Estimasi Fungsi Intensitas Bersyarat Model *Stress Release*

Indri Cahya Diena[1], Hasih Pratiwi[2], dan Muslich[3]
[1,3]Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Sebelas Maret
[2]Program Studi StatistikaFakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126
Email: indri.cahya24101994@gmail.com,

Keywords:
gempa bumi, estimasi parameter, fungsi intensitas bersyarat, model stress release, metode likelihood maksimum.

Abstrak

Model stress release merupakan model yang dapat digunakan untuk menjelaskan kejadian gempa bumi. Model ini mempertimbangkan tekanan yang meningkat di suatu daerah dan tekanan yang dilepaskan saat terjadi gempa bumi pada periode tertentu. Probabilitas terjadinya gempa bumi dapat diketahui menggunakan model stress release melalui fungsi intensitas bersyarat. Fungsi intensitas bersyarat model stress release memiliki tiga parameter. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi fungsi intensitas bersyarat model strees release dan menerapkan pada data gempa bumi di Pulau Jawa periode Januari 1993 sampai Desember 2016. Estimasi fungsi intensitas bersyarat model stress release dilakukan dengan metode likelihood maksimum. Gempa bumi dengan intensitas relatif tinggi terjadi di selatan Sukabumi Jawa Barat, Banyuwangi Jawa Timur, laut selatan Pulau Jawa, dan selatan Garut Jawa Barat, sedangkan daerah yang mempunyai intensitas relatif rendah terjadi di selatan Cianjur Jawa Barat, Selat Sunda,selatan Sukabumi Jawa Barat, Lebak Banten., dan selatan Pandeglang Jawa Barat.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang berpotensi terjadi gempa bumi, sebab Indonesia berada diantara tiga lempeng tektonik yang besar, yaitu lem-peng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Lempeng Indo-Australia bertabrakan dengan lempeng Eurasia di lepas pantai Sumatra, Jawa, dan Nusa Tenggara, sedangkan lempeng Indo-Australia berta-brakan dengan lempeng Pasifik di utara Irian dan Maluku Utara. Di sekitar perte-muan lempeng ini, energi tabrakannya terakumulasi sampai lapisan bumi tidak bisa menahan tumpukan energi sehingga lepas berupa gempa bumi (Ikhsani [1]).

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang bersifat acak baik dalam ruang maupun waktu. Gempa bumi yang sifatnya acak masih terus dikaji baik dari aspek seismologi maupun aspek stokastik. Kedua aspek tersebut dapat dipelajari dalam statistik seismologi. Istilah statistik seis-mologi pertama kali diperkenalkan oleh Aki pada tahun 1956 (Yilmaz [7]), kemudian diadopsi oleh Vere-Jones [6]. Subyek utama dalam statistik seismologi adalah proses stokastik. Salah satu proses stokastik yang dapat menjelaskan fenome-na gempa bumi adalah proses titik. Pada proses titik, gempa bumi dipandang sebagai kumpulan titik-titik acak dalam suatu ruang, dimana masing-masing titik menyatakan waktu atau/dan lokasi dari suatu kejadian (Sunusi dkk. [4]).

Teori *elastic rebound* yang diusulkan oleh Reid (Lu *et al.* [2]) adalah teori klasik untuk kejadian gempa bumi. Teori ini menunjukkan tekanan elastis di daerah seismik terakumulasi akibat pergerakan lempeng tektonik dan dilepaskan ketika tekanan melebihi batas kekuatan lempeng. Teori ini juga menunjukkan bahwa gempa besar biasanya diikuti oleh periode pasif, sedangkan pada kenyataannya gempa besar diikuti oleh periode aktif dan kadang-kadang diikuti gempa-gempa yang memiliki magnitudo yang hampir sama (Lu *et al*. [2].

Berdasarkan teori *elastic rebound*, Vere-Jones [6] pada tahun 1978 mengem-bangkan model proses titik menjadi model *stress release*. Model ini mempertimbang-kan tekanan yang meningkat secara linear di suatu daerah dan tekanan yang dilepaskan saat terjadi gempa bumi pada periode tertentu (Varini, *et al* [5]).

Menurut Ogata [3], fungsi intensitas bersyarat pada proses titik didefinisikan sebagai turunan dari probabilitas terjadinya gempa bumi. Pembahasan model proses titik khususnya model *stress release* melalui fungsi intensitas bersyarat, diharapkan dapat memberikan informasi mengenai probabilitas terjadinya gempa bumi berdasarkan historisnya. Pada penelitian ini dilakukan estimasi fungsi intensitas bersyarat model *stress release* dan diterapkan pada data gempa bumi di Pulau Jawa.

