

Relokasi Hiposenter Gempa Bumi dan Model Struktur Kecepatan 1 Dimensi Gelombang P dengan Menggunakan Metode *Coupled Velocity – Hypocenter* Di Daerah Sulawesi Tengah dan Sekitarnya

Lusti Nur Azizah^{1,†}, Arif Tjahjono¹, Agung Sabtaji²

¹Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Jalan. Ir. H. Djuanda No.95, Cempaka Putih, Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Banten 15412, Indonesia

²Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah II

[†lustynurazizah@gmail.com](mailto:lustynurazizah@gmail.com)

Abstrak. Pulau Sulawesi tersusun atas tatanan tektonik yang kompleks. Sebagian besar aktivitas gempa bumi di Sulawesi dipengaruhi oleh Sesar Palu – Koro dan Sesar Matano. Sesar Palu - Koro dan Sesar Matano merupakan salah satu sesar yang terdapat di Sulawesi Tengah. Pergerakan aktif dari sesar tersebut mengakibatkan tingginya aktivitas gempa bumi di wilayah Sulawesi Tengah dan sekitarnya. Hal tersebut menjadikan pentingnya parameter gempa bumi di daerah Sulawesi Tengah dan sekitarnya. Salah satu upaya untuk mengetahui informasi parameter gempa bumi dengan akurat adalah dengan melakukan relokasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan relokasi hiposenter gempa bumi dan menentukan struktur kecepatan 1-D gelombang P pada daerah Sulawesi Tengah dan sekitarnya menggunakan metode *Coupled Velocity – Hypocenter* dengan perangkat lunak Velest 3.3. Data yang digunakan adalah data gempa bumi tektonik mulai dari November 2009 sampai dengan Maret 2018, data stasiun pencatat, dan data kecepatan inisial. Hasil dari pengolahan data menggunakan perangkat lunak Velest 3.3 adalah sebagian dari hasil relokasi mendekati sesar, V_p hasil akhir pada kedalaman 9 km lebih lambat dibandingkan dengan V_p inisial, koreksi stasiun yang didapatkan pada perhitungan ini berada pada interval -0.81 sampai dengan +0.54.

Kata kunci: Metode *Coupled Velocity – Hypocenter*, Relokasi Hiposenter, Sulawesi Tengah, VELEST 3.3.

Abstract. Sulawesi Island is composed of complex tectonic arrangements. Most earthquake activities in Sulawesi are affected by the Palu - Koro Fault and Matano Fault. Palu - Koro Fault and Matano Fault are one of the faults in Central Sulawesi. Active movement of the fault results in high earthquake activity in the region of Central Sulawesi and its surroundings. This makes the importance of earthquake parameters in Central Sulawesi and surrounding areas. One of the efforts to find out earthquake parameter information accurately is to relocate. The purpose of this study was to conduct hypocenter earthquake relocation and determine the 1-D velocity structure of P waves in Central and surrounding areas using the *Coupled Velocity - Hypocenter* method with Velest 3.3 software. The data used are tectonic earthquake data from November 2009 to March 2018, data recording stations, and initial speed data. The results of data processing using the Velest 3.3 software are that some of the results of the relocation are close to fault, the final V_p at a depth of 9 km is slower than the initial V_p , the correction of the station obtained in this calculation is in the interval -0.81 to +0.54.

Keywords: Central Sulawesi, *Coupled Velocity – Hypocenter Method*, Hypocenter Relocation, VELEST 3.3.

PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah suatu peristiwa alam yang ditandai dengan bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba – tiba akibat dari pecah/*slipnya* massa batuan di lapisan kerak bumi [1]. Energi yang dihasilkan berupa gelombang seismik yang menjalar ke segala arah dari sumber gempa melewati kerak bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan [2]. Semakin besar energi yang dilepaskan, maka semakin kuat guncangan yang terjadi. Indonesia adalah negara yang sangat rawan akan bencana gempa bumi dan letusan gunung berapi karena berada pada jalur *Ring of Fire*. Indonesia berada di atas jalur pertemuan tiga lempeng besar (lempeng mayor), yaitu Hindia – Australia, Eurasia, dan Pasifik. Selain itu

juga terdapat satu lempeng minor, yaitu lempeng Philipina [3]. Hal tersebut membuat Indonesia sering mengalami kejadian gempa bumi setiap tahunnya, baik gempa yang dirasakan maupun tidak dirasakan.

