

# ANALISIS NILAI PGA (*PEAK GROUND ACCELERATION*) UNTUK SELURUH WILAYAH KABUPATEN DAN KOTA DI JAWA TIMUR

Siti Ayu Kumala<sup>1</sup>, Wahyudi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta  
Email: siti.ayu.k@mail.ugm.ac.id

## ABSTRACT

*This study aims to forecast of seismic hazards in Indonesia have done, but detail analysis of each region needs further assessment. East Java is an area with high earthquakes Frequency. Therefore, the analysis of seismic hazard in East Java in detail is necessary as a first step in disaster mitigation. This research aims to make PGA map for for 10% and 2% PE in 50 years (return period of 500 years and 2500 years) as mitigation of tectonic earthquake disaster in East Java region. The PSHA 2007 from USGS (United State Geological Survey) is a software that was used in this analysis process. Data of the earthquake catalog used in this analysis is the historical events earthquake from 1900 to 2015, with area 109°BT - 116°BT and 6°LS - 12°LS. The result of this calculated obtained distribution hazard value in PGA condition for 10% and 2% PE in 50 years (return period of 500 years and 2500 years) in bedrock are 0,2 g – 0,4 g and 0,45 g – 0,65 g. This result is higher than result from Revision of Earthquake Maps of Indonesia SNI-03-1726-02 (2010) and show that East Java is including area with determine middle to high seismic hazard*

**Keywords:** PGA, PSHA, Seismic Hazard Analysis

## ABSTRAK

Penelitian mengenai prediksi dari resiko bahaya gempa (*seismic hazard*) di Indonesia telah banyak dilakukan, tetapi untuk detail analisis untuk setiap wilayah perlu dilakukan kajian lebih lanjut. Jawa Timur merupakan salah satu wilayah yang cukup sering terjadi gempabumi, oleh karena itu penelitian mengenai analisis *seismic hazard* secara mendetail penting sebagai langkah awal mitigasi bencana. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan peta kontur PGA (peta *hazard*) wilayah Jawa Timur untuk probabilitas terlampaui 10% dan 2% dalam 50 tahun (gempa 500 dan 2500 tahun) sebagai upaya mitigasi bencana gempabumi tektonik di wilayah Jawa Timur. Analisis ini menggunakan bantuan program PSHA 2007 dari USGS. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data katalog kejadian gempabumi periode tahun 1914 sampai 2015, pada area 109°BT - 116°BT dan 6°LS – 12°LS. Hasil studi ini berupa peta PGA Nilai *hazard* pada kondisi PGA (T = 0,0 detik) untuk 10% PE 50 tahun yaitu 0,2 g – 0,4 g dan untuk 2% PE 50 tahun 0,4 g – 0,65 g. Hasil ini lebih tinggi dari hasil Peta gempa Indonesia SNI-03-1726-02 revisi (2010) dan menunjukkan bahwa Jawa Timur merupakan daerah dengan tingkat kerawanan bencana gempabumi dengan kategori sedang sampai tinggi.

**Kata kunci:** Analisis *seismic Hazard*, PGA, PSHA

## PENDAHULUAN

Gempa bumi diartikan sebagai suatu getaran di permukaan bumi yang disebabkan dari peristiwa pergerakan mendadak dari suatu tubuh batuan karena proses pelepasan dari akumulasi regangan (*strain*) energi di luar batas elastis batuan. Kebanyakan gempa bumi disebabkan dari pelepasan energi yang dihasilkan oleh tegangan yang dilakukan oleh lempengan yang bergerak. Semakin lama tegangan itu semakin membesar dan akhirnya mencapai pada keadaan di mana tegangan tersebut tidak dapat ditahan lagi oleh massa batuan. Gempabumi yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik ini disebut

sebagai gempa bumi tektonik. Indonesia terletak pada batas pertemuan empat lempeng tektonik besar dunia yang sangat aktif, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng India-Australia serta satu lempeng mikro yaitu lempeng mikro-Filipina. Dampak kondisi tektonik inilah yang menjadikan Indonesia sangat rawan terhadap bencana gempabumi terutama gempabumi tektonik.

Pulau Jawa merupakan salah satu pulau di Indonesia yang memiliki seismisitas tinggi, hal ini disebabkan oleh dinamika tektonik pulau Jawa yang didominasi oleh gerakan lempeng

India-Australia yang bergerak ke utara bertumbukan dengan lempeng Eurasia yang relatif diam. Jawa Timur adalah salah satu provinsi di Pulau Jawa yang akan merasakan dampak ketika terjadi gempa bumi. Jawa Timur juga pernah mengalami gempa bumi-gempa bumi besar seperti di tahun 1916 ( $M_w=7,3$ ), 1926 ( $M_w=7,2$ ) dan sering mengalami gempa bumi dengan magnitude di atas 5.

