

IDENTIFIKASI POLA DISTRIBUSI STRESS COLOUMB PADA GEMPABUMI 2 AGUSTUS 2019 DI TUGU HILIR, INDONESIA

Mala H.U¹, Mohamad J.N², Bernandus², Putra V.G.V³

¹Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Pattimura, Jln. Ir.M. Putuhena, Ambon, 97233, Indonesia

²Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Jln. Adisucipto-Penfui, Kupang, 85228, Indonesia

³Jurusan Teknik Tekstil, Politeknik STTT Bandung, Bandung, 40272, Indonesia
email: ning_she@staf.undana.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola distribusi perubahan stress coulomb yang dapat digunakan untuk melihat gempabumi susulan yang terjadi dalam jarak dan dalam rentang waktu yang dekat. Penelitian ini menggunakan data gempabumi yang terjadi pada 2 agustus 2019 dengan Mw 6,9 di Tugu Hilir, Indonesia, pada koordinat 104,825 BT dan 7,267 LS dengan kedalaman 52,8 km (USGS) memiliki mekanisme fokus (Strike, dip, rake) adalah (201°, 49°, 54°). Data ini kemudian diolah dengan menggunakan software coulomb 3.3 pada matlab. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa gempabumi ini memiliki peningkatan stress coulomb ($\leq 1,0$ bar) berarah timurlaut-baratdaya dan merupakan daerah gempabumi susulan terjadi. Sedangkan daerah penurunan stress coulomb ($\leq -1,0$ bar) berarah barat-laut tenggara.

Kata kunci: gempabumi, perubahan stress coulomb, coulomb3.3, USGS, Tugu Hilir.

Abstract

This research aims to Identified the distribution coulomb stress changed that can be used to see the subsequent earthquake that occurs within a short distance and time span. This research uses earthquake data on 2 August 2019 with Mw 6.9 in Tugu Hilir, Indonesia, at 104.825°E and 7.267°S, with 52.8 km depth (USGS). The focus mechanism (strike, dip, rake) is (201°, 49°, 54°). This data processed by using Coulomb 3.3 software in MATLAB. The result found that this main earthquake had an increase coulomb stress changed (≤ 1.0 bar) in the northeast-southwest and was a subsequent earthquake area. Whereas the area of decrease of coulomb stress changed (≤ -1.0 bar) in the northwest-southeast.

Keywords: earthquake, coulomb stress changed, coulomb 3.3, USGS, Tugu Hilir

PENDAHULUAN

Gempabumi yang terjadi pada 2 Agustus 2019 dengan Mw 6,9 di Tugu Hilir, Indonesia, pada koordinat 104,825 BT dan 7,267 LS dengan kedalaman 52,8 km (USGS) memiliki mekanisme fokus (Strike, dip, rake) adalah (201°, 49°, 54°). Gempabumi ini merupakan gempabumi terbesar yang terjadi pada bulan Agustus 2019 dan dapat dirasakan oleh sebagian masyarakat Jawa dan Sumatera.

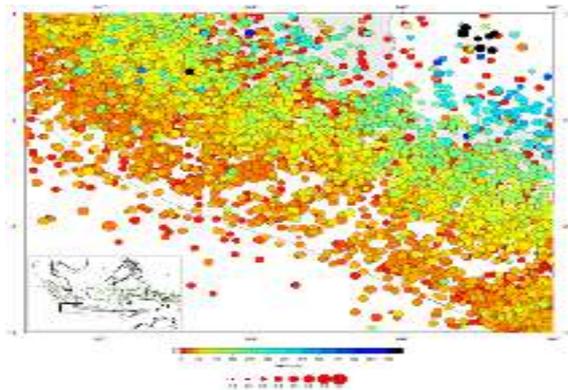
United States Geological Survey (USGS) [1], menjelaskan bahwa penyebab terjadinya gempabumi ini berasal dari deformasi batuan dalam Lempeng Indo-Australia yang memiliki tipe sesar mendatar sedikit menyimpang ke kiri (*left lateral strike-slip*) sebagai akibat pergerakan lempeng Indo-

Australia yang bergerak dengan kecepatan sekitar 60 mm/tahun. Meskipun berlangsung lambat dan tidak dapat dirasakan, namun suatu ketika terjadi akumulasi energy yang tidak dapat di tahan oleh batuan yang akhirnya patah dan dikenal sebagai. Gempabumi tipe ini jika terjadi pada kedalaman dangkal dapat berpotensi sangat [2].

