

Pemodelan 3D Perubahan *Coulomb Stress* Pasca-Gempa Seram Pada 5 Mei 2024 Dengan Magnitudo 6.1 Mw

Riski Wahyudi^{1*}, Laila Auliya¹, Purwaditya Nugraha¹, Nugroho Prasetyo¹, Yudha Styawan¹

¹Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera

*Email Koresponden: riski.121120082@student.itera.ac.id

Diterima: 15-09-2025

Disetujui: 19-10-2025

Publish: 02-12-2025

Abstrak Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan tegangan *Coulomb* setelah gempa bumi Mw 6,1 yang terjadi di Seram pada 5 Mei 2024 untuk mengidentifikasi potensi bahaya seismik lanjutan. Metode yang digunakan meliputi pemodelan numerik dengan perangkat lunak *Coulomb 3.4* untuk menghitung distribusi tegangan, kemudian divisualisasikan melalui interpolasi spasial dalam bentuk peta 2D dan penampang 3D. Hasil pemodelan 2D memperlihatkan zona dengan peningkatan tegangan yang signifikan, berkorelasi dengan lokasi gempa besar tahun 1993 dan 1998. Analisis 3D menunjukkan konsentrasi tegangan pada kedalaman 0–12 km yang sesuai dengan distribusi gempa susulan tercatat, sehingga menguatkan validitas model. Selain itu, ditemukan adanya transfer tegangan ke sesar di sekitar episenter, terutama pada segmen Sesar Seram tipe strike-slip dan Sesar Bobot. Kesimpulannya, penelitian ini menunjukkan bahwa pemodelan perubahan tegangan *Coulomb* dapat digunakan sebagai pendekatan kuantitatif untuk menilai evolusi tegangan pascagempa dan menjadi dasar penting bagi mitigasi bencana di wilayah tektonik kompleks Maluku.

Kata kunci: Perubahan Tegangan *Coulomb*; Pemodelan Numerik; Gempa Susulan; Mitigasi Bencana; Seram

Abstract This study aims to analyze *Coulomb stress* changes following the Mw 6.1 earthquake in Seram on May 5, 2024, in order to identify potential subsequent seismic hazards. The methodology employed numerical modeling using *Coulomb 3.4* to calculate stress distribution, which was then visualized through spatial interpolation in both 2D maps and 3D cross-sections. The 2D modeling results reveal zones of significant stress increase that spatially correlate with the locations of major earthquakes in 1993 and 1998. The 3D analysis further indicates stress concentration at shallow to intermediate depths (0–12 km), consistent with the distribution of recorded aftershocks, thereby validating the reliability of the model. Additionally, stress transfer was detected toward surrounding faults, particularly the Seram strike-slip segment and the Bobot fault segment. In conclusion, this research demonstrates that *Coulomb stress* modeling provides a quantitative framework for assessing post-seismic stress evolution and constitutes a crucial basis for disaster mitigation efforts in the tectonically complex Maluku region.

Keywords: *Coulomb Stress Change*; Numerical Modeling; Aftershocks; Disaster Mitigation; Seram

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang sering mengalami aktivitas tektonik seperti gempa. Wilayah Indonesia yang sering mengalami gempa salah satunya adalah di pulau Papua (Janah, 2016). Indonesia timur adalah salah satu wilayah paling rawan gempa, khususnya di Papua dan Maluku. Wilayah Papua merupakan salah satu wilayah yang memiliki margin aktif dan masih mengalami dinamika yang aktif, menghasilkan pola seismisitas yang kompleks dan beragam. Papua terletak di antara dua lempeng utama yaitu Lempeng Pasifik dan Lempeng Australia. Wilayah Papua juga memiliki patahan sorong yang merupakan patahan geser dengan laju pergerakan tercepat di dunia (Umar, 2016). Sistem sesar lokal juga turut memengaruhi pola aktivitas seismik di wilayah tersebut.

pada titik-titik tertentu di sekitar episentrum, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai kemungkinan reaktivasi sesar serta area yang berpotensi mengalami gempa susulan (Azhar, 2017).

Hasil perhitungan perubahan *Coulomb stress* pada umumnya bersifat diskrit, yakni hanya tersedia pada titik-titik grid tertentu yang dihasilkan dari model numerik. Kondisi ini menyebabkan keterbatasan dalam penyajian distribusi spasial secara menyeluruh, khususnya ketika diperlukan representasi dalam bentuk tiga dimensi. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, metode interpolasi berbasis geostatistik dapat diterapkan. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah *Ordinary Kriging*, yaitu estimator linear tak bias yang memanfaatkan autokorelasi spasial antar data sehingga mampu menghasilkan prediksi dengan variansi minimum (Isaaks & Srivastava, 1989). Dibandingkan dengan metode interpolasi deterministik, *Ordinary Kriging* memiliki keunggulan karena dapat menangkap pola distribusi spasial dari data geofisika yang umumnya bersifat heterogen.

