

STUDI TENTANG COULOMB STRESS PASKA GEMPA BUMI PADA DAERAH MAMUJU–MAJENE MENGGUNAKAN METODE DInSAR

Study Of Coulomb Stress Post Earthquake In The Mamuju – Majene Area Using DInSAR Method

Bambang Harimei Suprpto^{1*}, Maria², Samsu Arif³

^{1,2}Laboratorium Geofisika Padat, Universitas Hasanuddin, Indonesia

³Laboratorium Geoinformatika, Universitas Hasanuddin, Indonesia

^{1*}bambang.harimei@gmail.com

Received: 20/10/2023 | Revised: 22/02/2024 | Accepted: 23/02/2024

DOI: <https://dx.doi.org/10.31314/jsig.v7i1.2571>

Abstract – Earthquake analysis has been carried out on January 8, 14 and 15 2021 based on changes in the Coulomb Stress Value and post-earthquake surface deformation in the Mamuju – Majene area using the DInSAR method, while the results of the research show changes in positive and negative coulomb stresses ranging from 0.2 bar to 1.0 bar and this positive coulomb tension change may trigger nearby earthquakes located at a distance of 5 km to 35.52 km. The earthquake that occurred on January 8, 1984 had four lobe sections consisting of two positive lobe areas trending northeast-southwest from the epicenter and two negative lobe areas trending northwest-southeast. The January 14 2021 earthquake increased the coulomb voltage in a relatively north-south direction. While the area that shows a decrease in coulomb voltage is relatively east. As well as the January 15 2021 earthquake, the area where the dominant increase in coulomb stress occurred was in the northwest-southwest direction. After the earthquake, there was a post-earthquake land surface change, the area that experienced the highest land level rise or uplift occurred in Kec. Kaluku and Bonena which range from 0.12514 m to 0.269211 m. While the Mamuju city area experienced an uplift ranging from 0.02375 m to 0.06655 m, while the Kec. Tapalang, Kec. Malunda, Kec. Ulamanda, Kec. Pamboang, as well as the coastal area of Majene Regency, most of the area is experiencing subsidence ranging from -0.1629 m to -0.0190 m.

Keywords: coulomb stress, significant earthquake, Deformation, DInSAR Method

Abstrak – Telah dilakukan Studi tentang perubahan nilai *Coulomb Stress* paska gempa bumi pada daerah Mamuju – Majene dengan menggunakan metode DInSAR. Analisis dilakukan pada tanggal 8, 14 dan 15 Januari 2021, adapun hasil dari penelitian terjadi perubahan tegangan *coulomb* positif dan negatif yang berkisar 0,2 bar hingga 1,0 bar dan perubahan tegangan *coulomb* positif ini boleh jadi memicu gempabumi disekitarnya yang terletak pada jarak 5 km hingga 35,52 km. Gempabumi yang terjadi pada tanggal 08 Januari 1984 memiliki empat buah bidang lobus yang terdiri dari dua bidang lobus positif yang berarah timur laut-barat daya dari episenter dan dua bidang lobus negatif yang berarah barat laut-tenggara. Gempabumi 14 Januari 2021 peningkatan tegangan *coulomb* relatif berarah utara-selatan. Sedangkan wilayah yang menunjukkan penurunan tegangan *coulomb* relatif berarah Timur. Serta gempabumi 15 Januari 2021 wilayah terjadinya peningkatan *coulomb stress* dominan berada pada arah barat laut-barat daya, Paska gempa bumi terjadi perubahan muka tanah pasca gempa, daerah yang mengalami kenaikan muka tanah atau *uplift* tertinggi terjadi di Kec. Kaluku dan Bonena yang berkisar antara 0,12514 m hingga 0,269211 m. Sementara daerah Kota Mamuju mengalami kenaikan muka tanah atau *uplift* yang berkisar antar 0,02375 m hingga 0,06655 m, sedangkan daerah Kec. Tapalang, Kec. Malunda, Kec. Ulamanda, Kec. Pamboang, serta wilayah pesisir Kabupaten Majene sebagian besar wilayahnya mengalami penurunan muka tanah atau *subsidence* yang berkisar antara -0,1629 m sampai -0,0190 m.

Kata Kunci: coulomb stress, gempabumi signifikan, Deformasi, Metode DInSAR



Under the license CC BY-NC-SA 4.0

PENDAHULUAN

Struktur geologi dari Sulawesi bagian barat ditandai oleh adanya lipatan Majene-Mamuju, lipatan serta gaya dorong tersebut menjalar ke arah Barat yang dibatasi oleh sesar *Makassar Strait Thrust* yang juga merupakan sesar naik yang terdapat di Sulawesi Barat dan sesar ini merupakan sumber utama terjadinya gempa di wilayah ini. (Supendi et al., 2021).

