

## RELOKASI PARAMETER GEMPABUMI SALATIGA 18 OKTOBER 2023 MENGUNAKAN METODE GEIGER

<sup>1</sup>Safirda Adini Rahmatsyah Putri, <sup>2</sup>Muhammad Nurul Fahmi

<sup>1</sup> Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: Safirda.20009@mhs.unesa.ac.id

<sup>2</sup> Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: Muhammadfahmi@unesa.ac.id

### Abstrak

Relokasi parameter gempabumi merupakan salah satu inversi geofisika yang dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter baru dengan ketepatan yang lebih baik. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh iterasi terhadap perubahan nilai parameter yang dihasilkan pada relokasi gempabumi menggunakan metode geiger, serta untuk mengetahui parameter gempabumi setelah dilakukan relokasi menggunakan metode geiger. Perhitungan relokasi menggunakan parameter awal gempa sebagai variabel kontrol, iterasi sebagai variabel manipulasi, nilai *error*, parameter gempa baru, grafik perubahan parameter pada setiap iterasi, grafik perubahan *error* ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , dan  $\Delta t$ ) pada setiap iterasi, serta peta episenter gempabumi sebelum dan sesudah direlokasi sebagai variabel respon. Perhitungan relokasi metode geiger diolah menggunakan *Microsoft Excel* dan dilakukan regresi berganda dengan enam kali iterasi sehingga mendapatkan *error* minimum. Penelitian ini menghasilkan parameter baru diantaranya adalah koordinat episenter (110,735 BT dan -7,324 LS) dengan perubahan sejauh 0,005 °BT dan 0,0156 °LS dari koordinat episenter awal, kedalaman 18,11 km dengan perubahan sejauh 5,11 km dari kedalaman awal, dan *Origin time* yaitu pada 11:29:33,7 UTC dengan perubahan sebanyak 2,44 detik dari *Origin time* awal.

**Kata Kunci:** Relokasi, parameter gempabumi, metode geiger

### Abstract

Earthquake parameter relocation is one of the geophysical inversions conducted to obtain new parameter values with better accuracy. This study was conducted with the aim to determine the effect of iteration on changes in parameter values produced in earthquake relocation using the Geiger method, as well as to determine the earthquake parameters after relocation using the Geiger method. The relocation calculation uses the initial earthquake parameters as control variables, iterations as manipulation variables, error values, new earthquake parameters, graphs of parameter changes at each iteration, graphs of error changes ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , and  $\Delta t$ ) at each iteration, and earthquake epicenter maps before and after relocation as response variables. Geiger method relocation calculations are processed using *Microsoft Excel* and multiple regression is performed with six iterations to get the minimum error. This research produces new parameters including epicenter coordinates (110.735 East and -7.324 LS) with a change of 0.005 °BT and 0.0156 °LS from the initial epicenter coordinates, depth of 18.11 km with a change of 5.11 km from the initial depth, and *Origin time* at 11:29:33.7 UTC with a change of 2.44 seconds from the initial *Origin time*.

**Keywords:** Relocation, earthquake parameters, epicenter, hypocenter, origin time, iteration, geiger method

## I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki aktivitas seismik yang relatif tinggi (Fidia dkk., 2018; Fitria & Prastowo, 2022). Hal ini disebabkan Indonesia memiliki kondisi tektonik yang kompleks karena berada pada zona pertemuan lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, Filipina, dan Pasifik (Naryanto, 2021; Tumangkeng dkk., 2020). Pulau Jawa merupakan bagian dari daerah aktif karena menjadi bagian segmen *Sunda Megathrust* dan beberapa patahan aktif di darat (Soehaimi dkk., 2021). Wilayah Jawa juga menjadi pusat pembangunan di Indonesia dengan total populasi lebih dari 150 juta penduduk dan diikuti dengan banyaknya infrastruktur penting yang meningkatkan risiko terhadap bencana, khususnya gempa bumi (Widiyantoro dkk., 2020). Salatiga merupakan salah satu wilayah di Jawa Tengah yang dilalui oleh sesar aktif Kendeng-Baribis sehingga seringkali terjadi aktivitas tektonik seperti gempa bumi di daerah Salatiga yang disebabkan oleh adanya pergerakan dari sesar Kendeng-Baribis tersebut.

Ketepatan dan akurasi informasi parameter gempa bumi sangatlah penting, sehingga akan membantu dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi. Salah satu upaya untuk mendapatkan ketepatan parameter gempa bumi ini adalah dengan merelokasi hiposenter gempa bumi (Habibi, 2016). Penentuan lokasi hiposenter yang akurat diperlukan dalam analisis struktur tektonik secara detail, misalnya untuk mengetahui zona patahan, zona subduksi, dan lain-lain (Fauzi, 2014). Relokasi hiposenter merupakan koreksi dari parameter hiposenter gempa bumi yang dilakukan untuk memperbaharui lokasi hiposenter gempa bumi menggunakan parameter yang diunduh dari database *Seiscomp4* yang terinstal pada BMKG Nganjuk. Faktor penting untuk menentukan hiposenter gempa bumi adalah waktu tiba gelombang primer, kecepatan gelombang primer ( $V_p$ ) dan *origin time* (Shohaya, 2014). Akurasi untuk penentuan hiposenter sangat bergantung pada kualitas model struktur kecepatan gelombang gempa yang digunakan yaitu besarnya kecepatan gelombang gempa yang merupakan fungsi dari kedalaman. Dalam sistem peringatan dini gempa bumi, model kecepatan gelombang gempa umumnya menggunakan model kecepatan global sehingga akurasi dalam penentuan hiposenternya kurang optimal. Salah satu metode yang digunakan dalam relokasi hiposenter gempa bumi yaitu metode Geiger. Metode Geiger mengimplementasikan algoritma kuadrat terkecil berulang untuk mencapai deviasi minimum. Teknik optimasi lokal seperti ini dapat menghasilkan solusi dengan meminimalkan fungsi kesalahan, namun proses ini sangat bergantung pada model awal.

