

# Variasi Stress Drop Di Sumatra

Rahmat Setyo Yuliatmoko<sup>1</sup>, Afnimar<sup>2</sup>, Indra Gunawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Kelompok Keahlian Geofisika Global, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa No. 10, Bandung 40132, Indonesia

Rekam jejak artikel:

Diterima: 14 Mei 2017; Direvisi: 11 Juli 2017; Disetujui: 12 Oktober 2017

**Abstrak:** Sumatra merupakan daerah dengan kondisi tektonik yang rumit dimana terjadi konvergensi lempeng India terhadap lempeng Eurasia dan terdapat beberapa sesar aktif. Untuk melihat keaktifan daerah Sumatra penulis menghitung stress drop di Sumatra dan membahas bagaimana kaitannya dengan tektonik secara regional. Stress drop diperoleh dengan menganalisis spektrum displacement observasi menggunakan metode inversi nonlinier Nelder Mead Simplex. Dari penelitian ini didapatkan bahwa stress drop pada daerah crustal segment Siulak menghasilkan nilai terbesar yaitu 39.26 Mpa dikarenakan daerah tersebut memiliki slip rate yang kecil jika dibandingkan dengan segment lainnya di Sumatra. Zona Ninety East Ridge menghasilkan nilai stress drop yang kecil 2.6 - 4.3 Mpa dikarenakan daerah ini merupakan daerah rekahan serta patahan. Daerah accretional wedge menghasilkan nilai stress drop tinggi 20.65 Mpa, merupakan lapisan sedimen tebal sehingga mampu menahan stress. Zona Forearc basin menghasilkan nilai stress drop kecil 0.49 Mpa karena merupakan lapisan sedimen yang mudah mengalami deformasi. Stress drop di Sumatra dipengaruhi oleh tipe tektonik, material batuan, serta slip rate masing-masing region di Sumatra.

**Katakunci:** Stress drop, spektrum sumber, tektonik.

**Abstract:** Sumatra is a complex tectonic area, where there is a convergence of the India plate against the Eurasian plate and several active faults. To see the activity of Sumatra region the authors calculate the stress drop in Sumatra and discuss how it relates to tectonic regionally. Stress drop was obtained by analyzing observational displacement spectrum using nonlinear inversion method Nelder Mead Simplex. This research show that stress drop value of crustal area on Siulak Segment has the highest value that is 39.26 MPa because this region has a small slip rate compared to the other segments in Sumatra. Ninety East Ridge yield small stress drop value that is 2.6 - 4.3 MPa because of fracture and fault area. The accretionary wedge produces high stress drop about 20.65 MPa, caused by thick sediment layer that can hold the stress. Forearc basin has a small value of stress drop that is 0.49 MPa because it is a sedimentary layer that can easily deformed. The stress drops in the research area are influenced by the type of tectonics, the rock material, as well as the slip rate of each region in Sumatra.

**Keywords:** Stress drop, spectrum source, tectonic.

## 1. PENDAHULUAN

Investigasi parameter sumber gempa bumi bisa menggunakan rekaman gempa jauh maupun gempa dekat tergantung dari tersedianya data. Salah satu parameter sumber penting dari suatu gempa adalah *stress drop* ( $\delta\sigma$ ), yaitu perbedaan antara rata-rata stress pada fault plane sebelum dan setelah gempa bumi. Pada penelitian sebelumnya, Almann dan Shearer (2009) menghitung stress drop global untuk gempa bumi dengan magnitude lebih dari lima, mereka berkesimpulan bahwa stress drop tiga

sampai lima kali lebih tinggi gempa bumi dengan mekanisme fokus *strike slip* dibandingkan dengan naik maupun normal. Nilai stress drop sangat rendah terjadi di sepanjang zona subduksi Cocos di Amerika Tengah dengan rata-rata di bawah 1 MPa. Nilai stress drop sangat rendah terdapat pada zona subduksi Sulawesi Utara yang merupakan wilayah dengan tektonik sangat rumit (Almann dan Shearer, 2009). Sumatra merupakan daerah tektonik yang rumit, dimana terdapat konvergensi lempeng India terhadap lempeng Eurasia, dan beberapa sesar aktif

(McCaffrey, R., 2009) selain itu juga Sumatera terdapat kejadian gempa bumi megathrust cukup banyak, (Gambar 1) yang sudah tersegmentasikan oleh tim revisi peta gempa bumi Indonesia tahun 2010. Penelitian yang dilakukan oleh Almann dan Shearer (2009) dalam menghitung stress drop di Sumatera masih secara umum belum membahas bagaimana kaitannya dengan keadaan tektonik secara regional sehingga perlu ada penelitian yang lebih mendalam. Dalam penelitian ini akan dilakukan identifikasi variasi stress drop gempa bumi menengah dan besar di Sumatera terhadap keadaan tektonik regional Sumatera dari analisis spektrum displacement observasi menggunakan metode inversi *non-linear Nelder Mead Simplex*.