Efektivitas *Ordinary Kriging* sangat dipengaruhi oleh bentuk *variogram* yang digunakan. Model eksponensial merupakan salah satu variogram yang paling sering diterapkan, karena mampu merepresentasikan hubungan spasial yang kuat pada jarak dekat dan menurun secara bertahap hingga mencapai nilai *sill* (Cressie, 1993). Karakteristik tersebut sesuai dengan sifat data perubahan *Coulomb stress*, yang umumnya memperlihatkan korelasi spasial signifikan pada jarak antar grid yang relatif berdekatan.

Penelitian ini bertujuan menganalisis dinamika perubahan Coulomb stress pascagempa 5 Mei 2024 di Papua dengan parameter kedalaman 0–50 km dan magnitudo $M_w \geq 6$, menggunakan asumsi geometri sesar naik. Hasil yang didapat diharapkan dapat memberikan gambaran potensi aktivasi ulang sesar aktif serta memperkuat upaya mitigasi bencana di wilayah tektonik kompleks seperti di Papua.

2. METODE PENELITIAN

Penentuan Area Studi Dan Input Parameter

Penelitian diawali dengan penentuan area studi menggunakan perangkat lunak Coulomb 3.4, yang batasannya mengacu pada koordinat geografis gempa utama 5 Mei 2024. Langkah selanjutnya adalah input parameter sesar sumber, yang mencakup koordinat episenter, kedalaman, magnitudo, serta nilai strike, dip, dan rake. Dimensi patahan seperti panjang (L), lebar (W), luas (A) dan slip (D) dihitung berdasarkan hubungan empiris dari (Wells & Coppersmith, 1994) untuk thrust fault:

$$\begin{aligned}\log L &= -2.42 + 0.58 M_w \\ \log W &= -1.161 + 0.41 M_w \\ \log A &= -3.49 + 0.91 M_w \\ \log D &= -4.80 + 0.69 M_w\end{aligned}$$

Setelah semua parameter dimasukkan, dilakukan kalkulasi Coulomb Stress Change pada rentang kedalaman 0 hingga 20 km dengan interval setiap 2 km. Pemilihan rentang kedalaman ini didasarkan pada posisi hiposenter gempa utama yang berada di sekitar 16 km.

Visualisasi Dan Analisis Spasial

Hasil pemodelan yang berupa citra kemudian dikonversi menjadi data numerik untuk mendapatkan nilai sebaran tegangan pada setiap titik koordinat. Proses ini dilakukan dengan menjalankan perintah `Coulomb2gmt_cout` untuk setiap interval kedalaman.

Perubahan tegangan Coulomb Stress dengan persamaan:

$$\Delta CFF = \Delta \tau + \mu' \Delta \sigma_n$$

Data numerik kemudian disaring untuk mengambil nilai perubahan Coulomb Stress maksimum pada setiap koordinat, yang dianggap representatif untuk pemodelan 2D. Karena metode interpolasi bawaan yang digunakan perangkat lunak kurang dapat melakukan interpolasi yang dibutuhkan, dilakukan interpolasi ulang menggunakan metode kriging dengan model variogram eksponensial. Model eksponensial dipilih karena menunjukkan tingkat korelasi sempurna (nilai korelasi = 1).

Variogram eksponensial:

$$\gamma(h) = c_0 + c(1 - e^{-h/a})$$

Persamaan Ordinary kriging

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i), \quad \text{dengan} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

Hasil akhir dari proses interpolasi ini disimpan dalam format file TIF untuk digunakan dalam penyusunan peta distribusi tegangan.

Analisis Respons Sesar Dan Interpretasi Hasil

Analisis lanjutan bertujuan untuk mengkaji respons segmen sesar lain, seperti Sesar Seram FTB, Sesar Seram Strike Slip, dan Sesar Bobot terhadap pelepasan tegangan akibat gempa utama. Hal ini dilakukan dengan memasukkan parameter segmen sesar penerima dan melakukan kalkulasi nilai tegangan yang diterima oleh setiap segmen tersebut. Perubahan tegangan pada bidang sesar penerima dihitung dengan persamaan:

$$\Delta\sigma_n = n_i\Delta\sigma_{ij}n_j$$

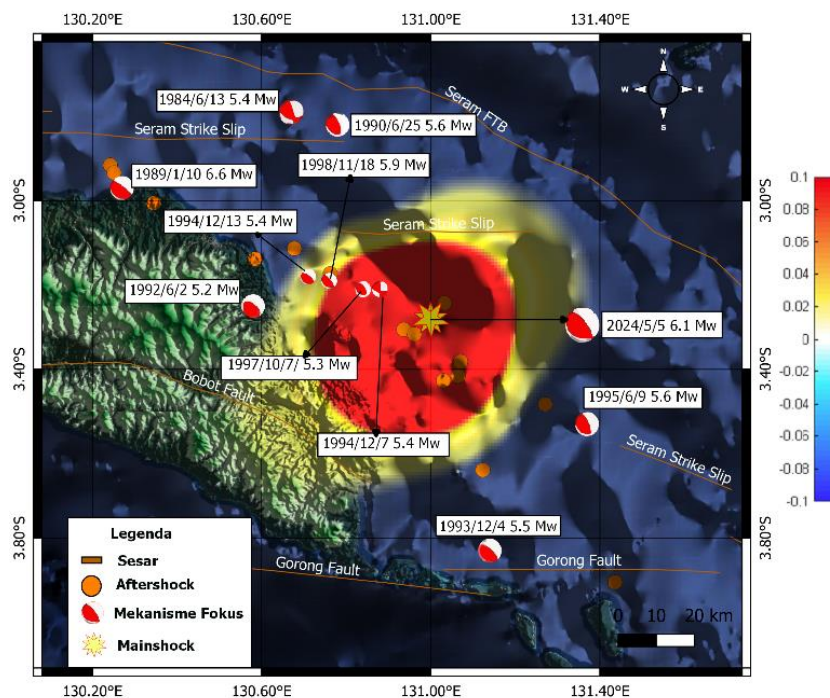
$$\Delta\tau = t_i\Delta\sigma_{ij}n_j$$

