

Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 14 Nomor 3 Tahun 2025, hal 412-420

PENCITRAAN RUPTURE GEMPABUMI BANGGAI SULAWESI TENGAH 12 APRIL 2019 MW 6.8 MENGGUNAKAN METODE MULTIPLE SIGNAL CLASSIFICATION BACK-PROJECTION

¹⁾Rahma Dian Wulan Dari, ²⁾Madlazim, ³⁾Muhammad Nurul Fahmi

¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: rahma.18030@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: madlazim@unesa.ac.id

³⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: muhammadfahmi@unesa.ac.id

Abstrak

Sulawesi Tengah merupakan daerah dengan tingkat seismisitas yang tinggi. Gempa bumi berkekuatan besar sering terjadi baik di daratan atau di lautan. Pada tanggal 12 April 2019 telah terjadi gempa bumi berkekuatan Mw 6,8 mengguncang Banggai Sulawesi Tengah. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menganalisis karakteristik rupture gempa Banggai menggunakan metode Multiple Signal Classification Back Projection. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang didapatkan dari IRIS WILBER 3 berupa gelombang seismik dari stasiun array AU dengan jumlah 73 sinyal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan teknik pemrosesan array AU berformat .SAC dan data tersebut diolah menggunakan program MUSICBP. Hasil analisis citra rupture beresolusi tinggi mendeskripsikan rupture gempa merambat secara unilateral sepanjang ~40 km/s dari episenter, dengan kecepatan 1,6 km/s dan durasi sebesar 25 Sekon. Hasil dari pencitraan rupture menunjukkan gempa bumi yang terjadi di Banggai pada 12 April 2019 disebabkan oleh aktivitas sesar Peleng di Pulau Sulawesi Tengah dengan rupture merambat ke arah Timur Laut dengan mekanisme Strike-Slip. Hasil akurasi MUSICBP yang didapatkan untuk mengetahui karakteristik rupture cukup akurat, yaitu dengan memvalidasi melalui IRIS WILBER 3. Ada sedikit perbedaan arah dengan penelitian terdahulu, akan tetapi lokasi penyebabnya menuju sesar yang sama, yaitu sesar Peleng.

Kata Kunci : Gempa Banggai 2019, Music Back-Projection, Karakteristik Rupture

Abstract

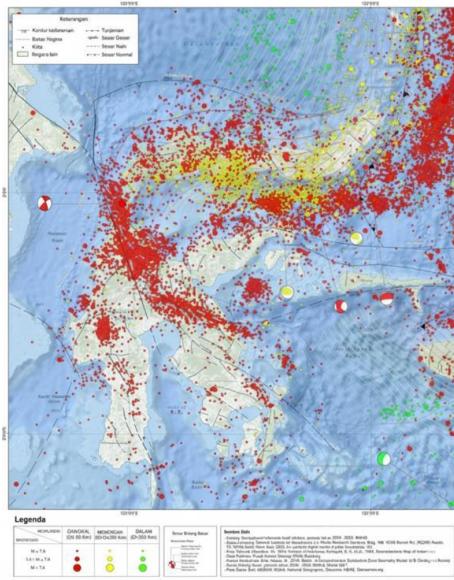
Central Sulawesi is a region with a high level of seismicity. Large-magnitude earthquakes frequently occur both on land and at sea. On April 12, 2019, an earthquake with a magnitude of Mw 6.8 struck Banggai, Central Sulawesi. This study aims to analyze the rupture characteristics of the Banggai earthquake using the Multiple Signal Classification Back Projection (MUSICBP) method. The data used in this study are secondary data obtained from IRIS WILBER 3, consisting of seismic waveforms recorded by the AU array station, totaling 73 signals. The method employed in this research involved processing the AU array data in .SAC format, which were analyzed using the MUSICBP program. The results of the high-resolution rupture imaging describe that the rupture propagated unilaterally along approximately 40 km from the epicenter, at a speed of 1.6 km/s, with a duration of about 25 seconds. The rupture imaging results indicate that the earthquake that occurred in Banggai on April 12, 2019, was caused by the activity of the Peleng Fault in Central Sulawesi, with the rupture propagating toward the northeast and exhibiting a strike-slip mechanism. The MUSICBP analysis result were obtained to understand the characteristics of the fracture, specifically through validation using IRIS Wilber 3. There were slight differences between the direction and previous studies, but the location of the cause was the same, Fault Peleng.

