

PENCITRAAN RUPTURE GEMPABUMI SUMATERA BARAT 2 MARET 2016, Mw 7,9 MENGUNAKAN METODE MUSICBP

Daffa Galuh Ramadhan, Madlazim

Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya,

Email: daffa.18003@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Sumatera Barat merupakan daerah yang memiliki tingkat seismisitas sangat tinggi. Gempabumi berkekuatan besar sering melanda daerah ini baik di wilayah daratan maupun lautan. Amplitudo dari gempabumi berkekuatan besar selalu memicu terbentuknya zona segmentasi *rupture*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik *rupture* dari gempabumi Mw 7,9 yang terjadi di daerah Sumatera Barat pada tanggal 2 Maret 2016. Karakteristik dari *rupture* yang dihasilkan berupa nilai durasi, panjang, kecepatan, dan arah *rupture*. Metode yang digunakan ialah *Multiple Signal Back-Projection* (MUSICBP) menggunakan filter *band pass* dengan rentang 0,25 – 1 Hz. Data yang digunakan didapatkan dari website IRIS Wilber 3 dengan pengaturan *event* gempa teleseismik. Data gempabumi dengan format SAC yang digunakan direkam oleh stasiun *Array* Australia sebanyak 60 stasiun. Data SAC dari gempabumi tersebut diolah menggunakan *cross correlation* sehingga diperoleh sinyal yang koheren dan sefase. Hasil dari pemrosesan data berupa arah rambat *rupture* yang memiliki arah utara-selatan (*north-south*) secara *bilateral* dengan panjang *rupture* 90 km dan berdurasi 40 detik. Gempabumi ini berjenis *intraplate earthquake* dengan mekanisme gempa *strike slip*. Selain itu, Gempabumi ini juga memiliki episenter gempa yang berada di Cekungan Wharton Samudera Hindia. Berdasarkan hasil regresi linier dari durasi dan panjang *rupture* maka dapat diketahui nilai kecepatan rambat *rupture* yaitu 2,3 km/s. Hasil pencitraan *rupture* gempabumi ini divalidasi menggunakan lokasi gempa susulan – gempa susulan dan didapatkan bahwa lokasi gempa susulan – gempa susulan terletak di zona segmentasi *rupture* gempabumi tersebut.

Kata Kunci: Gempabumi Sumatera, Karakteristik *Rupture*, *Multiple Signal Back-Projection*.

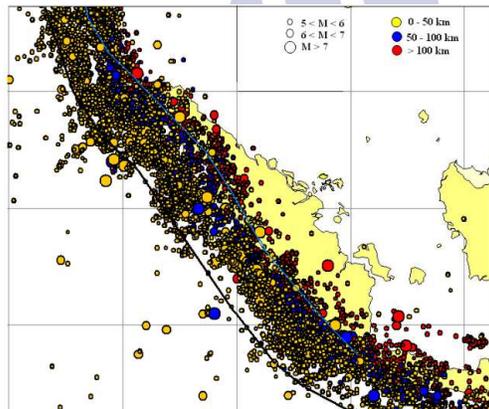
Abstract

West Sumatra is an area that has a very high level of seismicity. Large earthquakes often hit this area both on land and sea. The amplitude of a large earthquake always triggers the formation of segmentation zone *rupture*. This study aims to analyze the characteristics *rupture* of the earthquake Mw 7.9 that occurred in West Sumatra on March 2, 2016. The characteristics of *rupture* the resulting are the duration, length, velocity, and direction of the *rupture*. The method used is *Multiple Signal Back-Projection* (MUSICBP) using a *band pass filter* with a range of 0.25 – 1 Hz. The data used is obtained from the IRIS Wilber 3 website with settings *event* teleseismic earthquake. Earthquake data in the SAC format used was recorded by *Array* 60 stations from Australia. The SAC data from the earthquake was processed using *cross correlation* to obtain a coherent and in-phase signal. The result of data processing is the direction of propagation *rupture* which has a *north-south* direction *bilaterally* with a length of *rupture* 90 km and a duration of 40 seconds. This earthquake is an *intraplate earthquake* with an earthquake mechanism *strike slip*. In addition, this earthquake also has an epicenter in the Wharton Basin of the Indian Ocean. Based on the results of linear regression of the duration and length of the *rupture*, it can be seen that the value of the velocity *rupture* is 2.3 km/s. The results of imaging *rupture* this earthquake were validated using the location of the aftershock – aftershocks and it was found that the location of the aftershock – aftershock was located in the segmentation zone of the *rupture* earthquake.

