

Analisis Perubahan Coulomb Stress Gempa Bumi Cianjur 21 November 2022

Faradilla Firdani Harefa¹, Lailatul Husna Lubis¹ dan Ratni Sirait¹

¹Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

*Email: lailatulhusnalubis@uinsu.ac.id

Submit: 12 Februari 2024 ; Revised: 25 Juni 2024 ; Accepted: 26 Agustus 2024

Abstrak: Gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Cianjur pada tanggal 21 November 2022 dengan kekuatan 5,6 Mw memiliki koordinat $-6,870^{\circ}$ LS dan $107,016^{\circ}$ BT. Gempa bumi ini berada di kedalaman 11 km dan diikuti oleh serangkaian gempa bumi susulan. Dampak yang ditimbulkan dari kejadian gempa bumi tersebut sangat besar, diantaranya korban jiwa dan kerusakan material. Tujuan penelitian ini dilakukan ialah untuk mengetahui pengaruh perubahan *Coulomb Stress* pada gempa Cianjur dan arah penyebaran gempa bumi susulannya dengan menggunakan metode *Coulomb Stress*. Hasil penelitian ini menunjukkan pengaruh *Coulomb Stress* pada gempa bumi di Kabupaten Cianjur membentuk 8 lobus. 4 lobus merah yang berarti mengalami peningkatan stress yaitu (arah utara berada di Kecamatan Cipanas dan Pacet, arah timur berada di Kecamatan Cugenang, arah selatan berada di Kecamatan Cireunghas, dan arah barat daya ke barat berada di Kecamatan Cikole) dengan nilai 0 hingga 0,2 bar dan 4 lobus biru yang menandakan terjadi penurunan *stress* yaitu (arah timur laut berada di Kecamatan Sukaresmi, arah tenggara arah berada di Kecamatan Warungkondang, Cibeber dan Cilaku, arah barat daya berada di Kecamatan Sukaraja, Sukabumi dan Sukalarang, serta arah barat ke barat laut berada di Kecamatan Nagrak, Kadudampit dan Caringin) dengan nilai 0 hingga -0,2 bar. Tersebaranya gempa susulan lebih banyak terjadi di Kecamatan Cugenang dan sebagian ke Kecamatan Warungkondang.

Kata kunci: Gempa bumi, perubahan *Coulomb Stress*, sesar Cugenang.

Abstract: The earthquake that occurred in Cianjur Regency on November 21, 2022 with a magnitude of 5.6 Mw had a huge impact, including casualties and material damage. The location of the earthquake based on data sourced from BMKG was at -6.870° N and 107.016° E and the earthquake occurred due to the Cugenang fault. After the 5.6 Mw earthquake was followed by a series of aftershocks. The purpose of this study was to determine the effect of coulomb stress changes on the Cianjur earthquake and the direction of aftershock distribution using the coulomb stress method. The results of this study show the effect of coulomb stress on earthquakes in Cianjur Regency forming 8 lobes. 4 red lobes that mean an increase in stress, namely (north direction is in Cipanas and Pacet sub-districts, east direction is in Cugenang sub-district, south direction is in Cireunghas sub-district, and southwest to west direction is

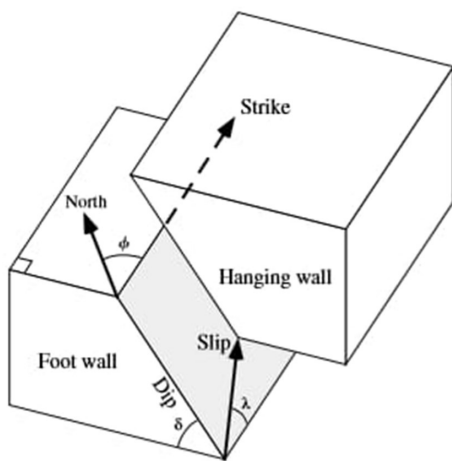
in Cikole sub-district) with a value of 0 to 0, 2 bar and 4 blue lobes indicating a decrease in stress, namely (northeast direction in Sukaresmi sub-district, southeast direction in Warungkondang, Cibeber and Cilaku sub-districts, southwest direction in Sukaraja, Sukabumi and Sukalarang sub-districts, and west to northwest direction in Nagrak, Kadudampit and Caringin sub-districts) with a value of 0 to -0.2 bar. The distribution of aftershocks was more in Cugenang sub-district and partly in Warungkondang sub-district.

