

## PAPER NAME

**Draft Penelitian Model ETAS Spasial.doc**  
**X**

---

## WORD COUNT

**3180 Words**

## CHARACTER COUNT

**20260 Characters**

## PAGE COUNT

**10 Pages**

## FILE SIZE

**715.7KB**

## SUBMISSION DATE

**Dec 7, 2022 11:08 AM GMT+7**

## REPORT DATE

**Dec 7, 2022 11:09 AM GMT+7**

---

● **16% Overall Similarity**

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 13% Internet database
- 6% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database
- 7% Submitted Works database

● **Excluded from Similarity Report**

- Bibliographic material

# Model ETAS Spatio-Temporal pada Analisis Pemetaan Intensitas Kegempaan di Wilayah Sumatera

Andreas Rony Wijaya<sup>1\*</sup>

<sup>11</sup>Program Studi Sains Data, Fakultas Informatika, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Purwokerto 53147, Indonesia

\* Penulis Korespondensi. Email: [andreas@ittelkom-pwt.ac.id](mailto:andreas@ittelkom-pwt.ac.id)

## ABSTRAK

Aktivitas seismik yang tinggi membuat Indonesia harus melakukan mitigasi bencana alam guna meminimalisir dampak bencana tersebut. Salah satu upaya penanggulangan dapat dilakukan dengan mengetahui kemungkinan terjadinya gempa bumi di suatu area. Gempa bumi yang bersifat acak tentunya tidak dapat ditentukan secara pasti. Oleh karena itu dapat digunakan kajian dalam statistika seismologi. Salah satu kajian dalam statistika seismologi yang membahas mengenai kejadian gempa bumi adalah model *epidemic type after shock sequence* (ETAS). Model ini menjelaskan mengenai aktivitas kegempaan utama yang disertai dengan gempa bumi susulan. Model ETAS yang hanya mempertimbangkan parameter waktu dan magnitude kejadian, dikembangkan menjadi model ETAS spatio-temporal yang juga menjelaskan parameter spasial atau lokasi. Pada studi ini, model ETAS spatio-temporal digunakan pada aktivitas seismik di wilayah Sumatera pada tahun 2000-2022. Sumber data gempa bumi diperoleh di *United State Geological Survey* (USGS). Berdasarkan analisis data, model ETAS spatio-temporal yang dinyatakan dalam fungsi intensitas bersyarat menunjukkan bahwa gempa bumi yang terjadi di wilayah Sumatera yang mempunyai kekuatan magnitude yang besar cenderung menghasilkan fungsi intensitas bersyarat yang besar juga. Komponen spasial dari model ETAS spatio-temporal dapat dijelaskan melalui pemetaan dari *peak ground acceleration* (PGA). Hasil pemetaan PGA menunjukkan bahwa aktivitas seismic di wilayah Sumatera rentan terjadi di sepanjang pantai utara dan barat wilayah Sumatera dengan besar nilai PGA berkisar antara 0.2 g sampai dengan 0.9 g.

## Kata Kunci:

mitigasi, gempa bumi, model ETAS spatio-temporal, fungsi intensitas bersyarat

## ABSTRACT

High seismic activity forces Indonesia to mitigate natural disasters in order to minimize the impact of these disasters. One of the mitigation efforts that can be done is to know the possibility of an earthquake occurring in an area. Earthquakes, which are random phenomena, cannot be determined with certainty. Therefore, studies in seismological statistics can be used. One of the studies in seismological statistics that discusses the occurrence of earthquakes is the epidemic-type after shock sequence (ETAS) model. This model describes the main seismic activity followed by aftershocks. The ETAS model, which only considers the parameters of time and event magnitude, was developed into a Spatio-temporal ETAS model, which also describes spatial parameters or locations. This study used the Spatio-temporal ETAS model to analyze the Sumatra region's seismic activity in 2000-2022. Earthquake data sources are obtained from the United State Geological Survey (USGS). Based on data analysis, the Spatio-temporal ETAS model expressed in terms of the conditional intensity function shows that earthquakes that occur

in the Sumatra region with a large magnitude tend to produce a large conditional intensity function as well. The spatial component of the Spatio-temporal ETAS model can be explained by mapping the peak ground acceleration (PGA). The results of the PGA mapping show that seismic activity in the Sumatra region is prone to occur along the north and west coasts of the Sumatra region, with PGA values ranging from 0.2 g to 0.9 g.

**Keywords:**

mitigation, earthquakes, spatial ETAS model, conditional intensity function

**Format Sitasi:**

A. R. Wijaya, "Model ETAS Spatio-temporal pada Analisis Pemetaan Intensitas Kegempaan di Wilayah Sumatera," *Jambura J. Math.*, vol. 5, no. 1, pp.xx-xx, 2023, doi: <https://doi.org/10.3412/jjom.vXiX.XX>.