Selain itu, dibuat penampang vertikal (*cross section*) untuk mengamati perubahan Coulomb Stress secara vertikal, yang berperan penting untuk mengidentifikasi konsentrasi tegangan pada kedalaman tertentu sebagai indikator potensi lokasi gempa susulan. Tahap akhir adalah analisis dan interpretasi data secara menyeluruh, yang mengkaji perubahan nilai Coulomb Stress dan arah distribusi gempa susulan relatif terhadap gempa utama berdasarkan hasil pemodelan 2D dan 3D.

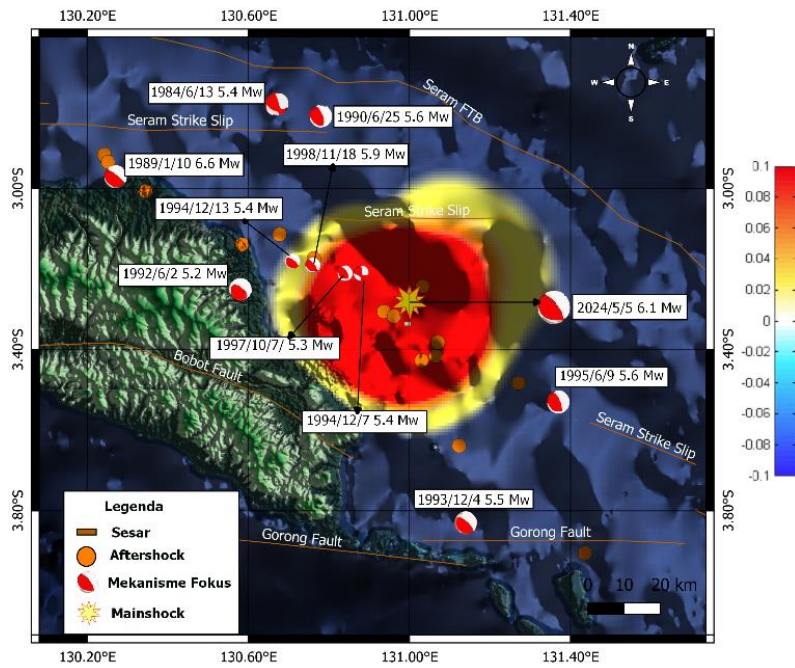
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Coulomb Stress Menggunakan Plane 1

Distribusi perubahan tegangan Coulomb dianalisis berdasarkan variasi nilai pada tiap kedalaman. Hasil menunjukkan bahwa perubahan tegangan lebih signifikan pada kedalaman dangkal–menengah (0–12 km), selaras dengan dominasi gempa susulan pada rentang kedalaman tersebut. Hal ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menegaskan keterkaitan zona peningkatan tegangan dengan aktivitas aftershock (King et al., 1994; Toda et al., 1998). Sebaliknya, pada kedalaman >12 km, perubahan tegangan relatif lebih kecil sehingga kontribusinya terhadap pemicu gempa susulan terbatas (Freed, 2005; Stein, 1999). Validasi terhadap katalog gempa (USGS, 2023) menunjukkan kesesuaian spasial antara zona peningkatan tegangan dan lokasi aftershock, sejalan dengan temuan (Parsons et al., 1999). Analisis dilakukan menggunakan Coulomb 3.4.2 dengan asumsi medium elastis homogen, sehingga interpretasi dibatasi oleh simplifikasi model. Meski demikian, hasil ini memperkuat pemahaman mengenai peran distribusi tegangan pada kedalaman kritis dalam memicu aktivitas seismik lanjutan.

