

PENCITRAAN RUPTURE GEMPABUMI DI LOMBOK TIMUR M_w 6,9 PADA 19 AGUSTUS 2018 DENGAN METODE BACK PROJECTION

Riana Ambarsari, Madlazim, Utama Alan Deta

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

Email : riana.18020@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Gempabumi yang terjadi di Lombok pada 19 Agustus 2018 berkekuatan M_w 6,9 merupakan gempa *mainshock* kedua sebagai akibat dari rangkaian gempabumi Lombok pada Juli – Agustus 2018. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti karakteristik *rupture* gempabumi di Lombok Timur M_w 6,9 yang terjadi pada tanggal 19 Agustus 2018 dari hasil pencitraan arah, kecepatan, durasi, dan panjang *rupture* gempabumi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan teknik pemrosesan *array* teleseismik menggunakan metode *Multiple Signal Back-Projection* (MUSICBP) dalam software MATLAB. Data yang digunakan adalah data sekunder dari data seismogram teleseismik dengan 54 stasiun-stasiun seismik *array* AU (Australia) berformat .SAC dari repositori IRIS Wilber 3. Data tersebut diolah dengan menggunakan program MUSICBP serta dilakukan filter *bandpass* dengan rentang frekuensi 0,05 – 0,25 Hz melalui proses *cross correlation*. Hasil keluaran yang diperoleh berupa plot durasi, arah, dan panjang *rupture* gempa dari MUSICBP serta nilai kemiringan grafik untuk menentukan kecepatan dari *rupture* gempa dari hasil regresi linear. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pencitraan *rupture* menggunakan metode MUSICBP adalah sesuai yang divalidasi dengan lokasi gempa susulan-gempa susulan (*aftershock*) yang terjadi di zona segmentasi *rupture* tersebut. Berdasarkan hasil dan pembahasan, pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa karakteristik *rupture* yang terjadi pada gempabumi di Lombok Timur M_w 6,9 tanggal 19 Agustus 2018 adalah arah *rupture* merambat ke arah Timur secara *unilateral* sepanjang ~25 km berdurasi 25 s dengan kecepatan *rupture* 1,74 km/s yang termasuk dalam rentang kecepatan rendah. Hasil dari pencitraan *rupture* menunjukkan gempabumi yang terjadi di Lombok Timur pada 19 Agustus 2018 tersebut disebabkan oleh aktivitas Flores *back arc thrust* di wilayah Pulau Lombok bagian Utara dengan arah *rupture* merambat menuju ke arah Timur (*eastward*) dengan mekanisme tipe sesar naik (*thrust fault*).

Kata Kunci: *Rupture* Gempa, *Back Projection*, Gempa Teleseismik, Sesar Flores Back-Arc.

Abstract

The earthquake that occurred in Lombok on August 19, 2018, with a magnitude of M_w 6.9 was the second mainshock earthquake as a result of the Lombok earthquake series in July – August 2018. This study aims to examine the characteristics of the earthquake rupture in East Lombok M_w 6.9 which occurred on 19 August 2018 from the results of imaging the direction, speed, duration, and length of earthquake rupture. The method used in this research is a teleseismic array processing technique using the Multiple Signal Back-Projection (MUSICBP) method in MATLAB software. The data used is secondary data from teleseismic seismogram data with 54 AU (Australia) seismic array stations in .SAC format from the IRIS Wilber 3 repository. The data was processed using the MUSICBP program and a bandpass filter was performed with a frequency range of 0.05 – 0.25 Hz through the cross-correlation process. The outputs obtained are plots of duration, direction, and length of earthquake rupture from MUSICBP and the slope value of the graph to determine the velocity of earthquake rupture from linear regression results. This study indicates that the rupture imaging using the MUSICBP method is appropriate which is validated by the location of the aftershocks that occur in the rupture segmentation zone. Based on the results and discussion, in this study, it can be concluded that the characteristics of the rupture that occurred in the earthquake in East Lombok M_w 6.9 on 19 August 2018 were the direction of the rupture spreading towards the East unilaterally along ~25 km with a duration of 25 s with a rupture speed of 1.74 km/s which is included in the low-speed range. The results of the rupture imaging show that the earthquake that occurred in East Lombok on August 19, 2018, was caused by the activity of Flores back arc thrust in the northern part of Lombok Island with the direction of the rupture spreading towards the East (eastward) with a thrust fault type mechanism.

Keywords: Earthquake Rupture, Back Projection, Teleseismic Earthquake, Flores Back-Arc Thrust.

1. PENDAHULUAN

Letak geografis Indonesia yang berada di antara jalur pertemuan tiga lempeng tektonik dunia yaitu lempeng Pasifik, lempeng Eurasia, dan lempeng Indo-Australia (Hidayat dan Santoso, 1997). Sebagian dari jalur penunjaman tersebut berada di laut sehingga juga berpotensi dapat menimbulkan gempabumi yang membangkitkan terjadinya tsunami (Nur, 2010). Pertemuan antara tiga lempeng besar tersebut menyebabkan Indonesia berada pada zona atau wilayah tektonik yang aktif dengan tingkat seismisitas (kegempaan) tinggi (Syafriani, 2018). Salah satu diantara wilayah yang rawan dan memiliki seismisitas yang tinggi yaitu Pulau Lombok (Ulfiana *et al.*, 2020).

Pulau Lombok tepatnya di Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) yang terletak di antara Pulau Bali dan Pulau Sumbawa memiliki ancaman gempabumi tektonik yang disebabkan adanya tatanan tektonik yang kompleks (Sulaeman dan Minarno, 2019). Hal tersebut disebabkan adanya dua buah patahan mayor di tatanan tektonik wilayah Nusa Tenggara dan sekitarnya yaitu zona subduksi atau zona penunjaman lempeng yang terjadi antara Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia di sisi selatan dan sesar naik Flores (*Flores back arc thrust*) di sisi utara seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Tatanan Tektonik Wilayah Nusa Tenggara dan Sekitarnya (Putra, 2019)

Pada tanggal 19 Agustus 2018 terjadi gempabumi berkekuatan M_w 6,9 di Lombok Timur tepatnya pada $8,3461^\circ$ LS dan $116,6242^\circ$ BT. Gempabumi tersebut termasuk dalam rangkaian gempa Lombok Juli-Agustus 2018 dan merupakan gempabumi *mainshock* ke 2 setelah yang tepatnya terjadi tanggal 5 Agustus 2018 di Pulau Lombok bagian Barat (Pramono *et al.*, 2020). Gempabumi yang terjadi pasti disebabkan oleh getaran gelombang seismik yang merambat dari pusat gempa di dalam bumi menjalar ke segala arah hingga menuju permukaan bumi. Getaran gempa tersebut dapat direkam oleh seismogram di beberapa stasiun seismik wilayah tertentu.

