

# *Coulomb Stress Change of Mw 7.5 Palu-Donggala Earthquake, Sulawesi (28 September 2018)*

Perubahan *Coulomb Stress* Gempabumi Palu-Donggala, Sulawesi Mw 7.5 (28 September 2018)

Adhi Wibowo<sup>1\*</sup>, Pepen Supendi<sup>2</sup>, Andri Dian Nugraha<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Lampung, Indonesia

<sup>2</sup>Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Bandung, Indonesia

<sup>3</sup>Geofisika Global, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia

\*Email: adhi.wibowo@bkmkg.go.id

Submit: 2020-06-14; Revised: 2020-07-29; Accepted: 2020-08-14

**Abstract:** The Mw 7.5 Palu earthquake that occurred in Palu-Central Sulawesi, Indonesia, on September 28, 2018, accompanied by the tsunami and liquefaction caused casualties and building damage in the city of Palu and its surroundings. One month later, a series of earthquakes swarm occurred in Mamasa, West Sulawesi. In this study, coulomb stress were calculated using a half-space elastic model in a square plane which is assumed to be homogeneous isotropy to analyze whether there is a relationship between earthquakes that occur in Palu and earthquakes swarm in the coulomb stress field changes. The results show that the area that experienced a stress reduction predominantly towards the north and south of the mainshock hypocenter, while the aftershocks were at an increase in coulomb stress changes, so that the Mamasa earthquakes swarm probably have been triggered by the Palu earthquake.

**Keywords:** Earthquake, coulomb stress change

**Abstrak:** Gempabumi yang terjadi di Palu-Sulawesi Tengah, Indonesia, pada tanggal 28 September 2018 dengan magnitudo Mw. 7.5 yang disertai tsunami dan likuifaksi telah menyebabkan korban jiwa dan kerusakan bangunan di kota Palu dan sekitarnya. Satu bulan kemudian terjadi serangkaian gempabumi swarm di daerah Mamasa, Sulawesi Barat. Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan coulomb stress dengan menggunakan model elastik setengah ruang pada bidang persegi yang diasumsikan homogen isotropi untuk menganalisis apakah ada keterkaitan antara gempabumi yang terjadi di Palu dengan gempabumi swarm di Mamasa dalam medan perubahan coulomb stress. Hasilnya menunjukkan bahwa daerah yang mengalami penurunan stress dominan kearah utara dan selatan dari hiposenter gempa utama, sementara gempabumi susulannya berada pada peningkatan perubahan coulomb stress, sehingga gempabumi swarm Mamasa kemungkinan terjadi akibat terpicu oleh gempabumi Palu.

**Kata kunci:** Gempabumi, perubahan coulomb stress

## 1 PENDAHULUAN

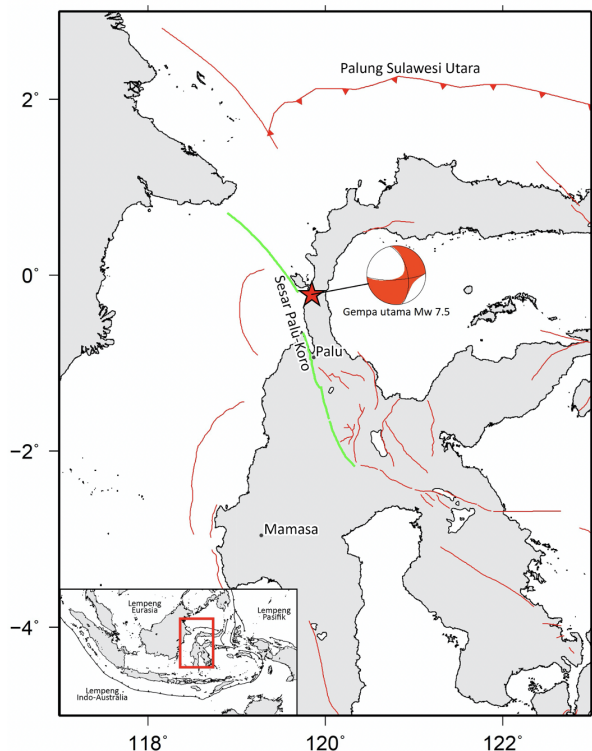
Berdasarkan katalog Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), gempabumi Palu terjadi pada pukul

