

# PEMETAAN DAERAH RENTAN GEMPA BUMI SEBAGAI DASAR PERENCANAAN TATA RUANG DAN WILAYAH DI PROVINSI SULAWESI BARAT

**Marinda Noor Eva, Riski Kurniawan, Sismanto**  
Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

## Abstrak

Penelitian mengenai daerah rawan gempabumi menggunakan metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) di Provinsi Sulawesi Barat bertujuan untuk memetakan tingkat kerawanan bahaya gempabumi di Kabupaten Mamasa. Penelitian ini menggunakan data kejadian gempabumi di Pulau Sulawesi dan sekitarnya dari tahun 1900 – 2015. Hasil pengolahan PSHA menggunakan software Ez-Frisk 7.52 menghasilkan nilai hazard di batuan dasar pada kondisi PGA ( $T = 0,0$  sekon) dengan periode ulang 500 tahun dan 2500 tahun berkisar antara (149,54 – 439,45) gal dan (287,18 – 762,81) gal. Nilai hazard di batuan dasar dengan kondisi spektra  $T = 0,2$  sekon untuk periode ulang 500 tahun dan 2500 tahun adalah (307,04 – 1010,90) gal dan (569,48 – 1849,78) gal. Nilai hazard di batuan dasar dengan kondisi spektra  $T = 1,0$  sekon untuk periode ulang 500 tahun dan 2500 tahun diperoleh nilai (118,01 – 265,75) gal dan (223,74 – 510,92) gal. Berdasarkan analisis PSHA, nilai PGA di provinsi Sulawesi Barat dominan dipengaruhi oleh sumber gempa sesar.

**Kata kunci:** PSHA, PGA, kerentanan, hazard, Sulawesi Barat

## Abstract

Research on earthquake-prone areas using the Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) method in West Sulawesi Province have aim to map the degree of vulnerability of earthquake hazards in Mamasa Regency. This study used earthquake occurrence data on Sulawesi Island and its surrounding area from 1900 to 2015. The results of PSHA processing using Ez-Frisk 7.52 software is in hazard value in bedrock on PGA condition ( $T = 0,0$  second) with return period 500 years and 2500 years about (149.54 - 439.45) gal and (287.18 - 762.81) gal. The hazard values in the bedrock with the spectral conditions  $T = 0.2$  second for the 500 years and 2500 years retrospective periods are (307.04 - 1010.90) gal and (569.48 - 1849.78) gal. The Hazard values in bedrock with  $T = 1.0$  second for the return period of 500 years and 2500 years is about (118.01 - 265.75) gal and (223.74 - 510.92) gal. Based on PSHA analysis, the value of PGA in West Sulawesi province is dominantly influenced by fault cesarean section.

**Keywords:** PSHA, PGA, Vulnerability, hazard, West Sulawesi

## 1. Pendahuluan

Gempabumi terjadi di daerah pertemuan lempeng, yaitu antara lempeng benua dan lempeng samudra. Secara geografis, Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng besar dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia di bagian selatan, Lempeng Pasifik di bagian timur, dan lempeng Eurasian di bagian utara. Pertemuan tiga lempeng besar dan sembilan lempeng kecil menjadikan Indonesia berada pada zona tektonik aktif [1]. Perbedaan tatanan tektonik membuat setiap pulau di Indonesia memiliki aktivitas seismik yang berbeda. Pulau Sulawesi merupakan daerah yang kompleks karena merupakan tempat pertemuan tiga lempeng besar, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia serta lempeng yang lebih kecil yaitu lempeng Filipina.

Pulau Sulawesi mendapat tekanan dari luar sehingga terjadi deformasi secara terus menerus, seperti tekanan dari Laut Flores di bagian selatan mengaktifkan Sesar Palu-Koro dan Walanae. Tekanan Banggai-Sula dan Laut Banda dari timur mengaktifkan Sesar Matano, Batui, Lawanopo dan Kolaka. Tekanan Laut Sulawesi dari utara mengaktifkan subduksi Laut Sulawesi dan Sesar Gorontalo [2].