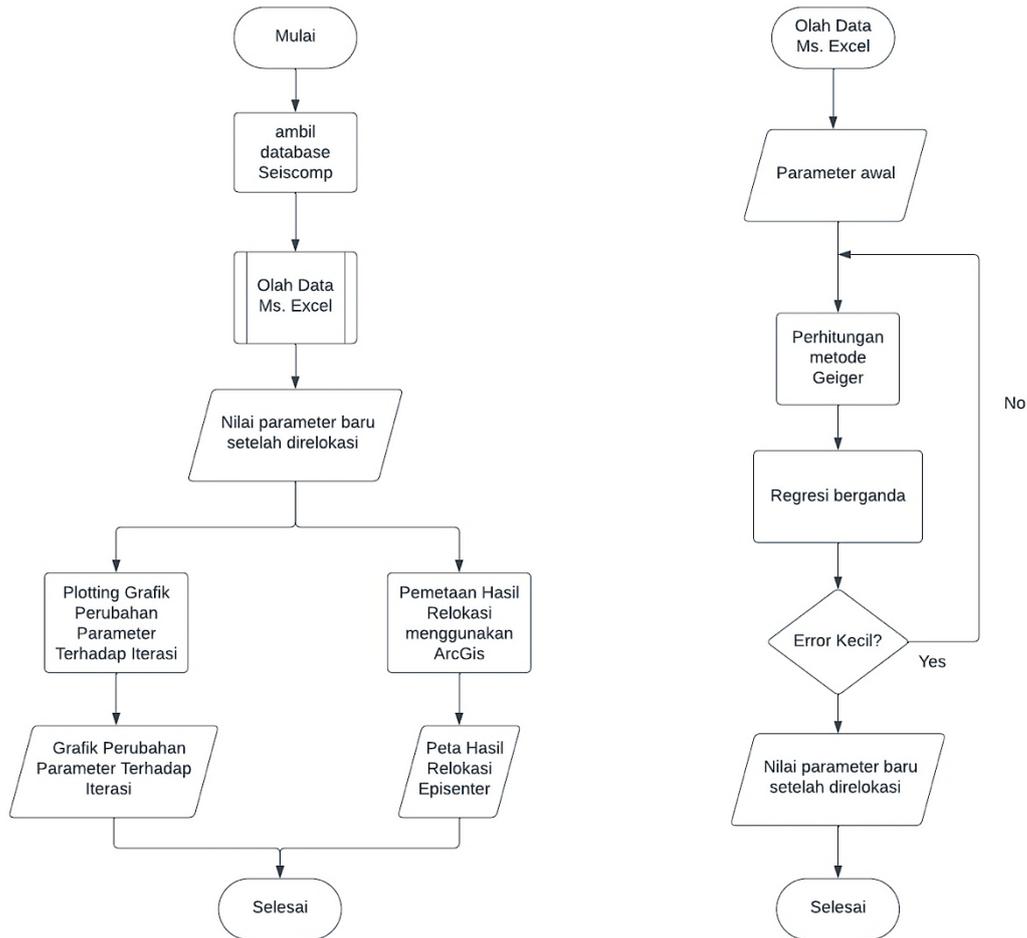
Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Supardiyono, dkk (2014) tentang model kecepatan satu dimensi gelombang P dan S menunjukkan bahwa daerah Jawa Tengah memiliki kecepatan gelombang P pada lapisan kerak atas dengan ketebalan 20 km rata-rata sebesar 5,8 km/s. Penelitian yang membahas aktivitas tektonik di daerah Salatiga masih sedikit dan perlu dikembangkan mengingat daerah Salatiga dilalui oleh sesar aktif di daerah Jawa Tengah khususnya sesar Kendeng-Baribis sehingga layak untuk diteliti aktivitas tektoniknya, khususnya mengenai distribusi episenter dan hiposenter gempa yang terjadi di sekitar daerah tersebut. Dalam hal ini maka dilakukan penelitian dengan judul 'Relokasi Parameter Gempabumi Salatiga 18 Oktober 2023 Menggunakan Metode Geiger' untuk merelokasi hiposenter dan waktu terjadinya gempa bumi dengan menggunakan model kecepatan gelombang P yang sesuai pada wilayah Salatiga sehingga mendapatkan parameter gempa bumi yang sesuai.

## II. METODE

Penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak atau yang biasa disebut sebagai *software* diantaranya adalah *Seiscomp4* untuk pengambilan data, *notepad*, *Microsoft Excel* untuk mengolah data, dan *ArcGis* untuk membuat peta hasil relokasi.

### A. Rancangan Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan pada diagram alir berikut:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Dari diagram alir di atas dapat dilihat bahwa langkah pertama yang dilakukan adalah mengambil data berupa parameter awal gempabumi di database *Seiscomp4*, kemudian melakukan pengolahan data di *Microsoft Excel* dengan cara memasukkan data parameter awal ke dalam formula yang telah diatur menggunakan rumus perhitungan metode geiger, kemudian dilakukan regresi berganda sebagai iterasi yang akan berhenti apabila mendapatkan nilai *error* yang kecil ( $>0,0001$ ), setelah mendapatkan nilai *error* kecil maka diperoleh nilai parameter gempabumi yang baru, dari parameter baru tersebut kemudian dibuat plotting grafik perubahan parameter terhadap iterasi yang menghasilkan grafik perubahan parameter terhadap iterasi, serta dibuat pemetaan hasil relokasi menggunakan *ArcGIS* yang menghasilkan peta hasil relokasi episenter.

### B. Variabel Operasional Penelitian

Pada penelitian relokasi gempabumi ini menggunakan parameter awal gempa yang terdiri dari hiposenter, *origin time*, koordinat stasiun, dan *P arrival* pada masing-masing stasiun sebagai variabel kontrol, iterasi sebagai variabel manipulasi, nilai *error*, parameter gempa baru, grafik perubahan parameter pada setiap iterasi, grafik perubahan *error* ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , dan  $\Delta t$ ) pada setiap iterasi, serta peta episenter gempabumi sebelum dan sesudah direlokasi sebagai variabel respon.

