

**FUNGSI INTENSITAS BERSYARAT MODEL TIPE EPIDEMIK
UNTUK ANALISIS AKTIVITAS GEMPA BUMI SUSULAN**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2018

**FUNGSI INTENSITAS BERSYARAT MODEL TIPE EPIDEMIK
UNTUK ANALISIS AKTIVITAS GEMPA BUMI SUSULAN**


SKRIPSI

ANDREAS RONY WIJAYA

NIM M0114002

dibimbing oleh

Pembimbing I



Dr. Hasih Pratiwi, S.Si., M.Si.

NIP 19700228 199512 2 001



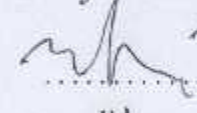

Pembimbing II



Ririn Setiyowati, S.Si., M.Sc.

NIP 19890924 2016 1 001

telah dipertahankan di hadapan Dewan Penguji
dan dinyatakan telah memenuhi syarat
pada hari Jumat, tanggal 18 Mei 2018

Jabatan	Nama dan NIP	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	Dr. Sutanto, S.Si., DEA. NIP 19710302 199603 1 001		30/5/2018
Sekretaris	Drs. Santoso Budi Wiyono, M.Si. NIP 19620203 199103 1 001		28/05/2018
Anggota	Dr. Hasih Pratiwi, S.Si., M.Si. NIP 19700228 199512 2 001		28/05/2018
Penguji	Ririn Setiyowati, S.Si., M.Sc. NIP 19890924 2016 1 001		28/05/2018

Disahkan

di Surakarta pada tanggal **30 MAY 2018**

Kepala Program Studi Matematika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Sebelas Maret Surakarta

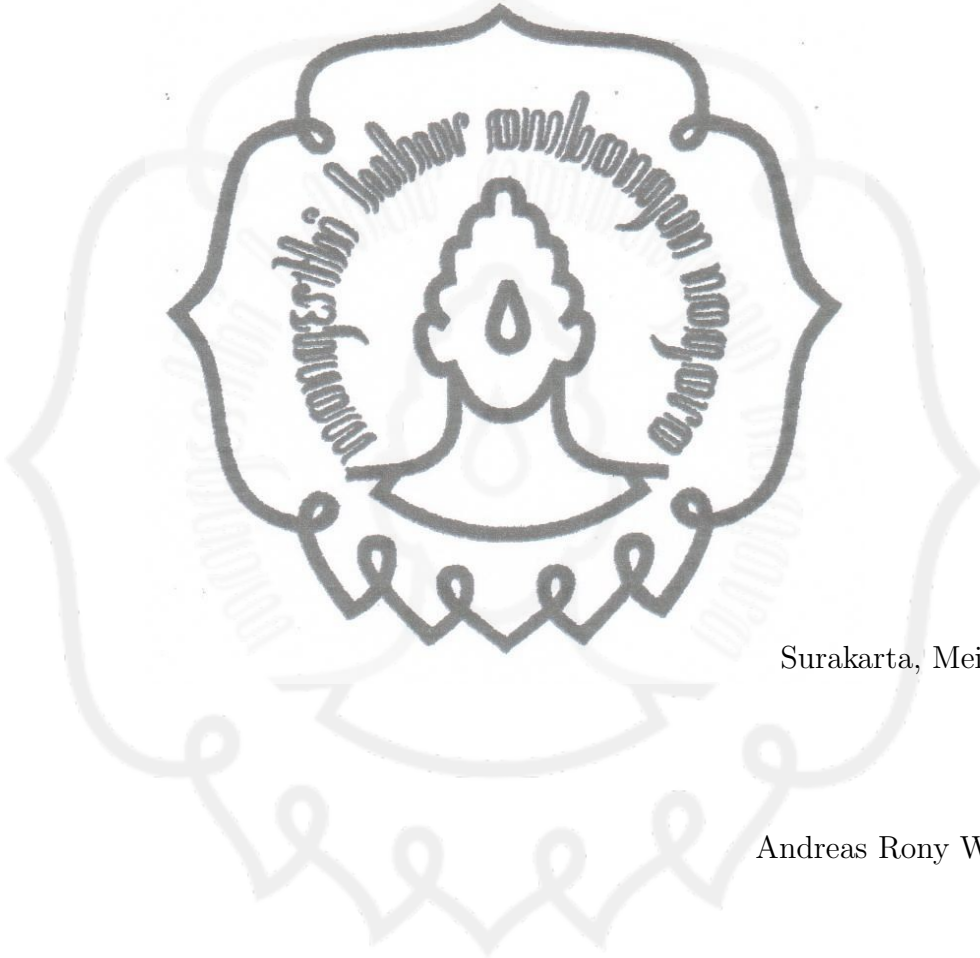


Supriyadi Wibowo, S.Si., M.Si.

