

ANALISIS DINAMIKA *RUPTURE* GEMPABUMI PADA 5 AGUSTUS 2018 DI LOMBOK UTARA Mw 6,9 MENGGUNAKAN METODE MUSICBP

Sendy Oktaviana Sari, Madlazim

Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

Email : sendy.18034@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Gempabumi Mw = 6,9 yang terjadi di Lombok Utara pada 5 Agustus 2018 disebabkan karena adanya aktivitas seismik dari sesar Flores. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi *rupture* gempabumi yang terjadi di daerah Lombok Utara, Nusa Tenggara Barat. Parameter *rupture* yang diestimasi berupa nilai durasi, panjang, kecepatan, dan arah *rupture*. Metode yang digunakan ialah *Multiple Signal Back-Projection* (MUSICBP) dengan menggunakan filter *band pass* pada rentang 0,25 Hz – 1 Hz. Data yang digunakan didapatkan dari *website* IRIS Wilber 3 berupa format SAC dengan jarak *epicentral* berupa teleseismik menggunakan stasiun Array Australia sebanyak 36 stasiun yang sudah diproses dengan metode *cross correlation* sehingga diperoleh sinyal yang koheren dan sefase. Hasil dari penelitian ini yaitu pada gempabumi Lombok Utara memiliki arah *rupture unilateral* menuju ke barat. Hal tersebut sesuai dengan orientasi sesar Flores, sehingga dapat disimpulkan bahwa gempabumi ini diakibatkan karena aktivitas seismik sesar Flores. Aktivitas sesar Flores mengakibatkan gempabumi ini memiliki jenis sesar naik (*reverse fault*) dengan durasi *rupture* lebih dari 50 sekon sehingga didapatkan nilai kecepatan rambat *rupture* yaitu 3,1 km/s sepanjang 72 km. Hasil-hasil dinamika *rupture* yang didapatkan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa lokasi gempa-gempa susulan berada di jalur zona segmentasi *rupture* gempabumi ini sehingga diharapkan dapat mengestimasi lokasi-lokasi gempabumi susulan secara cepat dan akurat.

Kata Kunci: parameter *rupture*, *back projection*, teleseismik, sesar Flores.

Abstract

The Mw = 6.9 earthquake that occurred in North Lombok on August 5, 2018, was caused by seismic activity from the Flores fault. This study aims to estimate the earthquake *rupture* that occurred in North Lombok, West Nusa Tenggara. The estimated *rupture* parameters are the duration, length, speed, and *rupture* direction. The method used is *Multiple Signal Back-Projection* (MUSICBP) using a bandpass filter in the range of 0.25 Hz – 1 Hz. The data used is obtained from the IRIS Wilber 3 website in SAC format with an *epicentral* distance in the form of teleseismic using the Array Australia station as many as 36 stations that have been processed by the *cross-correlation* method so that a coherent and in-phase signal is obtained. The results of this study are that the North Lombok earthquake has a *unilateral rupture* direction towards the west. This is following the orientation of the Flores fault, so it can be concluded that this earthquake was caused by the seismic activity of the Flores fault. The Flores fault activity caused this earthquake to have a *reverse fault* type with a *rupture* duration of more than 50 seconds so that the *rupture* propagation velocity value was 3,1 km/s along 72 km. The result of the *rupture* dynamics obtained in this study indicate that the location of the aftershocks is in the segmentation zone of this earthquake *rupture* so that it is expected to be able to estimate the location of the aftershocks quickly and accurately.