### C. Teknik Pengumpulan Data

Data event gempabumi yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari database *Seiscomp4* yang terinstall di Stasiun Geofisika Nganjuk. Sebelum memasuki proses olah data relokasi maka dilakukan pemilihan event gempabumi yang akan diteliti. Kriteria event gempabumi yang

dipilih diantaranya adalah gempabumi yang terjadi di daratan dalam kurun waktu Agustus 2023-November 2023, dan lokasi titik gempabumi diapit oleh stasiun seismik pada keempat kuadrannya.

Setelah event dipilih, langkah selanjutnya adalah mengunduh data parameter pada *Seiscomp4* yang terdiri dari hiposenter awal, *origin time* awal, dan waktu tiba gelombang P pada masing-masing stasiun. Data parameter yang diunduh dari *Seiscomp4* berbentuk file yang berisikan parameter-parameter event gempa yang terjadi dalam kurun waktu satu hari sehingga harus dilakukan seleksi terkait data event gempa yang dipilih untuk disimpan menggunakan aplikasi *notepad* dalam bentuk file txt. Dari data tersebut selanjutnya dipilih 6 stasiun terdekat pada keempat kuadran yang mencatat gelombang P. Setelah itu membuat peta yang berisi koordinat episenter dan stasiun seismik yang dipilih

#### D. Teknik Pengolahan Data

Data parameter yang telah diunduh dari *Seiscomp4* lalu dimasukkan ke aplikasi Microsoft *Excel* untuk tahap pengolahan data. Selanjutnya dilakukan konversi satuan dari parameter awal yaitu dengan mengubah koordinat stasiun dan koordinat episenter gempa awal dari satuan derajat ke satuan kilometer (km) dengan cara mengalikannya dengan 111,319, kemudian mengubah waktu tiba gelombang P dan waktu terjadinya gempa dari satuan jj:mm:dd,md menjadi satuan detik (dd,md). Perubahan satuan parameter dilakukan untuk memudahkan dalam proses perhitungan relokasi.

Pengolahan data dilakukan dengan cara memasukkannya ke dalam tabel perhitungan di *Microsoft Excel* yang sudah diatur dengan menggunakan formula perhitungan relokasi, kemudian dilakukan regresi berganda dengan sumbu y merupakan ri pada keenam stasiun, dan sumbu x merupakan delta x, delta y, delta z pada keenam stasiun. Setelah itu dilakukan kembali regresi berganda sebagai proses iterasi. Iterasi dapat dihentikan jika nilai perubahan parameter yang dihasilkan memiliki perubahan selisih yang sangat kecil. Setelah iterasi dihentikan maka didapatkan parameter hasil relokasi berupa longitude, latitude, kedalaman, dan *origin time* dari event gempa tersebut. Data parameter baru hasil relokasi kemudian diinterpretasikan menjadi grafik dan pemetaan. Grafik dibuat menggunakan *Microsoft Excel* diantaranya ada grafik grafik perubahan parameter; longitude, latitude, kedalaman, dan *origin time* pada setiap iterasi, serta grafik perubahan *error* ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , dan  $\Delta t$ ) pada setiap iterasi. Sedangkan Pemetaan dibuat menggunakan bantuan *Software ArcGis* yang menghasilkan peta episenter gempabumi sebelum dan sesudah direlokasi.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

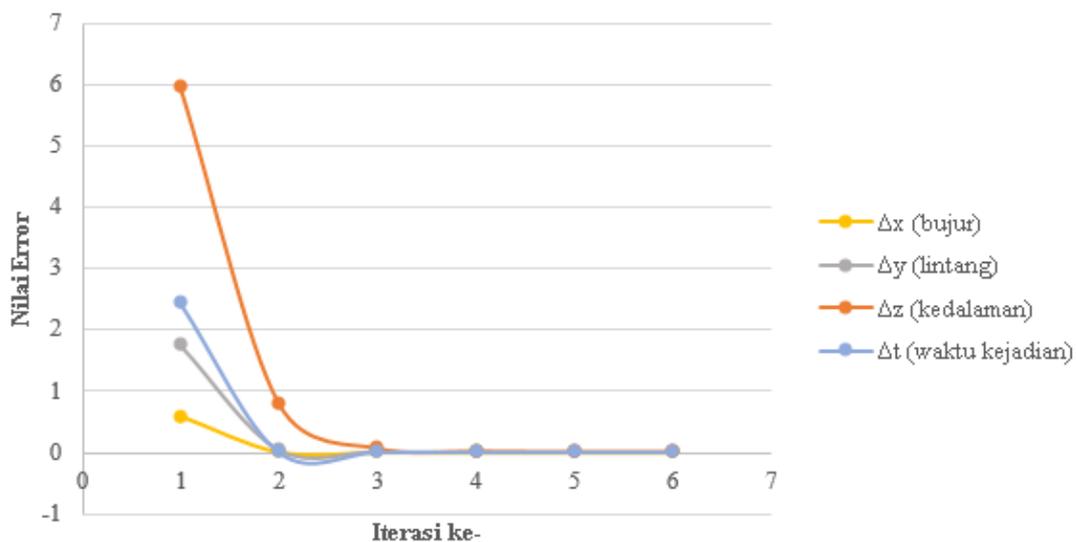
#### A. Pengaruh Iterasi Terhadap Perubahan Nilai Parameter Yang Dihasilkan Pada Relokasi Gempabumi Menggunakan Metode Geiger

