



ANALISIS POLA SESAR DI PULAU SULAWESI BERDASARKAN DATA GEMPA BULAN FEBRUARI TAHUN 2022 DI BBMKG WILAYAH IV MAKASSAR

A. Andira Maharani^{a*}, Minarti^{2,b}

¹Jurusan Fisika, UIN Alauddin Makassar

^aandimhradr25@gmail.com

ABSTRACT: Has been research in the Office of the Meteorology, Climatology and Geophysics Center (BBMKG) Region IV Makassar, precisely in the earthquake and tsunami early warning room on February 2022. The purpose of this Field Work Practice activity is to find out Regional Earthquake Center (PGR) IV Makassar operational system and to analyze and process earthquake parameter data to an advanced level from the results of SeisComp3 analysis. Based on the map, the most earthquakes occur in the Matano fault. The Matano Fault is an extension of the Palu-Koro fault from the northwest to the southeast that intersects Lake Matano. The largest accumulation of energy is in the Matano fault which indicates that the fault is active and has the potential to produce a large earthquake. The results of this activity are 2. The average earthquake in February 2022 recorded in the PGR IV area is a maximum of 28 earthquake events and a minimum of 2 events with a total of 261 earthquake events. Dominated by earthquakes with a magnitude of 2 to 3 SR and generally shallow depths.

ABSTRAK: Telah dilakukan penelitian di Kantor Balai Besar Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BBMKG) Wilayah IV Makassar tepatnya di ruang Peringatan dini gempa dan tsunami pada Februari 2022. Tujuan dilakukannya kegiatan Praktek Kerja Lapangan ini adalah untuk mengetahui sistem operasional Pusat Gempa Regional (PGR) IV Makassar dan untuk menganalisa dan mengolah data parameter gempabumi ke tingkat lanjut dari hasil Analisa SeisComp3. Berdasarkan peta, kejadian gempa paling banyak terjadi pada sesar Matano. Sesar Matano merupakan perpanjangan sesar Palu-Koro dari arah barat laut ke tenggara yang memotong danau Matano. Akumulasi energi terbesar terdapat pada sesar Matano yang mengindikasikan bahwa sesar aktif dan berpotensi untuk menghasilkan gempa yang besar. Hasil pada kegiatan ini yaitu 2. Gempabumi rata-rata pada bulan Februari 2022 yang tercatat di wilayah PGR IV adalah maksimum 28 kejadian gempa dan minimum 2 kejadian dengan total jumlah sebanyak 261 kejadian gempa. Didominasi oleh gempa-gempa dengan magnitudo 2 sampai 3 SR dan pada umumnya dengan kedalaman dangkal.

Kata Kunci: BMKG, Gempabumi, SeiscompP3

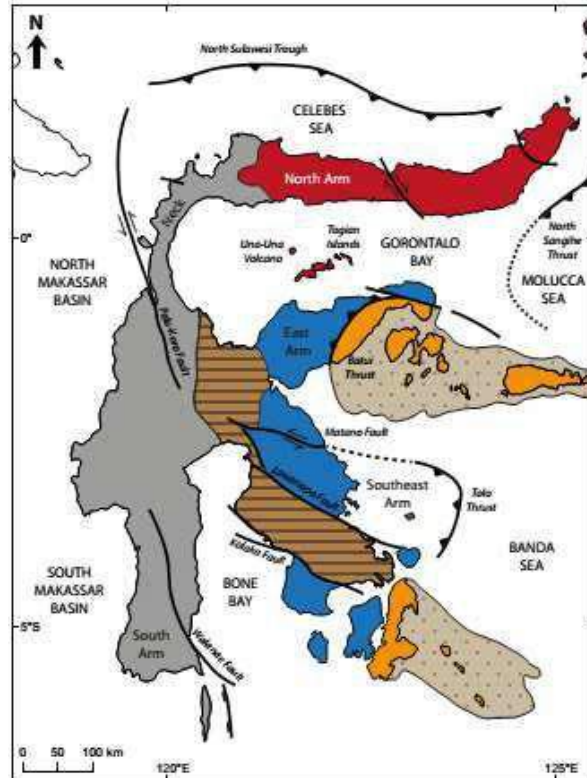
**corresponding author*

email: andimhradr25@gmail.com

DOI:

PENDAHULUAN

Tektonik pulau Sulawesi didominasi oleh beberapa sesar mayor mendatar mengiri (*sinistral strike-slip*) antara lain sesar Palu-Koro, sesar Matano, sesar Lawanopo, sesar Walanae, dan sesar Gorontalo. Pada sesar-sesar tersebut berbagai jenis batuan bercampur sehingga posisi stratigrafinya menjadi sangat rumit (White dkk, 2014).



Gambar 1: Tektonik Pulau Sulawesi
(Sumber: Irsyam dkk, 2010)

Sesar ini diduga aktif selama Plio-Plistosen atau selama Miosen tengah akhir hingga sekarang yang dibuktikan dengan adanya sumber air panas di batugamping terumbu yang berumur Holosen pada jalur sesar tersebut di Tenggara Tinobu. Hasil analisis data dan parameter gempa yang disebabkan oleh sesar di Sulawesi.

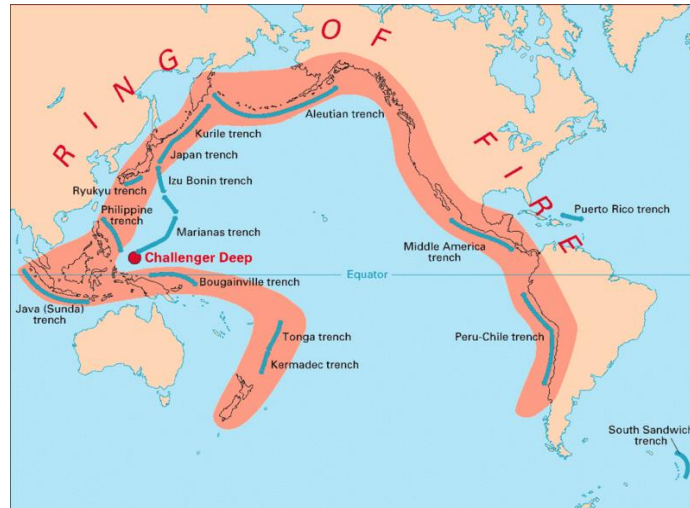
Secara tektonik Pulau Sulawesi dibagi dalam empat zona yang didasari atas sejarah pembentukannya yaitu Sulawesi Barat, Sulawesi Timur, Banggai-Sula dan Sulawesi Tengah yang bersatu pada kala Miosen – Pliosen oleh interaksi antara lempeng Pasifik, Australia terhadap lempeng Asia. Interaksi ketiga lempeng tersebut memberikan pengaruh cukup besar terhadap kejadian bencana alam geologi di Sulawesi pada umumnya dalam

wujud gempa bumi, tsunami, gerakan tanah, gunung api dan banjir yang senantiasa terjadi seiring dengan berlangsungnya aktivitas tektonik.