**2. DATA**

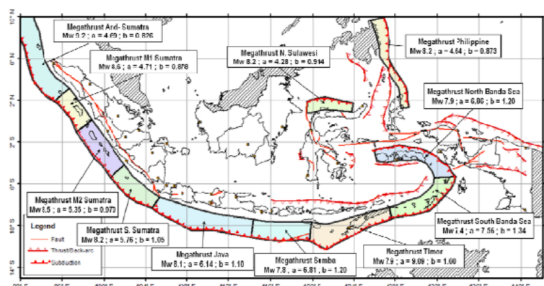
Dalam penelitian ini digunakan data waveform gempabumi dari jaringan IRIS (International Research Institution for Seismology). Data yang digunakan dengan kriteria jarak stasiun ke kejadian gempa ( $\Delta$ ) 300 - 1000. Kejadian gempa yang digunakan M 5.5 Mw. Kedalaman yang digunakan 50 Km dari tahun 2009-2015 di Sumatera dengan koordinat 8°LU - 9° LS dan 92° BT 106° BT yang tercatat di stasiun pencatat gempabumi WRAB, YNG, ARMA yang terdapat di Australia (Gambar 2).

**3. METODOLOGI**

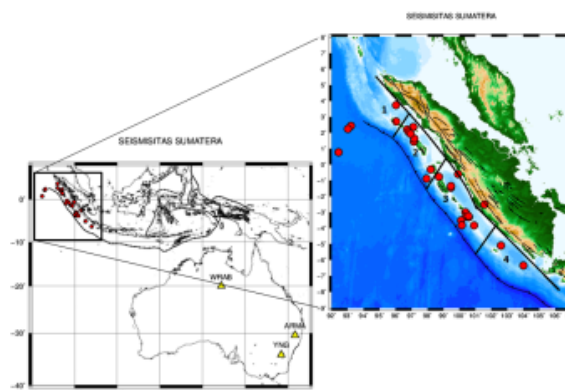
Secara umum langkah pelaksanaan penelitian dibagi menjadi 3 bagian. Pertama adalah persiapan data waveform, kedua adalah pengolahan data dan yang terakhir adalah interpretasi hasil penelitian. Langkah pertama pengumpulan data

waveform seismogram yang diperoleh dari jaringan seismograf IRIS-DMC dengan kriteria jarak stasiun pencatat terhadap gempa ( $\Delta$ ) 300-1000, dengan tujuan untuk menghindari gangguan dari fase gelombang lainya pada waveform seismogram yang tercatat, magnitudo yang digunakan adalah M 5.5 Mw dari tahun 2009-2015 di Sumatera dengan koordinat 8oLU-9o LS dan 92o106o BT. Langkah selanjutnya adalah terlebih dahulu mengubah format data waveform fullseed menjadi format SAC dengan program RDSEED. Selanjutnya dilakukan picking gelombang P dan S dengan program SAC, kemudian dilakukan windowing 50 detik dengan 2 detik sebelum onset P (Gambar 3), kemudian dihitung SNR (*signal to noise ratio*) 50 detik sebelum onset P dengan frekuensi bands 0.02-0.1 Hz, 0.1-0.4 Hz, dan 0.4-2 Hz, SNR diperoleh dengan membandingkan spektrum data observasi terhadap noise kemudian dirata-ratakan, jika rasio SNR kurang dari tiga maka signal tidak dipakai dalam pengolahan data (Gambar 4).