17:02:44 WIB, posisi episenter terletak pada 0.18° LS; 119.85° BT dengan kedalaman 10 km (Gambar 1). Gempabumi ini disebabkan oleh sesar strike slip sesar Palu Koro (Bao dkk., 2019; Socquet dkk., 2019). Sampai tanggal 22 November 2018, BMKG mencatat 554 gempabumi susulan. Menariknya satu bulan setelah gempabumi ini, terjadi 556 gempabumi swarm di wilayah Mamasa, Sulawesi Barat, yang terletak sekitar 230 km sebelah selatan dari Kota Palu. Namun, sumber dari gempabumi swarm ini masih menjadi pertanyaan, apakah karena aktivitas vulkanik atau karena perubahan coulomb stress akibat gempabumi Palu. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung coulomb stress dan menganalisis apakah ada keterkaitan antara gempabumi yang terjadi di Palu dengan gempabumi swarm di mamasa dalam medan perubahan coulomb stress yang dihasilkan.

Meskipun informasi geometri sesar dari gempabumi dapat dipecahkan oleh para ahli seismologi, geodesi, dan geologi, namun gambaran lengkap mengenai mekanika gempabumi tetap sulit dipahami. Kalkulasi perubahan stress statik oleh gempabumi utama yang mempengaruhi gempabumi berikutnya disajikan pada awal tahun 70-an, tetapi tidak diadopsi oleh komunitas ilmiah dalam kajian bahaya gempabumi (*seismic hazard assessment*). Perubahan sekitar 0.1 Mpa (1 bar) yang hanya sebagian kecil dari penurunan stress selama gempabumi, dianggap tidak signifikan, sedangkan hasil pada saat itu didominasi oleh hasil secara kualitatif. Akhir-akhir ini, banyak penelitian yang dilakukan untuk mempelajari stress statik. Model yang banyak digunakan untuk menjelaskan interaksi sesar adalah perubahan coulomb stress (*Coulomb stress change*). Ketika sesar menghasilkan gempabumi, sesar ini akan mendorong perubahan stress pada sesar di sekitarnya. Untuk memperkirakan perubahan stress ini (*Coulomb stress change*), digunakan kalkulasi menggunakan model elastik setengah ruang (*elastic half space*) pada bidang persegi yang diasumsikan homogen isotropi (King dkk., 1994).

## 2 DATA

Data parameter gempabumi susulan (*aftershock*) diperoleh dari penelitian sebelumnya (Supendi dkk., 2019). Sedan-



**Gambar 1.** Lokasi penelitian di pulau Sulawesi, inset peta menunjukkan wilayah Indonesia. Mainshock gempa Palu dari BMKG ditandai dengan bintang merah, mekanisme fokus dari Global CMT yang digunakan dalam perhitungan *coulomb stress*. Garis hijau adalah Sesar Palu-Koro dan garis merah adalah sesar aktif lain di Sulawesi yang diperoleh dari Irsyam dkk. (2017).

gkan data parameter bidang sesar ( $strike = 348^\circ$ ,  $dip = 57^\circ$ ,  $danrake = -15^\circ$ ) diperoleh dari katalog Global CMT (Gambar 1) untuk menentukan panjang dan lebar sesar dengan menggunakan perhitungan Wells dan Coppersmith (1994). Proses estimasi tersebut memanfaatkan program Coulomb 3.3 (Toda dkk., 2011). Dalam estimasi ini parameter input yang dipakai adalah poisson ratio ( $\nu = 0.25$ ); modulus young  $\epsilon = 800000$  bar; rigiditas ( $\mu = 0.4$ ).