Perekaman getaran gempabumi dengan seismogram dapat digunakan untuk mengetahui aktivitas beserta menentukan parameter dari gempabumi yang telah terjadi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis dari jalur patahan atau rekahan gempa yaitu teknik *array* yang menggunakan lebih dari satu seismometer (Siska, 2019). Pencitraan *rupture*

gempa dapat dilakukan dengan memanfaatkan gelombang P teleseismik dengan pemrosesan *array* yaitu menggunakan metode *Multiple Signal Back-Projection* (MUSICBP) (Meng *et al.*, 2012).

Gempabumi yang terjadi pada tanggal 19 Agustus 2018 memiliki magnitudo yang besar namun dengan rentang waktu yang singkat setelah terjadinya gempabumi 5 Agustus 2018, sehingga gempa tersebut memiliki keunikan karena terjadi dengan kejadian yang tidak umum seperti halnya gempabumi biasanya. Oleh karena itu, gempabumi ini memiliki keunikan yang perlu dikaji mekanisme maupun karakteristik dari *rupture* yang terjadi sebagai akibat dari gempabumi 19 Agustus 2018 terjadi perlu untuk diketahui dan dianalisis lebih lanjut. Pada penelitian ini, dilakukan representasi karakteristik *rupture* gempabumi menggunakan MUSICBP pada kasus gempabumi tanggal 19 Agustus 2018 M_w 6,9 di Lombok.

Gempa bumi berdasarkan waktu terjadinya dibedakan menjadi tiga yaitu gempa awal (*foreshock*), gempa utama (*mainshock*), dan gempa susulan (*aftershock*) (Beroza & Zoback, 1993). Gempa susulan-gempa susulan yang dirasakan dapat dinyatakan secara umum pada lapisan permukaan bumi sehingga serentak dengan terjadinya pada daerah patahan di antara fokus gempa (Simanjuntak *et al.*, 2017). Sehingga dilakukan validasi dari metode MUSICBP dengan pemetaan menggunakan data *aftershock*.

Penelitian terkait gempabumi yang terjadi di Lombok pada tanggal 19 Agustus 2018 antara lain yaitu, Supendi *et al.* (2020) melakukan penelitian di Lombok dan Palu tersebut dengan merelokasi dari gempa susulan, Priyono *et al.* (2021) menganalisis karakteristik daerah Lombok dengan tomografi atenuasi seismik sedangkan Pramono *et al.* (2020) dengan investigasi nilai percepatan tanah, Lythgoe *et al.* (2021) menganalisis zona seismogenik di Lombok dari gempabumi 5 dan 19 Agustus 2018 dengan meninjau dari perubahan termal akibat Gunung Rinjani. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, belum ada yang menganalisis karakteristik *rupture* yang terjadi lebih dalam pada gempa Lombok.

Penelitian-penelitian sebelumnya dengan menggunakan metode MUSICBP telah digunakan pada kejadian gempa yang berkekuatan tinggi dengan kedalaman yang dangkal. Penelitian dengan menggunakan metode tersebut telah dilakukan oleh beberapa peneliti di daerah yang berbeda-beda yaitu di Wenchuan dengan M_w 7,9 (Xu *et al.*, 2009), di Laut Aegean Timur dengan M_w 7 (Madlazim *et al.*, 2021), maupun di Indonesia seperti yang telah dilakukan oleh Bao *et al.* (2019) pada gempa Palu 28 September 2018 silam dengan M_w 7,5.

Namun, penelitian sebelumnya dan penelitian tentang MUSICBP belum pernah dilakukan pada kasus gempabumi di Lombok tanggal 19 Agustus 2018. Selain itu, metode MUSICBP belum banyak digunakan pada lembaga seismologi di Indonesia dari beberapa riset mengenai karakteristik *rupture* gempabumi. Sedangkan, metode MUSICBP memiliki kelebihan karena dapat dilakukan dalam 1 arah vertikal saja secara teleseismik tanpa bergantung pada fungsi Green yang membutuhkan fungsi kecepatan (Madlazim *et al.*, 2021).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk meneliti karakteristik *rupture* gempabumi besar yang dangkal di Lombok Timur pada tanggal 19 Agustus 2018 dengan menggunakan metode *Multiple Signal Back-Projection* (MUSICBP) berdasarkan hasil pencitraan arah, kecepatan, durasi, dan panjang *rupture* gempabumi di Lombok Timur yang terjadi pada tanggal 19 Agustus 2018. Penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi mengenai karakteristik gempabumi di Lombok Timur sebagai informasi patahan atau *rupture* gempa dalam upaya mitigasi bencana gempabumi yang akan datang di lokasi setempat.

METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian berbasis komputasi dengan menggunakan *software* MATLAB. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari *website Incorporated Research Institution for Sesimology* atau IRIS Wilber 3 (https://ds.iris.edu/wilber3/find_event). Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data *event* gempabumi yang terjadi di Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat pada tanggal 19 Agustus 2018 pukul 14:56:28 GMT (*Longitude* 116,6242° dan *Latitude* -8,3461°) dengan M_w 6,9 yang terjadi pada kedalaman 25,21 km di bawah permukaan laut. Stasiun seismik yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *Array Station* dari Australia seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Teleseismik Gempabumi dengan *Array Station* dari Australia

Pada penelitian ini untuk diperoleh karakteristik dari *rupture* gempa di Lombok Timur (M_w 6,9) pada tanggal 19 Agustus 2018 digunakan metode *Multiple Signal Back-Projection* (MUSICBP). Metode *back projection gelombang* seismik gempa bumi dengan frekuensi tinggi digunakan untuk menggambarkan *rupture* gempa terutama pada kasus gempabumi besar yang berpotensi terjadinya tsunami (Bao *et al.*, 2019; Zeng *et al.*, 2020). Selain itu, menurut Meng *et al.* (2012) pada pemrosesan *array* untuk memperoleh hasil pencitraan *rupture event* gempabumi yang besar lebih baik dilakukan dengan teknik akurasi yang lebih tinggi daripada metode *beamforming*.

Untuk membuat pencitraan *rupture* gempabumi, teknik resolusi yang digunakan dirancang untuk menyelesaikan sumber simultan jarak dekat; dan korelasi

susun (Fletcher *et al.*, 2006). Hubungan antara data seismogram gempa teleseismik dengan menggunakan metode *back projection* digunakan persamaan linier yang menghubungkan data yang diamati dengan model pada Persamaan (1).