Keywords: Earthquake, Coulomb Stress change, Cugenang fault

1 PENDAHULUAN

Gempa bumi berasal dari proses bergetarnya bumi akibat pergerakan lempengan bumi sehingga melepaskan energi dalam bentuk gelombang. Energi tersebut dinamakan energi gempa bumi (Qothrunnada dkk., 2022). Energi yang dilepas akan merambat dalam bentuk gelombang dan dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (Pangastuti dkk., 2021). Letak geologis Indonesia adalah penyebab utama dari timbulnya gempa bumi karena berada pada tiga pertemuan lempeng besar yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik dan lempeng Indo-Australia. Ketiga lempengan tersebut ada yang saling menekan maupun menggeser (Abdurasyid dkk., 2023). Kabupaten Cianjur merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Barat dan merupakan bagian dari tektonik di Indonesia (Zakaria, 2008).

Gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Cianjur pada tanggal 21 November 2022 dengan kekuatan 5,6 Mw disebabkan oleh sesar Cugenang (Rahim dkk., 2023). Gempa bumi tersebut memberikan dampak besar, yaitu sebanyak 272 orang yang meninggal dunia, 56.311 bangunan dan material lain rusak dan sekitar 2.046 orang mengalami luka-luka (BNPB, 2022). Karena itu, untuk meminimalisir kerugian di masa yang akan datang dan bermanfaat sebagai info awal dalam mitigasi bencana alam, maka dimanfaatkanlah metode *coulomb stress* untuk mengetahui pengaruh perubahan *coulomb stress* yang terjadi pada gempa Cianjur 21 November 2022 sebesar 5,6 Mw beserta arah penyebaran gempa bumi susulannya. Manfaat digunakannya metode *coulomb stress* ialah dapat mengetahui distribusi *stress* batuan yang telah terlepas ataupun yang masih ter-



Gambar 1. Parameter sesar (Wardani dkk., 2021).

simpan pada lempengan sesar yang nantinya akan memicu gempa bumi susulan (Mala dan Mohamad, 2020).

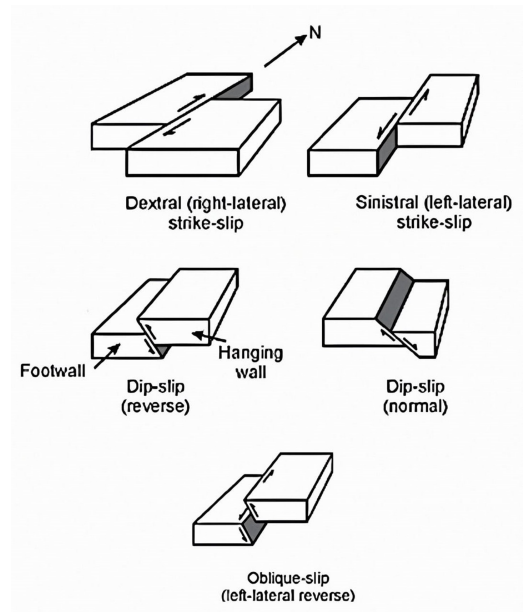
1.1 Sesar

Lempengan yang patah akibat pergeseran disebut sebagai sesar (Wardani dkk., 2021). *Hanging wall* yaitu atap sesar dan *foot wall* adalah alas sesar yang merupakan bagian dari sesar, dapat dilihat pada Gambar 1 (Bujung, 2020). Parameter sesar merupakan hal-hal yang diukur pada sesar yang meliputi:

- (a) *Strike* (ϕ) ialah arah garis bidang sesar terhadap permukaan bumi. Strike diukur searah jarum jam (utara-timur) dengan nilai sudut yaitu $0^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$.
- (b) *Dip* δ ialah sudut dari miringnya bidang sesar. Diukur tegak lurus terhadap *strike* dengan nilai yaitu $0^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$.
- (c) *Rake* (λ) adalah sudut yang dihasilkan oleh arah *slip* dan *strike*. Pergeseran titik yang sebelumnya berimpit pada bidang sesar hingga bergeser disebut sebagai *slip*. Jika sesarnya naik maka *rake* bernilai positif namun jika sesar turun *rake* bernilai negatif. Dengan nilai yaitu $-180^\circ \leq \lambda \leq +180^\circ$.

Kategori pergeseran pada sesar ada 3 dan ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 2.

