

Pencitraan *Rupture* Gempa Bumi Sumatra 10 Januari 2012 Mw 7.2 Menggunakan Metode *Multiple Signal Classification Back Projection* (MUSICBP)

Daniar Kartika, Madlazim

Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

Email: daniar.18049@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Gempa bumi Sumatra 10 Januari 2012 dengan kekuatan Mw 7.2 merupakan salah satu dari rangkaian gempa bumi Sumatra 2012 yang berlokasi di dekat antarmuka zona subduksi atau ~400 km dari barat laut Sumatra Utara di sisi laut Sunda *Megathrust* di dalam Cekungan Wharton, dimana terdapat zona patahan lama yang kembali aktif akibat dari aktivitas subduksi pada area tersebut sehingga sering kali terjadi gempa bumi dengan kekuatan yang besar seperti rangkaian gempa bumi Sumatra 2012, untuk itu dilakukan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik *rupture* dari gempa bumi Sumatra 10 Januari 2012 Mw 7.2, dengan diketahuinya karakteristik *rupture* tersebut dapat digunakan untuk mengetahui gempa susulan yang mungkin terjadi setelah peristiwa gempa bumi tersebut sehingga dapat dimanfaatkan sebagai upaya mitigasi bencana gempa bumi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan menggunakan data sinyal yang terekam oleh stasiun seismik pada AU array dengan jumlah stasiun sebanyak 106 stasiun dan difilter menggunakan frekuensi tinggi sebesar 0.5-1.0 Hz pada tahap *cross correlation* diolah menggunakan metode *Multiple Signal Clasification Back Projection* (MUSICBP) didapatkan hasil karakteristik *rupture* berupa arah rambat *rupture* yang merambat secara unilateral ke arah barat laut dengan durasi *rupture* selama ~40s, dengan begitu dapat diketahui kecepatan *rupture* dari grafik regresi linear hubungan jarak dari radiator frekuensi tinggi ke episenter terhadap waktu selama 40s yaitu sebesar 1.9 km/s, kecepatan *rupture* tersebut termasuk ke dalam kategori lambat untuk sebuah gempa besar dengan kedalaman dangkal.

Kata Kunci: Gempa bumi, Sumatra, *rupture*, *back projection*, MUSICBP

Abstract

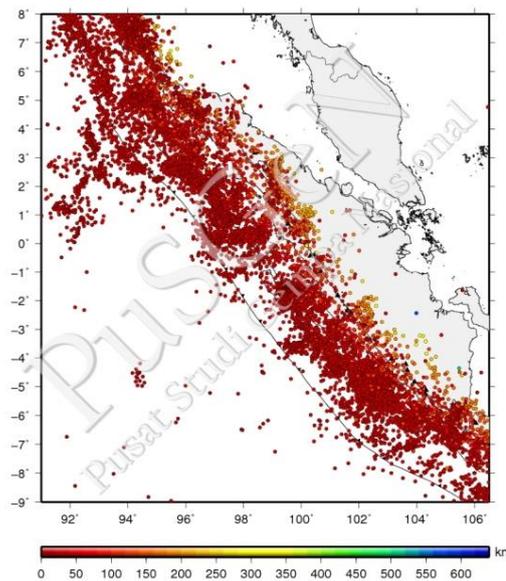
The 10 January 2012 Sumatra earthquake with a magnitude of Mw 7.2 is one of a series of 2012 Sumatra earthquakes located near the interface of the subduction zone or ~400 km northwest of North Sumatra on the sea side of the Sunda Megathrust within the Wharton Basin, where there is an old fault zone. which is reactivated as a result of subduction activity in the area so that earthquakes with large strength often occur such as the 2012 Sumatra earthquake series, for this reason this study was conducted to determine the rupture characteristics of the Sumatran 10 January 2012 Mw 7.2 earthquake, by knowing the rupture characteristics This data can be used to find out aftershocks that may occur after the earthquake so that it can be used as an effort to mitigate earthquake disasters. Based on research conducted using signal data recorded by seismic stations on the AU array with a total of 106 stations and filtered using a high frequency of 0.5-1.0 Hz at the cross-correlation stage processed using the Multiple Signal Classification Back Projection (MUSICBP) method, the characteristic results obtained rupture in the form of a rupture propagation direction that propagates unilaterally to the northwest with a rupture duration of ~40s, so that the rupture speed can be seen from the linear regression graph of the relationship between the distance from the high-frequency radiator to the epicenter of the time for 40s, which is 1.9 km/s, speed The rupture is included in the slow category for a large earthquake with a shallow depth.