Melalui tingkat seismisitas yang tinggi, maka mitigasi bencana gempa bumi sangat diperlukan untuk mengurangi bahaya yang diakibatkan oleh kejadian gempa bumi. Ada beberapa upaya untuk mitigasi bencana gempa bumi, salah satunya adalah membuat perencanaan tata wilayah yang telah sesuai dengan kajian bahaya gempa bumi seperti menggunakan analisis *seismic hazard*.

Perkembangan analisis *seismic hazard*, ada beberapa metode yang biasanya dipakai, yaitu metode DSHA (*Deterministic Seismic Hazard Analysis*), metode PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) dan yang terbaru adalah SHA (*Seismic Hazard Assessment*) (Werner). Dalam metode DSHA skenario kejadian gempa bumi telah ditentukan.

Skenario gempa bumi ini berisi tentang kejadian gempa bumi dengan magnitude tertentu yang akan terjadi pada lokasi tertentu. Metode ini mudah digunakan untuk memprediksi gerakan tanah (*ground motion*) akibat gempa bumi, namun tidak mempertimbangkan pengaruh ketidakpastian yang terkait dalam analisis. Sedangkan metode PSHA berdasarkan suatu fungsi distribusi probabilitas yang memperhitungkan pengaruh faktor-faktor ketidakpastian dari ukuran, lokasi dan waktu kejadian gempa bumi. Dengan menggunakan metode PSHA dapat diketahui tingkat bahaya gempa bumi di suatu lokasi yang ditinjau dengan faktor ketidakpastiannya. Bahaya yang terjadi kemudian didefinisikan dalam bentuk nilai percepatan tanah di batuan dasar yang dalam hal ini diwakili oleh nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*).

PGA adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gempa bumi. Sudah

sejak lama nilai percepatan tanah maksimum dijadikan salah satu parameter untuk menyatakan kekuatan suatu gempa bumi. Kramer (1996) mengatakan bahwa percepatan tanah akibat gempa bumi itu akan menunjukkan gaya inersia yang akan bekerja pada massa struktur. Gaya inersia yang dimaksud adalah gaya yang timbul pada bangunan karena kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya. Namun hasil ini harus disesuaikan dengan keadaan geologi serta karakteristik dari zona seismik lokasi yang dijadikan daerah penelitian.

Kondisi geologi regional ditunjukkan oleh keadaan fisiografi regional Jawa Timur. Jawa Timur dibagi menjadi 3 zona fisiografi yaitu zona Pegunungan Selatan, zona Kendeng dan zona Rembang (Razali). Zona Pegunungan Selatan Jawa Bagian Timur memanjang sepanjang pantai selatan Jawa Timur dan Wonosari dekat Yogyakarta sampai ujung paling timur Pulau Jawa. Daerah ini pada umumnya mempunyai topografi yang dibentuk oleh batu gamping dan vulkanik.

Zona Kendeng merupakan antiklinorium yang memanjang mulai dari sebelah selatan Semarang yang kemudian menyempit ke arah Timur sampai ujung Jawa Timur di bagian Utara, pada umumnya dibentuk oleh endapan vulkanik, batupasir, batu lempung, dan tuf. Zona Rembang merupakan antiklinorium yang memanjang dengan arah Barat - Timur, mulai dari sebelah timur Semarang sampai Pulau Madura dan Kangean. Struktur geologi Jawa Timur secara umum didominasi oleh aluvial dan bentukan hasil gunung api Kuartar muda, keduanya meliputi 44,5% dari luas wilayah darat, sedangkan batuan yang relatif juga agak luas persebarannya adalah batuan berumur Miosen sekitar 12,23% dan hasil gunung api Kuartar tua sekitar 9,78% dari luas total wilayah daratan. Sementara itu batuan lain hanya mempunyai proporsi antara 0 - 7%.

Kondisi Tektonik Jawa Timur ditunjukkan oleh gambar 1. Sebelah Selatan Jawa Timur merupakan zona subduksi yang disebut *trench* Sunda, kemudian garis-garis hijau yang banyak terdapat di daratan wilayah Jawa Timur merepresentasikan sesar-sesar yang masih

dalam penelitian, sehingga belum dapat dikategorikan sebagai sesar yang teridentifikasi dengan baik. Sesar yang telah teridentifikasi dengan baik artinya telah memiliki data parameter yang lengkap untuk dilakukan analisis. Parameter itu antara lain jenis sesar, magnitudo maksimum, slip-rate, dip, panjang sesar, batas bawah dan atas. Sesar yang telah teridentifikasi dengan baik adalah sesar Lasem, Sesar Pati, Sesar Opak dan Flores Back Arc. Sesar yang coba diidentifikasi oleh penulis adalah Sesar Grindulu di Pacitan. Sedangkan

sesar-sesar lain yang belum teridentifikasi tidak dimasukkan dalam analisis.