Menurut Hall dkk (2011) [4], Sulawesi adalah bagian dari Kepulauan Indonesia yang tersusun oleh tatanan tektonik yang kompleks. Perkembangan tektonik di Sulawesi sudah berlangsung sejak zaman Tersier hingga sekarang dan termasuk daerah teraktif di Indonesia [5]. Sebagian besar aktivitas gempa bumi di Sulawesi dipengaruhi oleh Sesar Palu – Koro dan Sesar Matano. Pergerakan aktif dari sesar tersebut mengakibatkan tingginya aktivitas gempa bumi di wilayah Sulawesi Tengah. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menyebutkan bahwa telah terjadi gempa bumi di Kabupaten Poso, Sulawesi Tengah dengan lokasi gempa $1,33^{\circ}$ LS – $120,41^{\circ}$ BT berpusat di 38 Km Barat Laut Kab. Poso - Sulawesi Tengah berkekuatan 6,6 SR. Gempa bumi tersebut terjadi pada tanggal 29 Mei 2017 pukul 21.35 dengan kedalaman 10 Km di bawah permukaan laut. Akibat gempa bumi tersebut terjadi kerusakan rumah warga sebanyak 164 rumah mengalami rusak berat dan 86 rumah mengalami rusak ringan [6].

Hal ini menjadikan pentingnya parameter gempa bumi di daerah Sulawesi Tengah. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengetahui informasi parameter gempa bumi dengan akurat adalah dengan melakukan relokasi hiposenter gempa bumi. Relokasi hiposenter gempa bumi merupakan suatu metode menghitung ulang atau mengoreksi posisi hiposenter gempa bumi menjadi lebih baik dan akurat. Relokasi hiposenter ini menghasilkan gambaran liniasi atau kemenerusan hiposenter yang merepresentasikan struktur sesar di bawah permukaan bumi. Metode yang dapat digunakan untuk melakukan relokasi gempa bumi salah satunya dengan metode *Coupled Velocity – Hypocenter*. Metode *Coupled Velocity – Hypocenter* ini merupakan metode relokasi gempa dan koreksi stasiun secara bersamaan menggunakan prinsip metode *Geiger*, di mana pembaharuan model kecepatan menggunakan persamaan *Kissling* [7]. Metode ini juga digunakan untuk menentukan model kecepatan 1-D gelombang.

Dalam menyelesaikan metode *coupled velocity – hypocenter* digunakan perangkat lunak *Velest 3.3*. Pada metode ini dianggap bahwa bumi terdiri dari lapisan datar yang homogen isotropik, hal ini dilakukan agar waktu tiba gelombang yang terjadi karena pemantulan dan pembiasan pada setiap lapisan dapat dihitung. Dalam melakukan pengamatan waktu tiba gelombang dapat dinyatakan dalam suatu formula t_{obs} , yaitu $t_{obs} = f(s, h, m)$, dimana s , h , dan m adalah koordinat stasiun, parameter hiposenter (*origin time* dan lokasi koordinat hiposenter) dan model kecepatan, sedangkan fungsi f adalah fungsi nonlinear dari parameter h dan m yang tidak diketahui sebelumnya. Dengan dapat dihitungnya waktu tiba gelombang t_{cal} untuk setiap stasiun, maka di peroleh pembaharuan model kecepatan menggunakan persamaan *Kissling* dimana k , i dan e adalah jumlah hiposenter, jumlah stasiun, dan koreksi stasiun [3, 8]:

$$t_{res} = t_{obs} - t_{cal} = \sum_{k=1}^4 \frac{\partial f}{\partial h_k} \Delta h_k + \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial m_i} \Delta m_i + e \quad (1)$$

Berdasarkan pemaparan di atas, maka penelitian ini sangat perlu dilakukan di daerah Sulawesi Tengah dan sekitarnya untuk mendapatkan gambaran struktur sesar di bawah permukaan bumi melalui relokasi hiposenter gempa bumi dengan metode *Coupled Velocity – Hypocenter*. Hal ini perlu dilakukan karena daerah Sulawesi Tengah dan sekitarnya rawan akan bencana gempa bumi yang sebagian besar dipengaruhi oleh keberadaan Sesar Palu – Koro dan Sesar Matano.