- (a) *Strike slip faults* ialah pergeseran sesar secara mendatar pada permukaan bumi (horizontal). Jika bergeser ke kiri disebut sebagai *left-lateral* dan *right-lateral* adalah sesar bergeser ke kanan.
- (b) *Dip-slip fault* ialah pergeseran sesar secara tegak lurus terhadap permukaan bumi (vertikal). *Reverse fault* ialah sesar yang bergerak naik ke atas dan jika bergerak turun ke bawah disebut sebagai *normal fault*.
- (c) *Dip- strike slip fault* ialah campuran dari pergeseran sesar secara horizontal dengan vertikal dan sesar ini disebut *Oblique fault* (Wardani dkk., 2021).



Gambar 2. Jenis-jenis pergeseran sesar (Wardani dkk., 2021).

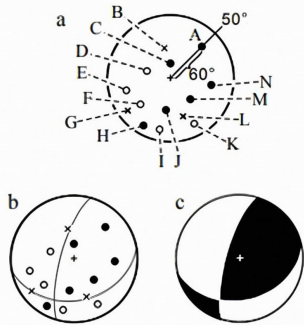
1.2 Mekanisme Sumber

Cara untuk menentukan sutau bidang sesar, jenis arah pergerakan dari sesar serta parameter sesarnya disebut sebagai mekanisme sumber. Hasil mekanisme sumber berasal dari solusi momen tensor gempa bumi. dalam konsep seismologi momen tensor ialah penggambaran dari energi gempa yang menyebar dan terlepas selama gempa beserta arah getarnya. Solusi momen tensor merekam gelombang primer (*P*) (Ummah dan Madlazim, 2021) yang dicatat oleh stasiun pencatat menggunakan *seismograph* (Wardani dkk., 2021). Hasil solusi momen tensor digambarkan dalam bentuk bola fokus yang diporses dalam proyeksi stereografik (Ummah dan Madlazim, 2021).

Gambar 3 menjelaskan proses terbentuknya bola fokus. Gambar 3(a) adalah gambaran mengenai hasil pencatatan gelombang *P* oleh *seismograph* pada stasiun pencatat, yang kemudian akan diplot lokasi stasiunnya kedalam proyeksi stereografik dan disimbolkan sebagai gelombang yang diterima dalam keadaan naik atau turun. Gambar bagian (b) merupakan pembentukan bidang *nodal* (bidang sesar), dan gambar (c) adalah hasil pembentukan bola fokus. Simbol bulatan hitam adalah simbol kompresi dimana gerak awal gelombang *P* turun, bulatan putih adalah simbol dilatasi dimana gerak awal gelombang *P* naik, sedangkan tanda silang (*x*) merupakan gerakan dari gelombang *P* yang terlalu lemah untuk dibedakan apakah naik, atau turun pada *seismograph* (Pamungkas, 2019). Kuadran hitam (kompresi) yang mencerminkan arah tegangan minimum (Sumbu tegangan *T*), dan kuadran putih (dilatasi) yaitu arah tegangan maksimum (sumbu tekanan *P*) (Ummah dan Madlazim, 2021).

Gambar 4 menunjukkan hubungan jenis arah pergerakan sesar terhadap hasil penggambaran bola fokus.

Stn	P wave	symbol	Stn	P wave	symbol	Stn	P wave	symbol
A		•	F		○	K		○
B		x	G		x	L		x
C		•	H		•	M		•
D		○	I		○	N		•
E		○	J		•			



Gambar 3. Skema pembentukan bola fokus (Pamungkas, 2019).

Tabel 1. Data titik gempa bumi utama dan parameter sesar bersumber dari BMKG.

(a) Koordinat Gempa Bumi Utama		
Lon (°)	Lat (°)	Depth (km)
107.016	-6.870	11

(b) Parameter Sesar			
Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Bola Fokus
347.192	82.768	-167.170	