Keywords : Parameter *rupture*, *back projection*, teleseismic, Flores fault.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah yang memiliki potensi terjadinya gempabumi sebab posisinya berada di pertemuan tiga lempeng utama dunia, yaitu Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik. Selain itu, Indonesia juga terletak pada posisi Cincin Api Pasifik atau biasa dikenal dengan sebutan *Pacific Ring of Fire* sehingga sering terjadi gempabumi dan letusan gunung berapi pada wilayah cekungan Samudra Pasifik. (Sulthan, 2019)

Nusa Tenggara Barat merupakan bagian dari wilayah Indonesia yang mempunyai aktivitas kegempaan yang cukup tinggi (Ulfiana *et al.*, 2020). Hal ini dikarenakan Nusa Tenggara Barat terletak dalam jalur pegunungan Mediteranian sehingga lokasinya berdekatan dengan zona tumbukan lempeng (*plate collision*). Pertemuan kedua lempeng ini bersifat konvergen karena lempeng keduanya saling bertumbukan (DeMetz *et al.*, 1994). Aktivitas dari kedua lempeng tersebut menyebabkan daerah di sekitar Nusa Tenggara Barat sangat rawan terjadi gempabumi.

Pulau Lombok merupakan salah satu daerah di Provinsi Nusa Tenggara Barat yang rawan bencana gempabumi di Indonesia karena diapit oleh dua kawasan tektonik aktif yaitu bagian selatan di jalur pertemuan Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia dan pada bagian utara terdapat patahan aktif sesar Flores (Sari *et al.*, 2012; Syafriani, 2018; Wang *et al.*, 2020)

Sesar Flores terbentuk akibat desakan balik Lempeng Eurasia terhadap Lempeng Indo-Australia yang terbentang dari utara Flores hingga utara Bali serta terbagi atas beberapa segmen, salah satunya segmen Sumbawa-Lombok dengan panjang sekitar 450 km. Sesar Flores dapat menimbulkan laju pergeseran sebesar 5,6 km hingga 6,0 km per tahun sehingga gempa yang berada di sekitar sesar tersebut dapat mencapai Mw 8,0 (Koulali *et al.*, 2016; Susilo *et al.*, 2018).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Hidayati *et al.* (2018) mengidentifikasi bahwa sesar Flores masih sangat aktif. Berdasarkan penelitian tersebut, dapat dilihat bahwa aktivitas sesar Flores sering kali menjadi penyebab adanya gempabumi yang mematikan

karena lokasinya yang dangkal dan magnitudo besar.

Aktivitas gempabumi di Pulau Lombok sering kali menimbulkan gempabumi susulan. Hal tersebut dapat diketahui melalui catatan kegempaan yang sudah ada pada beberapa tahun yang lalu, seperti gempabumi 20 Oktober 1979 (Mw 5,9), 30 Mei 1979 (Mw 6,0), 17 Desember 1979 (Mw 5,6), 20 Januari 2004 (Mw 6,2), 22 Juni 2013 (Mw 5,2), serta 29 Juli 2018 (Mw 6,4), 5 Agustus 2018 (Mw 7,0) dan 19 Agustus 2018 (Mw 6,9) (Sasmi *et al.*, 2020; Supendi *et al.*, 2020). Selain memicu adanya gempabumi, pergerakan sesar Flores juga dapat memicu terjadinya tsunami karena termasuk pergerakan *thrust fault*. (Sugianto *et al.*, 2017; Supendi *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020).

Pada umumnya, informasi yang diberikan oleh BMKG yang diteruskan ke masyarakat hanya mengenai magnitudo, waktu kejadian dan juga lokasi pusat gempabumi. Data yang dikeluarkan oleh IRIS juga hanya mengenai arah *rupture* dan besar magnitudo gempabumi. Sementara data mengenai parameter *rupture* seperti kecepatan *rupture*, panjang *rupture*, serta durasi *rupture* belum diinformasikan secara menyeluruh.

Oleh sebab itu, diperlukan usaha untuk mengurangi dampak yang dapat ditimbulkan bencana gempabumi. Salah satu usaha yang dapat dilakukan yaitu dengan mengetahui parameter *rupture* dari gempabumi Lombok Utara yang terjadi pada 5 Agustus 2018 menggunakan metode MUSICBP agar lokasi-lokasi yang berpotensi terjadi adanya gempabumi susulan dapat diestimasi lebih cepat dan dapat segera diumumkan kepada masyarakat.