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan.

1. Mengestimasi fungsi intensitas bersyarat pada model *stress release*.
   a. Menentukan variabel acak dari suatu kejadian gempa bumi.
   b. Menentukan fungsi densitas pro-babilitas dari variabel acak.
   c. Menentukan fungsi *likelihood* dari fungsi densitas probabilitas.
   d. Menentukan logaritma dari fung-si *likelihood*.
   e. Menentukan turunan pertama dari fungsi logaritma *likelihood*dan dicari penyelesaiannya de-ngan metode Newton Raphson.
   f. Menentukan turunan kedua dari fungsi logaritma *likelihood*, ke-mudian mensubstitusikan penye-lesaian ke turunan kedua.
2. Menerapkan pada data gempa bumi di Pulau Jawa periode Januari 1993 sampai Desember 2016.
   a. Menentukan nilai estimasiparameter berdasarkan data.
   b. Menentukan estimasi fungsi intensitas bersyarat model *stress release* berdasarkan nilai estimasi parameter.
   c. Melakukan analisis berdasarkan bagian 2(b)..

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas model *stress release*, fungsi intensitas bersyarat model *stress release*, dan estimasi fungsi intensi-tas bersyarat model *stress release* meng-gunakan metode *likelihood* maksimum. Selanjutnya, metode tersebut diterapkan untuk estimasi parameter fungsi intensitas bersyarat model *stress release* pada data gempa bumi di Pulau Jawa.

3.1. Model *Stress Release*

Teori *elastic rebound* menjelaskan bahwa tekanan elastis di daerah seismik terakumulasi akibat pergerakan lempeng tektonik dan dilepaskan ketika tekanan melebihi batas kekuatan lempeng dalam bentuk gempa bumi. Berdasarkan teori ini, Vere-Jones [6] pada tahun 1978 mengembangkan model proses titik menjadi model *stress release*.

Menurut Vere-Jones [6], variabel yang penting dalam model *stress release* adalah tekanan di suatu daerah yang mengontrol probabilitas terjadinya gempa bumi.Lu, *et al.* [2] menjelaskan bahwa tekanan yang dilepaskan pada waktu t yaitu $X(t)$ adalah selisih antara akumu-lasi tekanan yang meningkat secara linear dengan *loading rate*ρ dan akumulasi tekanan yang dilepaskan pada periode $(0, t]$ atau dapat ditulis

ISSN 2407-9189

$$X(t) = X(0) + \rho t - S(t), \quad (3.1)$$

dimana $X(0)$ adalah tekanan awal, ρ adalah *loading rate*, dan $S(t)$ adalah akumulasi tekanan yang dilepaskan oleh semua kejadian pada periode $(0, t]$ yaitu $S(t) = \sum_{i;t_i<t} S_i$. Notasi t_i dan S_i masing-masing menyatakan waktu dan tekanan yang dilepaskan saat kejadian ke-i. Nilai tekanan yang dilepaskan saat kejadian ke- i yaitu

$$S_i = 10^{0.75(M_i - M_0)},$$

dengan M_i adalah magnitudo saat kejadian ke-i dan M_0 adalah batas bawah magnitudo.Persamaan (3.1) disebut sebagai model *stress release*.

3.2. Fungsi Intensitas Bersyarat Model *Stress Release*

Fungsi hazard $\psi(x)$ menyatakan probabilitas terjadinya gempa bumi dalam interval waktu $(t, t+dt)$ mende-kati $\psi(X(t))dt + o(dt)$ untuk dt yang cukup kecil. Diasumsikan fungsi hazard $\psi(x)$ merupakan fungsi eksponensial yang berbentuk

$$\psi(x) = \exp(\alpha + \beta x),$$

dengan $\alpha \in \mathbb{R}$ dan $\beta \geq 0$. Parameter α menggambarkan nilai tekanan awal dan parameter β menggambarkan gabungan dari kekuatan dan heterogenitas dari kerak bumi di daerah tersebut.

