

KORELASI ANTARA AZIMUT STASIUN DENGAN DURASI RUPTURE GEMPA BUMI DI PULAU SUMATERA

Irma Fitriani dan Madlazim

Jurusan Fisika, FMIPA, UNESA, email: imaa.fittri@gmail.com

Abstrak

Pulau Sumatera yang terletak di bagian barat Indonesia, merupakan satu dari beberapa wilayah di negara ini yang rawan gempa bumi. Pulau ini tergolong rawan gempa karena terdapat titik pertemuan antara lempeng Eurasia dengan lempeng Indo-Australia yang kemudian menghasilkan *trench* Sunda. Selain itu, tercatat beberapa gempa berskala lebih dari 5 SR mengguncang pulau ini yang menimbulkan keresahan warga tentang potensi terjadinya gempa susulan. Tujuan penelitian ini adalah menemukan korelasi antara azimut stasiun dengan durasi *rupture*, dan hubungan antara durasi *rupture* dengan arah *rupture*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah dengan metode langsung yaitu dengan mengolah durasi *rupture* (T_{dur}) menggunakan *software* Joko Tingkir dimana data tersebut diperoleh dari (<https://ds.iris.edu/wilber3/>) periode 2007-2012, dan azimut stasiun yang diperoleh dari *website* yang sama. Kemudian dengan menggunakan *software* Data Tool didapatkan persamaan korelasi antara durasi *rupture* (T_{dur}) dengan azimut stasiun dan pada *website plot.ly*, didapatkan grafik korelasi antara keduanya. Dari hasil penelitian ini diperoleh korelasi antara azimut stasiun dengan durasi *rupture* berbentuk sinusoida dengan *R-Squared* pada masing-masing kejadian gempa sebesar 0.9264, 0.7125, 0.8932, dan 0.9353. Dan pada penelitian ini diperoleh pula bahwa hubungan antara durasi *rupture* dengan arah *rupture* menyerupai Efek Doppler, yakni semakin dekat dengan arah *rupture*, maka durasi *rupture* akan semakin singkat, begitupun sebaliknya..

Kata kunci: korelasi, gempa bumi, azimut stasiun, durasi *rupture*, arah *rupture*

Abstract

Sumatra island located in the western part of Indonesia, is one of several regions in this country prone to earthquakes. This island classified as prone to earthquakes because there is a meeting point between Eurasia straight forward with the Indo-Australian plate which then generates the Sunda trench. In addition, there were several earthquakes over magnitude 5 SR which shake the island raises concerns of citizens about the potential occurrence of aftershocks. Purpose of this study are found a correlation between the azimuth station with the duration of rupture, and get the relationship between the duration of the rupture with the direction of rupture. The method used in this research is the direct method is to process the duration of rupture (T_{dur}) using software Joko Tingkir where the data is obtained from (<https://ds.iris.edu/wilber3/>) in the period 2007-2012, and azimuth station obtained from the same website. Then, using equations obtained software Tool Data correlation between the duration of rupture (T_{dur}) with azimuth stations and on the website plot.ly, obtained graph the correlation between the two. From the results of this study showed a correlation between the azimuth station rupture duration sinusoidal shape with *R-Squared* at each occurrence of the earthquake of 0.9264, 0.7125, 0.8932, and 0.9353. And in this study showed also that the relationship between the duration of the rupture with the direction of rupture resembles the Doppler effect, which is closer to the direction of rupture, the rupture will be more brief duration, vice versa.

Keywords: correlation, azimuth station, the duration of rupture, the direction of rupture.

PENDAHULUAN

Dalam kurun waktu kurang dari dua tahun, yakni Desember 2004 sampai dengan Mei 2006, terdapat dua gempa bumi yang sangat dahsyat di Indonesia, gempa Aceh dan gempa Yogyakarta. Kedua gempa ini memiliki efek sangat buruk, selain cukup merusak, gempa ini juga memakan banyak korban jiwa (Makrup, 2013). Aceh yang notabene berada di pulau Sumatera, menempatkan pulau ini menjadi salah satu dari tiga pulau besar di Indonesia yang rawan akan gempa bumi, selain pulau Jawa dan pulau Papua. Pulau Sumatera yang berkoordinat 0°00'LU 102°00'BT ini bukan hanya pada

tahun 2004 saja mengalami gempa bumi dengan ukuran lebih dari 5 SR, tetapi juga di tahun 2005 dan 2009.

