TANAH GOYANG
JURNAL GEOSAINS
e-ISSN: 3026-3263
Volume 1, Nomor 1 | Mei 2023

Evaluasi Perubahan Tegangan Coulomb dan Implikasinya Terhadap Bahaya Seismik di Provinsi Maluku

Evaluation of Couloumb Stress Changes and The Implications on Seismic Hazard in Maluku Province

Hedwig Inggrid Viorensi[1*], David P. Sahara[2], Resti Limehuwey[1]

[1] Program Studi Teknik Geofisika Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Kampus Poka Ambon

[2] Program Studi Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung, Jln. Ganesha No.10, Bandung

hedwiginggrid10@gmail.com

Diterima: 21 Februari 2023; Disetujui: 23 April 2023

DOI: 10.30598/tanahgoyang.1.1.39-51

Kata Kunci:
Gempa Bumi
Tegangan Coulomb
Provinsi Maluku

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengetahui pola perubahan tegangan coulomb (mw≥ 5,5),distribusi persebaran gempa kecil magnitudo (mw<5,5) , hubungan antara gempa-gempa besar dan implikasi terhadap bahaya seismik di wilayah provinsi Maluku. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari katalog GCMT dan diolah menggunakan software coulomb 3.3. Teknik analisis digunakan skala warna biru-merah. Diperoleh Distribusi penyebaran stress dominan berada pada wilayah laut dan ada terdistribusi juga pada bagian darat seperti Pulau Buru, Ambon, Seram dan Kairatu. Distribusi gempa magnitudo kecil berada pada wilayah stress positif dan negatif. Event gempa tahun 1983-2001 menghasilkan perubahan nilai stress yang menyebar hingga ke sekitaran pulau Buru. Sedangkan gempa yang terjadi pada bagian timur pulau Ambon tidak berkaitan dengan kejadian gempa-gempa tahun 1983-2001 dan 2002-2011. Tingkat seismisitas untuk gempa dengan magnitudo ≥ 5,5 pada wilayah penelitian termasuk dalam kategori yang rendah.

Keywords:
Earthquakes
Coulomb Stress
Province of Maluku

Abstract

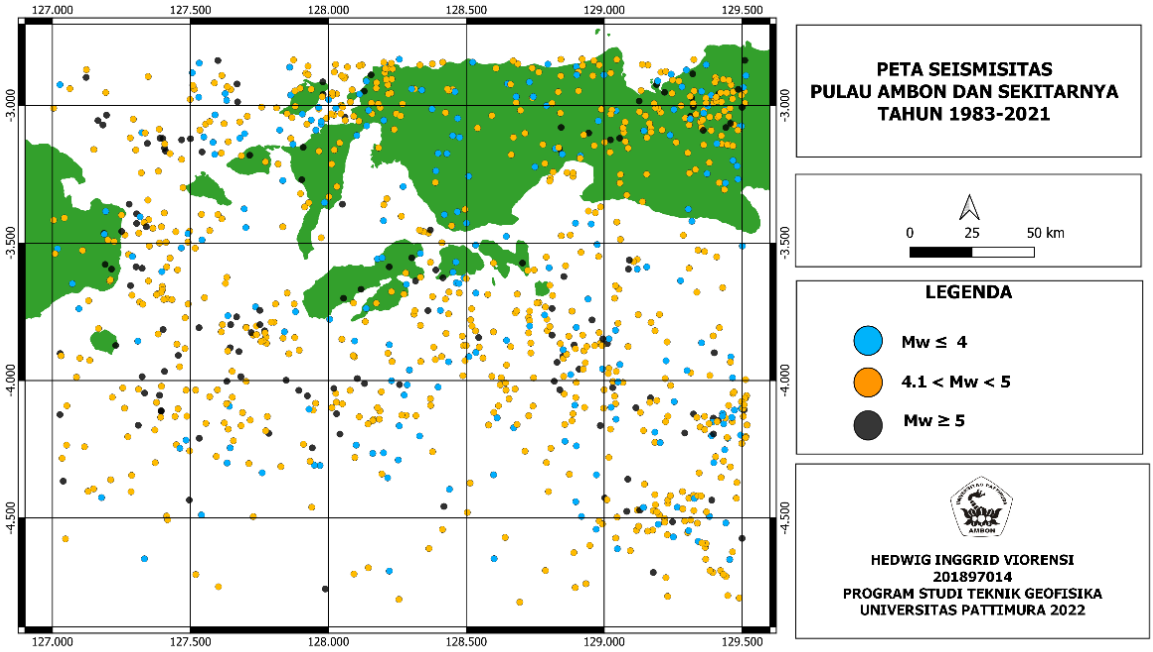
The purpose of this study is to ascertain the distribution of small magnitude earthquakes (mw≥5.5), the pattern of changes in coulomb stress (mw<5.5), the relationship between major earthquakes, and the consequences for seismic hazard in the province of Maluku.The data utilized was processed with Coulomb 3.3 software and is secondary data taken from the GCMT catalog. The blue-to red color scale is the analysis method employed.It has been discovered that the dominating stress distribution is primarily found in the sea, but it is also present on land in places like Buru Island, Ambon, Seram, and Kairatu. The distribution of small magnitude earthquakes is in the positive and negative stress areas. The 1983-2001 earthquake event resulted in changes in stress values that spread to the vicinity of Buru Island. The earthquake that struck Ambon's eastern coast, however, was unrelated to the quakes that happened in 1983-2001 and 2002-2011, respectively. For earthquakes in the research region with a magnitude ≥ 5.5, the seismicity level falls into the low category.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terletak pada pertemuan tiga lempeng besar yaitu, lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia bergerak relatif ke arah utara dan menyusup ke dalam Lempeng Eurasia, sementara Lempeng Pasifik bergerak relatif ke arah barat (Badan Geologi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2009). Akibat dari Pertemuan lempeng-lempeng tersebut menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara yang memiliki aktivitas seismik yang tinggi dan menjadi wilayah yang harus selalu siaga akan bencana.

Umumnya pergerakan lempeng relatif lambat dan tidak dirasakan. Namun, pergerakan lempeng bisa saja terkendala atau macet yang dapat saling mengunci sehingga terjadi akumulasi energi sedikit demi sedikit. Terakumulasinya energi ini yang harus diwaspadai karena ada saat dimana batuan tidak lagi mampu menahan energi sehingga terjadi pelepasan energi yang kita kenal dengan istilah gempa bumi (Permana, 2012).