### 3 METODE

Dengan mengasumsikan model friksi coulomb sederhana (*simple coulomb friction model*) untuk gempabumi, slip potensial akan meningkat atau menurun pada *coulomb failure stress* (King dkk., 1994), yang didefinisikan sebagai:

$$\Delta CFF = \Delta\tau + \mu_s \Delta\sigma_e \quad (1)$$

Dimana  $\Delta CFF$  adalah *Coulomb failure*,  $\Delta\tau$  adalah *shear stress*,  $\Delta\sigma_e$  adalah penjumlahan normal stress dan tekanan pori fluida (P), dan  $\mu_s$  adalah rigiditas. *Normal stress* bernilai positif apabila sesar tidak mengalami klem dan bernilai negatif untuk sesar mengalami klem, sedangkan *shear stress* bernilai positif untuk pergerakan searah dengan slip.

Nilai P merubah normal stress efektif sepanjang bidang sesar. Ketika stress batuan berubah dengan cepat selanjutnya P berubah dalam aliran jalar. Nilai P dapat dihubungkan dengan koefisien Skemtons B, dimana nilainya bervariasi antara 0 hingga 1. Rigiditas efektif dalam penelitian *stress coseismic* bervariasi antara 0.01 hingga 0.75, dengan nilai rata-rata  $\mu = 0.4$ .  $\Delta CFF$  diselesaikan pada bidang sesar pertama dan dalam arah slip pada bidang sesar kedua atau sesar penerima (*receiver fault*).

Dimana rigiditas efektif dinyatakan dengan  $\mu' = \mu(1 - \beta)$ . Selanjutnya jika  $\Delta CFF > 0$  potensial slip akan meningkat dan jika  $\Delta CFF < 0$  potensial slip akan berkurang. Kalkulasi  $\Delta CFF$  yang disebabkan oleh gempabumi bergantung kepada geometri dan distribusi slip, asumsi magnitudo, orientasi stress regional, dan nilai dari asumsi rigiditas. Rasio dari amplitudo stress regional terhadap *stress drop* gempabumi hanya berdampak signifikan di dekat sesar. Ketidakpastian  $\Delta CFF$  F dalam beberapa kejadian selalu didominasi oleh ketidakpastian distribusi slip. Pada prinsipnya, jika  $\Delta CFF > 0$  (bernilai positif), artinya sesar pertama dapat mendorong sesar kedua mengalami peningkatan stress, peluang terjadi failure pada sesar kedua lebih besar. Sedangkan jika  $\Delta CFF < 0$  (bernilai negatif), artinya sesar pertama mendorong sesar kedua mengalami relaksasi sehingga peluang terjadinya failure semakin kecil, daerah ini sering disebut dengan daerah *stress shadow*.

Dimana rigiditas efektif dinyatakan dengan  $\mu' = \mu(1 - \beta)$ . Selanjutnya jika  $\Delta CFF > 0$  potensial slip akan meningkat dan jika  $\Delta CFF < 0$  potensial slip akan berkurang. Kalkulasi  $\Delta CFF$  yang disebabkan oleh gempabumi bergantung kepada geometri dan distribusi slip, asumsi magnitudo, orientasi stress regional, dan nilai dari asumsi rigiditas. Rasio dari amplitudo stress regional terhadap *stress drop* gempabumi hanya berdampak signifikan di dekat sesar. Ketidakpastian  $\Delta CFF$  F dalam beberapa kejadian selalu didominasi oleh ketidakpastian distribusi slip. Pada prinsipnya, jika  $\Delta CFF > 0$  (bernilai positif), artinya sesar pertama dapat mendorong sesar kedua mengalami peningkatan stress, peluang terjadi failure pada sesar kedua lebih besar. Sedangkan jika  $\Delta CFF < 0$  (bernilai negatif), artinya sesar pertama mendorong sesar kedua mengalami relaksasi sehingga peluang terjadinya failure semakin kecil, daerah ini sering disebut dengan daerah *stress shadow*.