Keywords: Earthquake, Sumatra, rupture, back projection, MUSICBP

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki wilayah yang berada di antara pertemuan empat lempeng dunia yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik dan Lempeng Filipina yang menyebabkan pada wilayah Indonesia berpotensi untuk terjadi gempa bumi dengan kekuatan yang besar, hal tersebut menunjukkan adanya proses tektonik aktif yang berada pada wilayah tersebut (Hutchings and Mooney, 2021). Pertemuan antar lempeng-lempeng tersebut mengakibatkan terjadinya deformasi fisis pada zona subduksi dan sesar daratan sebagai sumber utama pemicu gempa tektonik di Indonesia (Irsyam, *et al.*, 2017; Natawidjaja, 2021), dengan adanya kondisi tersebut menyebabkan tingkat seismisitas pada wilayah Indonesia menjadi tinggi (Hutchings and Mooney, 2021). Salah satu wilayah di Indonesia yang paling rawan mengalami peristiwa gempa bumi adalah wilayah Sumatra (Irsyam *et al.*, 2017), beberapa gempa bumi dengan kekuatan besar yang pernah terjadi pada wilayah Sumatra adalah gempa bumi Andaman 2004 Mw 9.1, gempa bumi Nias 2005 Mw 8.6, gempa bumi Mentawai 2007 Mw 7.9, gempa bumi Kepulauan Mentawai 2010 Mw 7.8, gempa bumi Sumatra 2012 Mw 8.6, gempa bumi Sumatra Barat 2016 Mw 7.8, dan masih banyak lagi gempa-gempa besar yang pernah terjadi pada wilayah Sumatra hingga saat ini.

Wilayah Sumatra terletak pada perbatasan Lempeng Indo-Australia yang menunjam miring di bawah Lempeng Eurasia (McCaffrey, 2009; Bradley *et al.*, 2017; Gui *et al.*, 2019). Lempeng Indo-Australia sebagai lempeng samudera terus mendesak Lempeng Eurasia yang mana merupakan lempeng benua yang relatif diam dengan kecepatan 50-60 mm/tahun (Sieh and Natawidjaja, 2000; McCaffrey, 2009; Mukti *et al.*, 2012; Irsyam *et al.*, 2017), akibat dari penunjaman lempeng tersebut diakomodasi oleh zona subduksi sepanjang wilayah Sumatra sebagai sumber utama pemicu gempa (Sieh and Natawidjaja, 2000; Bradley *et al.*, 2017; Hutchings and Mooney, 2021). Sisanya diakomodasi oleh sesar daratan yang dikenal sebagai Sesar Besar Sumatra dari ujung utara sampai ujung selatan Pulau Sumatra dan terbagi menjadi segmen-segmen kecil (Sieh and Natawidjaja, 2000; Weller *et al.*, 2012; Salman *et al.*, 2020). Selain itu terbentuknya cekungan busur muka yang sejajar dengan busur vulkanik sepanjang Pegunungan Barisan juga menjadi salah satu sumber pemicu gempa di wilayah Sumatra (Singh *et al.*, 2010; Irsyam *et al.*, 2017). Dengan kondisi tersebut maka tidak heran jika wilayah Sumatra memiliki tingkat seismisitas yang cukup tinggi seperti yang terlihat pada peta sebaran gempa pada Gambar 1 (Irsyam *et al.*, 2017; Hutchings and Mooney, 2021; Natawidjaja, 2021).



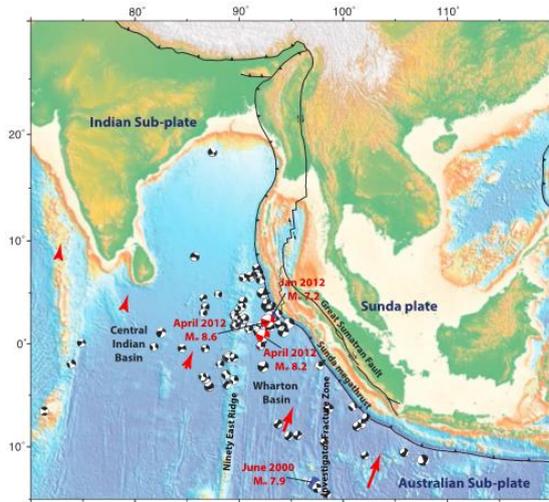
Gambar 1. Seismisitas wilayah Sumatra berdasarkan katalog PuSGeN 2017. (Irsyam *et al.*, 2017)

Berdasarkan Gambar 1 seismisitas bagian utara wilayah Sumatra memiliki potensi gempa besar lebih tinggi dibandingkan dengan bagian tengah maupun selatan. Subduksi Lempeng Indo-Australia dan Eurasia yang sangat miring di bagian utara bertanggung jawab atas gempa-gempa besar yang pernah terjadi (Irsyam *et al.*, 2017; Natawidjaja *et al.*, 2017; Rafie *et al.*, 2019). Namun gempa-gempa besar biasanya juga melibatkan interaksi sesar yang sangat kompleks sehingga pelepasan energinya tidak langsung muncul sebagai gempa utama. Selain itu deformasi fisis pada lempeng tunggal juga memiliki kontribusi kuat atas gempa *intraplate* dan subduksi yang rumit di bawahnya. Pemahaman mengenai hal tersebut juga menjadi sangat penting mengingat deformasi lempeng juga sangat potensial untuk menghasilkan gempa-gempa besar (Fan and Shearer, 2016).