Keywords: Sumatran Earthquake, Characteristics *Rupture*, *Multiple Signal Back-Projection*.

PENDAHULUAN

Kondisi geografis Indonesia yang terletak diantara pertemuan tiga lempeng dunia aktif, yaitu Lempeng Indo-Australia, Pasifik, Eurasia, serta Lempeng mikro Filipina menyebabkan rawan terjadi gempa bumi tektonik yang sangat merugikan (Damayanti et al., 2020; Gignoux & Menéndez, 2016). Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa Pulau Sumatera merupakan daerah Indonesia bagian barat yang memiliki tingkat kegempaan sangat tinggi. Hal tersebut dikarenakan daerah Pulau Sumatera bagian barat dilintasi oleh sesar lokal (*intraplate*) yang membentang dari Selat Sunda hingga Laut Andaman (Delescluse et al., 2012). Sesar Mentawai, Sesar Semangko, Sesar Sianok ialah sesar aktif yang menjadi faktor pemicu tingginya aktifitas seismik di sekitar Sumatera baik di wilayah daratan maupun lautan. Selain keberadaan sesar aktif, lokasi Sumatera bagian barat yang berada di daerah zona subduksi meningkatkan aktifitas seismik di wilayah tersebut (Natawidjaja et al., 2007).



Gambar 1. Peta Sebaran gempa Sumatera periode 1900 – 2007 (Mustafa et al., 2010)

Akibat tingkat seismistas yang sangat tinggi, gempa bumi besar dengan kekuatan atau $M_w > 5$ sering terjadi di daerah Sumatera. Salah satunya ialah gempa bumi besar yang terjadi di Sumatera Barat Daya pada tanggal 2 Maret 2016 dengan M_w 7,9. Lokasi sumber gempa bumi ini berada di tengah laut, tepatnya di kawasan Samudera Hindia. Pada kasus gempa besar dengan M_w 7,9 yang terjadi di bawah laut akan berpotensi untuk membangkitkan gelombang tsunami yang merusak jika merambat hingga ke daratan. Menurut Madlazim et al., (2015) gempa dengan kekuatan magnitudo yang sangat besar seperti kasus ini juga akan berpotensi menghasilkan *rupture* atau rekahan di permukaan bumi. Jika rekahan ini merambat menuju pemukiman warga, maka mengakibatkan kerusakan pada daerah yang dilaluinya. Selain kerusakan material, daerah yang dilalui oleh *rupture* juga berpotensi terjadi gempa susulan. Gempa susulan (*aftershock*) akan berlipat dampaknya dari gempa utama (*mainshock*) meskipun kekuatannya lebih

kecil. Hal itu karena struktur bangunan yang telah kritis akibat gempa utama akan rusak jika dihantam gempa susulan.

Permasalahan diatas akan dapat diatasi jika kita memahami karakteristik *rupture* dari gempa yang terjadi. Kasus gempa yang bersumber di laut akan membangkitkan tsunami jika nilai estimasi durasi *rupture* gempa melebihi 50 detik (Lomax & Michelini, 2009, 2011; Madlazim et al., 2015). Selain itu estimasi arah patahan juga sangat penting dilakukan sebagai upaya untuk melakukan mitigasi karena daerah yang dilalui oleh *rupture* akan sangat rawan terjadi gempa susulan (Madrilazim et al., 2015). Terjadinya gempa susulan karena daerah yang dilalui oleh *rupture* akibat gempa memiliki kerentanan yang tinggi jika terdapat pelepasan energi gempa di lokasi yang sama.