Berdasarkan data USGS (*U.S. Geological Survey*), dari tahun 1969 hingga saat ini, telah terjadi 3 kali gempa bumi besar dengan kekuatan magnitudo >6. Yaitu 7,0 magnitudo pada tahun 1969, 7,0 pada tahun 1984, dan pada tanggal 15 Januari 2021 telah terjadi gempa bumi dengan magnitudo 6,2 yang mengakibatkan kerusakan yang luas dan korban meninggal di wilayah Mamuju dan Majene, Sulawesi Barat. Kejadian ini diawali dengan gempa pendahuluan dengan kekuatan magnitudo 5,2 yang terjadi pada tanggal 14 Januari 2021. Dari tanggal 14-20 Januari 2021 telah terjadi gempa susulan 34 event gempa. Penyebab gempa ini diduga kuat dari aktivitas *Makassar Strait Thrust Mamuju* (sesar naik mamuju) (Supendi et al., 2021).

Penelitian yang telah dilakukan (Astra et al., 2011) pada gempa Papua dengan kekuatan magnitudo 7,0 menunjukkan bahwa pada daerah yang mengalami peningkatan *stress* dapat memicu kejadian gempa susulan. Dilihat dari pola persebaran distribusi *coulomb stress* yang diakibatkan gempa utama dengan magnitudo 7,5 terhadap distribusi 2178 gempa susulan, sebagian besar gempa susulan berada pada wilayah yang gangguan tegangan *coulomb*nya positif/tinggi.

Upaya pemantauan gempa penting dilakukan sebagai mitigasi dan investigasi terhadap bencana yang tak terduga. Deformasi dapat diamati dengan berbagai metode salah satunya adalah metode DInSAR (*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar*) (Kurniawan et al., 2016). DInSAR ini merupakan teknologi penginderaan jauh yang menggunakan citra hasil satelit radar untuk pengamatan deformasi permukaan dengan ketelitian tinggi pada orde sentimeter (Azhari et al., 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola distribusi perubahan *coulomb stress* yang disebabkan oleh masing-masing gempa bumi signifikan di daerah Mamuju dan Sekitarnya dan mengetahui deformasi yang terjadi pada gempa bumi Majene sebelum dan setelah gempa 15 Januari 2021 menggunakan metode DInSAR.

METODE DAN DATA

Metode

Salah satu metode yang digunakan untuk melihat interaksi gempa bumi dalam medan *stress*nya ialah metode *coulomb stress*, Sebagian besar gempa susulan terjadi pada wilayah dengan nilai *coulomb stress* yang tinggi setelah adanya gempa pendahuluan (*mainshock*), dan sebaliknya wilayah dengan nilai *coulomb stress* rendah sebaran gempanya sedikit (Xie, 2019).

Model yang digunakan dalam menjelaskan interaksi patahan adalah perubahan tegangan *coulomb*. Patahan menimbulkan gempa bumi, patahan tersebut akan menyebabkan perubahan tegangan pada patahan disekitarnya.

Asumsi model fraksi *coulomb* sederhana untuk gempa bumi. *Slip* potensial akan meningkat atau menurun pada *coulomb failure stress*, didefinisikan sebagai (King et al., 1994):

$$\sigma_f = \tau_\beta - \mu(\sigma_\beta - P) \dots\dots\dots 1$$

dengan σ_f adalah *coulomb failure*, τ_β adalah *shear stress*, P adalah tekanan pori *fluida*, σ_β mewakili tegangan normal pada bidang patahan dan μ adalah koefisien gesekan batuan. Nilai τ_β harus selalu positif, tetapi proses perhitungan tegangan pada suatu sesar dapat bernilai positif atau negatif tergantung pada arah *slip* potensial mengarah ke kiri atau ke kanan (Ardiansyah, 2014). Dalam bidang patahan, orientasi σ_1 kesudut β dapat disebut sebagai komponen *stress* utama, sehingga σ_β dan τ_β dapat dijabarkan (Kilb et al., 2002) :

$$\sigma_\beta = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) - \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\cos 2\beta \dots\dots\dots 2$$

$$\tau_\beta = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\sin 2\beta \dots\dots\dots 3$$

dengan σ_1 adalah *stress* utama terbesar dan σ_3 adalah *stress* utama terkecil. Sehingga persamaan 4 menjadi :

$$\sigma_f = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) (\sin 2\beta - \mu \cos 2\beta) - \frac{1}{2}\mu(\sigma_1 + \sigma_3) + \mu P \dots\dots\dots 4$$

Persamaan 4 diturunkan terhadap fungsi β sehingga diperoleh nilai perubahan *coulomb stress* maksimum σ_{fmax} , apabila :

$$\cot 2\beta = -\frac{1}{\mu} \dots\dots\dots 5$$

Perubahan *stress* suatu gempa bumi dapat di estimasikan melalui perubahan *shear stress* dan Jadi walaupun tidak diketahui nilai absolut sebuah sesar, namun dapat dihitung perubahan *coulomb stress* menggunakan persamaan (Panjaitan et al., 2020) :

$$\Delta\sigma_f = \Delta\tau_\beta + \mu(\Delta\sigma_\beta - \Delta P) \dots\dots\dots 6$$