2.2 Coloumb Stress

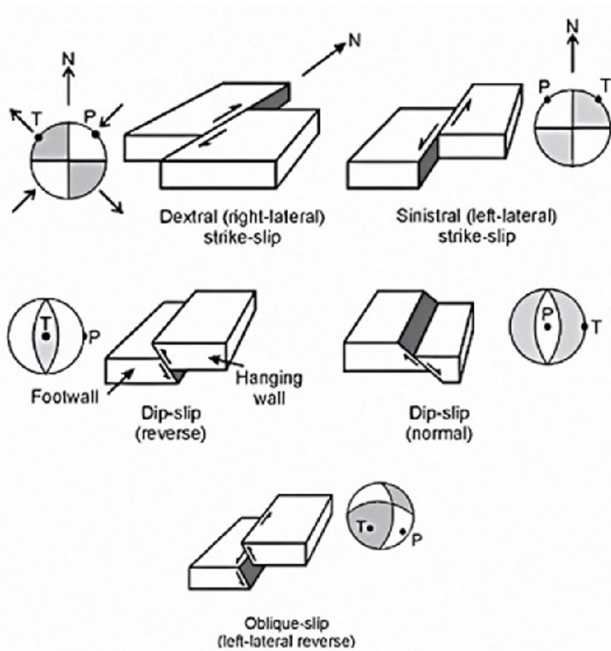
Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode *coulomb stress*. Metode tersebut merupakan metode yang difungsikan untuk memeriksa pesebaran *stress* (tegangan) batuan akibat gempa bumi (Ummah dan Madlazim, 2021). Berdasarkan teori *Coulomb* (1776), menyatakan adanya kekuatan gesekan pada struktur batuan atau tanah (Amran dan Kurniawan, 2017). Gaya yang bekerja pada luas permukaan benda disebut sebagai *stress* (Sinaga, 2016). *Coulomb stress* merupakan selisih kekuatan gesekan terhadap tegangan yang bekerja pada permukaan bumi. kekuatan gesekan yaitu batas kemampuan batuan menahan gesekan sebelum akhirnya pecah dan menimbulkan gempa. Sedangkan tegangan yang bekerja pada permukaan bumi terdapat dua jenis, yaitu tegangan geser ialah gaya yang bekerja secara horizontal (sejajar) pada permukaan bumi (Siwi dkk., 2020) dan tegangan normal (*normal stress*) ialah tegangan yang bekerja secara vertikal (tegak lurus) terhadap permukaan bumi (Viorensi dkk., 2023). Apabila kedua tegangan tersebut dijumlahkan akan menghasilkan yang namanya perubahan *coulomb stress* Mala dan Mohamad (2020). Rumusan perubahan *coulomb stress* (ΔCS) di bidang patahan sebagai berikut:

$$\Delta CS = \Delta\tau + \mu' \Delta\sigma \tag{1}$$

dimana ΔCS ialah perubahan *coulomb stress*, $\Delta\tau$ ialah tegangan geser (*Shear stress*), $\Delta\sigma$ ialah tegangan normal (*Normal stress*), dan μ' ialah koefisien gesekan yang pada metode *coulomb stress* ini menggunakan nilai koefisien gesekan rata-rata 0,4 (Siwi dkk., 2020).

2.3 Tahapan Penelitian

Tahapan pertama yang dilakukan adalah pembuatan peta seisimitas Kabupaten Cianjur, dengan menggunakan data gempa bumi yang telah disiapkan yang bersumber dari BMKG. Proses pembuatan peta tersebut menggunakan *software* Arcgis. Tahapan selanjutnya adalah menganalisis perubahan *coulomb stress* pada gempab bumi 21 November 2022 sebesar 5,6 Mw untuk mendapatkan hasil dstribusi *stress* yang telah terlepas atau masih tersimpan pada lokasi kejadiin gempa bumi dengan menggunakan data gempa bumi utama dan gempa susulan serta parameter sesar yang terdapat pada Tabel 1 bersumber dari BMKG serta *software* yang digunakan adalah *Coulomb* 3.4. Tahapan terakhir adalah pembuatan peta kecamatan yang mengalami penu-

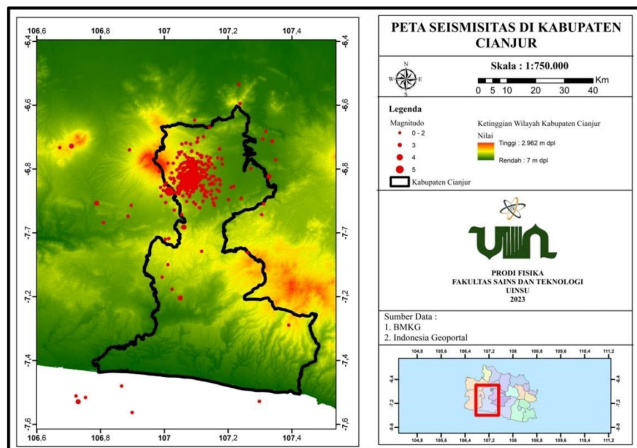


Gambar 4. Hubungan dari hasil pembentukan bola fokus terhadap jenis dari arah pergeseran sesar yang didapat (Rahmawati dan Madlazim, 2021).