Penyebab terjadinya gempa karena adanya tumbukan antar lempeng. Santosa (2008) mengungkapkan bahwa Indonesia terdiri atas tiga buah lempeng, yakni Lempeng lautan Hindia dan Lempeng Sunda, Lempeng Sunda Kecil, dan Lempeng Sahul. Lempeng lautan Hindia dan Lempeng Sunda bertumbukan di sepanjang palung Jawa dan Sumatera, Lempeng Sunda Kecil terletak di Sulawesi dan sekitarnya, dan Lempeng Sunda Kecil terdapat di Laut Arafuru dan Irian. Sedangkan secara umum, di Indonesia juga terdapat tiga lempeng besar dunia, yakni lempeng Indo-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng

Eurasia. Tumbukan dari lempeng-lempeng inilah yang kemudian menyebabkan adanya potensi gempa bumi yang harus diantisipasi.

Dampak gempa ada bermacam-macam, salah satu yang paling nampak adalah runtuhnya bangunan-bangunan yang dapat menyebabkan korban kehilangan harta benda, luka-luka, dan kematian, serta dapat pula memicu bencana alam lainnya, tsunami di Aceh misalnya. Gempa dan tsunami di Aceh telah menimbulkan banyak sekali korban yakni dengan rincian lebih dari 275648 terbunuh, 14459 hilang, dan 2242212 kehilangan tempat tinggal. Gempa secara tidak langsung juga telah merusak ekonomi nasional, karena anggaran yang semestinya digunakan untuk menstimulasi pertumbuhan ekonomi nasional pada akhirnya digunakan untuk pemulihan kembali kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat yang terkena efek gempa (Makrup, 2013). Oleh karena itu, perlu adanya studi mengenai kegempaan lebih lanjut, khususnya mengenai korelasi antara azimut stasiun dengan durasi *rupture* yang dimaksudkan agar masyarakat dapat sedini mungkin melakukan tindakan mitigasi bencana guna menekan angka korban jiwa dengan pengetahuan tersebut.

Sebelumnya, Stein dan Wyession (2003, dalam Convers 2013) telah menyatakan secara sederhana hubungan antara azimut stasiun dengan durasi *rupture* dimana ia melambangkan ϕ sebagai azimut dan T_{dur} sebagai durasi *rupture*. Dalam perumusan, hubungan antara azimut dan durasi *rupture* yakni hubungan cosinus yang dipengaruhi oleh Efek Doppler. Efek Doppler dalam kasus seismik ini juga dituliskan oleh Erdey (2007) dimana terdapat hubungan jarak antara stasiun-hiposenter dengan durasi *rupture*. Dan Caldeira (2010) pun mempertegas bahwa memang ada hubungan jelas antara azimut stasiun dengan durasi *rupture*.

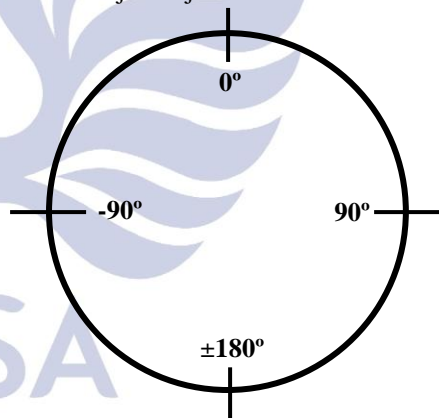
Azimut stasiun digunakan sebagai acuan perekam karakteristik gempa bumi yang berupa hasil durasi *rupture* sebagai pertimbangan akan terjadinya gempa bumi yang sangat berbahaya. Dalam kenyataannya sampai saat ini penulis belum menemukan lembaga-lembaga seismologi yang memanfaatkan secara langsung hubungan antara azimut stasiun dengan durasi *rupture*. Seiring dengan ditemukannya *software* 'Joko Tingkir' oleh Madlazim yang dapat menentukan durasi *rupture* dalam waktu yang cukup singkat, penulis ingin memahami lebih dalam dengan harapan mampu menemukan korelasi antara azimut stasiun dengan durasi *rupture*.