Penelitian – penelitian sebelumnya terkait gempa besar yang dilakukan oleh L Meng et al., (2012) pada Gempa Haiti M_w 7,0 tahun 2010, Bao et al., (2019) pada Gempa Palu M_w 7,5 tahun 2018, dan Madlazim et al, (2021) pada Gempa Turki M_w 7,0 tahun 2021 menggunakan metode *MUSIC-Back Projection* dengan tujuan untuk menganalisis karakteristik *rupture* yang dihasilkan oleh gempabumi besar. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode yang sama pada gempabumi besar di Sumatera Barat M_w 7,9 tanggal 2 Maret 2016. Selain itu, penelitian terkait karakteristik *rupture* gempabumi besar dengan metode MUSICBP juga belum dilakukan oleh lembaga seismologi di Indonesia seperti BMKG. Hal tersebut juga melatar belakangi kami untuk melakukan penelitian ini.

Pada penelitian ini data yang dihasilkan berupa nilai durasi *rupture*, arah *rupture*, radiator jarak *rupture* dari episenter terhadap waktu yang telah di plot ke grafik regresi linear untuk menentukan nilai kecepatan *rupture*. Hasil data tersebut jika di analisis akan dapat digunakan untuk mengestimasi lokasi gempa susulan dan potensi terbangkitnya gelombang tsunami. Menurut Lingsen Meng et al., (2016) keunggulan dari metode ini ialah data yang dihasilkan memiliki citra *rupture* gempa yang lebih tajam jika dibandingkan dengan hasil citra *rupture* menggunakan metode *Beamforming* dan data SAC gempa yang digunakan dapat diunduh secara gratis melalui website *IRIS Wilber*

METODE

Metode *back projection* menggunakan gelombang seismik frekuensi tinggi yang direkam oleh susunan padat atau *array* stasiun untuk memberikan informasi terkait karakteristik *rupture* gempa yang memperbarui sumber terbatas inversi konvensional (Fletcher et al., 2006; Ishii et al., 2005). *Back projection array* bertujuan untuk melacak area sumber yang menghasilkan frekuensi tertinggi dari

radiasi terkuat, hanya berdasarkan pada fase dan koherensi dari sinyal *array* seismik. Hal ini memberikan hasil yang kuat pada perubahan spatiotemporal dari *rupture* gempa, tanpa bergantung pada asumsi fungsi Green atau pada parameterisasi kinematik restriktif dari retakan tersebut.

Metode *back projection* menggunakan data gempa teleseismik dan menerapkan persamaan linear untuk menghubungkan data observasi dengan pemodelan pada persamaan (1) (Grandis, 2009).

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

Dimana “d” adalah data seismogram gempa teleseismik dengan magnitudo momen > 7 , “G” adalah fungsi Green yang merupakan data buatan yang dihitung dengan acuan model bumi tertentu, dan “m” adalah model atau hasil yang merupakan nilai karakteristik dari *rupture* gempabumi.

Penelitian ini menggunakan metode MUSICBP (*Multiple Signal Back projection*) dari (Bao et al., 2019; Lingsen Meng et al., 2011) untuk menentukan karakteristik dari *rupture* gempa bumi. Hal itu dilakukan dengan memproses data SAC gempa menggunakan perangkat lunak MATLAB.

Data SAC gempa teleseismik yang di gunakan berasal dari katalog gempa pada event gempa (2016-03-02 12:49:48 UTC) Southwest of Sumatera dengan kekuatan 7,9 Mw, longitude 94.3299° E, latitude 4.9521°S, dan pada kedalaman 24 km. Data tersebut dapat diakses dan diunduh secara gratis melalui https://ds.iris.edu/wilber3/find_event.