## 1. Pendahuluan

Manajemen bencana alam merupakan suatu upaya penanggulangan bencana alam yang dilakukan sesaat setelah terjadinya bencana hingga pascakejadian bencana, bahkan dapat dilakukan sebelum terjadinya bencana. Manajemen bencana alam ini dilakukan guna meminimalisir dampak dari suatu bencana tersebut. Salah satu upaya manajemen bencana alam sebelum terjadinya bencana adalah mitigasi bencana (Haifani [1]). Mitigasi bencana ini berupa usaha dalam meminimalisir dampak dan bahayanya dari kejadian bencana melalui proses pengumpulan dan analisis data. Salah satu jenis mitigasi bencana adalah prakiraan kemunculan suatu kejadian bencana.

Kemunculan bencana gempa bumi yang mempunyai karakteristik acak, baik dalam lokasi kejadian dan juga waktu kejadian, membuat prakiraan kejadian bencana ini menjadi hal penting. Metodologi prakiraan kejadian gempa bumi terus dikembangkan baik secara konsep keilmuan seismologi maupun aspek probabilistik. Aspek probabilistik yang membahas metodologi prakiraan gempa salah satunya adalah statistika seismologi.

Pada statistika seismologi, untuk menjelaskan fenomena yang mempunyai sifat acak dapat digunakan teori proses stokastik. Salah satu bidang kajian dalam proses stokastik adalah proses titik. Pada proses titik, gempa bumi yang terjadi pada waktu dan lokasi tertentu bisa direpresentasikan sebagai sebuah titik, sementara itu besaran yang terkait terhadap suatu titik adalah magnitudo ataupun kedalaman (Wijaya [2]). Prakiraan aktivitas gempa bumi pada proses titik dapat ditentukan melalui fungsi intensitas bersyarat. Menurut Ogata [3], fungsi intensitas bersyarat berperan dalam memperkirakan peluang atau intensitas seberapa sering gempa bumi terjadi pada suatu wilayah berdasarkan histori kejadian gempa bumi sebelumnya. Intensitas gempa bumi merupakan banyaknya kejadian gempa bumi per satuan waktu. Oleh karena itu, dengan diketahuinya intensitas gempa bumi di suatu wilayah, dapat dilakukan suatu manajemen bencana alam agar dapat meminimalisir dampak dari bencana tersebut.

Schoenberg [4] membagi proses titik menjadi dua jenis, yakni proses titik *self-exciting* yang kejadiannya dapat memicu kejadian-kejadian yang lain dan proses titik *self-correcting* yang kejadiannya dapat menghambat kejadian yang lain. Salah satu penerapan proses titik *self-exciting* adalah pada kejadian gempa bumi beserta gempa susulannya. Berdasar pada Harte [5], pada kejadian gempa bumi yang besar biasanya disertai dengan rentetan gempa bumi susulan, sehingga bisa direpresentasikan melalui model tipe epidemik. Dalam model tersebut, rentetan gempa susulan diasumsikan

bersifat bagaikan sebaran epidemi, yaitu terjadinya gempa besar berpengaruh terhadap terjadinya gempa susulan dalam selang waktu tertentu dan berlangsung lama setelah terjadinya gempa utama.

Salah satu model tipe epidemik<sup>2</sup> adalah model epidemic type aftershock sequence (ETAS). Dengan menambahkan komponen lokasi kejadian pada model ETAS maka dapat disebut menjadi model ETAS spatio-temporal. Fungsi intensitas bersyarat menjadi hal penting dari model tersebut. Fungsi intensitas bersyarat model ETAS spatio-temporal dapat digunakan untuk mengetahui aktivitas gempa bumi susulan. Berdasarkan uraian tersebut, pada studi ini dibahas mengenai penerapan model ETAS spatio-temporal pada analisis aktivitas intensitas kegempaan yang terjadi di wilayah Sumatera berikut juga analisis mengenai *peak ground acceleration* (PGA) pada masing-masing area.

## 2. Metode/Model

### 2.1. Model ETAS

Menurut jenis kejadiannya, gempa bumi dibedakan menjadi tiga jenis, yakni gempa pemicu (*foreshock*), gempa bumi utama (*mainshock*), dan gempa susulan (*aftershock*). Pada proses titik bertanda, laju gempa bumi susulan dijelaskan melalui hukum Omori [6] yang terdiri dari parameter waktu dan konstanta yang bergantung pada tatanan geologi di suatu area. Selanjutnya hukum Omori dimodifikasi oleh Utsu menjadi hukum Omori-Utsu [7], dengan menambahkan parameter laju peluruhan gempa bumi susulan.