Perubahan tekanan pori *fluida* diasumsikan dengan perubahan *normal stress* dan dikaitkan dengan koefisien fraksi (μ'). Nilai P merubah tegangan normal (*normal stress*) efektif sepanjang bidang sesar seperti yang ditunjukkan pada persamaan (6). Semakin besar tekanan pori *fluida* akan memperkecil nilai *normal stress* yang bekerja. Jika *stress* batuan berubah dengan cepat daripada perubahan tegangan *fluida* akibat aliran, maka nilai P dapat dihubungkan dengan koefisien Skempton's (B), dengan nilainya berkisar dari 0 hingga 1. Koefisien fraksi efektif dalam penelitian *stress* koseismik bervariasi antara 0,0 hingga 0,75, dengan nilai rata-rata $\mu' = 0,4$ (Suresh et al., 2018)

$$\mu' = \mu(1 - B) \dots\dots\dots 7$$

Dengan asumsi tersebut, maka persamaan perubahan *coulomb failure stress* dapat ditulis sebagai (Panjaitan et al., 2020)

$$\Delta\sigma_f = \Delta\tau_\beta - \mu'\Delta\sigma_\beta \dots\dots\dots 8$$

Jika $\Delta\sigma_f > 0$ potensial *slip* akan meningkat dan apabila $\Delta\sigma_f < 0$ potensial *slip* akan menurun. perhitungan σ_f diakibatkan oleh gempa bumi yang bergantung pada geometri dan distribusi *slip*, magnitudo, arah *stress* regional dan nilai koefisien fraksi yang diasumsikan. Rasio amplitudo *stress* regional terhadap penurunan *stress* gempa bumi hanya berdampak signifikan dekat patahan.

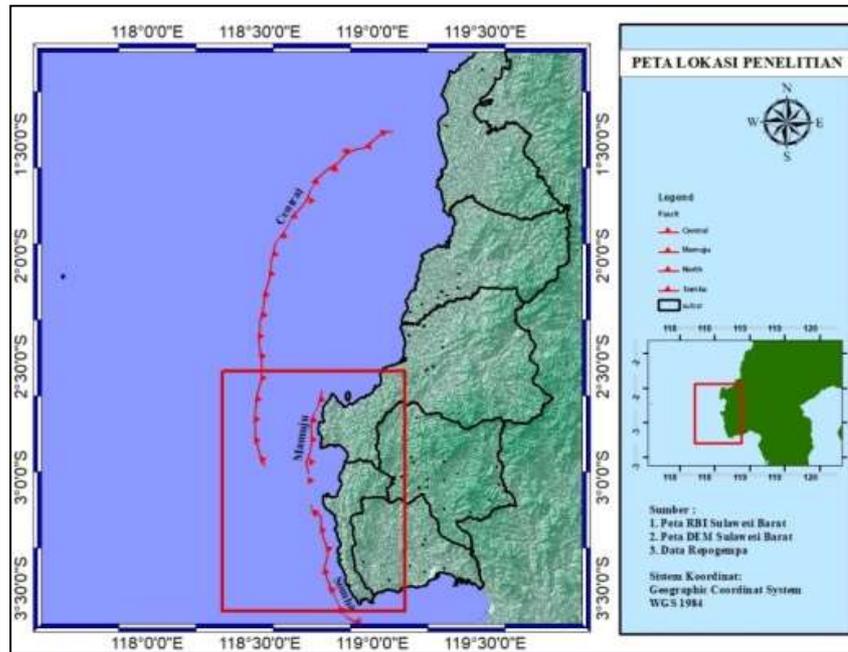
Tujuan utama *Differential Interferogram SAR* adalah untuk mengekstrak total fase yang hanya diakibatkan oleh deformasi dengan menghapus atau mengekstrak hal-hal yang berkontribusi. Informasi *interferogram* fase yang dimiliki oleh *interferogram* dari hasil pengamatan 2 SAR pada waktu yang berbeda, memiliki unsur topografi, pergeseran orbit, deformasi permukaan dan efek atmosfer. Beda fase dalam *interferogram* dapat ditulis dengan persamaan (Islam, 2017).

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{topo} + \Delta\varphi_{defo} + \Delta\varphi_{atn} + \Delta\varphi_{orb} \dots\dots\dots 9$$

Keterangan

- φ = Beda Fase
- φ_{topo} = Fase Topografi
- φ_{defo} = Fase Deformasi
- φ_{orb} = Fase Orbit

Lokasi Penelitian berada pada wilayah Mamuju dan sekitarnya yang berada pada jalur sesar *Makassar Strain Trush* dengan wilayah terletak pada rentang koordinat $2.5^\circ\text{LS} - 3.5^\circ\text{LS}$ dan $118.3^\circ\text{BT} - 119^\circ\text{BT}$. Adapun peta penelitian ditunjukkan sebagaimana pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Wilayah Mamuju dan Sekitarnya

Data

Penelitian ini menggunakan data mekanisme sumber gempa bumi sebagai data input dalam pengolahan dan perhitungan *coulomb stress* data ini bersumber dari katalog gempa bumi *Global Centroid Moment Tensor (GlobalCMT)*, pada 8 Januari 1984, 14 Januari 2021 dan 15 Januari 2021 dengan batas daerah penelitian terletak pada rentang koordinat 2.5°LS – 3.5°LS dan 118°BT – 119.5°BT . Adapun parameter data dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter *Origin time*, Longitude, Latitude, Kedalaman dan Magnitudo.