Salah satu peristiwa gempa bumi dari banyaknya peristiwa gempa bumi yang pernah terjadi pada wilayah Sumatra yang menarik perhatian adalah rangkaian gempa Sumatra pada tahun 2012, serangkaian gempa tersebut diawali dengan gempa bumi Mw 7.2 yang terjadi pada 10 Januari 2012, dalam selang waktu selama 3 bulan setelah terjadi gempa tersebut disusul oleh gempa bumi Mw 8.6 yang terjadi pada tanggal 11 April 2012 kemudian diikuti oleh *aftershock* Mw 8.2 pada hari yang sama dalam selang waktu 2 jam (Wang *et al.*, 2012).

Gempa bumi Mw 7.2 pada 10 Januari 2012 berdasarkan persebaran energinya dapat dikatakan sebagai gempa susulan awal (*foreshock*) yang besar dari serangkaian gempa Sumatra 2012 (Fan and Shearer, 2018), gempa bumi ini berlokasi hampir sama dengan gempa bumi Mw 8.6 pada 11 April 2012 (Yin and Yao, 2015) yakni di dekat antarmuka zona subduksi (Fan and

Shearer, 2016) atau ~400 km dari barat laut Sumatra Utara di sisi laut Sunda *Megathrust* di dalam Cekungan Wharton seperti yang tertera pada peta lokasi gempa bumi Sumatra 10 Januari 2012 Mw 7.2, 11 April 2012 Mw 8.6 dan Mw 8.2 pada Gambar 2 (Hill *et al.*, 2015; Natawidjaja, 2021).



Gambar 2. Lokasi gempa bumi Sumatra 10 Januari 2012 Mw 7.2, 11 April 2012 Mw 8.6 dan Mw 8.2 yang mengacu pada pengaturan tektonik regionalnya (Hill *et al.*, 2015)

Hingga saat ini beberapa penelitian hanya terfokus pada *mainshock* rangkaian gempa bumi Sumatra 2012 yaitu gempa bumi 11 April 2012 Mw 8.6 dan *aftershock*nya Mw 8.2 yang mana keduanya merupakan dua gempa besar yang terjadi dalam satu hari, namun dalam rangkaian gempa Sumatra 2012 juga memiliki *foreshock* yang cukup menarik karena dalam rangkaian gempa bumi ini gempa 10 Januari 2012 juga memiliki kekuatan yang besar yakni sebesar Mw 7.2.

Untuk mengkaji lebih lanjut mengenai gempa bumi Sumatra 10 Januari 2012 Mw 7.2 perlu mengetahui karakteristik *rupture* dari *event* gempa bumi tersebut, salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik *rupture* dari sebuah *event* gempa bumi adalah *Multiple Signal Classification Back Projection* (MUSICBP) (Meng *et al.*, 2016; Bao *et al.*, 2019) dengan menggunakan pendekatan *back projection* efektif untuk mencitrakan kekompleksan *rupture* dari gempa-gempa besar (Wang and Mori, 2011; Meng *et al.*, 2016). *Back projection* dapat menangkap dan mencitrakan radiasi seismik dengan menggunakan frekuensi yang tinggi, sehingga dapat diasumsikan untuk merepresentasikan propagasi *spatiotemporal* seperti panjang, arah, dan kecepatan *rupture* dari gempa-gempa besar (Wang and Mori, 2011; Meng *et al.*, 2016; Zeng *et al.*, 2020), untuk itu dengan menggunakan metode *Multiple Signal Classification Back Projection* (MUSICBP) ini memiliki banyak keunggulan yang mana dapat mendapatkan hasil berupa arah, durasi dan kecepatan *rupture* sekaligus secara

langsung berbeda dengan metode lain yang hanya bisa mendapatkan hasil salah satu dari arah *rupture* atau durasi *rupture* atau kecepatan *rupture* saja

Pada saat terjadi gempa bumi persebaran energi hanya terfokus pada area patahan sumber dari gempa bumi, dengan mengetahui kinematika *rupture* tersebut dapat digunakan untuk mengetahui patahan aktif yang sebenarnya seperti yang telah dilakukan oleh Amini *et al.*, (2018) untuk gempa bumi Verzeghan 2012 dan Fahmi *et al.*, (2021) untuk gempa bumi Laut Banda 2021, dengan begitu dapat digunakan untuk memprediksikan gempa susulan yang mungkin akan terjadi di sekitar patahan yang kemudian dapat digunakan dalam upaya mitigasi agar dapat meminimalisir kerugian material maupun korban jiwa pada saat terjadi gempa bumi.

METODE

Prinsip dasar dari metode *back projection* merupakan prinsip sederhana yang digunakan untuk melacak sebuah target yang bergerak (Meng *et al.*, 2016). Pada awalnya metode *back projection* dikembangkan untuk mencitrakan perambatan *rupture* dari gempa bumi besar secara detail.