Pada model tipe epidemic dalam kejadian gempa bumi, dipengaruhi oleh laju kelahiran, laju kematian, serta laju imigrasi. Kejadian gempa bumi susulan disebut sebagai individunya, sedangkan semua kejadian gempa sebagai populasinya. Laju imigrasi pada model tipe epidemic merujuk kepada kelajuan kegempaan dasar, sedangkan laju kelahiran mengacu pada pemicu terjadinya gempa susulan.

Salah satu model tipe epidemik<sup>3</sup> dalam menganalisis aktivitas kegempaan utama yang diikuti aktivitas gempa bumi susulan adalah dengan model *epidemic type aftershock sequence* (ETAS). Model ETAS menggunakan fungsi intensitas bersyarat untuk menghitung intensitas gempa bumi susulan yang disimbolkan dengan  $\lambda(t|\mathcal{H}_t)$ . Model ETAS diaplikasikan dalam memperkirakan perilaku gempa susulan di suatu area tertentu yang mempertimbangkan variabel magnitudo serta waktu kejadian. Model ETAS ini mengasumsikan bahwa setiap kejadian gempa bumi dapat memicu terjadinya gempa bumi susulan.

$$\lambda(t|\mathcal{H}_t) = \mu + A \sum_{i=t_i < t} e^{\alpha(M_i - M_0)} \left(1 + \frac{t - t_i}{c}\right)^{-p} \quad (1)$$

dengan  $\mu$  merepresentasikan kelajuan kejadian dasar seiminitas dalam satuan per hari, sedangkan  $A$  adalah produktivitas gempa susulan,  $M_i$  dan  $M_0$  secara berturut-turut merupakan magnitudo kejadian gempa dan ambang batas magnitudo kejadian gempa. Koefisien  $\alpha$  mengukur keefektifan gempa dengan magnitudo tertentu yang memicu terjadinya gempa susulan,  $c$  adalah skala waktu laju peluruhan gempa susulan, dan  $p$  merupakan laju peluruhan gempa susulan, sehingga tandanya negatif.

Model ETAS yang hanya menjelaskan variabel waktu dan magnitudo dikembangkan

oleh Ogata [8] menjadi model *ETAS* spatio-temporal dengan tambahan variabel lokasi kejadian. Misalkan variabel lokasi  $(x, y)$  yang merupakan epicenter dari kejadian gempa bumi, maka fungsi intensitas bersyarat dari model *ETAS* spatio temporal direpresentasikan dalam simbol  $\lambda(t, x, y, M|H_t)$ . Komponen spasial tersebut ditambahkan pada laju kegempaan dasar dan pada laju gempa bumi susulan. Fungsi intensitas bersyarat model *ETAS* spatio-temporal dikembangkan dari persamaan (1) dituliskan menjadi,

$$\lambda(t, x, y|H_t) = \mu v(x, y) + K \sum_{i=t_i < t} e^{\alpha(M_i - M_0)} \left(1 + \frac{t - t_i}{c}\right)^{-p} \frac{q - 1}{\pi D e^{\gamma(M_i - M_0)}} \left(1 + \frac{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}{D e^{\gamma(M_i - M_0)}}\right)^{-q} \quad (2)$$

dengan  $K = A(p - 1)c^{-1}$ , dengan  $D$  sebagai jarak episenter pada koordinat titik lokasi kejadian gempa,  $q$  sebagai ukuran jarak kelajuan luruhnya kegempaan susulan, serta  $\gamma$  sebagai keefisienan gempa yang bersifat independen dengan  $k(M)$ . Persamaan (2) merupakan fungsi intensitas bersyarat model *ETAS* spatio-temporal.

## 2.2. Data dan Sumber

Model *ETAS* spatio-temporal diterapkan ke data gempa bumi yang terjadi di wilayah Sumatera dalam rentang waktu Januari 2000 hingga November 2022. Data tersebut bersumber dari *United State Geological Survey (USGS)* [9], badan geologi dari Amerika Serikat. Ambang batas magnitudo ditentukan sebesar 5 *mb* dan kedalamannya  $\leq 70$  km. Koordinat geografis yang digunakan adalah pada posisi 5° LS- 7° LU dan 92° BT-107° BT. Data memuat informasi mengenai waktu kejadian, magnitudo gempa bumi, pusat gempa bumi dalam lintang dan bujur, dan kedalaman gempa bumi dengan satuan kilometer seperti yang ditampilkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Katalog data gempa di wilayah Sumatera tahun 2000-2022

Event	Date	Time	Latitude	Longitude	Magnitudo
1	1/21/2000	16:17:26,910	-1.227	98.877	5
2	3/10/2000	21:32:12,670	4.738	96.007	5.6
3	3/14/2000	06:06:13,710	-6.095	104.22	5
4	4/3/2000	19:02:29,630	2.489	97.221	5
5	5/8/2000	12:29:59,720	-0.846	97.996	5.8
6	5/9/2000	00:30:19,610	-0.909	98.068	5
7	1/21/2000	16:17:26,910	-1.227	98.877	5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1639	24/11/2022	02:11:25,710	-4.3276	100.4039	5.1