Indonesia Timur merupakan wilayah tektonik yang sangat aktif (Hamilton, 1979). Salah satu bagian dari Indonesia Timur yaitu wilayah Maluku. Hal ini menunjukan bahwa Maluku juga berpotensi memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi. Pada gambar 1 memperlihatkan peta seismisitas gempa bumi dengan magnitudo ≥ 3 di wilayah Maluku mulai dari tahun 1983-2021 dengan data gempa yang diperoleh dari USGS.



Gambar 1. Peta Seismisitas Pulau Ambon dan Sekitarnya tahun 1983-2021

Subduksi busur Banda memiliki kurva yang mencapai 180° di ujung timur busur sedangkan pada bagian utara juga memiliki catatan peristiwa besar yang menyebabkan kerusakan bahkan sampai tsunami akibat gempa (Hamilton, 1979). Contohnya seperti peristiwa gempa bumi yang disusul tsunami yang melanda kota Ambon dan sekitarnya pada tahun 1674 (Pranantyo dan Cummins, 2019). Ada juga peristiwa besar lainnya yaitu gempa yang terjadi pada tanggal 26 September 2019 di timur laut kota Ambon dengan M=6,5. Peristiwa gempa tersebut menghasilkan 1.778 *event* gempa susulan (Sahara dkk,2019).

Jumlah penduduk di Maluku kini telah mencapai 1.831.880 Jiwa (Badan Pusat Statistik Repubrik Indonesia, 2020). Dengan jumlah penduduk sebanyak itu, Gempa bumi yang terjadi dapat memberi dampak yang besar. Gempa bumi sampai sekarang masih belum dapat diketahui secara pasti kapan, dimana dan seberapa besar energi yang akan dikeluarkan. Namun, masih memungkinkan dilakukan mitigasi dengan melihat distribusi *stress* yang dihasilkan oleh gempa-gempa besar. Umumnya saat gempa mengeluarkan energi yang besar energi-energi tersebut berpotensi untuk terdistribusi ke sesar lain.

Perhitungan perubahan *stress* yang diakibatkan oleh gempa bumi utama yang mempengaruhi gempa bumi berikutnya telah dilakukan sejak awal tahun 70an. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, 20 tahun belakangan ini banyak dilakukan penelitian untuk mempelajari transfer statis. Contoh model yang dapat digunakan untuk melihat interaksi antar sesar adalah perubahan tegangan *coulomb*.

Suatu sesar yang menghasilkan gempa bumi akan mendorong perubahan *stress* pada sesar di sekitarnya. Untuk memperkirakan perubahan tegangan dapat menggunakan model *elastic half space* pada bidang persegi yang diasumsikan Homogen Isotropi (Toda dkk, 2005). Dengan mengasusmsikan model friksi *coulomb* sederhana untuk gempa bumi, slip digunakan untuk memperkirakan perpindahan, kemudian perpindahan diubah menjadi regangan dan kemudian diubah lagi menjadi tegangan. Maka dari teganggan tersebut digunakan untuk menghitung *coulomb failure stress* (CFS). Tegangan *coulomb* adalah selisih antara *shear stress* (τβ) dengan *frictional strenght* (τf). (Harris,1998). Persamaannya didefinisikan sebagai berikut :

$$CFS = \tau\beta - \tau\mathrm{f} \tag{1}$$

Apabila *frictional strength* pada permukaan bidang sesar telah melampaui *shear stress* maka terjadi pecahnya batuan yang dikenal dengan gempa bumi. Pecahnya batuan tidak hanya disebabkan oleh *shear stress* tetapi juga dikombinasikan dengan *normal stress*. *Frictional strength* dirumuskan sebagai berikut (Wu dkk.,2016) :

$$\tau\mathrm{f} = \mathrm{S} - \mu(\sigma\beta - \mathrm{P}) \tag{2}$$

dengan S adalah kohesi, μ adalah koefisien gesek internal, σβ adalah *normal stress* pada bidang sesar dan P adalah tekanan Pori. Dengan mensubtitusikan 2 persamaan diatas maka bentuk persamaannya dapat berubah sebagai berikut.

$$CFS = \tau\beta - \mathrm{S} + \mu(\sigma\beta - \mathrm{P}) \tag{3}$$

Dari persamaan tersebut maka dapat diturunkan persamaan untuk memperoleh perubahan *coulomb failure stress* sebagai berikut.

$$\Delta CFS = \Delta\tau\beta + \mu(\Delta\sigma\beta + \Delta P) \tag{4}$$

dimana, ΔCFS adalah perubahan tegangan *coulomb*, Δτβ adalah *shear stress*, μ adalah koefisien gesek atau friksi, Δσβ adalah perubahan *normal stress*, dan ΔP adalah perubahan tekanan pori.

Normal stress akan bernilai positif apabila sesar tidak mengalami klem dan akan bernilai negatif untuk sesar yang mengalami klem. *Shear stress* akan positif untuk pergerakan yang searah dengan slip sesar. Perubahan tekanan pori secara umum diasumsikan sebanding dengan perubahan *normal stress* (Cocco dan Rice, 2002) dan digabungkan dengan nilai koefisien friksi efektif μ'.

$$\mu' = \mu(1 - \mathrm{B}) \tag{5}$$

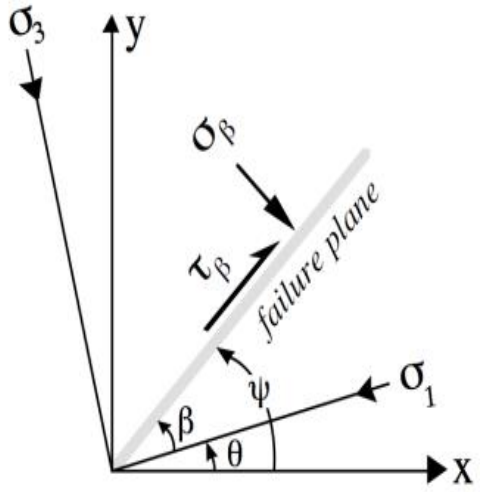
Nilai tekanan pori dapat dihubungkan dengan *stress* pada batuan dengan koefisien Skempton (B) yang bernilai antara 0 dan 1 (Skempton, 1954). Koefisien friksi efektif bernilai antara 0,01 sampai dengan 0,75

dengan koefisien gesek rata-rata adalah 0,45 (Stein, 1999). Dengan asumsi tersebut maka persamaan perubahan *Coulomb failure stress* dapat dituliskan menjadi:

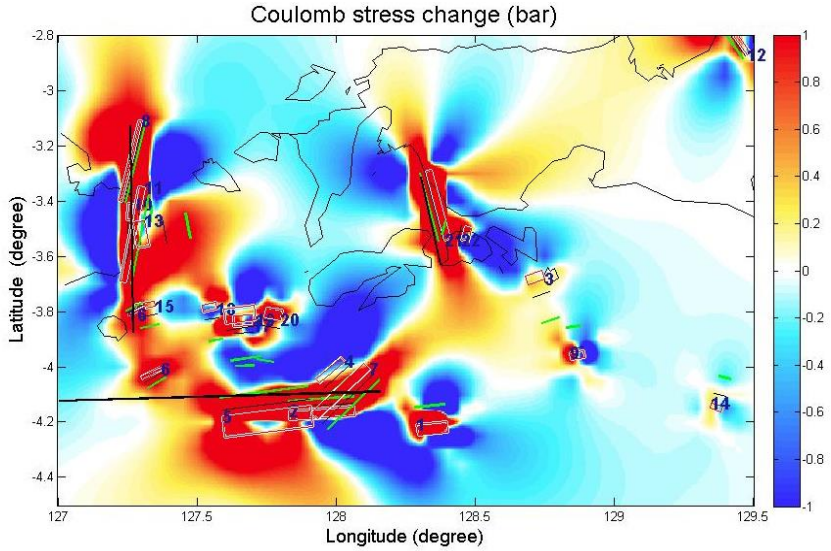
$$\Delta CFS = \Delta\tau + \mu'\Delta\sigma n \quad (6)$$

Perubahan CFS dapat diselesaikan pada bidang sesar pertama dan dalam arah slip pada sesar kedua atau sesar lainnya sebagai penerima. Ketika perubahan CFS > 0 potensial slip akan meningkat, artinya sesar pertama dapat mendorong sesar kedua untuk mengalami peningkatan *stress* yang dapat memicu terjadinya gempa. Sebaliknya Ketika perubahan CFS < 0 potensial slip akan berkurang, sesar pertama akan membuat sesar kedua mengalami relaksasi sehingga peluang terjadinya failure semakin kecil atau yang dikenal sebagai daerah *Stress Shadow*.

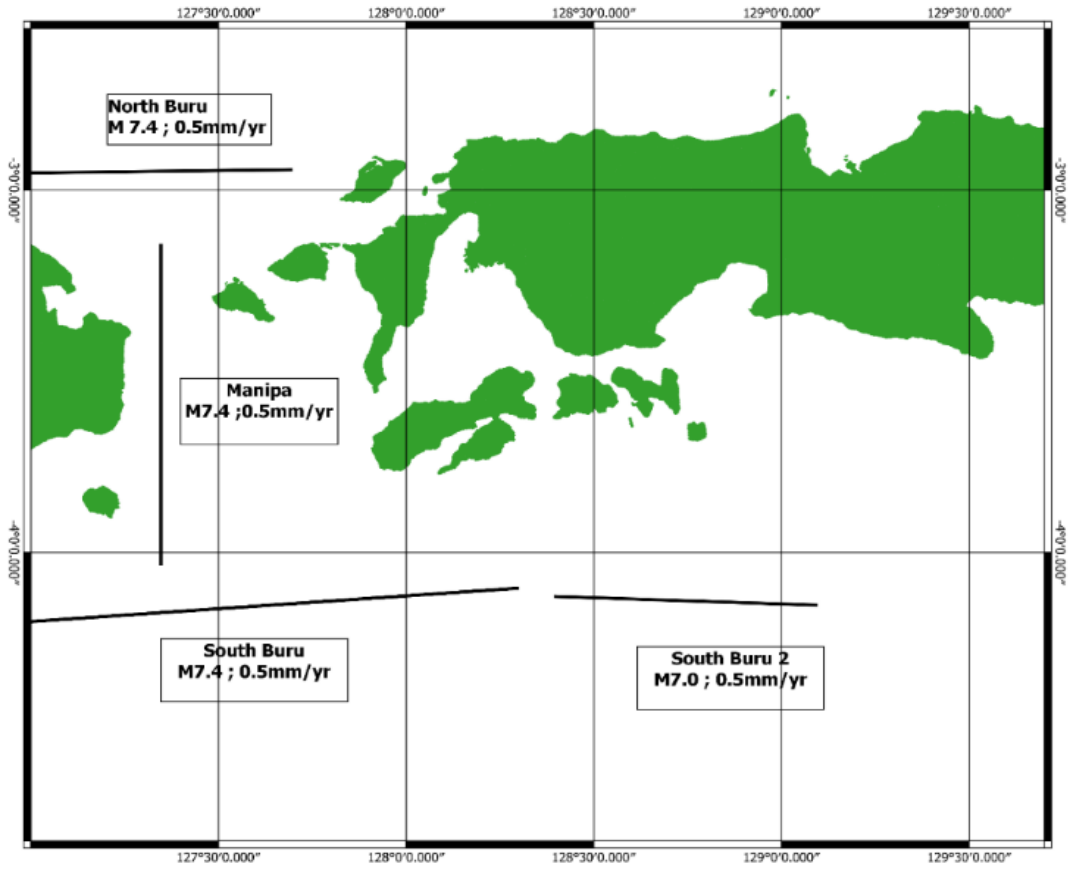
Melalui sistem koordinat sumbu *stress* pada gambar 2 ditunjukan pada bidang sesar (*failure plane*) yang dikenakan *normal stress* (σβ). Selanjutnya orientasi bidang sesar dengan sudut β membentuk σ1 sebagai *stress* utama yang besar dan σ3 sebagai *stress* utama terkecil, dengan τβ adalah *shear stress* pada bidang sesar. Kompresi dan *shear stress* menganan pada bidang sesar dianggap positif. Tanda τβ terbalik dalam perhitungan tegangan *coulomb* untuk sesar geser yang menganan pada bidang spesifik sesar. Perubahan tegangan *coulomb* dalam bidang sesar optimal dapat dihitung sebagai hasil dari slip sesar utama tempat gempa bumi susulan diperkirakan terjadi pada bidang sesar tersebut.