Keberhasilan dalam menggunakan metode *back projection* untuk mencitrakan *rupture* dari gempa bumi, dapat ditentukan dengan mengetahui rekam jejak gelombang seismik yang bergerak dari sumber dibangkitkannya gelombang tersebut hingga stasiun seismik yang merekam gelombang tersebut. Perlu kita ketahui hal yang terpenting dalam mengetahui rekam jejak gelombang seismik yang bergerak dari sumber dibangkitkannya gelombang tersebut hingga stasiun seismik tersebut yakni *travel time* atau waktu yang diperlukan oleh gelombang untuk bergerak dari satu titik ke titik lain dan gelombang yang terekam oleh stasiun-stasiun seismik terdekat pada umumnya mirip, sehingga berdasarkan penyederhanaan permasalahan tersebut dapat diketahui bahwa analisis *back projection* dapat dijelaskan menggunakan persamaan 1:

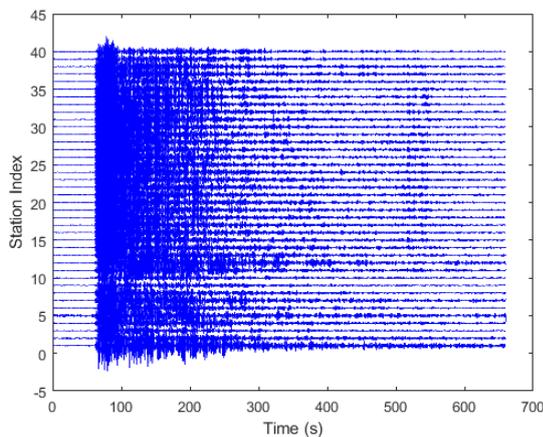
$$s_j(t) = \sum_{i=1}^N w_{ij}(t) f_{ij}(t + \tau_{ij}) \dots\dots\dots (1)$$

dimana $s_j(t)$ merupakan deret waktu dalam selang waktu t yang berkaitan dengan titik sumber j , N merupakan stasiun seismik, $w_{ij}(t)$ merupakan fungsi berat untuk stasiun seismik i hingga titik sumber j , f_{ij} merupakan fungsi yang menunjukkan pengukuran dari titik ke i hingga titik ke j , dan τ_{ij} merupakan pergeseran waktu dari penjumlahan waktu yang digunakan untuk mengirim informasi yang terekam oleh stasiun ke i hingga titik sumber ke j (Kiser and Ishii, 2017).

Pada penelitian ini menggunakan *Multiple Signal Classification Back Projection* (MUSICBP) yang mana merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mendapatkan hasil pencitraan *rupture* dengan resolusi

tinggi, hal tersebut dikarenakan MUSICBP dapat menghasilkan pencitraan yang mendekati dengan sumbernya dan kurang sensitif terhadap kesalahan informasi (Meng *et al.*, 2016; Bao *et al.*, 2019).

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *event* gempa bumi Sumatra 10 Januari 2012 Mw 7.2 dengan kedalaman 20,9 km, dan episenter yang berada pada *latitude* 2.4307° *longitude* 93.2081°, kemudian mengunduh data sinyal gempa yang terekam pada stasiun seismik Australia (AU) *array* sejumlah 106 stasiun pada laman https://ds.iris.edu/wilber3/find_event dengan klasifikasi jarak jangkauannya sebesar 30°-60° dalam bentuk file SAC. Selanjutnya menginput data pada perangkat lunak MATLAB dengan metode MUSICBP yang mana terdapat 4 tahap yakni tahap pertama adalah tahap *initial* yang berfungsi untuk memulai pengolahan data baru, kemudian sebelum melanjutkan ke tahap kedua dilakukan input data SAC, tahap kedua merupakan tahap *reading seismogram* yang berfungsi untuk membaca sinyal yang terekam pada stasiun seismik dalam bentuk seismogram, tahap ketiga adalah tahap *cross correlation* yang mana sinyal yang diinput difilter dalam rentang frekuensi 0.5-1.0 Hz untuk mendapatkan hasil sinyal yang koheren dan sefase seperti Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Sinyal yang koheren dan sefase hasil *cross correlation* data dalam rentang frekuensi 0.5-1.0 Hz.

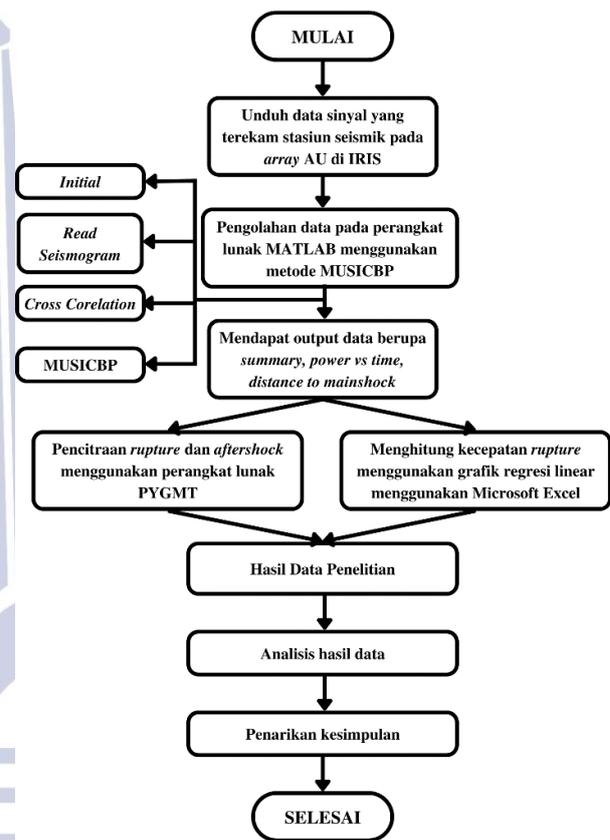
Setelah didapatkan hasil dari *cross correlation* tersebut dilakukan tahap ke empat yaitu tahap MUSICBP untuk mendapatkan output berupa *summary* dari radiasi *rupture* yang terekam, grafik *power vs time*, *distance along N-S direction*, dan *distance to mainshock epicenter*. Berdasarkan data output tersebut didapatkan hasil berupa arah dan kecepatan *rupture*.