Probabilitas terjadinya gempa bumi dapat ditentukan menggunakan model *stress release* melalui fungsi intensitas bersyarat. Fungsi intensitas bersyarat pada model *stress release* dengan syarat *history*$\mathcal{H}_t = \{(t_i, M_i); i = 1, 2, \ldots, n\}$merupakan fungsi hazard dari tekanan $X(t)$ atau dapat dinyatakan sebagai

$$\lambda(t|\mathcal{H}_t) = \psi(X(t)) = \exp(\alpha + \beta(X(0) + \rho t - S(t)). \quad (3.2)$$

Misalkan $a = \alpha + \beta X(0)$, $b = \beta\rho$, dan $c = \frac{1}{\rho}$maka persamaan (3.2) dapat ditulis

$$\lambda(t|\mathcal{H}_t) = \exp(a + b(t - cS(t))). \quad (3.3)$$

Persamaan (3.3)disebut fungsi intensitas bersyarat pada model stress release.

3.3. Estimasi Parameter Fungsi Intensitas Bersyarat Model *Stress Release*

Misalkan $\boldsymbol{\theta} = (a, b, c)^T$ adalah vektor parameter dari fungsi intensitas bersyarat pada model *stress release*. Misalkan $X_1, X_2, \ldots, X_N$dan $x_1, x_2, \ldots, x_N$masing-masing adalah variabel random dan sampel pengamatan independen yang berdistribusi identik.Diasumsikan pengamatan sampai kejadian ke-$(i-1)$ dari t_{i-1} waktu kejadian dengan *history* kejadian, $\mathcal{H}_{t_i}$. Akan ditentukan distribusi probabilitas dari waktu kejadian selanjutnya, t_i. Probabilitas terdapat satu kejadian saat t_i lebih besar dari waktu t adalah

$$P(T_i > t|\mathcal{H}_{t_i}) = \exp\left(-\int_{t_{i-1}}^{t} e^{a+b(u-cS(u))} du\right)$$

.

Probabilitas kumulatifnya adalah

$$F(t|\mathcal{H}_{t_i}) = 1 - \exp\left(-\int_{t_{i-1}}^{t} e^{a+b(u-cS(u))} du\right). \quad (3.4)$$

Dengan menurunkan persamaan (3.4) terhadap t, diperoleh fungsi densitas probabilitas yaitu

$$f(t|\mathcal{H}_{t_i}) = e^{a+b(t-cS(t))} \exp\left(-\int_{t_{i-1}}^{t} e^{a+b(u-cS(u))} du\right).$$

Fungsi *likelihood* dari kejadian proses titik pada fungsi intensitas bersyarat model *stress release* adalah

$$L(\boldsymbol{\theta}) = \left(\prod_{i=1}^{N} e^{a+b(t_i - cS(t_i))}\right) \exp\left(-\int_0^T e^{a+b(u-cS(u))} du\right).$$

Fungsi *likelihood* merupakan fungsi eksponensial sehingga untuk memudah-kan perhitungan, fungsi *likelihood* diubah menjadi fungsi logaritma *likelihood*. Fungsi logaritma *likelihood*-nya adalah

$$\log L(\boldsymbol{\theta}) = \sum_{i=1}^{N} \left(a + b(t_i - cS(t_i))\right)$$

$$+\frac{e^a}{b}-\frac{e^{a+b(T-cS(T))}}{b}.$$

Untuk memperoleh nilai parameter yang memaksimumkan fungsi logaritma *likelihood* dapat ditentukan dari penyele-saian turunan pertama terhadap masing-masing parameter dinyatakan sebagai

$$\frac{\partial \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial a}=N+\frac{e^a}{b}-\frac{e^{a+b(T-cS(T))}}{b}$$

$$\frac{\partial \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial b}=\sum_{i=1}^{N}(t_i-c\,S(t_i)) -\frac{(t-cS(T))e^{a+b(T-cS(T))}}{b} -\frac{e^a}{b^2}+\frac{e^{a+b(T-cS(T))}}{b^2} \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial c}=-b\sum_{i=1}^{N}S(t_i) +S(T)e^{a+b(T-cS(T))}.$$