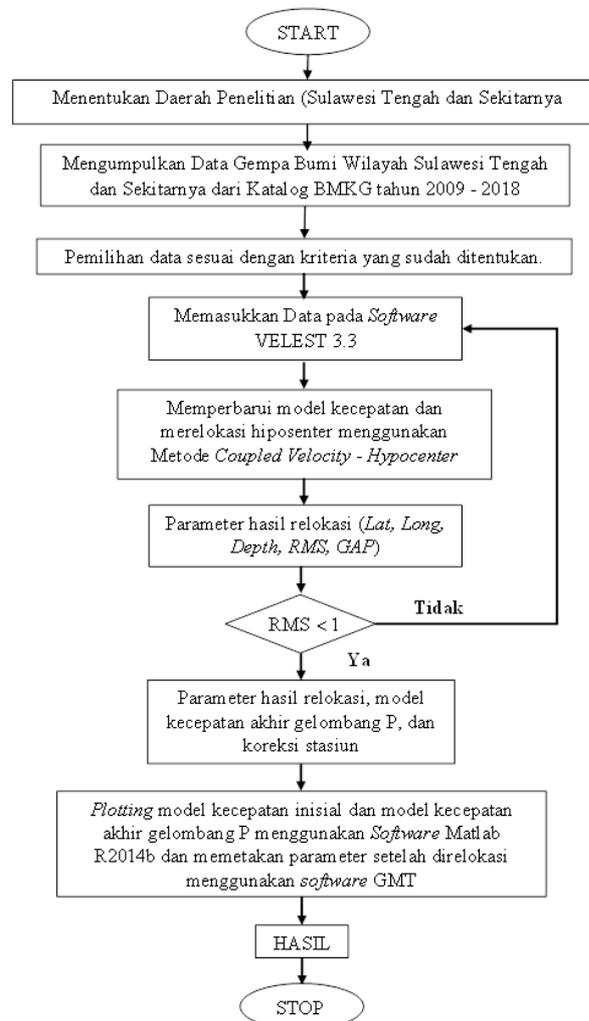
METODE

Pada penelitian ini dilakukan relokasi hiposenter gempa bumi dengan Metode *Coupled Velocity – Hypocenter* menggunakan perangkat lunak *VELEST 3.3*. Beberapa data yang digunakan adalah data gempa bumi tektonik, data stasiun pencatat gempa, dan data model awal kecepatan gelombang P. Terdapat 21 stasiun pencatat gempa yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1. Model Awal Kecepatan [3]

Kedalaman (km)	Kecepatan Gelombang P (km/s)
-1.0	3.28
3.0	5.50
6.0	5.70
9.0	6.20
20.0	6.45
23.0	6.75
25.0	7.20
28.0	7.45

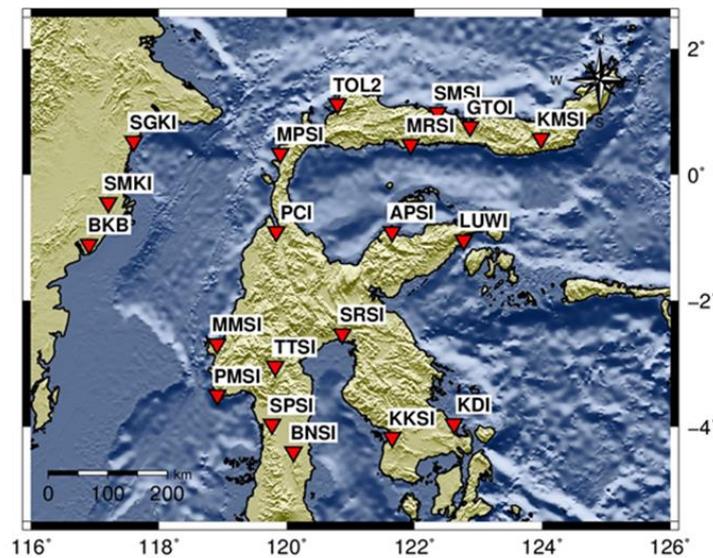
Dalam penelitian ini, data gempa bumi tektonik yang digunakan adalah hasil analisis dari BMKG Pusat mulai dari November 2009 sampai dengan Maret 2018. Data gempa bumi yang didapat kemudian dipilih dengan melakukan 1 kali iterasi berdasarkan beberapa kriteria, yaitu besar nilai azimuth gap $\leq 190^\circ$ dan jumlah fase stasiun tiap kejadian gempa berjumlah ≥ 10 fase gelombang P. Berdasarkan kriteria tersebut, maka data yang sudah terpilih berjumlah 594 kejadian gempa.