Tanggal	Time (UTC)	Latitude ($^{\circ}$)	Longitude ($^{\circ}$)	Kedalaman (Km)	Mag (Mw)
08/01/1984	15:24:13	-2.82	118.806	33	7
14/01/2021	06:35:50	-2.98	118.981	18	5.7
14/01/2021	18:28:18	-2.97	11.949	18	6.2

Adapun data citra yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat dalam Tabel 2. Untuk menentukan deformasi adalah sepasang data citra Sentinel-1 dalam format *single look complex* (SLC) perekaman sebelum dan sesudah terjadinya gempa.

Tabel 2. Data Citra Sentinel-1

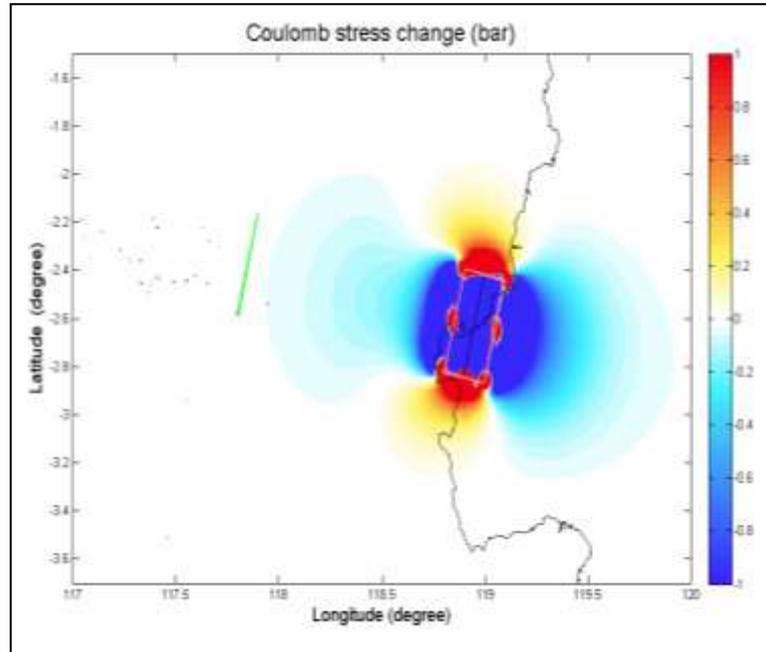
No	Tipe	Tanggal Perekaman	Arah Orbit	Polarisasi
1	SLC	08 Januari 2021	Ascending	VV
2	SLC	20 Januari 2021	Ascending	VV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gempabumi 08 Januari 2021

Gempabumi tanggal 08 Januari 1984 dengan parameter koordinat *episenter* $118,806^{\circ}\text{BT}$ dan $2,821^{\circ}\text{LS}$ dengan kedalaman 33 km yang termasuk kedalam jenis gempa dangkal. Gempabumi ini berkekuatan 7,0 Mw dengan parameter sesar yang diperoleh dari katalog *global CMT strike* 13° , *dip* 16° dan *rake* 89° . Perhitungan panjang dan lebar sesar dilakukan dengan memasukkan magnitudo 7,0 Mw dan asumsi tipe sesar yaitu *Reverse* yang menggunakan formula dari *Wills and Coppersmith* 1994 sehingga diperoleh panjang sesar 48,37 km dan lebar sesar 22,32 km.

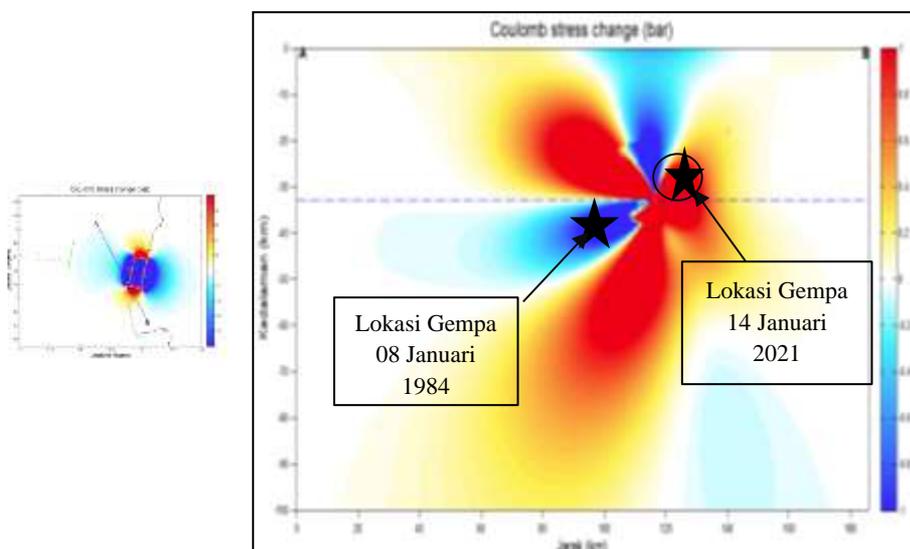
Hasil dari perhitungan *coulomb stress* gempa bumi 08 Januari 1984 dapat dilihat pada Gambar 2. memiliki empat buah bidang lobus yang terdiri dari dua bidang lobus positif yang berarah timur laut-barat daya dari episenter dan dua bidang lobus negatif yang berarah barat laut-tenggara. Dua lobus yang bernilai positif ditandai dengan warna merah yang merupakan wilayah peningkatan tegangan *coulomb* yang memiliki nilai berkisar 0,2 bar hingga 1,0 bar, sedangkan daerah yang mengalami penurunan *stress* ditandai dengan warna biru yang memiliki nilai berkisar -0,2 bar hingga -1,0 bar. Adapun distribusi *Coulomb stress* dapat dilihat Gambar 2.



