

**ANALISIS POLA SPASIO-TEMPORAL KEGEMPAAN DI SEGMENT
SESAR MENTAWAI-SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN
MODEL *EPIDEMIC TYPE AFTERSHOCK SEQUENCE***



**Oleh
IMROATUL LATHIFAH
NIM. 22337067**

**PROGRAM STUDI SARJANA STATISTIKA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2026**

**ANALISIS POLA SPASIO-TEMPORAL KEGEMPAAN DI SEGMENT
SESAR MENTAWAI-SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN
MODEL *EPIDEMIC TYPE AFTERSHOCK SEQUENCE***

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Statistika*



**Oleh
IMROATUL LATHIFAH
NIM. 22337067**

**PROGRAM STUDI SARJANA STATISTIKA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2026**

PERSETUJUAN SKRIPSI

ANALISIS POLA SPASIO-TEMPORAL KEGEMPAAN DI SEGMENT SESAR MENTAWAI-SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN MODEL *EPIDEMIC TYPE AFTERSHOCK SEQUENCE*

Nama : Imroatul Lathifah
NIM : 22337067
Program Studi : S1 Statistika
Jurusan : Statistika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Mengetahui:
Kepala Departemen Statistika



Dr. Yenni Kurniawati, S.Si., M.Si.
NIP. 198402232010122005

Padang, 12 Mei 2026
Disetujui Oleh:
Pembimbing



Fitri Mudia Sari, M.Si.
NIP. 198810262015042004

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Imroatul Lathifah
NIM : 22337067
Program Studi : S1 Statistika
Jurusan : Statistika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

ANALISIS POLA SPASIO-TEMPORAL KEGEMPAAN DI SEGMENT SESAR MENTAWAI-SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN MODEL *EPIDEMIC TYPE AFTERSHOCK SEQUENCE*

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Departemen Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 12 Mei 2026

Tim Penguji	Nama
Ketua	: Fitri Mudia Sari, M. Si.
Anggota	: Dra. Nonong Amalita, M. Si.
Anggota	: Tessy Octavia Mukhti, M.Stat.

Tanda Tangan



SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Imroatul Lathifah
NIM : 22337067
Program Studi : S1 Statistika
Departemen : Statistika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa, skripsi saya dengan judul **“Analisis Pola Spasio-Temporal Kegempaan di Segmen Sesar Mentawai-Sumatera Barat Menggunakan Model *Epidemic Type Aftershock Sequence*”** adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika yang berlaku dalam tradisi keilmuan. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di institusi UNP maupun di masyarakat dan negara.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, 12 Mei 2025

Diketahui oleh,
Kepala Departemen Statistika,



Dr. Yenni Kurniawati, S.Si., M.Si
NIP. 198402232010122005

Saya yang menyatakan,



Imroatul Lathifah
NIM. 22337067

Analisis Pola Spasio-Temporal Kegempaan di Segmen Sesar Mentawai-Sumatera Barat Menggunakan Model *Epidemic Type Aftershock Sequence*

Imroatul Lathifah

ABSTRAK

Segmen Sesar Mentawai merupakan bagian dari zona subduksi aktif di Sumatera Barat yang memiliki aktivitas kegempaan tinggi dan kompleks. Pemahaman terhadap keterkaitan kejadian gempa dalam ruang dan waktu penting untuk mengkaji karakteristik seismisitas di wilayah ini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola spasio-temporal kegempaan, mengestimasi parameter model ETAS, serta mengevaluasi kinerja model dalam merepresentasikan aktivitas seismik di Segmen Mentawai.

Penelitian ini menggunakan data sekunder gempa bumi periode Januari 2000 hingga Desember 2025 yang diperoleh dari *United States Geological Survey* (USGS). Data telah melalui permbersihan dan seleksi magnitudo minimum (M_c) sebesar 4,3 dengan kedalaman ≤ 70 km, mencakup waktu kejadian gempa bumi, titik lokasi gempa bumi (*Latitude* dan *Longitude*), dan magnitudo gempa. Analisis dilakukan menggunakan model ETAS untuk mengidentifikasi mekanisme pemicuan, klasterisasi, serta keterkaitan kejadian dalam ruang dan waktu. Evaluasi model dilakukan melalui *residual analysis*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara temporal gempa susulan cenderung muncul segera setelah gempa utama dan meluruh dengan cepat, sedangkan secara spasial aktivitas gempa terkonsentrasi di sekitar kejadian sebelumnya, terutama di wilayah Sipora hingga Pagai. Pemetaan intensitas juga memperlihatkan konsentrasi aktivitas yang stabil pada zona tertentu dalam ruang dan waktu. Model ETAS menghasilkan *branching ratio* sebesar 0,906 yang menunjukkan dominasi gempa terpicu dan kondisi sistem yang subkritis. Namun, hasil *residual analysis* menunjukkan bahwa model belum sepenuhnya memenuhi asumsi distribusi *Uniform* (0,1), sehingga masih terdapat kompleksitas proses seismik yang belum sepenuhnya terakomodasi. Secara keseluruhan, model ETAS mampu merepresentasikan dinamika kegempaan di Segmen Mentawai dengan baik, meskipun masih memiliki keterbatasan.