Keywords: Banggai Earthquake 2019, MUSIC Back Projection, Rupture Characteristics

I. PENDAHULUAN

Indonesia berada pada titik pertemuan tiga lempeng tektonik utama di dunia, yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Indo-Australia (Sipayung & Susanto, 2020; Wijaya et al. 2018). Indonesia mengalami aktivitas seismik yang tinggi akibat konvergensi lempeng tektonik tersebut (Rahmawati et al. 2022; Syafitri et al. 2020). Pulau Sulawesi merupakan salah satu wilayah dengan aktivitas seismik yang sangat tinggi, yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik utama yang mengelilingi pulau tersebut (Harna et al. 2019). Gempa bumi ditandai dengan pecahnya lapisan batuan di kerak bumi dan getaran bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi. Penduduk dan infrastruktur di sekitarnya mempunyai risiko akibat dampak destruktif gempa bumi ini, yang dapat mencakup longsor dan tsunami. Oleh karena itu, sangat penting untuk memahami dinamika tektonik di wilayah ini guna meningkatkan kesiapsiagaan dan strategi tanggap darurat terhadap bencana (Kurniawan et al. 2020). Gempa bumi berdasarkan waktu terjadinya dibedakan menjadi tiga yaitu gempa awal (foreshock), gempa utama (mainshock), dan gempa susulan (aftershock) (Beroza & Zoback, 1993).

Berdasarkan peta seismisitas **Gambar 1**, tampak aktivitas kegempaan cukup tinggi salah satunya di daerah Banggai, hal ini disebabkan karena lokasinya yang berada pada zona sesar aktif baik di daratan dan di lautan (Sadly et al.). Setelah gempa Palu 2018, terjadi gempa dengan Mw 6.8 di wilayah Banggai, Sulawesi Tengah, pada tanggal 12 April 2019 merupakan peristiwa tektonik signifikan (Simanjuntak et al. 2021). Gempa ini terjadi di zona laut dangkal, berdasarkan peta seismisitas aktif yang menjadi penyebab utama gempa Banggai 12 April 2019 ini adanya pergeseran sesar aktif dengan mekanisme mendatar pada sistem tektonik Banggai (Harna et al. 2019). Peristiwa ini menunjukkan bahwa wilayah Banggai adalah wilayah dengan potensi seismik tinggi yang membutuhkan banyak penelitian ilmiah, terutama untuk memahami karakteristik *rupture*, seperti panjang, arah, durasi dan kecepatan serta sebagai upaya dalam mitigasi bencana gempa pada wilayah tersebut.



Gambar 1. Seismisitas wilayah Sulawesi berdasarkan katalog gempa menunjukkan gempa bumi dengan Mw

Salah satu metode untuk mengetahui karakteristik *rupture* yang efektif untuk pencitraan aspek tersebut adalah metode *Multiple Signal Classification Back-Projection* (Meng et al. 2016; Bao et al. 2019). Metode *Back Projection* Metode yang digunakan dengan memanfaatkan koherensi gelombang *P* dalam data teleseismik dengan pemrosesan array yaitu dengan membalik rekam jejak rambatan gelombang gempa yang biasa dikenal dengan metode *back-projection* (Fahmi et al. 2022; Kiser & Ishii, 2017; Meng et al. 2016). Dengan menggunakan metode ini, karakteristik *rupture* seperti panjang, arah, durasi, dan kecepatan dapat

diidentifikasi secara lebih akurat, dan dapat digunakan sebagai dasar untuk mengetahui potensi bahaya gempa yang akan datang serta dapat digunakan untuk menyebarkan peringatan dini tsunami dalam waktu yang singkat setelah gempa terjadi (Madlazim, 2011).

Wilayah Sulawesi pernah terjadi beberapa gempa besar di bagian barat lengan Sulawesi Utara pada tahun 1997 Mw 7.9, gempa pada wilayah Banggai tahun 2000 Mw 7.6, gempa Palu pada tahun 2018 Mw 7.4 dan masih banyak gempa berskala besar yang terjadi pada wilayah Sulawesi ini (Pasau & Tamuntuan, 2017). Penelitian-penelitian sebelumnya tentang gempa besar dengan menggunakan metode *back-projection* telah berhasil dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Meng *et al.* tahun 2010 pada gempa Haiti Mw 7,0, Bao *et al.* pada gempa Palu Mw 7,5 tahun 2018, Madlazim *et al.* tahun 2021 di Laut Aegean Timur Mw 7, Ambarsari & Deta, (2022) gempa Lombok Mw 6,9 tahun 2018, dan Kartika & Madlazim, (2022) gempa Sumatera Mw 7,2 tahun 2010. Penelitian yang berkaitan dengan gempa pada tanggal 12 April 2019 di Banggai Sulawesi Tengah pernah dilakukan oleh Harna *et al.* (2019) menganalisis seismisitas dan peluruhan gempa Banggai, Sipayung & Susanto, (2020) mengidentifikasi patahan dengan merelokasi gempa susulan di Banggai, dan Simanjuntak *et al.* (2021) Model Kecepatan 1-D dalam Sistem Tektonik Banggai. Berdasarkan penelitian sebelumnya, belum ada peneliti yang menganalisis karakteristik *rupture* menggunakan metode MUSICBP pada gempa Banggai, Sulawesi Tengah. Menurut Lingsen Meng *et al.* (2016), keunggulan MUSICBP ini adalah mampu menghasilkan citra *rupture* yang lebih jelas dibandingkan citra *rupture* yang diperoleh melalui teknik Beamforming. Data .SAC gempa yang diperlukan bisa diakses melalui website IRIS WILBER 3. Selain itu, di Indonesia metode MUSICBP belum banyak digunakan oleh lembaga seismologi .