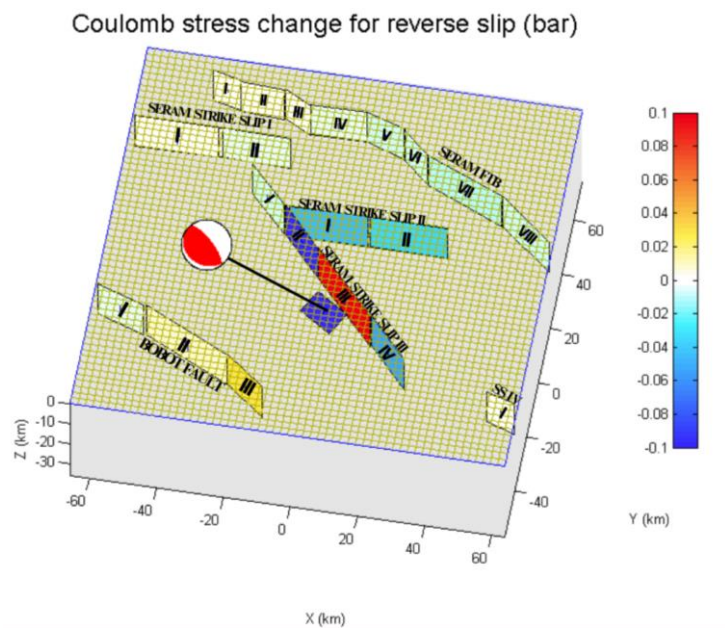


Gambar 3. Distribusi Coulomb Stress menggunakan Nodal Plane 1



Gambar 4. Distribusi Coulomb Stress menggunakan Nodal Plane 2

Gambar 3 menunjukkan peta perubahan tegangan Coulomb di wilayah Seram akibat gempa utama 5 Mei 2024 (Mw 6,1), di mana zona berwarna kuning hingga merah merepresentasikan peningkatan tegangan dan mengindikasikan akumulasi tekanan pada batuan di sekitar sesar. Pola ini konsisten dengan lokasi gempa signifikan sebelumnya, seperti gempa tahun 1993 (Mw 5,5) dan 1998 (Mw 5,9), yang terjadi pada zona seismogenik serupa. Untuk memperkuat interpretasi, perhitungan juga dilakukan menggunakan Nodal Plane 2 (strike 125° , dip 16° , rake 74°), yang dibandingkan dengan Nodal Plane 1 (strike 322° , dip 75° , rake 94°) pada Gambar 4. Hasil menunjukkan bahwa distribusi tegangan pada Nodal Plane 1 lebih meluas dengan dominasi arah barat daya–timur laut, sedangkan pada Nodal Plane 2 lebih terbatas dengan penyebaran utama ke arah timur laut. Perbedaan ini menegaskan sensitivitas distribusi tegangan Coulomb terhadap variasi parameter mekanisme sumber (King et al., 1994; Stein, 1999; Toda et al., 1998). Validasi tambahan menunjukkan bahwa beberapa gempa susulan tercatat cenderung berasosiasi dengan zona peningkatan tegangan, sehingga mendukung reliabilitas model. Namun demikian, hasil ini masih bergantung pada asumsi medium elastis homogen dan tidak mempertimbangkan heterogenitas kecepatan maupun fluida pori, sehingga interpretasi perlu dibatasi dalam kerangka pemodelan linier elastis.



Gambar 5. pengaruh perubahan coulomb stress terhadap patahan sekitar

Pengaruh Perubahan Coulomb Stress Terhadap Patahan Sekitar

Analisis perubahan Coulomb stress akibat gempa utama memperlihatkan distribusi tegangan yang heterogen pada sistem sesar di sekitar episenter. Hasil pemodelan (Gambar 5) menunjukkan bahwa segmen Seram Strike-Slip III mengalami variasi respons yang cukup signifikan. Subsegmen III tercatat mengalami peningkatan ~ 0.1 bar, sedangkan subsegmen II dan IV mengalami penurunan masing-masing sebesar -0.1 bar dan -0.04 bar. Subsegmen I hanya memperlihatkan penurunan minor sekitar -0.02 bar. Pola serupa terlihat pada segmen Seram Strike-Slip II yang mengalami penurunan -0.04 bar, sementara pada Seram Strike-Slip I, hanya subsegmen II yang terdampak (-0.02 bar), dengan subsegmen I relatif tidak terpengaruh.

Pada Sesar Seram FTB, meskipun lokasinya relatif lebih jauh dari sumber gempa utama, penurunan tegangan tetap teridentifikasi, khususnya pada subsegmen IV–VIII dengan nilai sekitar -0.02 bar. Hal ini mengindikasikan bahwa efek redistribusi tegangan dapat menjangkau struktur sesar yang tidak berada di zona dekat sumber. Sebaliknya, Sesar Bobot memperlihatkan pola yang kontras: subsegmen II–III mengalami peningkatan Coulomb stress sebesar 0.02 – 0.04 bar, sedangkan subsegmen I mengalami penurunan -0.02 bar.

Secara umum, variasi perubahan Coulomb stress ini memiliki implikasi seismotektonik penting. Peningkatan tegangan pada subsegmen tertentu (misalnya Seram Strike-Slip III subsegmen III dan Sesar Bobot subsegmen II–III) berpotensi meningkatkan kerentanan segmen tersebut terhadap pelepasan energi seismik di masa depan. Sebaliknya, penurunan tegangan (stress shadow) pada segmen lain dapat menurunkan kemungkinan terjadinya gempa susulan dalam jangka pendek. Nilai perubahan pada kisaran ± 0.02 – 0.1 bar (2 – 10 kPa) masih berada dalam rentang yang dianggap signifikan untuk memengaruhi proses nucleation gempa (Freed, 2005; King et al., 1994)