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

Dengan d adalah data seismogram teleseismik dari gempa dengan magnitudo momen $> 6,5$, G adalah fungsi Green yang merupakan seismogram sintetik yang dihitung menggunakan model bumi tertentu, dan m adalah model yang merupakan fungsi slip untuk setiap gempa (Madlazim *et al.*, 2021).

B. Variabel Operasional Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini yaitu variabel kontrol yaitu *software* yang digunakan yaitu program MUSICBP dalam MATLAB serta range frekuensi filter yang digunakan, variabel bebas berupa > 30 stasiun seismik *array* dari AU (Australia) *networks* GSN, AU, II, IU, ND, dan G dengan *waveform* komponen vertikal (BHZ), serta variabel respon yaitu arah, durasi, panjang, dan kecepatan *rupture* gempa yang terjadi di Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat dari hasil keluaran pengolahan data dengan MUSICBP dan metode regresi linear yang ditinjau dari kemiringan atau *gradient* grafik untuk menentukan kecepatan *rupture* gempa pada Lombok Timur M_w 6,9 pada tanggal 19 Agustus 2018.

C. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dari stasiun dilakukan dengan mengambil beberapa stasiun penerima yang berdekatan satu sama lain (*array seismic*) dengan jumlah lebih dari 30 stasiun dari *website* IRIS Wilber 3 dengan format data .SAC. Langkah pengumpulan data dilakukan input data seismogram dari stasiun seismik lalu dilakukan proses filter frekuensi untuk menghilangkan noise yang memiliki frekuensi rendah dan tinggi (Irshadibima *et al.*, 2017; Ma *et al.*, 2019). Selain itu, difilter dari radiasi terkuat sinyal *array* yang sefase dan sekoheren (Fletcher *et al.*, 2006). Pada penelitian ini dilakukan dengan *bandpass filter* dengan rentang frekuensi 0,05 – 0,25 Hz.

D. Teknik Pengolahan Data

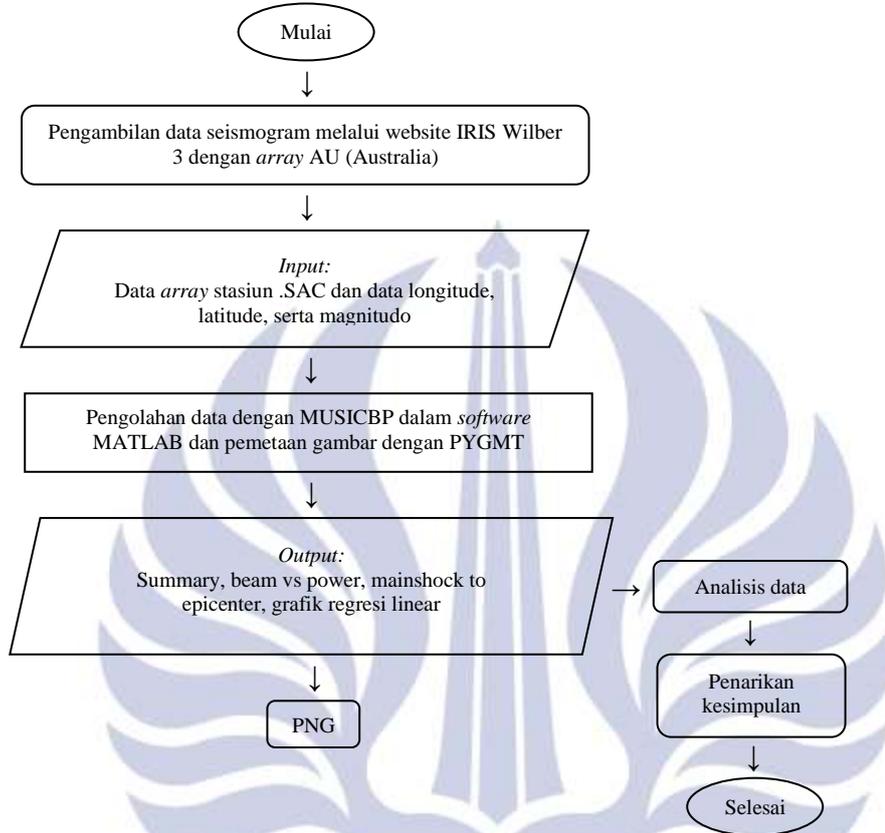
Instrumen pengolahan data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *software* MATLAB dengan program *Multiple Signal Back Projection* (MUSICBP) untuk mengolah data hingga diperoleh keluaran masing-masing yang diperlukan untuk menganalisis karakteristik *rupture* gempabumi di Lombok Timur M_w 6,9 pada tanggal 19 Agustus 2018. Pengolahan data selanjutnya menggunakan program MUSICBP berdasarkan data .SAC seismogram yang memiliki sinyal sefase dan sekoheren melalui proses *cross correlation*. Sehingga diperoleh beberapa keluaran yaitu gambar *summary plot*, *beam power vs time plot*, dan *distance vs time plot*.

Perhitungan kecepatan *rupture* diperoleh dari metode kuadrat terkecil dengan regresi linier yang dilakukan dari keluaran *distance vs time plot* grafik regresi linear menggunakan excel (Alif *et al.*, 2020). Batasan *outlier* pada penelitian ini menggunakan batas tingkat kepercayaan 90 %. Persamaan dari perhitungan kecepatan *rupture* gempa menggunakan Persamaan (2).

$$f(x) = mx + c \quad (2)$$

Keterangan pada Persamaan (2) yaitu $f(x)$ adalah waktu, x adalah jarak radiator terhadap episenter gempabumi, m adalah nilai kecepatan dari gradien (*slope*) grafik, dan c adalah nilai offset. Kemudian, dipetakan gambar lokasi episenter gempa dengan lokasi *aftershock* selama satu minggu kedepan dan hasil *summary plot* dari *software*

MATLAB menggunakan *Phyton Generic Mapping Tools* (PYGMT). Analisis data yang dilakukan dari keluaran pengolahan data yang dihasilkan yaitu arah, durasi, dan panjang *rupture* serta kecepatan *rupture* gempa hingga akhirnya dapat ditarik sebuah kesimpulan akhir. Tahapan pengolahan data secara lebih sistematis ditunjukkan pada Gambar 3.