Pada penelitian ini, metode *back projection* digunakan untuk memahami lebih lanjut mengenai karakteristik rambatan *rupture* gempa bumi di Banggai Sulawesi Tengah. Hasil data yang diperoleh dapat dimanfaatkan untuk memprediksi *aftershock* yang kemungkinan akan terjadi di dekat patahan dan juga memprediksi potensi terjadinya tsunami, yang selanjutnya dapat digunakan untuk mitigasi bencana agar mengurangi kerugian materi dan korban saat gempa bumi terjadi materi (Hidayat & Santoso, 1997; Qothrunnada *et al.* 2022). Oleh karena itu, dilakukan penelitian "Pencitraan Rupture Gempa Bumi Mw 6.8 Banggai Sulawesi Tengah Pada 12 April 2019 Menggunakan Metode Multiple Signal Classification Back Projection (MUSICBP)".

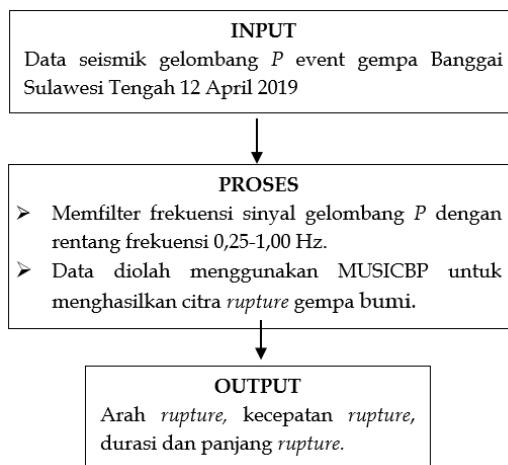
II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perambatan *rupture* gempa Banggai Sulawesi Tengah 12 April 2019. Fokus penelitian ini adalah Menentukan patahan, seperti panjangnya, kecepatan, arah, dan durasinya. Metode MUSICBP, yang didasarkan pada perekaman sinyal seismik yang diterima oleh jaringan stasiun seismik yang tersebar di area luas dan diukur dari pusat gempa, digunakan dalam penelitian ini. Situs web IRIS WILBER 3 dapat diakses melalui (https://ds.iris.edu/wilber3/find_event), yang menyediakan sinyal gelombang P berfrekuensi tinggi dari jaringan Australia, menyediakan data untuk penelitian ini. Metode MUSICBP beresolusi tinggi digunakan untuk menginterpretasikan data seismik ini dan menciptakan gambar yang presisi dari patahan gempa. Pemrosesan array menggunakan teknik yang lebih akurat daripada metode beamforming untuk menghasilkan gambar patahan seismik (Meng *et al.* 2016).

Semua parameter kinematik patahan disediakan melalui gambar patahan gempa bumi. **Gambar 2** di bawah ini menunjukkan alur penelitian. Metode ini membantu mengetahui patahan gempa bumi dan meningkatkan pemahaman kita tentang peristiwa seismik. Rancangan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.

Menurut (Meng *et al.* 2016) dalam pemetaan *rupture event* gempa bumi besar menggunakan pemrosesan *Array* lebih terukur dari pada menggunakan metode *Beamforming* karena hasil yang diperoleh dengan kualitas akurasi lebih tinggi.



Gambar 2. Rancangan penelitian pencitraan *rupture* gempa Banggai Sulawesi Tengah 12 April 2019.

B. Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga variabel operasional, yaitu variabel kontrol, variabel manipulasi dan variabel respon. Variabel kontrol adalah kasus gempa Banggai Sulawesi Tengah 12 April 2019 yang menjadi objek penelitian dan program MUSICBP dalam MATLAB. Variabel manipulasi adalah jaringan stasiun seismik Australia yang merekam sinyal gelombang *P* gempa Banggai Sulawesi Tengah 12 April 2019 dan filter frekuensi sinyal gelombang *P* dengan rentang 0,25-1,00 Hz (rentang frekuensi agar proses pemfilteran berlangsung optimal) melalui MUSICBP *processing* agar diperoleh sinyal seismik yang koheren (Fahmi *et al.* 2022). Variabel respons merupakan karakteristik arah *rupture*, kecepatan *rupture*, durasi dan panjang *rupture* pada event gempa Banggai Sulawesi Tengah 12 April 2019.

C. Teknik Pengumpulan Data

Sinyal gelombang *P* yang diambil dari IRIS WILER 3 merupakan data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini. Gempa yang terjadi di Banggai, Sulawesi Tengah pada 12 April 2019 tercatat oleh jaringan stasiun seismik yang tersebar di wilayah regional dan teleseismik, termasuk stasiun seismik AU. Rekaman sinyal gelombang *P* dapat diunduh melalui permintaan di IRIS Wilber 3 pada saluran vertikal saja (BHZ). Proses pengumpulan data ini melibatkan input seismogram dari stasiun seismik, diikuti dengan pemfilteran dengan frekuensi 0.25-1.00 Hz untuk menghilangkan noise atau gangguan. Selain itu, dilakukan pemfilteran untuk mendapatkan radiasi sinyal array yang sefasa dan koheren. (Fletcher *et al.* 2006).