Tahap selanjutnya yaitu penentuan stasiun yang akan digunakan, dengan metode H/V untuk menghindari *site effect*. Analisa rasio spektrum H/V atau metode HVSR (*Horizontal Vertical Fourier Amplitude Ratio Spectra*) pada sinyal gempa bertujuan untuk memperoleh harga frekuensi dominan dan amplifikasi yang menggambarkan karakteristik tanah setempat (Nakamura, 2008). Pada Gambar 5 terlihat bahwa stasiun WRAB, YNG dan ARMA hampir datar pada angka satu dengan sedikitnya site effect yang terjadi pada daerah tersebut. Dari kriteria di atas maka dapat diperoleh kejadian gempa sebanyak 28 dari 100 kejadian gempa yang tercatat di stasiun WRAB, YNG dan ARMA dari tahun 2009-2015.



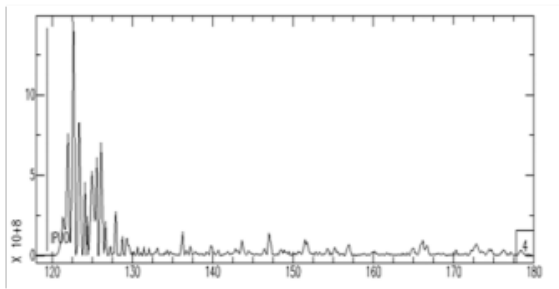
**Gambar 1.** Peta segmentasi gempabumi megathrust Indonesia (tim revisi peta gempa bumi Indonesia 2010). Batas diantara jalur subduksi warna merah dengan batas pantai warna hitam adalah daerah segmentasi gempa megathrust. Sumbu x yaitu garis Lintang, Sumbu y yaitu garis Bujur.



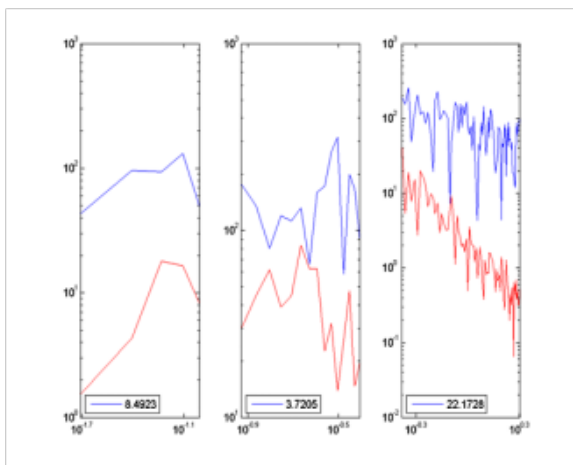
**Gambar 2.** Seismisitas Sumatera (lingkaran merah) untuk magnitudo gempa lebih dari atau sama dengan 5.5 Mw dan kedalaman kurang dari atau sama dengan 50 Km.

Tahap kedua yaitu pengolahan data dimulai dengan melakukan koreksi instrument dan taper dengan metode multitaper, setelah itu sinyal waveform diintegrasikan dari velocity ke displacement kemudian dengan menggunakan Fast Fourier Transform (FFT) didapat spektrum displacement observasi (Gambar 6).

Sebelum spektrum ini dianalisis, maka dilakukan proses dekonvolusi yaitu menghilangkan instrumen respon, dan efek path (atenuasi dan geometrical spreading). Tujuan dekonvolusi ini adalah mendapatkan spektrum sumber gempa bumi yang sebenarnya. Menurut Hartzell (1992), rekaman sinyal seismogram dari suatu kejadian gempabumi merupakan gabungan dari beberapa informasi properti gempabumi, ditunjukkan dengan persamaan berikut:



**Gambar 3.** Jendela data waveform 50 detik yang diambil dari 2 detik sebelum P onset. Sumbu x adalah periode (detik), Sumbu y adalah frekuensi sinyal (Hz).

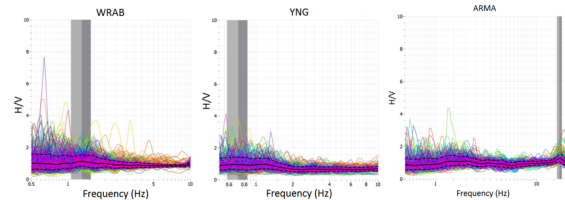


**Gambar 4.** Spektrum data, kurva biru menunjukkan data sedangkan merah merupakan noise. Sumbu x adalah periode (detik), Sumbu y adalah frekuensi sinyal (Hz).