Turunan kedua fungsi logaritma *likelihood* terhadap masing-masing parameter dinyatakan sebagai

$$\frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial a^2}=\frac{e^a}{b}-\frac{e^{a+b(T-c\,S(T))}}{b},$$

$$\frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial a\partial b}=\frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial b\partial a} =\frac{(T-c\,S(T))e^{a+b(T-cS(T))}}{\partial b\partial a}-\frac{e^a}{b^2} +\frac{e^{a+b(T-cS(T))}}{b^2},$$

$$\frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial a\partial c}=\frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial c\partial a} =S(T)e^{a+b(T-cS(T))},$$

$$\frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial b^2}=-\frac{(T-cS(T))^2e^{a+b(T-c\,S(T))}}{b} +\frac{2(T-cS(T))e^{a+b(T-cS(T))}}{b^2} +\frac{2e^a}{b^3}-\frac{2e^{a+b(T-c\,S(T))}}{b^3},$$

$$\frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial b\partial c}=\frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial c\partial b} =-\sum_{i=1}^{N}S(t_i) +T\,S(T)e^{a+b(T-cS(T))} -c\,S(T)^2e^{a+b(T-c\,S(T))} -S(T)e^{a+b(T-cS(T))},$$

$$\frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial c^2}=-b\,S(T)^2e^{a+b(T-cS(T))}.$$

Untuk nilai parameter yang diperoleh dari penyelesaian sistem (3.5), turunan kedua fungsi logaritma *likelihood*adalah definit negatif sehingga penyelesaian yang diperoleh merupakan penyelesaian yang maksimum.

Estimasi parameter fungsi intensitas bersyarat pada model *stress release* dapat ditentukan dari penyelesaian sistem (3.5). Sistem (3.5) merupakan sistem persa-maan nonlinear. Penyelesaian eksak sistem (3.5) sulit ditentukan sehingga ditentukan secara numerik dengan metode Newton Raphson.

Metode Newton Raphson membu-tuhkan vektor gradien dan matriks Hessi-an. Vektor gradien merupakan vektor yang elemennya turunan pertama fungsi logaritma *likelihood* terhadap masing-masing parameteryang dinyatakan seba-gai

$$\boldsymbol{g}=\begin{bmatrix}\frac{\partial \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial a}\\ \frac{\partial \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial b}\\ \frac{\partial \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial c}\end{bmatrix}.$$

Matriks Hessian merupakan matriks yang elemen-elemennya terdiri dari turunan kedua fungsi logaritma *likelihood* terha-dap masing-masing parameter yang di-nyatakan sebagai

$$\boldsymbol{H}=\begin{bmatrix}\frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial a^2} & \frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial a\partial b} & \frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial a\partial c}\\ \frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial b\partial a} & \frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial b^2} & \frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial b\partial c}\\ \frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial c\partial a} & \frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial c\partial b} & \frac{\partial^2 \log L(\boldsymbol{\theta})}{\partial c^2}\end{bmatrix}.$$

Berikut adalah algoritme Newton Raphson untuk mengestimasi fungsi intensitas bersyarat model *stress release*.

1. Meng-*input* data waktu dan tekanan.
2. Inisialisasi nilai $m=0$.
3. Meng-*input* nilai parameter awal.
4. Menentukan batas eror.
5. Menghitung elemen vektor gradien dan matriks Hessian.

ISSN 2407-9189

6. Menghitung vektor parameter $\boldsymbol{\theta}_{m+1}$ berdasarkan persamaan $\boldsymbol{\theta}_{m+1} = \boldsymbol{\theta}_m + \boldsymbol{H}_m^{-1}\boldsymbol{g}_m$dengan $m = 0, 1, 2, \ldots.$
7. Menghitung $\|\boldsymbol{\theta}_{m+1} - \boldsymbol{\theta}_m\|$.
8. Mengecek apakah $\|\boldsymbol{\theta}_{m+1} - \boldsymbol{\theta}_m\| > e$.Jika ya, maka proses iterasi menuju langkah (9). Jika tidak, maka proses iterasi menuju langkah (11).
9. Menampilkan hasil iterasi $\boldsymbol{\theta}_{m+1}$, lalu menuju langkah (10).
10. Mengubah $\boldsymbol{\theta}_{m+1} = \boldsymbol{\theta}_m$ dan $m + 1 = m$, lalu kembali menuju langkah (5).
11. Menampilkan hasil iterasi $\boldsymbol{\theta}_{m+1}$ dan iterasi berhenti.