Sebagai provinsi yang sedang berkembang, perlu diperlukan pemetaan kondisi kegempaan di Sulawesi Barat sebagai pedoman tata ruang dan wilayah. Salah satu parameter yang dapat menggambarkan kondisi kegempaan di suatu wilayah adalah nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA). Sehingga perlu dilakukan pemetaan PGA menggunakan metode PSHA untuk mengakomodasi perhitungan efek dari tiap sumber gempa.

## 2. Metode Penelitian

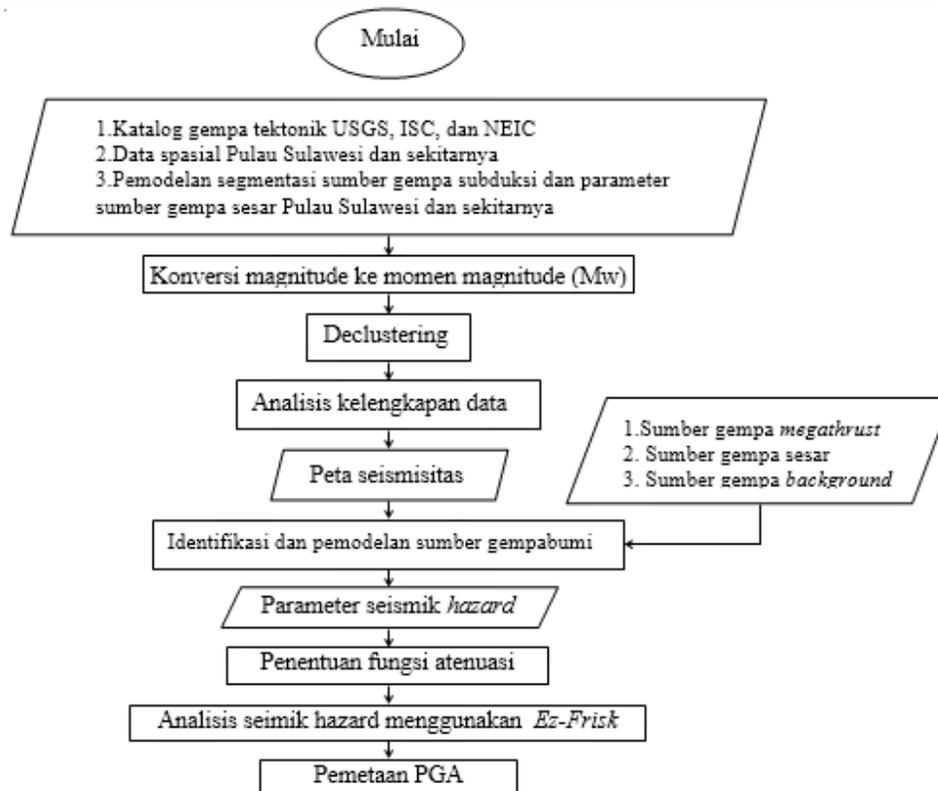
Secara umum metode penelitian dilakukan sesuai Gambar 1. Pengolahan menggunakan metode PSHA dilakukan dengan bantuan software Ez-Frisk 7.52. Analisis seismik hazard dengan menggunakan metode PSHA dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu:

### 2.1 Pengumpulan data gempa

Data gempabumi selama 115 tahun pada koordinat  $-5^{\circ}$  LU -  $10^{\circ}$  LS dan  $91^{\circ}$  BT -  $135^{\circ}$ BT diperoleh dari katalog gempabumi USGS, ISC dan ANSS. Data yang digunakan berupa kedalaman maksimum 300 km dan magnitudo  $\geq 5 M_w$ . Hal ini disebabkan gempa-gempa yang terjadi dengan kedalaman lebih dari 300 km dan magnitudo kurang dari  $5 M_w$  tidak menimbulkan kerusakan yang parah dipermukaan.