TEORI DASAR

Salah satu contoh dari Efek Doppler dalam kehidupan sehari-hari ialah bunyi klakson sebagai pemberitahuan pada pengendara lain untuk memperhatikan jalannya.

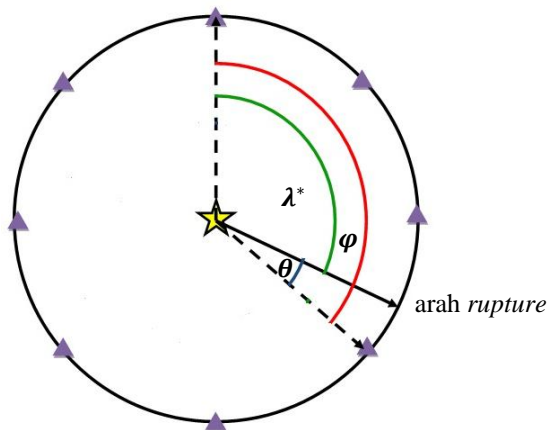
Sedangkan dalam ilmu kegempaan, pemanfaatan Efek Doppler yang sudah ada salah satunya yakni untuk mengestimasi arah *rupture* dengan menggunakan durasi *rupture* oleh Madlazim (2011). Dalam menentukan durasi *rupture* stasiun membutuhkan seismogram gempa yang dipancarkan dari episenter berupa gelombang dengan frekuensi yang berbeda. Disinilah penerapan Efek Doppler berperan penting dengan prinsip perubahan atau perbedaan frekuensi karena posisi pada setiap stasiun perekam berbeda tempatnya.

Azimut (*bearing*) merupakan sudut antara satu titik dan arah utara dari seorang pengamat (Somantri, 2009). Azimut ada beberapa macam antara lain: (1) Azimut Asli, (2) Azimut Magnetis, (3) Azimut Kisi, dan (4) Azimut Anggapan (Brinker dan Wolf, 1984). Azimut asli memiliki arah searah jarum jam (Brinker dan Wolf, 1984) (Headquarters Department of the Army, 1993). Sudut azimut dapat bernilai positif dan maksimum 360° apabila diukur searah jarum jam. Sudut azimut juga dapat bernilai negatif (-) jika diukur dengan arah berlawanan jarum jam, atau *reverse*. Umumnya bila azimut bernilai negatif, maka azimut bernilai maksimum 180° , dimana 0° - 180° bernilai positif untuk sudut dari utara hingga selatan yang searah jarum jam, dan 0° - 180° bernilai negatif untuk sudut dari utara hingga selatan yang berlawanan arah jarum jam.



Gambar 1 Azimut dapat bernilai positif dan negatif

Azimut stasiun ialah besarnya sudut antara satu stasiun perekam dengan utara episenter sebagai titik nolnya. Pada Efek Doppler, telah diketahui bahwa semakin dekat jarak sumber suara dengan si pendengar, maka frekuensinya akan semakin besar. Dan telah diketahui pula bahwa frekuensi berbanding terbalik dengan waktu, dalam hal ini periode. Oleh karenanya, semakin besar jarak antara sumber suara dengan si pendengar (stasiun perekam), maka durasinya akan semakin besar pula. Begitupun sebaliknya, semakin dekat jarak antara keduanya, durasi kecil pula durasi perambatannya.



Gambar 2 Pemetaan stasiun perekam dengan episenter gempa

Convers dan Newman (2013) mengungkapkan kaitan antara azimut stasiun dengan durasi *rupture* dalam persamaan seperti di bawah ini:

$$T_{dur} = \frac{L}{V_r} - \frac{L}{V_{app}} \cos(\varphi - \lambda^*)$$

dimana L merupakan panjangnya patahan, V_r kecepatan patahan, V_{app} kecepatan gelombang P yang sebenarnya, λ^* sudut antara arah rambatan dengan utara episenter (sudut *rupture*), dan φ sudut antara utara episenter dengan stasiun perekam.