Iterasi yang dilakukan menghasilkan koefisien *error* dari masing-masing parameter yang dihitung. Nilai *error* masing-masing parameter yang diperoleh dari setiap iterasi disajikan pada tabel 1 dimana  $\Delta x$  merupakan nilai koefisien *error* dari bujur yang disajikan pada kolom berwarna kuning,  $\Delta y$  merupakan nilai koefisien *error* dari lintang yang disajikan pada kolom berwarna abu-abu,  $\Delta z$  merupakan koefisien *error* dari kedalaman yang disajikan pada kolom berwarna merah, dan  $\Delta t$  merupakan nilai koefisien *error* dari *origin time* yang disajikan pada kolom berwarna biru. Iterasi pertama menghasilkan  $\Delta x$  sebesar 0,59523366072,  $\Delta y$  sebesar 1,75765122737,  $\Delta z$  sebesar 5,95328914223, dan  $\Delta t$  sebesar 2,44101912217. Iterasi kedua menghasilkan  $\Delta x$  sebesar 0,01334582863,  $\Delta y$  sebesar 0,03766181305,  $\Delta z$  sebesar 0,78383576809, dan  $\Delta t$  sebesar 0,00152118789. Iterasi ketiga menghasilkan  $\Delta x$  sebesar 0,00458372919,  $\Delta y$  sebesar 0,01098341807,  $\Delta z$  sebesar 0,05446363198, dan  $\Delta t$  sebesar 0,00301370531. Iterasi keempat menghasilkan  $\Delta x$  sebesar 0,00038048623,  $\Delta y$  sebesar 0,00026508152,  $\Delta z$  sebesar 0,00828554219, dan  $\Delta t$  sebesar 0,00062690291. Iterasi kelima menghasilkan  $\Delta x$  sebesar 0,00005291223,  $\Delta y$  sebesar 0,00008886318,  $\Delta z$  sebesar 0,00079978074, dan  $\Delta t$  sebesar 0,00005900673. Iterasi keenam menghasilkan  $\Delta x$  sebesar 0,00004950891,  $\Delta y$  sebesar 0,00008910772,  $\Delta z$  sebesar 0,00079775541,  $\Delta t$  0,00005886092.

Tabel 1. Nilai *error* dari tiap parameter pada iterasi yang dilakukan

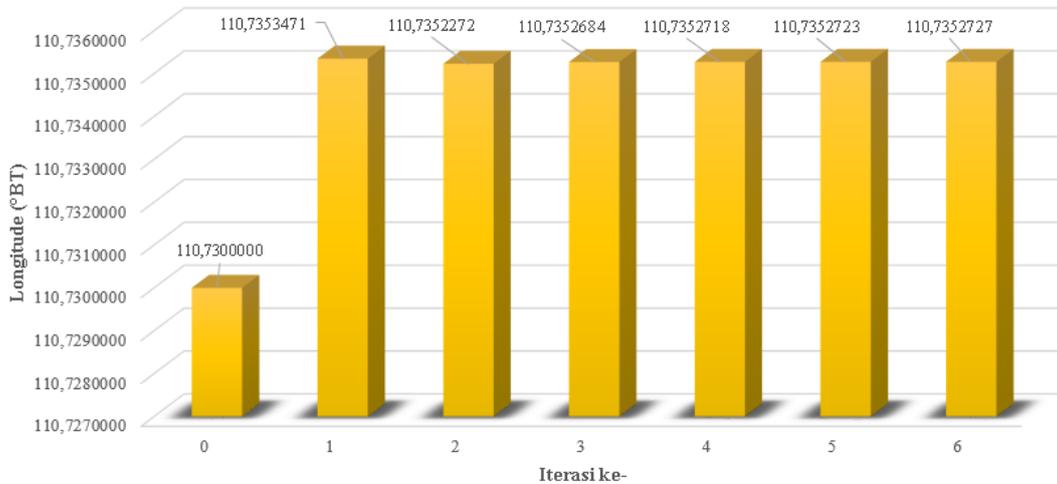
Iterasi ke-	Nilai Error			
	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$\Delta t$
1	0,59523366072	1,75765122737	5,95328914223	2,44101912217
2	0,01334582863	0,03766181305	0,78383576809	0,00152118789
3	0,00458372919	0,01098341807	0,05446363198	0,00301370531
4	0,00038048623	0,00026508152	0,00828554219	0,00062690291
5	0,00005291223	<u>0,00008886318</u>	0,00079978074	0,00005900673
6	<u>0,00004950891</u>	0,00008910772	<u>0,00079775541</u>	<u>0,00005886092</u>

Pada penelitian ini dilakukan sebanyak enam kali iterasi karena nilai *error* yang dihasilkan dari iterasi ke-enam sudah memenuhi syarat berhentinya iterasi dimana bernilai sangat kecil atau kurang dari 0,0001. Dalam hal ini, parameter dengan hasil terbaik diperoleh dari nilai *error* yang terkecil dari keenam iterasi yang dilakukan. Nilai *error* terkecil dari masing-masing parameter diberi tanda garis bawah pada tabel 1. Parameter bujur dengan hasil terbaik diperoleh pada iterasi ke-enam dengan nilai *error* terkecil yaitu 0,00004950891, parameter lintang dengan hasil terbaik diperoleh pada iterasi ke-lima dengan nilai *error* terkecil yaitu 0,00008886318, parameter kedalaman dengan hasil terbaik diperoleh pada iterasi ke-enam dengan nilai *error* terkecil yaitu 0,00079775541, parameter *origin time* dengan hasil terbaik diperoleh pada iterasi ke-enam dengan nilai *error* terkecil yaitu 00005886092.

Gambar 2. Grafik perubahan *error* ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ ,  $\Delta t$ ) terhadap iterasi

