

COULOMB STATIC STRESS CHANGE DALAM INTERAKSI GEMPABUMI DOUBLETS 5.8 Mw DAN 5.9 Mw 22 JANUARI 2007 DAN GEMPABUMI 7.0 Mw 16 JUNI 2010 DI WILAYAH PAPUA

I Made Kris Adi Astra

Stasiun Geofisika BMKG Sanglah, Jl. Pulau Tarakan No. 1, Sanglah, Denpasar

Email: krisna_rasesvara@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam kasus gempabumi di daerah Papua, teridentifikasi sebuah sekuel gempabumi. Dimulai dari hentakan gempabumi doublets 5,8 Mw dan 5,9 Mw pada 22 Januari 2007 dan kemunculan gempabumi berkekuatan 7,0 Mw pada tanggal 16 Juni 2010. Dari analisa perubahan stress coulomb didapatkan bahwa setelah gempabumi 5,8 Mw membentuk pola peningkatan stress positif berharga 0,02-0,09 bar berarah timur laut-barat daya dari episenter. Daerah pola peningkatan stress positif ini kelak menjadi episenter bagi gempabumi 5,9 Mw selanjutnya. Selanjutnya setelah terjadinya gempabumi 5,9 Mw, terbentuk pola perubahan stress coulomb baru berarah utara-selatan dengan nilai signifikan 0,02-0,09 bar pada daerah peningkatan stress coulomb positif. Daerah sebelah utara ini juga merupakan lokasi episenter dari gempabumi 7,0 Mw kelak. Dalam artian perubahan peningkatan stress coulomb (coulomb stress change) yang bernilai positif berharga $0 < \sigma_f < 1$ bar dapat memicu terjadinya gempabumi terdekat selanjutnya.

Kata kunci : Perubahan Stress Coulomb, Sekuel Gempabumi

ABSTRACT

We identified an earthquake sequence over Papua region. Its start from doublets earthquake on 22 January 2007 with 5,8 Mw and 5,9 Mw. Followed by 7,0 Mw that struck on 16 June 2010, 5,8 Mw earthquake produce the increasement of coulomb stress pattern 0,02-0,09 bar NE-SW. Area where the increasement of coulomb stress change in NE, become the future 5,9 Mw epicenter. Then, after the 5,9 Mw struck, new pattern of coulomb stress change showed. Coulomb stress change increase from North to South with 0,02-0,09 bar. The Northern area of the 5,9 Mw epicenter where the coulomb stress increase is the location of 7,0 Mw future epicenter. This result show that increasement of coulomb stress change in positive value between $0 < \sigma_f < 1$ could trigger future nearby earthquakes.

Keywords : Coulomb Stress Change, Earthquakes Sequences

Naskah masuk : 24 Desember 2010

Nasakah diterima : 2 Mei 2011

I. PENDAHULUAN

Daerah-daerah margin aktif di wilayah Papua yang ditengarai membangkitkan gempa bumi masih melangsungkan dinamikanya, menghasilkan pola-pola seismisitas yang rumit dan kompleks. Sebut saja sistem lempengan besar seperti Indo-Australia -Eurasia-Pasifik yang berinteraksi satu sama lain. Selain itu sistem sesar-sesar lokal juga mengambil peran dalam pola seismisitas di daerah setempat.

Terkait dengan gempa bumi yang mengguncang daerah Papua pada 22 Januari 2007, dan diikuti beberapa seismisitas signifikan hingga pada 16 Juni 2010 wilayah Papua diguncang gempa bumi 7,0 Mw. Permasalahan menjadi penting ketika gempa bumi pada 22 Januari 2007 adalah gempa *doublets* yang terjadi beberapa saat setelah sebuah gempa bumi mendahuluinya di daerah yang relatif berdekatan. Lebih lanjut gempa bumi 16 Juni 2010 juga terjadi di daerah yang relatif dekat dengan episentrum gempa *doublets* 2007.

Ketiga gempa tersebut memiliki kedalaman yang dangkal. Gempa pertama dengan kedalaman 39 km diikuti dengan 26,20 km dan 20 km pada gempa kedua dan ketiga.¹⁾ Lokasi gempa terjadi juga merupakan daerah yang rumit. Berada pada hamparan sistem Palung New Guinea, dan bentangan zona sesar Sorong-Ransiki-Yapen di Teluk Cendrawasih. Efek gempa bumi yang dihasilkan oleh gempa-gempa besar dengan kedalaman dangkal akan lebih merusak dibandingkan gempa dalam, disamping pengaruh dari respon batuan setempat.

Mengingat kompleksitas tektono-geologi tersebut menjadikan daerah ini penting dan menarik untuk dikaji. Karena tidak tertutup kemungkinan pada zona ini akan terjadi gempa-gempa besar yang sejenis pada masa yang akan datang.