### 2.2 Konversi skala magnitudo

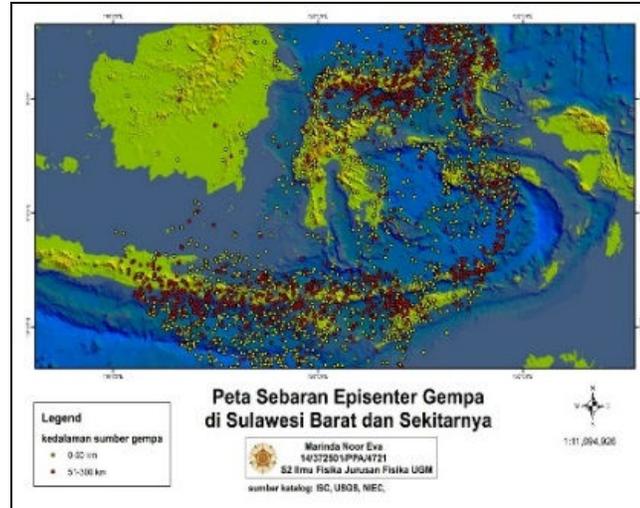
Adanya perbedaan skala magnitudo mengharuskan penggunaan suatu metode sebagai acuan dalam menyamakan skala menjadi satu skala yang sama sebelum digunakan dalam analisis resiko gempa. Dalam penelitian ini, skala magnitudo dikonversikan kedalam skala magnitudo momen (*moment magnitude,  $M_w$* ). Momen magnitudo merupakan besaran magnitudo gempa yang terbaik dan konsisten dalam menunjukkan besar kekuatan gempa daripada magnitudo lain [3].



Gambar 1. Flowchart pengolahan data PSHA.

### 2.3 Identifikasi gempabumi

Proses identifikasi gempabumi dilakukan dengan memisahkan antara gempa utama dengan gempa susulan terhadap data rekaman berdasarkan kriteria rentang waktu dan jarak (*declustering*). Kriteria untuk mengidentifikasi gempabumi telah diteliti oleh Gardner dan Knopoff [4]. Pemisahan gempabumi utama dibantu menggunakan *software ZMAP* [5]. Hasil pengolahan ini menghasilkan gempabumi utama yang disajikan pada Gambar 2.



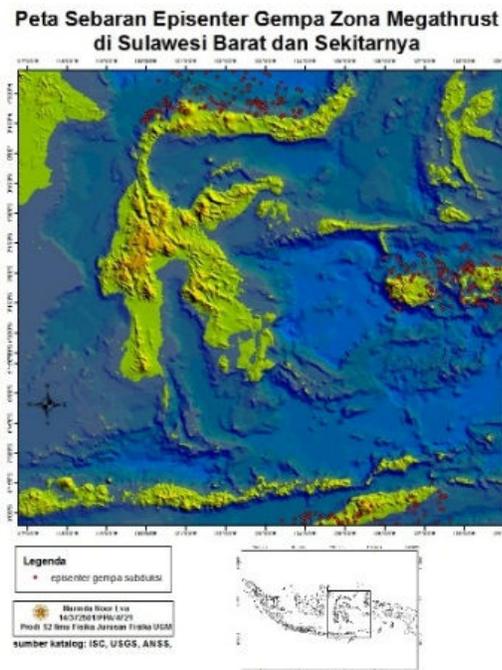
Gambar 2. Peta persebaran Episenter gempa utama di daerah penelitian

#### 2.4 Pemodelan Sumber Gempa

Pemodelan sumber gempa dalam penelitian ini berdasarkan tiga model sumber gempa, yaitu sumber gempa subduksi, sesar, dan background. Sumber gempa *background* dibagi menurut interval kedalamannya menjadi gempa *shallow background* dan *deep background (benioff)*. Penjelasan zona model sumber gempa pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Sumber gempa subduksi