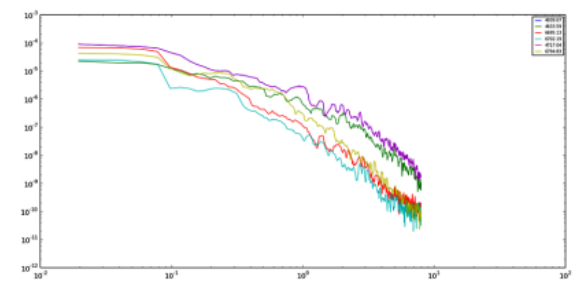
$$Seismogram(f) = Source(f) * Path(f) * Site(f) * Instrument(f)$$

dimana source (f) adalah spektrum dari efek sumber yang berkaitan dengan parameter seperti seismic moment, source radius, stress drop yang menggambarkan mekanisme pada sumber gempa bumi. Sedangkan path (f) adalah spektrum akibat efek penjalaran dari sumber ke stasiun pencatat yang berkaitan dengan parameter seismic attenuation (Q). Untuk site (f) adalah spektrum amplifikasi yang memuat informasi pengaruh lokal (geologi) dan terakhir instrument (f) adalah spektrum yang disebabkan oleh pengaruh dari respon alat. Untuk pengaruh dari Instrument (f) dilakukan koreksi stasiun sehingga efek dari alat dapat dihilangkan sedangkan untuk mendapatka source (f), path (f) dan site dilakukan dengan metode inversi algoritma Nelder Mead Simplex merupakan contoh dari gempa yang terjadi pada jalur subduksi Sumatera Utara.

Seluruh proses inversi ini dilakukan secara bersamaan dengan menggunakan program Python. Selanjutnya dilakukan perhitungan stress drop ( $\delta\sigma$ ). Setelah stress drop di dapat dilakukan analisis terhadap tatanan tektonik di Sumatera untuk lebih jelasnya dalam analisa data bisa dilihat pada gambar skema alur pengolahan data gambar 7.



**Gambar 5.** Spektrum H/V. Gambar balok abu-abu menggambarkan kenaikan spektrum. Sumbu x adalah frekuensi sinyal (Hz), Sumbu y adalah H/V.



**Gambar 6.** Contoh spektrum displacement seismogram observasi. Gambar kurva merupakan spektrum displacement logaritmik untuk contoh gempa di subduksi. Sumbu x adalah periode (detik), Sumbu y adalah frekuensi sinyal (Hz).

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Regional *Stress Drop*

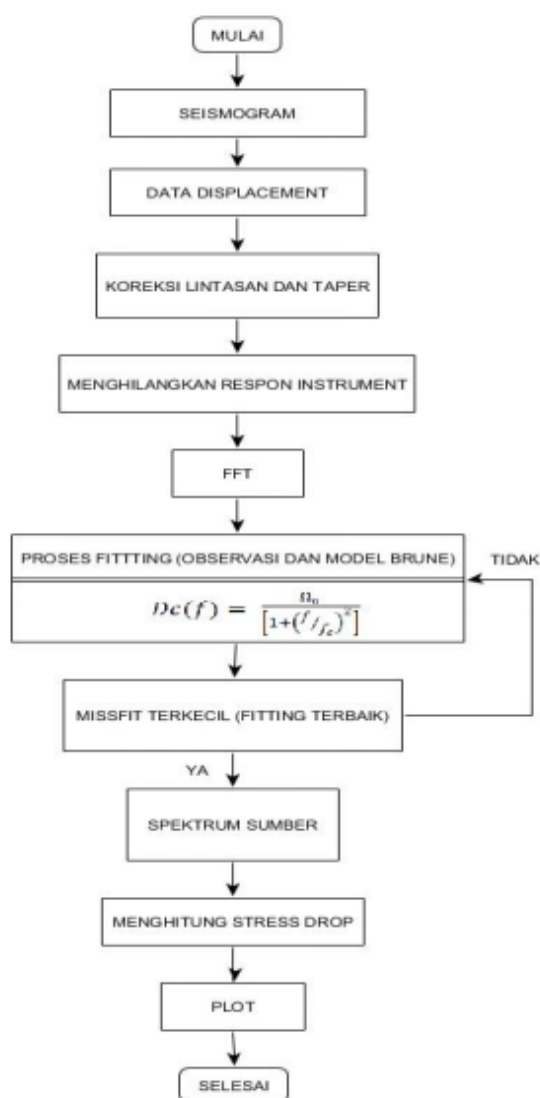
Peta stress drop dan focal mechanism (Gambar 8) menunjukkan bahwa nilai stress drop sebesar 39.26 Mpa terdapat pada daerah crustal. Nilai stress drop dengan range 0.17-20.65 Mpa terdapat pada daerah subduksi. Nilai stress drop dengan range 2.6-4.3 Mpa terdapat pada zona outerise.