Dalam tulisan ini penulis menganalisa apakah ada keterkaitan antara gempa-gempa tersebut satu sama lain dalam medan perubahan stress coulomb yang dihasilkan oleh masing-masing gempa bumi. *Coulomb stress* telah digunakan secara luas untuk dapat menjelaskan interaksi gempa bumi dalam medan stress-nya. Hal ini memiliki implikasi penting dalam pemetaan daerah rawan bencana gempa bumi.²⁾

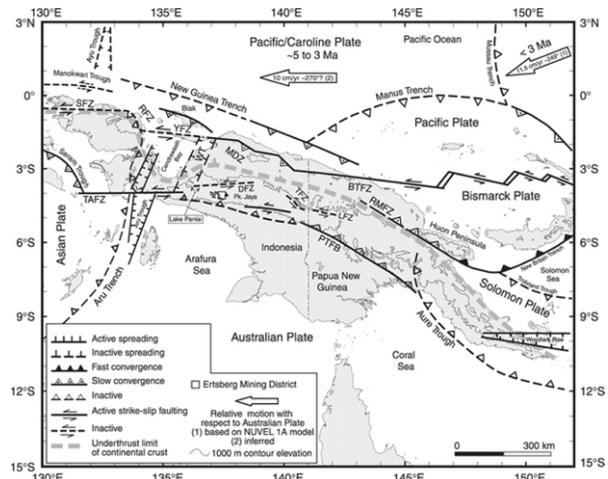
II. TEKTONIK DAN SEISMISITAS PAPUA

2.1. Tektonik Papua

Kawasan perairan Maluku (*Molucca Sea*), laut Banda, dan Irian Jaya berada diantara empat lempengan tektonik (SU (Sunda), PS (*Philippine Sea*), PA (Pasifik), dan AU (Australia)). Dan membuatnya menjadi kawasan Neotektonik paling kompleks di muka bumi³⁾.

Secara umum dari utara ke selatan, geologi daerah Irian Jaya (sekarang Papua) dapat dikelompokkan menjadi tiga daerah geologi : lempengan benua (*continental*), lempengan samudra (*oceanic*) dan daerah transisi. Setiap daerah geologi memiliki karakteristik masing-masing.

Daerah lempengan benua terdiri dari sedimen yang merupakan bagian dari Perisai Australia (*Australian Craton*). Daerah lempengan samudra terdiri dari batuan ophiolit dan kompleks busur kepulauan vulkanik yang merupakan bagian dari lempeng Pasifik. Daerah transisi terdiri dari batuan metamorfik sebagai produk dari interaksi antara lempeng.



Gambar 1. Kompleks Geologi Wilayah Papua (Sumber : specialpaper.gsapub.org)

Proses tektonik daerah tengah (*Central Range Orogeny*) dibagi menjadi fase pre collisional (pra-tumbukan) dan fase collisional (tumbukan). Fase *pre collisional* berhubungan dengan dorongan dan proses metamorfosis dari sedimen margin pasif di daerah subduksi yang menuju ke utara. Fase *collisional* terjadi ketika gaya apungan *buoyancy* litosfer Australia mengunci zona subduksi. Dasar lempengan benua kristalin menjadi terlibat dalam proses ini.

Deliminasi *collisional* didalilkan sebagai proses tektonik yang terjadi dalam proses subduksi litosfer Australia 7 hingga 3 juta tahun yang lalu. Disamping keterlibatan basement kristalin, proses ini juga berperan dalam proses gunung berapi dan pengangkatan pegunungan dari 1 hingga 2 kilometer. Proses ini mencapai puncaknya dengan inisiasi tren yang berarah timur-barat, lateral *strike-slip* mengiri dan keadaan ini mendominasi proses tektonik di Papua bagian barat hingga kini⁴⁾.

Tectonic Setting tersebut teridentifikasi sebagai Sistem Sesar Sorong (*Sorong Fault Zone* = SFZ) di daerah kepala burung, ke timur hingga ke sesar Ransiki di daerah Ransiki (*Ransiki Fault Zone* = RFZ). Dari perairan di sebelah barat Pulau Yapen, Pulau Yapen hingga ke badan burung sebelah utara membentang sistem sesar Yapen (*Yapen Fault Zone* = YFZ). Disamping sistem sesar *srike slip* tersebut, di sebelah selatan sistem sesar Yapen terdapat dua sistem yang saling sejajar, *Weyland Overthrust* (WO) di sebelah barat dan *Waipona Trough* (WT) di sebelah timur WO.

Di luar itu, parit New Guinea yang menjadi batas lempengan Australia dengan lempengan Pasific-Caroline juga menambah kompleksitas tektonik di kawasan Papua.