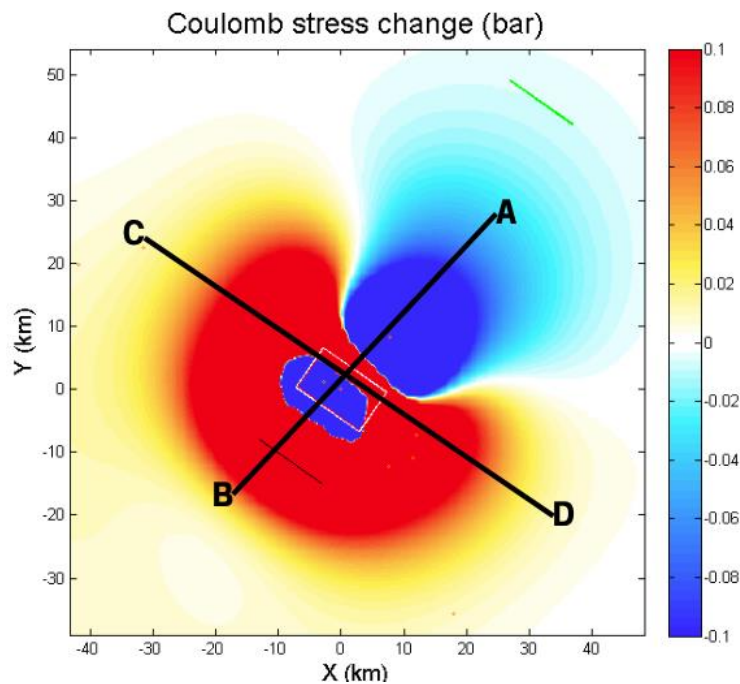
Dengan demikian, hasil ini mendukung hipotesis bahwa gempa utama tidak hanya melepaskan tegangan lokal, tetapi juga mendistribusikan kembali stress pada struktur sesar di sekitarnya. Variasi antar segmen menegaskan pentingnya analisis berbasis model Coulomb stress untuk memahami potensi interaksi antar-sesar dan implikasinya terhadap kemungkinan terjadinya gempa susulan maupun aktivitas seismik di masa depan.

Cross Section (Penampang Vertikal) pada Coulomb Stress

Analisis penampang lintang (cross section) digunakan untuk mengidentifikasi variasi perubahan tegangan Coulomb (ΔCFS) sepanjang jalur pemotongan. Pada Gambar 6, penampang A–B ditarik dari barat daya (SW) ke timur laut (NE), sedangkan penampang C–D dibentangkan dari barat laut (NW) ke tenggara (SE). Orientasi lintasan ini dipilih karena melintasi lobus utama perubahan ΔCFS , sehingga memungkinkan pemetaan distribusi zona peningkatan tegangan (lobus positif, ditunjukkan dengan warna merah) dan zona pelepasan tegangan (lobus negatif, ditunjukkan dengan warna biru). Pendekatan ini memberikan gambaran mengenai area dengan konsentrasi tegangan maksimum yang berpotensi meningkatkan kemungkinan terjadinya gempa susulan, serta area dengan penurunan tegangan yang relatif lebih stabil. Selain itu, distribusi spasial ini menjelaskan arah perambatan transfer tegangan dari sumber gempa menuju sesar-sesar sekitarnya.

Penampang A–B dan C–D memperlihatkan pola perubahan ΔCFS secara vertikal, dari permukaan hingga kedalaman sekitar 20 km. Pada arah horizontal, sumbu distance menggambarkan panjang lintasan A–B sejauh 0 – 65 km dan lintasan C–D sejauh 0 – 80 km. Sumbu vertikal menunjukkan kedalaman (down-dip distance) dari 0 km di permukaan hingga -20 km di bawah permukaan. Hasil pemodelan ini mengindikasikan bahwa akumulasi tegangan terbesar cenderung terkonsentrasi pada kedalaman seismogenik menengah (± 5 – 15 km), yang sesuai dengan zona potensial nucleation gempa. Sebaliknya, zona pelepasan tegangan pada kedalaman serupa dapat bertindak sebagai stress shadow yang menghambat terjadinya rupture lanjutan dalam jangka pendek.