Gambar 2. Sistem Koordinat sumbu yang digunakan untuk perhitungan tegangan coulomb pada bidang sesar optimal



Gambar 3. Peta sesar aktif di wilayah Provinsi Maluku (PusGEN, 2017)



Gambar 4. Distribusi nilai coulomb stress di Provinsi Maluku tahun 1983-2021

Perubahan CFS menyebabkan gempa lebih kecil dari pada akumulasi *stress*. Meskipun demikian dengan kenaikan nilai *coulomb* >0,01MPa sudah cukup untuk membangkitkan sebuah *event* gempa (Harris, 1998 ; Ziv dkk., 2000). Interaksi gempa yang memicu dapat mendefinisikan orientasi bidang sesar dengan nilai perubahan *stress* lebih besar dari pada orientasi sesar ditempat yang sama jika *focal mechanism* susulannya

belum diketahui sehingga hal tersebut dapat menjelaskan distribusi gempa susulan dan prakiraan *event* gempa di masa mendatang (Stein dkk., 1983 ; King dkk., 1994).

Gempa terjadi ketika *shear stress* yang bekerja pada suatu bidang sesar lebih besar dibandingkan dengan tegangan normal dan kekuatan friksi yang mengunci *stress* dari slip (Freed, 2005). Dapat diartikan pula bahwa sesar akan mengalami runtuhan jika tegangan geser meningkat dan tegangan normal semakin menurun. Perubahan *stress* yang diakibatkan oleh gempa bumi dapat diestimasi dan dari estimasi inilah dapat dihitung seberapa perubahan nilai tegangan geser dan tegangan normal di sekitar sesar (Freed, 2005).

Bidang sesar dengan bentuk persegi dimodelkan berdasarkan persamaan *Scaling Law* yang mengatur hubungan luasan bidang sesar dengan nilai magnitudo gempa bumi. Persamaan *Scaling Law* yang digunakan pada studi ini menggunakan hasil penelitian (Wells dan Coppersmith, 1994) untuk tipe sesar naik, dengan rumusan matematis sebagai berikut:

$$\log w = -1{,}61 + 0{,}41Mw \quad (7)$$

$$\log L = -2{,}42 + 0{,}58Mw \quad (8)$$

Sedangkan untuk tipe sesar normal, rumus matematis sebagai berikut,

$$\log w = -1{,}14 + 0{,}35Mw \quad (9)$$

$$\log L = -1{,}88 + 0{,}50Mw \quad (10)$$

Dan untuk sesar mendatar, rumus matematisnya sebagai berikut,

$$\log w = -0{,}76 + 0{,}27Mw \quad (11)$$

$$\log L = -2{,}57 + 0{,}62Mw \quad (12)$$

Dengan W adalah lebar sesar, L Panjang sesar dam Mw adalah magnitudo yang akan digunakan sebagai parameter input dalam pengolahan data menggunakan *software coulomb* 3.3 Berdasarkan pertimbangan di atas, untuk mengurangi dampak yang diakibatkan oleh gempa bumi maka perlu dilakukan mitigasi. Pada penelitian ini, dilakukan analisis interaksi gempa tektonik berdasarkan pola perubahan *stress Coulomb* yang disebabkan oleh gempa-gempa dengan magnitudo besar (M ≥5,5) yang terjadi pada provinsi maluku sejak tahun 1983 - 2021 sehingga dapat dilihat bagaimana proses serta arah transfer-mentransfer energi ke sesarlainnya.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian yang menggunakan data sekunder yaitu data parameter sumber gempa bumi tahun 1983 hingga 2021 (38 tahun) yang diperoleh dari katalog *Global Centroid Moment Tensor Project* (GCMT). Lokasi penelitian berada pada wilayah Provinsi Maluku, Indonesia dengan Batasan wilayah penelitian dengan koordinat 2o- 4o LS dan $127° - 130°$ BT. Data yang diperoleh berupa parameter sumber gempa dengan batasan magnitudo ≥ 5,5 dan kedalaman ≤ 20 kilometer. Hasil data yang diperoleh yang dapat dilihat pada tabel 1. dilakukan perhitungan perubahan tegangan *coulomb* menggunakan *software coulomb* 3.3 dan disajikan dalam peta 2D.

Tabel 1. Data Parameter Sumber Gempa Bumi Tahun 1983-2021 di Wilayah Penelitian

Waktu	Mw	Lat	Lon	depth	nodal planes						jenis sesar
					1			2			
					Str	dip	rake	str	Dip	Rake	
12/03/1983	6.1	-4,21	128,29	10,8	291	37	112	84	56	74	reverse
12/03/1983	6.6	-4,16	127,83	15,7	329	32	150	86	75	62	reverse
17/09/1986	5.6	-3,68	128,75	15	250	42	15	149	80	131	strike slip
30/12/1996	6.0	-3,98	128,03	17	228	71	-16	323	75	-160	strike slip
28/08/2000	6.8	-4,18	127,59	15	329	31	116	83	62	75	reverse
01/10/2000	5.7	-4,01	127,37	15	241	76	5	150	85	166	strike slip
19/03/2001	6.5	-4,01	128,12	17	323	70	-159	226	71	-21	strike slip
28/01/2004	6.6	-3,11	127,3	16,8	98	46	-9	194	84	-136	strike slip
02/08/2005	5.6	-3,95	128,84	12	290	44	111	82	49	70	reverse
01/11/2005	5.7	-3,41	127,27	15	184	64	154	286	67	28	reverse
14/03/2006	6.7	-3,35	127,31	13	284	69	11	191	80	159	strike slip
16/09/2006	6.3	-2,87	129,48	15,6	93	15	38	325	81	102	reverse
11/01/2007	6.0	-3,47	127,31	17,4	170	46	129	301	56	57	reverse
09/07/2011	5.5	-4,13	129,35	15,1	294	38	97	106	53	85	reverse
02/05/2014	5.8	-3,78	127,35	17,8	144	45	146	259	67	50	reverse
16/01/2016	5.6	-3,81	127,25	16,2	65	84	3	335	87	174	strike slip
31/10/2017	5.8	-3,85	127,7	12,2	268	37	80	101	53	98	reverse
31/10/2017	5.6	-3,79	127,57	14,1	259	49	51	130	54	126	reverse
31/10/2017	6.1	-3,83	127,71	12	262	39	69	108	54	106	reverse
31/10/2017	5.7	-3,83	127,8	12,5	280	36	84	108	55	95	reverse
25/09/2019	6.5	-3,54	128,39	12,7	345	78	-174	253	84	-12	strike slip
26/09/2019	5.5	-3,54	128,45	12	229	40	-62	15	56	-111	normal

Peta distribusi penyebaran tegangan *coulomb* diwakili dengan skala warna merah sampai dengan biru. Dimana, pada daerah yang berwarna merah menandakan adanya peningkatan *stress* sedangkan Warna biru merupakan daerah yang mengalami penurunan *stress* atau yang dikenal dengan istilah *stress shadow*. Terdapat pula titik-titik berwarna hitam yang merupakan distribusi gempa-gempa dengan magnitudo < 5,5. Melalui titik-titik tersebut dapat menginterpretasikan apakah daerah-daerah yang berwarna merah atau adanya peningkatan *stress* dapat berkemungkinn terjadinya gempa-gempa.