2.2. Seismisitas Papua

Gempabumi berinteraksi dalam medan stress. Hal ini menyebabkan peningkatan seismisitas pada area peningkatan stress koseismik, dan penurunan seismisitas pada area bayang-bayang stress (*stress drop shadow*). Patahan gempa selalu berada dalam sebuah populasi patahan, yang mana patahan dapat berinteraksi dengan beragam cara dalam medan stress-nya. Selanjutnya, patahan tersebut terbagi dalam segmen-segmen dan segmen-segmen akan berinteraksi dengan segmen lain yang berdekatan⁵⁾. Patahan juga bukan merupakan sebuah bidang permukaan yang kontinu, tetapi terdiri dari bentukan berbagai segmen-segmen terputus (*disconnected segments*) ataupun sub patahan (*sub fault*).

Pada wilayah Papua, segmen-segmen patahan tersebut memicu gempa-gempa dangkal, seperti barisan segmen patahan Sorong-Ransiki-Yapen. Palung New Guinea yang merupakan salah satu margin dari pertemuan lempeng Pasifik dan Australia di sebelah utara Papua menyumbang seismisitas yang cukup tinggi. Selanjutnya pertemuan lempeng Eurasia dengan Australia di sebelah barat Papua menghasilkan *Aru Thrench*

yang juga dikenal sebagai daerah seismisitas aktif, meskipun konvergensi lempeng di daerah ini berjalan lambat.

Terkadang gempabumi adalah sebuah *event* yang independen, namun juga selalu merupakan bagian dari sekuel dengan berbagai jenis dan karakteristik. Sekuel *foreshock* dan *aftershock* selalu diasosiasikan dengan event yang lebih besar yaitu *mainshock* atau gempa utama. Selainnya, sekuel gempabumi yang tidak terdiri dari sebuah gempabumi yang dominan dari yang lain disebut sekuel *swarms*. Dalam beberapa kasus, gempabumi dengan dua atau lebih *mainshock* yang terjadi berdekatan dalam waktu dan daerah dikenal dengan gempabumi *doublets* dan *multiplets*.

III. METODE

3.1. Data

Data seismisitas diambil dari katalog NEIC^{1,6,7)} dengan kombinasi katalog Global CMT. Adalah gempa-gempa yang masuk ke dalam katalog CMT dan NEIC signifikan dari tanggal 22 Januari 2007 hingga 17 Juni 2010. Seismisitas dibatasi dari titik pusat 2,502°LS dan 136,332°BT dengan radius 75,0 km di sekitarnya. Kemudian didapat 22 buah gempabumi dalam katalog. Pemilihan dengan radius *circle* melingkar dimaksudkan agar memenuhi kriteria interaksi *Coulomb* dimana gempa bumi terjadi akibat gempabumi historis terdekatnya.

Data input untuk perubahan *stress Coulomb* digunakan gempabumi *Doublets* 5,8 Mw dan 5,9 Mw pada 22 Januari 2007 dan gempabumi 7,0 Mw pada 16 Juni 2010.

Tabel 1. Data input gempabumi untuk perubahan *Stress Coulomb*

No	Tgl	Lin.	Bujur	Mag.(Mw)
1.	22-01-2007	-2.502	136.33	5.8
2.	22-01-2007	-2.450	136.43	5.9
3.	16-6-2010	-2.17	136.55	7.0

3.2. Kriteria Pembebanan Stress Coulomb

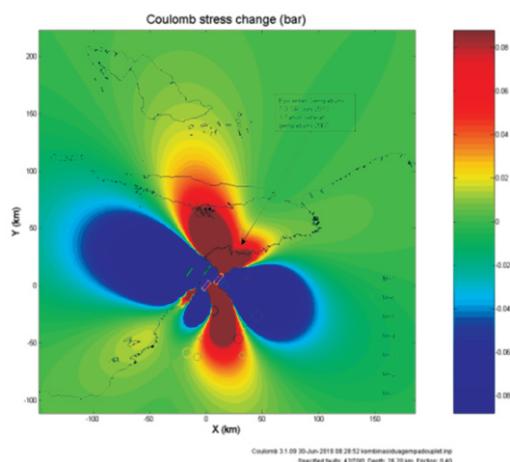
Asumsikan model friksi coulomb sederhana (*simple coulomb friction model*) untuk gempabumi, slip potensial akan meningkat atau menurun oleh perubahan pada *Coulomb failure stress*, σ_f yang didefinisikan sebagai:

$$\sigma_f = \tau\beta - \mu(\sigma\beta - p) \quad (1)$$

Dalam analisa *stress Coulomb*, episenter gempa 5,9 Mw berada pada daerah peningkatan *stress Coulomb* berharga positif dari gempabumi pendahulunya 5,8 Mw (Gambar 3). Peningkatan ini berarti terjadinya akumulasi stress yang ditengarai dapat memicu atau men-*trigger* seismisitas di sekitarnya. Bidang lobus peningkatan stress positif berkisar antara 0,02 bar hingga 0,09 bar. Peningkatan stress Coulomb kurang dari 1 bar cukup berpotensi memicu sebuah event dan sebaliknya pengurangan dalam nilai yang sama dapat menghambat picuan sebuah event⁸⁾.