Metode MUSICBP merupakan sebuah solusi yang dapat digunakan untuk merekam gelombang seismik *High Frequency* (HF) serta dapat merekam gempabumi teleseismik sehingga dapat memberikan parameter-parameter mengenai karakteristik *rupture*. (Meng *et al.*, 2011; Bao *et al.*, 2019). Karakteristik dari *rupture* yang dihasilkan berupa nilai durasi, panjang, kecepatan, dan arah *rupture*. Hal tersebut dapat memberikan informasi daerah-daerah yang berpotensi terjadi adanya gempabumi susulan (*aftershock*).

METODE PENELITIAN

Rancangan penelitian yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis penelitian korelasional berbasis komputasi dengan menggunakan *software* MATLAB. Data yang diperoleh berupa data sekunder dari IRIS yang dapat diunduh melalui *website* https://ds.iris.edu/wilber3/find_event dengan pengaturan event gempa teleseismik, serta menggunakan stasiun Array Australia sebanyak 48 stasiun. Data yang sudah direkam oleh stasiun Array Australia tersebut dapat diperoleh berupa seismogram dalam format SAC. Data yang diperoleh merupakan data *event* gempa bumi yang terjadi di Lombok Utara, Nusa Tenggara Barat pada tanggal 5 Agustus 2018 pukul 11:46:34 GMT (Longitude 116.4574° dan Latitude -8.2679°) dengan M_w 6,9 yang terjadi sedalam 10.48 km di bawah permukaan laut.

Penelitian ini menggunakan teknik *Multiple Signal Classification Back Projection* (MUSICBP) dari Meng *et al.* (2011) dan Bao *et al.* (2019). Sebuah metode proyeksi balik gelombang seismik gempabumi dengan frekuensi tinggi sehingga dapat digunakan untuk memperoleh karakteristik *rupture* pada gempabumi terutama pada kasus gempabumi besar yang berpotensi terjadinya tsunami (Bao *et al.*, 2019; Zeng *et al.*, 2020). Teknik ini juga telah digunakan oleh Madlazim *et al.* (2021) dalam penelitiannya di Laut Aegean Timur dengan M_w 7 serta di Indonesia seperti penelitian yang dilakukan oleh Bao *et al.* (2019) pada gempa Palu dengan M_w 7,5.

Metode *Back Projection* dapat merekam gelombang seismik dengan frekuensi tinggi serta dapat merekam gempabumi teleseismik meskipun hanya menggunakan satu arah sehingga dapat memberikan informasi mengenai proses karakteristik *rupture* sehingga dapat melengkapi *Back Projection* Konvensional (Ishii *et al.*, 2005; Fletcher *et al.*, 2006; Madlazim *et al.*, 2021). Metode *Back Projection* bertujuan untuk melacak area yang memiliki frekuensi tertinggi dari radiasi terkuat hanya berdasarkan sinyal *array* seismik yang sudah sefase dan koheren. Sehingga hal tersebut dapat memberikan data yang kuat dari dinamika *rupture* tanpa bergantung pada fungsi *Green*

atau pada parameter kinematik restriktif dari retakan tersebut.

Untuk membuat karakteristik *rupture* gempabumi, digunakan teknik resolusi yang dirancang untuk menyelesaikan sumber simultan jarak dekat; dan korelasi susun (Fletcher *et al.*, 2006). Hubungan antara data seismogram gempa teleseismik dengan menggunakan metode MUSICBP digunakan persamaan linier yang menghubungkan data yang diamati dengan model yang dapat ditulis pada Persamaan (1).