Gambar 2. Distribusi perubahan *Coulomb* stress gempa bumi tanggal 08 Januari 1984 pada kedalaman 33 km.

Gambar 2 memperlihatkan gempa 08 Januari 1984 ini diperkirakan memicu kejadian gempa bumi pada tanggal 14 Januari 2021. Episenter gempa bumi ini berada pada jarak 35,52 km arah selatan dari episenter gempa bumi 1984 dan berada pada wilayah yang mengalami peningkatan *Coulomb stress* atau wilayah lobus merah.

Lokasi gempa bumi 14 Januari 2021 dibuat *cross section* dari lokasi episenter gempa bumi pada tanggal 08 Januari 1984 menuju lokasi gempa bumi pada tanggal 14 Januari 2021. Dari hasil *cross section* ini diperoleh distribusi tegangan *coulomb* terhadap kedalaman, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Penampang distribusi perubahan Coulomb *stress* gempa bumi 08 Januari 1984 terhadap kedalaman. Simbol bintang merupakan lokasi hiposenter gempa bumi berikutnya (14 Januari 2021)

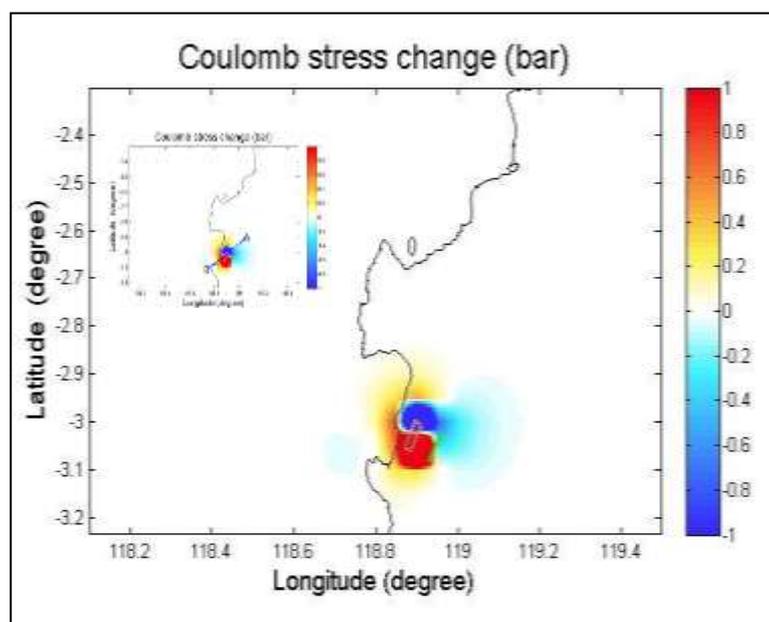
Gambar 3 memperlihatkan hasil *cross section* dapat dilihat distribusi perubahan tegangan *coulomb* terhadap kedalaman yang memperlihatkan bahwa perubahan tegangan *coulomb* positif menyebar hingga kedalaman lebih dari 100 km sedangkan distribusi perubahan tegangan *coulomb* negatif juga menyebar hingga kedalaman lebih dari 100 km. Lokasi episenter gempa bumi 08 Januari 1984 terletak pada kedalaman 33 km dan berada pada jarak 35,52 km dari episenter gempa bumi tanggal 14 Januari 2021. Lokasi episenter gempa bumi tanggal 14 Januari ini berada pada wilayah peningkatan tegangan *coulomb* dengan kisaran nilai 0,4 bar seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. Dengan demikian dapat diinterpretasikan bahwa gempa pada tanggal 14 Januari 2021 ini telah dipicu oleh perubahan tegangan *coulomb* pada tanggal 08 Januari 1984.

Kejadian Gempabumi 14 Januari 2021

Gempabumi 14 Januari 2021 terjadi pada pukul 13:35 WITA. Hiposenter gempa bumi ini berada pada wilayah yang mengalami peningkatan *coulomb stress* yang bernilai positif dari gempa bumi tanggal 08 Januari 1984 sebelumnya, yang berarti bahwa gempa bumi ini adalah hasil dari akumulasi *stress* yang diakibatkan dari gempa bumi 7,0 Mw, sehingga dapat memicu seismisitas di sekitarnya. Peningkatan tegangan *coulomb* dapat berpotensi memicu sebuah event dan sebaliknya pengurangan nilai tegangan *coulomb* tidak berpotensi memicu sebuah event gempa. lokasi episenter gempa bumi 14 Januari 2021 berada pada koordinat $118,913^{\circ}$ BT dan 3.006° LS dan berada pada kedalaman 12 km.