**Gambar 1.** Diagram Alir Pengolahan Data

HASIL DAN PEMBAHASAN

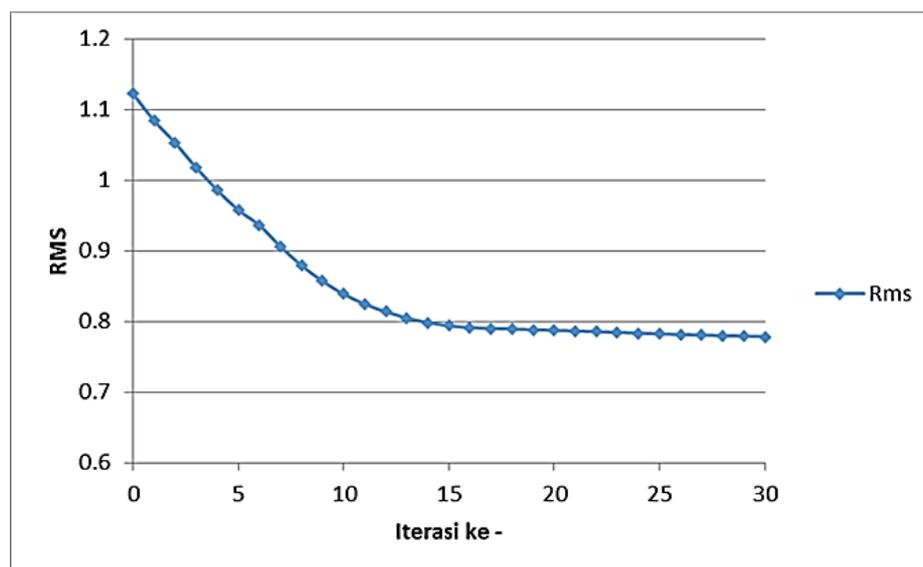
Hasil Relokasi Hiposenter

Pada penelitian ini dilakukan relokasi gempa bumi dan penentuan model kecepatan 1-D gelombang P menggunakan *software* VELEST 3.3. Penelitian ini menggunakan data kejadian gempa bumi di daerah Sulawesi Tengah dan sekitarnya dari tahun 2009 sampai dengan 2018. Data kejadian gempa bumi yang digunakan sebanyak 594 kejadian dengan 21 stasiun. Data – data tersebut didapatkan dari katalog BMKG.



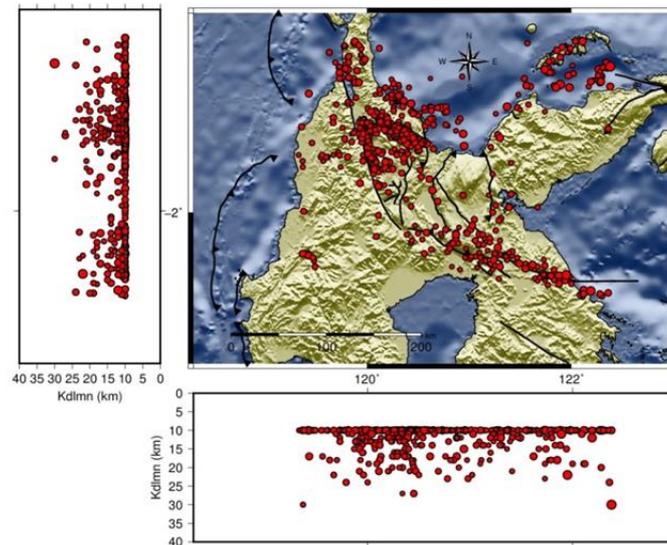
Gambar 2. Sebaran 21 stasiun gempa bumi yang digunakan