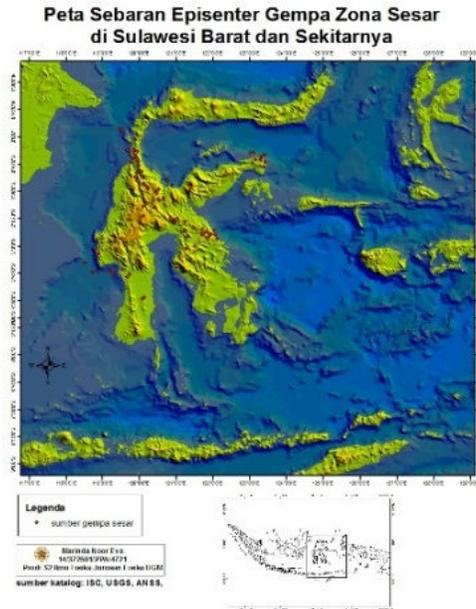
Sumber gempa subduksi adalah model yang didapat dari data seismotektonik yang sudah teridentifikasi. Batas kedalaman dimodelkan hingga 50 km (*megathrust*). Hasil pemodelan sumber gempa subduksi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta sebaran episenter gempa di zona megathrust

b. Sumber gempa sesar

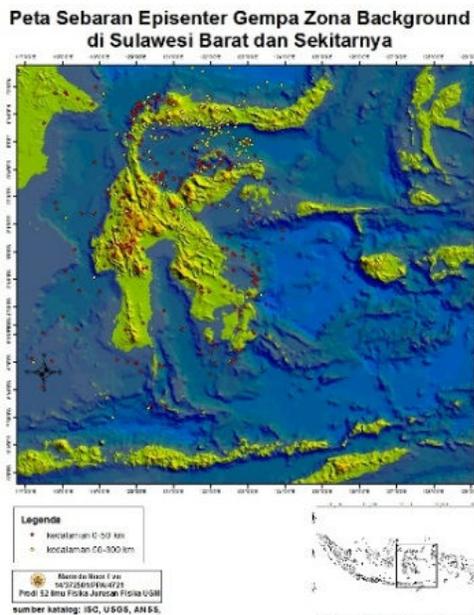
Sumber gempa sesar merupakan sumber kejadian gempabumi yang diakibatkan oleh adanya pergerakan sesar atau patahan dangkal. Sumber data dari parameter sesar yang dipergunakan merupakan sesar yang telah teridentifikasi dengan jelas berdasarkan dari data-data peneliti yang sudah dipublikasikan. Berikut Gambar 4 menunjukkan episenter sumber gempa sesar di daerah penelitian.



**Gambar 4.** Peta sebaran episenter gempa di zona sesar

c. Sumber gempa *background*

Pemodelan gempa *background* merupakan pemodelan gempa yang digunakan untuk memprediksi gempabumi pada suatu daerah yang belum banyak dijumpai data seismiknya akan tetapi pernah terjadi gempa di daerah itu. Pemodelan untuk sumber gempa *background* menggunakan model *gridded seismicity*. Berikut Gambar 5 menunjukkan episenter sumber gempa sesar di daerah penelitian.



**Gambar 5.** Peta sebaran episenter gempa *background*

## 2.5 Penentuan Parameter $a$ dan $b$ .

Parameter  $a$  dan  $b$  merupakan parameter yang digunakan untuk memprediksi nilai maksimum gempa dari sumber gempa. Parameter ini ditentukan dengan menggunakan metode *maximum likelihood* [6] dengan bantuan *software ZMAP*.