Kata kunci: Gempa Bumi, Segmen Mentawai, ETAS, spasio-temporal

Analysis of Spatio-Temporal Seismic Patterns in the Mentawai-West Sumatra Fault Segment Using an Epidemic-Type *Aftershock* Sequence Model

Imroatul Lathifah

ABSTRACT

The Mentawai Fault Segment is part of an active subduction zone in West Sumatra, characterized by complex and frequent seismic activity. Understanding spatio and temporal relationships among earthquakes is essential for characterizing seismicity in this region. This study aims to analyze spatio-temporal patterns, estimate parameters of the ETAS model, and evaluate its performance in representing seismic activity in the Mentawai Segment.

This study uses secondary earthquake data from January 2000 to December 2025 obtained from the USGS. Data were filtered for events with minimum magnitude (M_c) $\geq 4,3$ and depth ≤ 70 km, including origin time, epicenter coordinates (latitude and longitude), and magnitude. Analysis was conducted using the ETAS model to identify triggering mechanisms, clustering behavior, and spatio-temporal relationships among events. Model performance was assessed using residual analysis.

The research results indicate that, temporally, *aftershocks* tend to occur immediately after the mainshock and decay rapidly, while spatially, seismic activity is concentrated around previous events, particularly in the area from Sipora to Pagai. Intensity mapping also reveals stable concentrations of activity in specific zones over space and time. The ETAS model produced a branching ratio of 0,906, indicating the dominance of triggered earthquakes and a subcritical system condition. However, the results of the residual analysis show that the model does not fully satisfy the assumption of a uniform (0,1), suggesting that the complexity of seismic processes has not yet been fully accommodated. Overall, the ETAS model is capable of representing the seismic dynamics in the Mentawai Segment well, although it still has limitations.

Keywords: Earthquakes, Mentawai Segment, ETAS, spasio-temporal

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pola Spasio-Temporal Kegempaan di Segmen Sesar Mentawai-Sumatera Barat Menggunakan Model *Epidemic Type Aftershock Sequence*”. Shalawat serta salam yang senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia menuju kehidupan yang penuh dengan ilmu pengetahuan dan akhlak mulia.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat menuntaskan pendidikan pada Program Studi S1 Statistika, Departemen Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis memperoleh berbagai bentuk bantuan, bimbingan, dukungan, serta arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu Fitri Mudia Sari, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Dra. Nonong Amalita, M.Si dan Ibu Tessy Octavia Mukhti, M.Si, selaku Dosen Pembahas Skripsi yang telah memberikan saran dan masukan demi perbaikan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Yenni Kurniawati, M.Si., selaku Kepala Departemen Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
4. Bapak/Ibu Dosen, Staf Pengajar Departemen Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

5. Teristimewa kepada Kedua orang tua, Bapak Nofrianto dan Ibu Mirawati Syofhia, serta kakak penulis, Nisa Ulhusna dan kedua adik penulis, Ahmad Syukri Nofra dan Hayatul Naufalin, yang senantiasa memberikan doa, dukungan, perhatian, serta motivasi kepada penulis selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun sebagai bahan perbaikan untuk penyempurnaan di masa yang akan datang. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun bagi pembaca yang membutuhkan.

Padang,
Penulis

Imroatul Lathifah

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Batasan Masalah.....	6
C. Rumusan Masalah	6
D. Tujuan Penelitian.....	7
E. Manfaat Penelitian	8
BAB II KERANGKA TEORITIS.....	9
A. Gempa Bumi	9
B. Tatanan Tektonik dan Seismitas Segmen Sesar Mentawai	12
C. <i>Magnitude of Completeness</i> (Mc)	13
D. Model <i>Epidemic Type Aftershock Sequence</i> (ETAS) Spasio-Temporal	16
E. Estimasi Parameter ETAS Spasio-Temporal.....	20
F. <i>Branching Ratio</i>	26
G. Uji Kesesuaian Model (<i>Residual Analysis</i>).....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
A. Jenis Penelitian.....	29
B. Jenis dan Sumber Data Penelitian	29
C. Variabel Penelitian	29
D. Teknik Analisis Data	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
A. <i>Preprocessing Data</i>	35
B. Estimasi <i>Magnitude of Completeness</i> (Mc)	36
C. Deskripsi Data Penelitian.....	37
D. Aktivitas Gempa Bumi di Segmen Sesar Mentawai.....	37

E. Estimasi Parameter Model ETAS Spasio-Temporal	40
F. Proporsi Gempa Latar dan Terpicu	44
G. <i>Residual Analysis</i>	46
H. Pembahasan.....	48
BAB V PENUTUP	50
A. Kesimpulan	50
B. Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	57