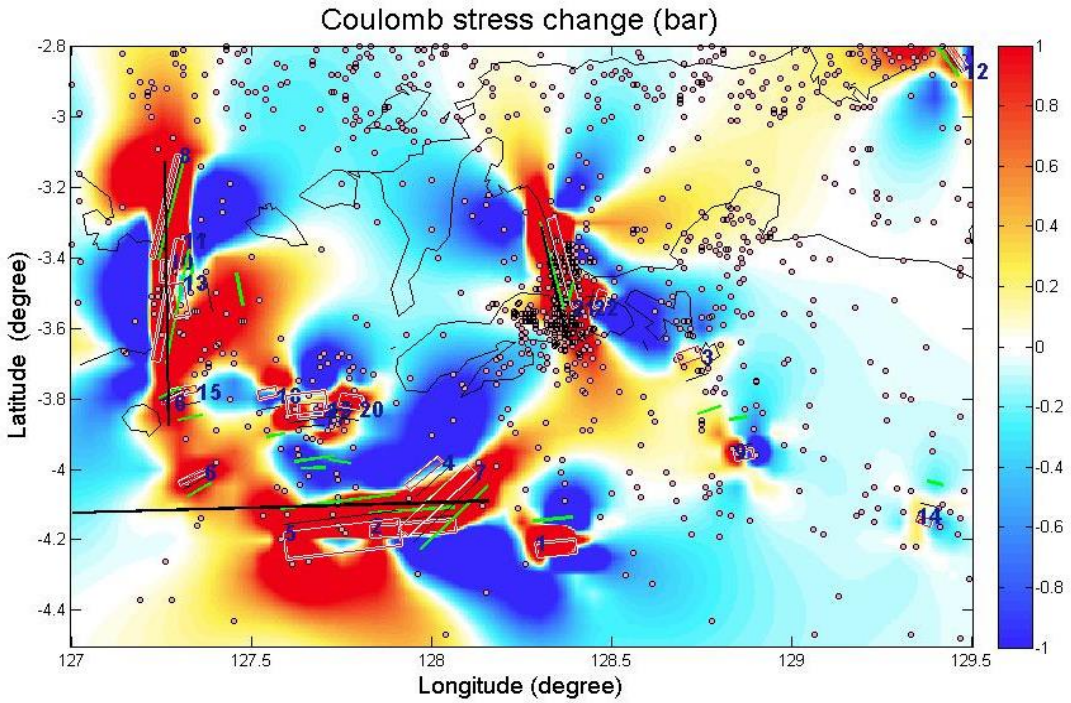
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4. merupakan peta distribusi hasil perhitungan tegangan *coulomb* yang kemudian dianalisis perubahan nilai tegangan *coulomb*. Diperoleh peningkatan nilai tegangan *coulomb* berkisar antara 0,1 sampai 1 bar dan penurunan nilai tegangan *coulomb* berkisar -0,1

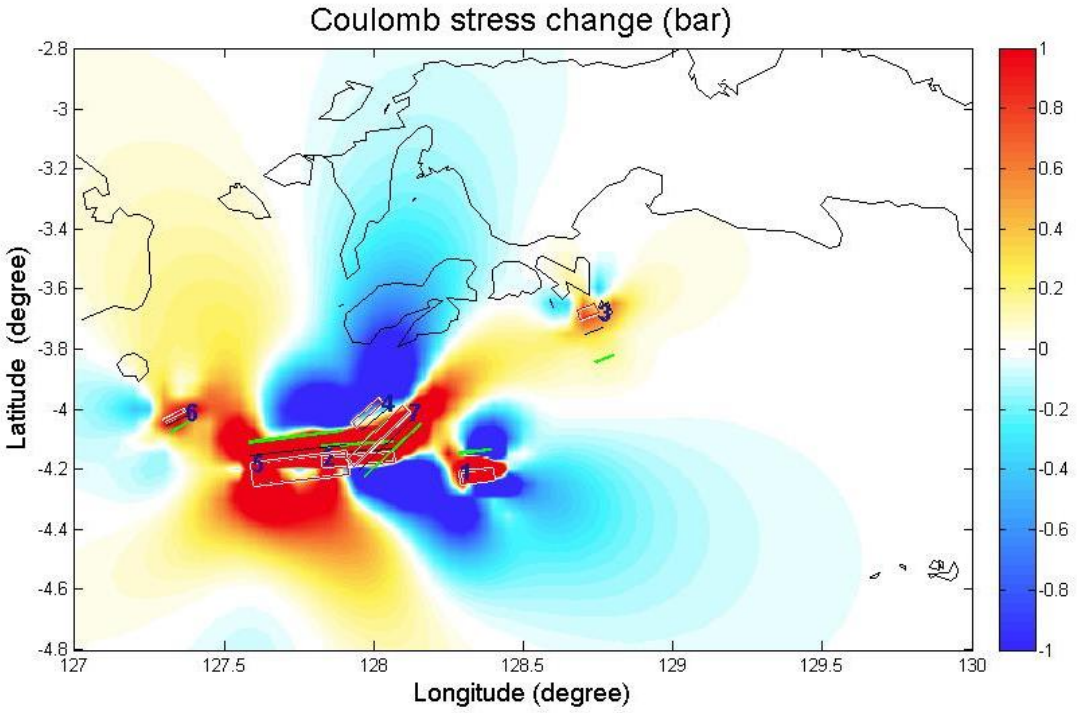
sampai -1 bar. Dari gambar tersebut terlihat adanya lobus berwarna merah yang menunjukan adanya nilai tegangan *coulomb* positif atau mengalami peningkatan *stress*. Ada juga lobus yang berwarna biru yang menunjukan adanya nilai tegangan *coulomb* negatif atau mengalami penurunan *stress* (mengalami relaksasi).