Arah *rupture* didapatkan dengan menggunakan perangkat lunak *Phyton Generic Mapping Tools* (PYGMT) untuk mengplot data *aftershock* dan radiator frekuensi tinggi yang diperoleh dari pengolahan menggunakan MUSICBP sedangkan kecepatan *rupture* didapatkan dengan membuat grafik regresi linear jarak

radiator frekuensi tinggi dari episenter vs waktu berdasarkan data yang terdapat pada hasil *output distance to mainshock epicenter*, dalam grafik regresi linear akan tertera persamaan linear seperti persamaan 2 berikut.

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

Dimana x merupakan jarak radiator frekuensi tinggi dari episenter, y merupakan waktu, m merupakan gradien yang mewakili nilai kecepatan dan c merupakan konstanta dari persamaan linear. Untuk mempermudah pemahaman mengenai metode yang digunakan dalam penelitian ini, berikut diagram alir mengenai metode yang digunakan di dalam penelitian ini mulai dari awal pengambilan data hingga pengambilan kesimpulan.

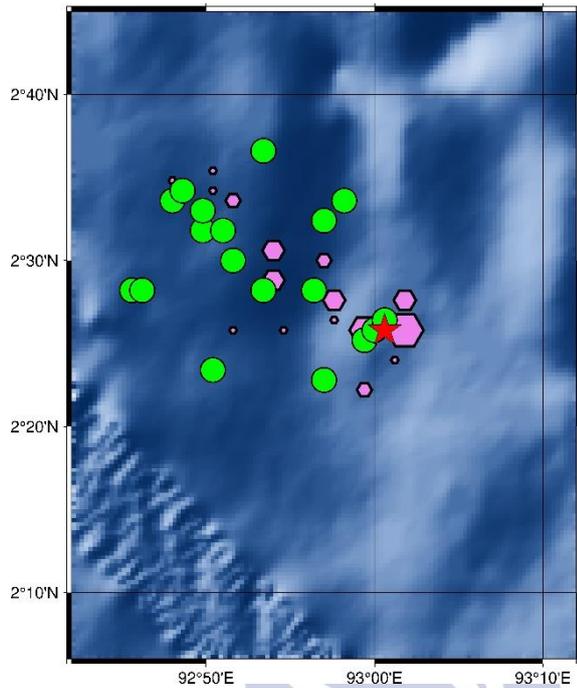


Gambar 4. Diagram alir metode yang digunakan penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik *rupture* dari sebuah *event* gempa bumi dapat diketahui menggunakan pengolahan sinyal yang terekam oleh stasiun seismik pada *array* tertentu dengan metode MUSICBP seperti beberapa penelitian yang menggunakan metode MUSICBP yaitu penelitian mengenai gempa bumi Gorkha 2015 (Meng *et al.*, 2016), gempa bumi Meinong 2016 (Jian *et al.*, 2017), gempa bumi Palu 2018 (Bao *et al.*, 2019), dan gempa bumi Turki 2020 (Madlazim *et al.*, 2021). Karakteristik *rupture* pada *event* gempa bumi Sumatra 10 Januari 2012 Mw 7.2 didapatkan hasil pencitraan *rupture* menggunakan

MUSICBP berdasarkan sinyal yang terekam pada stasiun-stasiun seismik pada AU array yang diplot menggunakan perangkat lunak PYGMT seperti gambar 4 di bawah ini.

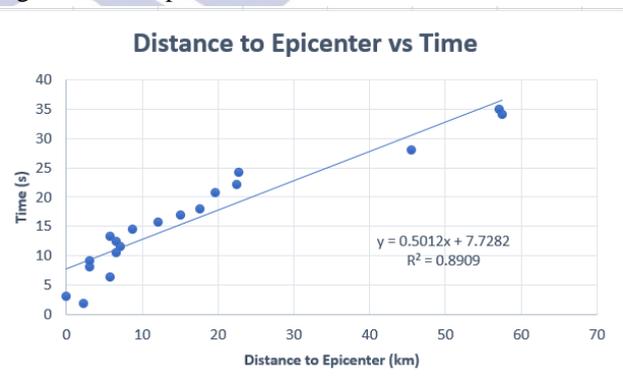


Gambar 5. Plot data *aftershock* gempa bumi Sumatra 10 Januari 2012 dan lokasi radiator frekuensi tinggi dari gempa bumi tersebut dimana heksagonal berwarna ungu muda merupakan radiator frekuensi tinggi, lingkaran hijau merupakan *aftershock*, dan bintang merah merupakan episenter dari gempa bumi tersebut.