2 METODE PENELITIAN

2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian adalah data lokasi kejadian gempa utama yaitu gempa bumi pada tanggal 21 November 2022, data gempa bumi susulan yang diambil dari tanggal 21 November 2022 hingga 21 Desember 2022 serta data parameter sesar terdapat pada Tabel 1. Semua data tersebut diperoleh dari BMKG melalui situsnya (<https://www.bmkg.go.id/>).



Gambar 5. Peta seismisitas di Kabupaten Cianjur.

runan dan peningkatan *stress* 21 November 2022 dengan menggunakan hasil dari analisis perubahan *coulomb stress* dan pembuatan peta struktur geologi Kabupaten Cianjur dengan menggunakan *software* Arcgis.

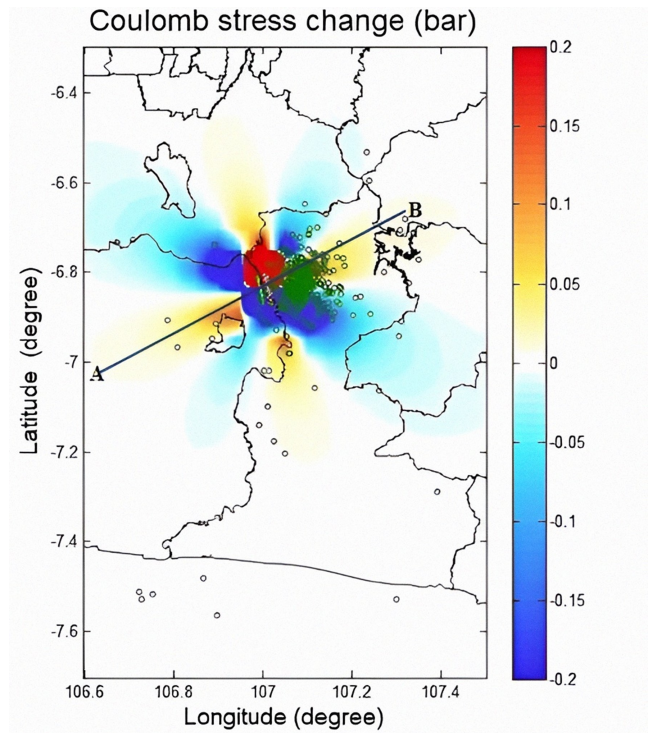
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta yang menggambarkan aktifitas gempa bumi pada suatu wilayah disebut sebagai peta seismisitas. Gambar 5 menunjukkan peta seismisitas pada gempa bumi yang terjadi pada tanggal 21 November 2022 dan gempa bumi susulan setelahnya. Batas titik koordinat penelitian dari $-7,6^{\circ}$ hingga $-6,4^{\circ}$ LS dan $106,6^{\circ}$ hingga $107,4^{\circ}$ BT. Gempa yang terjadi di wilayah Kabupaten Cianjur dikelompokkan berdasarkan besar kekuatan kegempaan yaitu magnitudo gempa 0-2, 3, 4, dan 5 (Mustafa, 2010). Jenis dari gempa utama dan gempa susulan termasuk kedalam kategori gempa dangkal yang berada dibawah 60 km dibawah permukaan bumi. Karena termasuk kategori gempa dangkal yang berada pada lapisan kerak bumi, tentu menimbulkan kerusakan yang cukup besar dan korban jiwa (Murtianto, 2010).