Nilai stress drop terbesar yaitu 39.26 Mpa dengan tipe focal mechanismnya strike slip yang terjadi didarat. Hasil ini bersesuaian dengan Allmann dan Shearer (2009) yang meneliti daerah

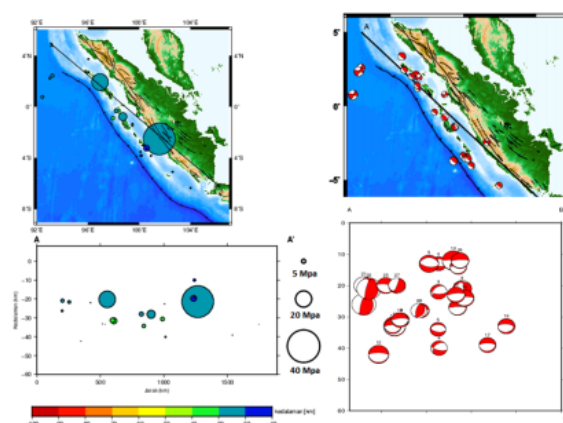
Hindikush Asia Tengah dengan nilai sekitar 30 MPa di wilayah Hindukush yang merupakan jajaran dari pegunungan Himalaya. Nilai stress drop terkecil yaitu 0.17 Mpa dihasilkan dari gempa thrust fault di zona subduksi. Hal ini umum terjadi sepanjang zona subduksi seperti hasil Allmann dan Shearer (2009) bahwa nilai stress drop sangat rendah terjadi di sepanjang zona subduksi Cocos di Amerika Tengah dengan nilai rata-rata di bawah 1 MPa. Nilai stress drop dengan range 2.6-4.3 Mpa pada zona outerise yaitu di daerah Nintyeast Ridge bersesuaian dengan Allmann dan Shearer (2009), mereka menyimpulkan bahwa median stress drop bernilai kecil ditemukan pada oceanic ridge events (ORB), dan continental collision boundary events (CCB). Region Sumatera menunjukkan pola stress drop yang sangat heterogen baik pada region outerise, subduksi maupun di region crustal yang dipengaruhi oleh keadaan tektonik masing-masing region.

##### 4.2 *Stress Drop* dan Tektonik Sumatera

Sumatera dengan nilai stress drop antara 0.17 36 Mpa yang terbagi menjadi 3 tatanan tektonik berdasarkan cakupan data yang tercatat yaitu daerah outerise, subduksi serta daerah crustal, Menurut Shearer dkk., (2006) mengungkapkan bahwa stress drop sensitif terhadap tipe tektonik rezim.



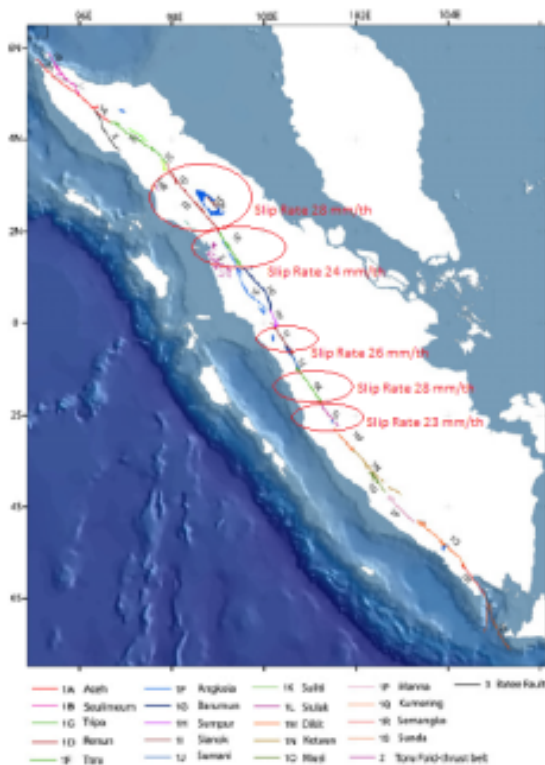
Gambar 7. Skema alur pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 8. Peta stress drop dan focal mechanism Sumatera. Gambar kiri atas merupakan peta stress drop di Sumatera, bulat biru menunjukkan besarnya stress drop, sedangkan gambar kiri bawah merupakan gambar besarnya stress drop terhadap kedalaman, Gambar kanan atas merupakan peta focal mechanism kejadian gempa di Sumatera, untuk gambar kanan bawah merupakan gambar focal mechanism terhadap kedalaman.