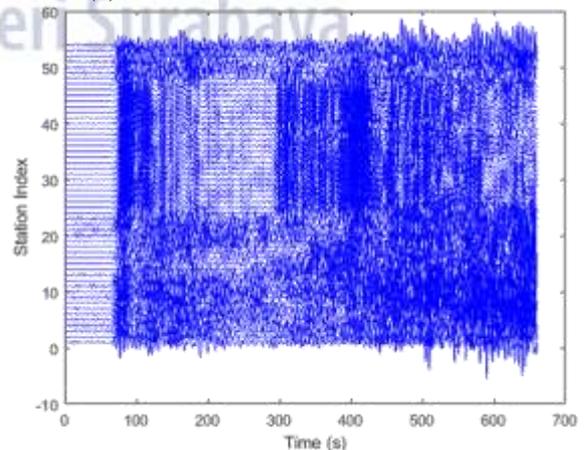
Gambar 3. Diagram Alir Pengolahan Data

HASIL DAN PEMBAHASAN

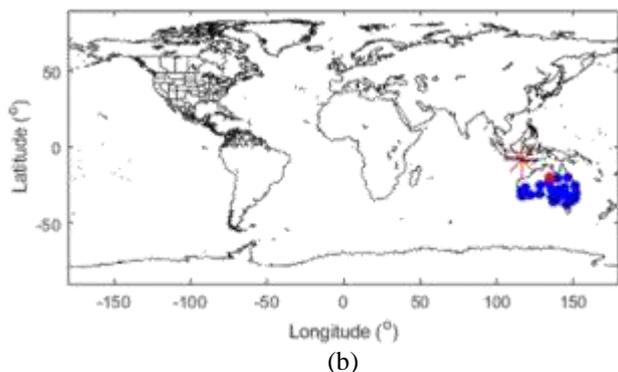
Penelitian ini berfokus pada pencitraan *rupture* gempa yang terjadi di Lombok Timur pada tanggal 19 Agustus 2018 dengan menggunakan metode *Multiple Signal Classification Back Projection* (MUSICBP). Berdasarkan hasil pemrosesan stasiun dengan menggunakan teknik *array* di Australia (AU) dari IRIS Wilber 3 (https://ds.iris.edu/wilber3/find_event), diperoleh terdapat 59 stasiun *array* di Australia dengan *distance range* 15 – 41 dan network dari GSN (*Global Seismographic Network Stations and Arrays*), AU (*Australian National Seismograph Network*), II (*Global Seismograph Network IRIS/IDA*), IU (*Global Seismograph Network IRIS/USGS*), ND (*New-Caledonia Broadband and Accelerometric Permanent Networks*), dan G (*French Global Network of Seismological Broadband Station*).

Berdasarkan 59 stasiun *array* dengan format .SAC yang diperoleh dari IRIS Wilber 3 kemudian dilakukan pengolahan data dalam program MUSICBP menggunakan *software* MATLAB. Pada penelitian ini dilakukan filter *bandpass* dengan rentang frekuensi 0,05 – 0,25 Hz untuk mengurangi *noise* serta menyaring sinyal

yang sefasae dan sekoheren sebagai salah satu syarat dalam MUSICBP, maka dari 59 buah stasiun seismik dihasilkan 54 stasiun yang sefasae dan sekoheren melalui proses *cross correlation* sehingga diperoleh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 (a) dan hasil *alignment* hiposenter gempabumi menggunakan MUSICBP pada Gambar 4 (b).

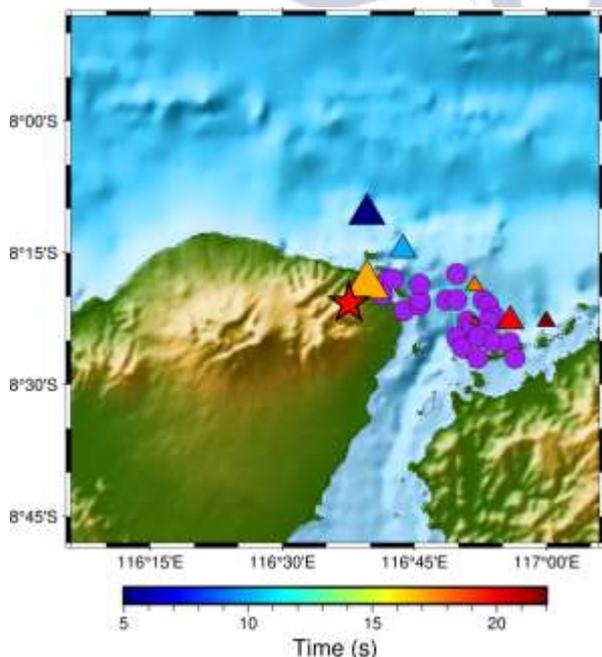


(a)



Gambar 4. (a) Sinyal Seismogram yang telah dilakukan Filter *Bandpass* 0,05 – 0,25 Hz dan (b) Stasiun-Stasiun Array AU (Australia) dengan *Hypocenter Allignment*

Hasil dari pengolahan data event *cross relation* gempa teleseismik dengan menggunakan filter *bandpass* diperoleh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 (a). Pada Gambar 4 (a) menunjukkan bintang merah merupakan titik lokasi terjadinya episenter gempa, bulat merah merupakan hiposenter gempa, dan bulat biru merupakan kumpulan susunan stasiun *array* yang digunakan. Data seismogram gempa dengan format .SAC dari website IRIS Wilber 3 direkam oleh stasiun *array* AU (Australia) kemudian difilter dengan frekuensi 0,05 – 0,25 Hz sehingga diperoleh pada Gambar 3 (b). Pada Gambar 3 (b) garis merah merupakan lokasi episenter gempabumi, bulat merah adalah lokasi hiposenter hasil *alignment cross correlation*, dan bulat biru merupakan titik lokasi 54 stasiun *array* AU (Australia) yang telah sefase dan sekoheren sehingga dapat diprogram melalui program MUSICBP dengan *software* MATLAB.