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Variabel Penelitian	30
2. Struktur Data Penelitian	30
3. Statistik Deskriptif	37
4. Hasil Estimasi Parameter Model ETAS	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Penampang Struktur Tektonik Zona Subduksi di Bawah Pulau Sumatra	1
2. Peta sebaran aktivitas gempa dan zona <i>seismic gap</i> di wilayah Mentawai.....	2
3. Diagram Alir Penelitian.....	34
4. Grafik <i>Goodness-of-Fit Test</i> (GFT) Mc	36
5. Aktivitas Gempa Bumi di Segmen Sesar Mentawai Periode Januari 2000- Desember 2025	38
6. Hubungan Waktu terhadap (a) <i>Longitude</i> (b) <i>Latitude</i> Kejadian Gempa Bumi di Segmen Sesar Mentawai	39
7. Hubungan Waktu terhadap Magnitudo	40
8. Peta Distribusi Intensitas Kegempaan di Segmen Mentawai (a) Laju Seismisitas Gempa Latar, (b) Laju Seismisitas Total, (c) Koefisien Klasterisasi, dan (d) Fungsi Intensitas Bersyarat pada Akhir Periode Pengamatan	43
9. Distribusi spasial gempa latar dan terpicu di Segmen Sesar Mentawai.....	45
10. Plot transformasi waktu terhadap indeks kejadian.....	47
11. <i>Q-Q Plot</i> Residual U terhadap Distribusi <i>Uniform (0,1)</i>	47

DAFTAR LAMPIRAN

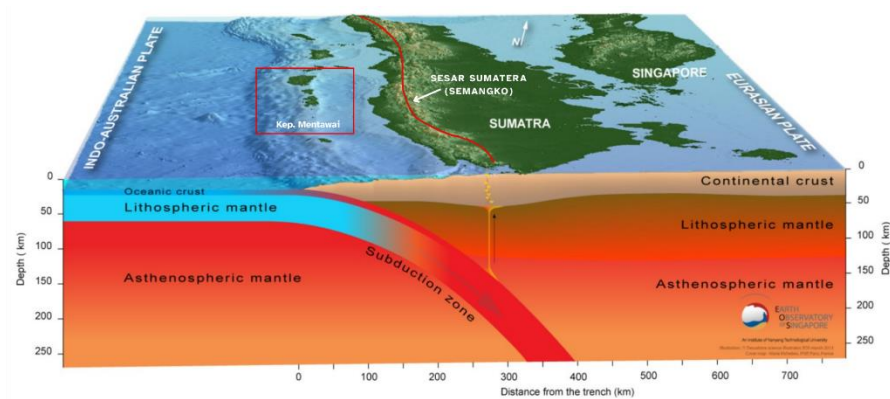
Lampiran	Halaman
1. Data Penelitian	57
2. <i>Syntax</i> model ETAS Spasio-Temporal di R	58
3. Output Estimasi model ETAS Spasio-Temporal di R	65

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas kegempaan tertinggi di dunia karena berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik, yang membentuk zona subduksi aktif dari Sumatra hingga Papua sehingga memicu tingginya frekuensi gempa bumi. Data BMKG mencatat sekitar 30.000 kejadian gempa setiap tahun yang didominasi oleh aktivitas di zona subduksi Sumatra dan wilayah timur Indonesia. Kondisi ini meningkatkan risiko bencana gempa bumi dan tsunami di Indonesia, sehingga diperlukan analisis kegempaan untuk memahami karakteristik seismisitas dan potensi bahayanya (BMKG, 2025). Salah satu wilayah yang sangat terdampak oleh kondisi tektonik tersebut adalah Provinsi Sumatera Barat yang dipengaruhi oleh beberapa struktur tektonik aktif (PUSGEN, 2017), sebagaimana ditunjukkan Gambar 1 yang memperlihatkan peta zona subduksi di Sumatra sebagai wilayah dengan aktivitas kegempaan tinggi.

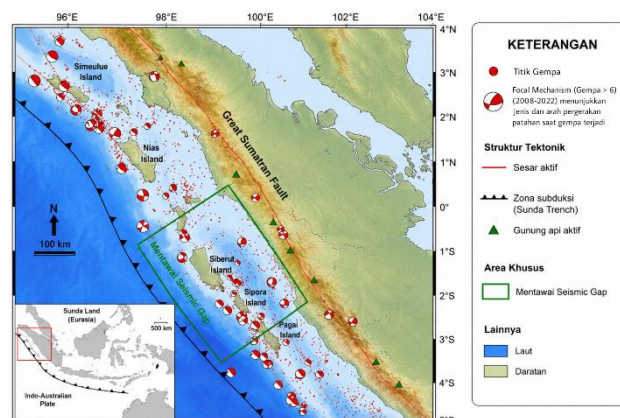


Sumber: *Earth Observatory of Singapore*

Gambar 1. Penampang Struktur Tektonik Zona Subduksi di Bawah Pulau Sumatra

Berdasarkan Gambar 1, wilayah Sumatera Barat berada pada sistem tektonik kompleks antara zona Sunda Megathrust di lepas pantai barat Sumatra, tempat