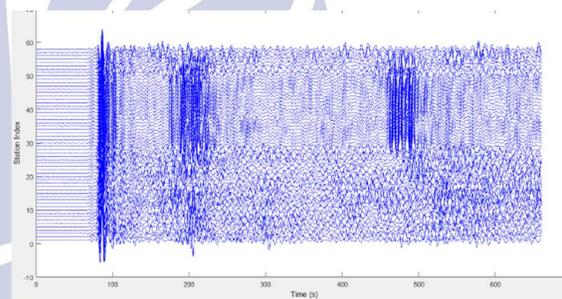
Aplikasi MUSIC Back Projection untuk Gempa Sumatera Barat 2016

Hal pertama yang dilakukan ialah mencari katalog gempa di website IRIS seperti Gambar 2 dengan karakteristik magnitudo gempa $> M_w 7$ pada kedalaman < 50 km. Gempa yang digunakan tergolong teleseismik dengan jarak jangkauan $0^\circ - 30^\circ$ atau $0^\circ - 80^\circ$. Selanjutnya memproyeksikan event gempa ke *array* Australia yang berjumlah 60 stasiun. Tahap berikutnya mengunduh file rekaman sinyal gempa dalam bentuk SAC. Tahap kedua mengatur perangkat lunak yang akan digunakan di MATLAB dengan menginput meta data event gempa yang diambil. Tahap ketiga yaitu memproses data SAC pada perangkat lunak.



Gambar 2. Lokasi gempa dan stasiun Array Australia

Tahap terpenting berikutnya yaitu proses cross correlation atau alignment pada Gambar 3. Data sinyal gempa berjumlah 60 stasiun di cross correlation hingga mendapatkan data sinyal yang koheren dan sefase, pada tahap ini data seismogram di filter dengan rentang frekuensi tinggi yaitu (0,25 – 1,0 Hz). Selanjutnya data seismogram yang koheren tersebut di olah dengan metode MUSICBP dan menghasilkan output berupa citra karakteristik *rupture* gempa.

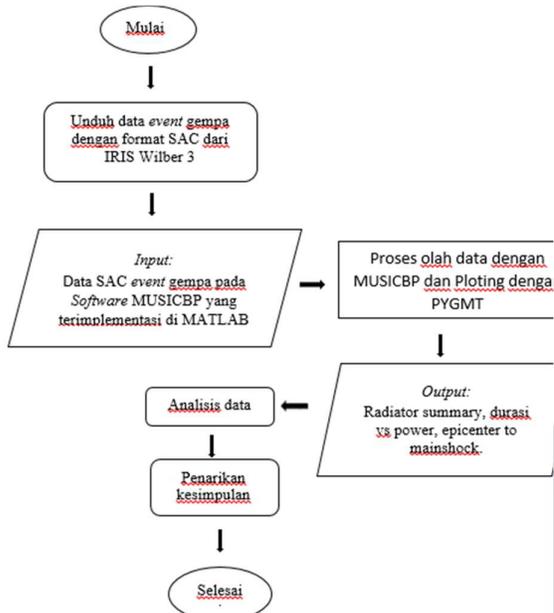


Gambar 3. Sinyal gempa yang telah di *cross correlation* dengan rentang frekuensi 0,25 – 1,00 Hz

Pengolahan data berikutnya dengan melakukan plot citra radiator frekuensi tinggi dan beberapa data gempa susulan dengan software *Python Generic Mapping Tools* (PYGMT) sehingga didapatkan seperti Gambar 4. Hasil radiator jarak dari episenter terhadap durasi di plot pada grafik regresi linear seperti Gambar 5 (b) dengan persamaan :

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

Dengan batasan *outlier* persamaan ini menggunakan batas tingkat kevalidan 90 %. dimana y adalah fungsi waktu, m adalah nilai kecepatan *rupture* (gradien), x adalah jarak *rupture* dari episenter dan c adalah offset.

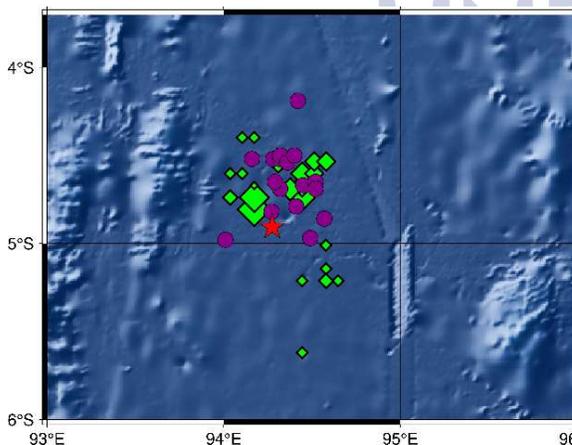


Gambar 4. Diagram alir pengolahan data

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Citra Rupture Gempa Sumatera 2016