Persebaran nilai tegangan *coulomb* positif atau peningkatan *stress* untuk daerah sesar berarah utara selatan (Sesar Manipa) di Pulau Buru terlihat berada dominan pada wilayah laut dan sebagian terdistribusi juga pada bagian darat Pulau Buru. Untuk wilayah Sesar Buru Selatan yang berarah barat-timur, daerah yang memiliki nilai *stress* positif terdistibusi pada wilayah laut. Kemudian untuk wilayah sesar berarah utara-selatan di timur Pulau Ambon yang telah di identifikasi pada tahun 2021 (Sahara.,dkk, 2021) menunjukan distribusi nilai tegangan *coulomb* positif tersebar di wilayah laut dan sampai juga ke wilayah darat pulau Seram, Ambon, dan Kairatu.

Untuk distribusi gempa kecil (mw<5,5) di tahun 1983-2021 (gambar 5.) dapat dilihat berada pada nilai *stress* yang bervariasi ada yang berada di wilayah peningkatan *stress* , daerah dengan nilai *stress*0 dan ada juga yang berada pada daerah penurunan *stress*. Namun,umumnya gempa < 5,5 berada lebih dominan di wilayah peningkatan *stress*.



Gambar 5. Distribusi Persebaran gempa-gempa magnitudo<5,5 pada peta akumulasi tegangan coulomb tahun 1983-2021



Gambar 6. Distribusi persebaran nilai tegangan coulomb tahun 1983-2001

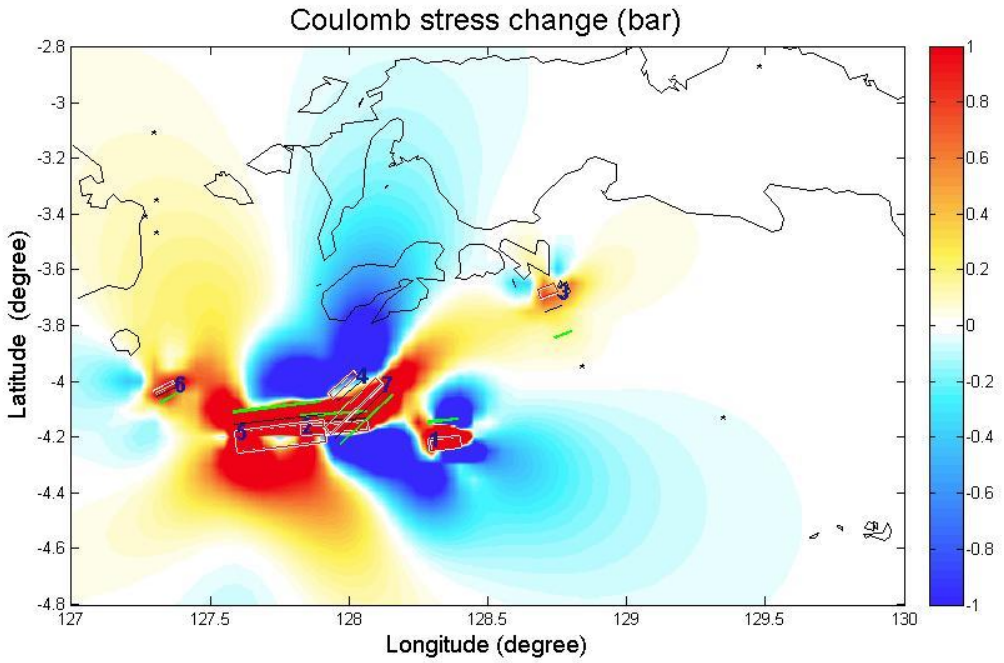
Pada tahun 1983-2001 menghasilkan 7 *event* gempa besar dengan magnitudo ≥ 5,5. Gempa-gempa tersebut berada pada wilayah selatan Pulau Ambon. Distribusi *stress* dapat dilihat pada gambar 6 dengan nilai *stress* berkisar 0,1 hingga 1 bar. Dapat dilihat juga wilayah Pulau Ambon dan Haruku merupakan wilayah yang memiliki *stress* negatif atau wilayah yang mengalami penurunan *stress*.

Daerah peningkatan *stress* akibat gempa-gempa ≥ 5,5 yang terjadi pada selatan pulau Ambon menyebar hingga sekitaran Pulau Buru sebesar 0,2 bar. Berdasarkan hasil plot pada gambar 7. dalam rentang tahun 2002-2011 terdapat *event* pada wilayah peningkaan *stress* (sekitaran pulau Buru). *Event* tersebut memiliki mekanisme sumber sesar naik hingga geser berarah utara-selatan. *Event-event* tersebut dipicu akibat transfer tegangan oleh aktivitas seismic dibagian selatan yang menyebabkan adanya perubahan tegangan *coulomb* pada wilayah tersebut. Nilai tegangan *coulomb* sebesar 0,2 bar sudah dapat menghasilkan gempa.

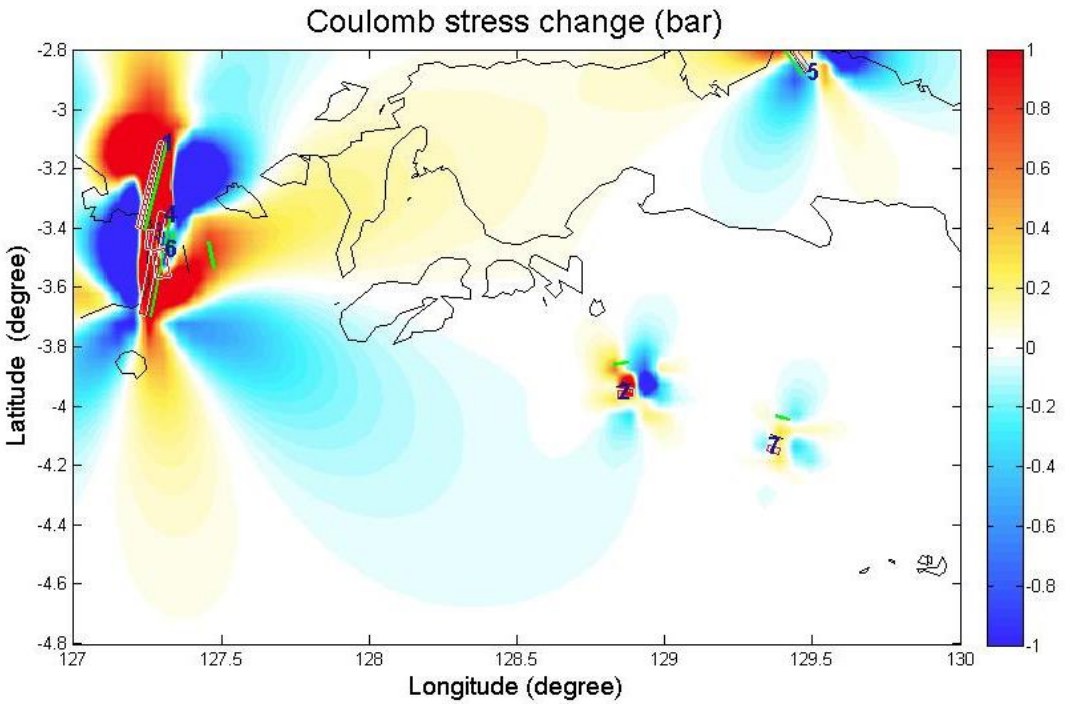
Dalam rentang tahun 1983-2001 menghasilkan nilai tegangan *coulomb* sebesar 0,2 pada sekitaran pulau Buru yang menyebabkan terjadinya aktivitas seismic yang terjadi dalam rentang tahun 2002-2011. Setelah terjadinya aktivitas seismic tersebut menyebabkan nilai tegangan *coulomb* meningkat menjadi 0,6 hingga 1 bar yang dapat dilihat pada gambar 8. Aktivitas seismik yang terjadi pada rentang tahun 2002-2011 menyebabkan adanya transfer tegangan hingga ke pulau Seram sebesar 0,1-0,2 bar.