lempeng Indo-Australia menunjam ke bawah Eurasia, serta Sesar Sumatra (Semangko) yang memanjang di daratan Pulau Sumatra. Di kawasan *forearc* Kepulauan Mentawai juga terdapat Sesar Mentawai yang berkaitan dengan proses subduksi, dengan segmen Mentawai yang membentang di lepas pantai barat Sumatra dan sejajar dengan Kepulauan Mentawai, mulai dari wilayah Siberut, Sipora, hingga Pagai, sehingga wilayah ini rentan terhadap gempa bumi baik dari darat maupun laut. Hal ini tercermin dari aktivitas kegempaan yang tinggi, yakni ratusan hingga ribuan kejadian setiap tahun berdasarkan data BMKG, serta peristiwa besar seperti gempa Mentawai tahun 2010 bermagnitudo M_w 7,8 yang memicu tsunami 3 – 9 meter dan menyebabkan lebih dari 400 korban jiwa serta kerusakan luas di wilayah pesisir.



Sumber : (Heliani et al., 2025:2)

Gambar 2. Peta sebaran aktivitas gempa dan zona *seismic gap* di wilayah Mentawai

Gambar 2 menunjukkan adanya zona *seismic gap* di Segmen Mentawai yang masih menyimpan akumulasi energi tektonik akibat proses penguncian lempeng (*locking*) (Philibosian et al., 2014). BMKG (2022) menyebutkan bahwa Segmen Megathrust Mentawai-Siberut masih menyimpan akumulasi energi tektonik dan berpotensi memicu gempa besar hingga magnitudo maksimum M_w 8,9 pada masa

mendatang, sehingga menjadi ancaman serius bagi wilayah pesisir barat Sumatra, khususnya Kota Padang dan Kepulauan Mentawai.

Sebaran titik gempa pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa gempa kecil dan menengah cenderung muncul berkelompok pada zona tektonik aktif, sedangkan mekanisme fokal (*focal mechanism*) menunjukkan lokasi gempa besar dengan magnitudo lebih dari $M_w > 6$. Pola tersebut mengindikasikan bahwa aktivitas gempa di wilayah Mentawai tidak terjadi secara acak, melainkan saling berkaitan dalam ruang dan waktu sehingga membentuk klaster aktivitas seismik tertentu (Helmstetter & Sornette, 2002; Utsu et al., 1995). Pola tersebut umumnya lebih jelas terlihat pada gempa dangkal (kedalaman $\leq 70 \text{ km}$), karena sumber gempa berada lebih dekat ke permukaan sehingga energi guncangan yang dirasakan lebih kuat dibandingkan gempa dalam (Heuret et al., 2011; Pacheco et al., 1993). Dengan demikian, pola kejadian gempa yang tidak acak, penting untuk dipelajari agar kondisi kegempaan di wilayah Mentawai dapat dipahami dengan lebih baik.

Berbagai metode telah digunakan dalam analisis kegempaan, seperti hukum *Gutenberg-Richter* yang menggambarkan hubungan antara frekuensi kejadian dan magnitudo gempa, serta model *Poisson* yang mengasumsikan bahwa kejadian gempa bersifat acak dan saling independen (Maqnun et al., 2023; Marquez-Ramirez et al., 2015). Namun, pendekatan-pendekatan tersebut umumnya masih bersifat parsial karena belum mampu menjelaskan keterkaitan antar kejadian gempa secara menyeluruh. Salah satu metode lanjutan dalam analisis kegempaan yang mempertimbangkan keterkaitan antar kejadian adalah *Hawkes process*, yaitu model *self-exciting* yang memungkinkan suatu kejadian gempa meningkatkan peluang terjadinya gempa lain dalam ruang dan waktu tertentu. Meskipun mampu

menangkap fenomena klusterisasi, model ini masih bersifat umum dan belum secara khusus mengakomodasi karakteristik kegempaan seperti pengaruh magnitudo dan pola peluruhan *aftershock*, sehingga pengembangannya lebih lanjut diperlukan untuk merepresentasikan dinamika kegempaan secara lebih realistis (Zhuang, 2020).