Pada tanggal 2 Maret 2016 terjadi gempabumi di Sumatera Barat dengan M_w 7,9. Gempabumi tersebut memiliki episenter di laut, tepatnya berada di Cekungan Wharton Samudera Hindia (Heidarzadeh et al., 2017). Sinyal gempabumi direkam oleh *array* stasiun Australia yang berjumlah 60 stasiun. Metode dengan menggunakan sistem *array* dari stasiun di gunakan oleh Madlazim et al, (2021) untuk mengestimasi karakteristik *rupture* penyebab tsunami pada Gempabumi Turki tanggal 30 Oktober 2021.



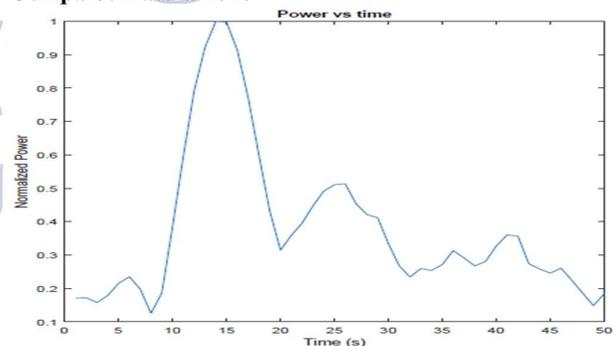
Gambar 5. Hasil plot radiator *rupture* dan beberapa gempa susulan pada Gempa Sumatera 2016

Pada Gambar 5 menunjukkan citra radiator *rupture* dan beberapa gempa susulan yang dihasilkan oleh

Gempabumi Sumatera 2016. Segi empat hijau mengintepretasikan radiator *rupture* gempa, lingkaran ungu merupakan *aftershock* dari gempa, dan bintang merah adalah lokasi episenter gempa. Dari Gambar 5 di dapatkan radiator *rupture* gempa ini merambat ke arah utara selatan secara *bilateral* dan lokasi gempa susulan berada di utara episenter gempa mengikuti segmentasi dari *rupture*. Menurut penelitian-penelitian sebelumnya Lay et al., (2016; Zhao & Yao, (2018) juga menemukan bahwa kasus gempa ini memiliki *rupture* yang merambat menuju arah utara-selatan (*north-south*) secara *bilateral*. Keberadaan *rupture* yang mengarah ke utara juga tervalidasi oleh lokasi beberapa gempa susulan (*aftershocks*) yang diperoleh dari https://ds.iris.edu/wilber3/find_event yang saling berhimpit dengan segmentasi *rupture* gempa dan menuju ke arah utara. Menurut Madlazim et al., (2015) arah rambat *rupture* berkorelasi dengan lokasi terjadinya gempa susulan (*aftershock*). Hal tersebut disebabkan daerah yang berada di sekitar *rupture* akan rentan terhadap guncangan gempa.

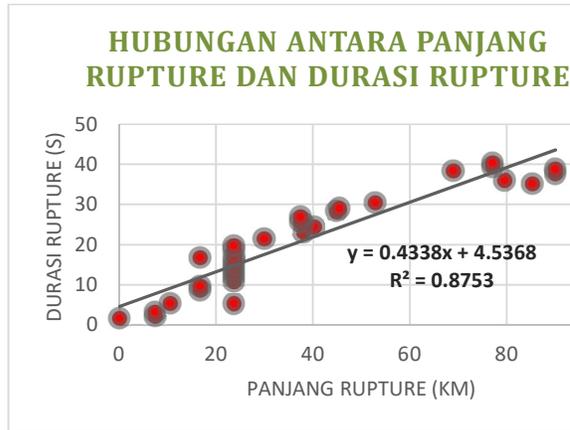
Menurut penelitian sebelumnya Natawidjaja et al., (2007) menyebutkan bahwa sebagian besar gempabumi di wilayah perairan barat Sumatera di sebabkan oleh zona subduksi dan aktifitas sesar lokal yang membusur di sepanjang Pulau Sumatera bagian barat. Kasus Gempabumi Sumatera 2 Maret 2016 disebabkan oleh aktifitas sesar lokal (*intraplate earthquake*) yang menggerakkan lantai dasar Samudera Hindia dengan mekanisme *strike slip* (Heidarzadeh et al., 2017; Khaerani et al., 2018; Lay et al., 2016). Diketahui pula bahwa episenter gempabumi ini berada di Cekungan Wharton Perairan Hindia (Gusman et al., 2017).