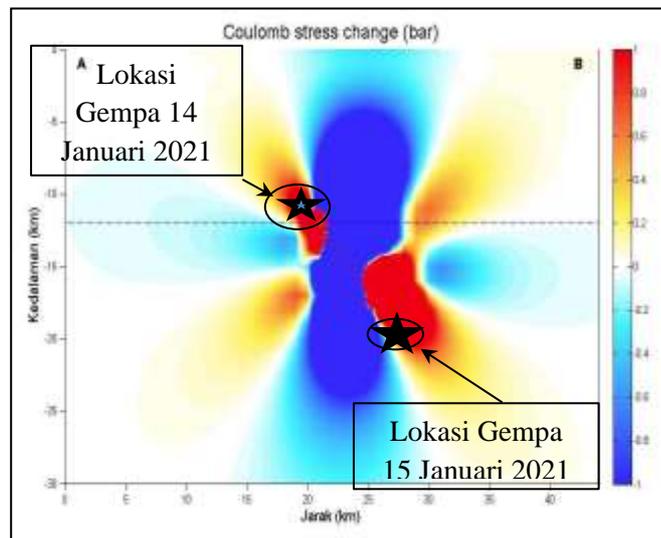
Setelah terjadi gempa bumi tanggal 14 Januari 2021, maka terbentuk pola *stress* yang baru seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Pada Gambar 4 tersebut menunjukkan peningkatan tegangan *coulomb* yang relatif berarah utara-selatan, dengan kisaran nilai 0,2 hingga 1,0 bar. Hal ini berbeda dengan gempa bumi yang terjadi pada tanggal 8 Januari 1984, bidang lobus negatif sebenarnya lebih sedikit dengan nilai rentang -0,2 hingga -1,0 bar.

Kedua gempa bumi yang terjadi pada tanggal 8 Januari 1984 dan 14 Januari 2021 memiliki sebaran tegangan *coulomb* yang berbeda. Hal ini dikarenakan selain magnitudo yang berbeda, kedua gempa ini memiliki solusi bidang sesar yang berbeda pula. Gempabumi tanggal 14 Januari 2021 memiliki *Strike* 206° , *Dip* 66° , dan *Rake* 105° . Dengan magnitudo 5,7 Mw serta panjang dan lebar sesar diperoleh menggunakan formula *wells and coppersmith* 6,49 km dan 4,81 km.



Gambar 4. Distribusi perubahan tegangan *coulomb* gempa bumi tanggal 14 Januari 2021 pada kedalaman 12 km

Gambar 4 menunjukkan distribusi perubahan tegangan *coulomb* terhadap kedalaman maka dibuat *cross section* dari lokasi gempabumi 14 Januari 2021 ke lokasi gempabumi 15 Januari 2021 (garis A-B) dari hasil *cross section* bahwa perubahan tegangan *coulomb* positif menyebar hingga kedalaman 30 km. Adapun penampang distrusi perubahan stress dapat dilihat pada Gambar 5.

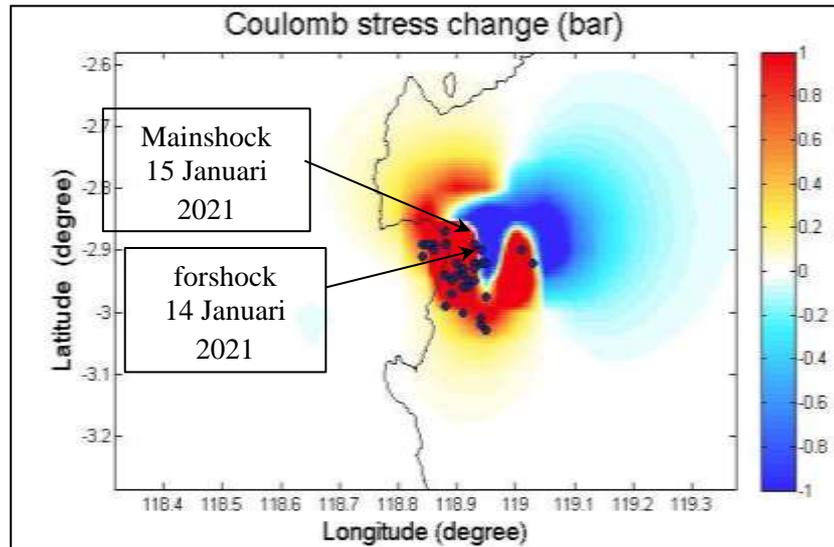


Gambar 5. Penampang distribusi perubahan *coulomb stress* gempabumi 14 Januari 1984. Simbol bintang hitam merupakan lokasi hiposenter gempabumi berikutnya (15 Januari 2021).

Hasil irisan yang didapatkan pada Gambar 5 menunjukkan adanya interaksi gempabumi signifikan yang terjadi pada tanggal 14 Januari 2021 dan 15 Januari 2021. Pada Gambar 5 terlihat bahwa aktivitas gempabumi pada tanggal 14 Januari 2021 menyebabkan peningkatan akumulasi *stress*, yang kemudian memicu gempabumi 15 Januari 2021 dengan *hyposenter* berada pada jarak kurang dari 5 km arah barat daya dari lokasi gempabumi pemicu 14 Januari 2021. Dengan demikian dapat dibuktikan bahwa lokasi gempabumi pada tanggal 15 Januari ini berada pada wilayah yang mengalami peningkatan tegangan *coulomb* dengan kisaran 0,2 bar.