NIP 19681110 199512 1 001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Fungsi Intensitas Bersyarat Model Tipe Epidemik untuk Analisis Aktivitas Gempa Bumi Susulan” belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan pada suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga belum pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.



Surakarta, Mei 2018

Andreas Rony Wijaya

ABSTRAK

Andreas Rony Wijaya. 2018. FUNGSI INTENSITAS BERSYARAT MODEL TIPE EPIDEMIK UNTUK ANALISIS AKTIVITAS GEMPA BUMI SUSULAN. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sebelas Maret.

Indonesia mempunyai aktivitas kegempaan yang tinggi, sehingga diperlukan mitigasi bencana alam untuk meminimalisir dampak bencana gempa bumi. Salah satu upaya mitigasi adalah dengan mengetahui peluang kemunculan gempa bumi di suatu wilayah. Proses titik merupakan salah satu kajian dalam statistika seismologi yang dapat menjelaskan peluang kejadian gempa bumi. Salah satu model dalam proses titik adalah model tipe epidemik. Suatu gempa bumi besar biasanya diikuti oleh gempa bumi susulan. Model tipe epidemik yang khusus untuk menjelaskan kejadian gempa bumi beserta gempa susulannya adalah model *epidemic type aftershock sequence (ETAS)*. Model *ETAS* dinyatakan dengan fungsi intensitas bersyarat yang mempertimbangkan variabel waktu dan magnitudo. Model *ETAS* dikembangkan menjadi model *ETAS* spasial yang mempertimbangkan variabel tambahan berupa lokasi kejadian.

Pada penelitian ini dilakukan penurunan ulang fungsi intensitas bersyarat model *ETAS* dan model *ETAS* spasial, beserta penerapannya pada aktivitas gempa bumi yang terjadi di Pulau Sumatera pada periode Januari 2000-Desember 2017. Data diperoleh dari *United State Geological Survey* dengan ambang batas magnitudo 5 *mb* dan kedalamannya ≤ 70 km.

Berdasarkan hasil dan pembahasan, model *ETAS* dan model *ETAS* spasial dinyatakan dengan fungsi intensitas bersyarat yang masing-masing memiliki lima dan delapan parameter. Parameter fungsi intensitas bersyarat model *ETAS* diestimasi menggunakan metode *likelihood* maksimum dan Nelder-Mead simplex, sedangkan untuk model *ETAS* spasial menggunakan metode *likelihood* maksimum dan Davidson-Fletcher-Powell. Hasil estimasi parameter model *ETAS* menunjukkan bahwa gempa bumi yang terjadi di Pulau Sumatera dengan magnitudo besar cenderung mempunyai fungsi intensitas bersyarat yang besar juga. Hasil estimasi parameter model *ETAS* spasial menunjukkan bahwa aktivitas gempa bumi di Pulau Sumatera rawan terjadi di daerah pesisir barat dan utara Pulau Sumatera yang dilihat dari pemetaan percepatan tanah maksimumnya. Berdasarkan perbandingan nilai *AIC* dari kedua model, menunjukkan bahwa model *ETAS* mempunyai nilai *AIC* yang lebih kecil, sehingga model *ETAS* lebih akurat dalam menganalisis aktivitas gempa bumi di Pulau Sumatera.

Kata kunci: gempa bumi, gempa bumi susulan, mitigasi, model *ETAS*, model *ETAS* spasial, fungsi intensitas bersyarat.

ABSTRACT

Andreas Rony Wijaya. 2018. CONDITIONAL INTENSITY FUNCTION OF EPIDEMIC TYPE MODEL AS AFTERSHOCK ACTIVITY ANALYSIS. Faculty of Mathematics and Natural Science. Sebelas Maret University.

Indonesia has a high seismic activity, so we need a mitigation to reduce the risk. One of the mitigations is to know the probability of occurrence or intensity of earthquakes in a region. A point process is one of the studies in seismological statistics that can explain the probability of earthquake's occurrence. One of the models in point processes is the epidemic type model. A main earthquake is usually followed by aftershocks. Specific epidemic type model that can explain the occurrence of earthquakes and their aftershocks is called as the epidemic type aftershock sequence (ETAS) model. The ETAS model is expressed by a conditional intensity function that containing the variable of time and magnitude. The ETAS model is developed into a spatial ETAS model which contains additional variables in the location of events.