B. Nilai Durasi dan Kecepatan Rupture dari Gempa Sumatera 2016



Gambar 6. Perubahan amplitudo gempa yang relatif terhadap durasi *rupture*

Gempa bumi Sumatera 2016 menghasilkan data nilai durasi dan kecepatan *rupture*. Nilai durasi terhadap amplitudo gempa pada Gambar 6 yang menunjukkan perubahan amplitudo gempa mencapai maksimum ketika 15 detik dan relatif terhadap waktu tertentu hingga mencapai normal setelah 40 detik.



(b)

Gambar 7. Hubungan antara durasi *rupture* dengan panjang *rupture* dari episenter

Hasil dari plot radiator durasi terhadap jarak *rupture* dari episenternya pada grafik regresi linear Gambar 7 menginterpretasikan nilai kecepatan *rupture*. Nilai kecepatan *rupture* dapat diketahui melalui kemiringan (gradien) dari grafik yaitu 2,3 km/s. Nilai kecepatan *rupture* 2,3 km/s termasuk dalam kategori regular (Lingsen Meng et al., 2011). Selain itu, Gambar 7 juga menginterpretasikan panjang *rupture* yang dihasilkan oleh gempa yaitu 90 km.

Durasi *rupture* berdasarkan Gambar 6 amplitudo gempa mengalami kenaikan hingga ternormalisasi pada 40 detik. Perubahan amplitudo tersebut menunjukkan perubahan kekuatan yang di hasilkan oleh gempa. Pada kasus gempa ini terjadi di bawah laut, maka penting untuk mengetahui estimasi durasi *rupture* guna mengetahui potensi terjadinya tsunami. Menurut Lomax & Michelini, (2011); Madlazim et al, (2021) jika durasi patahan atau *rupture* > 50 detik maka akan berpotensi terjadi tsunami. Gempa ini memiliki durasi *rupture* yang berkisar 40 detik akan tetapi pada penelitian sebelumnya dengan kasus gempa yang sama Heidarzadeh et al., (2017) menemukan bahwa gempa ini berimplikasi terhadap tsunami.

Tsunami tersebut disebabkan karena episenter gempa ini berada di dalam Cekungan Wharton Samudera Hindia dan jenis mekanisme gempanya ialah *strike slip* (Heidarzadeh et al., 2017). Menurut Ibad & Santosa, (2014) kondisi geologi dasar laut berpengaruh terhadap nilai run up yang dihasilkan oleh gelombang air laut. Pada gempa ini tsunami diakibatkan oleh hantaman air laut ke dinding Cekungan Wharton, dimana air laut terdorong secara horizontal dengan mekanisme *strike slip* sehingga menimbulkan pelipatan nilai amplitudo gelombang air laut (run up). Faktor struktur geologi dasar laut ini menjadi pemicu terjadinya tsunami untuk Gempabumi Sumatera 2016 dengan Mw 7,9.

Oleh karena itu pada kasus gempabumi ini nilai durasi *rupture* yang dihasilkan oleh kekuatan gempabumi bukan merupakan parameter utama pemicu terjadinya tsunami melainkan episenter gempa yang berada di dalam Cekungan Wharton dengan mekanisme gempa *strike slip*.