Bidang lobus stress coulomb positif berarah timur laut-barat daya. Daerah timur laut dari peningkatan stress coulomb inilah yang memicu sekuel gempa berikutnya, 5,9 Mw. Daerah lobus tempat akan terjadinya gempabumi selanjutnya teridentifikasi bernilai 0,08 hingga 0,09 bar.

Bidang gempabumi pertama 5,8 Mw memiliki solusi bidang sesar dengan jurus 38°. Pola bidang ini kemungkinan dihasilkan dari sistem inisiasi tren tektonik yang telah terjadi sejak 7 hingga 3 juta tahun lalu. Dimana deliminasi tumbukan dan subduksi lempeng Australia dan sistem sesar Sorong-Ransiki-Yapen meyebabkan dominasi *strike slip* di daerah ini.



Gambar 4. *Coulomb Stress Change* yang disebabkan oleh gempabumi 5,8 Mw, 5,9 Mw sebelum gempabumi 7,0 Mw.

Setelah event kedua yaitu gempabumi dengan kekuatan 5.9 Mw terjadi pada daerah eks lobus peningkatan positif pada gempa pertama, terbentuk kemudian pola stress baru. Pola stress baru ini memiliki lobus peningkatan stress positif berarah utara-selatan. Signifikan teridentifikasi bernilai 0,02 hingga 0,09 bar. Senada dengan gempa pendahulunya. Bidang lobus penurunan

stress coulomb tersebar di arah timur-barat dalam rentangan -0,02 hingga -0,09 bar (Gambar 4).

Kedua gempabumi 5,8 Mw dan 5,9 Mw sekilas memiliki sebaran coulomb stress yang hampir sama. Hal mendasar ini adalah hasil dari input yang tidak jauh berbeda. Gempabumi pertama memiliki jurus 38° dan sudut dip 64°, gempabumi kedua memiliki jurus 42° dan sudut dip 70°. Hal ini mengarah pada kalkulasi coulomb stress yang bergantung kepada geometri dan distribusi slip.

Pola seismisitas dengan magnitudo yang signifikan setelah gempa pertama 22 Januari 2007 hingga bulan Juni 2010 (22 gempabumi dalam katalog) menunjukkan sebagian besar gempabumi terjadi pada daerah peningkatan stress coulomb bernilai positif. Cukup sesuai dengan teori yang dikemukakan untuk stress coulomb. Namun ada beberapa gempabumi yang terjadi pada lobus penurunan stress coulomb. Setidaknya terdapat 5 gempabumi berada pada lobus negatif berarah tenggara dari episenter awal. Yang berarti 22,77% dari total gempabumi.

Selanjutnya bidang lobus bernilai positif setelah gempabumi 22 Januari 2007 kini mengarah ke sekitar utara dari episenter. Selanjutnya dibarengi dengan seismisitas signifikan yang terjadi pada bulan Juni 2010. Dengan magnitudo pada gempa utama 7,0 Mw. Episenter gempa ini tepat berada pada daerah peningkatan stress coulomb bernilai 0,04 hingga 0,08 bar dari gempabumi 5,9 Mw 22 Januari 2007. Jejak-jejak stress coulomb cukup mendukung untuk menyatakan gempabumi 7,0 Mw adalah hasil dari dua gempabumi sebelumnya. Pola perubahan stress coulomb bernilai positif dimulai dari gempabumi 5,8Mw berarah ke timur laut, dalam lobus positifnya kemudian terjadi gempabumi 5,9 Mw. Selanjutnya gempabumi 5,9 Mw lobus positifnya berarah utara dan kemudian terjadi gempabumi 7,0 Mw pada 16 Juni 2010.