In this research, we reconstructed the conditional intensity function of ETAS model and spatial ETAS model, and applied them to earthquake activity that occurred on the Sumatera Island in January 2000 until December 2017. Data is obtained from the United State Geological Survey with the magnitude threshold is 5 *mb* and depth is ≤ 70 km.

Based on the results, the ETAS model and the spatial ETAS model are expressed in the conditional intensity function which each model has five and eight parameters. The parameter of conditional intensity function ETAS model is estimated using the maximum likelihood and Nelder-Mead simplex method, while spatial ETAS model using maximum likelihood and Davidson-Fletcher-Powell method. Estimation of ETAS model parameters showed that earthquakes which occur on the Sumatera Island with a large magnitude tend to have a large conditional intensity function as well. The result of spatial ETAS model parameter estimation showed that earthquake activity on the Sumatera Island is prone to occur in the western and northern coast of Sumatera Island based on the mapping of its peak ground acceleration. According to the comparison of AIC values of both models, it showed that the ETAS model has a smaller AIC value, therefore the ETAS model is more accurate in analysis of the earthquake activity on the Sumatera Island.

Keywords: *earthquake, aftershock, mitigation, ETAS model, spatial ETAS model, conditional intensity function.*

MOTO

Jika menuntut ilmu dapat meninggikan derajat manusia dan menjadi salah satu jalan menuju surga, maka tiada alasan lagi untuk tidak memperjuangkannya.

Allah bersama orang-orang yang menuntut ilmu.

Niatkan Tugas Akhir ini karena Allah.



PERSEMBAHAN

Karya ini dipersembahkan untuk
kedua orang tua dan adik saya.



KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas limpahan berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Pada penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, dorongan, dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada

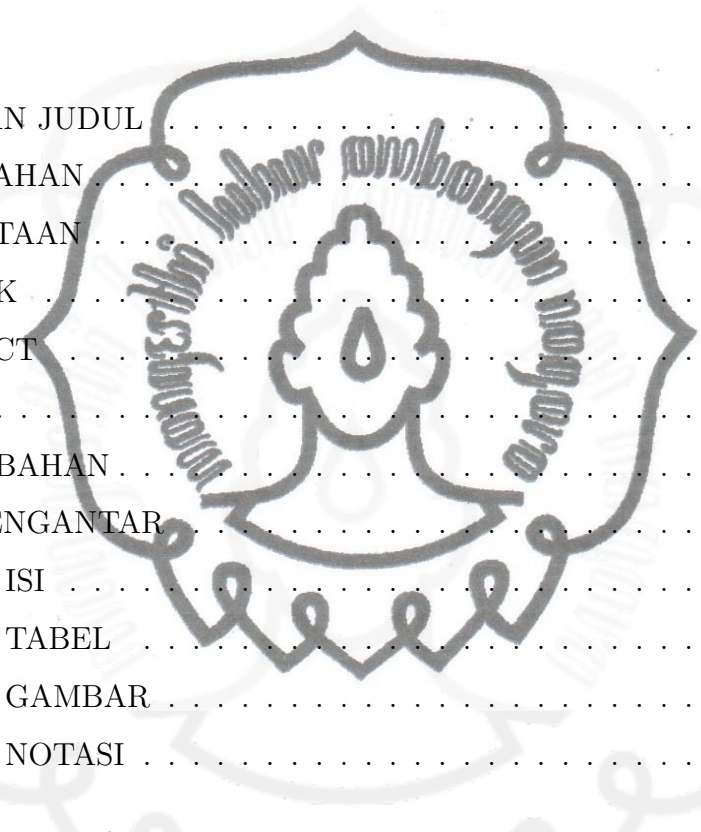
1. Dr. Hasih Pratiwi, S.Si., M.Si. sebagai Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan materi, motivasi, dan arahan dalam proses pengerjaan skripsi.
2. Ririn Setiyowati, S.Si., M.Sc. sebagai Pembimbing II yang telah memberikan saran, motivasi, dan arahan dalam proses penyusunan alur penulisan skripsi.

Semoga skripsi ini bermanfaat.