Berdasarkan analisis terkait arah *rupture*, durasi *rupture*, panjang *rupture*, dan kecepatan *rupture* yang dihasilkan oleh Gempabumi Sumatera 2016. Dapat kita analisis dengan nilai durasi < 40 detik dan kecepatan *rupture* 2,3 km/s tergolong regular yang seharusnya menurut estimasi tidak berimplikasi terhadap tsunami akan tetapi karena episenter gempanya berada di dalam Cekungan Wharton dengan mekanisme gempa *strike slip* mengakibatkan kasus gempa ini berimplikasi terhadap tsunami. Selain itu, gempa ini dibangkitkan karena aktifitas sesar lokal (*intraplate earthquake*) dan berada di zona subduksi Sumatera dan Sunda *Megathrust* yang memberikan perubahan struktur dasar laut (*ocean floor*). Arah *rupture* yang dihasilkan oleh gempa ini merambat ke utara selatan dan tervalidasi oleh beberapa lokasi gempa susulan. Hal itu juga diperkuat dengan adanya zona subduksi yang memotong secara vertikal ke arah utara-selatan dan keberadaan sesar lokal di Pulau Sumatera. Hasil dari penelitian ini sangat berguna untuk proses mitigasi bencana kebumian karena menghasilkan data segmentasi *rupture* yang dapat mengestimasi lokasi yang berpotensi terjadi gempa susulan.

PENUTUP

Simpulan

Penelitian ini digunakan untuk menganalisis karakteristik citra *rupture* pada Gempabumi Sumatera 2016 Mw 7,9 dengan metode MUSICBP (*Multiple signal classification Back projection*) yang sudah diimplementasikan di software MATLAB. Berdasarkan hasil penelitian ini disimpulkan bahwa *rupture* yang dihasilkan oleh gempa mengarah ke utara-selatan (*north-south*) secara *bilateral* dengan panjang 90 km. Durasi *rupture* yang dihasilkan diplot pada grafik dengan nilai 40 detik, nilai kemiringan dari grafik ialah kecepatan *rupture* sebesar 2,3 km/s (regular). Gempabumi ini berjenis *intraplate earthquake* dengan mekanisme gempa *strike slip*. Selain itu, gempabumi ini berada pada Cekungan Wharton dan arah rambat *rupture* gempa ini bersesuaian dengan lokasi gempa susulan.

Saran

Berdasarkan penelitian tentang pencitraan *rupture* pada Gempabumi Sumatera 2 Maret 2016. Kami berharap keberlanjutan peneliti selanjutnya untuk mengembangkan penelitian terkait karakteristik yang dihasilkan oleh *rupture* gempabumi besar guna menganalisis daerah yang berpotensi terjadi gempa

susunan. Hal tersebut akan meningkatkan data hasil mitigasi bencana yang diterbitkan oleh badan seismologi nasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Lingsen Meng dan Han Bao. karena mengizinkan penggunaan perangkat lunak MUSICBP (Multiple Signal Back-Projection) untuk penelitian ini dan Muhammad Nurul Fahmi, M.Si. yang telah membantu proses plot data dengan PYGMT. Kami juga berterima kasih kepada IRIS DMC karena mengizinkan peneliti mengunduh data gempa secara gratis melalui tautan berikut http://ds.iris.edu/wilber3/find_stations/11331986