Berdasarkan hasil pencitraan *rupture* Gambar 5 dapat diketahui bahwa radiator frekuensi tinggi yang diwakili oleh bentuk heksagonal berwarna ungu muda dengan ukuran yang berbeda tersebut menunjukkan persebaran energi yang dilepaskan pada saat terjadi gempa bumi berbeda berdasarkan ukuran heksagonal tersebut, semakin besar heksagonal menunjukkan bahwa energi yang dilepaskan semakin besar begitu pula sebaliknya, pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa energi yang dilepaskan semakin kecil apabila jaraknya semakin jauh dari episenter. Pada saat terjadi gempa bumi energi tersebut dilepaskan di sekitar *rupture* dan didukung oleh *aftershock* dari gempa tersebut yang digambarkan pada Gambar 5 dalam bentuk lingkaran berwarna hijau juga berada pada area sekitar persebaran energi, maka dapat diasumsikan bahwa radiator frekuensi tinggi dari gempa 10 Januari 2012 mencitrakan *rupture* unilateral ke arah barat laut selama ~40s (Fan and Shearer, 2016) dengan arah *rupture* mengikuti arah patahan dari zona patahan lama bawah laut di dasar Cekungan Wharton sesuai dengan lokasi terjadinya gempa tersebut (Hill *et al.*, 2015; Natawidjaja, 2021).

Gempa bumi ini termasuk ke dalam gempa bumi *strike slip* (Yin and Yao, 2015) yang mana dalam rangkaian gempanya termasuk dalam kasus langka dari gempa *strike slip interplate* ke arah laut yang memicu gempa bumi *interplate* ke arah darat, dengan adanya hal tersebut menunjukkan adanya interaksi patahan yang jauh di wilayah tersebut (Fan and Shearer, 2016). Dengan adanya interaksi patahan yang jauh pada wilayah tersebut dapat diasumsikan bahwa gempa 10 Januari 2012 disebabkan oleh reaktivasi sesar geser tua yang berada di sebelah barat Palung Sumatra di dasar Cekungan Wharton (Hill *et al.*, 2015; Fan and Shearer 2016; Natawidjaja, 2021), selain itu gelombang seismik pada lokasi patahan lama yang memiliki kekuatan yang besar juga berpotensi untuk mengaktifkan kembali sistem patahan yang telah lama tidak beraktivitas yang berada di dekat lokasi episenter gempa (Fan and Shearer, 2016). Sebelumnya telah dilakukan penelitian pada lokasi yang berdekatan dengan gempa bumi Sumatra 10 Januari 2012 Mw 7.2 yang mana menunjukkan bahwa Pada Cekungan Wharton terdapat anomali gravitasi yang menunjukkan bahwa batas lempeng Indo-Australia memotong Palung Sumatra, beberapa zona patahan direaktivasi karena adanya subduksi aktif di Palung Sumatra atau diremajakan dengan skala yang besar karena di sepanjang batas lempeng mengalami deformasi secara difusi dengan panjang beberapa ribu kilometer (Petroy and Wiens, 1989. De Plus *et al.*, 1998, Jacob *et al.*, 2014).

Berdasarkan jarak radiator frekuensi tinggi dari episenter gempa bumi yang menyebar selama ~40s dapat diketahui kecepatan *rupture* dengan menggunakan grafik regresi linear seperti Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Grafik regresi linear *Distance to Epicenter vs Time* menunjukkan hubungan jarak radiator frekuensi tinggi dari episenter terhadap waktu.

Pada peristiwa gempa bumi Sumatra 10 Januari 2012 dengan kekuatan Mw 7.2 durasi *rupture* diketahui selama ~40s (Fan and Shearer, 2016), dengan begitu dapat diketahui kecepatan *rupture* yang merambat secara bilateral ke arah barat laut dan tenggara dengan mengacu pada grafik regresi linear hubungan jarak radiator

frekuensi tinggi dari episenter terhadap durasi gempa bumi selama 40s seperti pada Gambar 6 diperoleh nilai gradien dari persamaan yang tertera pada Gambar 6 yang dihitung menggunakan persamaan 2 didapatkan hasil kecepatan *rupture* yakni sebesar 1.9 km/s. Kecepatan *rupture* dari gempa-gempa besar memiliki beberapa variasi diantaranya kecepatan *rupture* lambat yaitu sebesar 1.9 km/s, kecepatan *rupture* rata-rata sebesar 3.3 km/s, dan kecepatan *rupture supershear* sebesar 5 km/s (Meng *et al.*, 2011; Madlazim *et al.*, 2021), sementara gempa bumi Sumatra 10 Januari 2012 dengan kekuatan Mw 7.2 memiliki kecepatan *rupture* sebesar 1.9 km/s sehingga tergolong gempa bumi dengan kecepatan *rupture* yang lambat. Dengan begitu telah diketahui arah, durasi, dan kecepatan *rupture* dari gempa bumi Sumatra 10 Januari 2012 Mw 7.2 menggunakan metode MUSICBP yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi patahan, memprediksikan gempa bumi susulan yang mungkin terjadi pada wilayah tersebut dan dapat digunakan juga untuk mitigasi bencana gempa bumi agar dapat mengurangi kerusakan dan korban jiwa pada saat terjadi gempa bumi.