Kejadian Gempabumi 15 Januari 2021

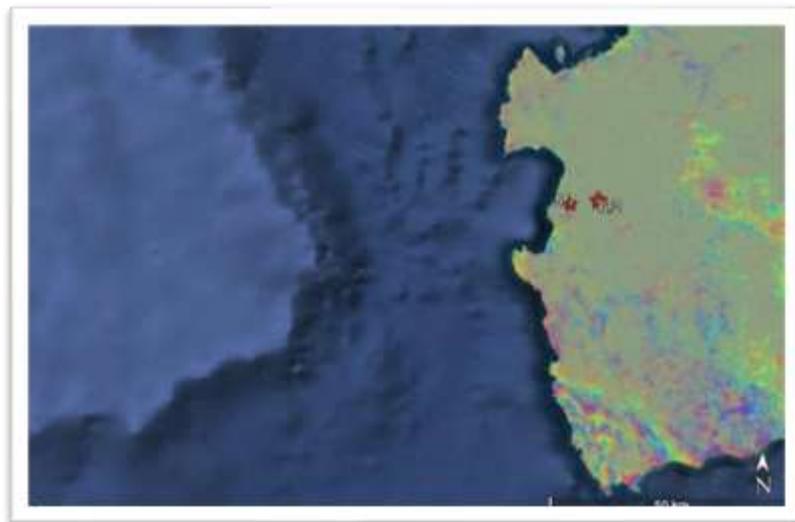
Tempat terjadinya gempabumi pada tanggal 15 Januari 2021 ini berada pada wilayah yang mengalami peningkatan *stress* yang berkisar 0,2 bar hingga 1,0 bar. Gempabumi pada tanggal 15 Januari 2021 dengan letak *epicenter* 118,949°BT dan 2,974°LS termasuk kedalam kategori gempa dangkal dengan lokasi *hypocenter* berada pada kedalaman 21 km dibawah permukaan bumi. Gempabumi ini terjadi akibat dari sesar naik mamuju dengan parameter mekanisme fokal yang didapatkan dari *Global CMT*: *strike* 330°, *Dip* 17°, dan *Rake* 59°. Berdasarkan perhitungan konversi magnitudo sebesar 6,2 Mw dan pergerakan sesar *reverse* atau sesar naik menggunakan rumusan *Wells and Coppersmith*, didapatkan luasan bidang sesar dengan panjang 14,05 km dan lebar sesar sebesar 8,68 km. Adapun Distribusi perubahan *coulomb stress* gempabumi tanggal 08 Januari 1984 pada kedalaman 33 km dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Distribusi perubahan *coulomb stress* gempa bumi tanggal 08 Januari 1984 pada kedalaman 33 km.

Gambar 6 memperlihatkan perubahan tegangan *coulomb* akibat gempa bumi pada tanggal 15 Januari dengan skala perubahan nilai *stress* 1,0 bar. Berdasarkan hasil perhitungan, wilayah terjadinya peningkatan *coulomb stress* dominan berada pada arah barat laut-barat daya, sedangkan wilayah yang mengalami penurunan nilai *coulomb stress* dominan berada pada arah timur. Perubahan tegangan *coulomb* untuk *mainshock* 6,2 Mw menunjukkan daerah dengan tegangan *coulomb* yang meningkat di barat daya *mainshock* (berwarna merah).

Pada tanggal 14 Januari dan 15 Januari 2021 terjadi gempa yang berdampak signifikan di wilayah Kabupaten Mamuju dan sekitarnya, Sulawesi Barat. Gempa pertama/*foreshock* dengan magnitudo 5,7 Mw dengan pusat episenter dari gempa berada pada koordinat $118,894^{\circ}$ BT dan $2,981^{\circ}$ LS dan gempa kedua/*mainshock* dengan letak *epicenter* $118,949^{\circ}$ BT dan $2,974^{\circ}$ LS. Daerah ini umumnya bermorfologi pegunungan dan dataran pantai yang terdiri dari batuan berumur Mesozoikum (batuan sedimen, dan metamorf), Tarsier (batuan sedimen, batugamping, dan gunung api) dan kuartar (terdiri dari batuan alluvium yang terdiri dari endapan sungai dan pantai).