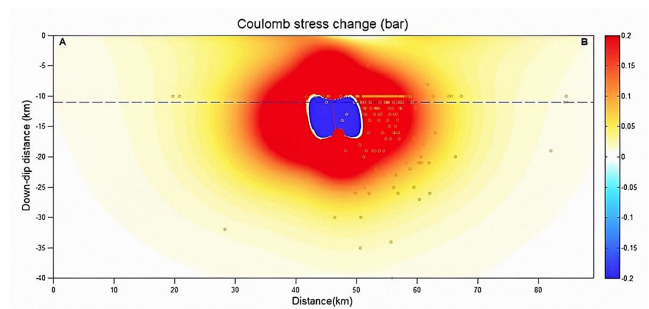
Hasil dari pengaruh pola perubahan *coulomb stress* pada gempa bumi Kabupaten Cianjur 21 November 2022 dengan kekuatan 5,6 Mw dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Pengaruh perubahan *coulomb stress* secara horizontal diperlihatkan pada Gambar 6 yang membentuk 8 lobus yaitu 4 lobus merah menandakan bahwasannya telah terjadi peningkatan *stress* pada wilayah tersebut meliputi arah utara, timur, selatan dan juga barat daya menuju barat dengan nilai 0 hingga 0,2 bar. Sedangkan 4 lobus biru menandakan telah terjadi penurunan *stress* pada wilayah tersebut meliputi arah tenggara, barat daya, barat menuju barat laut dan timur laut dengan nilai sebesar 0 hingga -0,2 bar dan untuk bulatan kecil berwarna hijau merupakan titik pesebaran dari gempa bumi susulan yang arah penyebarannya dominan berada di arah timur dan sebagian ke arah tenggara. Perubahan *coulomb stress* secara vertikal hasil irisan yang melintang senjang garis A-B pada Gambar 6 dapat dilihat pada Gambar 7 yang bergaris putus-putus berwarna biru.

Pengaruh perubahan *coulomb stress* secara vertikal pada gempa bumi Cianjur 21 November 2022 diperlihatkan



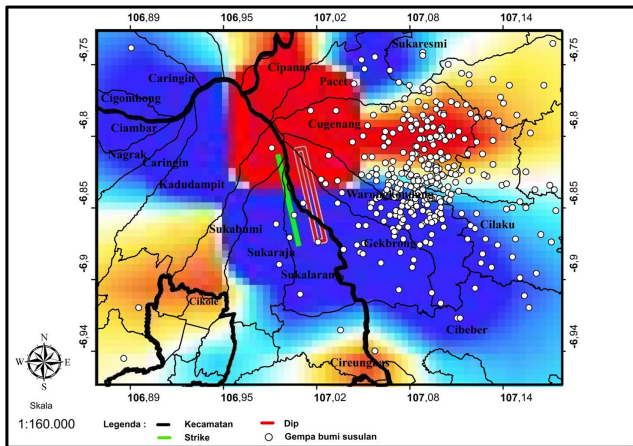
Gambar 6. Pola perubahan coulomb stress secara Horizontal.



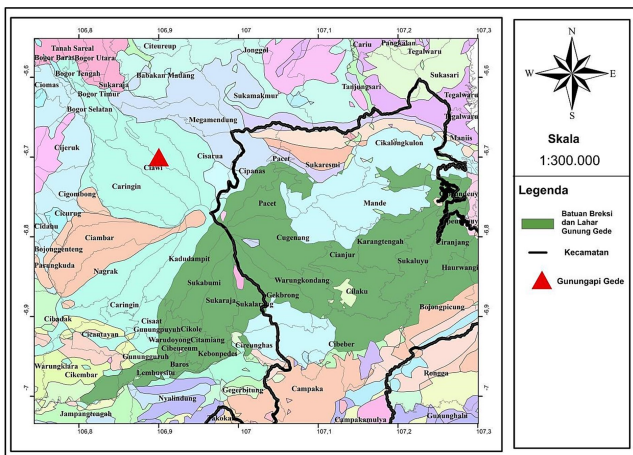
Gambar 7. Perubahan coulomb stress secara vertikal.

pada Gambar 7, terdapat lobus biru yang menandakan penurunan *stress* berada kurang dari kedalaman 20 km di bawah permukaan bumi, sedangkan yang lobus merah terjadi peningkatan *stress* berkisar di kedalaman 25 km dibawah permukaan bumi. Berdasarkan penelitian Mala dan Mohamad (2020) di gempa Kairatu 26 September 2019 mengenai pengaruh perubahan *coulomb stress* secara vertikal, wilayah yang mengalami penurunan *stress* berkisar dikedalaman 18 km di bawah permukaan bumi dan yang mengalami peningkatan *stress* berada di kedalaman 30 km di bawah permukaan bumi.

Daerah yang terjadi penurunan dan peningkatan *stress* pada kejadian gempa bumi 21 November 2022 sebesar 5,6 Mw diperlihatkan pada Gambar 8 yang tersebar ke arah utara (Kecamatan Cipanas dan Pacet), timur (Kecamatan Cugenang), barat daya menuju barat (Kecamatan Cikole) dan selatan (Kecamatan Cireunghas). Pada zona penurunan *stress* tersebar ke arah timur laut (Kecamatan Sukaesmi), tenggara (Kecamatan Cibeber, Cilaku, Warungkondang, Gekbrong), barat daya (Kecamatan Sukaraja, Sukabumi,



Gambar 8. Kecamatan yang mengalami penurunan dan peningkatan stress 21 November 2022.