Di kawasan Pulau Sulawesi terdapat sedikitnya 9 unsur tektonik dan struktur yang dapat memicu terjadinya gempa dan tsunami yaitu patahan Walanae, patahan Palu-Koro, patahan Matano-Lawanoppo, patahan Kolaka, patahan Paternoster, patahan Gorontalo, patahan naik Batui-Balantak, subduksi lempeng Laut Sulawesi dan subduksi lempeng Maluku. Struktur – struktur tersebut diatas merupakan dampak dari pada aktivitas tektonik Neogen yang bekerja di kawasan Sulawesi (Irsyam dkk, 2010).

Gempabumi merupakan getaran yang terjadi di permukaan bumi akibat dari pelepasan energi secara tiba-tiba. Gempabumi tersebut dihasilkan oleh percepatan energi yang dilepaskan, dimana energi ini menyebar ke segala arah dari pusat sumbernya. Gempabumi di Indonesia seringkali dijumpai mengingat Indonesia merupakan pertemuan tiga buah lempeng tektonik yang membentuk jalur-jalur gempa dan jalur vulkanik yang memberikan dampak yang begitu besar terhadap distribusi penyebaran gempa di Indonesia. Gempabumi dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu jatuhnya meteor, aktivitas vulkanik, longsor, runtuh, ledakan nuklir di bawah tanah, pergerakan lempeng tektonik dan lain-lain. Beberapa faktor sosiologi seperti kepadatan penduduk, waktu kejadian gempa dan kesiapsiagaan dari komunitas itu sendiri dalam penentu jumlah korban gempa (Nurhidayat, 1997).

Gempabumi yaitu peristiwa alam yang waktu dan tempat kejadiannya belum bisa diprediksi. Gempabumi rentan terjadi didaerah lingkaran api (*ring of fire*). Indonesia berada di jalur gempa teraktif di dunia karena dikelilingi oleh Cincin Api Pasifik dan berada di atas tiga tumbukan lempeng benua, yakni, Indo-Australia dari sebelah selatan, Eurasia dari utara, dan Pasifik dari timur. Kondisi geografis ini di satu sisi menjadikan Indonesia sebagai wilayah yang rawan bencana letusan gunung api, gempa bumi, dan tsunami. Wilayah kepulauan Indonesia sebagian besar terletak di daerah lingkaran api yang terbentang dari Pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, Maluku, sampai dengan Papua (Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral).

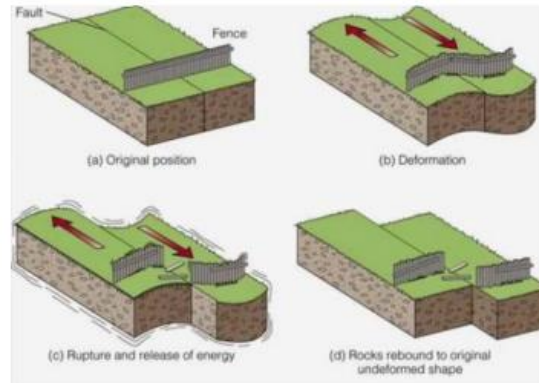


Gambar 2 : Ring Of Fire
(Sumber: Wikipedia)

Oleh karena itu, dapat dinyatakan bahwa daerah-daerah yang ada di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia rawan terhadap bahaya gempabumi. Hal tersebut dibuktikan dengan beberapa kejadian gempabumi besar maupun kecil yang terjadi di masa lalu, seperti gempa yang terjadi di daerah Sumatera pada tahun 2004, gempa yang terjadi di Yogyakarta pada tahun 2006, dan gempa yang terjadi di Bali pada tahun 1976 dan 1979. Kejadian gempabumi, selain menimbulkan kerugian material berupa bangunan, ternak, dan pertanian, juga dapat menimbulkan korban nyawa manusia. Kejadian gempabumi yang hingga menelan korban jiwa disebut dengan bencana gempabumi. Kejadian gempabumi yang disampaikan di atas, hampir semuanya menelan korban jiwa manusia dan harta benda. Oleh karena itu, kejadian-kejadian tersebut dikenal dengan bencana gempabumi. Korban jiwa yang ditimbulkan Ketika kejadian gempabumi tidak semata-mata disebabkan oleh gempa itu sendiri, namun sering dipicu oleh kejadian lain yang menyertainya, seperti tsunami, tanah longsor, dan banjir. Contoh, gempabumi yang terjadi di Aceh pada tahun 2004 menelan ratusan ribu jiwa akibat dari tsunami yang terjadi sebagai rangkaian gempabumi (Subagia, 2015).

Mekanisme gempabumi dapat dijelaskan secara singkat sebagai berikut, jika terdapat 2 buah gaya yang bekerja dengan arah berlawanan pada batuan kulit bumi, batuan tersebut akan terdeformasi, karena batuan mempunyai sifat elastis. Bila gaya yang bekerja pada batuan dalam waktu yang lama dan terus menerus, maka lama kelamaan daya dukung pada batuan akan mencapai batas maksimum dan akan mulai terjadi pergeseran. Akibatnya batuan akan mengalami patahan secara tiba-tiba sepanjang bidang patahan Gambar 1. setelah itu batuan akan kembali stabil, namun sudah mengalami perubahan bentuk atau posisi. Pada saat batuan mengalami gerakan yang tiba-tiba akibat pergeseran batuan, energi

stress yang tersimpan akan dilepaskan dalam bentuk getaran yang dikenal sebagai gempa bumi (Ari Sungkowo, 2016).

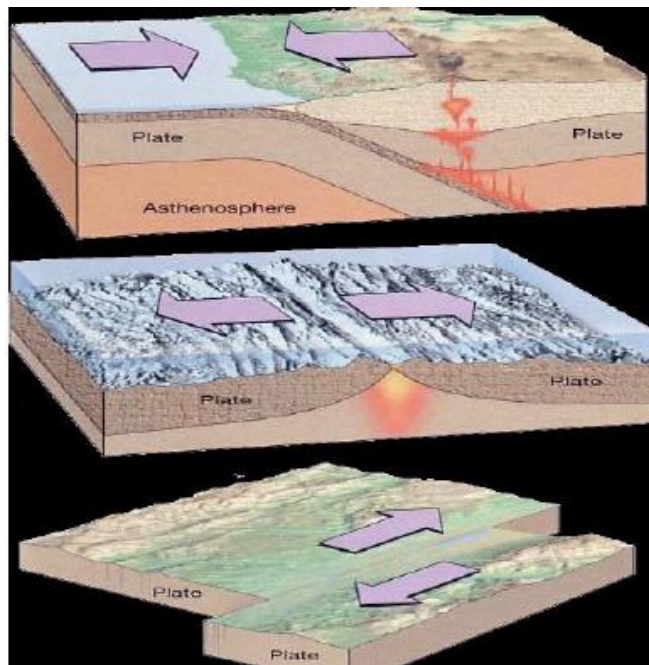


Gambar 3: Mekanisme Terjadinya Gempabumi
(Sumber: Thomson, 2008)