Gambar 7. Interferogram dari Gempa Mamuju (Pasangan Citra 08 Januari 2021 dan 20 Januari 2021) hasil pengolahan menggunakan SNAP

Gambar 7 menunjukkan terjadi deformasi di wilayah Mamuju, Sulawesi Barat pasca terjadinya gempa 15 Januari 2021. Hasil deformasi yang diperoleh dari data Sentinel-1B menggunakan metode DInSAR memiliki nilai rentang antara $-0,162992$ m sampai $0,269211$ m

terhadap *Line of Sight* (LOS) Pada Gambar 7 peta perubahan muka tanah pasca gempa, daerah yang mengalami kenaikan muka tanah atau *uplift* tertinggi terjadi di Kec. Kaluku dan Bonena yang berkisar antara 0,12514 m hingga 0,269211 m. Sementara daerah kota Mamuju mengalami kenaikan muka tanah atau *uplift* yang berkisar antara 0,02375 m hingga 0,06655 m, sedangkan daerah Kec. Tapalang, Kec. Malunda, Kec. Ulamanda, Kec. Pamboang, serta wilayah pesisir kabupaten Majene sebagian besar wilayahnya mengalami penurunan muka tanah atau *subsidence* yang berkisar antara -0,1629 m sampai -0,0190 m.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari perubahan nilai *coulomb stress* dan identifikasi deformasi permukaan, dapat ditarik kesimpulan antara lain : perubahan tegangan *coulomb* positif dan negatif yang berkisar 0,2 bar hingga 1,0 bar dan perubahan tegangan *coulomb* positif ini boleh jadi memicu gempa bumi disekitarnya yang terletak pada jarak 5 km hingga 35,52 km. Gempa bumi yang terjadi pada tanggal 08 Januari 1984 memiliki empat buah bidang lobus yang terdiri dari dua bidang lobus positif yang berarah timur laut-barat daya dari episenter dan dua bidang lobus negatif yang berarah barat laut-tenggara. Gempa bumi 14 Januari 2021 peningkatan tegangan *coulomb* relatif berarah utara-selatan. Sedangkan wilayah yang menunjukkan penurunan tegangan *coulomb* relatif berarah Timur. Serta gempa bumi 15 Januari 2021 wilayah terjadinya peningkatan *coulomb stress* dominan berada pada arah barat laut-barat daya. Pasca gempa bumi terjadi perubahan muka tanah pasca gempa, daerah yang mengalami kenaikan muka tanah atau *uplift* tertinggi terjadi di Kec. Kaluku dan Bonena yang berkisar antara 0,12514 m hingga 0,269211 m. Sementara daerah kota Mamuju mengalami kenaikan muka tanah atau *uplift* yang berkisar antara 0,02375 m hingga 0,06655 m, sedangkan daerah Kec. Tapalang, Kec. Malunda, Kec. Ulamanda, Kec. Pamboang, serta wilayah pesisir kabupaten Majene sebagian besar wilayahnya mengalami penurunan muka tanah atau *subsidence* yang berkisar antara -0,1629 m sampai -0,0190 m.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, 2014, Interaksi Gempa Bumi Signifikan Daerah Bengkulu Ditinjau dari Perubahan Tegangan *Coulomb* Periode Tahun 2000 – 2007, *Jurnal Ilmu Fisika*, 2(1) : 10-14
- Astra, I, M, K, A. 2011, *Coulomb* Static Stress Change dalam Interaksi Gempa Bumi Doublets 5.8 Mw dan 5,9 Mw 22 Januari 2007 dan Gempa Bumi 7.0 Mw 16 Juni 2010 di Wilayah Papua, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 12 (1) : 103-111.
- Azhari, M. F., Karyanto., et al. 2020. Analisis Deformasi Permukaan Menggunakan Metode DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) pada Studi Kasus Gempa Bumi Lombok Periode Agustus 2018. *Jurnal Geofisika Eksplorasi* . 6(2) : 131 – 144.
- Islam, L. J. F., Prasetyo, Y., & Sudarsono, B. 2017. Analisis Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence) Kota Semarang menggunakan Citra Sentinel-1 Berdasarkan Metode DInSAR Pada Perangkat Lunak SNAP. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(2), 29–36.
- Kilb, D., Joan, G., & Paul, B. 2002. Aftershock triggering by complete *Coulomb stress* changes, *Journal of Geophysical Research*, Volume 109, Issue B4
- King, G.C.P., Stein, R.S., Lin, J. 1994, *Static Stress Changes and the Triggering of Earthquakes*, Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 84, No. 3, 935-953.
- Kurniawan, R dan Ira, M. A. 2016. Pemanfaatan Metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) untuk pemantauan Deformasi Akibat Aktivitas Eksplorasi Panas Bumi. *Jurnal Teknik ITS*. 5(2), 331-336.
- Panjaitan, L, M., et al. 2020. Analisis Pergerakan dan Akumulasi *Coulomb stress* Gempa Utama Lombok Selama Tahun 2018 dan Pengaruhnya Terhadap Aktifitas Gunung Rinjani. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 7(1) : 28-42.
- Suresh D, Yarrakula K. 2018. InSAR based deformation mapping of earthquake using Sentinel 1A imagery. *Geocarto International*:1-10. doi:10.1080/10106049.2018.1544289
- Supandi, P., Mohamad, R., Priyobudi. 2021, Foreshock-mainshock-aftershock sequence analysis of the 14 Januari 2021 (Mw 6,2) Mamuju Majene (West Sulawesi, Indonesia) earthquake, *Earth, Planets and Spaces*, 73 : 1-10.

Xie C D, Zhu Y Q, and Lei X L. 2010. Pattern of *Stress* Change and its Effect on Seismicity Rate Caused by M8,0 Wenchuan Earthquake. *China Earth Sci*, 40(6) : 688-698.