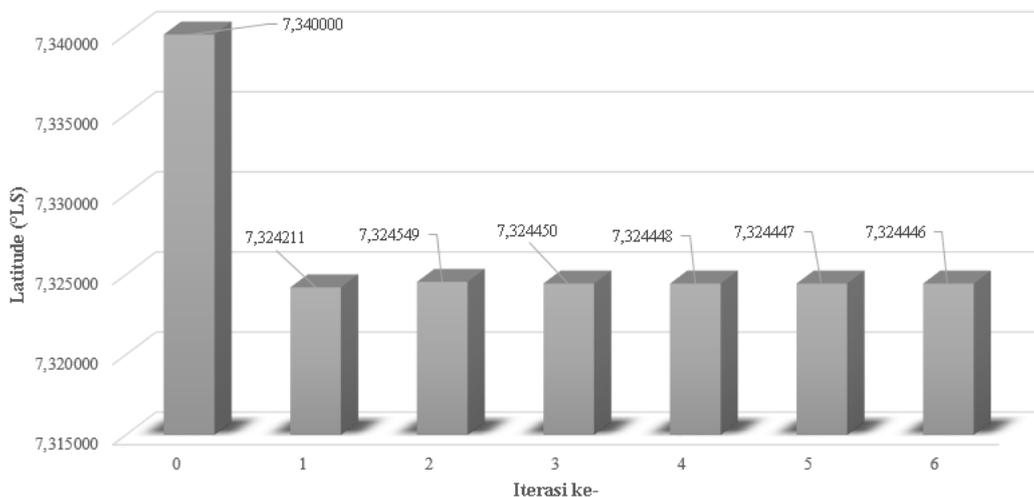
Perubahan nilai *error* dari parameter bujur, lintang, kedalaman, dan *origin time* yang diperoleh pada setiap iterasi diinterpretasikan menjadi sebuah grafik yang disajikan pada gambar 2. Dapat dilihat pada gambar 2 dengan judul 'Grafik Perubahan *Error* ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ ,  $\Delta t$ ) Terhadap Iterasi' dimana pada sumbu x merupakan banyaknya iterasi yang dilakukan dalam rentang 1 hingga 6 iterasi dan sumbu y merupakan nilai *error*. Pada gambar tersebut terdapat empat macam grafik dengan warna berbeda yang menginterpretasikan masing-masing parameter yang dihitung. Grafik berwarna kuning menggambarkan perubahan nilai *error* pada bujur, Grafik berwarna abu-abu menggambarkan perubahan nilai *error* pada lintang, Grafik berwarna merah menggambarkan perubahan nilai *error* pada kedalaman, Grafik berwarna biru menggambarkan

perubahan nilai *error* pada *origin time*. Dapat dilihat pada gambar bahwasanya bentuk perubahan grafik pada semua parameter memiliki bentuk yang sama dimana semakin bertambahnya iterasi maka grafik semakin menurun dan mendekati angka nol. Bentuk grafik tersebut sesuai dengan grafik *error* pada umumnya dimana semakin banyak iterasi yang dilakukan, nilai *error* yang diperoleh semakin mendekati angka nol sehingga data yang diperoleh tingkat keakuratan yang semakin baik.



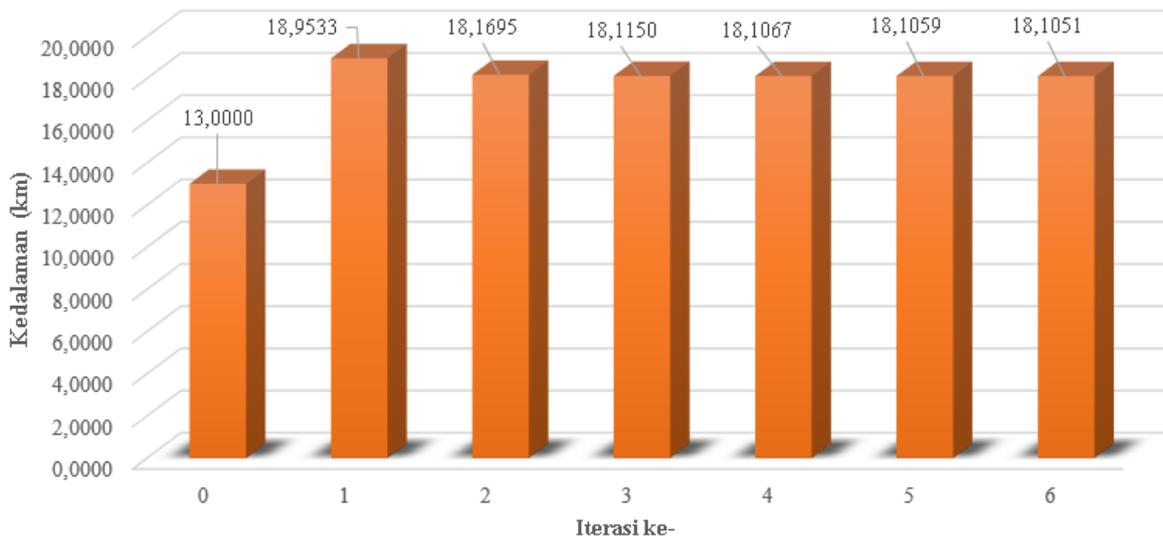
**Gambar 3.** Grafik perubahan longitude pada setiap iterasi

Gambar 3 merupakan grafik batang dari perubahan longitude atau bujur pada setiap iterasi dengan sumbu x merupakan banyaknya iterasi yang dilakukan dan sumbu y merupakan koordinat longitude atau bujur yang dihasilkan. Data parameter bujur awal disajikan pada iterasi ke-nol dengan koordinat 110,7300000 °BT. Iterasi ke-satu menghasilkan perubahan koordinat bujur sebesar 0,0053471 °BT, sehingga diperoleh koordinat bujur yaitu 110,7353471 °BT pada iterasi ke-satu. Iterasi ke-dua menghasilkan perubahan koordinat bujur sebesar 0,0001199 °BT, sehingga diperoleh koordinat bujur yaitu 110,7352272 °BT pada iterasi ke-dua. Iterasi ke-tiga menghasilkan perubahan koordinat bujur sebesar -0,0000412 °BT, sehingga diperoleh koordinat bujur yaitu 110,7352684 °BT pada iterasi ke-tiga. Iterasi ke-empat menghasilkan perubahan koordinat bujur sebesar -0,0000034 °BT, sehingga diperoleh koordinat bujur yaitu 110,7352718 °BT pada iterasi ke-empat. Iterasi ke-lima menghasilkan perubahan koordinat bujur sebesar -0,0000005 °BT, sehingga diperoleh koordinat bujur yaitu 110,7352723 °BT pada iterasi ke-lima. Iterasi ke-enam menghasilkan perubahan koordinat bujur sebesar -0,0000004 °BT, sehingga diperoleh koordinat bujur yaitu 110,7352727 °BT pada iterasi ke-enam.