Setelah iterasi berhenti, diperoleh barisan vektor yang merupakan hasil estimasi fungsi intensitas bersyarat pada model *stress release* yaitu $\widehat{\boldsymbol{\theta}} = \boldsymbol{\theta}_{m+1}$ dengan $\widehat{\boldsymbol{\theta}} = (\hat{a}, \hat{b}, \hat{c})^T$.Setelah nilai estimasi diperoleh, fungsi intensitas bersyarat pada model *stress release* dinyatakan dengan

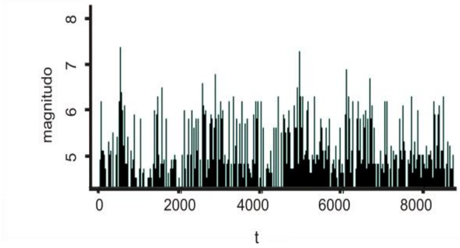
$$\hat{\lambda}(t|\mathcal{H}_t) = \exp\left(\hat{a} + \hat{b}\left(t - \hat{c}S(t)\right)\right).$$

3.4. Penerapan

Pada bagian ini diberikan penerapan fungsi intensitas bersyarat model *stress release*pada data gempa bumi di Pulau Jawa. Data gempa bumi tersebut merupa-kan data sekunder yang bersumber dari *United States Geological Survey*. Data gempa bumi ini memuat t_i dan M_i, dengan t_i menyatakan waktu terjadinya gempa bumi ke-i dan M_i menyatakan magnitudo dari gempa bumi ke-i. Periode terjadinya gempa bumi ini dari bulan Januari 1993 sampai Desember 2016 dengan magnitudo≥ 4.5. SR dan kedala-man ≤ 70 km.

Pulau Jawa terletak diantara $6^0 - 11^0$LS dan $105^0 - 114^0$ BT. Aktivitas tektonik di Pulau Jawa didominasi oleh pergereakan lempeng Indo-Australia yang relatif bergerak ke utara bertumbukan dengan lempeng Eurasia. Penumjaman lempeng Indo-Australia berkisar 100-200 km dibawah permukaan air laut. Tunjaman lempeng tersebut mengakibatkan pergerakan unsur batuan. Kondisi ini menyebabkan Pulau Jawa lebih berpotensi terjadi gempa bumi dibandingkan dengan wilayah-wilayah lain.

Plot magnitudo dan waktu untuk data gempa bumi di Pulau Jawa disajikan pada Gambar 1.



Gambar 3.1. Plot magnitudo dan waktu untuk data gempa bumi di Pulau Jawa

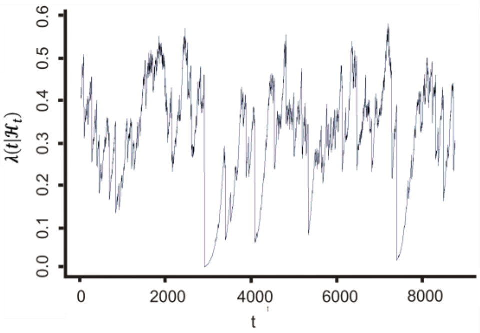
Berdasarkan Gambar 1, terdapat lima gempa bumi di Pulau Jawa yang memiliki magnitudo terbesar yaitu Banyuwangi Jawa Timur pada 2 Juni 1994 dengan magnitudo 7.4 SR, di Selat Sunda pada 25 Oktober 2000 dengan magnitudo 6.8 SR, di Ciamis dan Cilacap pada 17 Juli 2006 dengan magnitudo 7.3 SR, di Tasikmalaya dan Cianjur pada 2 September 2009 dengan magnitudo 6.9 SR, dan di laut selatan Pulau Jawa pada 3 April 2011 dengan magnitudo 6.7 SR.

Berdasarkan persamaan (3.2), vektor parameter fungsi intensitas bersyarat pada model *stress release* adalah $\boldsymbol{\theta} = (a, b, c)^T$. Kemudian dilakukan estimasi fungsi intensitas bersyarat pada model *stress release* menggunakan metode *likelihood* maksimum dan Newton Raphson. Nilai awal yang digunakan adalah $\boldsymbol{\theta} = (0.91, 0.01, 0.80)^T$. Hasil estimasi parameter dengan toleransi eror 0.00001 diperoleh pada iterasi ke-25.