4.2.1 Stress drop daerah crustal

Hasil nilai stress drop di daerah crustal dengan satu kejadian gempa memiliki nilai stress drop tinggi yaitu 39.26 Mpa. Menurut Natawidjaya dan Triyoso (2007) tepatnya di zona sesar Sumatera di segmen Siulak dengan tipe faultnya menganan dengan panjang segmen 70 Km, sedangkan slip ratenya sebesar 23 mm/th (Gambar 9) Segmen Siulak geomorfiknya merupakan danau kerinci dan kunyit volcano. Slip rate pada segmen Siulak memiliki slip rate yang lebih kecil dibandingkan dengan segment yang lainnya dan memiliki stess drop yang besar sesuai dengan yang disimpulkan oleh Goebel dkk (2015) Menurut Goebel dkk., (2015) menyimpulkan bahwa stress drop berbanding terbalik dengan tingkat slip rate di sepanjang sistem sesar San Andreas. Slip rate kecil menghasilkan nilai stress drop lebih tinggi sedangkan slip rate besar menghasilkan nilai stress drop kecil.



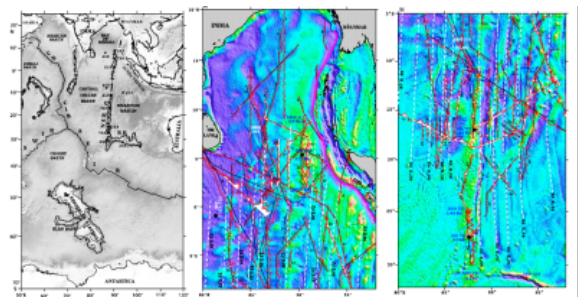
Gambar 9. Zona fault Sumatera (Natawidjaya dan Triyoso., 2007). Gambar lingkaran menggambarkan segment di Sumatera dengan masing-masing besarnya slip rate setiap tahunnya.

4.2.2 Stress drop daerah outerise

Nilai stress drop di daerah Ninety East Ridge terdapat 3 kejadian gempa dengan range 2.6 - 4.3 Mpa. Tipe gempa di daerah ini merupakan strike slip berada pada sistem Ninety East Ridge. Sistem Ninety East Ridge paralel sepanjang meridian 900 dengan panjang 5000 km, topografi dapat ditelusuri dari Teluk Benggala ke selatan menuju Tenggara Indian ridge, fitur keutara dan berakhir di bawah sedimen Bengal Fan memiliki lebar rata-rata 200 km (Ramana., et al 2000). Pada sistem *Ninety East Ridge stress droop* kecil karena terdapat pada sistem zona rekahan samudera yang ditunjukkan garis putus-putus warna putih dan adanya zona patahan yang ditunjukkan garis warna merah (Gambar 10). Zona patahan dan rekahan mudah mengalami deformasi dimana gaya stress tidak begitu besar tertahan dibandingkan dengan daerah crustal walaupun tipe sesarnya sama yaitu strike slip. Hasil tersebut bersesuaian dengan Allmann dan Shearer (2009) mereka menyimpulkan bahwa median stress drop kecil ditemukan pada *oceanic ridge events (ORB)*, dan *continental collision boundary events (CCB)*.

4.2.3 Stress drop daerah subduksi

Nilai stress drop di daerah subduksi dengan 24 kejadian gempa memiliki stress drop dengan range 0.17-20.65 Mpa dengan tipe sesarnya rata-rata thrust. Gempa dengan tipe focal mechnismnya thrust fault yang terjadi pada zona subduksi memiliki nilai stress drop yang relatif kecil. Nilai stress drop kecil dikarenakan banyak terjadi pada daerah dengan regiditas yang rendah umumnya di daerah shallow subduksi slab. Allmann dan shearer



Gambar 10. Ninety East Ridge (Krishna dkk., 2012). Gambar kiri menunjukkan sistem Ninety East Ridge. Gambar tengah dan kanan menunjukkan zona patahan dan rekahan sistem Ninety East Ridge, zona patahan ditandai dengan garis warna merah sedangkan zona rekahan dengan garis putih putus-putus.