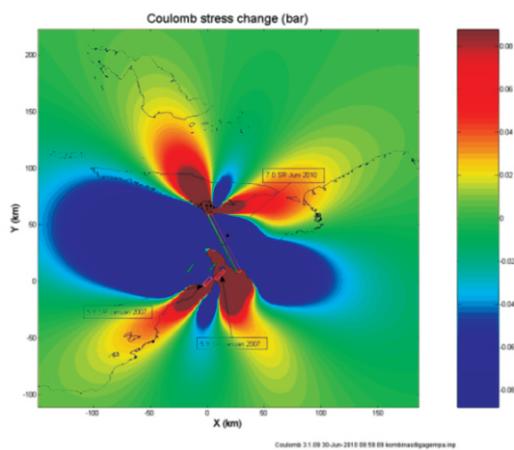
4.2. Gempabumi 7,0 Mw 16 JUNI 2010

Sekuel gempabumi Januari 2007 bermuara pada pelepasan stress gempabumi 7,0 Mw Juni 2010. Gempabumi dengan strike 333° secara perhitungan teoritis menyebabkan *failure* membentang barat laut-tenggara mendekati ke sistem sesar Yapen (*Yapen Fault Zone - YFZ*). Perpindahan dalam vektor horizontal teoritis (*horizontal displacement*) juga mengikuti pola bidang sesar yang mana pola tekan (*pressure*)

mengarah ke barat laut di sebelah kiri episenter dan mengarah ke tenggara di sebelah kanan episenter (Gambar 7).

Pola stress Coulomb pada gempabumi 7,0 Mw Juni 2010 ini cukup unik. Daerah penurunan nilai stress coulomb kini mendominasi di daerah sebelah kanan - kiri dari garis patahan, dan sebagian kecil di sebelah utara dan selatan dari garis patahan. Daerah stress coulomb bernilai negatif yang luas ini penulis interpretasikan sebagai daerah relaksasi dari pelepasan stress. Namun daerah tersebut tidak menutup kemungkinan terjadi seismisitas.

Berbeda dengan pola sebelumnya pada gempa *doublets*, daerah peningkatan nilai stress coulomb kini berada pada daerah lobus barat laut - tenggara dan timur laut - barat daya. Teridentifikasi pada besaran 0,02 hingga 0,09 Bar. Relatif lebih kecil dari luasan daerah penurunan nilai stress coulomb pada lobus arah timur-barat dan sedikit di bagian utara - selatan garis patahan (Gambar 5).



Gambar 5. *Coulomb Stress Change* yang disebabkan oleh gempabumi 5,8 Mw, 5,9 Mw, dan 7,0 Mw.

Dari perubahan stress coulomb individual pada gempabumi 7,0 Mw kami melakukan *cross section* pada daerah A-B untuk dapat mengetahui pola stress coulomb versus kedalaman (Gambar 8). Pada bidang lobus berarah timur laut, daerah peningkatan stress coulomb signifikan terlihat hingga kedalaman 30 km dalam rentang 0,02 hingga 0,09 bar. Tepat di atas bidang patahan pada kedalaman kurang dari 10 km, stress coulomb teridentifikasi homogen bernilai 0,09 bar. Selanjutnya tepat di bawah bidang patahan pada kedalaman sekitar 20 hingga 75 km adalah daerah peningkatan stress coulomb. Teridentifikasi

signifikan pada 0,02 hingga 0,09 bar. Pada bagian kanan - kiri bidang patahan, adalah lobus penurunan nilai stress coulomb (warna kontur magenta-biru). Bernilai -0,02 hingga -0,09 pada kedalaman hingga 30 km. Yang mana daerah ini merupakan daerah relaksasi (Gambar 9).

V. DISKUSI DAN KESIMPULAN

Gempabumi Papua pada tanggal 22 Januari 2007 dengan kekuatan 5,8 Mw memiliki pola perubahan stress coulomb dalam empat bidang lobus. Dua buah bidang lobus berarah barat laut-tenggara yang merupakan daerah penurunan stress coulomb. Stress coulomb di daerah ini bernilai negatif dalam kisaran -0,02 hingga -0,09 bar. Dua lainnya berarah timur laut - barat daya adalah daerah peningkatan stress coulomb yang nilainya berkisar 0,02 hingga 0,09 bar.

Selanjutnya setelah terjadi gempabumi kedua pada tanggal yang sama dengan kekuatan 5,9 Mw, perubahan stress coulomb memiliki pola yang baru. Bidang lobus peningkatan stress positif berarah utara - selatan. Signifikan teridentifikasi bernilai 0,02 hingga 0,09 bar. Senada dengan gempa pendahulunya. Bidang lobus penurunan stress coulomb tersebar di arah timur - barat dalam rentangan -0,02 hingga -0,09 bar.

Pada tanggal 16 Juni 2010 terjadi gempabumi berkekuatan 7,0 Mw disebelah utara - timur laut dari episentrum gempabumi 5,8 - 5,9 Mw di tahun 2007. Daerah peningkatan nilai stress coulomb kini berada pada daerah lobus barat laut - tenggara dan timur laut - barat daya. Teridentifikasi pada besaran 0,02 hingga 0,09 bar. Daerah penurunan nilai stress coulomb pada lobus arah timur - barat dan sedikit di bagian utara - selatan garis patahan.