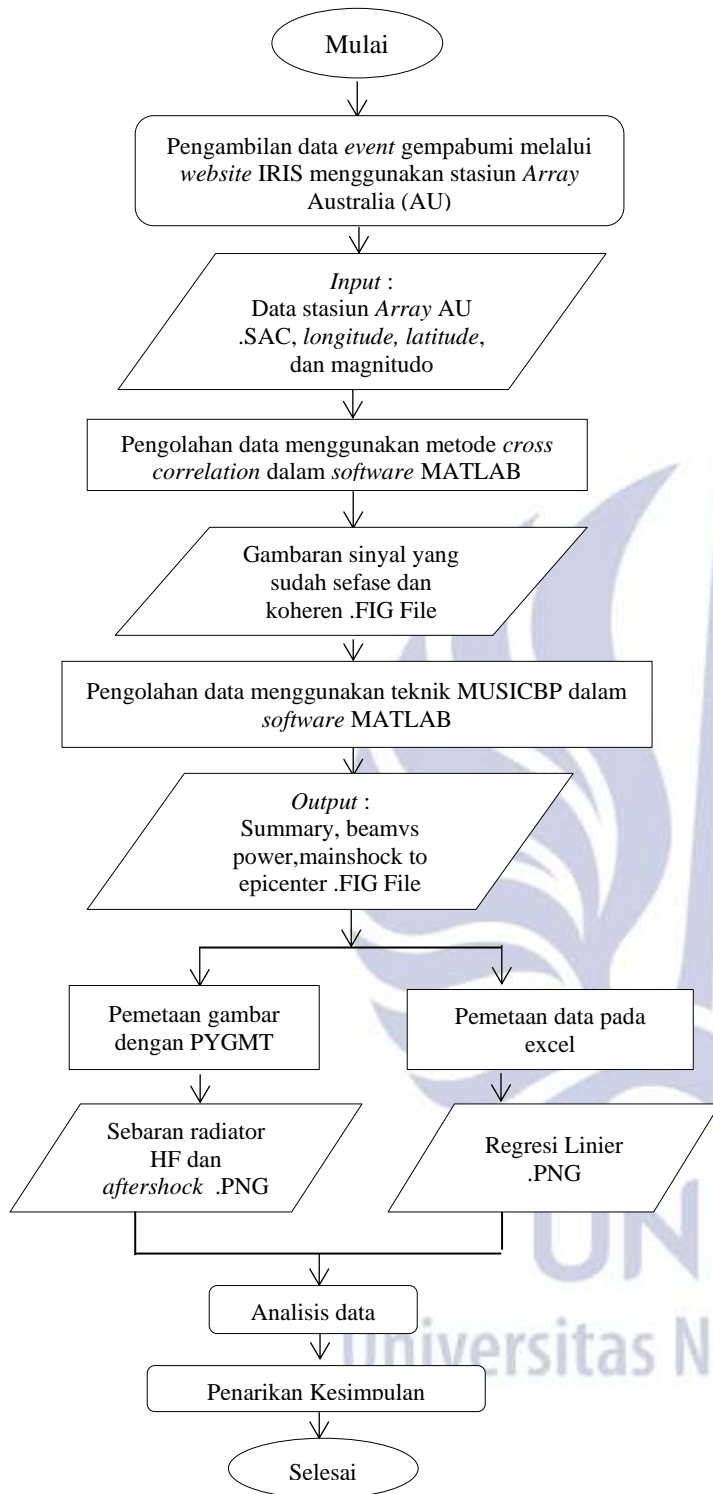
$$d = Gm \quad (1)$$

Berdasarkan notasi konvensional, maka “d” adalah vektor data, “m” adalah vektor model, serta “G” adalah operator linier yang memprediksi data dari model. Hal utama yang harus dihitung adalah waktu tempuh antara titik model dan setiap stasiun perekaman. Sehingga hal tersebut dapat memberikan pergeseran waktu yang diperlukan untuk menemukan waktu di setiap seismogram yang sensitif terhadap gangguan model.

Dengan menggunakan metode MUSICBP yang diolah dalam *software* MATLAB, diperoleh *output* data yang berupa plot gambar *summary*, *power vs time* serta *distance vs time*. Kemudian melakukan perhitungan kecepatan *rupture* dengan regresi linier yang diplot menggunakan data dari *distance vs time* menggunakan *excel*. Kecepatan *rupture* dapat dituliskan melalui Persamaan (2).

$$y = mx + c \quad (2)$$

Keterangan pada Persamaan (2) yaitu y adalah waktu, m adalah nilai kecepatan, x adalah jarak, dan c adalah nilai *offset*. Selanjutnya, gambar sebaran radiator HF dan gempabumi susulan diplot menggunakan PYGMT sehingga didapatkan analisis data dari pengolahan data yang dihasilkan yaitu berupa arah *rupture*, durasi *rupture*, panjang *rupture* serta kecepatan *rupture*.