## 2.6 Fungsi Atenuasi

Fungsi atenuasi didasarkan pada kesamaan kondisi geologi suatu tempat dan kondisi tektoniknya. Wilayah Indonesia belum ada data yang digunakan untuk menurunkan fungsi atenuasi, sehingga diperlukan data dari wilayah lain yang memiliki kemiripan sifat geologi dan seismotektonik dengan wilayah yang akan diteliti di Indonesia. Fungsi atenuasi terbaru yang dikembangkan saat ini sudah menggunakan *Next Generation Attenuation* (NGA), dimana atenuasi ini dibuat dengan didasarkan pada data gempa global (*worldwide data*). Pemilihan fungsi atenuasi disesuaikan pada mekanisme sumber gempa yang sudah dimodelkan. Fungsi atenuasi yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1 Fungsi atenuasi untuk model sumber gempa [7]**

Sumber	Fungsi Atenuasi
Subduksi	Youngs et al
Interface (megathrust)	Zhao et al Atkinson-Boore, Worldwide
Subduksi intraslab (benioff)	Atkinson-Boore, Worldwide Atkinson-Boore, Cascadia Youngs et al
Sesar & shallow background	Campbell-Bozorgnia, NGA Boore-Atkinson, NGA Chiou-Youngs, NGA

## 2.7 Probabilistic Seismic Hazard Analysis

Metode PSHA memberikan ruang kerja yang memungkinkan faktor ketidakpastian dapat diidentifikasi, diukur dan digabungkan pada suatu hubungan yang rasional untuk menghasilkan gambaran yang lebih rinci dalam perhitungan risiko gempa [8]. PSHA dilakukan untuk mengetahui risiko tingkat gerakan tanah secara kuantitatif dengan berdasar pada teorema probabilitas total. Teori probabilitas total mengasumsikan magnitudo  $M$  dan jarak  $R$  sebagai variabel acak independen yang menerus [9], dapat dinyatakan sebagai berikut

$$P[I \geq i] = \iint_{r,m} P[I \geq i | m \text{ dan } r] f_M(m) f_R(r) dm dr \quad (1)$$

dengan  $f_M$  adalah fungsi distribusi dari magnitudo,  $f_R$  adalah fungsi distribusi dari jarak hiposenter dan  $P[I \geq i | m \text{ dan } r]$  adalah probabilitas bersyarat dari intensitas  $I$  yang melampaui nilai  $I$  pada suatu lokasi yang ditinjau untuk kejadian gempa dengan magnitudo  $M$  dan jarak  $R$ .

## 3. Hasil dan Analisis

*Hazard* dikaitkan dengan salah satu parameter *ground motion* yaitu percepatan getaran di batuan dasar (*Peak Ground Acceleration* dan *Spectral Acceleration*). Percepatan yang ditimbulkan oleh gempa dengan periode ulang tertentu sebagai representasi *hazard* yang mungkin terjadi di suatu lokasi dengan asumsi bahwa percepatan pada lokasi penelitian memiliki distribusi *poisson* dengan laju tahunan rata-rata (*annual of rate exceedance*). Nilai PGA dan SA dalam metode PSHA diperoleh dari rumusan hubungan prediksi gerakan tanah atau yang sering disebut fungsi atenuasi.

### 3.1. Peta *Hazard* Untuk Sumber Gempa *Megathrust*

Nilai PGA tinggi terletak pada Provinsi Sulawesi Barat bagian utara yang merupakan daerah yang dekat dengan zona *megathrust* segmen Sulawesi Utara. Sebaran nilai PGA di Provinsi Sulawesi Barat untuk periode ulang 500 tahun berkisar antara 2,05 hingga 2,84 gal sedangkan untuk periode ulang 2500 tahun adalah 3,73 hingga 7,19 gal.

**3.2. Peta Hazard Untuk Sumber Gempa Sesar**

Nilai PGA tinggi terdapat pada wilayah di sekitar zona aktif Sulawesi Barat yaitu sebelah selatan (dipengaruhi oleh aktivitas sesar Makasar dan Palukoro) dan semakin mengecil secara signifikan terhadap jarak. Sebaran nilai PGA di Provinsi Sulawesi Barat untuk periode ulang 500 tahun berkisar antara 150,77 hingga 936,25 gal, sedangkan untuk periode ulang 2500 tahun adalah 274,22 hingga 1737,71 gal.

**3.3. Peta Hazard Untuk Sumber Gempa Shallow background**

Sebaran nilai PGA di Provinsi Sulawesi Barat untuk periode ulang 500 tahun berkisar antara 23,96 hingga 125,16 gal, sedangkan untuk periode ulang 2500 tahun adalah 36,36 hingga 335,03 gal.