Teori lempeng tektonik menyatakan bahwa permukaan bumi adalah terdiri dari sekitar delapan besar dan sekitar selusin "potongan" kecil yang disebut lempeng tektonik. Secara bersama-sama, mereka membentuk litosfer, yaitu lapisan terluar planet ini. Litosfer tersusun dari batuan baik dari kerak maupun mantel atas. Lautan dan benua yang kita lihat di permukaan hanya menumpang pada lempeng di bawah. Beberapa lempeng, seperti yang ada di bawah Samudra Pasifik, hanya membawa samudra Kerak. Lempeng litosfer bergerak dengan meluncur di atas batuan semipadat astenosfer di bawahnya. Batas lempeng merupakan daerah yang mengalami gempa besar dan aktivitas vulkanik. Daerah pusat lempeng tektonik cukup tidak aktif dan memiliki sangat sedikit gunung berapi aktif atau gempa bumi. Tiga jenis batas yang berbeda memisahkan lempeng tektonik. Batas divergen adalah tempat dua lempeng didorong terpisah. Batas yang berbeda umumnya ditemukan di pegunungan tengah laut di mana magma mengalir ke permukaan untuk membentuk kerak samudera baru. Disisi lain, batas konvergen adalah di mana dua piring datang bersama-sama. Konvergen batas merupakan tempat terjadinya proses subduksi. Ini dapat ditemukan di palung laut dalam atau di sepanjang benua. Paling pegunungan terbentuk pada batas konvergen atau divergen. Jenis batas terakhir adalah tempat di mana kerak baru tidak terbentuk dan kerak tua tidak hancur. Pada apa yang disebut "batas netral" ini, lempeng-lempeng hanya meluncur melewati satu sama lain (Stephen, 2009).

Meskipun lempeng tektonik telah menjawab banyak pertanyaan berurusan dengan bagaimana permukaan bumi berubah dari waktu ke waktu, teori sendiri masih memiliki banyak pertanyaan yang belum terjawab. Holmes percaya bahwa panas yang dihasilkan oleh unsur-unsur radioaktif akan menyebabkan "titik panas" dalam mantel. Saat batu menjadi lebih panas, kepadatannya akan berkurang dan itu akan mulai naik. Jika ide ini benar, maka arus konveksi di astenosfer akan benar-benar mendorong lempeng. Di dalam

tempat di mana dua sel konveksi bergerak terpisah, akan ada batas lempeng divergen, seperti punggung laut tengah. Di tempat-tempat di mana dua sel konveksi datang bersama-sama, akan ada konvergen batas lempeng. Ada beberapa masalah dengan memiliki arus konveksi mendorong lempeng tektonik, meskipun. Konveksi adalah seberapa panas bergerak melalui cairan, seperti cairan dan gas. Konveksi tidak biasanya terjadi pada zat padat. Data seismik menunjukkan bahwa astenosfer berada dalam keadaan setengah padat. Tidak ada bukti bahwa arus konveksi dapat terbentuk menjadi padat, bahkan yang selembut dan lentur seperti batuan di astenosfer. Masalah yang lebih besar lagi menyangkut bagaimana piringnya bergerak di astenosfer. Jika pelat hanya meluncur di atas batuan astenosfer, maka gerakan harus terjadi di bawah dia. Berdasarkan data seismik, tampak bahwa mantel di bawah astenosfer adalah padatan sejati, artinya konveksi tidak akan mungkin di sana (Stephen, 2009).



Gambar 4: Batas-Batas Lempeng Konvergen (atas), Divergen (tengah), dan Transform (Bawah) (Noor, 2009)

Billings (1959) mendefinisikan Sesar sebagai bidang rekahan yang disertai oleh adanya pergeseran relatif (*displacement*) satu blok terhadap blok batuan lainnya. Jarak pergeseran tersebut dapat hanya beberapa millimeter hingga puluhan kilometer, sedangkan bidang sesarnya mulai dari yang berukuran beberapa sentimeter hingga puluhan kilometer. Sedangkan secara harfiah sesar atau patahan adalah rekahan pada batuan yang telah mengalami pergeseran yang berarti, melalui bidang rekahnya. Suatu sesar dapat berupa

bidang sesar (*fault plane*), atau rekahan tunggal. Tetapi lebih sering berupa jalur sesar (*fault zone*) yang terdiri dari lebih dari satu sesar. Jalur sesar atau jalur penggerusan (*shear zone*), mempunyai dimensi panjang dan lebar yang beragam, dari skala minor sampai puluhan kilometer. Kekar yang memperlihatkan pergeseran dapat pula dikatakan sebagai sesar minor (Bambang, dkk. 2017).

Sesar merupakan salah satu bentuk patahan dari lapisan batuan yang mengakibatkan suatu lapisan bergerak relatif turun atau naik, ataupun bergerak kekanan atau kekiri terhadap lapisan batuan yang lainnya (Haniah, dkk. 2015).

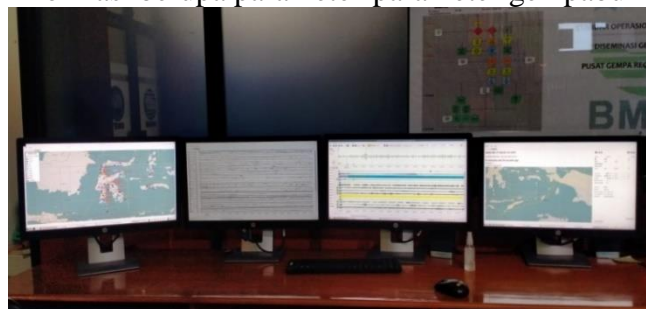
Patahan sesar adalah struktur rekahan yang telah mengalami pergeseran. Sesar mempunyai bentuk dan dimensi yang bervariasi. Ukuran dimensi sesar mungkin dapat mencapai ratusan kilometer panjangnya atau hanya beberapa sentimeter saja. Arah singkapan suatu sesar dapat lurus atau berliku-liku. Pengenalan sesar dilapangan dapat dilihat melalui kelurusan bentang alam (gawir, lembah, jalur vegetasi, rona), ketidak selarasan bentang alam (pembelokan sungai yang tajam), bidang atau jalur sesar, sumber air, penyimpangan pada struktur (hilangnya lapisan, berhenti secara mendadak dan adanya perulangan dan sebagainya). Sesar dapat berupa bidang sesar (*fault plane*), atau rekahan tunggal, jalur sesar (*fault zone*) yang terdiri dari lebih dari satu sesar, jalur sesar atau jalur penggerusan (*shear zone*), mempunyai dimensi panjang dan lebar yang beragam, dari skala minor sampai puluhan kilometer (Bagas, dkk. 2020).

dimana M_0 adalah seismic moment dalam dyne-cm, μ adalah kuat runtuh material di sepanjang patahan, A adalah area keruntuhan, dan D adalah jumlah rata-rata pergerakan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan tempat dilaksanakannya kegiatan ini yaitu pada hari Kamis 27 Januari - 28 Februari 2022, bertempat di Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Makassar. Alat yang digunakan pada kegiatan Praktek Kerja Lapang (PKL) ini adalah sebagai berikut:

Pada kegiatan Praktek Kerja Lapang (PKL) yaitu digunakan perangkat computer SeisComp3 untuk menganalisa gempabumi yang terjadi di wilayah PGR IV Makassar. Dari hasil Analisa diperoleh informasi berupa parameter-parameter gempabumi secara digital.