Gambar 9. Struktur geologi pada daerah Kecamatan.

sukalarang), dan barat menuju barat laut (Kecamatan Caringin, Ciambar, Nagrak dan Kadudampit). Daerah yang mengalami peningkatan dan penurunan stress disebabkan oleh mekanisme sumber, jenis arah pergerakan sesarnya bergeser mendatar ke arah kanan (*Dextral strike-slip fault*) yang pergeseran patahannya searah dengan *strike* (arah bidang patahan) arah tenggara-barat laut (BMKG, 2023). Garis hijau pada Gambar 8 merupakan arah *strike* (arah patahan) yang bernilai 347° dan garis merah merupakan bidang kemiringan patahan atau nilai dip senilai 82° .

Penyebab lain yang membuat wilayah tersebut mengalami peningkatan dan penurunan stress berada di Kecamatan Cugenang dan Kecamatan Warungkondang diperlihatkan pada Gambar 9 ialah batuan penyusunnya yang tersusun atas batuan breksi dan lahar Gunungapi Gede yang terdiri dari serpihan tufan, pasir tufan, dan breksi tufan. Sifat batuan breksi dan lahar Gunungapi Gede ialah lunak dan lapuk serta sudah berumur kuartar sehingga membuat wilayah tersebut menjadi rawan bencana alam karena mudahnya batuan dan tanah mengalami guncangan dan tidak kokoh (Supartoyo dkk., 2023).

4 KESIMPULAN

Pengaruh perubahan *coulomb stress* di wilayah Kabupaten Cianjur 21 November 2022, membentuk 4 lobus merah yang menandakan adanya peningkatan stress pada daerah tersebut yaitu (arah utara, timur, selatan, dan barat daya ke barat) dengan nilai 0 hingga 0,2 bar. Kemudian membentuk 4 lobus biru yang menandakan bahwa daerah tersebut telah terjadi penurunan stress yaitu (arah timur laut, tenggara, barat daya, dan barat ke barat laut) dengan nilai 0 hingga -0,2 bar. Gempa bumi susulan yang timbul setelah kejadian gempa bumi utama yang terjadi pada tanggal 21 November 2022 dengan kekuatan 5,6 Mw banyak terjadi di Kecamatan Cugenang dan sebagian terjadi di Kecamatan Warungkondang. Gempa bumi ini disebabkan oleh sesar Cugenang dengan keadaan struktur geologi wilayah tersebut tersusun atas batuan breksi dan lahar Gunungapi Gede. Zona yang mengalami peningkatan stress harus diwaspadai, karena sangat mampu memicu gempa bumi yang terjadi di masa yang akan datang (Sivi dkk., 2020).

Pustaka

Abdurrasyid, Darmawan, D.F., T, F.F.J., Arare, K., Parangin-Angin, M. Situmorang, R.A. (2023): Menjadi relawan kesehatan pada bencana gempa bumi cianjur. *E-DIMAS: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, **14**(1), 188–194, ISSN 2528-5041, doi:<https://doi.org/10.26877/e-dimas.v14i1.144819>.

Amran, Y. Kurniawan, D. (2017): Perencanaan dinding penahan tanah sungai way batanghari kota metro dengan metode revetment retaining wall. *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi)*, **6**(2), 157–167, doi:<http://dx.doi.org/10.24127/tapak.v6i2.424>.

BMKG (2023): Dukungan bmgk dalam percepatan rehabilitasi dan rekonstruksi rumah terdampak bencana gempa bumi cianjur. <https://www.bmkg.go.id/artikel/?p=43254&lang=ID>.

BNPB (2022): Kerusakan bangunan akibat gempa bumi m 5,6 cianjur. <https://bnpb.go.id/berita-foto/kerusakan-bangunan-akibat-gempabumi-m5-6-cianjur>.

Bujung, C.A. (2020): Studi densitas lineament dan pola aliran permukaan daerah manifestasi geotermal di sekitar danau tondano. *FISTA Jurnal Fisika dan Terapannya*, **1**(1), 1–5, doi:<https://doi.org/10.53682/fista.v1i1.55>.