Pada jurnal yang lain, Hwang, et. al. (2011) menyatakan bahwa adanya keterkaitan antara durasi *rupture* dengan sudut ketidak-tepatan, yakni sudut yang dibentuk oleh arah rambatan *rupture* dengan stasiun perekam. Berikut persamaannya:

$$T_{dur} = \frac{L}{V_r} - \frac{L}{V_{app}} \cos \theta$$

dengan θ adalah sudut ketidak-tepatan. Maka, dari kedua persamaan di atas dapat ditemukan hubungan antara azimut stasiun dan sudut *rupture* dengan sudut ketidak-tepatan, yakni $\theta = \varphi - \lambda^*$.

METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini berjenis penelitian terapan yang berbasis komputasi dengan sumber data sekunder, data online yang diunduh dari Wilber3 yang terdapat pada situs IRIS, <http://ds.iris.edu/wilber3/> periode 2007-2012 dengan objek penelitian di wilayah Sumatera dengan batas wilayah 6° LU - 7° LS dan 92° BB - 108° BT dengan besar magnitudo > 7 Mw dan jarak antara stasiun perekam dengan lokasi gempa bumi pada penelitian ini > 1.000 km. Data yang sudah diunduh tersebut selanjutnya dianalisis di laboratorium komputasi menggunakan *software* “Joko Tingkir”. Data yang digunakan merupakan data kuantitatif.

B. Instrumen Penelitian

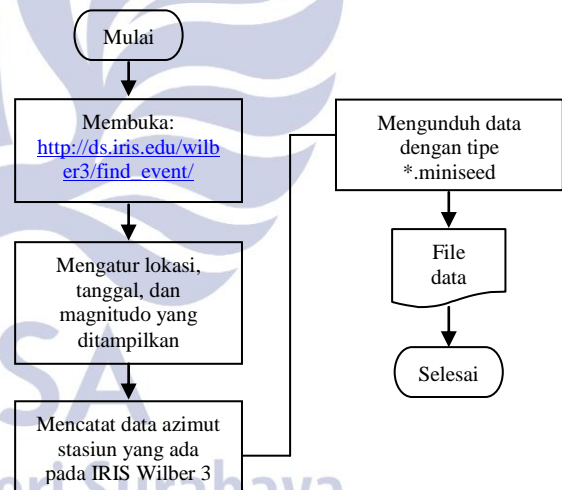
Software “Joko Tingkir” merupakan program komputer yang dapat mengestimasi parameter sumber gempa bumi, durasi *rupture* (T_{dur}), periode (T_d) dominan, dan durasi lebih dari 50 detik ($T50Ex$) dari

gelombang P yang terekam oleh stasiun seismik lokal dengan menggunakan metode prosedur langsung. “Joko Tingkir” ditulis dengan bahasa program BASH yang dapat di *running* pada sistem operasi LINUX (UNIX) dan membutuhkan kompilasi *software* lain, yakni *software* SeisGram2K60_20111209.jar yang bisa diunduh di http://alomax.free.fr/seisgram/ver60/SeisGram2K_install.html. *Software* “Joko Tingkir” mampu membaca data seismogram dalam format *miniseed*, sehingga lebih cepat membaca seismogram dalam *real time* tanpa perlu dikonversi terlebih dahulu ke dalam format SAC atau lainnya. (Madlazim, 2011).

Data Tool Analysis merupakan *software* berbasis Java yang dapat diperoleh secara gratis di situs Easy Simulation Physics (ESP) yang juga terdapat Easy Java Simulations (EJS). *Software* ini dapat membantu *plotting* data dan menganalisisnya dengan memperoleh hasil minimum, maksimum, standar error, standar deviasi, dan pendekatan nilai dari fungsi ($f(x)$).

Website plot.ly merupakan *website* berbasis Java yang dapat digunakan untuk memperoleh nilai *R-square* (R^2) pada grafik yang mana fungsi grafik ($f(x)$) nya diperoleh dari Data Tool Analysis.

