik, hiposenter relokasi yang semakin mendekati ke struktur tertentu, dan membentuk pola seismisitas sebagai penggambaran kondisi tektonik zona transisi antara busur Banda dan busur Sunda.

Saran

1. Data korelasi silang dapat ditambahkan dalam melakukan relokasi hiposenter agar diperoleh solusi hiposenter yang lebih baik.
2. Sebaiknya menggunakan model kecepatan regional sebagai parameter masukan program hypoDD.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Kayal J.R., (2008), *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*, Copublished by Springer AA Dordrecht, The Netherlands with Capital Publishing Company, New Delhi, India.
- [2]. Sahara, David P., dan Kusumo Andrianto W., Rahmad Sule, *Aplikasi Metode Double Difference Untuk Relokasi Hiposenter Gempa Vulkanik Gunung Kelud Secara Akurat*, Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan ITB, Bandung.
- [3]. *National Earthquake Information Center (NEIC)*
- [4]. Bachri, Saiful., 2013, *Peran Sistem Tunjaman, Sesar Mendatar Transform Dan Pemekaran Terhadap Sebaran Cekungan Sedimen Di Indonesia The Role Of*

- Subduction Systems, Tranform Faults And Rifting To The Distribution Of Sedimentary Basins In Indonesia*, Jurnal Sumber Daya Geologi, Vol. 14 No. 1.
- [5]. Widiyantoro, Sri., dan Nanang P. Puspito., *Tomografi Waktu Tempuh Gelombang S dan Struktur 3-D Zona Penunjaman Di Bawah Busur Sunda*. Jurusan Geofisika dan Meteorologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITB, Bandung. JMS Vol. 3 No. 2, hal. 97 -104, Oktober 1998
- [6]. Ngatmanto, Drajat., (2009), *Penentuan Potensi Gempa Bumi Merusak Berdasarkan Parameter Kegempaan Di Wilayah Busur Banda*, Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.
- [7]. Husni R, Mochammad., 2014, *Aplikasi Metode Double-Difference untuk Relokasi Hiposenter Gempa Mikro di Lapangan Panas Bumi "KRHR"*, *Skripsi*, Program Studi Geofisika Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.
- [8]. Waldhauser, F., 2001, *hypoDD -- A Program to Compute Double-Difference Hypocenter Locations*, Geology Survey, U.S.
- [9]. Ramdhan, Mohamad dan Nugraha, Andri D., *Studi Kegempaan Area Selat Sunda Dan Sekitarnya Berdasarkan Hasil Relokasi Hiposenter Menggunakan Metoda Double-Difference Pusat Gempa dan Tsunami*, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta. JTM Vol. XIX No. 4/2012