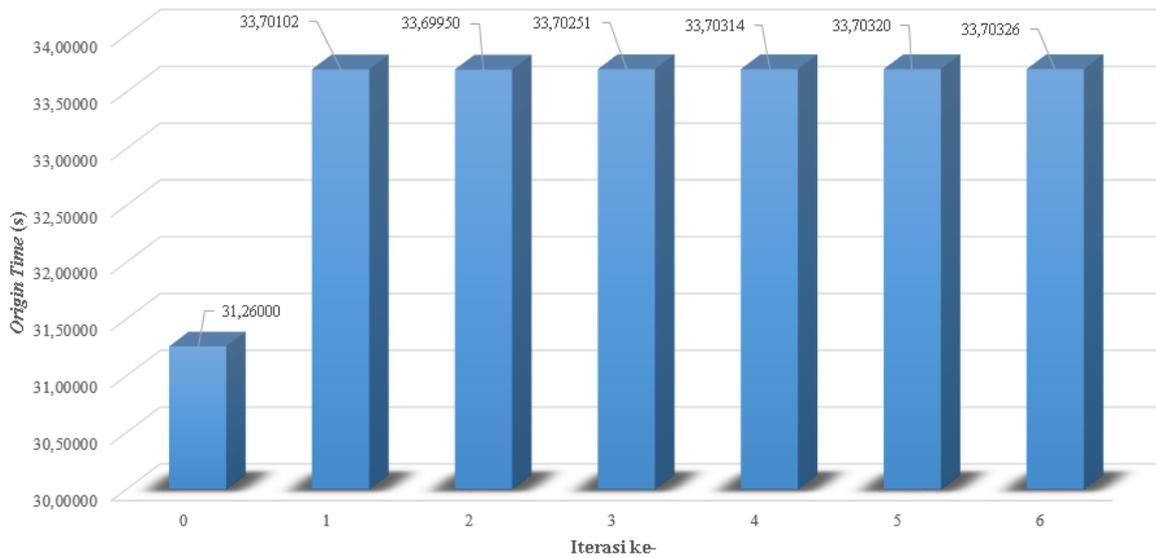
**Gambar 4.** Grafik perubahan latitude pada setiap iterasi.

Gambar 4 merupakan grafik batang dari perubahan latitude atau lintang pada setiap iterasi dengan sumbu x merupakan banyaknya iterasi yang dilakukan dan sumbu y merupakan koordinat latitude atau lintang yang dihasilkan. Data parameter lintang awal disajikan pada iterasi ke-nol dengan koordinat  $7,340000^{\circ}\text{LS}$ . Iterasi ke-satu menghasilkan perubahan koordinat lintang sebesar  $0,01578932^{\circ}\text{LS}$ , sehingga diperoleh koordinat lintang yaitu  $7,324211^{\circ}\text{LS}$  pada iterasi ke-satu. Iterasi ke-dua menghasilkan perubahan koordinat lintang sebesar  $-0,00033832^{\circ}\text{LS}$ , sehingga diperoleh koordinat lintang yaitu  $7,324549^{\circ}\text{LS}$  pada iterasi ke-dua. Iterasi ke-tiga menghasilkan perubahan koordinat lintang sebesar  $-0,00009867^{\circ}\text{LS}$ , sehingga diperoleh koordinat lintang yaitu  $7,324450^{\circ}\text{LS}$  pada iterasi ke-tiga. Iterasi ke-empat menghasilkan perubahan koordinat lintang sebesar  $-0,0000034^{\circ}\text{LS}$ , sehingga diperoleh koordinat lintang yaitu  $7,324448^{\circ}\text{LS}$  pada iterasi ke-empat. Iterasi ke-lima menghasilkan perubahan koordinat lintang sebesar  $0,00000080^{\circ}\text{LS}$ , sehingga diperoleh koordinat lintang yaitu  $7,324447^{\circ}\text{LS}$  pada iterasi ke-lima. Iterasi ke-enam menghasilkan perubahan koordinat lintang sebesar  $0,00000080^{\circ}\text{LS}$ , sehingga diperoleh koordinat lintang yaitu  $7,324446^{\circ}\text{LS}$  pada iterasi ke-enam.



**Gambar 5.** Grafik perubahan kedalaman pada setiap iterasi

Gambar 5 merupakan grafik batang dari perubahan kedalaman pada setiap iterasi dengan sumbu x merupakan banyaknya iterasi yang dilakukan dan sumbu y merupakan koordinat kedalaman yang dihasilkan. Data parameter kedalaman awal disajikan pada iterasi ke-nol dengan kedalaman 13 km. Iterasi ke-satu menghasilkan perubahan koordinat kedalaman sebesar  $-5,953289$  km, sehingga diperoleh koordinat kedalaman yaitu  $18,9533$  km pada iterasi ke-satu. Iterasi ke-dua menghasilkan perubahan koordinat kedalaman sebesar  $0,783836$  km, sehingga diperoleh koordinat kedalaman yaitu  $18,1695$  km pada iterasi ke-dua. Iterasi ke-tiga menghasilkan perubahan koordinat kedalaman sebesar  $0,054464$  km, sehingga diperoleh koordinat kedalaman yaitu  $18,1150$  km pada iterasi ke-tiga. Iterasi ke-empat menghasilkan perubahan koordinat kedalaman sebesar  $-0,008286$  km, sehingga diperoleh koordinat kedalaman yaitu  $18,1067$  km pada iterasi ke-empat. Iterasi ke-lima menghasilkan perubahan koordinat kedalaman sebesar  $0,000800$  km, sehingga diperoleh koordinat kedalaman yaitu  $18,1059$  km pada iterasi ke-lima. Iterasi ke-enam menghasilkan perubahan koordinat kedalaman sebesar  $0,000798$  km, sehingga diperoleh koordinat kedalaman yaitu  $18,1051$  km pada iterasi ke-enam.