Gambar 5. Pencitraan *Rupture* Gempa Lombok Tanggal 19 Oktober 2018 dengan Array AU dari Pemetaan MUSICBP dengan *Aftershock*. Bintang merah menunjukkan episenter gempa, bulat ungu menunjukkan lokasi gempa susulan-gempa susulan, dan segitiga berwarna menunjukkan hasil arah *rupture*

Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik *rupture* gempabumi yang terjadi di Lombok Timur pada 19 Agustus 2018, maka berdasarkan keluaran yang dihasilkan dari metode MUSICBP salah satunya diperoleh *plot summary* yang menunjukkan arah durasi *rupture* sebagai fungsi waktu. Gempa bumi pada umumnya diikuti oleh gempa susulan-gempa susulan atau *aftershock* yang membentuk suatu pola tertentu. Pada penelitian ini, dengan menggunakan metode MUSICBP dilakukan validasi arah *rupture* menggunakan keluaran hasil *plot summary* MUSICBP yang dibandingkan dengan gempa susulan-gempa susulan (*aftershock*) selama tujuh hari setelahnya. *Plot summary* MUSICBP dengan *aftershock* menggunakan PYGMT dengan rentang waktu gempa susulan antara 19 Agustus 2018 hingga 25 Agustus 2018. Pada Gambar 4 menunjukkan lokasi daerah gempa Lombok Timur yang dicitrakan menggunakan MUSICBP dalam *software* MATLAB dan dipetakan dengan menggunakan program PYGMT.

Hasil dari pencitraan *rupture* gempabumi pada Gambar 5 ditunjukkan dengan bintang merah yaitu episenter gempabumi, bulat biru merupakan titik lokasi terjadinya *aftershock* gempa, dan segitiga kuning merupakan hasil *plot summary* dari keluaran MUSICBP. Berdasarkan Gambar 4 tersebut menunjukkan bahwa arah radiator frekuensi tinggi *rupture* (segitiga berwarna) merambat dan membentang dari Barat (*Westward*) menuju Timur (*eastward*) secara *unilateral*. Hasil arah pencitraan *rupture* (segitiga) tersebut saling berhimpitan dengan lokasi titik terjadinya gempa susulan-gempa susulan (bulat ungu). Lokasi dari terjadinya gempa susulan berhubungan dengan arah perambatan *rupture* gempabumi (Madlazim, 2011). Sehingga bisa diinterpretasikan bahwa arah *rupture* yang merambat, mengarah ke Timur yang didukung dengan lokasi-lokasi gempa susulan (*aftershock*) dari gempabumi Lombok Timur 19 Agustus 2018 tersebut.

Lokasi gempa susulan-gempa susulan yang searah dengan hasil pencitraan *rupture* memvalidasi bahwa hasil dari pencitraan *rupture* menggunakan MUSICBP adalah sesuai pada gempabumi 19 Agustus 2018 Mw 6,9 di Lombok Timur yaitu merambat menuju ke arah Timur secara *unilateral*. Menurut Priyono *et al.* (2021) berdasarkan pola *aftershock*, gempa Lombok 19 Agustus 2018 dalam klaster dengan *aftershock* yang didominasi bergerak ke arah Timur. Selain berdasarkan *aftershock*, hasil citra arah *rupture* tersebut diperkuat dengan beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Supendi *et al.* (2020) bahwa dengan merelokasi *aftershock* diperoleh arah *rupture* dari gempabumi Lombok 19 Agustus merambat menuju ke arah Timur dan Priyono *et al.* (2021) dengan memodelkan *rupture* menggunakan inversi *finite fault* diperoleh bahwa gempa 19A (19 Agustus 2018) di Lombok merambat secara *unilateral* ke arah *Eastward*.

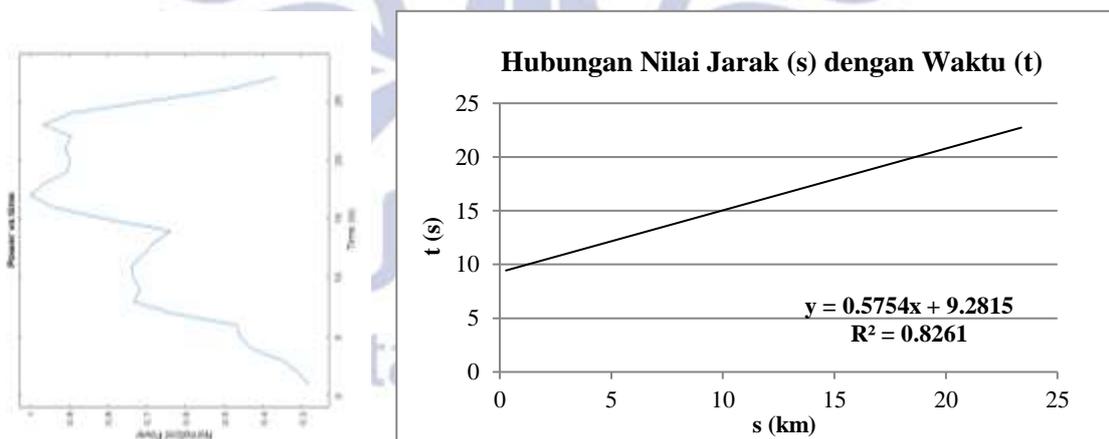
Terjadinya gempabumi tanggal 19 Agustus 2018 sebagai salah satu rangkaian kejadian gempabumi yang terjadi di Lombok Juli-Agustus 2018 di Lombok, menjadi fenomena yang tidak biasa dan sangat jarang terjadi karena untuk melepaskan energinya yang terakumulasi

gempa bumi membutuhkan waktu yang relatif lama. Sedangkan rentang waktu antara *mainshock* pertama (5 Agustus 2018) dengan *mainshock* kedua (19 Agustus 2018) hanya berkisar 2 minggu dan termasuk dalam waktu yang singkat. Berdasarkan penelitian terdahulu menyatakan bahwa lokasi terjadinya gempa 19 Agustus 2018 di Lombok Timur disebabkan oleh adanya aktivitas pergerakan sesar aktif Flores *back-arc* yang berada di bagian Selatan wilayah Lombok (Priyono *et al.*, 2021; Supendi *et al.*, 2020). Hal ini didukung pula bahwa sejak 2005 pulau Lombok meningkat aktivitas seismik atau seismisitasnya khususnya di daerah *back arc thrust* di bagian Utara wilayah Lombok dibandingkan zona subduksi Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia bagian Selatan (Zubaidah *et al.*, 2014).

Flores *back arc thrust* yang berada di Pulau Lombok bagian Utara merupakan penyebab gempabumi yang mematikan karena beberapa kali menyebabkan terjadinya gempa dangkal bermagnitudo besar dengan kedalaman < 33 km (Wang *et al.*, 2020). Penelitian lebih lanjut telah dilakukan oleh Wardani *et al.* (2021) mengenai mekanisme fokus gempabumi yang terjadi dan diperoleh bahwa gempabumi yang terjadi pada 19 Agustus 2018 di Lombok disebabkan dari aktivitas sesar naik atau *thrust fault*. Hal ini juga didukung oleh penelitian Pudja, 2020 bahwa dengan analisis radar satelit menunjukkan deformasi lebih tinggi terjadi di Lombok bagian Utara daripada Selatan serta adanya zona pelemahan batuan di Utara bidang sesar tempat terjadinya gempa. Hasil ini sesuai dengan jenis sesar hasil mekanisme fokus yang menunjukkan bahwa jenis sesar terjadinya gempa merupakan sesar naik (*thrust fault*).