Gambar 1. Skema Diagram Alir Pengolahan Data

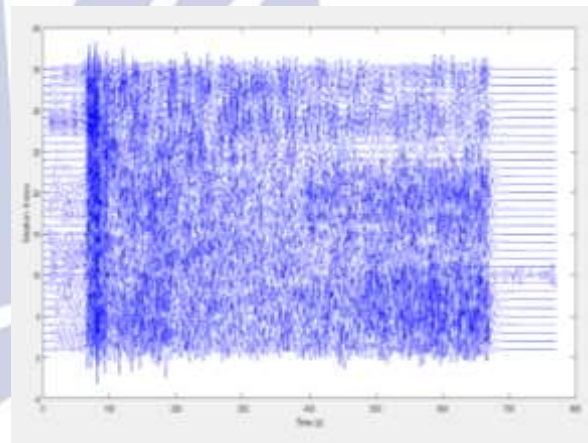
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Gempabumi Mw 6,9 yang terjadi di Lombok Utara pada 5 Agustus 2018 direkam dengan menggunakan stasiun Array Australia

(AU) sebanyak 48 stasiun. Stasiun yang dipilih dekat dengan sumber gempabumi dan memiliki jarak *epicentral* teleseismik. Pada penelitian ini untuk memfilter *noise* digunakan metode *cross correlation* dengan filter *band pass* antara 0,25 Hz sampai 1 Hz sehingga stasiun yang didapatkan menjadi 36 stasiun. Karakteristik *rupture* diperoleh menggunakan metode MUSICBP dengan merekam lokasi gelombang seismik yang berada di daerah sebaran radiasi HF.

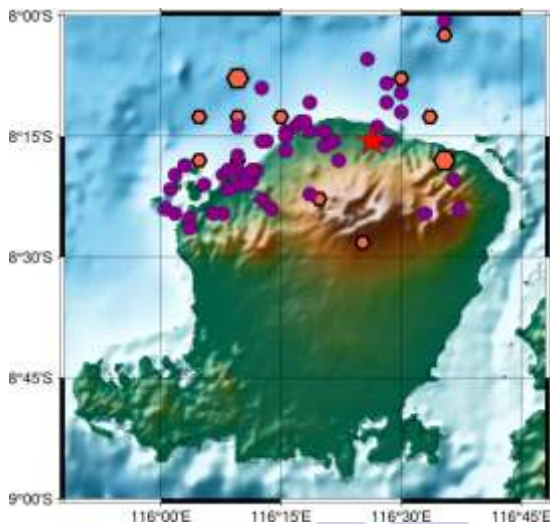
Gambar 2 merupakan hasil dari proses *alignmen* dengan menggunakan metode *cross correlation* dengan memfilter bentuk gelombang pada rentang *band pass* antara 0,25 Hz sampai 1 Hz. Bentuk gelombang seismik pada gelombang-P pada gambar tersebut telah menghasilkan bentuk sinyal yang koheren dan sefase.



Gambar 2. Bentuk gelombang sinyal yang sudah koheren dan sefase

Gambar 3 menunjukkan dinamika *rupture* pada gempabumi Lombok Utara 5 Agustus 2018 yang dihasilkan dengan menggunakan stasiun Array Australia (AU). Gempabumi susulan pada gambar tersebut ditandai dengan lingkaran berwarna ungu, radiator HF pada gempabumi ini ditandai dengan poligon berwarna coklat, dan episenter gempabumi ditandai dengan bintang berwarna merah. Hasil dari gambar tersebut menunjukkan area radiasi HF meluas secara *unilateral* menuju ke barat dan sebagian ke timur dengan energi maksimum serta kecepatan yang relatif rendah. Energi maksimum pada gempabumi ini ditunjukkan melalui poligon berwarna coklat