Sejalan dengan hal tersebut, model *Epidemic Type Aftershock Sequence* (ETAS) menjadi pendekatan yang lebih unggul karena secara khusus dirancang untuk fenomena kegempaan dengan mengintegrasikan aspek ruang, waktu, dan magnitudo secara simultan. Dalam praktiknya, data katalog gempa pada awalnya hanya berupa kumpulan kejadian gempa tanpa pemisahan jenis kejadian. Melalui model ETAS, kejadian-kejadian tersebut dapat dipisahkan menjadi dua komponen utama, yaitu gempa latar (*background seismicity*) dan gempa terpicu (*triggered events*). Gempa latar merepresentasikan aktivitas dasar akibat proses tektonik, sedangkan gempa terpicu mencerminkan pengaruh antar kejadian, seperti gempa susulan setelah gempa utama. Selain itu, ETAS secara eksplisit memodelkan mekanisme pemicu (*self-exciting process*), peluruhan *aftershock* terhadap waktu, serta pengaruh magnitudo dalam memicu kejadian berikutnya. Dengan demikian, ETAS tidak hanya mampu menggambarkan pola klusterisasi, tetapi juga memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antar gempa dalam data yang awalnya tidak terpisah, sehingga lebih representatif dalam menjelaskan pola kegempaan yang kompleks dan tidak acak (Ogata, 1988, 1998; Zhuang et al., 2002).

Penelitian Fikra et al. (2024) menggunakan model ETAS spasio-temporal untuk menganalisis pola kejadian gempa di wilayah Sumatera Barat, yang berfokus pada

interaksi aktivitas kegempaan pada dua struktur tektonik utama, yaitu Sesar Sumatera (Semangko) di daratan dan zona subduksi Sunda Megathrust di lepas pantai barat Sumatera. Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya pola klasterisasi yang kuat dalam ruang dan waktu, sehingga kejadian gempa tidak bersifat acak dan cenderung saling berkaitan antar kejadian. Namun, pendekatan tersebut masih bersifat regional sehingga parameter model yang dihasilkan hanya menggambarkan kondisi kegempaan secara umum. Akibatnya, perbedaan karakteristik antar segmen sesar bisa kurang terlihat, seperti perbedaan tingkat pemicuan gempa, pola pengelompokan (*cluster*), dan interaksi antar kejadian. Hal ini membuat model kurang mampu menangkap kondisi spesifik di setiap segmen, sehingga hasil analisis menjadi kurang detail.

Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini berfokus pada skala Segmen khususnya pada Segmen Sesar Mentawai sehingga dapat menangkap karakteristik kegempaan yang lebih spesifik pada satu wilayah. Dengan cakupan yang lebih sempit, perbedaan pola klasterisasi dan interaksi antar gempa di dalam segmen dapat dianalisis dengan lebih rinci. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi tingkat pemicuan gempa melalui parameter *branching ratio*, yaitu nilai yang menunjukkan seberapa besar proporsi gempa yang dipicu oleh gempa sebelumnya dibandingkan dengan gempa yang terjadi secara alami. Semakin besar nilai *branching ratio*, semakin kuat pengaruh gempa sebelumnya dalam memicu gempa baru. Untuk memastikan kesesuaian model, penelitian ini juga menggunakan *residual analysis* sebagai metode untuk menilai kesesuaian model ETAS terhadap data gempa yang diamati.

Melalui model ETAS, kontribusi gempa latar dan terpicu dapat diestimasi secara kuantitatif serta menggambarkan pola klasterisasi gempa. Hasil ini diharapkan memberikan pemahaman lebih spesifik tentang pola kegempaan di Segmen Mentawai dan mendukung kajian risiko gempa di Sumatera Barat. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berjudul **“Analisis Pola Spasio-Temporal Kegempaan di Segmen Sesar Mentawai-Sumatera Barat menggunakan Model *Epidemic Type Aftershock Sequence*”**.

B. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diberikan, maka batasan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Wilayah penelitian dibatasi pada Segmen Sesar Mentawai dan sekitarnya dengan batas wilayah $98^{\circ} - 101^{\circ} BT$ dan $0,5^{\circ} - 4^{\circ} LS$, untuk memfokuskan analisis pada zona tektonik aktif pada skala segmen.
2. Katalog gempa diseleksi berdasarkan magnitudo kelengkapan (M_c) menggunakan metode *Goodness-of-Fit Test* (GFT) guna memastikan kelengkapan data dalam estimasi parameter model ETAS.
3. Kejadian gempa dibatasi pada kedalaman $\leq 70 \text{ km}$ karena gempa dangkal lebih merepresentasikan pola klasterisasi dan mekanisme *triggering* yang menjadi dasar dalam model ETAS.
4. Periode pengamatan dibatasi pada Januari 2000 hingga Desember 2025 untuk menjaga konsistensi data.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik pola spasio-temporal kegempaan di Segmen Sesar Mentawai yang mencerminkan keterkaitan antar kejadian gempa berdasarkan lokasi dan waktu?
2. Bagaimana hasil estimasi parameter model ETAS dalam menjelaskan pola kegempaan di Segmen Sesar Mentawai berdasarkan lokasi dan waktu kejadian, serta mekanisme pemicuan dan pengelompokan kejadian gempa?
3. Bagaimana kemampuan model ETAS dalam merepresentasikan pola kegempaan di wilayah penelitian berdasarkan evaluasi residual analysis, serta bagaimana hasil evaluasi tersebut digunakan untuk memahami karakteristik sistem kegempaan?