Selain itu, menurut Priadi *et al.*, (2020, 2021) distribusi slip yang terjadi pada gempa Lombok 19 Agustus 2018 dengan serangkaian gempabumi di Lombok Juli-Agustus 2018 menunjukkan gempabumi yang terjadi tidak memiliki *asperity* tunggal namun terdistribusi pada bidang sesar nya di sekitar permukaan. Hal ini mengindikasikan bahwa penyebab dari gempa Lombok 19 Agustus 2018 disebabkan karena struktur batuan bagian wilayah Pulau Lombok bagian Utara mengalami pelemahan sehingga tidak mampu lagi menahan akumulasi energi dan terjadilah serangkaian gempa di Lombok yang saling memicu satu sama lain (Priadi *et al.*, 2021). Hal ini juga sesuai dengan teori *elastic rebound*, bahwa bidang sesar yang saling bergesekan maka batuan disekitarnya akan mengalami deformasi hingga mencapai batas elastisitasnya maka batuan akan pantah atau akan kembali ke bentuk asalnya (*rebound*) (Pudja, 2020).

Selain dari keluaran hasil MUSICBP, hasil pengolahan data pada percobaan ini diperoleh data *distance to mainshock epicenter* yang dikorelasikan dengan nilai *power vs time*. Apabila disajikan dalam bentuk grafik maka diperoleh hubungan antara jarak (*s*) dengan satuan km terhadap waktu (*t*) dengan satuan sekon, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Gambar 6 (a) menunjukkan grafik nilai durasi waktu pada sumbu x dan kekuatan amplitudo gempa dari awal kemudian sampai puncak pelepasan energi hingga mencapai normal kembali. Pada Gambar 6 (b) menunjukkan hubungan nilai jarak *rupture* terhadap waktu dengan grafik regresi linear yang mengintegrasikan nilai dari kecepatan *rupture* berdasarkan gradien yang dihasilkan.



Gambar 6. (a) Grafik Durasi vs Kekuatan Amplitudo Gempa dan (b) Grafik Hubungan Nilai Jarak (*s*) dengan Waktu (*t*) pada Gempa Lombok Timur Mw 6,9 tanggal 19 Agustus 2018

Berdasarkan Gambar 6 menunjukkan hubungan antara nilai jarak terhadap waktu terjadinya gempa Lombok Timur yang ditunjukkan dengan Persamaan (3) dengan *Rsquare* sebesar 0,8261.

$$y = 0,5754x + 9,2815 \quad (3)$$

Persamaan (3) menunjukkan bahwa karakteristik *rupture* dari gempa di Lombok Timur memiliki kecepatan sebesar 1,74 km/s sepanjang ~25 km dengan durasi 25 s. Arah *rupture* gempa yang diperoleh

dari hasil pemetaan area radiator *rupture* yang berhimpitan dengan titik lokasi *aftershock* yang membentang sejauh ~25 km ke arah timur (*eastward*). Berdasarkan hasil regresi linear, diperoleh nilai kecepatan *rupture* pada gempa Lombok 19 Agustus 2018 sebesar 1,74 km/s. Menurut Meng *et al.* (2011) kecepatan *rupture* tersebut termasuk dalam kategori kecepatan lambat (*slow*) walaupun gempa ini termasuk dalam gempa yang dangkal dengan magnitudo besar.

Berdasarkan dari hasil analisis karakteristik *rupture* gempa tersebut apabila meninjau durasi *rupture* yang merambat tidak lebih dari 50 s dan puncak dari kekuatan amplitudo gempa berada pada titik waktu 17 s yang kemudian menurun hingga normal. Selain itu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 (a) gempa bumi dengan energi tertinggi di pada detik 17 s dimana masih berada di daratan yang ditunjukkan dengan Gambar 5 bahwa radiator terbesar berada di daratan. Apabila menurut Madlazim *et al.* (2015) kasus gempa ini yang bermagnitudo besar dan dangkal namun durasinya < 50 s maka tidak berimplikasi menyebabkan terjadinya tsunami. Namun, karena menurut Lomax & Michelini (2009, 2011) terdapat parameter-parameter lain seperti T_d , T_{dur} , T_{50EX} , $T_d \times T_{dur}$, dan $T_d \times T_{50EX}$ yang digunakan untuk mengidentifikasi berpotensi tidaknya gempa maka dari hasil penelitian ini tidak dapat disimpulkan secara pasti gempa yang terjadi dapat memicu tsunami atau tidak karena dari fokus penelitian ini membahas pada karakteristik *rupture* gempa saja.

Data kejadian-kejadian gempa bumi yang telah terjadi sebelumnya di suatu daerah dapat dipelajari dengan seksama dan dapat diteliti lebih lanjut untuk meramalkan kejadian gempa bumi berpotensi serupa yang akan terjadi di masa depan nantinya (Malau & Sitepu, 2016). Penelitian ini memiliki keterbatasan pada stasiun *array* dari AU (Australia) saja yang digunakan. Selain itu, karakteristik *rupture* yang diperoleh juga tidak bisa memastikan memicu tidaknya tsunami sebagai akibat gempa bumi yang terjadi. Oleh karena itu, pada penelitian yang akan datang dapat menggunakan stasiun *array* yang berbeda dan dapat mengidentifikasi lebih dalam mengenai tsunami dengan validasi beberapa parameter yang lain. Penelitian ini diharapkan dapat diimplementasikan pada kaus gempa yang serupa pada wilayah dengan seismisitas yang tinggi lainnya. Selain itu, harapannya penelitian ini dapat dimanfaatkan pada bidang mitigasi bencana gempabumi di wilayah setempat terutama di Pula Lombok bagian Timur karena dengan mengetahui karakteristik *rupture* (arah, panjang, durasi, dan kecepatan) dapat menjadi indikator *early warning* gempabumi di sekitar daerah zona segmentasi *rupture*.

PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pencitraan gempa bumi Lombok Timur Mw 6,9 pada tanggal 19 Agustus 2018, maka dapat disimpulkan bahwa karakteristik *rupture* dari gempabumi dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Multiple Signal Back Projection* (MUSICBP). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *rupture* gempabumi di Lombok Timur Mw 6,9 pada 19 Agustus 2018 membentang ke arah Timur (*eastward*) secara *unilateral* sepanjang ~25 km dengan durasi rambatan sekitar 25 s. *Rupture* yang dicitrakan dan diplot menggunakan metode regresi linear memiliki kecepatan sebesar 1,74 km/s yang termasuk dalam kategori kecepatan rendah. Penyebab dari gempa ini disebabkan oleh dominasi aktivitas dari sesar naik

(*thrust fault*) sebagai akibat Flores *back arc thrust* yang membujur di Laut Flores. Penelitian ini berhasil mencitrakan *rupture* pada gempabumi Lombok Timur Mw 6,9 19 Agustus 2018 dengan metode MUSICBP sebagai salah satu wilayah dengan seismisitas yang tinggi sehingga kedepannya dapat diimplementasikan dengan metode yang sama pada gempa dangkal bermagnitudo besar pada daerah dengan seismisitas tinggi lainnya.

B. Saran

Berdasarkan hasil dan pembahasan pencitraan gempa bumi Lombok Timur Mw 6,9 pada tanggal 19 Agustus 2018, maka dapat disarankan dilakukan penelitian mengenai karakteristik *rupture* gempabumi namun dengan menggunakan stasiun *array* yang berbeda sehingga dapat dibandingkan perbedaan antara stasiun *array* satu dengan lainnya. Selain itu, dalam penelitian yang selanjutnya dapat dikaji lebih dalam mengenai gempa dangkal bermagnitudo tinggi dengan metode MUSICBP namun dengan parameter karakteristik dari *rupture* gempabumi yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan dari penulis kepada Muhammad Nurul Fahmi, M.Si. yang telah membimbing peneliti dalam menyusun artikel ini. Terima kasih juga kepada Liesen Meng dan Han Bao atas penggunaan program *Multiple Signal Back-Projection* (MUSICBP) dalam penelitian ini. Selain itu terima kasih kepada IRIS Wilber 3 (https://ds.iris.edu/wilber3/find_stations/10937747) karena telah mengizinkan peneliti mengunduh data seismogram untuk penelitian ini. Format data .SAC, dan instrumen *Phyton Generic Mapping Tools* (PYGMT) yang telah menyediakan fasilitas untuk menyediakan pemetaan gambar yang diakses secara gratis. Terima kasih kepada *reviewers* yang telah menilai artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alif, S. M., Yosua, E., Fauzi, A. I., dan Leksono, B. E. 2020. Association between Surface Air Temperature And Land Use On The Campus Scale. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology* 5(3): 161–169, doi: 10.25299/jgeet.2020.5.3.5187.
- Bao, H., Ampuero, J. P., Meng, L., Fielding, E. J., Liang, C., Milliner, C. W. D., Feng, T., and Huang, H. 2019. Early and Persistent Supershear Rupture of the 2018 Magnitude 7.5 Palu Earthquake. *Nature Geoscience* 12(3): 200–205, doi: 10.1038/s41561-018-0297-z.
- Beroza, G. C., and Zoback, M. D. 1993. Mechanism Diversity of the Loma Prieta Aftershocks and the Mechanics of Mainshock-Aftershock Interaction. *Science* 259(5092): 210–213, doi: 10.1126/science.259.5092.210.
- Fletcher, J. B., Spudich, P., and Baker, L. M. 2006. Rupture Propagation of the 2004 Parkfield, California, Earthquake from Observations at the UPSAR. *Bulletin of the Seismological Society of*