Gambar 9. Perangkat SeisComp3

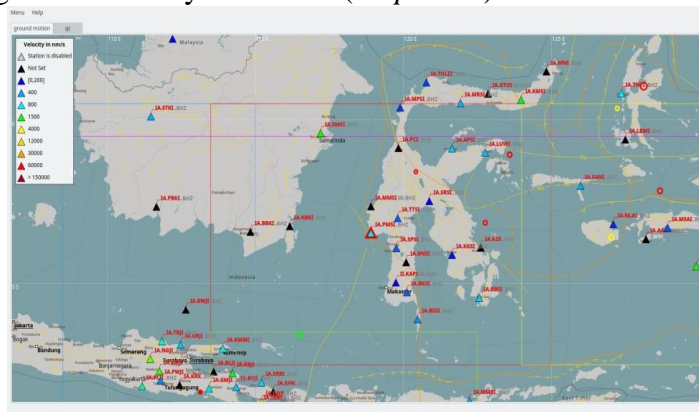
- *Map View*, menampilkan peta dan stasiun-stasiun jaringan seismic.
- *Realtime Trace View*, menampilkan sinyal yang diterima dari stasiun-stasiun yang ditampilkan pada layer.
- *Origin Locator View*, untuk menganalisa data gempa bumi berupa gelombang P (Primer) dan gelombang S (Sekunder).
- *Event Summary View*, menampilkan hasil yang telah diolah pada *Origin View* berupa parameter gempa bumi seperti waktu, episenter, magnitudo, jumlah fase, RMS, dan kedalaman gempa bumi.

Bahan (data) yang digunakan dalam perhitungan adalah data signal gempa yang tercatat di stasiun-stasiun pengamatan BBMKG Wilayah IV Makassar kejadian gempa bumi pada tanggal 01 - 28 Februari 2022.

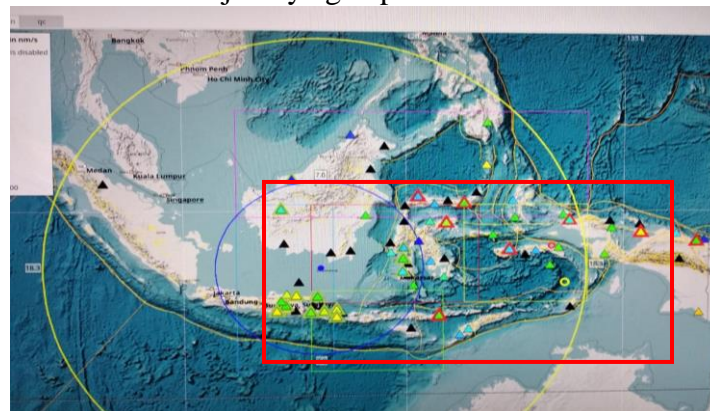
Prosedur kerja pada kegiatan Praktek Kerja Lapangan ini adalah sebagai berikut:

Mengolah Signal Gempabumi untuk Memperoleh Parameter Gempabumi dengan menggunakan perangkat SeisComp3 yaitu :

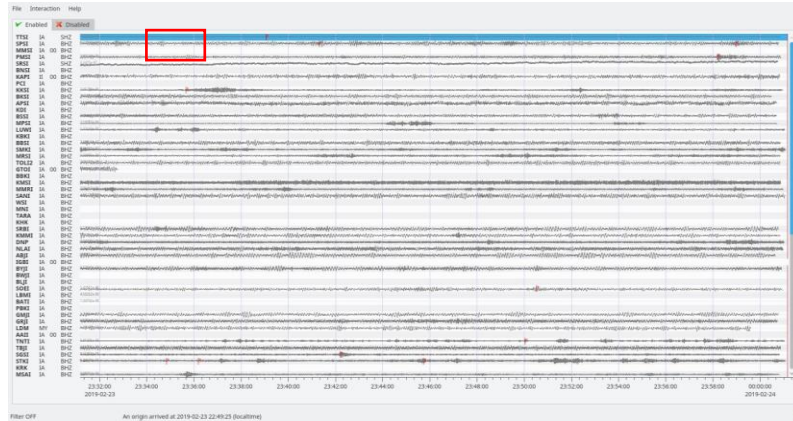
- Cek segitiga stasiun di layar monitor (*Map View*).



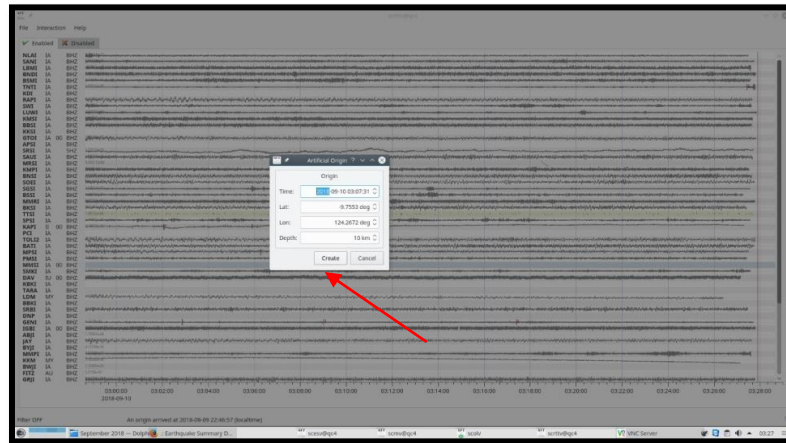
- Apabila terlihat segitiga stasiun berkedip secara bersamaan di layar *Map View*, maka stasiun mendeteksi terjadinya gempa bumi disuatu daerah.