KESIMPULAN

Penelitian pencitraan *rupture* gempa bumi Sumatra 10 Januari 2012 Mw 7.2 menggunakan metode *Multiple Signal Classification Back Projection* (MUSICBP) diperoleh data berupa hasil *cross correlation* dari sinyal yang terekam oleh stasiun seismik pada AU array menjadi sinyal yang koheren dan sefase dalam rentang frekuensi 0.5-1.0 Hz, sinyal tersebut diolah menggunakan metode MUSICBP sehingga didapatkan hasil berupa pencitraan *rupture* dari gempa bumi Sumatra 10 Januari 2012 Mw 7.2 yang mana dapat diketahui arah *rupture* merambat secara unilateral ke arah barat laut searah dengan patahan pada zona patahan lama bawah laut di dasar Cekungan Wharton, *rupture* merambat selama ~40s dengan kecepatan *rupture* 1.9 km/s yang mana tergolong pada kecepatan *rupture* yang lambat untuk sebuah gempa bumi besar dengan kedalaman dangkal, dengan diketahuinya karakteristik *rupture* yang berada pada lokasi gempa tersebut dapat diperkirakan kemunculan gempa bumi lainnya pada area patahan tersebut karena pelepasan energi gempa bumi terfokus pada arah patahan *rupture* sehingga dapat bermanfaat untuk mengetahui kemungkinan gempa susulan yang mungkin akan terjadi di kemudian hari pada lokasi tersebut sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya patahan, memprediksikan gempa susulan yang mungkin terjadi pada wilayah tersebut sehingga dapat digunakan sebagai upaya mitigasi bencana gempa bumi yang mana dapat meminimalisir kerugian akibat kerusakan dan korban jiwa akibat bencana gempa bumi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada IRIS yang telah menyediakan wadah bagi kami untuk mengunduh data *event* gempa secara gratis pada laman https://ds.iris.edu/wilber3/find_event, kami juga turut mengucapkan terimakasih kepada Bao, H dan Meng, L yang telah memberi izin untuk menggunakan *Multiple Signal Classification back Projection* (MUSICBP) dalam penelitian ini, dan kami juga mengucapkan terimakasih kepada Muhammad Nurul Fahmi, M.Si yang telah membantu kelancaran tim penulis dalam menulis artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amini, S., Roberts, S., Raeesi, M., Shomali, Z. H., Lund, B., Zarifi, Z. 2018. Fault Slip and Identification of the Second Fault Plane in the Varzeghan Earthquake Doublet. *Journal of Seismology*, Vol. 22, pp. 815-831.
- 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, pp. 200-205.
- Bradley, K. E., Feng, L., Hill, E. M., Natawidjaja, D. H. and Sieh, K. 2017. Implications of the Diffuse Deformation of the Indian Ocean Lithosphere For Slip Partitioning of Oblique Plate Convergence in Sumatra. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol. 122, No. 1, pp. 572-591.
- Deplus, C., Diament, M., Hebert, H., Bertrand, G., Dominguez, S., Dubois, J., Malod, J., Patriat, P., Pontoise, B., Sibilla, J. 2015. Direct Evidence of Active Deformation in the Eastern Indian Oceanic Plate. *Geology*, Vol 26, pp 131-134.
- Fahmi, M. N., Madlazim, Sari, D. P. 2021. Identification of the Activated Fault Plane of the 16 June 2021 Earthquake (Mw=5.9) in the Banda Sea. *Advances in Engineering Research*, Vol. 209, pp. 574-579.
- Fan, W., Shearer, P. M. 2016. Fault Interactions and Triggering During the 10 January 2012 Mw 7.2 Sumatra Earthquake. *Geophysical Research Letters*, Vol 43, No. 5, pp. 1934-1942.
- Fan, W. and Shearer, P.M. 2018. Coherent Seismic Arrivals in the P Wave Coda of the 2012 Mw 7.2 Sumatra Earthquake: Water Reverberations or an Early Aftershock?. *Journal of Geoscience Research: Solid Earth*, Vol. 123, pp. 3147-3159.