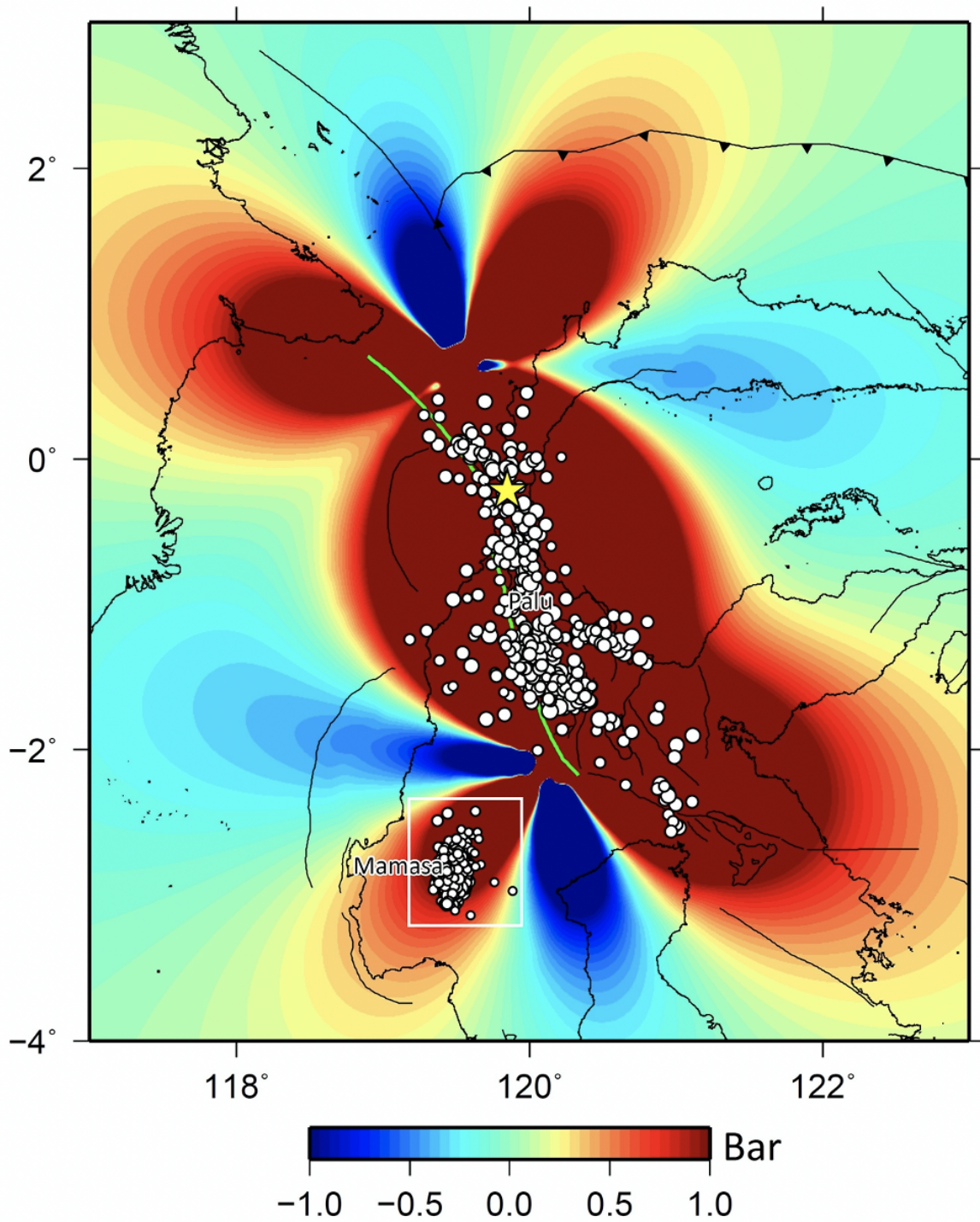
### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan coulomb stress pada gempabumi Palu (Gambar 2) menunjukkan bahwa daerah yang mengalami peningkatan stress dominan kearah barat laut dan tenggara dari episenter gempa utama yang ditandai dengan warna merah. Daerah yang mengalami penurunan stress dominan kearah utara dan selatan dari hiposenter yang ditandai dengan warna biru. Daerah yang mengalami peningkatan stress berada pada area gempabumi susulan hingga ke daerah Mamasa di sebelah barat daya dari gempa utama.