Surakarta, Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI



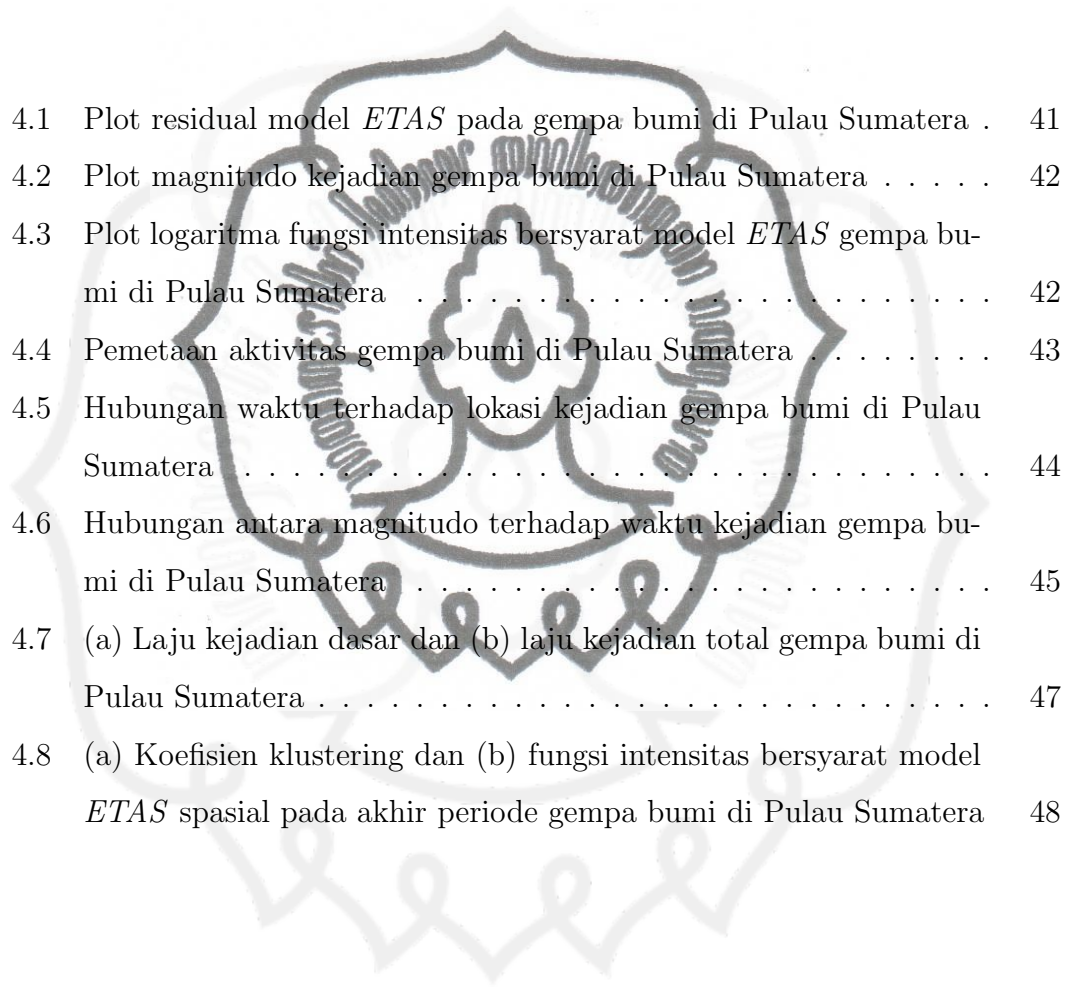
HALAMAN JUDUL	i
PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
MOTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II LANDASAN TEORI	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Teori Penunjang	6
2.2.1 Proses Stokastik	6
2.2.2 Proses Titik	6

2.2.3	Proses Titik <i>Self-Exciting</i>	7
2.2.4	Metode <i>Likelihood</i> Maksimum	8
2.2.5	Fungsi Intensitas	9
2.2.6	Hukum Omori	9
2.2.7	Model Tipe Epidemik	10
2.2.8	Metode Nelder-Mead Simplex	11
2.2.9	Metode Davidson-Fletcher-Powell	13
2.2.10	<i>Akaike Information Criterion (AIC)</i>	14
2.3	Kerangka Pemikiran	14
III METODE PENELITIAN		16
3.1	Data dan Sumber	16
3.2	Langkah-Langkah Penelitian	16
IV HASIL DAN PEMBAHASAN		18
4.1	Fungsi Intensitas Bersyarat	18
4.1.1	Model <i>ETAS</i>	18
4.1.2	Model <i>ETAS</i> Spasial	20
4.2	Estimasi Parameter	23
4.2.1	Estimasi Parameter Model <i>ETAS</i>	23
4.2.2	Estimasi Parameter Model <i>ETAS</i> Spasial	32
4.3	Penerapan Model	39
4.3.1	Penerapan Model <i>ETAS</i>	40
4.3.2	Penerapan Model <i>ETAS</i> Spasial	43
4.3.3	Perbandingan Model	49
V PENUTUP		51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	52
DAFTAR PUSTAKA		53