Dilakukan penyeragaman magnitudo dengan mengkonversi magnitudo dari *surface wave magnitude scale* ( $M_s$ ) dan *moment magnitude* ( $M_w$ ) menjadi *body wave magnitude* ( $m_b$ ). Terjadi sebanyak 1.639 gempa bumi di wilayah Sumatera dan sekitarnya dalam rentang waktu Januari 2000-November 2022. Katalog kegempaan tersebut didominasi gempa bumi dengan magnitudo sekitar 5  $m_b$ .

Analisis menggunakan bantuan *software* R versi 4.2.2. Jika pada model ETAS menganalisis menggunakan *package* *PtProcess*, sedangkan pada model ETAS spatio-temporal menggunakan *package* ETAS yang dikembangkan oleh Zhuang dan Jaililian [10]. *Package* ETAS tersedia dari *the Comprehensive R Archive Network* (CRAN) yang dapat diakses melalui laman <https://CRAN.R-project.org/package=ETAS> atau juga tersedia dari GitHub di <https://github.com/jalilian/ETAS>.

### 2.3. Langkah-langkah Penelitian

Berikut adalah 11 langkah yang dilakukan pada penelitian ini.

1. Mengidentifikasi fenomena gempa bumi beserta gempa bumi susulannya.
2. Menentukan asumsi, parameter, dan variabel yang mempengaruhi intensitas terjadinya gempa bumi.
3. Menyusun fungsi intensitas bersyarat pada model ETAS.
4. Menambahkan komponen spasial pada laju kegempaan dasar model ETAS.
5. Menambahkan komponen spasial pada intensitas gempa bumi susulan dari model ETAS.
6. Menentukan fungsi *likelihood* dari fungsi densitas probabilitas variabel acak.
7. Menghitung turunan pertama dan kedua dari logaritma fungsi *likelihood* yang diperoleh dari langkah (6).
8. Memilih nilai parameter awal.
9. Mengestimasi parameter fungsi intensitas bersyarat model ETAS spatio-temporal untuk aktivitas kegempaan yang terjadi di wilayah Sumatera dan sekitarnya dengan metode *likelihood* maksimum.
10. Menentukan penyelesaian model dan menggambarkan grafik fungsi intensitas bersyarat dari model ETAS spatio-temporal.
11. Menganalisis *peak ground acceleration* pada area gempa bumi.

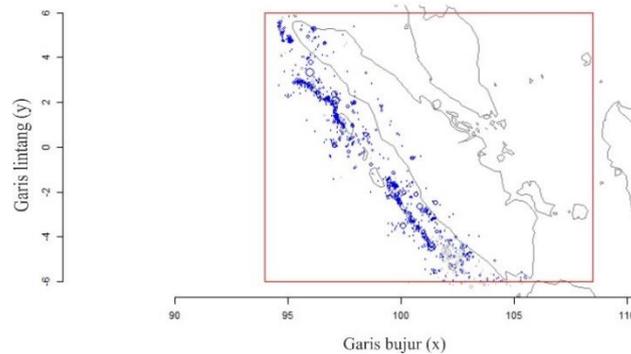
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Penerapan Model ETAS Spatio-temporal

Estimasi parameter model model ETAS spatio-temporal (2) dilakukan pada aktivitas kegempaan di wilayah Sumatera menggunakan metode *likelihood* maksimum serta ditentukan penyelesaiannya dengan algoritme Davidson-Fletcher-Powell [10]. Terdapat tiga variabel, yakni waktu  $t$ , magnitudo  $M$  dan lokasi  $(x, y)$ , serta terdapat delapan parameter, yakni  $\mu, A, \alpha, c, p, D, q$ , dan  $\gamma$  pada fungsi intensitas bersyarat ETAS spatio-temporal. Berikut ini pemetaan aktivitas kegempaan di Sumatera dari tahun 2000-2022 yang disajikan pada Gambar 1. Titik-titik pada Gambar 1 merepresentasikan pusat dari kejadian gempa bumi, sementara ukuran dari titik tersebut merepresentasikan besar magnitudo kejadian.

Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa aktivitas kegempaan di wilayah Sumatera pada rentang waktu Januari 2000 sampai dengan November 2022 lebih sering terjadi pada pesisir barat Pulau Sumatera. Menurut Natawidjaja dan Triyoso [11], salah satu

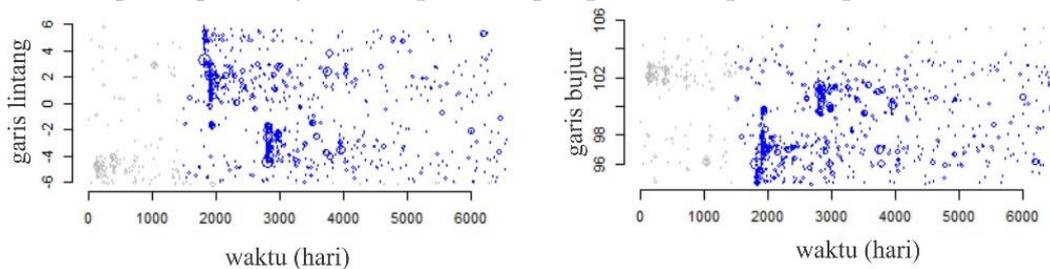
sumber gempa di Pulau Sumatera adalah pada zona subduksi di area lepas pantai barat Sumatera, dikarenakan Lempeng Indo-Australia bergeser menunjam ke bawah di Lempeng Eurasia.



**Gambar 1.** Pemetaan aktivitas gempa bumi di Pulau Sumatera

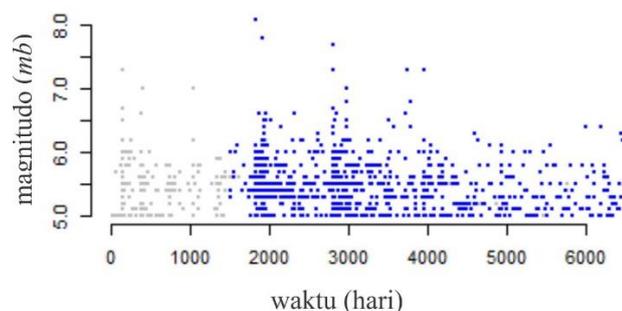
Batas tumbukan antara kedua lempeng tersebut dapat diamati berupa garis palung laut dalam di sebelah barat Sumatera hingga Kepulauan Andaman. Kelajuan penunjaman Lempeng Hindia di bawah wilayah Sumatera berkisar diantara 50-60 mm per tahun serta kemiringan terhadap zona penunjaman berkisar  $12^{\circ}$ .

Untuk melihat komponen spasial pada aktivitas kegempaan di wilayah Sumatera pada tahun 2000-2022, berikut disajikan plot hubungan antara letak koordinat garis lintang dan garis bujur dari epicenter gempa terhadap waktu pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Plot hubungan waktu terhadap lokasi kejadian gempa bumi

Berdasarkan Gambar 2 terdapat pengelompokan kejadian gempa bumi di Pulau Sumatera berdasarkan lokasi dan waktu kejadian. Pengelompokan kejadian gempa bumi tersebut terjadi pada koordinat  $3^{\circ} - 5^{\circ}$  LS dan  $102^{\circ} - 103^{\circ}$  BT pada kisaran waktu ke-200 sampai dengan waktu ke-300, pengelompokan pada koordinat  $0^{\circ} - 6^{\circ}$  LU dan  $96^{\circ} - 99^{\circ}$ BT pada kisaran waktu ke-2000, serta pada koordinat  $2^{\circ} - 4^{\circ}$ LS dan  $100^{\circ} - 102^{\circ}$ BT pada kisaran waktu ke-3000. Untuk melihat pengelompokan gempa bumi berdasarkan waktu kejadian, berikut merupakan plot hubungan antara waktu dengan magnitudo gempa yang terjadi di wilayah Sumatera pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Plot hubungan antara waktu dengan magnitudo kejadian gempa bumi

## Model ETAS Spatio-Temporal pada Analisis Pemetaan Intensitas Kegempaan. . .

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa terjadi pengelompokan gempa bumi pada rentang waktu kejadian ke-2000-4000 dengan magnitudo kejadian sekitar 5-6 *mb*. Terdapat aktivitas kegempaan yang terjadi di wilayah Sumatera periode 2000-2022 yang mempunyai magnitudo besar. Gempa bumi terjadi pada waktu ke-1821 (26 Desember 2004) dengan magnitudo sebesar 8.1 *mb* merupakan gempa bumi yang terjadi dengan magnitudo terbesar di wilayah Sumatera pada periode 2000-2022. Kemudian terdapat gempa bumi dengan magnitudo besar berikutnya, yakni gempa bumi pada waktu ke-1914 dengan magnitudo 7.9 *mb*, gempa bumi pada waktu ke-2811 dengan magnitudo 7.7 *mb*, gempa bumi pada waktu ke-2812, ke-3749, dan ke-3951 dengan magnitudo 7.3 *mb*.