D. Teknik Pengolahan Data

Dalam penelitian ini, data yang diolah melibatkan variabel-variabel yang telah ditentukan sebelumnya. Proses pengolahan data dilakukan menggunakan software MATLAB dengan program Multiple Signal Classification Back Projection (MUSICBP), yang bertujuan untuk menghasilkan informasi yang diperlukan dalam menganalisis karakteristik *rupture* gempa bumi Mw 6,8 yang terjadi di Banggai, Sulawesi Tengah pada tanggal 12 April 2019. Pengolahan data selanjutnya dilakukan dengan memanfaatkan program MUSICBP berdasarkan data dalam format .SAC, melalui empat tahap yang berbeda.

Tahap pertama adalah memulai proses pengolahan data, diikuti oleh tahap kedua yang mencakup input data .SAC. Pada tahap ini, sinyal yang terekam di stasiun seismik dibaca dalam bentuk seismogram. Tahap ketiga melibatkan pemfilteran sinyal dengan rentang frekuensi antara 0,25 hingga 1,00 Hz, untuk memastikan sinyal yang dihasilkan sefasa dan koheren. Tahap terakhir adalah pemrosesan menggunakan MUSICBP, yang menghasilkan output berupa grafik ringkas, jarak ke mainshock, power vs time, dan jarak sepanjang arah N-S.

Kecepatan *rupture* dihitung menggunakan metode kuadrat terkecil melalui regresi linier, yang diambil dari grafik plot jarak vs waktu dengan bantuan Microsoft Excel. Penelitian ini menetapkan batas nilai dengan

tingkat efektivitas sebesar 90%. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kecepatan rupture gempa dapat dilihat pada Persamaan (1).

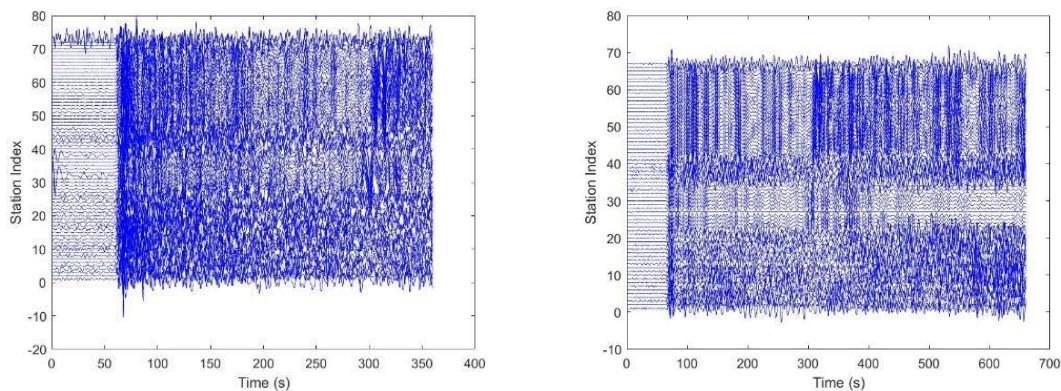
$$y = mx + \Delta t \quad (1)$$

Keterangan pada Persamaan (1) yaitu y merupakan waktu, x adalah jarak antara radiator dan pusat gempa, m adalah nilai kecepatan dardien atau grafik dan Δt adalah konstanta offset. Kemudian lokasi gempa susulan dan pusat gempa di petakan dan dihasilkan oleh perangkat lunak MATLAB menggunakan *Python Generic Mapping Tools* (PYGMT).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Hasil dari penelitian gempabumi Banggai 12 April 2019 Mw 6.8 direkam dengan menggunakan stasiun *Array Australia* (AU) sebanyak 73 stasiun. Fokus penelitian ini adalah pencitraan *rupture* gempabumi Banggai 12 April 2019 Mw 6.8 menggunakan metode MUSICBP. Hasil rekaman gelombang seismik P diolah dengan MUSICBP dalam MATLAB. Pada rekaman gelombang seismik P masih terdapat *noise* yang mengganggu proses pencitraan *rupture*. Untuk menghilangkan *noise* dilakukan proses *cross corelation* dengan rentang 0.25-1.00 Hz sehingga sinyal yang koheren didapatkan.



Gambar 4. Hasil seismogram gelombang seismik sebelum dan sesudah proses pemfilteran. Gambar (kanan) sesudah di filter, (kiri) sebelum di filter.