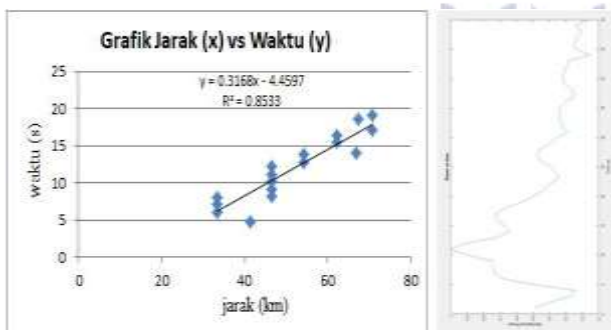
terbesar yang ada di sebelah kiri atas atau berada pada permukaan laut.



Gambar 3. Sebaran radiator HF dan gempabumi susulan pada Gempabumi Lombok Utara 5 Agustus 2018

Selanjutnya, pada Gambar 4(a) menunjukkan regresi linier antara jarak dan waktu yang relatif dari kekuatan gempabumi ini. Angka-angka dalam segiempat tersebut menunjukkan jarak dan waktu dari *rupture* yang berbeda.

Berdasarkan regresi linier tersebut dapat diketahui kecepatan *rupture* sebesar 3,1 km/s dengan panjang *rupture* dapat diperkirakan sekitar 72 km.



4(a)

4(b)

Gambar 4(a) Regresi Linier Gempabumi Lombok Utara 5 Agustus 2018 dan **Gambar 4(b)** Grafik *Time vs Power*

Gambar 4(b) menunjukkan hasil grafik *Time vs Power* pada gempabumi ini. Berdasarkan grafik tersebut durasi *rupture* maksimum berada pada 10 sekon kemudian terus melandai hingga lebih dari 50 sekon.

Pembahasan

Penelitian ini memiliki fokus bahasan tentang perkiraan parameter *rupture* pada gempabumi di Lombok Utara tanggal 5 Agustus 2018 dengan menggunakan metode MUSICBP. Parameter *rupture* yang dihasilkan berupa nilai durasi, panjang, kecepatan, dan arah *rupture* yang direpresentasikan dalam bentuk sebaran radiator HF dan *aftershock* yang menggambarkan arah *rupture* pada gempabumi ini. Selain itu juga dihasilkan grafik *Power vs Time* dan juga regresi linier yang dapat memberikan data mengenai durasi *rupture*.

Hasil dari penelitian ini divalidasi dengan IRIS Back Projection (<https://ds.iris.edu/spud/backprojection/16586927>) dan juga melalui *aftershock* (<http://eida.gfz-potsdam.de/webdc3/>) untuk memperkuat arah *rupture* yang dihasilkan menggunakan metode MUSICBP. Solusi yang diberikan dari perbandingan IRIS Back Projection, *aftershock*, dan MUSICBP pada *event* gempabumi di Lombok Utara tanggal 5 Agustus 2018 memiliki kecocokan dengan arah *rupture* yang mengarah dari daratan ke lautan dengan sebaran radiasi HF meluas secara *unilateral* menuju ke barat. Hal ini diakibatkan karena adanya keberadaan dan aktivitas seismik sesar Flores. (Zubaidah *et al.*, 2014; Ulfiana *et al.*, 2020; Perdana *et al.*, 2021).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Pamungkas. (2019), aktivitas deformasi seismik dari sesar Flores memiliki arah patahan menelusup ke selatan hingga berada di bawah permukaan bagian utara pulau Lombok menyebabkan gempabumi ini memiliki jenis sesar naik (*reverse fault*). Akibatnya, energi maksimum pada gempabumi ini berada di dekat permukaan laut meskipun episenter gempabumi ini berada di daratan, yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Selain itu, jika ditinjau berdasarkan regresi linier, gempabumi ini memiliki kecepatan *rupture* sebesar 3,1 km/s dengan

perkiraan panjang *rupture* sekitar 72 km. Menurut Takahashi *et al.* (2004), gempabumi ini memiliki kecepatan lokal karena berada pada rentang 3 km/s hingga 4,5 km/s. Berdasarkan grafik *Time vs Power*, durasi *rupture* pada gempabumi ini berada di puncak maksimum pada detik ke-10 dan terus melandai hingga lebih dari detik ke-50. Berdasarkan hasil-hasil yang diperoleh dari dinamika *rupture* yang didapatkan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa lokasi gempa-gempa susulan berada di jalur zona segmentasi *rupture* gempabumi ini.