Daerah ini merupakan daerah dengan tingkat seismisitas sangat tinggi (Gambar 1). Hal ini dapat dilihat dengan sering terjadinya gempabumi yang menurut data ISC terjadi sebanyak 7.468 kejadian gempabumi baik besar maupun kecil dalam kurun waktu 1965-Agustus 2019. Kejadian gempabumi besar seringkali menimbulkan kerusakan atau

bencana alam yang cukup mengganggu kehidupan manusia, seperti 2 gempabumi yang terjadi pada tahun 1933 dan 1943, masing-masing dengan kekuatan 7,6 Mw dan 7,1 Mw. Gempa dengan kekuatan 7,8 Mw pada Juni 1994, 7,7 Mw pada Juli 2006 yang menghasilkan tsunami serta gempa berkekuatan 7,5 Mw pada 28 Agustus 2007.

Jika dilihat kejadian gempabumi yang terjadi memiliki keterkaitan satu kejadian dengan kejadian lainnya. Hal ini biasa dilihat ketika suatu gempabumi besar terjadi maka dimungkinkan untuk membangkitkan gempabumi susulan yang mungkin terjadi setelah gempabumi besar. Keterkaitan antara gempabumi utama dan gempabumi susulan dapat di teliti dengan pola distribusi perubahan coulomb stress dari gempabumi utama tersebut.



Gambar 1. Keadaan seismisitas daerah penelitian

Penelitian tentang perubahan coulomb stress pada gempabumi besar telah banyak dilakukan untuk melihat pengaruh penjalaran energi yang dihasilkan untuk dapat memprediksi gempabumi susulan [3,4,5,6]. Mereka mendapatkan bahwa gempabumi utama yang cukup besar memiliki distribusi perubahan coulomb stress yang dapat digunakan untuk melihat kemungkinan gempabumi susulan terjadi.

Perubahan Coulomb Stress

Gempabumi akibat terjadinya patahan disuatu tempat dapat mengakibatkan perubahan stress geser pada daerah sekitarnya yang bergantung pada posisi, geometri dan slip, serta *rake*. Pola perubahan coulomb stress dapat diasumsikan menggunakan model elastik

berbentuk setengah bola (dengan menganggap bahwa bumi berbentuk bola sempurna) pada bidang persegi [7]:

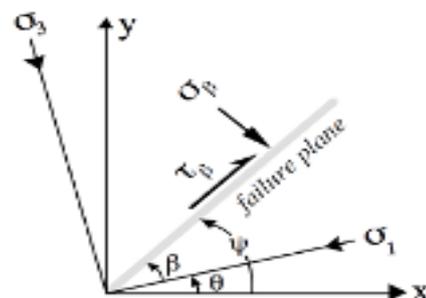
$$\sigma_f = \tau_\beta - \mu(\sigma_\beta - P) \quad (1)$$

Dengan P merupakan tekanan pori (bar) yang berhubungan dengan perubahan stress, B adalah koefisien *Skeptom* yang bernilai antara 0 sampai 1, μ adalah rata-rata koefisien friksi bernilai 0,4 dan σ_f adalah perubahan coulomb stress yang disebabkan oleh sebuah getaran utama.

Asumsi sederhana untuk efek tekanan pori terhadap perubahan coulomb stress [8], yakni:

$$\sigma_f = \tau_\beta + \mu'\sigma_\beta \quad (2)$$

Dimana τ_β adalah perubahan *shear stress* pada bidang sesar yang diberikan (positif pada arah slip sesar), σ_β adalah perubahan *stress* sesar normal dan $\mu' = \mu(1 - \beta)$ adalah koefisien gesekan efektif yang secara grafik dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem koordinat untuk menghitung stress Coulomb pada bidang Patahan [8].