Dalam jejak-jejak perubahan stress coulomb, episentrum gempabumi kedua dengan kekuatan 5,9 Mw berada pada bidang lobus positif dari perubahan stress coulomb gempabumi pertama, 5,8 Mw. Daerah episentrum tersebut teridentifikasi bernilai 0,08 - 0,09 bar.

Selanjutnya episentrum gempabumi 7,0 Mw pada tahun 2010 berada pula pada daerah peningkatan stress coulomb dari hasil gempabumi 5,8 Mw dan 5,9 Mw pada tahun 2007. Teridentifikasi bernilai 0,06 - 0,09 bar. Dari jejak-jejak tersebut dapat disimpulkan bahwa perubahan peningkatan stress coulomb (*coulomb stress change*) yang bernilai positif berharga $0 < \sigma_f < 1$ bar dapat men-*trigger*- memicu terjadinya

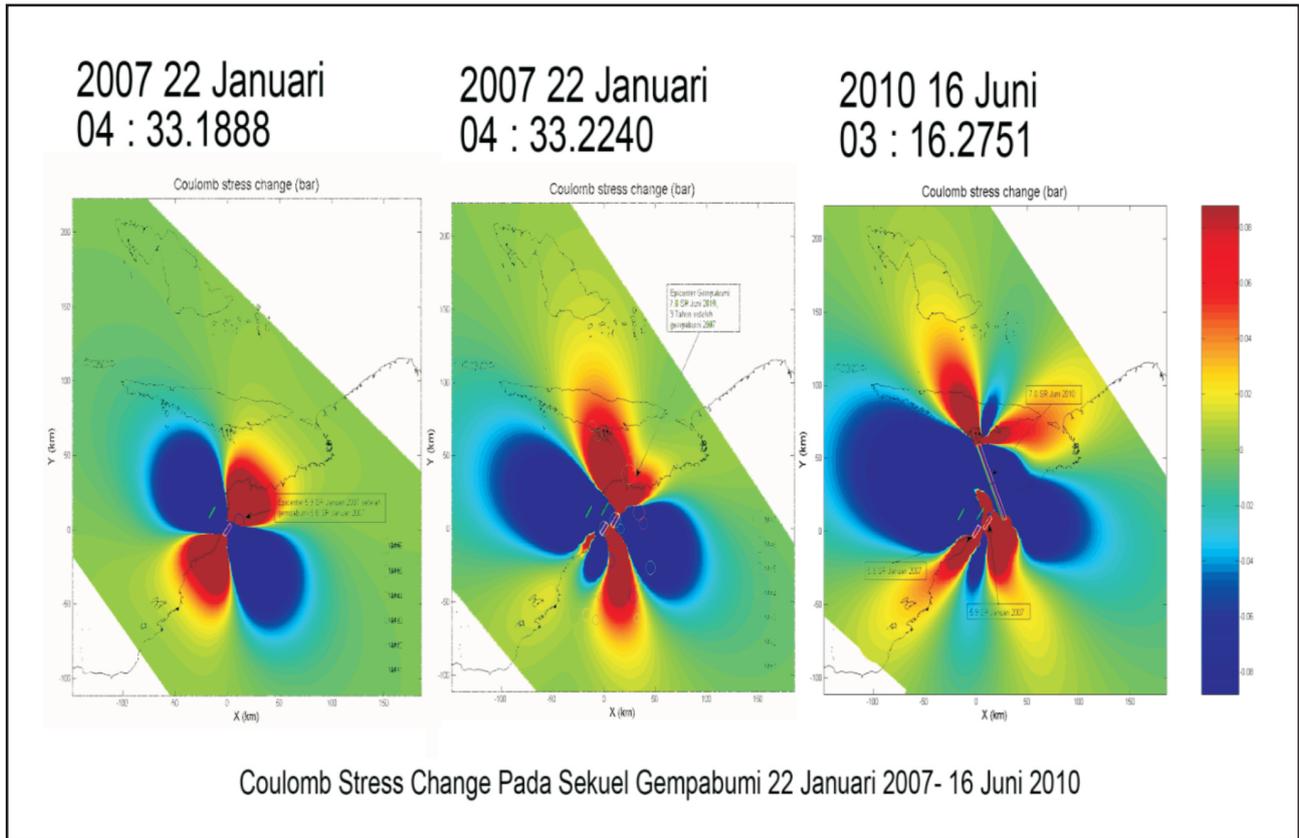
gempabumi selanjutnya. Dalam kasus ini bernilai dari 0,06 bar hingga 0,09 bar.