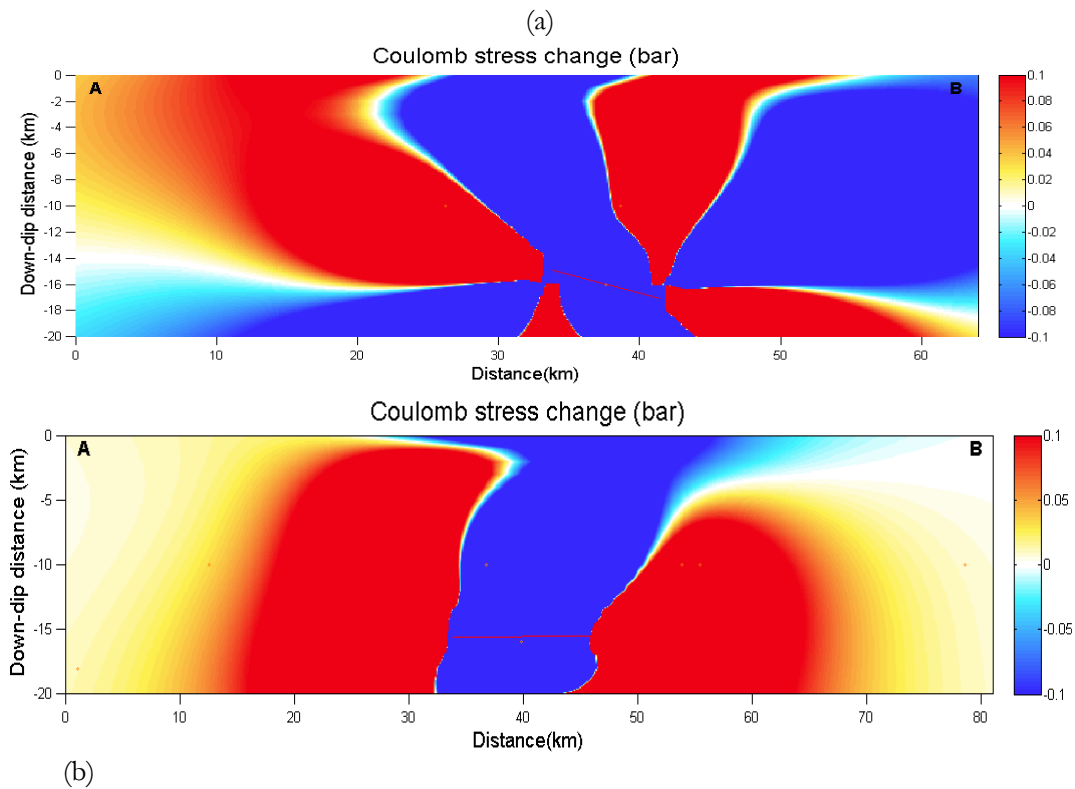
Secara seismotektonik, hasil ini mendukung hipotesis bahwa gempa utama tidak hanya melepaskan energi secara lokal, tetapi juga mendistribusikan ulang tegangan ke segmen-segmen sesar di sekitarnya. Peningkatan ΔCFS pada area tertentu menunjukkan potensi interaksi antar-sesar, sedangkan zona pelepasan tegangan cenderung stabil hingga terjadi akumulasi baru. Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa perubahan ΔCFS sebesar ± 0.01 bar (1 kPa) dapat memengaruhi aktivitas seismik berikutnya (Freed, 2005; King et al., 1994). Dengan demikian, analisis penampang lintang berperan penting dalam memetakan area berisiko tinggi terhadap gempa susulan serta membantu memahami pola transfer tegangan dalam sistem tektonik kompleks



Gambar 6. peta perubahan coulomb stress A-B & C-D

Penampang A–B (Gambar 6a) menunjukkan akumulasi Δ CFS positif (ditampilkan dengan gradasi merah–kuning) yang paling menonjol pada segmen 0–20 km, khususnya pada kedalaman dangkal hingga menengah (0–12 km). Dua kejadian gempa susulan teridentifikasi tepat di dalam lobus Δ CFS positif tersebut, yang mengindikasikan adanya korelasi spasial antara peningkatan tegangan dan lokasi aftershock. Zona transisi antara 20–40 km memperlihatkan kombinasi Δ CFS positif dan negatif, yang menandai batas antara area akumulasi dan pelepasan tegangan. Pada segmen 40–65 km, Δ CFS negatif (biru) mendominasi hampir seluruh kedalaman (5–18 km), menandakan adanya stress shadow yang relatif stabil karena energi gempa utama telah terdisipasi. Dengan demikian, bagian barat daya dekat titik A pada kedalaman dangkal–menengah lebih berpotensi terhadap kejadian susulan, sedangkan bagian timur laut dekat titik B menunjukkan kondisi yang lebih stabil pada kedalaman menengah–dalam.

Distribusi Δ CFS pada lintasan C–D (Gambar 6b) memperlihatkan pola yang lebih kontras. Segmen barat (0–30 km) didominasi Δ CFS positif pada kedalaman 5–10 km, berasosiasi dengan zona sesar aktif, sehingga berpotensi memfasilitasi aktivitas seismik lanjutan. Segmen tengah (35–50 km) menunjukkan dominasi Δ CFS negatif, yang ditafsirkan sebagai stress shadow dan menandakan pelepasan tegangan akibat gempa utama. Namun, pada segmen timur (50–80 km), kembali teridentifikasi akumulasi Δ CFS positif pada kedalaman 5–12 km. Distribusi aftershock sebagian besar berlokasi pada lobus Δ CFS positif di bagian barat maupun timur, meskipun terdapat pula kejadian pada zona Δ CFS negatif. Fenomena ini konsisten dengan temuan (King et al., 1994) dan (Stein, 1999) yang menyatakan bahwa meskipun Δ CFS positif cenderung meningkatkan kemungkinan terjadinya gempa susulan, aktivitas seismik juga dapat terjadi di area Δ CFS negatif karena faktor heterogenitas medium dan kondisi lokal yang kompleks.