Hasil estimasi fungsi intensitas bersyarat model*stress release*padadata gempa bumi di Pulau Jawa adalah $\hat{\boldsymbol{\theta}} = (-0.86378, 0.01064, 0.80055)^T$. Berdasarkanhasil estimasi tersebut, fungsi intensitas bersyarat model *stress release*pada data gempa bumi di Pulau Jawa adalah

$$\lambda(t|\mathcal{H}_t) = \exp\left(-0.86378 + 0.01064\left(t - 0.80055\ S(t)\right)\right).$$

Plot fungsi intensitas bersyarat model *stress release*pada data gempa bumi di Pulau Jawa disajikan pada Gambar 2.



Gambar 3.2. Plot fungsi intensitas bersyarat model *stress release*pada data gempa bumi di Pulau Jawa

Berdasarkan Gambar 2, terdapat lima gempa bumi dengan intensitas relatiftinggi yaitudi selatan Sukabumi Jawa Barat pada 25 Desember 1997sebesar 0.55, di Banyuwangi Jawa Timur pada 18 Agustus 1999 sebesar 0.57, di laut selatan Pulau Jawa pada 20 Februari 2006 sebesar 0.56,di laut selatan Pulau Jawa pada 14 November 2009 sebesar 0.54, dan di selatan Garut Jawa Barat pada 30 Oktober 2013 sebesar 0.58. Terdapat lima gempa bumi dengan intensitas relatif rendah yaitudi selatan Cianjur Jawa Barat pada 17 November 2000 sebesar 0, di Selat Sunda pada 17 Maret2002 sebesar 0.07, di selatan Sukabumi Jawa Barat pada 4 Februari 2004 sebesar 0.06, di Lebak Banten pada 25 Juli 2007 sebesar 0.08, dan di selatan Pandeglang Banten pada 9 Januari 2014 sebesar 0.02.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan diperoleh kesimpulan bahwa

1) Fungsi intensitas bersyarat pada model *stress release*dapat dinyatakan dengan
$$\hat{\lambda}(t|\mathcal{H}_t) = \exp\left(\hat{a} + \hat{b}\left(t - \hat{c}S(t)\right)\right).$$
2) Hasil estimasi fungsi intensitas model *stress release* pada data gempa bumi di Pulau Jawa adalah
$\hat{\boldsymbol{\theta}} = (-0.86378, 0.01064, 0.80055)^T$.
Berdasarkan hasil estimasi tersebut, diperoleh fungsi intensitas bersyarat model *stress release* yang dinyatakan sebagai
$$\hat{\lambda}(t|\mathcal{H}_t) = \exp\left(-0.86378 + 0.01064\left(t - 0.80055\ S(t)\right)\right)$$
. Gempa bumi dengan intensitas relatif tinggi terjadi di selatan Sukabumi Jawa Barat, Banyuwangi Jawa Timur, laut selatan Pulau Jawa, dan selatan Garut Jawa Barat. Gempa bumi dengan intensitas relatif rendah terjadi di selatan Cianjur Jawa Barat, Sealat Sunda, selatan Sukabumi Jawa Barat, Lebak Banten, dan selatan Pandeglang Jawa Barat.

REFERENSI

[1] Ikhsani M.A. Proses Terbentuknya Kepulauan Indonesia. 2011. [diakses pada 19 Maret 2017]. Diambil dari:*http://princevanjavaberbagicerita.blogspot.co.id/2011/12/terbentuknya-zamrud-khatulistiwa.html*

[2] Lu C, Harte D, Bebbington M. ALinked Stress Release Model for Historical Japanese Earthquake: Coupling among Major Seismic Regions.*Earth Planets Space*. 1999; 51: 907-916.

[3] Ogata Y. Seismicity Analysis Through Point Process Modeling: A Review.Pure andApplied Geophysics (1999), no. 155, 471–507.

[4] Sunusi N, Jaya A K, Islamiyati A, Raupong.Studi Temporal Point Process pada Analisa Prakiraan Peluang Waktu Kemunculan Gempa, Mitigasi dan Manajemen Sumber Daya Alam. Research report. Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Hasannudin. Makassar; 2013.

ISSN 2407-9189

[5] Varini E, Rotondi R, Basili R, Barba S. Stress Release Model and Proxy Measures of Earthquake Size: Application to Italian SeismogenicSources. *Tectonophysics*. 2016; 682: 147-168.

[6] Vere-Jones D. Forecasting Earthquakes and Earthquakes Risk.*International Journal of Forecasting.* 1995; 11: 503-538.

[7] Yilmaz V. Probabilistic Prediction of the Next Earthquake in the Nafz. Dogus Universitesi Dergisi, Turkey. 2004; 5: 243-250.

ISSN 2407-9189