$\Delta CFF$  (*Coulomb Failure Function*) diinterpretasikan bisa memicu (triggering) terjadinya gempabumi saat  $\Delta CFF > 0$ . Meskipun perubahan  $\Delta CFF$  menyebabkan gempa lebih kecil daripada akumulasi stress, banyak aktivitas seismik menunjukkan dengan kenaikan nilai coulomb stress lebih dari 0.01 MPa sudah cukup untuk membangkitkan sebuah gempa (Harris, 1998). Selama penyelidikan interaksi gempabumi yang dapat memicu gempabumi lainnya, bisa kita definisikan orientasi bidang sesar optimal dengan nilai perubahan stress yang lebih besar daripada orientasi sesar pada tempat yang sama jika mekanisme fokus gempabumi susulan belum diketahui. Ini bisa menjelaskan distribusi gempabumi susulan dan perkiraan distribusi sebuah event gempabumi dimasa yang akan datang (King dkk., 1994; Stein dkk., 1983). Pada area gempabumi swarm Mamasa memiliki CFF yang tinggi (mendekati 1 Bar), sehingga kemungkinan gempabumi swam ini terjadi akibat terpicu oleh gempabumi Palu.

### 5 KESIMPULAN

Perubahan peningkatan coulomb stress (*coulomb stress change*) yang bernilai positif dapat mentrigger atau memicu terjadinya gempabumi. Perhitungan perubahan coulomb



**Gambar 2.** Perubahan coulomb stress pada gempa bumi Palu Mw 7.5 (28 September 2019). Coulomb stress warna merah menunjukkan perubahan coulomb stress bernilai positif dan warna biru menunjukkan perubahan coulomb stress bernilai negatif. Bintang warna kuning episenter gempa bumi utama dan lingkaran putih menunjukkan episenter gempa bumi susulan. Lingkaran putih dalam kotak putih merupakan gempa bumi swam Mamasa. Garis hijau adalah Sesar Palu-Koro yang diperoleh dari Irsyam dkk. (2017). Nilai perubahan coulomb stress dalam “bar”.

stress yang bernilai positif dari gempa bumi Palu memicu kejadian gempa bumi susulan dan gempa bumi swam Mamasa. Daerah yang memiliki peningkatan perubahan coulomb stress dapat dijadikan sebagai daerah pemetaan rawan bencana untuk gempa bumi di masa yang akan datang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bao, H., Ampuero, J-P., Meng, L., Fielding, E.J., Liang, C., Milliner, C.W.D., Fen, T., Huang, H. 2019. Early and persistent supershear rupture of the 2018 magnitude 7.5 Palu earthquake. *Nature Geoscience*, 12:200–205. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0297-z>.
- Socquet, A., Hollingsworth, J., Pathier, E., Bouchon, M. 2019. Evidence of supershear during the 2018 magnitude 7.5 Palu earthquake from space geodesy, *Nat. Geosci*, 12:192–199. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0296-0>.
- Harris, R.A. 1998. Introduction to special section: Stress triggers, stress shadows, and implications for seismic hazard. *J. Geophys. Res.*, 1998, 103 (B10): 24347-24358.
- Irsyam, M., Widiyantoro, S., Natawidjaya, D.H., Meilano, I., Rudyanto, A., Hidayati, S., Triyoso, W., Hanifa, N.R., Djarwadi, D., Faizal, L., Sunarjito. 2017. Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- King, G., Stein, R., dan Lin, J. 1994. Static stress changes and the triggering of earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 84, p. 935-953.
- Stein, R.S., Lisowski, M. 1983. The 1979 Homestead Valley earthquake sequence, California: control of aftershocks and post-seismic deformation. *J. Geophys. Res.*, 1983, 88 (B8): 6477-6490.
- Supendi, P., Nugraha, A.D., Widiyantoro, S., Abdullah, C.I., Puspito, N.T., Palgunadi, K.H., Daryono, D., Wiyono, S.H 2019. Hypocenter relocation of the aftershocks of the Mw 7.5 Palu earthquake (September 28, 2018) and swarm earthquakes of Mamasa, Sulawesi, Indonesia, using the BMKG network data. *Geosci. Lett.* 6, 18, <https://doi.org/10.1186/s40562-019-0148-9>
- Wells, D.L., dan 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*, v. 84, p. 974-1002.