Persebaran nilai tegangan *coulomb* tahun 2008-2021 dapat dilihat pada gambar 10. Berdasarkan hasil tersebut menunjukan distribusi nilai tegangan *coulomb* menyebar ke Pulau Ambon, Seram dan Haruku. Terdapat 2 wilayah yang mengalami peningkatan *stress* dalam rentang tahun 2008-2021 yaitu di barat pulau Ambon dan timur pulau Ambon (lihat gambar 10). *Event* sebelah timur pulau Ambon berada pada daerah berwarna putih dengan nilai *stress* adalah 0. Dapat diidentifikasikan bahwa *event-event* tersebut tidak berkaitan dengan *event-event* gempa yang terjadi dalam rentang tahun 2002-2011. Sedangkan *event* dibagian barat pulau Ambon berada pada daerah penurunan *stress* sebesar -0,2 hingga -0,5 bar deformasi yang kompleks akibat sesar oblique, telah menghasilkan wilayah dengan geometri kompleks struktural yang

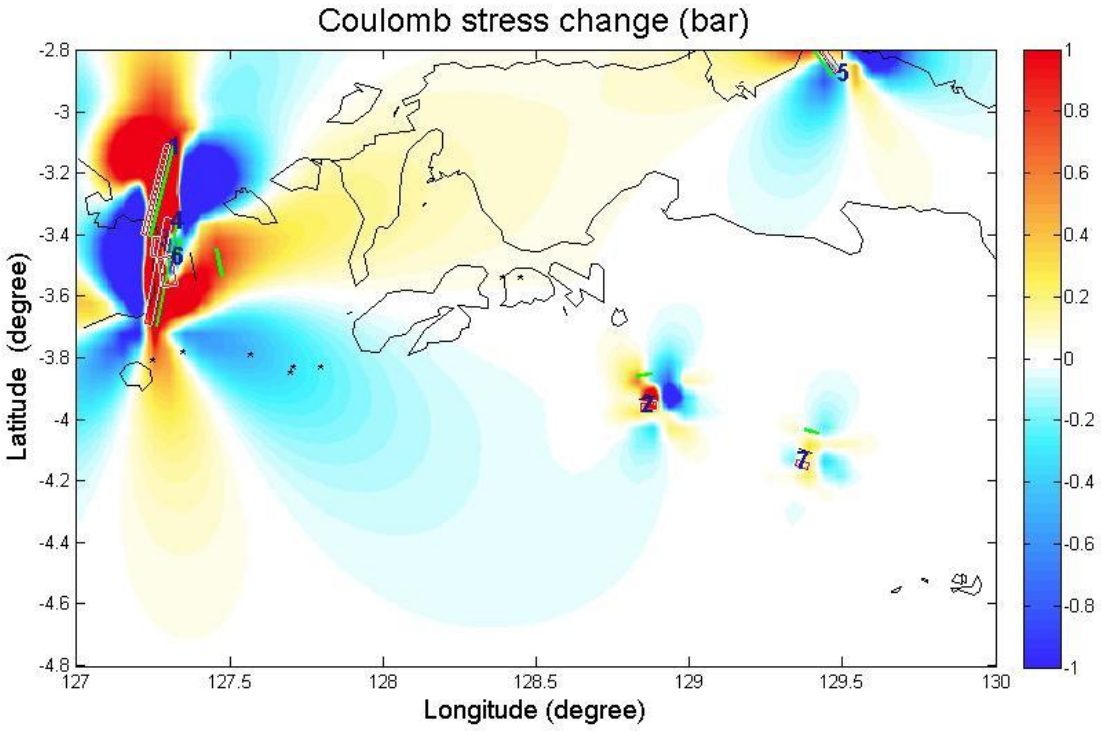
dihasilkan dari berbagai parameter lokal yang mengontrol distribusi tegangan, misalnya variasi litologi dan geometri sesar basement yang sudah ada sebelumnya (Sapiie et al., 2014).