Setelah menganalisis aktivitas kegempaan yang terjadi di wilayah Sumatera, berikutnya estimasi parameter model ETAS spatio-temporal (2) dilakukan pada data gempa bumi di wilayah Sumatera menggunakan metode likelihood maksimum. Hasil estimasi parameter model ETAS spatio-temporal pada data gempa bumi yang terjadi di wilayah Sumatera pada tahun 2000-2022 dituliskan dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil estimasi parameter model ETAS spatio-temporal

Parameter	Nilai estimasi parameter
$M$	1.00283
$A$	0.25607
$\alpha$	1.85971
$D$	1.00384
$c$	0.01287
$p$	1.07849
$q$	2.64039
$\gamma$	2.03554
$\ln L$	-4097.84070

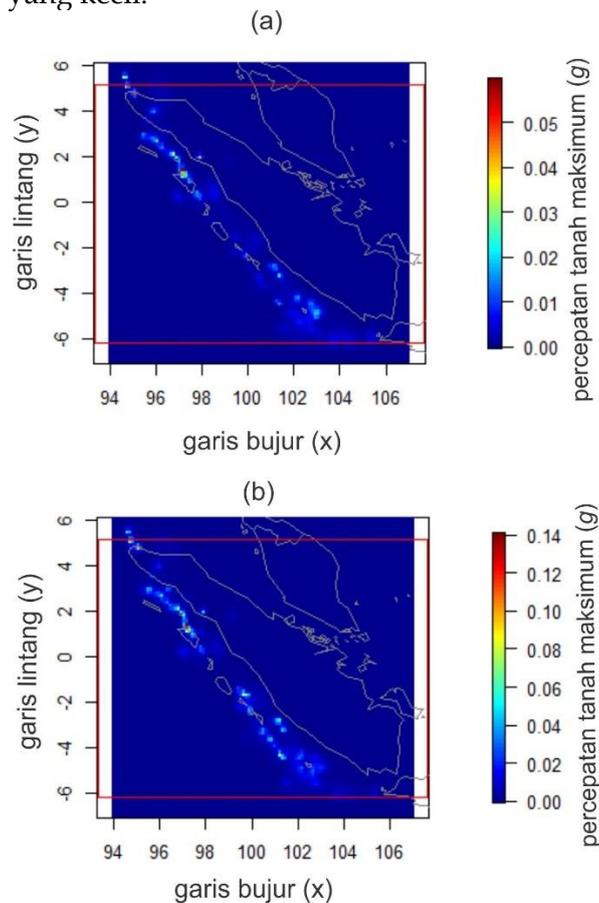
Berdasarkan hasil estimasi parameter pada Tabel 2, dapat dituliskan fungsi intensitas bersyarat model ETAS spatio-temporal pada aktivitas kegempaan di wilayah Sumatera periode 2000-2022 sebagai fungsi berikut,

$$\lambda(t, x, y | \mathcal{H}_t) = 1.0028v(x, y) + 1.15538 \times 10^{-9} \sum_{t_i < t} \frac{e^{1.85971(M_i - M_0)}}{(t - t_i + 0.01287)^{1.07849}} \frac{2.64039 - 1}{\pi 0.00384 e^{2.03554(M_i - M_0)}} \frac{e^{2.03554 \times 2.64039(M_i - M_0)}}{((x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + 1.00384 e^{2.03554(M_i - M_0)})^{2.64039}} \quad (3)$$

Berdasarkan model ETAS spatio-temporal pada persamaan (3) dapat dibentuk plot laju kejadian dasar gempa bumi di Pulau Sumatera pada periode 2000-2022 yang disajikan pada Gambar 4, serta plot koefisien clustering dan plot fungsi intensitas bersyarat model ETAS spatio-temporal pada data gempa bumi di wilayah Sumatera periode 2000-2022 yang disajikan pada Gambar 5. Pada kedua gambar tersebut juga memuat informasi mengenai peak ground acceleration (PGA) atau percepatan tanah maksimum.

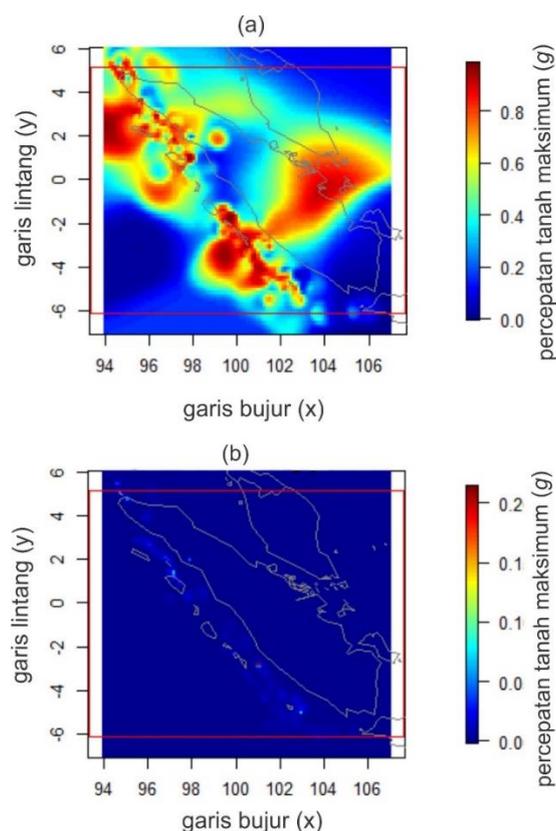
### 3.2. Analisis Peak Ground Accelerations (PGA)