- Gui, Z., Bai, Y., Wang, Z. and Li, T. 2019. Seismic *b*-value Anomalies in the Sumatran Region: Seismotectonic Implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 173, pp. 29-41.
- Hill, E. M., Yue, H., Barbot, S., Lay, T., Tapponnier, P., Hermawan, I., Hubbard, J., Banerjee, P., Feng, L., Natawidjaja, D., Sieh, K. 2015. The 2012 Mw 8.6 Wharton Basin Sequence: Acascade of Great Earthquakes Generated by Near-orthogonal, Young, Oceanic Mantle Faults. *Journal of Geoscience Research: Solid Earth*, Vol. 120, pp. 3723-3747.
- Hutchings, S. J. and Mooney, W. D. 2021. The Seismicity of Indonesia and Tectonic Implications. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Vol. 22, Issue 9, pp. 1-42.
- Irsyam, M. I., Widiyantoro, S., Natawidjaja, D. H., Meilano, I., Rudiyanto, A., Hidayati, S., Triyoso, W., Hanifa, N. R., Djarwadi, D., Faizal, L. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. pp. 1-376. Bandung: Penerbit Pusat Studi Gempa Nasional dan Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Kementerian PUPR.
- 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*, Vol. 435, pp. 933-936.
- Jacob, J., Dymant, J., Yatheesh, V. 2014. Revisiting the Structure, Age, and Evolution of the Wharton Basin to Better Understand Subduction Under Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol. 119, pp. 169-190.
- Jian, P., Hung, S., Meng, L., Sun, D. 2017. Rupture Characteristics of the 2016 Meinong Earthquake Revealed by the Back Projection and Directivity Analysis of Teleseismic Broadband Waveforms. *Geophysical Research Letters*, Vol. 44, pp. 3545-3553.
- Kiser, E., Ishii, M. 2017. Back-Projection Imaging of Earthquakes. *The Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 45, pp. 217-299.
- Madlazim, Fahmi, M. N., Realita, A., Sari, D. P. 2021. Rupture Imaging for the 30 October Tsunamigenic Earthquake in the Eastern Aegean Sea. *Journal of Tsunami Society International*, Vol. 40, No. 4.
- McCaffrey, R. 2009. The Tectonic Framework of the Sumatran Subduction Zone. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 37, pp. 345-366.
- Meng, L., Inbal, A., Ampuero, J. 2011. A Window Into the Complexity of the Dynamic Rupture of the 2011 Mw 9 Tohoku-Oki Earthquake. *Geophysical Research Letters*, Vol 38, L00G07.
- Mukti, M. M., Singh, S. C., Deighton, I., Hananto, N. D., Moeremans, R. and Permana, H. 2012. Structural Evolution of Backthrusting in the Mentawai Fault Zone, Offshore Sumatran Forearc. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Vol. 13, No. 12.
- Natawidjaja, D. H. 2021. *Riset Sesar Aktif Indonesia dan Peranannya dalam Mitigasi Bencana Gempa dan Tsunami*. Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Ilmu Kebumihan. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Petroy, D. E., Wiens, D. A. 1989. Historical Seismicity and Implications for Diffuse Plate Convergence in the Northeast Indian Ocean. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol 94, No. B9, pp. 12.301-12.319.
- Rafie, M. T., Sahara, D. P., Widiyantoro, S. and Nugraha, A. D. 2019. Impact on the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake to the Stress Heterogeneity and Seismicity Pattern in Northern Sumatra, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 318.
- Salman, R., Lindesey, E. O., Feng, L., Bradley, K., Wel, S., Wang, T., Daryono, M. R. and Hill, E. M. 2020. Structural Controls on Rupture Extent of Recent Sumatran Fault Zone Earthquakes, Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol. 125, No. 2.
- Sieh, K. and Natawidjaja, D. 2000. Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105, No. B12, pp. 28295-28326.
- Singh, S. C., Hananto, N. D., Chauhan, A. P. S., Permana, H., Denolle, M., Hendriyana, A. and Natawidjaja, D. 2010. Evidence of Active Backthrusting at the NE Margin of Mentawai Islands, SW Sumatra. *Geophysical Journal International*, Vol. 180, pp. 703-714.
- Wang, D., Mori, J. 2011. Rupture Process of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Mw 9.0) as Imaged with Back-Projection of Teleseismic P-Waves. *Earth, Planets, and Space*, Vol. 63, No. 17.

- Wang, D., Uchide, T., Mori, J. 2012. Supershear Rupture on Multiple Faults for the Mw 8.6 Off Northern Sumatra, Indonesia Earthquake of April 11, 2012. *Geophysical Research Letters*, Vol. 39, Issue 21.
- Wei, S., Helmberger, D., Avouac. 2013. Modeling the 2012 Wharton Basin Earthquakes Off-Sumatra: Complete Lithospheric Failure. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol 118, pp. 3592-3609.
- Weller, O., Lange, D., Tilmann, F., Natawidjaja, D., Rietbrock, A., Collings, R. and Gregory, L. 2012. The Structure of the Sumatran Fault Revealed by Local Seismicity. *Geophysical Research Letters*, Vol. 39, L01306.
- Yin, J., Yao, H. 2016. Rupture and Frequency-Dependent Seismic Radiation of the 2012 Mw 8.6 Sumatra Strike-Slip Earthquake. *Geophysical Journal International*, Vol. 205, pp. 1682-1693.
- Zeng, H., Wei, S., Wu, W. 2020. Sources of Uncertainties and Artefacts in Back-Projection Results. *Geophysical Journal International*, Vol. 220, pp. 876-891.