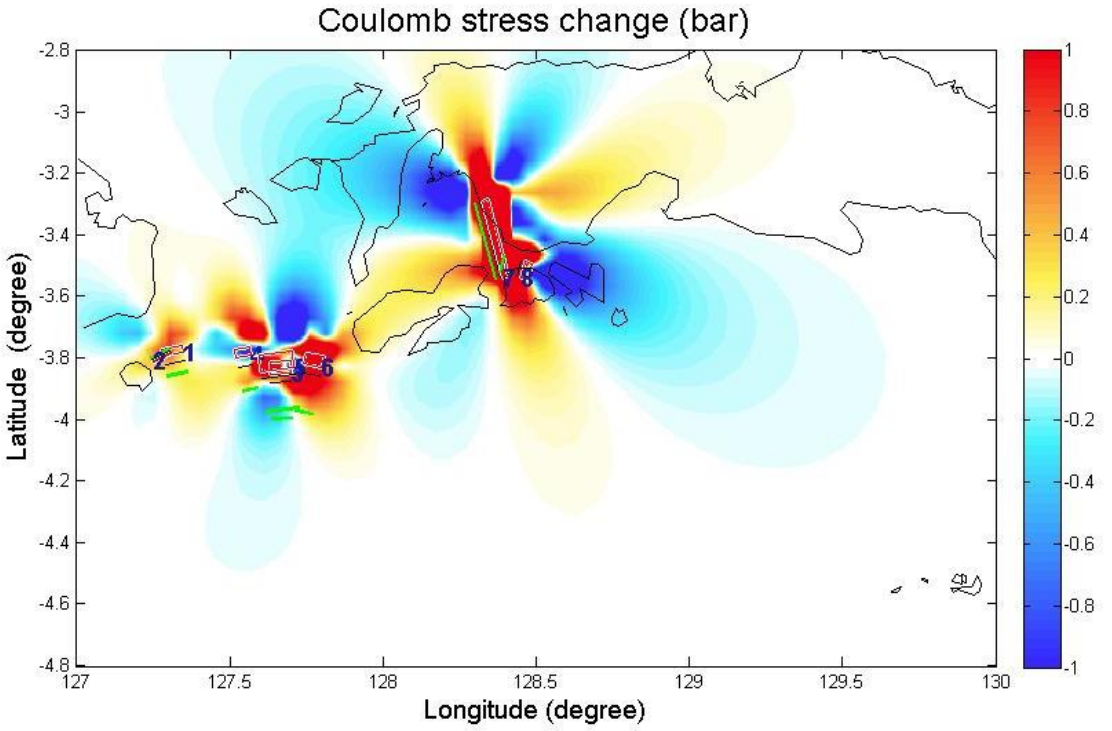
Gambar 7. Plot event gempa tahun 2002-2011 pada distribusi persebaran nilai tegangan Coulomb tahun 1983-2001



Gambar 8. Distribusi persebaran nilai tegangan coulomb tahun 2002-2011



Gambar 9. Plot event gempa tahun 2012-2021 pada distribusi persebaran nilai tegangan coulomb tahun 2002-2011



Gambar 10. Distribusi persebaran nilai tegangan coulomb tahun 2012-2021

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa :

1. Aktivitas gempa-gempa besar tahun 1983-2001 menyebabkan adanya peningkatan nilai tegangan *coulomb* di selatan Pulau Ambon bernilai 1 Bar dan menyebar hingga sebelah timur Pulau Buru sekitar 0,1 – 0,3 Bar. Nilai tegangan *coulomb* di sebelah timur Pulau. Buru Meningkat menjadi 1 Bar dan di bagian selatan Pulau Ambon menurun hingga -0,4 Bar. setelah terjadinya gempa-gempa tahun 2002-2011. Di sebelah timur Pulau Ambon juga meningkat akibat aktifnya sesar berarah utara selatan pada tahun 2019.
2. Distribusi gempa magnitudo kecil berada pada wilayah *stress* positif dan negatif, artinya bahwa kenaikan nilai tegangan 0,1 bar sudah dapat mengaktifkan gempa-gempa kecil.
3. Kenaikan nilai tegangan *coulomb* akibat aktivitas gempa-gempa besar tahun 1983-2001 menyebabkan terjadinya gempa-gempa besar tahun 2002-2011 sedangkan gempa-gempa 2019 disebabkan oleh aktivitas sesar baru.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Bapak David P. Sahara dan Ibu Resti Limehuwey selaku Dosen sekaligus Penulis dalam Penelitian ini yang telah berbagi ilmu dan masukan-masukan dalam proses penulisan. Terima Kasih Juga kepada Bapak Andri Kurniawan Selaku Mahasiswa S2 ITB yang telah memberi pelatihan menggunakan *software Coulomb* 3.3 sehingga penulis dapat menggunakannya dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik (BPS). (2021). Berita Resmi Stastistik: Hasil Sensus Penduduk 2020 Provinsi Maluku, BPS Nasional

Cocco, M., dan Rice, J. R. (2002). *Pore pressure and poroelasticity effects in Coulomb stress analysis of earthquake interactions*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 107(B2), ESE-2.

Freed, A. M. (2005*). Earthquake triggering by static, dynamic, and postseismic stress transfer.* Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 33(1), 335-367.

Hamilton, W. B. (1979). Tectonics of the Indonesian region (Vol. 1078). US Government Printing Office.

Harris, R. A. (1998). *Introduction to special section: Stress triggers, stress shadows, and implications for seismic hazard*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 103(B10), 24347-24358..

King, G.C.P, Stein, RS, and Lin, J (1994). *Static Stress Changes and The Triggering Of Earthquakes,* B. Seismol. Soc. Am, 84, 935-953.

Permana, I., Meilano, I., dan Sarsito, D. A. (2012). Analisis Deformasi Gempa Padang Tahun 2009 Berdasarkan Data Pengamatan GPS Kontinu Tahun 2009–2010. Jurnal Geofisika, 13(2), 59-69.

Pranantyo, I. R., dan Cummins, P. R. (2019). Multi-data-type source estimation for the 1992 Flores earthquake and tsunami. Pure and Applied Geophysics, 176(7), 2969-2983.

PuSGen. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Bandung: Puskim

Sahara, D. P., Nugraha, A. D., Muhari, A., Rusdin, A. A., Rosalia, S., Priyono, A., ... dan Elly, E. (2021). Source Mechanism and triggered large aftershocks of the Mw 6.5 Ambon, Indonesia earthquake. Tectonophysics, 799, 228709.

Sapiie, B., Hadiana, M., et al., 2014. Analogue modeling of oblique convergent strike-slip faulting and application to The Seram Island, Eastern Indonesia. Indonesian J. Geosci. 1, 121–134.

Skempton, A. W. (1954). *The pore-pressure coefficients A and B. Geotechnique*, 4(4), 143-147.

Stein, R. S. (1999). *The role of stress transfer in earthquake occurrence*. Nature, 402(6762), 605-609.

Stein, R. S., dan Lisowski, M. (1983). The 1979 Homestead Valley earthquake sequence, California: Control of aftershocks and postseismic deformation. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 88(B8), 6477-6490.

Toda, S., Stein, R. S., Richards-Dinger, K., dan Bozkurt, S. B. (2005). Forecasting the evolution of seismicity in southern California: Animations built on earthquake stress transfer. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 110(B5).

Wells, D. L., dan Coppersmith, K. J. (1994). New empirical relationships among magnitudo, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bulletin of the seismological Society of America, 84(4), 974-bock1002.

Wu, J., Hu, Q., Li, W., dan Lei, D. (2016). Study on coulomb stress triggering of the April 2015 M7. 8 Nepal earthquake sequence. International Journal of Geophysics, 2016.

Ziv, A., dan Rubin, A. M. (2000). Static stress transfer and earthquake triggering: No lower threshold in sight?. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 105(B6), 13631-13642.