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis pola spasio-temporal kegempaan di Segmen Sesar Mentawai untuk mengidentifikasi keterkaitan antar kejadian gempa dalam ruang dan waktu, serta memahami pola penyebaran dan keteraturan kejadian gempa.
2. Mengestimasi parameter model ETAS untuk merepresentasikan keterkaitan antar kejadian gempa serta mekanisme pemicuan dan klusterisasi di wilayah penelitian.
3. Mengevaluasi kinerja model ETAS dalam merepresentasikan data kegempaan melalui *residual analysis*, serta menginterpretasikan hasil evaluasi tersebut dalam memahami karakteristik dan dinamika aktivitas seismik di wilayah penelitian.

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian seismologi statistik melalui penerapan model ETAS spasio-temporal pada skala segmen. Selain itu, penelitian ini menghasilkan informasi kuantitatif mengenai pola klasterisasi, mekanisme pemicuan, serta evaluasi terhadap kemampuan model dalam merepresentasikan kompleksitas data kegempaan di wilayah penelitian.
2. Bagi Instansi Terkait, khususnya Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), penelitian ini menyediakan informasi kuantitatif mengenai pola spasio-temporal kegempaan, termasuk zona aktivitas tinggi serta kontribusi gempa latar dan terpicu. Informasi ini dapat dimanfaatkan untuk analisis dinamika kegempaan, mitigasi risiko bencana, serta memahami keterbatasan model statistik dalam merepresentasikan fenomena seismik.
3. Bagi Pembaca dan Penelitian Selanjutnya, penelitian ini dapat dijadikan dasar pengembangan kajian kegempaan spasio-temporal berbasis model ETAS, khususnya dalam pengembangan pendekatan metodologis, pendalaman analisis karakteristik klasterisasi, serta perbandingan pola kegempaan antar segmen subduksi di Indonesia.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah disajikan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Karakteristik pola spasio-temporal kegempaan di Segmen Sesar Mentawai menunjukkan bahwa aktivitas kegempaan di Segmen Sesar Mentawai memiliki keterkaitan yang kuat antar kejadian dalam ruang dan waktu. Pola persebaran gempa tidak bersifat acak sepenuhnya, melainkan membentuk klaster aktivitas yang terkonsentrasi terutama pada wilayah Sipora hingga Pagai. Hal ini menunjukkan adanya keteraturan dalam dinamika aktivitas seismik di wilayah penelitian.
2. Hasil estimasi parameter model ETAS pada Segmen Mentawai menunjukkan bahwa secara temporal gempa susulan muncul segera setelah gempa utama dan kemudian meluruh cepat, sedangkan secara spasial aktivitas gempa terkonsentrasi di sekitar lokasi kejadian sebelumnya. Berdasarkan parameter tersebut diperoleh branching ratio sebesar 0,906 yang menunjukkan tingginya kontribusi gempa terpicu terhadap keseluruhan aktivitas seismik, didukung oleh probabilitas kejadian gempa terpicu sebesar 68,27%. Hasil ini mengindikasikan dominasi mekanisme gempa terpicu dalam sistem kegempaan. Namun demikian, karena nilai branching ratio $n < 1$, sistem tetap berada pada kondisi subkritis (*subcritical*), yang berarti aktivitas gempa tidak berkembang secara eksponensial meskipun keterkaitan antar kejadian tetap kuat.