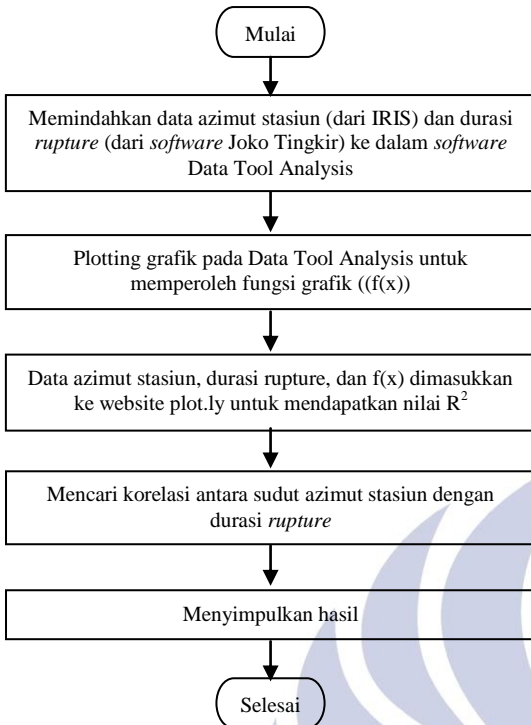
C. Metode Pengumpulan Data



Gambar 3 Diagram alir pengumpulan data

Berdasarkan gambar 3 di atas bahwa alur pengambilan data dimulai dengan membuka *website* http://ds.iris.edu/wilber3/find_event/ kemudian mengatur lokasi, tanggal, dan magnitudo yang akan ditampilkan. Setelah itu, mencatat data azimut dan informasi stasiun perekam yang ditampilkan pada *website* IRIS Wilber 3 tersebut. Selanjutnya mengunduh data yang berformat *.miniseed. Data tersebut kemudian diolah menggunakan *software* Joko Tingkir untuk memperoleh durasi *rupture*.

D. Teknik Pengolahan Data



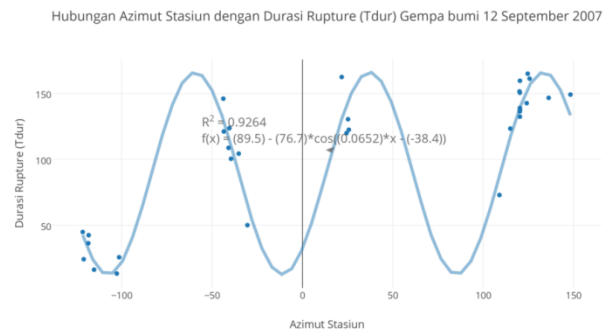
Gambar 4 Diagram alir pengolahan data

Pengolahan data penelitian ini dimulai dengan memindahkan data azimuth stasiun dan durasi *rupture* yang sudah disatukan dalam satu lembar kerja Ms. Excel ke dalam *software* Data Tool Analysis. Kemudian memplotting grafik pada *software* tersebut untuk memperoleh $f(x)$. Setelah memperoleh $f(x)$, data azimuth stasiun, durasi *rupture*, dan $f(x)$ tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam *website* plot.ly untuk mendapatkan nilai R^2 . Dari hasil R^2 serta grafik, barulah dapat dicari korelasi antara keduanya serta hubungan antara durasi *rupture* dengan arah *rupture*, lalu menyimpulkan hasil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan pada gempa bumi 12 September 2007, yang bermagnitudo dan berkedalaman masing-masing sebesar 8.5 Mw dan 35.5 km, diperoleh data grafik dan hubungan antara durasi *rupture* (T_{dur}) dengan azimuth stasiun yang berbentuk sinusoida seperti pada gambar 5 di bawah ini.