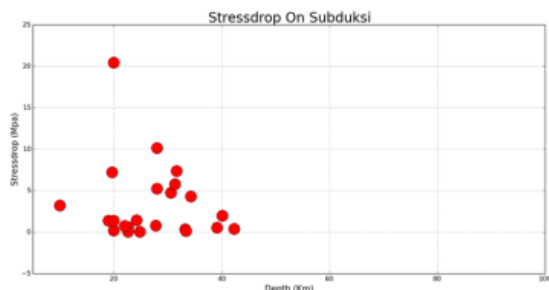
(2009) mengungkapkan bahwa variasi stress drop dipengaruhi oleh variasi rigiditas, variasi material lempeng yang berbeda, serta variasi nilai absolute dari tegangan utama atau orientasi batas lempeng terhadap arah tegangan utama. Nilai stress drop tinggi di daerah subduksi dikarenakan terjadi pada daerah dengan rigiditas yang tinggi bersesuaian dengan Allmann and Shearer (2009) yang meneliti di daerah subduksi Tonga. Gempa sepanjang subduksi Tonga menunjukkan nilai stress drop lebih tinggi di ujung utara dari zona subduksi yaitu zona Wadati Benioff.

Gempa di subduksi Sumatera terdapat nilai stress drop yang berbeda tetapi memiliki kedalaman yang sama yaitu 0.49 Mpa dan 20.65 Mpa pada kedalaman 20 km (Gambar 12). Nilai stress drop 20.65 Mpa terdapat pada daerah accreted wedge ridge sedangkan nilai stress drop 0.49 Mpa terdapat pada daerah forearc basin yang dapat dilihat pada (Gambar 11).

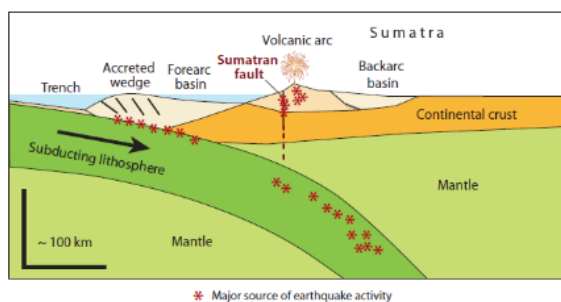
Nilai stress drop pada kedua tempat tersebut berbeda karena adanya tatanan tektonik yang mempengaruhinya, untuk stress drop kecil dengan nilai 0.49 Mpa terletak pada daerah forearc basin yang

merupakan daerah dengan tipe batuan yang mudah mengalami deformasi atau zona hancuran yang merupakan lapisan sedimen. Sedangkan stress drop besar dengan nilai 20.65 Mpa terletak pada daerah forearc ridge merupakan ridge dengan sedimen tebal yang merupakan bagian dari dasar laut, yang dikenal sebagai accreted wedge.

Daerah *accreted wedge* merupakan lipatan dan sering terdapat sesar. Aktifitas subduksi dari lempeng Indian yang menumbuk lempeng Eurasia pada daerah tersebut sering mengakibatkan gempa (Gambar 12), dari adanya gaya tekan dari subduksi maka akan terjadi akumulasi stress pada daerah tersebut. Adanya tahanan dari wedge tersebut maka stress dapat tertahan sehingga nilai stress drop cukup besar karena daerah tersebut memiliki material yang kuat dalam menahan stress. Forearc ridge berbentuk ridge tetapi bukan yang berkaitan dengan sea floor spreading melainkan hasil dari accretional wedge karena sudah mengalami penumpukan wedge, bagian accreted wedge terdapat gempa yang di manifestasikan dengan bintang warna merah pada kedalaman sekitar 20 Km bersesuaian dengan kedalam gempa pada penelitian ini.



**Gambar 11.** Nilai stress drop (titik merah) terhadap kedalaman di daerah subduksi.



**Gambar 12.** Skema tektonik Sumatera (Mc Caffrey, 2009). Gambar bintang warna merah merupakan kejadian gempa bumi.

## 5. KESIMPULAN

Stress drop pada daerah crustal segment Siulak menghasilkan nilai terbesar yaitu 39.26 Mpa dikarenakan daerah tersebut memiliki slip rate yang kecil jika dibandingkan dengan segment lainnya di Sumatera. Zona Ninety East Ridge menghasilkan nilai stress drop yang kecil 2.6 - 4.3 Mpa dikarenakan daerah ini merupakan daerah rekahan serta patahan. Daerah accretional wedge menghasilkan nilai stress drop tinggi 20.65 Mpa, merupakan lapisan sedimen tebal sehingga mampu menahan stress. Zona Forearc basin menghasilkan nilai stress drop kecil 0.49 Mpa karena merupakan lapisan sedimen yang mudah mengalami deformasi. Stress drop di Sumatera dipengaruhi oleh tipe tektonik, material batuan, serta slip rate masing-masing region di Sumatera.