Menurut Massinai dkk. [12] untuk mendekteksi besar tingkat rawan kegempaan suatu wilayah dapat diketahui melalui nilai *PGA*. Nilai *PGA* didefinisikan sebagai nilai percepatan tanah tertinggi di suatu area yang pernah terjadi akibat dari aktivitas kegempaan. Nilai *PGA* diperoleh dari besarnya intensitas gempa bumi yang dinyatakan dalam bentuk skala *modified Mercally intensity* (Pailoplee [8]). Nilai fungsi intensitas bersyarat pada persamaan (2) digunakan untuk menentukan nilai *PGA* pada aktivitas kegempaan di Pulau Sumatera pada selang waktu tahun 2000-2022. Semakin tinggi nilai *PGA*, maka sebanding juga dengan semakin tinggi resiko kejadian gempa di wilayah tersebut. Titik atau kontur di gambar yang berwarna kuning kemerah-merahan menandakan daerah yang memiliki *PGA* besar, sedangkan warna biru menandakan daerah dengan *PGA* yang kecil.



**Gambar 4.** (a) Kelajuan kejadian dasar serta (b) Kelajuan kejadian total aktivitas kegempaan di wilayah Sumatera

Gambar 4 (a) memperlihatkan bahwa besarnya laju kejadian dasar gempa bumi di Pulau Sumatera tahun 2000-2022 yang direpresentasikan dalam nilai *PGA* berkisar antara 0.01 g - 0.05 g. Nilai *PGA* yang besar, yakni sebesar 0.05 g, berada di wilayah sebelah barat Sumatera Barat, tepatnya pada koordinat  $(97^{\square} - 1^{\square})$ . Gambar 4 (b) memperlihatkan bahwa besarnya laju kejadian total gempa bumi di wilayah Sumatera tahun 2000-2022 yang direpresentasikan dalam nilai *PGA* berkisar antara 0.02 g - 0.14 g. Laju kejadian dasar dan kejadian total aktivitas kegempaan yang didominasi oleh nilai *PGA* yang kecil tersebar di sepanjang pesisir barat dan utara Pulau Sumatera.



**Gambar 5.** (a) koefisien klustering dan (b) pemetaan fungsi intensitas bersyarat model ETAS spatio-temporal pada akhir periode gempa

Gambar 5 (a) memperlihatkan secara keseluruhan besarnya pengelompokan gempa bumi di Pulau Sumatera tahun 2000-2022 yang direpresentasikan dalam nilai *PGA* berkisar antara 0.2 g - 0.9 g. Pengelompokan aktivitas gempa bumi di Pulau Sumatera memiliki resiko tinggi dengan didominasi oleh nilai *PGA* dengan besar sekitar 0.5 g- 0.9 g pada sepanjang area pesisir utara serta barat Pulau Sumatera dan terkonsentrasi pada sepanjang pesisir utara dan barat wilayah Aceh sampai ke barat Sumatera Barat, pesisir barat Bengkulu, dan pesisir timur Riau.

Gambar 5 (b) memperlihatkan pemetaan besarnya fungsi intensitas bersyarat model ETAS spatio-temporal periode akhir tahun 2022 di Pulau Sumatera yang direpresentasikan dalam nilai *PGA* berkisar antara 0.00 - 0.20 g. Kondisi ini memiliki pola yang sama dengan Gambar 5 (a) dan (b) dengan peta rawan kegempaan yang didominasi nilai *PGA* yang kecil tersebar di sepanjang pesisir barat dan utara Pulau Sumatera.

#### 4. Kesimpulan

Pada penelitian ini dilakukan penerapan model ETAS spatio-temporal pada aktivitas kegempaan di wilayah Sumatera. Data yang digunakan bersumber dari USGS dari tahun 2000 sampai dengan 2022. Penerapan model ETAS pada data gempa bumi di wilayah Sumatera memperlihatkan bahwa gempa bumi dengan magnitudo besar, cenderung mempunyai fungsi intensitas bersyarat yang besar, sedangkan penerapan analisis secara spasial memperlihatkan bahwa aktivitas kegempaan di wilayah Sumatera banyak terjadi di sepanjang pesisir utara dan barat wilayah Sumatera yang berdasarkan pemetaan nilai *peak ground accelerations (PGA)* atau percepatan tanah maksimum.