Gambar 6. Grafik perubahan latitude pada setiap iterasi

Gambar 6 merupakan grafik batang dari perubahan *origin time* pada setiap iterasi dengan sumbu x merupakan banyaknya iterasi yang dilakukan dan sumbu y merupakan koordinat *origin time* yang dihasilkan. Data parameter *origin time* awal disajikan pada iterasi ke-nol dengan *origin time* 31,26000 detik. Iterasi ke-satu menghasilkan perubahan *origin time* sebesar -2,44102 detik, sehingga diperoleh *origin time* yaitu 33,70102 detik pada iterasi ke-satu. Iterasi ke-dua menghasilkan perubahan *origin time* sebesar 0,00152 detik, sehingga diperoleh koordinat *origin time* yaitu 33,69950 detik pada iterasi ke-dua. Iterasi ke-tiga menghasilkan perubahan *origin time* sebesar -0,00301 detik, sehingga diperoleh *origin time* yaitu 33,70251 detik pada iterasi ke-tiga. Iterasi ke-empat menghasilkan perubahan *origin time* sebesar -0,00063 detik, sehingga diperoleh *origin time* yaitu 33,70314 detik pada iterasi ke-empat. Iterasi ke-lima menghasilkan perubahan *origin time* sebesar -0,00006 detik, sehingga diperoleh *origin time* yaitu 33,70320 detik pada iterasi ke-lima. Iterasi ke-enam menghasilkan perubahan *origin time* sebesar -0,00006 detik, sehingga diperoleh *origin time* yaitu 33,70326 detik pada iterasi ke-enam.

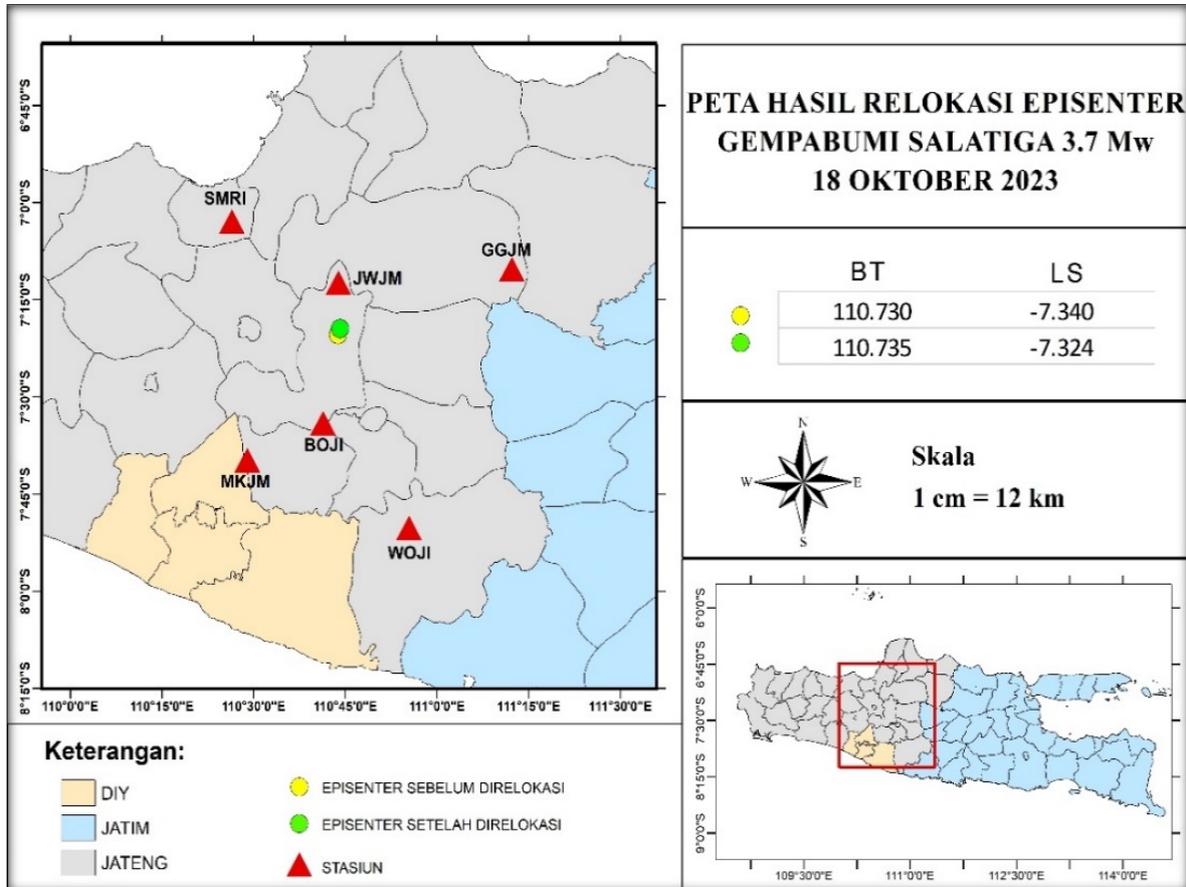
### B. Parameter Gempabumi Hasil Relokasi Menggunakan Metode Geiger

Dari perhitungan relokasi yang telah dilakukan menggunakan metode geiger, diperoleh parameter gempabumi baru pada event gempa Salatiga 18 Oktober 2023. Parameter baru tersebut diantaranya adalah koordinat longitude atau bujur yang awalnya berada pada 110,730 °BT kemudian berubah sejauh 0,005 °BT sehingga menjadi 110,735 °BT setelah direlokasi, koordinat latitude atau lintang yang awalnya berada pada -7,340 °LS kemudian berubah sejauh 0,0156 °LS sehingga menjadi -7,324 °LS setelah direlokasi, koordinat kedalaman lintang yang awalnya berada pada 13,00 km kemudian berubah sejauh 5,11 km lebih dalam sehingga menjadi 18,11 km setelah direlokasi, *origin time* yang awalnya pada 11:29:31,26 UTC kemudian berubah sebesar 2,44 detik sehingga menjadi 11:29:33,70 UTC setelah direlokasi.