Data gempa yang digunakan adalah gempa dangkal dengan kedalaman kurang dari 30 km. Untuk perhitungan relokasi dan penentuan model kecepatan 1-D gelombang P ini dilakukan proses inversi sebanyak 30 iterasi, hingga mendapatkan nilai RMS < 1. Hal tersebut sangat jelas terlihat pada grafik (Gambar 3), bahwa pada awal iterasi nilai RMS yang didapatkan sebesar 1.122406, sedangkan pada iterasi terakhir nilai RMS yang didapatkan sebesar 0.778645. Semakin kecil RMS, maka akan semakin kecil pula nilai kesalahan yang terjadi pada hasil relokasi yang didapat.

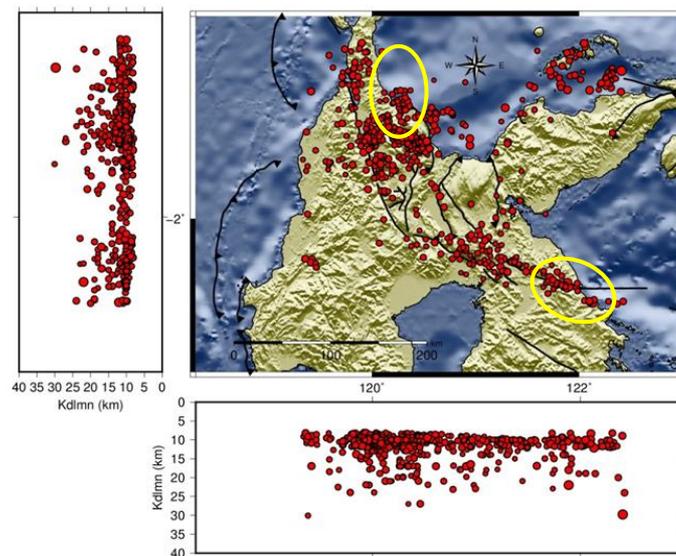


Gambar 3. Kurva Penurunan RMS hingga Iterasi ke 30

Hasil dari relokasi hiposenter gempa bumi setelah diolah menggunakan *software* VELEST dengan metode *coupled velocity – hypocenter*, didapat pergeseran posisi baik *latitude*, *longitude*, maupun *depth* dari setiap kejadian gempa bumi. Sebelum di relokasi jika dilihat dari peta sebaran hiposenter dengan irisan penampang vertikal, persebaran hiposenter banyak berada di kedalaman 10 km, tetapi ketika sudah di relokasi persebaran hiposenter di kedalaman 10 km berkurang dari sebelumnya atau boleh dikatakan hiposenter gempa terlihat lebih bervariasi. Hal ini disebabkan oleh otomatisasi penentuan kedalaman gempa bumi oleh perangkat lunak Seiscomp3 yang digunakan BMKG. Apabila hasil analisis kedalaman tidak terpusat dengan baik, maka *software* Seiscomp3 secara otomatis akan membuat kedalaman kejadian gempa bumi tersebut pada kedalaman 10 km atau dikenal dengan *fix depth*. Selain itu, setelah di relokasi juga akan terlihat pergeseran posisi hiposenter yang lebih mendekati sesar seperti yang ada pada lingkaran kuning.