Sebaliknya daerah dengan perubahan penurunan stress coulomb yang bernilai negatif berharga $-1 < sf < 0$ berpotensi menghambat terjadinya gempabumi pada daerah tersebut di masa depannya. Namun fenomena ini tidak mutlak menyebabkan ke-nihilan seismik di daerah bersangkutan. Dalam kasus ini, seismisitas setelah gempabumi pertama 22 Januari 2007 hingga bulan juni 2010 terdapat 22 gempabumi signifikan. Pada lobus penurunan stress coulomb setidaknya terdapat 5 gempabumi berada pada lobus negatif berarah tenggara dari episenter awal. Yang berarti 22,7% dari total gempabumi.

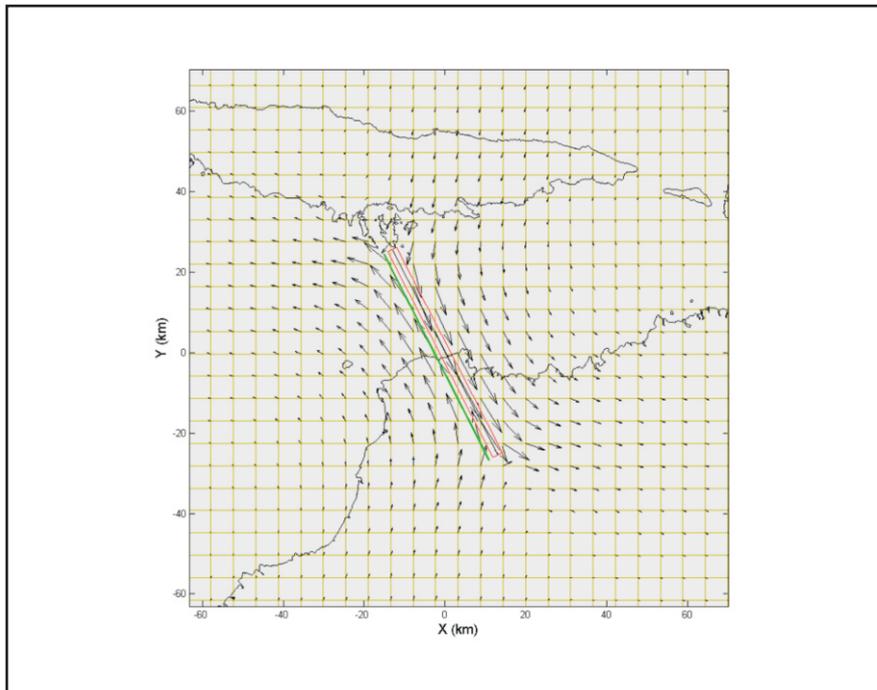
VI. DAFTAR PUSTAKA

- ¹⁾Significant Earthquake. Magnitude 7.0 - NEAR THE NORTH COAST OF PAPUA, INDONESIA . (2 0 1 0) . (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010xpai/>), diakses : 17 Juni 2010).
- ²⁾Weatherley, D., (2006). Coulomb Stress Changes Due to Queensland Earthquakes and The Implication for Seismic Risk Assesment. Earthquake Enggineering in Australia. University of Queensland.
- ³⁾Bird, P. (2003). An Updated Digital Model of Plate Boundaries. G3 Geochemistry Geophysics Geosystems. *An Electronic Journal Of The Earth Sciences*, 4(3), 1027.
- ⁴⁾Darman, H., & Sidi, F, H.(2000), *The Geology of Indonesia, an outline of. Indonesian Association of Geologists*. IAGI.
- ⁵⁾Scholz, Cristhoper H.(2002), *The Mechanics of Earthquake and Faulting. Second Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ⁶⁾Circular Area Earthquake Search. (2010). (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010xpai/neic_xpai_cmt.php), diakses : 17 Juni 2010.
- ⁷⁾Source Parameter Search. (2010). (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/sopar/>) diakses : 21 Juni 2010).
- ⁸⁾King, C.P.G., Stein, R.S., & Lin, J. (1994). Static Stress Changes And The Triggering of Earthquakes. *Bulletin Seismological Socoety America*.