Tabel 2. Perbandingan parameter gempabumi sebelum dan setelah direlokasi

Keterangan	Sebelum direlokasi	Setelah direlokasi	Selisih Perubahan
Longitude (°BT)	110,730	110,735	0,005 °BT
Latitude (°LS)	-7,340	-7,324	0,0156 °LS
Kedalaman (km)	13,00	18,11	5,11 km
Origin time (UTC)	11:29:31,26	11:29:33,70	2,44 detik

Episenter baru yang diperoleh dari perhitungan relokasi dengan metode geiger kemudian diinterpretasikan sebagai peta hasil relokasi episenter gempabumi Salatiga 3,7 Mw 18 Oktober 2023 yang dapat dilihat pada gambar 7. Peta hasil relokasi menyajikan koordinat episenter awal sebelum direlokasi yang disimbolkan dengan lingkaran berwarna kuning, serta koordinat episenter hasil relokasi yang disimbolkan dengan lingkaran berwarna hijau.



Gambar 7. Peta relokasi episenter gempabumi

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perhitungan relokasi parameter gempabumi menggunakan metode geiger menghasilkan parameter gempabumi baru dengan keakuratan yang lebih baik yang diindikasikan dengan nilai *error* ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , dan  $\Delta t$ ) minimum. Setelah dilakukan sebanyak enam kali iterasi diperoleh parameter baru dari hasil relokasi diantaranya adalah koordinat episenter (110,735 BT dan -7,324 LS) dengan perubahan sejauh 0,005 °BT dan 0,0156 °LS dari koordinat episenter awal, kedalaman 18,11 km dengan perubahan sejauh 5,11 km dari kedalaman awal, dan *Origin time* yaitu pada 11:29:33,7 UTC dengan perubahan sebanyak 2,44 detik dari *Origin time* awal.

#### IV. PENUTUP

##### A. Simpulan

Dari perhitungan relokasi gempabumi menggunakan metode geiger yang telah dilakukan pada event gempa darat yang terjadi di Salatiga pada tanggal 18 Oktober 2023, diperoleh kesimpulan bahwa:

- Semakin banyak iterasi yang dilakukan menghasilkan selisih perubahan parameter atau *error* ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , dan  $\Delta t$ ) yang semakin kecil. Dalam hal ini merepresentasikan tingkat kesalahan yang semakin rendah, sehingga akurasi data yang diperoleh semakin baik.
- Perhitungan relokasi parameter gempabumi Salatiga 18 Oktober 2023 menghasilkan parameter baru yang diperoleh dari nilai *error* terkecil pada setiap iterasi yang dilakukan. Parameter baru dari hasil relokasi diantaranya adalah koordinat episenter (110,735 BT dan

-7,324 LS) dengan perubahan sejauh 0,005 °BT dan 0,0156 °LS dari koordinat episenter awal, kedalaman 18,11 km dengan perubahan sejauh 5,11 km dari kedalaman awal, dan *Origin time* yaitu pada 11:29:33,7 UTC dengan perubahan sebanyak 2,44 detik dari *Origin time* awal.

## B. Saran

Untuk penelitian lebih lanjut perlu dilakukan relokasi hiposenter dengan metode berbeda untuk membandingkan parameter hasil relokasi dari masing-masing metode sehingga memperoleh hasil yang terbaik yang dapat merepresentasikan kondisi tektonik di daerah penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Fauzi, A. (2014). Relokasi Hiposenter Gempabumi Daerah Jawa Barat Dan Sekitarnya Tahun 2009 - 2014 Menggunakan Metode MJHD. ITB
- Fidia, R., Pujiastuti, D., & Sabarani, A. (2018). Korelasi Tingkat Seismisitas dan Periode Ulang Gempa Bumi di Kepulauan Mentawai dengan Menggunakan Metode Guttenberg-Richter. *Jurnal Fisika Unand*, 7(1), 84-89
- Fitria, M., & Prastowo, T. (2022). Seismisitas Jawa Timur dan Potensi Bahaya Bencana Seismik Terkait. *Jurnal Inovasi Kimia Indonesia*, 11(1)
- Naryanto, H. S. (2021). Analisis Sumber Tsunami untuk Pertimbangan Perencanaan Jalur Kabel InaCMT di Selat Makasar. *Jurnal ALAMI : Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana*, 5(1), 8-18.
- Habibi, A. I. (2016). Relokasi Hiposenter Gempabumi Jawa Barat Dan Sekitarnya Menggunakan Metode Mjhd. *Inovasi Fisika Indonesia*, 5(3).
- Shohaya, J. N. (2014). Model Kecepatan 1-D Gelombang P Dan Relokasi Hiposenter Gempa Bumi Di Bengkulu Menggunakan Metode Coupled Velocity Hypocenter. *Inovasi Fisika Indonesia*, 3(2).
- Soehaimi, A., Sinung Baskoro, S. ., Soebowo, E., Ma'mur, M., & Sopyan, Y. (2021). Penilaian Potensi Bencana Gempabumi dan Tsunami untuk Pelindungan Infrastruktur Migas dan PLTU di Cilacap, Jawa Tengah. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 22(4), 209.
- Supardiyono, Dzulkiflih, Santosa, B., Nugraha, A. (2014). Estimasi Model Satu Dimensi Kecepatan Gelombang P dan S di Jawa Tengah dan Timur. *Seminar Nasional Fisika dan Terapannya IV*.
- Tumangkeng, C., Wenas, D. R., & Umboh, S. I. (2020). Model Kecepatan 1d Gelombang P dan Relokasi Hiposenter Wilayah Sulawesi Utara dan Sekitarnya Menggunakan Metode Couple Velocity Hypocenter. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 1(2).
- Widiyantoro, S., Gunawan, E., Muhari, A., Rawlinson, N., Mori, J., Hanifa, N. R., Susilo, S., Suspendi, P., Shiddiqi, H. A., Nugraha, A. D., & Putra, H. E. (2020). Implications for Megathrust Earthquakes and Tsunamis from Seismic Gaps South of Java Indonesia. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.