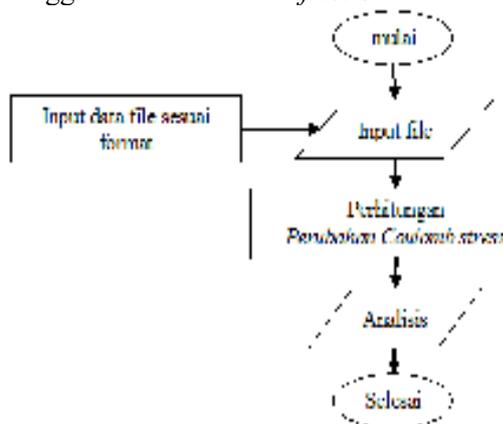
Koefisien friksi efektif dalam penelitian stress *co-seismic* bervariasi antara 0,01 hingga 0,75, dengan nilai rata-rata $\mu = 0,4$. Selanjutnya jika Perubahan stress coulomb > 0 , maka kemungkinan terjadinya gempa susulan pada sekitar bidang atahan akan meningkat, sedangkan jika perubahan stress coulomb < 0 maka kemungkinan terjadinya gempa susulan akan berkurang [9]. Perhitungan perubahan stress coulomb yang disebabkan oleh suatu gempabumi bergantung pada beberapa parameter gempabumi, seperti: geometri

patahan, magnitudo, orientasi stress regional dan nilai koefisien friksi.

Pada umumnya, korelasi terbaik dari hubungan antara perubahan coulomb stress dan distribusi gempa susulan berada pada beberapa kilometer dari pusat patahan [10]. Sedangkan Perubahan stress coulomb sebesar 0.01 MPa (0,1 bar) sebagai bentuk aktivitas seismik sudah cukup untuk membangkitkan sebuah event gempabumi [11,12,13,14,15]. Penggunaan stress coulomb dapat juga digunakan untuk menjelaskan distribusi gempabumi susulan dan perkiraan distribusi sebuah event gempabumi dimasa yang akan datang [16].

METODE

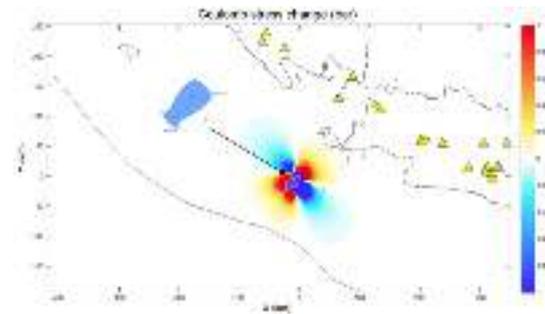
Parameter sesar yang telah didapat kemudian dihitung perubahan *stress* Coulomb dan komponen *strain*nya. Perhitungan perubahan stress coulomb dan komponen *strain*nya disusun dalam diagram alir seperti tampak Gambar 3. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan *software* Coulomb 3.3 menggunakan koefisien *friction* sebesar 0,4.



Gambar 3. Diagram alir perhitungan perubahan *stress* Coulomb dengan *Software Coulomb 3.3*.

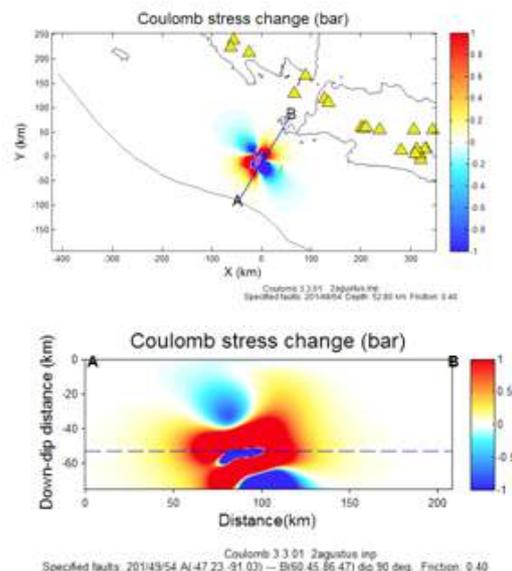
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gempabumi pada 2 Agustus 2019 memiliki magitudo Mw 6,9 dengan jenis yang terjadi di Tugu Hilir, Indonesia memiliki mekanisme fokus dan perubahan stress coulomb, seperti ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Perubahan stress coulomb gempabumi 2 agustus 2019