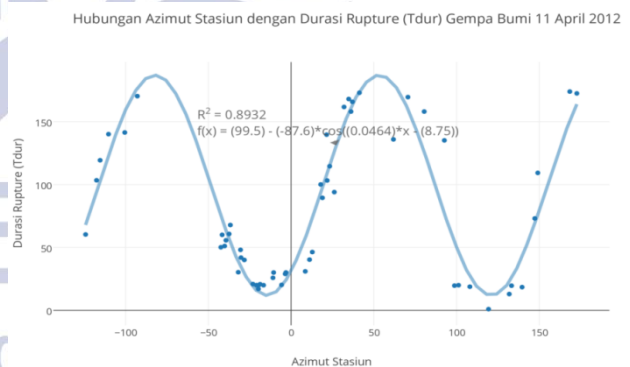
Gambar 5 Hasil grafik dan hubungan antara durasi *rupture* (T_{dur}) dengan azimuth stasiun 12 September 2007

Dari gambar di atas, arah *rupture* menuju sudut azimuth kurang dari -100° dan stasiun-stasiun perekam yang memiliki durasi *rupture* relatif lebih lama menunjukkan bahwa stasiun-stasiun tersebut dijauhi oleh arah *rupture*. Dan hubungan antara durasi *rupture* dengan azimuth stasiun seperti pada gambar 5 memiliki persamaan regresi sebagai berikut:

$$f(x) = (89.5) - (76.7) * \cos((0.0652) * x - (-38.4))$$

Sehingga diketahuilah bahwa nilai L/V_r sebesar 89.5 dan L/V_{app} sebesar 76.7 dengan korelasi sebesar 92.64%.

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan pada gempa bumi 11 April 2012, yang bermagnitudo dan berkedalaman masing-masing sebesar 8.6 Mw dan 26.3 km, diperoleh data grafik dan hubungan antara durasi *rupture* dengan azimuth stasiun yang berbentuk sinusoida seperti pada gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6 Hasil grafik dan hubungan antara durasi *rupture* (T_{dur}) dengan azimuth stasiun 11 April 2012

Berdasar pada gambar 6 di atas, arah *rupture* kemungkinan besar menuju azimuth stasiun antara $100^\circ - 150^\circ$ atau antara Timur-Tenggara dengan Tenggara-Selatan, dan stasiun-stasiun perekam yang memiliki durasi *rupture* relatif lebih lama menunjukkan bahwa stasiun-stasiun tersebut dijauhi oleh arah *rupture*. Dan dari gambar grafik hubungan antara durasi *rupture* dengan azimuth stasiun yang berbentuk sinusoida dengan persamaan regresi sebagai berikut:

$$f(x) = (99.5) - (-87.6) * \cos((0.0464) * x - (8.75))$$

Sehingga diketahuilah bahwa nilai L/V_r sebesar 99.5 dan L/V_{app} sebesar -87.6 dengan korelasi sebesar 89.32%.

B. Pembahasan

Tabel 1 Kejadian gempa bumi, arah *rupture*, dan bentuk *rupture*-nya

Kejadian Gempa Bumi	Arah <i>Rupture</i> berdasar Azimut Stasiun	Arah <i>Rupture</i> berdasar Mata Angin	Bentuk <i>Rupture</i>
12 September 2007 8.5 Mw	(-121.20°) - (-100.54)°	Barat sampai Barat Daya	Garis
11 April 2012 8.6 Mw	101.15° - 139.52°	antara Timur dengan Tenggara	Garis

Pada data pertama, yakni kejadian gempa bumi 12 September 2007 yang berkekuatan 8.5 Mw dengan kedalaman 35.5 km memiliki korelasi antara azimut stasiun dengan durasi *rupture* berbentuk sinusoida dengan R^2 0.9264. Durasi *rupture* paling singkat dari gempa ini terletak pada azimut (-121.20°) - (-100.54)°, ini menunjukkan bahwa *rupture* mengarah pada azimut tersebut. Dan apabila diterjemahkan dengan menggunakan arah mata angin, *rupture* mengarah ke daerah yang terletak diantara barat sampai barat daya dari pusat gempa. Jika melihat kembali hasil grafik pada gambar 4.2 dimana stasiun perekam yang merekam durasi *rupture* tersingkat hanya di sekitar azimut (-121.20°) - (-100.54)°, maka dapat dipastikan bahwa gempa tersebut memiliki *rupture* yang berbentuk garis.