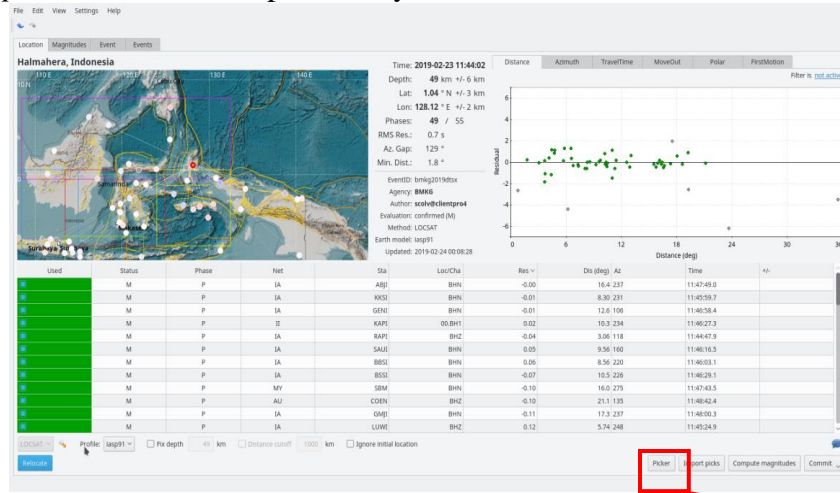
- c. Jika diasumsikan sedang terjadi gempa bumi, minimal 4 sinyal yang mengalami perubahan amplitudo dan frekuensi secara signifikan di layar *Realtime Trace View*.



- d. maka klik kanan sinyal yang pertama kali mengalami perubahan pada *Real Time Trace View*. Kemudian klik *Create* maka sinyal akan beralih ke layar *Origin View*.

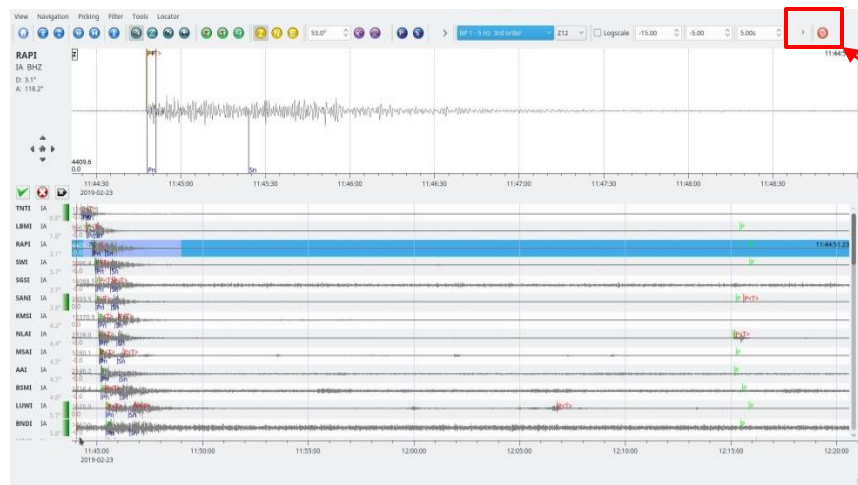


e. Klik *picker* untuk menampilkan sinyal.

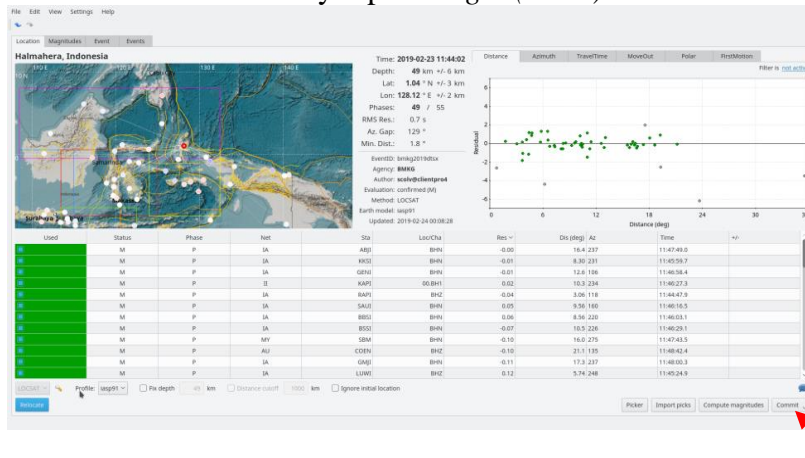


f. Setelah itu, Pick gelombang P dan gelombang S minimal 4 *phase* dan gunakan filter yang berbeda untuk mendapatkan sinyal yang terbaik.

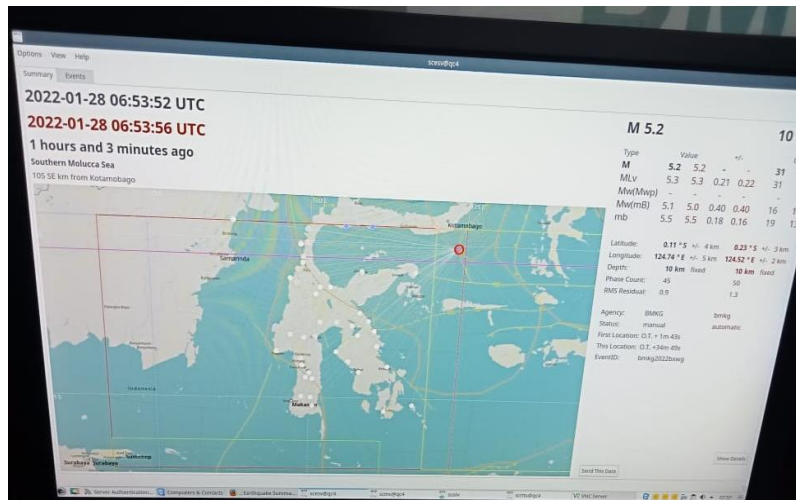
g. Setelah seluruh gelombang P dan gelombang S dipilih maka klik *relocate* untuk mendapatkan hasil analisis.



- h. Hasil tersebut akan beralih ke *Origin Locator* Tab pada layar *Origin View*.
- i. Klik *commit* untuk menyimpan *Origin (event)*.



- j. Setelah di *commit* maka akan beralih ke layar *Event Summary View*.