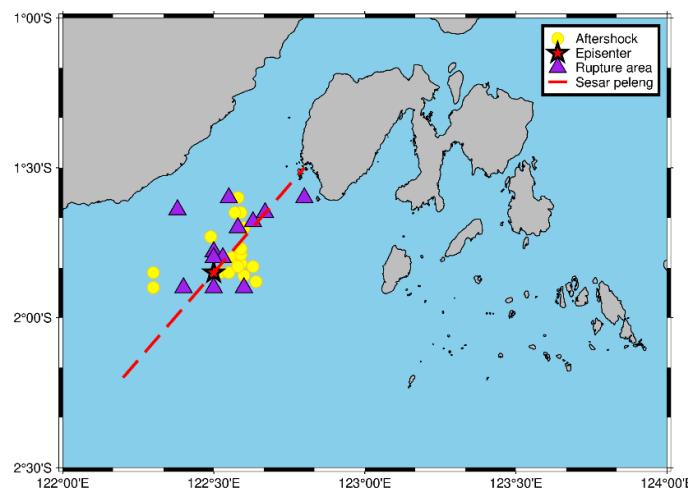
Pada **Gambar 4**, Data seismogram gempa yang berformat .SAC diambil dari situs IRIS WILBER 3 dan direkam oleh stasiun array di Australia. Sebelum proses pemfilteran, terdapat 73 stasiun yang merekam data, namun dengan tingkat noise yang cukup tinggi. Setelah melalui pemfilteran dengan rentang frekuensi 0,25-1,00 Hz, jumlah stasiun yang berkurang menjadi 68. Tujuan dari pemfilteran ini adalah untuk mendapatkan sinyal gelombang P yang koheren. Proses pemfilteran ini merupakan langkah awal dalam pengolahan sinyal menggunakan MUSICBP, karena pemfilteran berfungsi untuk mengolah sinyal yang belum koheren (Fahmi *et al.* 2022; Meng *et al.* 2016). Pemfilteran dilakukan dengan rentang frekuensi 0,25-1,00 Hz adalah yang paling ideal ketika melakukan pengolahan sinyal dan pencitraan *rupture* gempa besar (Meng *et al.* 2016). Gambar di atas menunjukkan bahwa sinyal seismik dari *array* yang telah difilter memperlihatkan citra gelombang P yang lebih halus, dengan fase awal yang seragam dan tingkat gangguan yang lebih rendah dibandingkan dengan citra gelombang P dari seismogram yang belum difilter.

B. Pembahasan

1. Karakteristik Citra *Rupture* Gempa Banggai 12 April 2019

Pada 12 April 2019 gempa bumi dengan Mw 6,8 terjadi pada wilayah Banggai Sulawesi Tengah. Dengan koordinat 122.5° BT dan -1.85° LS. Untuk mendapatkan arah *rupture* digunakan data gempa aftershock selama 2 minggu setelah dari gempa utama. Rentang waktu ini dipilih karena gempa susulan biasanya paling sering terjadi dan menuju ke zona patahan, serta untuk mengurangi kemungkinan terjadinya seismisitas tersebut (Shearer, 2009). Menggunakan pendekatan MUSICBP, data yang direkam oleh stasiun array seismik tertentu

dapat diproses untuk memperoleh karakteristik gempa bumi. Menggunakan sinyal yang diperoleh dari stasiun array seismik Australia dan digambarkan menggunakan perangkat lunak PYGMT, pendekatan MUSICBP digunakan untuk memperoleh data pemetaan patahan dari gempa bumi Banggai pada 12 April 2019, yang memiliki magnitudo 6,8, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar ini menampilkan gambar patahan dan gempa susulan yang dihasilkan oleh gempa bumi Banggai 2019. Segitiga berwarna menunjukkan arah patahan, lingkaran kuning menunjukkan gempa susulan, dan bintang merah menunjukkan pusat gempa. Arah penyebaran patahan mempengaruhi lokasi terjadinya gempa susulan (Madlazim, 2011). Gempa bumi besar ditandai oleh patahan yang melepaskan energi seismik dalam jumlah besar. Dengan menganalisis secara teliti panjang patahan, durasi, kecepatan propagasi, dan arahnya, dapat diketahui dampak gempa bumi tersebut (Bao *et al.* 2019; Fahmi *et al.* 2022; Kiser & Ishii, 2017; Meng *et al.* 2016). Gambar patahan seismik yang dihasilkan dengan bantuan MUSICBP dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik patahan pada kasus gempa bumi Banggai.