DAFTAR PUSTAKA

- Bao, H., Ampuero, J. P., 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*, 12(3), 200–205. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0297-z>
- Damayanti, C., Yamko, A. K., Souisa, C. J., Barends, W., Pieter, L., & Naroly, T. (2020). Pemodelan Segmentasi Mentawai - Pagai : Studi Kasus Gempa Megathrust di Indonesia. 1(2), 105–110.
- Delescluse, M., Chamot-Rooke, N., Cattin, R., Fleitout, L., Trubienko, O., & Vigny, C. (2012). April 2012 intra-oceanic seismicity off Sumatra boosted by the Banda-Aceh megathrust. *Nature*, 490(7419), 240–244. <https://doi.org/10.1038/nature11520>
- Fletcher, J. B., Spudich, P., & 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), S129–S142. <https://doi.org/10.1785/0120050812>
- Gignoux, J., & Menéndez, M. (2016). Benefit in the wake of disaster: Long-run effects of earthquakes on welfare in rural Indonesia. *Journal of Development Economics*, 118, 26–44. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2015.08.004>
- Grandis, H. (2009). Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika. In *Himpunan Ahli Geofisika Indonesia* (Issue 80). <https://osf.io/phgcw/%0Ahttp://geofisika.net/buku-pengantar-inversi/>
- Gusman, A. R., Satake, K., & Harada, T. (2017). Rupture process of the 2016 Wharton Basin strike-slip faulting earthquake estimated from joint inversion of teleseismic and tsunami waveforms. *Geophysical Research Letters*, 44(9), 4082–4089. <https://doi.org/10.1002/2017GL073611>
- Heidarzadeh, M., Harada, T., Satake, K., Ishibe, T., & Takagawa, T. (2017). *Geophysical Journal International*. 1601–1612. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx395>
- Ibad, M. I., & Santosa, B. jaya. (2014). Pemodelan Tsunami Berdasarkan Parameter Mekanisme Sumber Gempa Bumi dari Analisis. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 3(2), 86–91.
- Ishii, M., Shearer, P. M., Houston, H., & Vidale, J. E. (2005). Extent, duration and speed of the 2004 Sumatra–Andaman earthquake imaged by the Hi-Net array. *Nature*, 435(7044), 933–936. <https://doi.org/10.1038/nature03675>
- Khaerani, D., Sarsito, D. A., Meilano, I., & Susilo. (2018). Deformation of West Sumatra Due to the 2016 Earthquake (M7.8) Based on Continuous GPS Data. *2018 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/AGERS.2018.8554207>
- Lay, T., Ye, L., Ammon, C. J., Dunham, A., & Koper, K. D. (2016). The 2 March 2016 Wharton Basin Mw 7.8 earthquake: High stress drop north-south strike-slip rupture in the diffuse oceanic deformation zone between the Indian and Australian Plates. *March*. <https://doi.org/10.1002/2016GL069931>. Received
- Lomax, A., & Michelini, A. (2009). Tsunami early warning using earthquake rupture duration. *Geophysical Research Letters*, 36(9), 4–7. <https://doi.org/10.1029/2009GL037223>
- Lomax, A., & 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. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04916.x>
- Madlazim., Fahmi, M., Realita, A., Sari, D. (2021). Rupture Imaging for the 30 October Tsunamigenic Earthquake in the Eastern Aegean Sea. *Science of Tsunami Hazards* . 2021, Vol. 40 Issue 4, p228-237. 10p.
- Madlazim., Hendri, M. (2015). Penentuan Arah Rupture Menggunakan Evaluasi Durasi Rupture di Daerah Sumatera. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 04 (2), hal 27 - 32.
- Meng, L., Ampuero, J., Sladen, A., & Rendon, H. (2012). High-resolution backprojection at regional distance : Application to the Haiti M 7 . 0 earthquake and comparisons with finite source studies. 117, 1–16. <https://doi.org/10.1029/2011JB008702>
- Meng, L., Inbal, A., & Ampuero, J. P. (2011). A

- window into the complexity of the dynamic rupture of the 2011 Mw 9 Tohoku - Oki earthquake. 38(August), 1-6. <https://doi.org/10.1029/2011GL048118>
- Meng, L., Zhang, A., & Yagi, Y. (2016). Improving back projection imaging with a novel physics-based aftershock calibration approach: A case study of the 2015 Gorkha earthquake. 628-636. <https://doi.org/10.1002/2015GL067034>. Received
- Mustafa, B. (2010). Analisis gempa nias dan gempa sumatera barat dan kesamaannya yang tidak menimbulkan tsunami. *Journal of Physical Science Universitas Andalas*, 2(1), 44-50. <https://doi.org/10.25077/jif.2.1.44-50.2010>
- Natawidjaja, D. H., Sieh, K., Galetzka, J., Suwargadi, B. W., Cheng, H., Edwards, R. L., & Chlieh, M. (2007). Interseismic deformation above the Sunda Megathrust recorded in coral microatolls of the Mentawai islands, West Sumatra. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(2), 1-27. <https://doi.org/10.1029/2006JB004450>
- Zhao, X., & Yao, Z. (2018). The kinematic characteristics of the 2016 MW7.8 offshore Sumatra, Indonesia earthquake. *Acta Geophysica Sinica*, 61(3). <https://doi.org/10.6038/cjg2018K0624>