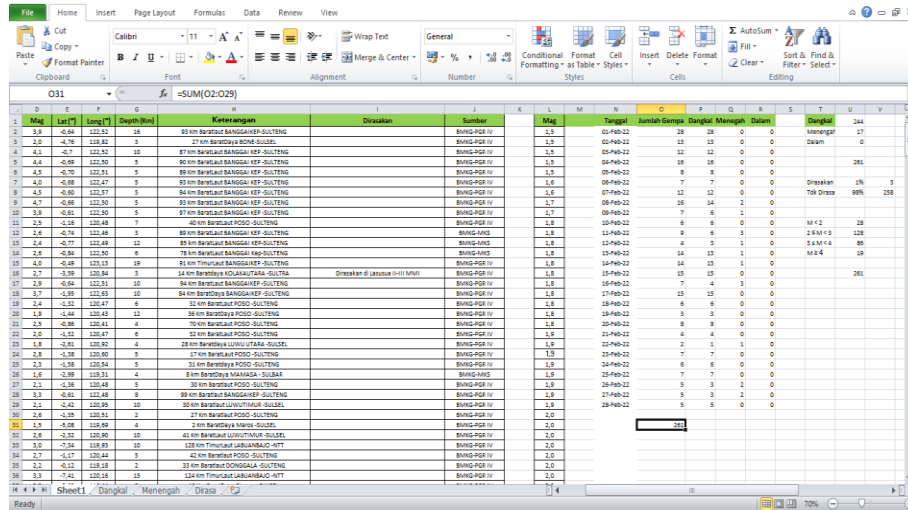


Di layar *Event summary View* akan menampilkan parameter (*Origin Time, Depth, Magnitude, Episenter, lokasi, dan RMS*) sinyal gempabumi yang telah di analisa.

Mengolah Data Parameter Gempabumi dengan Microsoft Excel

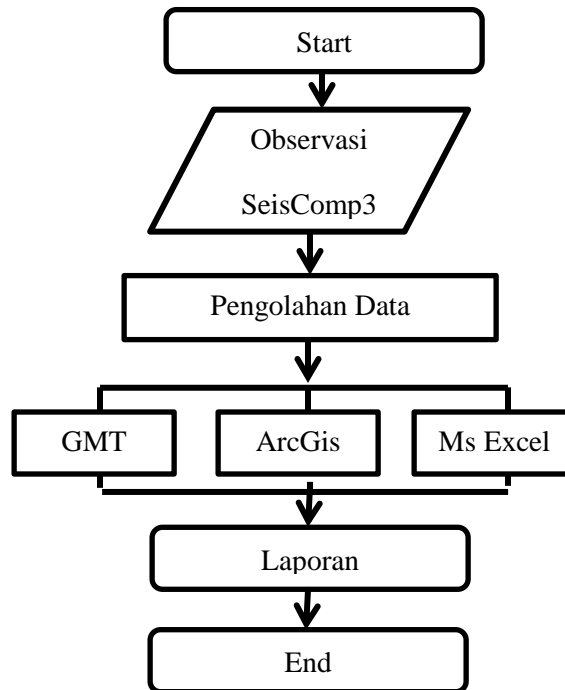
Pengolahan data di Microsoft Excel bertujuan untuk mengolah data yang didapatkan dari perangkat SeisComP3:

- a. Input data yang akan dibuat peta misalkan data yang telah diambil ke dalam bentuk Excel.



- b. Tentukan bagian *Magnitude*, *Latitude*, *Longitude*, dan *Depthnya*, setelah itu pisahkan gempa dengan tiga bagian yaitu gempa dangkal $h \leq 60$ Km, gempa menengah $60 < h < 300$ Km, gempa dalam $h > 300$ Km dan gempa dirasakan.
- c. Kemudian *save* data tersebut.