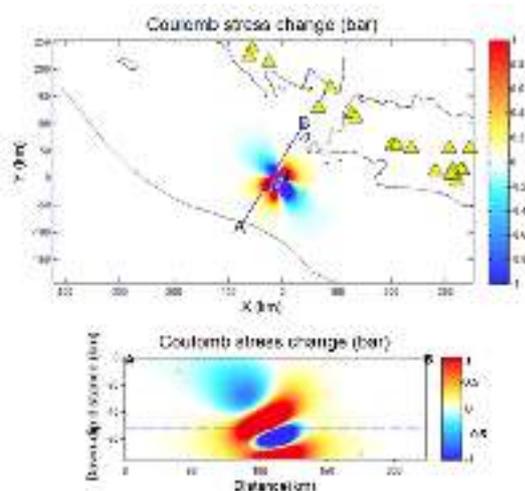
Pada Gambar 4, dapat dilihat bahwa gempabumi yang terjadi akibat adanya sesar mendatar sedikit menyimpang ke kiri (*left lateral strike-slip*), memiliki perubahan stress yang cukup besar dengan perubahan negatif berarah baratlaut-tenggara dengan harga $\leq -1,0$ bar, sedangkan perubahan positif berarah timurlaut-baratdaya yang juga berharga $\leq 1,0$ bar. Dari hasil ini kita dapat melihat bahwa terdapat keterkaitan gempabumi yang terjadi dengan besarnya perubahan stress yang dapat menghasilkan gempa susulan. Jika peta distribusi perubahan stress coulomb yang terjadi dilakukan cross section, maka akan tampak seperti Gambar 5.



Gambar 5. *Cross section* vertikal perubahan stress coulomb pada 2 agustus 2019

Gambar 5, menunjukkan bahwa pola distribusi stress coulomb secara vertikal yang memperlihatkan pada hiposenter terjadinya gempabumi dengan kedalaman > 80 km dan juga ke arah barat daya pada kedalaman 0-40 km memiliki penurunan stress coulomb yang

cukup besar sekitar 1 bar (0,1 MPa) yang dapat diartikan bahwa kemungkinan untuk terjadi gempa susulan sangat kecil di daerah tersebut. Sedangkan pada kedalaman sekitar 40-70 km menunjukkan adanya peningkatan stress coulomb yang berpeluang terjadinya gempa susulan yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kemunculan gempa susulan yang dekat dengan peningkatan stress coulomb dan durasi waktu yang cukup dekat.

Dari hasil analisa perubahan stress coulomb terhadap gempa susulan yang terjadi, hasil Gambar 6 atas, menunjukkan bahwa gempa susulan yang terjadi (lingkaran merah) setelah gempabumi utama berada pada daerah peningkatan stress coulomb sekitar 0,3 bar. Energi ini sudah cukup untuk membangkitkan gempa susulan [11,12,13,14,15]. Kedua gempa susulan ini terjadi pada rentang waktu yang dekat, yakni terjadi 5 hari (kedalaman: 10 km) dan 13 hari (kedalam 71,6 km) setelah gempa utama. Keduanya mempunyai magnitudo yang sama yakni sebesar 4,5 Mw.

Jika dilihat dari *cross section* (Gambar 6 bawah), gempabumi susulan pertama terjadi berjarak sekitar 70an km berarah barat daya dengan kedalaman 10 km dibawah permukaan bumi, meskipun secara *cross section* diperlihatkan bahwa gempabumi ini berada pada daerah relaksasi yang memungkinkan peluang terjadinya *failure* semakin kecil, namun bukan berarti tidak terjadi gempabumi, namun jumlah gempabumi yang mungkin terjadi pada daerah relaksasi cenderung akan semakinberkurang. Sedangkan, gempabumi susulan kedua berjarak sekitar 60an km dari gempabumi utama. Jika dilihat dari *cross*

section gempa ini berada pada daerah peningkatan stress coulomb (berwarna merah) yang dimungkinkan bahwa gempa tersebut ditrigger (dipicu) oleh gempabumi utama pada 2 agustus kemarin yang menyebabkan terjadinya patahan (gempabumi susulan) dan memungkinkan terjadi kembali gempabumi susulan lainnya di waktu yang akan datang.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gempa yang terjadi pada 2 Agustus 2019 memiliki perubahan stress yang cukup besar dengan perubahan negatif berarah baratlaut-tenggara dengan harga $\leq -1,0$ bar, sedangkan perubahan positif berarah timurlaut-baratdaya yang juga berharga $\leq 1,0$ bar yang memungkinkan terjadinya gempabumi susulan pada 5 hari dan 13 hari setelah gempabumi utama.