Variasi Stress drop di Sumatera ditentukan oleh tatanan tektonik yang mempengaruhinya baik dari segi tipe tektoniknya, material batuanya, serta slip ratenya.

## TERIMA KASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada IRIS-DMC yang telah memberikan data dan katalog data.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allmann, B., and Shearer, P. (2007) : Spatial and temporal stress drop variations in small earthquakes near Parkfield, California, *J. Geophys. Res.*, 112, B04305, doi:10.1029/2006JB004395.
- Allmann, B., and Shearer, P. (2009): Global variations of stress drop for moderate to large earthquakes, *J. Geophys. Res.*, VOL. 114, B01310, doi:10.1029/2008JB005821, 2009.
- Bock (2003): Crustal Motion In Indonesia From Global Positioning System Measurements, *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 108, No. B8, 2367, Doi:10.1029/2001jb000324, 2003.
- Brune, J. N. (1970): Tectonic Stress and The Spectra of Seismic Shear Waves From Earthquake, *J. Geophys. Res.*, 75, 4997-5009. (1971): Correction: *J. Geophys. Res.*, 76, 5002.
- Darman dan Sidi (2000): Review of the paleozoic Stratigraphy of the Langkawi Islands, Malaysia, *Indonesian Journal Of the Sedimentary Geology*, ISBN 0853-9413.
- Grandis, H. (2008): *Pemodelan Inversi Geofisika*, Badan Meteorologi dan Geofisika. Jakarta.
- Hall, R. and Wilson, M. E. J. (2000): Neogene suture in eastern Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18, 781-802.
- Hamilton, W. (1979): *Tectonics of the Indonesian Region*, U.S. Geological Survey Professional Paper, 1078.
- Krishna et al., (2012): Tectonics of the Ninetyeast Ridge derived from spreading records in adjacent oceanic basins and age constraints of the ridge. *J. Geophys Res* VOL. 117, B04101, doi:10.1029/2011JB008805, 2012.
- Lay and Wallace, T.C. (1995): *Modern Seismology*, Academic Press, San Diego.
- Madariaga, R. (1976): Dynamics of An Expanding Circular Fault. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 66, 639-666.
- McCaffrey, R. (2009): *The Tectonic Framework of the Sumatran Subduction Zone*, Earth and Environmental Sciences, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York.
- Natawidjaja, D.H. and Triyoso, W. (2007): The Sumatran Fault Zone From Source To Hazard, *J. Earthquake and Tsunami* 2007.01:21-47. Downloaded from [www.worldscientific.com](http://www.worldscientific.com) by UNIVERSITY AT BUFFALO on 02/05/15.
- Sativa, O (2013): *Estimasi Site Effect Dari Data Accelerogram Borehole Dan Accelerogram Permukaan*, Tugas Akhir Strata Satu Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.
- Savage, J. C. (1972): Relation of Corner Frequency to Fault Dimension. *J. geophys. Res.*, 77, 3788-3795.
- Shearer, P. (2009): *Introduction to Seismology* 2nd Edition, Cambridge University Press, 268-271.
- Shearer, P.M. (1999). *Introduction to seismology*. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010. Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010, Bandung 1 Juli 2010, Laporan Studi.
- Van Bemmelen, R. W. (1949). *The geology of Indonesia*. Vol. IA. Government Printing Oce, Martinus Nijhof, The Netherlands.
- Walpersdorf, A., Vigny, C., Subarya, C. dan Manurung, P. (1998): Monitoring of the Palu-Koro Fault (Sulawesi) by GPS. *Geophysical Research Letters*. American Geophysical Union.
- [www.rses.edu.au/ak135/ak135f.html](http://www.rses.edu.au/ak135/ak135f.html). Diunduh tanggal 29 Januari 2016.
- [www.isc.ac.uk](http://www.isc.ac.uk). Diunduh tanggal 30 Januari 2016.
- <http://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=stress>