## Referensi

- [1] Haifani, A. M., *Manajemen Resiko Bencana Gempa Bumi Yogyakarta 27 Mei 2006*, Seminar Nasional IV Teknologi Nuklir (2008), 285-294.
- [2] Wijaya, A. R., & Pratiwi, H. "Model Proses Titik Bertanda Terindeks Waktu Pada Data Gempa Bumi Di Pantai Selatan Jawa." In prosiding Seminar Nasional Matematika dan Aplikasinya, 2017, 203-209.
- [3] Ogata, Y., *Statistical Models for Earthquake Occurances and Residual Analysis for Point Process*, Journal of the Statistical Association **83**, Issue 401, Inc (1988), 9-27.
- [4] Schoenberg, F.P., *Introduction to Point Processes*, UCLA Department of Statistics, Los Angeles, 2010.
- [5] Harte, D., *Ptprocess: An R Package for Modelling Marked Point Processes Indexed by Time*, Journal of Statistical Software **35** (2010), 119-144.
- [6] Omori, F., *On the Aftershocks of Earthquakes*, Journal of the College Science, Imperial University of Tokyo, **7** (1894).
- [7] Utsu, T., *Aftershock and Earthquaaake Statistics*, Journal of the Faculty of Science Hokaido University **43** (1995), 1-33.
- [8] Ogata, Y., *Space-Time Point-Process Models for Eathquake Occurrences.*, Annals of the Institute of Statistical Mathematics **50** (1998), no.2, 379-402.
- [9] USGS. Earthquake Data. [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov). 2017.
- [10] Rahman, M.A. dan D. R. T. Basarudin, *Algoritme Paralel Quasi Newton untuk Menyelesaikan Permasalahan Optimasi Nonlinear tak Berkendala Skala Besar*, (1997).
- [11] Natawidjaja, D.H., dan W. Triyoso, *The Fault Zone: from Source to Hazard*, Journal of Earthquake and Tsunami. 1(1), 21-47.
- [12] Massinai, M. O., K. R. Amaliah, Lantu, Virman, dan M. F. Ismullah, *Analisis Percepatan Tanah Maksimum, Percepatan Tanah Maksimum, dan MMI di Wilayah Sulawesi Utara*, Prosiding Seminar Nasional Fisika **5** (2016), 33-36.
- [13] Pailoplee, S., *Relationship between Modified Mercalli Intensity and Peak Ground Acceleration in Myanmar*, Natural Science, **4** (2012), 624-630.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Editorial of JJoM: Department of Mathematics, Universitas Negeri Gorontalo, Jln. Prof. Dr. Ing. B.J. Habibie, Moutong, Tilongkabila, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo 96119, Indonesia.

● **16% Overall Similarity**

Top sources found in the following databases:

- 13% Internet database
- 6% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database
- 7% Submitted Works database

TOP SOURCES

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

<b>1</b>	<b>UIN Maulana Malik Ibrahim Malang on 2022-07-14</b> Submitted works	<b>5%</b>
<b>2</b>	<b>digilib.uns.ac.id</b> Internet	<b>4%</b>
<b>3</b>	<b>123dok.com</b> Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>jurnal.polban.ac.id</b> Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>5</b>	<b>Earthquakes and Their Impact on Society, 2016.</b> Crossref	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>docplayer.info</b> Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>repository.unair.ac.id</b> Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>lppm-unissula.com</b> Internet	<b>&lt;1%</b>

9	<b>icevirtuallibrary.com</b> Internet	<1%
10	<b>Imperial College of Science, Technology and Medicine on 2017-09-16</b> Submitted works	<1%
11	<b>coursehero.com</b> Internet	<1%
12	<b>James R. Holliday, Donald L. Turcotte, John B. Rundle. "Self-similar bra...</b> Crossref	<1%
13	<b>jurnaldidaktika.org</b> Internet	<1%
14	<b>National University of Singapore on 2011-02-28</b> Submitted works	<1%
15	<b>Sayyidatul Khoiridah, Moh Ikhyatul Ibad, Wiko Setyonegoro. "Validasi P...</b> Crossref	<1%
16	<b>ejurnal.ung.ac.id</b> Internet	<1%
17	<b>pt.scribd.com</b> Internet	<1%
18	<b>teknomatika.stmikayani.ac.id</b> Internet	<1%
19	<b>tel.archives-ouvertes.fr</b> Internet	<1%
20	<b>vdocuments.site</b> Internet	<1%

- 
- 21 Nader Davoudi, Hamid Reza Tavakoli, Mehdi Zare, Abdollah Jalilian. "A... <1%  
Crossref
- 
- 22 Nader Davoudi, Hamid Reza Tavakoli, Mehdi Zare, Abdollah Jalilian. "D... <1%  
Crossref