Bagan Alir Kegiatan

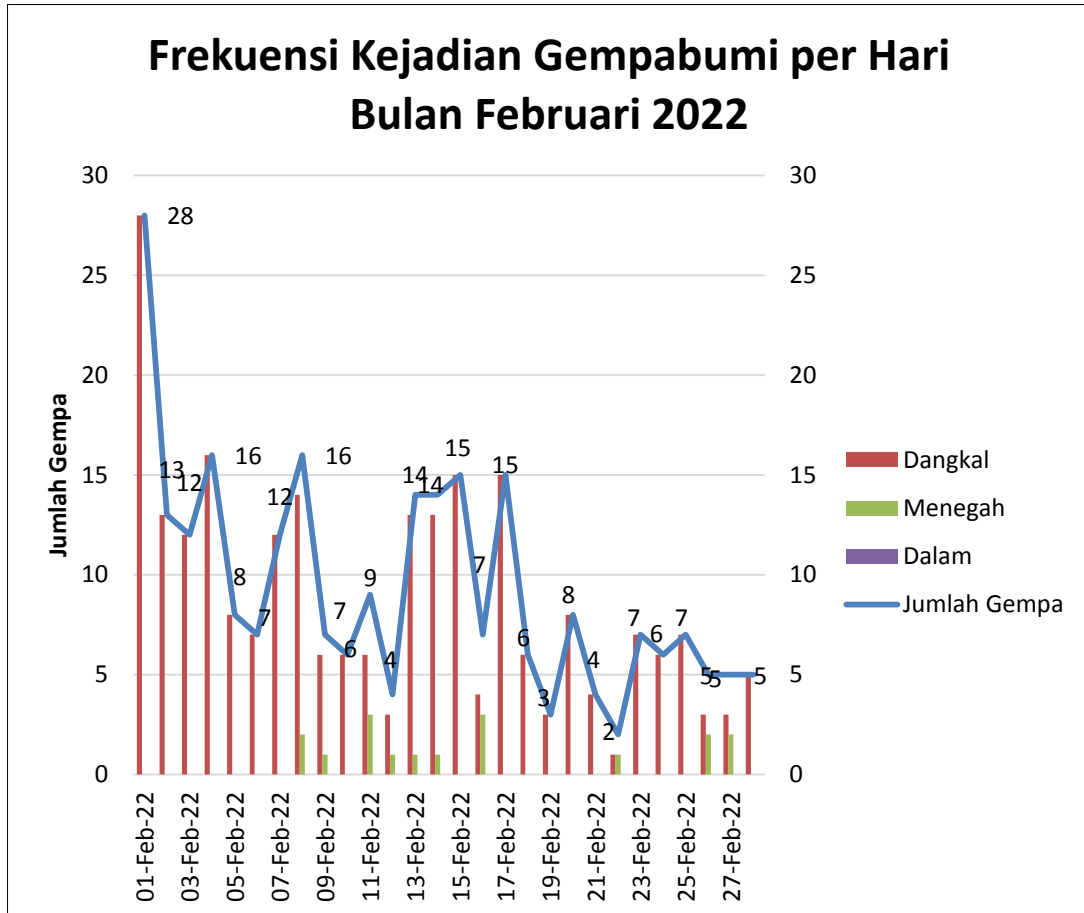


HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

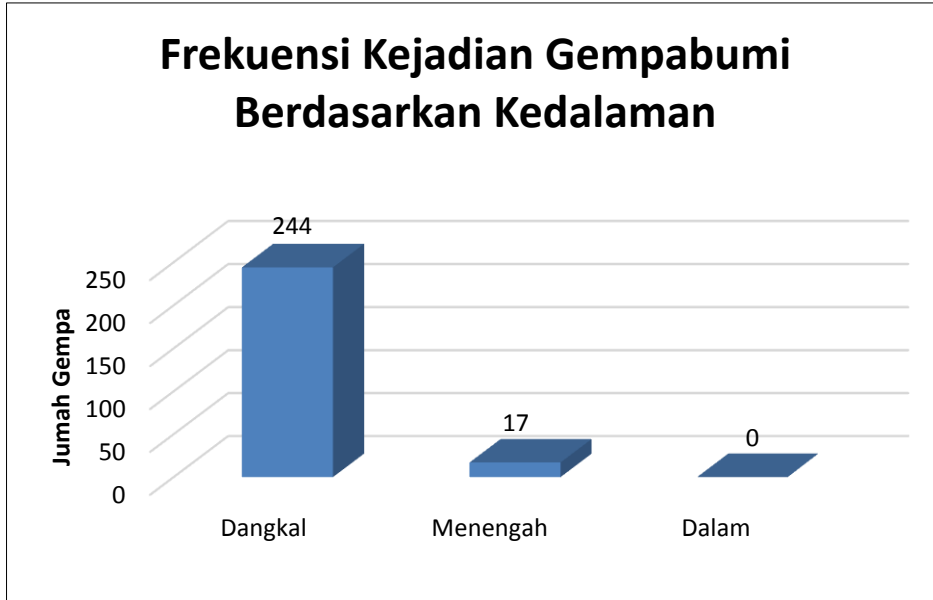
Grafik kejadian gempabumi di wilayah PGR IV pada 01 – 28 Februari 2022.

a. Berdasarkan frekuensi harian



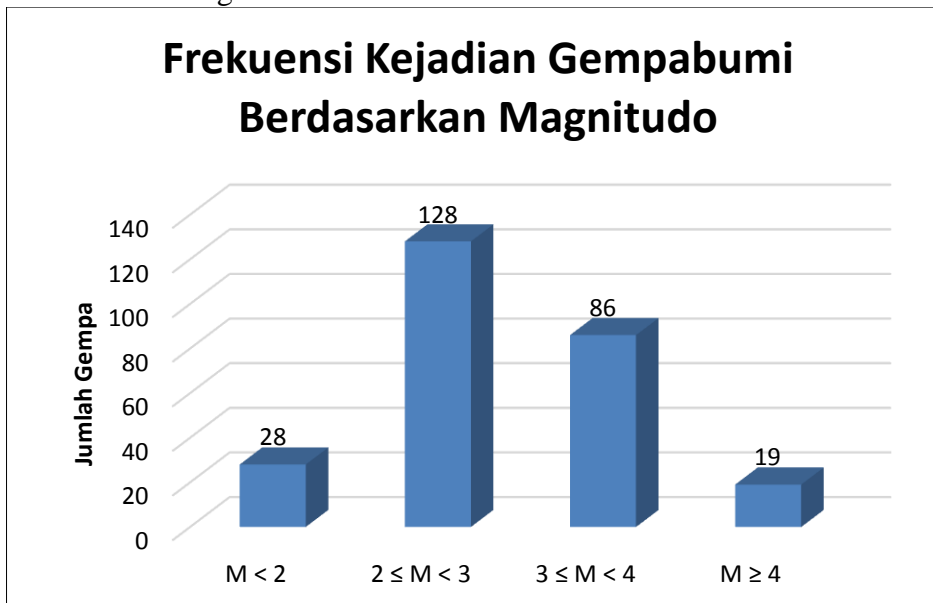
Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa distribusi gempa di wilayah PGR pada bulan Februari 2022 paling banyak terjadi pada 1 Februari dan yang paling sedikit pada 22 Februari 2022 dengan total jumlah sebanyak 261 kejadian.

b. Berdasarkan Kedalaman



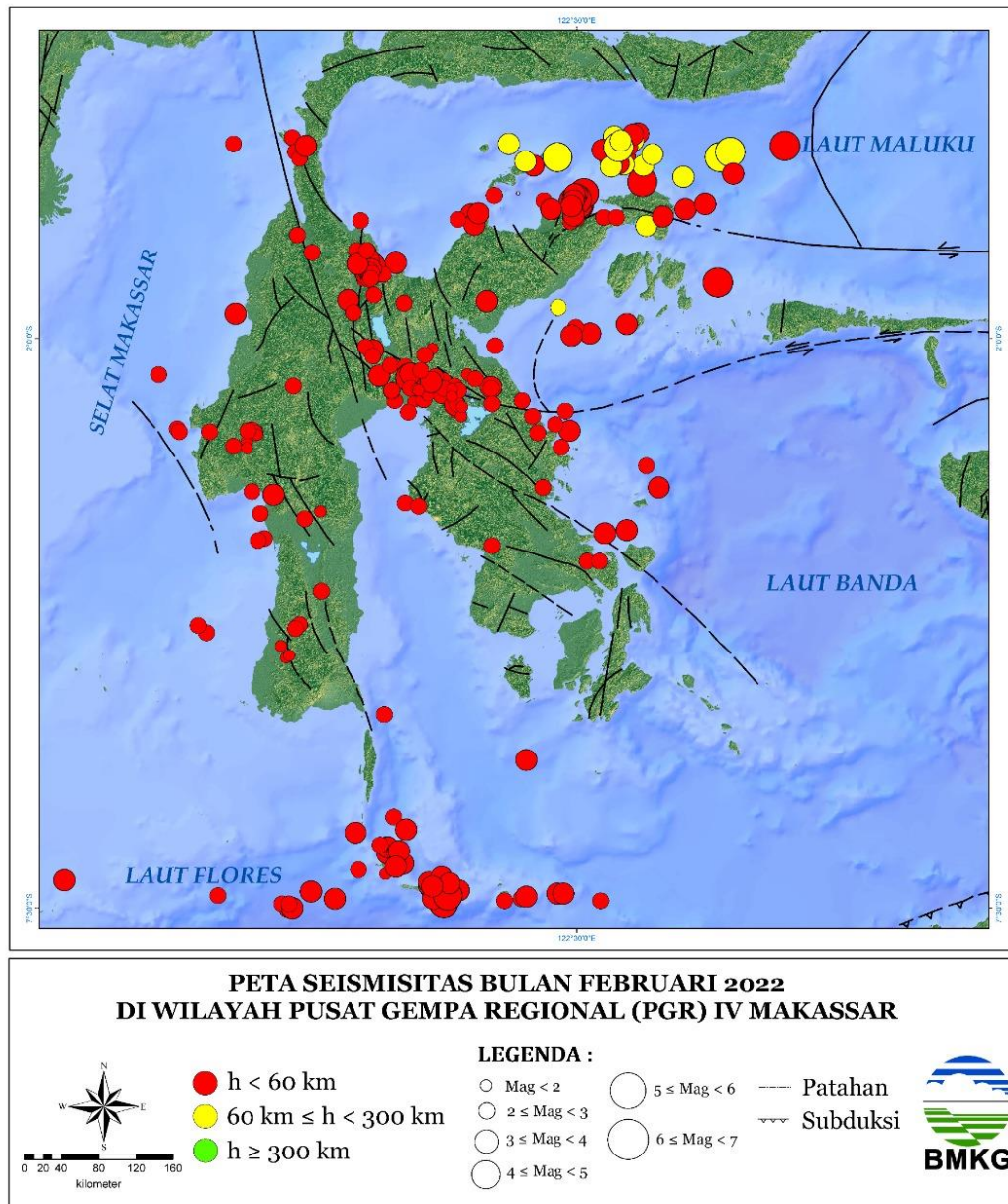
Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa distribusi gempa di wilayah PGR pada bulan Februari 2022 berdasarkan kedalamannya gempa yaitu didominasi gempa dangkal.

c. Berdasarkan Magnitudo



Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa distribusi gempa di wilayah PGR pada bulan Februari 2022 berdasarkan Magnitudo nya didominasi gempa dengan Magnitudo $2 \leq M < 3$ SR.