PENUTUP

Simpulan

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan teknik *Multiple Signal Classification Back Projection* (MUSICBP) untuk menganalisis dinamika *rupture* pada gempabumi Lombok Utara 5 Agustus 2018. Berdasarkan hasil penelitian ini, arah *rupture* pada gempabumi ini memiliki arah *rupture unilateral* menuju ke barat. Hal tersebut diakibatkan karena adanya aktivitas seismic dari sesar Flores. Selain itu, aktivitas sesar Flores mengakibatkan gempabumi ini memiliki jenis sesar naik (*reverse fault*).

Pada penelitian ini juga diperoleh parameter *rupture* yang lain yaitu durasi *rupture* yang lebih dari 50 sekon sehingga didapatkan nilai kecepatan rambat *rupture* sebesar 3,1 km/s sepanjang 72 km.

Saran

Metode yang digunakan dalam penelitian ini hanya dapat mengestimasi dinamika *rupture*. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk menambahkan data gempabumi sehingga dapat mengetahui lebih banyak dampak yang ditimbulkan akibat gempabumi yang diteliti.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Penulis menyampaikan terima kasih kepada Lingsen Meng dan Han Bao karena telah mengizinkan penggunaan perangkat lunak MUSICBP untuk penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada IRIS DMC karena mengizinkan peneliti mengunduh data gempa melalui tautan berikut

http://ds.iris.edu/wilber3/find_stations. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Muhammad Nurul Fahmi, M.Si karena membantu kelancaran dalam penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bao, H., Ampuero, J., Meng, L., Fielding, E. J., Liang, C., Milliner, C. W. D., Feng, T., & Huang, H. 2019. Early and persistent supershear rupture of the 2018 magnitude 7.5 Palu earthquake. *Nature Geoscience*. Vol. 12.

DeMets, C., R.G. Gordon, D.F. Argus, & S. Stein. 1994. Effect of Recent to the geomagnetics reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Letter*. Vol. 21, pp. 2191-2194.

Fletcher, J. B., P. Spudich, and L. M. Baker. 2006. Rupture Propagation of the 2004 Parkfield, California, Earthquake from Observations at the UPSAR. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 96 No. 4.

Ishii, M., Shearer, P., Houston, H., and Vidale. J. 2005. Extent, duration and speed of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake imaged by the Hi-Net array. *Nature*. Vol. 435, pp. 933-936.

Hidayati, N., Trisnawati, Sativa, O., Wallansha, R., Sakti, A.P., Promono, S., dan Permana, D. 2018. Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempa Lombok Timur 29 Juli 2018. Bidang Seismologi Teknik. BMKG.

Koulali, A., S. Susilo., S. McClusky., I. Meilano., P. Cummins., P. Tregoning., G. Lister., J. Efendi., and M.A. Syafi'i. 2016. Crustal strain partitioning and the associated earthquake hazard in the eastern Sunda-Banda Arc. *Geophysical Research Letter*. Vol. 43, pp. 1943-1949.

Madlazim, M.N. Fahmi., A. Realita., D.P. Sari. 2021. Rupture Imaging For The 30 October Tsunamigenic Earthquake In The

Eastern Eagean Sea. *Science of Tsunami Hazards*. Vol. 40, pp. 228-237.