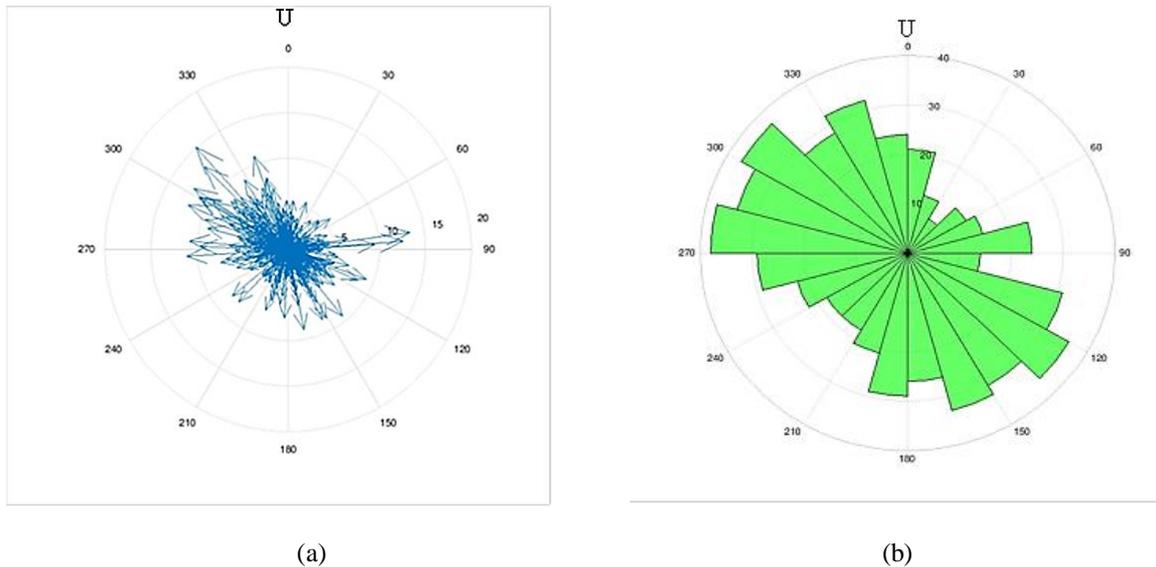


Gambar 4. Peta sebaran hiposenter sebelum relokasi dengan irisan penampang vertikal berdasarkan bujur dan lintang



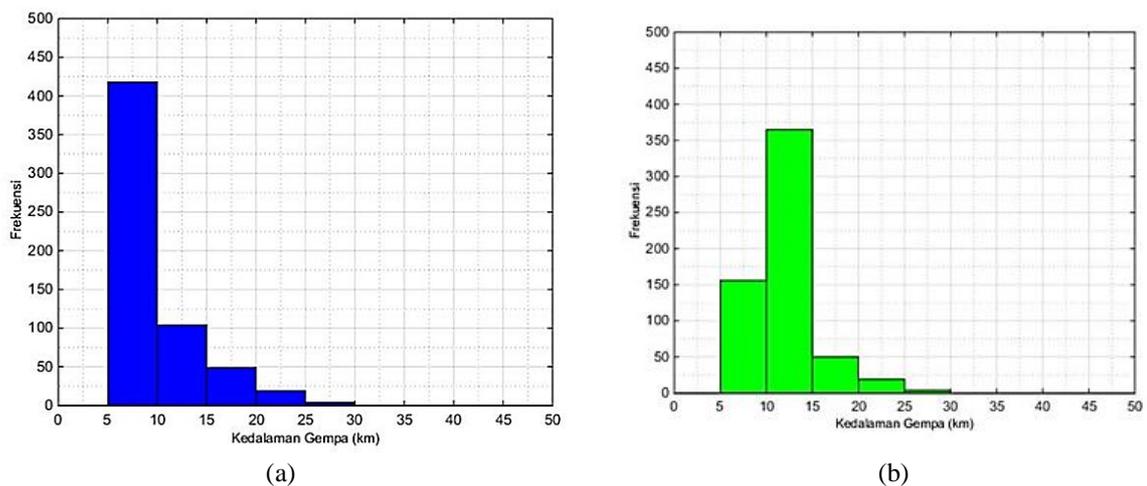
Gambar 5. Peta sebaran hiposenter sesudah relokasi dengan irisan penampang vertikal berdasarkan bujur dan lintang

Untuk melihat perubahan posisi hiposenter ini juga dapat terlihat dengan menggunakan diagram kompas dan diagram *rose*. Diagram kompas digunakan untuk menunjukkan arah dan jarak pergeseran hiposenter gempa, sedangkan diagram *rose* digunakan untuk menunjukkan arah pergeseran terbanyak. Dilihat dari diagram kompas, terdapat 10 kejadian gempa bumi yang berpindah sejauh 10 km, sedangkan dilihat dari diagram *rose* arah pergeseran kejadian gempa bumi lebih banyak menuju tenggara dan barat laut.