**3.4. Peta Hazard Untuk Sumber Gempa Deep background (Benioff)**

Sebaran nilai PGA di Provinsi Sulawesi Barat untuk periode ulang 500 tahun berkisar antara 103,02 hingga 240,55 gal, sedangkan untuk periode ulang 2500 tahun adalah 225,43 hingga 470,26 gal.

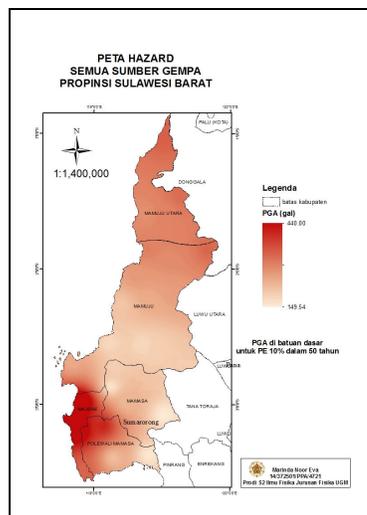
Nilai PGA tinggi yang didominasi oleh sumber gempa sesar bersesuaian dengan geologi Pulau Sulawesi yang kaya akan struktur patahan akibat subduksi dari arah utara, selatan, dan timur.

**4. Kesimpulan**

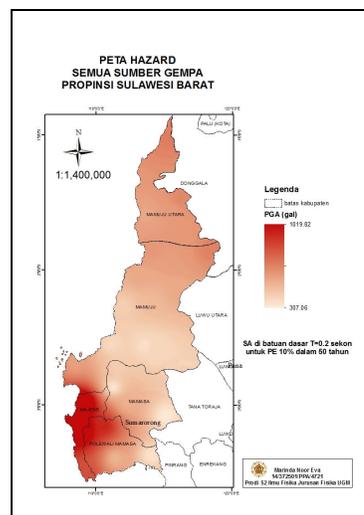
Peta kerawanan bahaya gempabumi berdasarkan hasil PSHA di Provinsi Sulawesi Barat ditunjukkan Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11, dengan hasil ringkasan PGA dan SA disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3 Hasil pengolahan untuk semua sumber gempa**

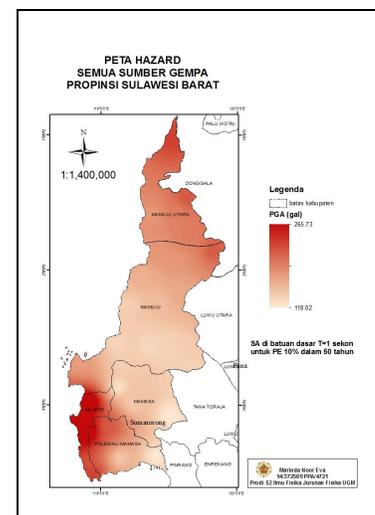
No	Sumber Gempa	Nilai PGA untk periode ulang 500 tahun (gal)	Skala dalam MMI	Nilai PGA untk periode ulang 2500 tahun (gal)	Skala dalam MMI
1	Semua sumber gempa dengan PGA di batuan dasar	149,54-439,45	VI-VIII	287,18-762,81	VII-IX
2	Semua sumber gempa dengan SA di batuan dasar T=0,2 sekon	307,04-1010,90	VIII-IX	569,48-1849,78	IX-XII
3	Semua sumber gempa dengan SA di batuan dasar T=1,0 sekon	118,01-265,75	VI-VII	223,74-510,92	VII-VIII