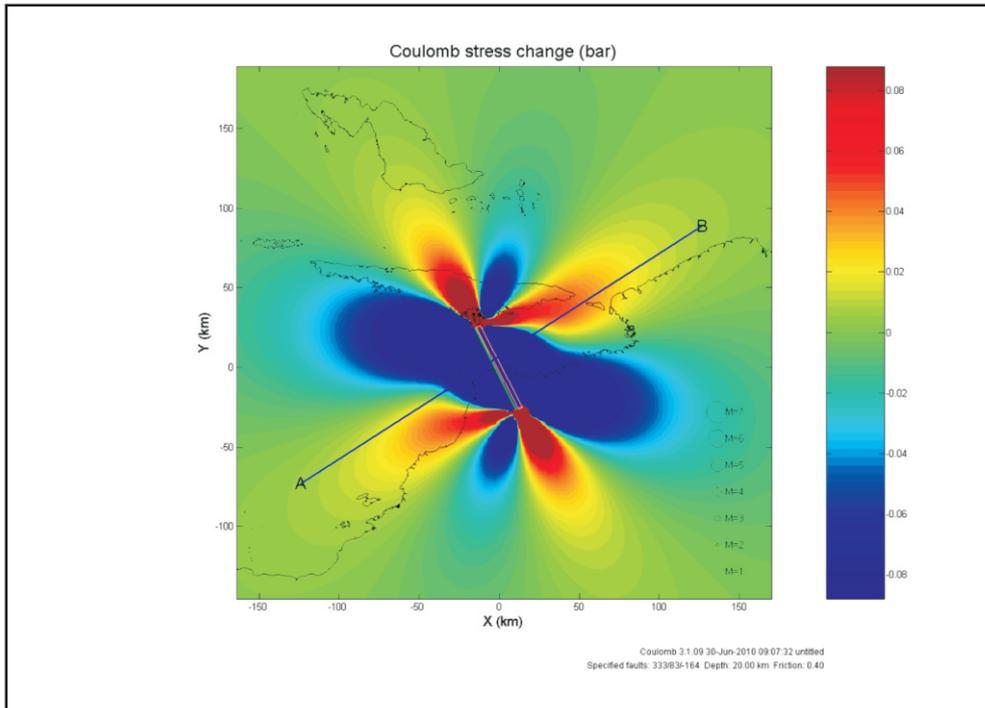
VII. LAMPIRAN



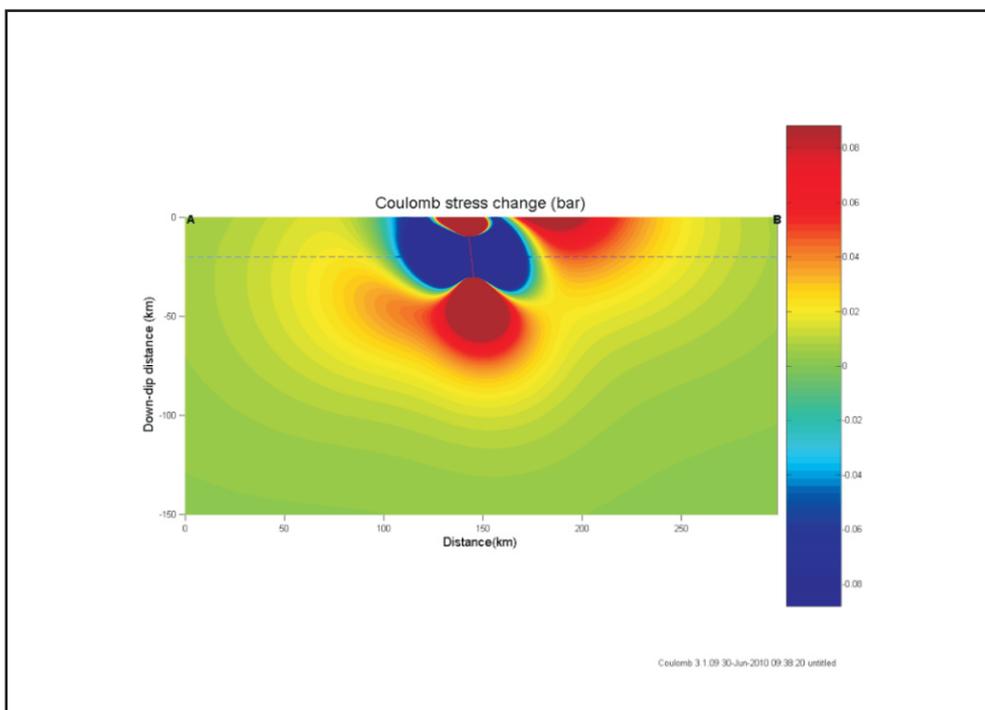
Gambar 6. Pola *Coulomb Stress Change* pada sekuel gempabumi 5,8 Mw, 5,9 Mw, dan 7,0 Mw 22 Januari-16 Juni 2010



Gambar 7. *Horizontal displacement* perpindahan horizontal teoritis pada gempabumi 7,0 Mw



Gambar 8. Garis bidang *cross section coulomb stress change* individual pada gempa bumi 7,0 Mw



Gambar 9. *Cross section* dengan kedalaman *coulomb stress change* pada gempa bumi 7,0 Mw