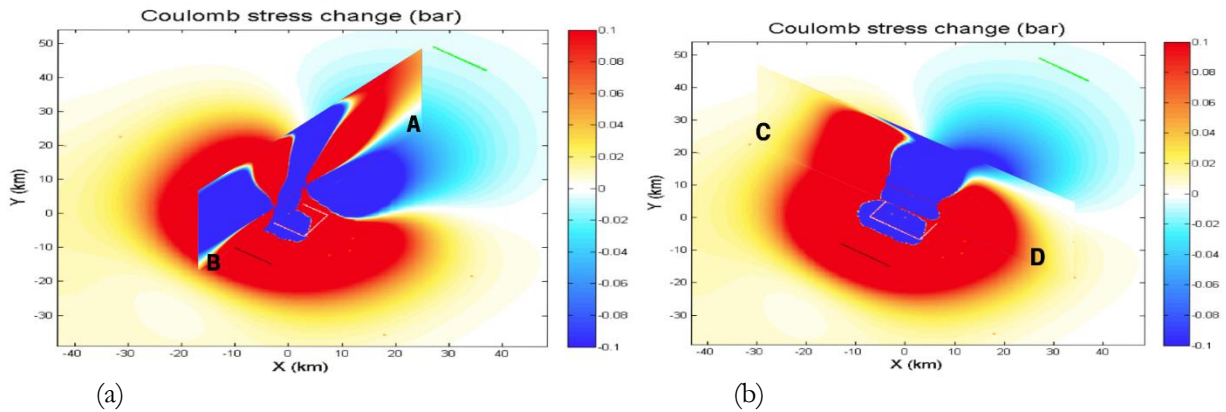


Gambar 7. Penampang Cross Section A-B (a) dan C-D (b)

Visualisasi 3D Penampang Cross Section

Pada Gambar 7a, penampang A–B yang ditarik dari barat daya menuju timur laut menunjukkan bahwa distribusi Δ CFS tidak identik dengan pola pada penampang horizontal. Orientasi penampang miring ini memotong heterogenitas medan tegangan tiga dimensi, sehingga menghasilkan variasi Δ CFS positif (akumulasi tegangan; ditampilkan dalam gradasi merah–kuning) dan Δ CFS negatif (pelepasan tegangan; gradasi biru) dengan distribusi yang lebih kompleks. Perbedaan pola ini terutama dipengaruhi oleh geometri bidang sesar, kedalaman sumber, dan asumsi elastisitas medium. Dengan demikian, penampang horizontal hanya memberikan gambaran global distribusi tegangan di permukaan, sedangkan penampang diagonal barat daya–timur laut dapat mengungkap dinamika interaksi antar-segmen sesar serta potensi transfer tegangan yang tidak sepenuhnya teridentifikasi pada tampilan datar. Temuan ini sejalan dengan (King et al., 1994) yang menekankan sensitivitas Δ CFS terhadap orientasi bidang analisis, serta (Stein, 1999) yang menunjukkan bahwa interpretasi hasil perhitungan dapat berbeda signifikan jika bidang potong tidak sejajar dengan geometri sesar utama.

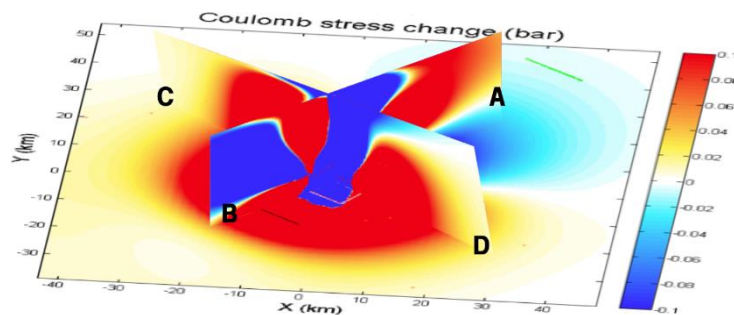
Pada Gambar 7b, penampang C–D (barat laut–tenggara) memperlihatkan dominasi Δ CFS positif yang membentuk lobus miring ke arah tenggara–barat laut, sedangkan zona Δ CFS negatif berada di bagian tengah dan diapit oleh lobus positif di kedua sisi. Distribusi aftershock dari katalog (BMKG, 2024) dan (USGS, 2023) menunjukkan konsentrasi kejadian yang lebih dominan pada lobus Δ CFS positif, meskipun beberapa aktivitas susulan juga terekam di zona Δ CFS negatif. Hal ini konsisten dengan hasil (Sukrungsri & al., 2024) yang melaporkan bahwa penampang vertikal atau miring lebih efektif dibandingkan penampang horizontal dalam menyingkap hubungan spasial antara akumulasi tegangan dan sebaran gempa susulan.



Gambar 8. Visual 3D Penampang A-B (a) dan C-D (b)

Gambar 9 memperlihatkan gabungan dua penampang, yaitu A–B dengan orientasi barat daya–timur laut dan C–D dengan orientasi barat laut–tenggara. Kedua penampang ini menyingkap distribusi Δ CFS secara tiga dimensi, yang memperlihatkan pola konsentrasi tegangan lebih kompleks dibandingkan penampang horizontal. Teridentifikasi beberapa lobus Δ CFS positif (akumulasi tegangan) yang dominan pada arah barat laut–tenggara, sedangkan zona Δ CFS negatif (pelepasan tegangan) lebih berkembang ke arah utara–timur.