DAFTAR TABEL

4.1	Estimasi parameter model <i>ETAS</i> pada data gempa bumi di Pulau Sumatera	40
4.2	Estimasi parameter model <i>ETAS</i> spasial pada data gempa bumi di Pulau Sumatera	46

DAFTAR GAMBAR



4.1	Plot residual model <i>ETAS</i> pada gempa bumi di Pulau Sumatera .	41
4.2	Plot magnitudo kejadian gempa bumi di Pulau Sumatera	42
4.3	Plot logaritma fungsi intensitas bersyarat model <i>ETAS</i> gempa bumi di Pulau Sumatera	42
4.4	Pemetaan aktivitas gempa bumi di Pulau Sumatera	43
4.5	Hubungan waktu terhadap lokasi kejadian gempa bumi di Pulau Sumatera	44
4.6	Hubungan antara magnitudo terhadap waktu kejadian gempa bumi di Pulau Sumatera	45
4.7	(a) Laju kejadian dasar dan (b) laju kejadian total gempa bumi di Pulau Sumatera	47
4.8	(a) Koefisien klustering dan (b) fungsi intensitas bersyarat model <i>ETAS</i> spasial pada akhir periode gempa bumi di Pulau Sumatera	48

DAFTAR NOTASI

t	: waktu kejadian
t_i	: waktu kejadian ke- i , dengan i merupakan indeks dari $1, \dots, N$
$X(t)$: kejadian dari proses stokastik pada waktu t
$N(t)$: banyaknya kejadian pada waktu t
M	: magnitudo kejadian
M_0	: ambang batas magnitudo kejadian
M_i	: magnitudo pada kejadian ke- i
λ	: fungsi intensitas
$\lambda(t \mathcal{H}_t)$: fungsi intensitas bersyarat model <i>ETAS</i>
\mathcal{H}_t	: <i>history</i> kejadian
$n(t)$: laju gempa bumi susulan pada waktu t
L	: fungsi <i>likelihood</i>
$\log L$: fungsi logaritma <i>likelihood</i>
θ	: parameter
$\hat{\theta}$: estimator parameter
$F(t \mathcal{H}_t)$: fungsi distribusi kumulatif bersyarat
$f(t \mathcal{H}_t)$: fungsi densitas probabilitas bersyarat
R^d	: ruang keadaan dengan $d \geq 1$
T	: panjang interval observasi
t_f	: waktu kejadian terakhir
t_g	: panjang interval observasi
τ	: waktu antarkejadian
Δt	: interval waktu yang sempit
$\log \hat{L}$: <i>log-likelihood</i> maksimum

- T_1, \dots, T_N : variabel acak independen yang berdistribusi identik
- t_1, \dots, t_N : sampel pengamatan
- $g(x)$: probabilitas terdapat satu kelahiran
- $h(x)$: probabilitas terdapat satu kematian
- ν : laju kejadian dari proses Poisson homogen
- $k(t - t_i)$: fungsi pemicu
- $g(t)$: fungsi densitas probabilitas dari waktu kejadian gempa bumi pemicu
- $k(m)$: probabilitas terjadinya gempa bumi susulan dengan magnitudo m
- g : vektor gradien
- \mathbf{H} : matriks hessian
- μ : laju kegempaan dasar
- K : produktivitas gempa bumi susulan
- α : efisiensi gempa bumi dengan magnitudo tertentu menghasilkan gempa bumi susulan
- c : laju gempa bumi susulan menurut skala waktu
- p : laju peluruhan gempa bumi susulan
- (x, y) : lokasi kejadian dengan garis bujur x dan garis lintang y
- $\mu(x, y)$: laju kegempaan dasar dengan mempertimbangkan aspek lokasi (x, y)
- $f(x, y|m)$: fungsi distribusi lokasi dari gempa bumi pemicu
- h : kedalaman gempa bumi
- q : laju peluruhan gempa bumi susulan menurut skala jarak
- D : jarak epicenter ke koordinat titik kejadian gempa bumi
- γ : efisiensi gempa bumi yang independen terhadap $k(m)$
- a, b : suatu konstanta yang bergantung pada tatanan geologi suatu daerah
- $\lambda(t, x, y|\mathcal{H}_t)$: fungsi intensitas bersyarat model *ETAS* spasial