Gambar 6. Diagram kompas untuk menunjukkan arah dan jarak pergeseran hiposenter (a) dan diagram *rose* untuk menunjukkan arah pergeseran terbanyak (b)

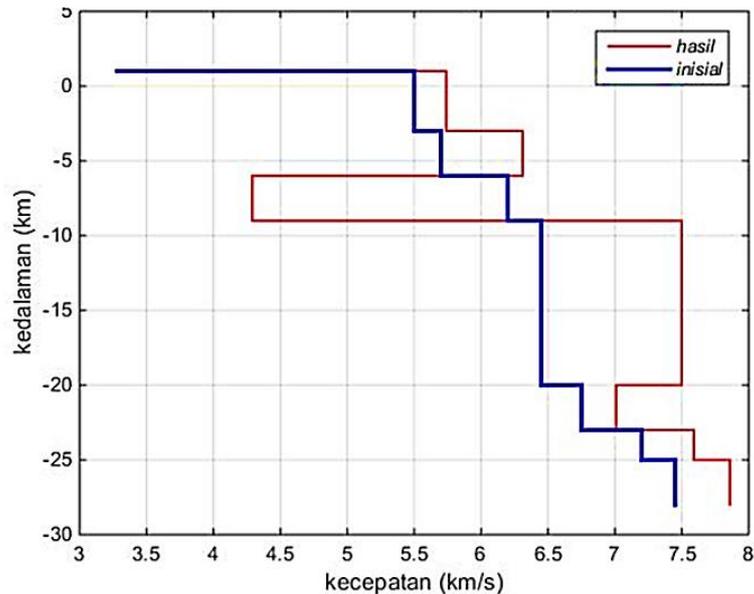
Perbandingan kedalaman gempa bumi pun dilakukan untuk melihat hasil relokasi gempa bumi di daerah Sulawesi Tengah dan sekitarnya. Pada gambar 4.8, terlihat frekuensi kejadian gempa bumi sebelum di relokasi dengan kedalaman 10 km sangat banyak.



Gambar 7. Grafik perbandingan jumlah kejadian gempa relokasi dengan Interval 5 km sebelum (a) dan sesudah (b)

Hasil Model Kecepatan 1-D Gelombang P

Selain mendapatkan hasil relokasi hiposenter, didapat juga hasil penentuan model kecepatan 1-D gelombang P. Berikut adalah hasil model kecepatan yang didapatkan setelah direlokasi, terlihat pada kedalaman 9 km didapatkan hasil akhir Vp lebih lambat dibandingkan Vp inisial. Sedangkan pada kedalaman lainnya, didapatkan hasil Vp yang lebih cepat dibandingkan Vp inisial. Seperti yang diungkapkan oleh Sabtaji (2017) akibat dari model Vp yang lebih cepat, maka penentuan hiposenter gempa bumi akan menjadi lebih dalam dibandingkan hiposenter menggunakan Vp inisial. Selain itu kecepatan yang melambat juga dapat terjadi dikarenakan luas cakupan daerah penelitian yang digunakan pada saat penelitian berbeda.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Vp Inisial dan Vp Perhitungan Akhir

TABEL 2. Hasil Akhir Perhitungan 1-D Vp

Kedalaman (km)	Kecepatan Gelombang P Inisial (km/s)	Kecepatan Gelombang P Hasil (km/s)	Jumlah Gempa
-1.00... 3.00	3.28	4.23	0
3.00... 6.00	5.50	5.74	0
6.00... 9.00	5.70	6.31	42
9.00... 20.00	6.20	4.29	529
20.00...23.00	6.45	7.50	15
23.00...25.00	6.75	7.01	4
25.00...28.00	7.20	7.59	2
28.00...	7.45	7.86	2