Pada gempa bumi 11 April 2012 yang berkekuatan 8.6 Mw dan berkedalaman 26.3 km, memiliki korelasi antara azimut stasiun dengan durasi *rupture* yang berbentuk sinusoida dengan R^2 0.8932. Durasi *rupture* tersingkat gempa ini berada pada azimut 98.68° - 139.52° atau antara timur dengan tenggara. Namun durasi *rupture* yang cukup singkat juga terekam pada stasiun perekam yang berazimut (-31.92)° - 11.13° atau antara utara barat laut sampai utara timur laut. Yang demikian ini menunjukkan bahwa *rupture* gempa tersebut berbentuk garis dengan arah utama pada azimut 98.68° - 139.52° yang kemudian memanjang pada azimut (-31.92)° - 11.13°.

Dari hasil penelitian dan pemaparan di atas, diketahui bahwa azimut stasiun sebanding dengan durasi *rupture* dengan membentuk sinusoida. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jaime Andres Convers and Andrew V. Newman yang berjudul Supplementary material for "Rapid Earthquake Rupture Duration Estimates from Telesismic Energy Rates, with Application to Real-Time Warning". Penelitian Convers & Newman (2013) memperoleh rumus empiris estimasi durasi *rupture* seperti pada

persamaan (2.2). Dan dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa durasi *rupture* sebanding dengan sudut azimut stasiun dan mendapatkan nilai *R-Square* berturut-turut pada tahun 2007, 2008, dan 2012 sebesar 0.9264, 0.7125, 0.8932, dan 0.9353. Dari keempat hasil penelitian ini menunjukkan adanya korelasi antara durasi *rupture* dan sudut azimut stasiun secara sinusoida, serta adanya hubungan antara durasi dengan arah *rupture* yang menyerupai Efek Doppler.

PENUTUP

Simpanan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang penentuan korelasi azimut stasiun dengan durasi *rupture* (T_{dur}) gempa bumi lokal dapat mengambil kesimpulan dan saran sebagai berikut:

1. Dari penelitian ini diperoleh adanya korelasi antara azimut stasiun dengan durasi *rupture* yang berbentuk gelombang sinusoida dengan *R-Square* pada masing-masing kejadian gempa 0.9264, 0.7125, 0.8932 dan 0.9353.
2. Pada penelitian ini, didapatkan hubungan antara durasi *rupture* dan arah *rupture* yang menyerupai Efek Doppler, dimana semakin dekat arah *rupture*, maka durasi *rupture* akan semakin singkat yang digambarkan dalam grafik sinusoida.

Saran

Mengutamakan gempa berskala besar dengan kedalaman dangkal agar mendapatkan data yang lebih jernih (sedikit *noise*) dan dalam menentukan durasi *rupture*, diusahakan untuk benar-benar teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- Caldeira, B., Bezzeghoud, M., dan Borges, J. F. 2010. "DIRDOP: A Directivity Approach to Determining The Seismic Rupture Velocity Vector". *J Seismol.* hal. 565-600.
- Convers, J. A., dan Newman, A. V. 11 Oktober 2013. *Index of Papers Research. Geophysics Georgia Institute of Technology*, (online), (http://geophysics.eas.gatech.edu/people/aneuman/research/papers/Convers_Newman_GRL_2013supp.pdf, diakses dan diunduh 1 Oktober 2014)
- Hwang, Ruey- Der. dkk. 2011. "Rise time and source duration of the 2008 MW 7.9 Wenchuan (China) earthquake as revealed by Rayleigh waves". *Earth Planets Space* Vol.63 hal. 427-434
- Lomax, A., dan Michelini, A. 2011. "Tsunami early warning using earthquake rupture duration and P-wave dominant period: the importance of length and depth of faulting". *Geophys. J. Int.* 185. hal. 283-291.

Madlazim. 2011. "Estimasi Durasi, Arah dan Panjang Rupture serta Lokasi-lokasi Gempa Susulan Menggunakan Perhitungan Cepat". *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*. Vol. 2 (2): hal. 8-18

Makrup, L. 2013. *Seismic Hazard untuk Indonesia*. Yogyakarta: Graha Ilmu

Pawirodikromo, W. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar

Santosa, B. J. 2008. "Struktur Kecepatan Gelombang S di bawah Indonesia melalui Analisis Seismogram Gempa-gempa Bumi di sekitar Indonesia pada Stasiun Observasi UGM". *Makara*, hal. 1-12.