- America 96(4B): 129–142, doi: 10.1785/0120050812.
- Hidayat, N., dan Santoso, E. W. 1997. Gempa Bumi dan Mekanismenya. *Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana (Alami)* 2(3): 50–52.
- Irshadibima, R. B. F., Warnana, D. D., dan Syaiffudin, F. 2017. Aplikasi Metode F-K Filter untuk Mereduksi Linear Noise pada Data Seismik di Daerah Batuan Vulkanik. *Jurnal Teknik ITS* 6(1): 56–59.
- Lomax, A., and Michelini, A. 2009. Tsunami Early Warning Using Earthquake Rupture Duration. *Geophysical Research Letters* 36(9): 4–7, doi: 10.1029/2009GL037223.
- Lomax, A., and Michelini, A. 2011. Tsunami Early Warning Using Earthquake Rupture Duration and P-Wave Dominant Period: The Importance of Length and Depth of Faulting. *Geophysical Journal International* 185(1): 283–291, doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04916.x.
- Lythgoe, K., Muzli, M., Bradley, K., Wang, T., Nugraha, A. D., Zulfakriza, Z., Widiyantoro, S., and Wei, S. 2021. Thermal Squeezing of the Seismogenic Zone Controlled Rupture of the Volcano-Rooted Flores Thrust. *Science Advances* 7(5): 1–9, doi: 10.1126/SCIADV.ABE2348.
- Ma, H., Qian, Z., Li, Y., Lin, H., Shao, D., and Yang, B. 2019. Noise Reduction for Desert Seismic Data Using Spectral Kurtosis Adaptive Bandpass Filter. *Acta Geophysica* 67(1): 123–131, doi: 10.1007/s11600-018-0232-0.
- Madlazim. 2011. Estimasi Durasi, Arah, dan Panjang Rupture serta Lokasi-Lokasi Gempa Susulan Menggunakan Perhitungan Cepat. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)* 1(2): 8–18, doi: <https://doi.org/10.26740/jpfa.v1n2.p8-18>.
- Madlazim, Fahmi, M. N., Realita, A., and Sari, D. P. 2021. Rupture Imaging for the 30 October Tsunamiogenic Earthquake in the Eastern Aegean Sea. *Science of Tsunami Hazards* 40(4): 228–237.
- Madlazim, Prastowo, T., and Hardy, T. 2015. Validation of Joko Tingkir Software Using Tsunami Importance. *Science of Tsunami Hazards* 34(3): 189–198.
- Malau, N. D., dan Sitepu, M. 2016. Peramalan Terjadinya Gempa Bumi Tektonik untuk Wilayah Pulau Nias Menggunakan Metode Distribusi Weibull dan Eksponensial. *EduMatSains: Jurnal Pendidikan, Matematika dan Sains* 1(1): 15–28.
- Meng, L., Ampuero, J. P., Stock, J., Duputel, Z., Luo, Y., and Tsai, V. C. 2012. Earthquake in a Maze: Compressional Rupture Branching during the 2012 M_w 8.6 Sumatra earthquake. *Science* 337(6095): 724–726, doi: 10.1126/science.1224030.
- Meng, L. Inbal, A., and Ampuero, J. P. 2011. A Window Into the Complexity of the Dynamic Rupture of the 2011 Mw 9 Tohoku-Oki Earthquake. *Geophysical Research Letters* 38(16): 1–6, doi: <https://doi.org/10.1029/2011GL048118>.
- Nur, A. M. 2010. Gempa Bumi, Tsunami, dan Mitigasinya. *Jurnal Geografi* 7(1): 66–73.
- Pramono, S., Prakoso, W. A., Rohadi, S., Karnawati, D., Permana, D., Prayitno, B. S., Rudyanto, A., Sady, M., Sakti, A. P., and Octantyo, A. Y. 2020. Investigation of Ground Motion and Local Site Characteristics of the 2018 Lombok Earthquake Sequence. *International Journal of Technology* 11(4): 743–753, doi: 10.14716/ijtech.v11i4.3302.
- Priadi, R., Perdana, Y. H., Wijaya, A., and Suardi, I. 2020. Identification of Source Mechanisms for the August 5 2018 Mw 6.9 and the August 9 2018 Mw7.0 Lombok Earthquakes. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)* 10(1): 44–55, doi: 10.26740/jpfa.v10n1.p44-55.
- Priadi, R., Perdana, Y. H., Wijaya, A., and Suardi, I. 2021. Analisis Gempabumi Lombok 2018 Berdasarkan Mekanisme Sumber, Distribusi Slip, Asperity, dan Perubahan Nilai (Coulomb Stress) pada Bidang Sesar. *Jurnal Geofisika* 19(1): 1–9, doi: <http://dx.doi.org/10.36435/jgf.v19i1.430>.
- Priyono, A., Nugraha, A. D., Muzli, M., Ardianto, A., Aulia, A. N., Prabowo, B. S., Zulfakriza, Z., Rosalia, S., Sismi, A. T., Afif, H., Sahara, D. P., Widiyantoro, S., Wei, S., Husni, Y. M., and Sarjan, A. F. N. 2021. Seismic Attenuation Tomography from 2018 Lombok Earthquakes, Indonesia. *Frontiers in Earth Science* 9(639692): 1–16, doi: 10.3389/feart.2021.639692.
- Pudja, I. P. 2020. Focal Validation Mechanism for Lombok Earthquake with Image Analysis of Satellite Radar and Crust Movement GPS Observation. *Journal of Environment and Sustainability* 4(1): 24–32, doi: 10.22515/sustinere.jes.v4i1.92.
- Putra, H. E. 2019. *Gemuruh di Lombok, Palu dan Donggala, Senyap di Selat Sunda*. Indonesia: MAIPARK.
- Sari, A. W., Jasruddin, dan Ihsan, N. 2012. Analisis Rekahan Gempa Bumi dan Gempa Bumi Susulan dengan Menggunakan Metode Omori. *Sains Dan Pendidikan Fisika* 8(3): 263–268.
- Simanjuntak, A. V. H., dan Olymphina. 2017. Perbandingan Energi Gempa Bumi Utama dan Susulan (Studi Kasus: Gempa Subduksi Pulau Sumatera dan Jawa). *Jurnal Fisika Flux* 14(1): 19–26, doi: 10.20527/flux.v14i1.3776.
- Siska, D. 2019. Pentingnya Analisa Rupture / Rekahan Gempa Bumi sebagai Pedoman dalam Perencanaan Perumahan dan Permukiman. *Jurnal Arsitekno* 3(3): 39–46, doi: 10.29103/arj.v3i3.1221.
- Sulaeman, C., Minarno, P. A., Afif, H., Robiana, R., Solikhin, A., Omang, A., Supartoyo, Priambodo, I., Hidayati, S., dan Meilano, I. 2019. Deformasi Pulau Lombok Berdasarkan Data GPS. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* 10(1):11–18, doi: 10.34126/jlbg.v10i1.182.
- Supendi, P., Nugraha, A. D., Widiyantoro, S., Pesicek, J. D., Thurber, C. H., Abdullah, C. I., Daryono, D., Wiyono, S. H., Shiddiqi, H. A., and Rosalia, S. 2020. Relocated Aftershocks and Background Seismicity in Eastern Indonesia Shed Light on the 2018 Lombok and Palu Earthquake Sequences. *Geophysical Journal International* 221(3): 1845–

1855, doi: 10.1093/gji/ggaa118.

- Syafriani, S. 2018. An Investigation of Seismicity for the West Sumatra Region Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 335:012009, doi: 10.1088/1757-899X/335/1/012009.
- Ulfiana, E., Pratama, I. P. D., Putri, I. S., dan Purnami, N. L. D. 2020. Analisis Coulomb Stress dan Rangkaian Gempabumi Lombok Juli-Aguatus 2018. *Buletin Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika* 1(5): 40–49.
- Wang, C., Wang, X., Xiu, W., Zhang, B., Zhang, G., and Liu, P. 2020. Characteristics of the Seismogenic Faults in the 2018 Lombok, Indonesia, Earthquake Sequence as Revealed by Inversion of InSAR Measurements. *Seismological Research Letters* 91(2): 733–744, doi: <https://doi.org/10.1785/0220190002>.
- Wardani, N. N. S. K., Suarbawa, K. N., dan Kusnandar, R. 2021. Penentuan Jenis Sesar pada Gempabumi Lombok Tanggal 1 Juli sampai 31 Desember 2018 Menggunakan Metode Mekanisme Fokus. *Buletin Fisika* 22(2): 91–96.
- Xu, Y., Koper, K. D., Sufri, O., Zhu, L., and Hutko, A. R. 2009. Rupture imaging of the Mw 7.9 12 May 2008 Wenchuan Earthquake from Back Projection of Teleseismic P Waves. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 10(4): 1-17, doi: 10.1029/2008GC002335.
- Zeng, H., Wei, S., and Wu, W. 2020. Sources of Uncertainties and Artefacts in Back-Projection Results. *Geophysical Journal International* 220(2): 876–891, doi: 10.1093/gji/ggz482.
- Zubaidah, T., Korte, M., Manda, M., & Hamoudi, M. 2014. New Insights Into Regional Tectonics of the Sunda-Banda Arcs Region From Integrated Magnetic and Gravity Modelling. *Journal of Asian Earth Sciences* 80: 172–184, doi: <https://doi.org/10.1016/J.jseas.2013.11.013>.