Secara keseluruhan, konfigurasi ini memperlihatkan empat lobus Δ CFS positif dan empat lobus Δ CFS negatif dengan orientasi berbeda, yang mencerminkan heterogenitas transfer tegangan antar-segmen. Pola semacam ini konsisten dengan temuan (Toda et al., 1998) yang menunjukkan bahwa distribusi tegangan statis pascagempa sering kali membentuk lobus kompleks akibat interaksi multi-sesar. (Toda et al., 1998) juga melaporkan bahwa aftershock cenderung terkonsentrasi di zona Δ CFS positif, meskipun aktivitas juga dapat muncul di area negatif akibat heterogenitas lokal.



Gambar 9. Visual 3D Penampang Keseluruhan

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis perubahan tegangan Coulomb akibat gempa bermagnitudo 6,1 Mw di Papua pada 5 Mei 2024 untuk mengevaluasi potensi gempa susulan dan transfer tegangan ke sesar-sesar sekitarnya. Hasil pemodelan 2D menunjukkan adanya zona peningkatan tegangan yang memiliki keterkaitan spasial dengan lokasi gempa besar sebelumnya (1994 dan 1998). Analisis 3D melalui penampang vertikal mengungkap bahwa akumulasi tegangan terkonsentrasi pada kedalaman dangkal hingga menengah (0–12 km), yang bertepatan dengan distribusi gempa susulan tercatat, sehingga menguatkan validitas model. Selain itu, transfer tegangan signifikan terjadi pada segmen III Sesar Seram tipe strike-slip dan segmen II–III Sesar Bobot, yang menandakan area dengan potensi pemicu gempa lebih tinggi. Secara praktis, temuan ini berimplikasi pada upaya mitigasi bencana dengan menyoroti zona yang memerlukan prioritas pemantauan seismik. Batasan penelitian ini terletak pada asumsi homogenitas

elastis medium dan parameter sumber gempa yang disederhanakan, sehingga hasil perlu ditinjau dengan pendekatan multiparameter pada studi berikutnya. Meskipun demikian, penelitian ini menegaskan peran analisis Coulomb stress sebagai alat penting dalam memahami dinamika tegangan pasca-gempa dan kontribusinya terhadap penilaian bahaya seismik di wilayah aktif tektonik.

5. REFERENSI

- Azhar, I. (2017). Analisis Perubahan Tegangan Statik Coulomb (Δcfs) Gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016. *Jurnal Geofisika*, 15(2), 51–58.
- BMKG. (2024). *Gempabumi M 6.1 di Tenggara Manokwari Selatan, Papua Barat, Tidak Berpotensi Tsunami*.
- Cressie, N. A. C. (1993). *Statistics for Spatial Data* (R. Edition (ed.)). John Wiley & Sons.
- Freed, A. M. (2005). Earthquake triggering by static, dynamic, and postseismic stress transfer. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*.
- Hall, R. (2002). Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20(4), 353–431.
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press.
- Janah, A. (2016). *Analisis Seismisitas dan Percepatan Getaran Tanah Maksimum di Wilayah Papua dan Sekitarnya Menggunakan Metode Gutenberg-Richter*. Universitas Negeri Semarang.
- King, G. C. P., Stein, R. S., & Lin, J. (1994). Static stress changes and the triggering of earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(3), 935–953.
- Lubis, L. (2023). Analisis Perubahan Coulomb Stress Akibat Gempa Bumi Nias Selatan Mw 6.9 Tanggal 14 Maret 2022. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 6(1), 8–15.
- Parsons, T., Stein, R. S., Simpson, R. W., & Reasenber, P. A. (1999). Stress sensitivity of fault seismicity: A comparison between limited-offset oblique and major strike-slip faults. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 104, 20183–20202.
- Puspito, N. T., & Shimazaki, K. (1995). Mantle structure and seismotectonics of the Sunda and Banda arcs. *Tectonophysics*, 251(1–4), 215–228.
- Stein, R. S. (1999). The role of stress in earthquake triggering. *Nature*, 402(6762), 605–609.
- Sukrungsri, C., & al., et. (2024). Coulomb stress change on the Mae Chan Fault System, northern Thailand, caused by the 2023 Mw 6.1 earthquake in Laos. *Journal of Asian Earth Sciences*, 259, 105891.
- Toda, S., Stein, R. S., & Reasenber, P. A. (1998). Stressing of faults by the 1995 Kobe, Japan, earthquake: a comparison of methods. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103(B10), 24543–24565.
- Umar, M. (2016). *Identifikasi Sesar Aktif Daerah Kepala Burung, Papua Berdasarkan Data Seismisitas dan Mekanisme Fokus*. Universitas Gadjah Mada.
- USGS. (2023). *Earthquake Catalog*. United States Geological Survey.
- Van Bemmelen, R. W. (1949). *The Geology of Indonesia*. Government Printing Office.
- Wells, D. L., & Coppersmith, K. J. (1994). New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(4), 974–1002.