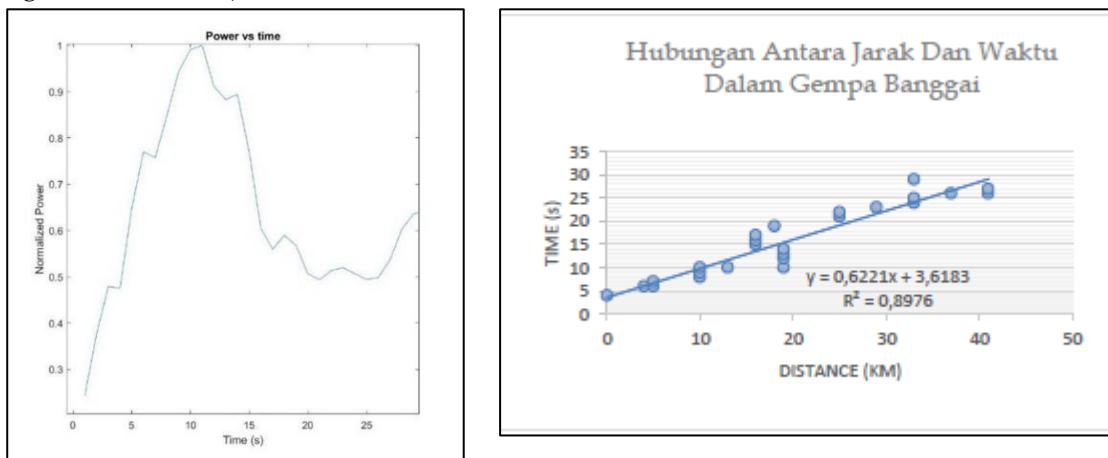
Gambar 5. Hasil Ploting PYGMT Pencitraan *rupture* Gempa bumi Banggai Sulawesi Tengah 12 April 2019 Mw 6.8 dengan array AU dari pemetaan MUSICBP. Bintang merah menunjukkan epicenter gempa, bulat kuning adalah lokasi gempa susulan (aftershock) dan segitiga ungu menunjukkan hasil arah.

Metode ini menghasilkan citra yang kompleks dari sumber gempa bumi, karena sifat spasial dan temporal patahan yang luas, dengan tetap mempertahankan resolusi dan presisi yang tinggi. Data yang dibutuhkan adalah data gelombang P dari stasiun *array* Australia yang telah difilter dan diselaraskan bersifat koheren untuk mengurangi noise dan ketidakpastian hasil pencitraan (Bao *et al.* 2019; Fahmi *et al.* 2022; Meng *et al.* 2016). Gambar.3 dari hasil pencitraan, telah diperoleh panjang dan arah *rupture* untuk gempa bumi berkekuatan Mw 6,8 menghasilkan data berkualitas tinggi dan presisi, memungkinkan analisis mendalam terhadap karakteristik patahan. Berdasarkan data *aftershock* arah patahan yang didapatkan dominan menuju ke timur laut. Selain bersumber dari data *aftershock* hasil pencitraan arah patahan ini diperkuat oleh penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Sipayung & Susanto, (2020) mengidentifikasi sumber patahan gempa yang disebabkan oleh sesar Peleng dan arah patahannya menuju ke Timur Laut, diitnjau dari jenis penyesaran, gempabumi susulan serta perpanjangan garis patahan menuju mainshock, maka Sesar Peleng dapat diasosiasikan sebagai sumber patahan penyebab gempabumi Banggai. Menurut (Sipayung & Susanto, 2020) Ada tiga faktor yang mendukung bahwa Sesar Peleng adalah sumber patahan gempa bumi di Banggai. Pertama, Sesar Peleng merupakan jenis sesar geser, dan kedua, gempa bumi di Banggai menunjukkan mekanisme geser. Selain itu, pola gempa bumi susulan yang telah direlokasi hampir sejajar dengan mekanisme strike-slip dari Sesar Peleng (Harna *et al.* 2019; Sipayung & Susanto, 2020). Jika patahan tersebut diperpanjang ke arah laut dan teluk Tolo, gempa besar akan terjadi bersamaan dengan sesar Peleng (Simanjuntak *et al.* 2021; Sipayung & Susanto, 2020). Untuk mengetahui keakuratan metode MUSICBP dalam mencitrakan *rupture* dilakukan proses validasi dari IRIS WILBER 3 (https://ds.iris.edu/wilber3/find_event). Validasi keakuratan MUSICBP yang didapatkan ada sedikit perbedaan arah dengan penelitian terdahulu,

dikarenakan jumlah gempa susulan yang tertangkap lebih sedikit dari data yang digunakan. Akan tetapi untuk sumber gempa, terjadi di sesar yang sama yaitu sesar Peleng.

2. Nilai Durasi Dan Kecepatan Rupture Dari Gempa Banggai 2019

Hasil dari pengolahan data dalam percobaan ini menunjukkan data jarak ke episentrum mainshock yang dikorelasikan dengan nilai power terhadap waktu. Ketika disajikan dalam bentuk grafik, diperoleh hubungan antara jarak (s) dalam satuan kilometer dan waktu (t) dalam satuan detik. Pada **event** gempa bumi Banggai 12 April 2019 menghasilkan data nilai durasi dan kecepatan *rupture*. Pada **Gambar 6** menampilkan grafik nilai durasi dari awal pelepasan energi hingga puncak amplitudo gempa bumi. Kekuatan amplitudo berada pada puncak yaitu 10 sekon kemudian menurun hingga normal. Berdasarkan hasil analisis tersebut, perubahan amplitudo menunjukkan variasi kekuatan yang dihasilkan oleh gempa Banggai ini berlangsung di bawah permukaan laut, maka diperlukan estimasi durasi untuk memahami kemungkinan terjadinya tsunami (Sipayung & Susanto, 2020).