Mala, H.U. Mohamad, J.N. (2020): Arah penyebaran stress coulomb pada batuan akibat gempabumi kairatu 26 september 2019. *Jurnal Wahana Fisika*, **5**(1), 62–70, doi:<https://doi.org/10.17509/wafi.v5i1.24500>.

Murtianto, H. (2010): Potensi kerusakan gempa bumi akibat pergerakan patahan sumatera di sumatera barat dan sekitarnya. *Jurnal Geografi GEA*, **10**(1), doi:<https://doi.org/10.17509/gea.v10i1.1667>.

Mustafa, B. (2010): Analisis gempa nias dan gempa sumatera barat dan kesamaannya yang tidak menimbulkan tsunami. *Jurnal Ilmu Fisika*, **2**(1), 44–50, doi:[10.25077/jif.2.1.44-50.2010](https://doi.org/10.25077/jif.2.1.44-50.2010).

Pamungkas, D.A. (2019): Identifikasi mekanisme fokus dan intensitas getaran tanah maksimum gempabumi Lombok tanggal 29 juli – 1 oktober 2018. Bachelor’s thesis, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

- Pangastuti, N.P.J., Suarbawa, K.N., Putra, I.K. Purnami, N.L.D. (2021): Analysis of earthquake potential energy in the Bali subduction zone. *Buletin Fisika*, **23**(2), 137–144, ISSN 2580-9733, doi:10.24843/BF.2022.v23.i02.p09.
- Qothrunnada, N.H., Utami, R.Y. Rizky, S.A. (2022): Menganalisis bencana alam gempa bumi dalam perspektif al-quran. *Prosiding Konferensi Integrasi Interkoneksi Islam dan Sains*, **4**, 257–260.
- Rahim, A., Nurjamillah, I., Hafidah, I., Fauzy, M.N. Alhaqni, Z.P. (2023): Penerapan trauma healing untuk mengatasi kecemasan pada anak pasca bencana gempa bumi di sekolah dasar negeri mekarjaya Cianjur. *Jurnal Abdimas Bina Bangsa*, **4**(1), 199–203, doi:10.46306/jabb.v4i1.357.
- Rahmawati, W. Madlazim (2021): Analisis distribusi tegangan normal gempa bumi di wilayah sesar Sumatera menggunakan metode inversi tegangan. *Inovasi Fisika Indonesia*, **10**(2), 73, doi:https://doi.org/10.26740/ifi.v10n2.p73-80.
- Sinaga, G.H.D. (2016): Analisis Coulomb Stress Gempa Bumi Halmahera Barat MW=7,2 terhadap Aktivitas Vulkanik Gunung Soputan dan Gunung Gamalama. Master's thesis, Universitas Sumatera Utara.
- Siwi, P.W., Sriyanto, S.P.D., Rondonuwu, A.T. Silangen, P.M. (2020): Perubahan coulomb stress akibat gempa bumi laut Maluku 7 Januari 2019. *Jurnal Geosaintek*, **6**(3), 137–142, doi:http://dx.doi.org/10.12962/j25023659.v6i3.7030.
- Supartoyo dkk. (2023): Bumi Cianjur Berguncang: Geologi Menyelidiki dan Memitigasi. Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, ISBN 978-602-9105-94-0.
- Ummah, K.F. Madlazim (2021): Analisis distribusi tegangan normal gempa bumi di sekitar sesar Sorong-Yapen (Papua) menggunakan metode inversi tegangan. *Inovasi Fisika Indonesia*, **10**(2), 33–39, doi:https://doi.org/10.26740/ifi.v10n2.p33-39.
- Viorensi, H.I., Limehuwey, R. Sahara, D.P. (2023): Evaluasi perubahan tegangan Coulomb dan implikasinya terhadap bahaya seismik di provinsi Maluku. *Tanah Goyang*, **1**(1), 38–50.
- Wardani, N.N.S.K., Suarbawa, K.N. Kusnandar, R. (2021): Determination of fault type of Lombok earthquakes from July 1 to December 31, 2018, using focal mechanism method. *Buletin Fisika*, **22**(2), 91 – 96, doi:https://doi.org/10.24843/BF.2021.v22.i02.p06.
- Zakaria, Z. (2008): Identifikasi kebencanaan geologi kabupaten Cianjur, Jawa Barat. *Bulletin of Scientific Contribution*, **6**(1), 44–56, ISSN 1693-4873, doi:https://doi.org/10.24198/bsc“%20geology.v6i1.81589.