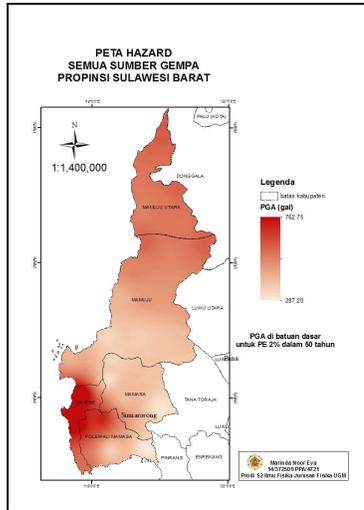
**Gambar 6. Peta hazard semua sumber gempa dengan PGA batuan dasar untuk periode ulang 500 tahun.**



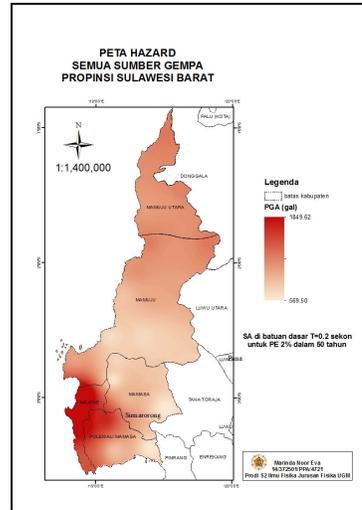
**Gambar 7. Peta hazard semua sumber gempa dengan SA batuan dasar T= 0,2 sekon untuk periode ulang 500 tahun.**



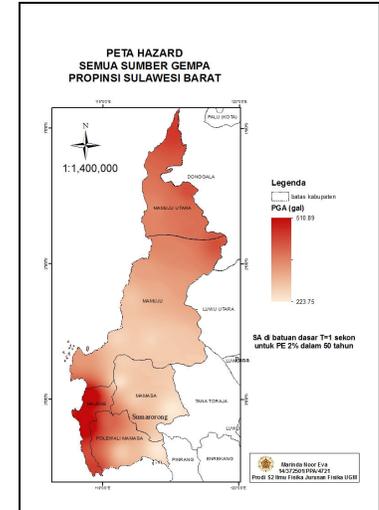
**Gambar 8. Peta hazard semua sumber gempa dengan SA batuan dasar untuk T = 1,0 sekon periode ulang 500 tahun.**



**Gambar 9.** Peta hazard semua sumber gempa dengan PGA batuan dasar untuk periode ulang 2500 tahun.



**Gambar 10.** Peta hazard semua sumber gempa dengan SA batuan dasar  $T = 0,2$  sekon untuk periode ulang 2500 tahun.



**Gambar 11.** Peta hazard semua sumber gempa dengan SA batuan dasar  $T = 1,0$  sekon untuk periode ulang 2500 tahun.

#### Daftar Pustaka

- [1] Daryono, "Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor pada Setiap Bentuklahan di Zona Graben Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta," PhD disertasi, Program Pascasarjana Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta, 2011.
- [2] F. Sompotan, *Struktur Geologi Sulawesi*. Perpustakaan Sains Kebumihan Institut Teknologi Bandung, 2012.
- [3] G. Pasau dan A. Tanauma, "Pemodelan sumber gempa di wilayah Sulawesi Utara sebagai upaya mitigasi bencana gempabumi," *Jurnal Ilmiah Sains*, vol. 11, no. 2, Oktober, 2011.
- [4] J. K. Gardner dan L. Knopoff, "Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, Poissonian?," *Bulletin of the Seismological Society of America* 64, pp. 1363–1367, 1974.
- [5] S. Wiemer, "A software package to analyze seismicity: ZMAP," *Seismological Research Letter*, vol. 72, no. 2, pp. 373–38, 2001.
- [6] K. Aki, "Maximum likelihood estimate of b value in the formula  $\log N = a-bM$  and its confidence limits," *Bulletin of Earthquake, Res. Ins.*, Tokyo University, 1965.
- [7] M. Asrurifak, "Peta Respon Spektra Indonesia Untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Dengan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi Dalam Analisa Probabilitas," Disertasi, Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, 2010.
- [8] S.L. Kramer, *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- [9] A.C. Cornell, "Engineering seismic risk analysis," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 58, no. 5, pp. 1583–1606, October, 1968.