3. Kemampuan model ETAS dalam merepresentasikan pola kegempaan di wilayah penelitian berdasarkan evaluasi *residual analysis* menunjukkan bahwa model telah mampu merepresentasikan pola utama keterkaitan antar kejadian gempa, khususnya dalam menggambarkan mekanisme klasterisasi dan pemicuan gempa. Namun, hasil residual yang belum sepenuhnya memenuhi asumsi teoritis mengindikasikan bahwa masih terdapat kompleksitas proses seismik yang belum terakomodasi secara optimal dalam model.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi pendukung dalam upaya mitigasi gempa, khususnya untuk meningkatkan kewaspadaan pada periode setelah gempa utama karena potensi gempa susulan masih tinggi.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan model ETAS non-stasioner (*non-stationary ETAS*) karena pendekatan ini lebih mampu merepresentasikan perubahan dinamika aktivitas seismik terhadap waktu, sehingga pola keterkaitan dan mekanisme pemicuan gempa di Segmen Mentawai dapat digambarkan dengan lebih baik.
3. Dari sisi data, penggunaan katalog gempa dengan resolusi waktu yang lebih tinggi dapat membantu meningkatkan akurasi analisis, terutama dalam mengidentifikasi hubungan antar kejadian gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Apostol, B. F. (2025). Background seismicity and seismic correlations. *Journal OfAppliedMath*, 3(1), 1592. <https://doi.org/10.59400/jam1592> Article
- Ardiansyah, S. (2014). Energi Potensial Gempabumi Di Kawasan Segmen Mentawai-Sumatera Barat (0.5° LS – 4.0° LS dan 100° BT – 104° BT). *Brawijaya Physics Student Journal*, 2(1), 1–9.
- BMKG. (2023). *Pengetahuan Gempa Bumi*. <https://bbmkg3.bmkg.go.id/tentang-gempa?>
- BMKG. (2025). *Satu Dekade SLG: BMKG Ajak Masyarakat Jadi Penjaga Sesama di Atas Lempeng yang Tak Diam*. <https://www.bmkg.go.id/berita/utama/satu-dekade-slg-bmkg-ajak-masyarakat-jadi-penjaga-sesama-di-atas-lempeng-yang-tak-diam>
- BMKG, B. M. K. dan G. (2022). *BMKG Dorong Kota Padang Wujudkan Tsunami Ready Community, Tingkatkan Kesiapsiagaan Gempa dan Tsunami*.
- Daley, D. ., & Vere-Jones, D. (2003). *An Introduction to the Theory of Point Processes: Vol. I* (2nd ed.). Berlin: Springer.
- Dari, R. W., & Pujiastuti, D. (2021). Studi Bahaya Seismik dengan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis di Kabupaten Mentawai. *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, 10(4), 532–539. <https://doi.org/https://doi.org/10.25077/jfu.10.4.532-539.2021>
- Fikra, H., Fitria, D., Amalita, N., & Mukhti, T. O. (2024). Spatio-Temporal Epidemic Type *Aftershock* Sequence Model for Mapping Earthquake Intensity in West Sumatra. *UNP Journal Of Statistics and Data Science*, 2(2), 219–225. <https://doi.org/https://doi.org/10.24036/ujsds/vol2-iss2/171>
- Heliani, L. S., Pratama, C., Wibowo, A., Sahara, D. P., Susilo, S., Wibowo, S. T., Safii, A. N., Prayoga, O., Sudrajat, A., Bisri, M. B. F., Kurniasari, E. D., Evelinda, S., & Gunawan, N. G. S. (2025). Geodesy and Geodynamics Strain accumulation in the Mentawai Forearc Sliver , Indonesia , inferred from

- continuous GNSS-derived strain rate. *Journal KeAi*, 16, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2024.04.003>
- Helmstetter, A., & Sornette, D. (2002). Subcritical and supercritical regimes in epidemic models of earthquake *aftershocks*. *Journal of Geophysical Research*, 107(B10, 2237), 1–21. <https://doi.org/10.1029/2001JB001580>
- Heuret, A., Lallemand, S., Funicello, F., Piromallo, C., & Faccenna, C. (2011). Physical characteristics of subduction interface type seismogenic zones revisited. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 12(1), 1–26. <https://doi.org/10.1029/2010GC003230>
- Jalilian, A. (2019). ETAS : An R Package for Fitting the Space-Time. *Journal of Statistical Software*, 88. <https://doi.org/10.18637/jss.v088.c01>
- Konca, A. O., Avouac, J., Sladen, A., Meltzner, A. J., Sieh, K., Fang, P., Li, Z., Galetzka, J., Genrich, J., Chlieh, M., Natawidjaja, D. H., Bock, Y., Fielding, E. J., Ji, C., & Helmberger, D. V. (2008). Partial rupture of a locked patch of the Sumatra megathrust during the 2007 earthquake sequence. *Nature*, 456, 631–635. <https://doi.org/10.1038/nature07572>
- Lay, T., Ammon, C. J., Kanamori, H., Yamazaki, Y., Cheung, K. F., & Hutko, A. R. (2011). The 25 October 2010 Mentawai tsunami earthquake ($M_w 7.8$) and the tsunami hazard presented by shallow megathrust ruptures. *Geophysical Research Letters*, 38(L06302), 1–5. <https://doi.org/10.1029/2010GL046552>
- Maqnun, N. F., Jaya, A. K., & Sunusi, N. (2023). Estimation of Earthquake Intensity Function as a Form of Nonhomogenic Poisson Process. *Journal of Statistics and Its Application*, 4(2), 185–195. <https://doi.org/https://doi.org/10.20956/ejsa.v4i2.18007>
- Marquez-Ramirez, V. H., Nava, F. A., & Zu, F. R. (2015). Correcting the Gutenberg – Richter b -value for effects of rounding and noise. *Earthq Sci*, 28(3918), 129–134. <https://doi.org/10.1007/s11589-015-0116-1>
- Mignan, A., & Woessner, J. (2012). Theme IV – Understanding Seismicity Catalogs and their Problems Estimating the magnitude of completeness for