Gambar 6. Grafik Durasi vs Amplitudo **Gambar 7.** Grafik regresi linear hubungan nilai jarak dengan waktu pada gempa Banggai 12 April 2019 Mw 6.8

Berdasarkan peristiwa gempa Banggai 12 April 2019 Mw 6.8 pada **Gambar 7** diketahui hubungan antara jarak dan waktu terjadinya gempa Banggai yang ditunjukkan dengan persamaan (3.1) diperoleh $R^2 = 0,8976$.

$$y = 0,6221x + 3,6183 \quad (1)$$

Pada persamaan (3.1) menunjukkan bahwa karakteristik *rupture* dari **event** gempa Banggai 2019 memiliki kecepatan sebesar 1,6 km/s sepanjang ~40 km dengan durasi 25 s. Menurut Meng *et al.* (2011) kecepatan gempa ini dapat dikategorikan sebagai lambat, dan gempa ini tergolong sebagai gempa dangkal dengan magnitudo yang signifikan. Kecepatan sebesar 1,6 km/s ini mencerminkan seberapa cepat gelombang seismik bergerak di area yang diteliti, dan kecepatan ini sebanding dengan kecepatan gelombang S yang terdapat di lapisan atas kerak bumi, atau juga dapat diartikan sebagai kecepatan gelombang permukaan (Daud *et. al.* 2021). Hal ini dapat mengindikasikan bahwa gelombang yang dominan diukur adalah gelombang S, atau model kecepatan lokal di wilayah Banggai sangat lambat, atau mungkin juga ada penafsiran waktu tiba gelombang yang memerlukan penelitian lebih lanjut (Simanjuntak *et al.* 2021). Dari hasil plotting area radiator *rupture* gempa, arah *rupture* yang diperoleh berdekatan dengan titik lokasi aftershock sepanjang 40 km. Apabila gempa dengan magnitudo besar dan durasi patahan < 50 sekon maka tidak berpotensi terjadinya tsunami (Madlazim, 2011). Karakteristik yang diperoleh meminimalkan potensi tsunami karena durasi singkat dan kecepatan rendah. Namun gempa Banggai 2019 ini merupakan peristiwa gempa dengan sesar geser, Sesar Peleng yang paling aktif di bawah laut sehingga analisis risiko harus diperluas. Mekanisme sesar geser di perairan dangkal sangat berpotensi memicu tsunami yang berasal dari longsoran sedimen bawah laut (Harna *et al.* 2019; Rahmawati *et al.* 2022; Sipayung & Susanto, 2020). Berdasarkan penelitian ini, agar ada rekomendasi kebijakan penggunaan peta perambatan *rupture* sebagai panduan yang bertujuan untuk

memetakan zona-zona lereng yang berpotensi longsor di sepanjang proyeksi patahan. Selain itu melalui BPBD harus memanfaatkan hasil akurat MUSIC-BP ini untuk memvalidasi sumber Tsunami pada sistem peringatan dini, serta memastikan bahwa Peta Risiko Bencana di wilayah pesisir Banggai mencerminkan data kinetika *rupture* terbaru. Informasi ini dapat dimanfaatkan untuk upaya mitigasi bencana, sehingga dapat meminimalkan kerugian material dan mengurangi jumlah korban jiwa saat bencana terjadi.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Hasil penelitian menggunakan metode MUSICBP penelitian ini menganalisis karakteristik patahan gempa Banggai pada 12 April 2019 dengan magnitudo 6,8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa patahan tersebut menyebar secara unilateral ke arah timur laut sejauh sekitar 40 kilometer dengan kecepatan lambat 1,6 km/s, membutuhkan waktu 25 detik untuk menyebar. Kecepatan ini diperoleh melalui analisis grafik menggunakan pengukuran offset. Gempa bumi ini disebabkan horizontal (strike-slip) dari patahan Peleng. Hasil estimasi panjang dan kecepatan ruptur bukan nilai absolut melainkan berdasarkan data yang terfilter dan model kecepatan yang diasumsikan. Keakuratan metode MUSICBP dalam penelitian ini semakin diperkuat dengan hasil yang diperoleh. Arah *rupture* yang terlihat dari hasil pemetaan menunjukkan kesamaan dengan orientasi Sesar Peleng dan pola sesar lain di kawasan Banggai. Hal ini memberikan keyakinan lebih bahwa metode MUSICBP mampu mencitrakan *rupture* secara tepat, terutama untuk gempa dengan sumber yang kompleks seperti gempa Banggai tahun 2019. Dengan menggunakan metode MUSICBP penelitian ini memperoleh hasil (arah, durasi, panjang, dan kecepatan) *rupture* pada gempa Banggai Sulawesi Tengah 12 April 2019 Mw 6.8.

B. Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan stasiun *array* dan lokasi yang berbeda, dan agar dikaji lebih dalam mengenai gempa dangkal bermagnitudo tinggi dengan metode MUSICBP. Dan menggunakan rentang frekuensi yang berbeda, serta diperluas distribusi stasiun seismik dan diperhatikan kualitas data gelombang P, agar resolusi pencitraan *rupture* dapat lebih baik dan detail. Hasil pencitraan *rupture* ini dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam upaya mitigasi bencana di wilayah Banggai dan sekitarnya

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarsari, R., & Deta, U. A. (2022). *Pencitraan Rupture Gempabumi Di Lombok Timur M W 6 , 9 Pada 19 Agustus 2018 Dengan Metode Back Projection*. 11.
- Bao, H., & Huang, H. (2019). Early and persistent supershear rupture of the 2018 magnitude 7.5 Palu earthquake. *Nature Geoscience*, 12(3), 200–205.
- Beroza, G. C., & Zoback, M. D. (1993). Mechanism diversity of the Loma Prieta aftershocks and the mechanics of mainshock-aftershock interaction. *Science*, 259(5092), 210–213.
- Daud, A. G., Piter, & Adrianus. (2021). Interpretasi Kecepatan Gelombang Geser (Vs) pada Lapisan Bawah Permukaan Daerah "X" dengan Metode Seismik MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave). *Geosains Kutai Basin, Geofisika Fmipa Unmul*, 4(1), 1–6.
- Fahmi, M. N., Realita, A., Risanti, H., Prastowo, T., & Madlazim. (2022). Back-projection results for the Mw7.5, 28 September 2018 Palu earthquake-tsunami. *Journal of Physics: Conference Series*, 2377(1).
- Fahmi, (2022). Science of tsunami hazards. *The International Journal Og the Tsunami Society*, 27(2), 69–85.
- 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(4 B), 129–142.
- Harna, Arsyad, M., & Tiwow, V. A. (2019). *Analisis Seismisitas dan Peluruhan Gempa Bumi (Studi kasus Gempa Bumi Banggai 12 April 2019). April*, 44–47.
- Hidayat, N., & Santoso, E. W. (1997). Gempa Bumi Dan Mekanismenya. In *Alami: Jurnal Teknologi Reduksi Resiko Bencana* (Vol. 2, Issue 3, p. 50).

- Kartika, D., & Madlazim. (2022). Pencitraan Rupture Gempa Bumi Sumatra 10 Januari 2012 Mw 7.2 Menggunakan Metode Multiple Signal Classification Back Projection (MUSICBP). *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 11(3), 73–80.
- Kiser, E., & Ishii, M. (2017). Back-Projection Imaging of Earthquakes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 45, 271–299.
- Kurniawan, A., Satria, R. A., & Pratama, M. B. (2020). Analyzing Tsunami Hazard using Numerical Modelling: Study Case Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 982(1).
- Madlazim, M. (2011). Estimasi Durasi, Arah Dan Panjang Rupture Serta Lokasi-Lokasi Gempa Susulan Menggunakan Perhitungan Cepat. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 1(2), 8.
- 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. *Geophysical Research Letters*, 38(16), 1–6.
- 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. *Geophysical Research Letters*, 43(2), 628–636.
- Pasau, G., & Tamuntuan, G. H. (2017). jm_jmuo,+31-35_Guntur+Pasau. *Jurnal Mipa Unsrat Online*, 6(1), 31–35.
- Qothrunnada *et al.* (2022). Menganalisis bencana alam gempa bumi dalam perspektif Al-Quran. *Jurnal Konferensi Integrasi Interkoneksi Islam Dan Sains*, 4, 257–260.
- Rahmawati *et al.* (2022). Analisis Seismisitas Gempabumi Sedang Di Wilayah Sulawesi Pada Bulan Februari 2022 Menggunakan Analisa Seiscomp3. *Jurnal Sains Fisika*, 2, 8–21.
- Ramadhan, (2022). Pencitraan Rupture Gempabumi Sumatera Barat 2 Maret 2016, Mw 7,9 Menggunakan Metode Musicbp. *Inovasi Fisika Indonesia*, 11(1), 28–34.
- Sadly, *et al.* *Katalog Gempabumi Indonesia: Relokasi Hipoenter Dan Implikasi Tektonik Sub Komite Katalog Gempabumi*.
- Simanjuntak, *et al.* (2021). A Preliminary Study for Initial 1-D Velocity Model in the Banggai's Tectonic System. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Sipayung, R., & Susanto, E. (2020). *Identifikasi Sumber Patahan Gempabumi Banggai 12 April 2019 Mw 6 , 9 Menggunakan Data Gempabumi Susulan*. 2, 104–107.
- Syafitri, Y., Bahtiar, B., & Didik, L. A. (2020). Analisis Pergeseran Lempeng Bumi Yang Meningkatkan Potensi Terjadinya Gempa Bumi Di Pulau Lombok. *Konstan - Jurnal Fisika Dan Pendidikan Fisika*, 4(2), 139–146.
- Wijaya, A., (2018). *Analisis Durasi Rupture , Rasio Energi dengan Momen Seismik , dan Parameter Sumber Gempa Bumi sebagai Peringatan Dini Tsunami*. April, 14–15.