- Meng, L., A. Inbal, and J.-P. Ampuero. 2011. A window into the complexity of the dynamic rupture of the 2011 Mw 9 Tohoku-Oki earthquake. *Geophysical Research Letter*.
- Pamungkas, D. 2019. Intensitas Mekanisme Fokus dan Intensitas Getaran Tanah Maksimum Gempabumi Lombok Tanggal 29 Juli-1 Oktober 2018. Skripsi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Perdana, Y., A. Wijaya., I. Suardi. 2021. Analisis Gempabumi Lombok 2018 Berdasarkan Mekanisme Sumber, Distribusi Slip, Asperity, dan Perubahan Nilai (Coulomb Stress) Pada Bidang Sesar. *Jurnal Geofisika*. Vol. 19 No. 1.
- Sari, A. W., Jasruddin., N. Ihsan. 2012. Analisis Rekahan Gempa Bumi dan Gempa Bumi Susulan dengan Menggunakan Metode Omori. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*. Vol. 8 No. 3.
- Sasmi, A.T., A.D. Nugraha, Muzli, S. Widiyantoro, Zulfakriza, S. Wei, D.P. Sahara, A. Riyanto, N.T. Puspito, A. Priyono, T. Greenfield, H. Afif, P. Supendi, Daryono, Ardianto, D.K. Syahbana, Y.M. Husni, B.S. Prabowo, dan A.F.N. Sarjan. 2020. Hypocenter and magnitude analysis of aftershocks of the 2018 Lombok, Indonesia, earthquakes using local seismographic networks. *Seismological Research Letter*. Vol. 91 No. 2.
- Sugianto, D., I.W. Nurjaya, N.M.N. Natih, dan W.W. Pandoe. 2017. Potensi rendaman tsunami di wilayah Lebak Banten. *Jurnal Kelautan Nasional*. Vol. 12 No.1.
- Sulthan, Faiz. 2019. Rekonstruksi Fasilitas Pendidikan Pasca Bencana Gempa Bumi Tahun 2018 Di Kabupaten Sumbawa Provinsi NTB Menggunakan Konstruksi RISHA. *Cantilever*. Vol 8 No.2.
- Supendi, P., A.D. Nugraha., S. Widiyantoro., J.D. Pesicek., C.H. Thurber., C.I. Abdullah., D. Daryono., S.H. Wiyono., H.A. Shiddiqi., S. Rosalia. 2020. Relocated aftershocks and background seismicity in Eastern Indonesia shed light on the 2018 Lombok and Palu earthquake sequences. *Geophysical Journal International*. Vol. 221, pp. 1845-1855.
- Susilo, A. Wijanarto., S. Wibowo., H.Z. Abidin. 2018. GPS/GNSS analysis on Lombok Earthquakes: Co-seismic deformation, Experimental Findings.
- Syafriani, S. (2018). An Investigation of Seismicity for the West Sumatra Region Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 335 No. 1.
- Takahashi, N., S. Kodaira., T. Tsuru., J. O. Park., Y. Kaneda., K. Suyehiro., H. Kinoshita., S. Abe., M. Nishino, and R. Hino. 2004. Seismic structure and seismogenesis off Sanriku region, northeastern Japan. *Geophysics Journal International*. Vol. 159 No. 1.
- Ulfiana, E., I.P.D. Pratama., I.S. Putri., dan N.L.D Purnami. 2020. Analisis Coulomb Stress Dan Rangkaian Gempabumi Lombok Juli - Agustus 2018. *Buletin Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika*. Vol. 1 No. 5.
- Wang, C., X. Wang., W. Xiu., B. Zhang., G. Zhang, & P. Liu. 2020. Characteristics of the seismogenic faults in the 2018 Lombok, Indonesia, earthquake sequence as revealed by inversion of InSAR measurements. *Seismological Research Letters*. Vol. 91 No.2A.
- Zeng, H., S. Wei., W. Wu. 2020. Sources of uncertainties and artefacts in back-projection results. *Geophysical Journal International*. Vol. 220 No.2.

Zubaidah, T., M. Korte., M. Manda., M. Hamoudi. 2014. New insights into regional tectonics of the Sunda–Banda Arcs region from integrated magnetic and gravity modelling. *Journal of Asian Earth Sciences*. Vol. 80, pp. 172-184.