- earthquake catalogs. *Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis*. <https://doi.org/10.5078/corssa-00180805>.
- Mizrahi, L., Nandan, S., & Wiemer, S. (2021). The Effect of Declustering on the Size Distribution of Mainshocks. *Seismol. Res. Lett*, 92, 2333–2342. <https://doi.org/10.1785/0220200231>
- Natawidjaja, D. H., Sieh, K., Chlieh, M., Galetzka, J., Suwargadi, B. W., Cheng, H., Edwards, R. L., Avouac, J., & Ward, S. N. (2006). Source parameters of the great Sumatran megathrust earthquakes of 1797 and 1833 inferred from coral microatolls. *Journal of Geophysical Research*, 111, 1–37. <https://doi.org/10.1029/2005JB004025>
- Nocedal, J., & Wright, S. J. (2006). *Numerical Optimization* (2nd ed.). USA: Springer.
- Ogata, Y. (1988). Statistical Models for Earthquake Occurrences and Residual Analysis for Point Processes. *Journal of the American Statistical Association*, 83(401), 9–27.
- Ogata, Y. (1998). Space-Time Point Process Models For Earthquake Occurences. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 50(2), 379–402.
- Pacheco, J. F., Sykes, L. R., & Scholz, C. H. (1993). Nature of Seismic Coupling Along Simple Plate Boundaries of the Subduction Type. *Journal of Geophysical Research*, 98(B8), 133–159.
- Philibosian, B., Sieh, K., Avouac, J., Natawidjaja, D. H., Chiang, H., Wu, C., Perfettini, H., Shen, C., Daryono, M. R., & Suwargadi, B. W. (2014). Rupture and variable coupling behavior of the Mentawai segment of the Sunda megathrust during the supercycle culmination of 1797 to 1833 Belle. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119, 7258–7287. <https://doi.org/10.1002/2014JB011200>. Received
- PUSGEN, P. S. G. N. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR).

- Schoenberg, F. P. (2011). Introduction to Point Processes. *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*. John Wiley & Sons., 1–5.
- Seif, S., Mignan, A., Zechar, J. D., Werner, M. J., & Wiemer, S. (2016). Estimating ETAS: The effects of truncation, missing data, and model assumptions Stefanie. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth RESEARCH*, 122, 449–469. <https://doi.org/10.1002/2016JB012809>
- Sieh, K., & Natawidjaja, D. (2000). Neotectonics of the Sumatran fault , Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, 105(B12), 28,295-28,326.
- Sunarjo, Gunawan, M. T., & Pribadi, S. (2010). *Gempabumi* (Populer). Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).
- USGS. (2024). *Moment magnitude, Richter scale - what are the different magnitude scales, and why are there so many?* <https://www.usgs.gov/faqs/moment-magnitude-richter-scale-what-are-different-magnitude-scales-and-why-are-there-so-many>
- USGS. (2025). *Earthquake Sequence Product*. <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/science/earthquake-sequence-product>
- Utsu, T., Ogata, Y., & Matsu'ura, R. S. (1995). The Centenary a Decay of the Omori Formula Activity for Law of *Aftershock*. *Journal Phys. Earth*, 43, 1–33.
- Wiemer, S., & Wyss, M. (2000). Minimum Magnitude of Completeness in Earthquake Catalogs : Examples from Alaska , the Western United States , and Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(4), 859–869.
- Wijaya, A. R. (2023). Model ETAS Spatio-Temporal pada Analisis Pemetaan Intensitas Kegempaan di Wilayah Sumatera. *Jambura Journal Of Mathematics*, 5(1), 179–188.
- Woessner, J., & Wiemer, S. (2005). Assessing the Quality of Earthquake Catalogues : Estimating the Magnitude of Completeness and Its Uncertainty. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(2), 684–698.

<https://doi.org/10.1785/0120040007>

Zhang, L., Werner, M. J., & Goda, K. (2020). Variability of ETAS Parameters in Global Subduction Zones and Applications to Mainshock – *Aftershock* Hazard Assessment. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, *XX*, 0–0.
<https://doi.org/10.1785/0120190121>

Zhou, Y., Zhou, S., & Zhuang, J. (2018). A test on methods for M C estimation based on earthquake catalog. *Earth and Planetary Physics*, *2*, 150–162.
<https://doi.org/10.26464/epp2018015>

Zhuang, J. (2011). Next-day earthquake forecasts for the Japan region generated by the ETAS model. *Earth, Planets Space*, *63*, 207–216.
<https://doi.org/10.5047/eps.2010.12.010>

Zhuang, J. (2020). Estimation, diagnostics, and extensions of nonparametric Hawkes processes with kernel functions. *Japanese Journal of Statistics and Data Science*, *3*(1), 391–412. <https://doi.org/10.1007/s42081-019-00060-0>

Zhuang, J., Ogata, Y., & Jones, D. V. (2002). Stochastic Declustering of Space-Time Earthquake Occurrences. *Journal of the American Statistical Association*, *97*(458), 369–380. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1198/016214502760046925>