Software VELEST 3.3 tidak hanya memperoleh hasil berupa model kecepatan 1-D gelombang P dan relokasi hiposenter baru, tetapi *software* ini juga menghasilkan hasil berupa koreksi stasiun. Nilai koreksi stasiun yang didapat dari hasil pengolahan data adalah interval -0.81 sampai dengan +0.54 detik (Tabel 3). Apabila kecepatan gelombang P hasil observasi lebih cepat dibandingkan hasil kalkulasi, maka koreksi stasiun akan bernilai negatif. Hal ini disebabkan lapisan bawah permukaan pada stasiun pengamat yang dilalui oleh gelombang sumber gempa berupa tanah atau batuan yang padat (*hardrock*). Akibatnya, *arrival time* gelombang P hasil observasi lebih awal sampai ke stasiun pengamat dibandingkan waktu kalkulasi. Dengan adanya nilai koreksi stasiun ini, maka pembacaan waktu tiba gelombang P harus ditambahkan dengan nilai koreksi stasiun jika nilai koreksinya positif atau dikurangkan dengan nilai koreksi stasiun jika nilai koreksinya negatif.

Tabel 3. Nilai koreksi stasiun

Nama Stasiun	Latitude (derajat)	Longitude (derajat)	Koreksi Stasiun
TOLI	1.1213N	120.7944E	0.54
PCI	0.9054S	119.8366E	0.35
PMSI	3.5008S	118.9149E	0.31
TOL2	1.1213N	120.7944E	0.14
BNSI	4.4005S	120.1065E	0.07
SMSI	0.9885N	122.3654E	0.06
LUWI	1.0418S	122.7716E	0
KMSI	0.5745N	123.9806E	-0.01
MMSI	2.6892S	118.9090E	-0.07
BKB	1.1073S	116.9048E	-0.08
KKSI	4.1717S	121.6512E	-0.12
KDI	3.9574S	122.6192E	-0.14
SMKI	0.4461S	117.2085E	-0.17
SPSI	3.9646S	119.7691E	-0.2
APSI	0.9107S	121.6486E	-0.35
GTOI	0.7628N	122.8700E	-0.45
TTSI	3.0451S	119.8190E	-0.58
MRSI	0.4770N	121.9405E	-0.63
MPSI	0.3374N	119.8980E	-0.63
SGKI	0.5302N	117.6043E	-0.77
SRSI	2.5315S	120.8700E	-0.81

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil melakukan relokasi dan menentukan model kecepatan 1-D gelombang P dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil relokasi menghasilkan perubahan kedalaman dari kedalaman *fix depth* (10 km) menjadi bervariasi dan lebih dalam serta sebagian dari hasil relokasi mendekati sesar.
2. V_p hasil akhir pada kedalaman 9 km lebih lambat dibandingkan V_p inisial yang terdapat pada referensi Gracynthia (2015), sedangkan pada kedalaman sisanya lebih cepat.

REFERENSI

- [1] W. Pawirodikromo, Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan, Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2012.
- [2] T. Zera, Geologi Langkah Awal Mengenal Bumi, Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, 2007.
- [3] M. F. Gracynthia, "Relokasi Hiposenter Gempa Bumi Menggunakan Metode Coupled Velocity - Hypocenter dan Local Earthquake Tomography Untuk Sesar Palu Koro," ITS - Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [4] P. G. N. PuSGen, Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017, Bandung: Puskim, 2017.
- [5] Kaharuddin, R. Hutagalung and Nurhamdan, "Perkembangan Tektonik dan Implikasinya Terhadap Potensi Gempa dan Tsunami di Kawasan Pulau Sulawesi," in *PROCEEDINGS JCM MAKASSAR*, Makasar, 2011.
- [6] B. N. P. B. BNPB, 27 Desember 2017. [Online]. Available: <https://bnpb.go.id/infografis/detail/gempa-poso>. [Accessed 14 Mei 2018].

- [7] S. A. Garini, Madlazim and E. Rahmawati, "RELOKASI HIPOSENTER GEMPA BUMI DI SULAWESI TENGAH," *Jurnal Fisika*, vol. 03, pp. 107 - 112, 2014.
- [8] A. Sabtaji, "Metode Coupled Velocity-Hypocenter Untuk Menentukan Model 1 Dimensi Kecepatan Gelombang P dan Relokasi Hiposenter Di Wilayah Sumatera Bagian Selatan," *Buletin BMKG*, vol. 7, 2017.