Peta Seismisitas Wilayah PGR IV pada 01 – 28 Februari 2022.



Pembahasan

Struktur geologi di pulau Sulawesi didominasi oleh sesar mendatar dan sesar naik dengan arah barat laut – tenggara. Sesar-sesar aktif yang berada di Sulawesi yaitu sesar Gorontalo, sesar Palu-Koro (dari Flores, Palu hingga Selat Makassar), sesar Matano, sesar Lawanopo (Sulawesi Tenggara) dan sesar Walanae (Sulawesi Selatan). Keberadaan sesar-sesar ini menyebabkan Sulawesi rawan terhadap bencana terutama masalah gempa dan tsunami.

Berdasarkan peta seismisitas pada bulan Februari 2022 diatas menampilkan kedalaman setiap kejadian gempabumi baik di darat maupun di laut, hasil pada peta diatas menunjukkan distribusi gempa dangkal dan gempa menengah yang cukup banyak tersebar di beberapa lokasi. Berdasarkan peta, kejadian gempa paling banyak terjadi pada sesar Matano. Sesar Matano merupakan perpanjangan sesar Palu-Koro dari arah barat laut ke tenggara yang memotong danau Matano. Sesar ini terbentuk sebagai hasil dari pergerakan lempeng samudera pasifik yang bergerak ke arah barat. Pergerakan ini telah menghasilkan gaya tekan di wilayah bagian timur Indonesia yang selanjutnya menghasilkan retakan yang panjang mulai dari kepala burung Papua sampai daratan Sulawesi. Seiring dengan tekanan yang terus berlangsung akibat dari pergerakan dari arah timur tersebut, pergerakan ini akhirnya menghasilkan gerakan di sepanjang retakan tersebut sehingga terbentuklah sebuah sesar. Sesar yang terbentuk yaitu jenis sesar mendatar (*Strike-slip*), dengan pola yang dapat dilihat pada gambar 3.5, dimana sesar ini terbentuk apabila S_v yang merupakan *principle stress* menengah kurang dari S_{hmax} atau *principle stress* maksimum, dan lebih besar dari S_{hmin} atau *principle stress* minimumnya. Akumulasi energi terbesar terdapat pada sesar Matano yang mengindikasikan bahwa sesar Matano adalah sesar aktif dan berpotensi untuk menghasilkan gempa yang besar.

Kejadian gempabumi rata-rata pada bulan Februari 2022 yang tercatat di wilayah PGR IV adalah maksimum 28 kejadian gempa dan minimum 2 kejadian dengan total jumlah sebanyak 261 kejadian gempa. Didominasi oleh gempa-gempa dengan magnitudo 2 sampai 3 SR dan pada umumnya dengan kedalaman dangkal.

SIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari praktek kerja lapangan ini adalah sebagai berikut : PGR IV bertugas untuk melakukan pemantauan, menganalisa dan diseminasi gempabumi di wilayah regional IV. Gempabumi rata-rata pada bulan Februari 2022 yang tercatat di wilayah PGR IV adalah maksimum 28 kejadian gempa dan minimum 2 kejadian dengan total jumlah sebanyak 261 kejadian gempa. Didominasi oleh gempa-gempa dengan magnitudo 2 sampai 3 SR dan pada umumnya dengan kedalaman dangkal. Berdasarkan peta seismisitas gempa pada bulan Februari 2022 kejadian gempa paling banyak berada pada sesar Matano. Karena merupakan perpanjangan sesar Palu-Koro dari arah barat laut ke tenggara yang memotong danau Matano. Akumulasi energi terbesar terdapat pada sesar

Matano yang mengindikasikan bahwa sesar aktif dan berpotensi untuk menghasilkan gempa yang besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada kepala Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah IV Makassar yang telah berkenan memberikan kesempatan untuk melaksanakan PKL di BBMKG Wilayah IV Makassar, pembimbing serta dosen pembimbing dikampus yang senantiasa memberikan saran dan masukan selama proses penyelesaian Praktek Kerja Lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, Mustofa Nur. **2010**. *Gempabumi, Tsunami Dan Mitigasinya* Balai Informasi dan Konservasi Kebumian Karangasambung – LIPI, Kebumen. *Jurnal Geografi*. Volume 7 (1), hal 66-73.
- Bagas, dkk. **2020**. *Survei Deformasi Sesar Kaligarang dengan Metode Survei GNSS Tahun 2019*. Universitas Diponegoro: *Jurnal Geodesi Undip*.
- Bambang, dkk. **2017**. *Survey Deformasi Sesar Kaligarang dengan Metode Pengamatan GPS Tahun 2016*. Universitas Diponegoro: *Jurnal Geodesi Undip*.
- Haniah, dkk. **2015**. *Pengamatan Deformasi Sesar Kaligarang dengan GPS Tahun 2015*. Universitas Diponegoro: *Jurnal Geodesi Undip*.
- Irsyam, M., Sengara, I., Aldiamar, F., dkk. **2010**. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*. Jakarta.
- Noor, D. **2009**. *Pengantar Geologi*. Bogor: Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Pakuan.
- Nurhidayat dan Eko Widi Santoso. **1997**. *Gempabumi dan Mekanismenya*. Yogyakarta. Vol. 2, No. 3.
- Subagia. **2015**. *Pelatihan Mitigasi Bencana Alam Gempabumi pada Siswa Sekolah Dasar Negeri 1 Pengastulan Kecamatan Seririt Kabupaten Buleleng Bali*. *Jurnal Pendidikan Indonesia*. Vol. 4, No. 1.
- Yurda dan Zikri Alhadi. **2020**. *Efektivitas Kinerja BMKG Stasiun Geofisika Kelas I Padang Panjang Dalam Proses Monitoring Dan Warning Terhadap Resiko Bencana Di Kota Padang*. *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*. Vol 2 (2), E-ISSN: 2655- 0865.