DAFTAR PUSTAKA

1. USGS.2019.<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us60004zhq/executive>, (diakses 15 Agustus 2019).
2. J. Lin, and S. R. Stein. 2004. "Stress Triggering In Thrust and Subduction Earthquakes and Stress Interaction Between The Southern San Andreas and Nearby Thrust And Strike-Slip Faults" in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 109.
3. Sianturi, H.L., Mohamad, J. N., Mala, H.U., dan Tanesib, J. 2018. The Identification of Stress Coulomb Changes in Lombok Earthquakes on August 5th and 9th, 2018. *Proceeding International Conference and Exhibiton on Sciences and Technology (ICEST)*, hal. 174-183.
4. Puspasari, F., dan Wahyudi. 2017. Distribusi Coulomb Stress Akibat Gempabumi Tektonik Selatan Pulau Jawa berdasarkan Data Gempa Tektonik 1977-2000. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 13 no. 2. Hal. 74-77.
5. Wu, X.P., Fu, Hong., Bouchon Michel, Hu, J.F., Hu, Y.L, Huang, Y., Hu, X.L., dan Xie, C.D. 2007. Complete Coulomb Failure Stress Changes and Stress Triggering of Yunnan Longling Earthquake Sequence. *Chinese Journal of Geophysics*, vol. 50, No. 4, Hal. 963-974

6. Liao, Y.L., Huang Huey-Chu. 2016. Coulomb Stress Changes and Seismicity in Central Taiwan Due to the Nantou Blind-Thrust Earthquakes in 2013. *Journal of Asian Earth Sciences* hal. 169-180.
7. Okada, Y., 1992, Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 82, 1018–1040.
8. Stein, R. S., King, G. C. P., and Lin, J., 1994, Stress Triggering of The 1994 M = 6.7 Northridge, California, Earthquake by its Predecessors, *Science*, 265, pp. 1432-1435.
9. Harris, R. A. and Simpson, R. W., 1996, In the Shadow of 1857-The effect of the Great Ft. Tejon Earthquake on Subsequent Earthquakes in southern California, *Geophys. Res. Lett.*, 23, pp.229-232.
10. Freed Andrew M. 2015. Earthquake Triggering by Static, Dynamic, and Postseismic Stress transfer. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 2015. 33:335–67
11. Stein RS, Lisowski M. 1983. The 1979 Homestead Valley earthquake sequence, California: Control of aftershocks and postseismic deformation. *J. Geophys. Res.* 88:6477–90.
12. Oppenheimer DHP, Reasenberg A, RW. 1988. Fault plane solutions for the 1984 Morgan Hill, California earthquake sequence: Evidence for the state of stress on the Calaveras fault. *J. Geophys. Res.* 93:9007–9026
13. Toda, S. S, Stein RS, Reasonberg PA, Dieterich JH, Yoshida A, 1998, Stress transferred by the 1995 Mw = 6.9 Kobe, Japan, shock: Effect on aftershocks and future earthquake probabilities. *J. Geophys. Res.* 103:24543–65
14. Anderson G, Johnson H., 1999, A new statistical test for static stress triggering: application to the 1987 Superstition Hills earthquake sequence, *J. Geophys. Res.* 104:20.153–20.168.
15. Harris, R. A., 1998, Introduction to special section: Stress triggers, stress shadows, and implications for seismic hazard, *J. Geophys. Res.*, 103, 24,347– 24,358,
16. King. C.P.G., Stein, R.S., and Lin, J., 1994, Static Stress Changes And The Triggering of Earthquakes, *Bulletin Seismological Socoety America*, Vol. 84 No. 3, pp. 935–953.