Gambar 1. Subduksi dan sesar di wilayah Jawa Timur dan sekitarnya

## METODE

Secara umum, metode PSHA digambarkan dalam empat tahapan prosedur, antara lain: 1) Identifikasi dan karakterisasi sumber gempa bumi, yaitu lokasi sumber, geometri dan mekanisme kejadian gempa bumi, 2) Pemodelan zona sumber gempa bumi, kemudian dilakukan *plotting* data kejadian, besar (magnitudo), dan jarak gempa bumi, 3) Penentuan model probabilitas diperoleh dari magnitudo dan jarak. Adapun parameter seismik berupa percepatan getaran tanah maksimum

dapat diprediksi dengan menggunakan fungsi atenuasi, 4) Penggabungan ketidakpastian dari lokasi gempa bumi, magnitudo dan parameter gerakan tanah (*ground motion*).

Katalog gempa bumi ini berisi catatan kejadian gempabumi yang meliputi waktu, lokasi, kedalaman gempabumi, serta skala magnitudenya yang berasal dari USGS, ISC, ANSS dan BMKG. Skala magnitudo minimum yang digunakan adalah  $M_w$  5,0 dengan kedalaman maksimum sebesar 300 km Data tersebut meliputi area dengan Longitude  $109^\circ$ BT sampai  $116^\circ$ BT dan Latitude  $6^\circ$ LS sampai  $12^\circ$ LS dengan periode Januari tahun

1900 sampai Agustus tahun 2015. Sedangkan untuk data mekanisme fokal digunakan data periode tahun 1976 sampai 2015.

Data yang terkumpul kemudian dilakukan pemisahan gempa utama dan gempa susulan. Dalam studi ini, kriteria yang digunakan adalah kriteria dari Gardner dan Knopoff (1974) untuk mengeliminasi *before shock* dan *after shock* dari katalog gempa dengan menggunakan software (Mc. Guire, 2001).

Estimasi resiko gempabumi kita harus memerlukan periode waktu dimana gempabumi utama dengan magnitude yang berbeda-beda dapat dianggap berasal dari katalog yang cukup lengkap. Rata-rata kejadian gempabumi independen untuk beberapa rentang magnitude diplotkan terhadap waktu yang dihitung dari waktu pengamatan terakhir.

Frekuensi kejadian gempa ( $\lambda$ ) didefinisikan sebagai jumlah kejadian gempa ( $N$ ) selama selang waktu tertentu ( $T$ ) dibagi dengan  $T$ . Dengan asumsi bahwa *seismic rate* konstan untuk rentang periode yang lama, waktu dimana frekuensi kejadian gempa mulai

menurun secara signifikan menyatakan suatu batas waktu dimana katalog gempa sebelumnya tidak lengkap.

Sumber gempa bumi diklasifikasikan dalam tiga jenis zona sumber gempa, yaitu: 1) Sumber gempa bumi subduksi, yaitu zona kejadian gempa yang terjadi di dekat batas pertemuan antara lempeng samudera yang menunjam masuk ke bawah lempeng benua. Dalam penelitian ini, zona subduksi yang dimaksud adalah zona *mega thrust*, yakni sumber gempa subduksi dari permukaan hingga ke dalaman 50 km. Untuk sumber subduksi dengan ke dalaman lebih dari 50 km (zona *benioff*) akan dimodelkan sebagai sumber *deep background*. 2) Sumber gempa bumi *fault*, sumber kejadian gempa bumi yang diakibatkan oleh adanya pergerakan sesar atau patahan dangkal. 3) Sumber gempa bumi *background*, yaitu Model sumber gempabumi *background* dibuat karena pada daerah yang ditinjau tidak terdapat data seismogenik-nya namun di daerah tersebut terdapat kejadian gempabumi. Parameter sesar di Jawa Timur dan sekitarnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter sesar daerah penelitian

<i>Fault</i>	<i>Slip rate</i>	<i>Sense Mechanism</i>	<i>L (km)</i>	<i>M<sub>max</sub></i>
<i>Name</i>	<i>mm/yr</i>			
Opak	2,4	<i>Strike-slip</i>	31,6	6,80
Pati	0,5	<i>Strike-slip</i>	51,4	6,80
Lasem	0,5	<i>Strike-slip</i>	114,9	6,50
Flores <i>Back-arc</i>	28	<i>Reverse-slip</i>	504,6	7,80
Grindulu	5	<i>Normal-Slip</i>	50	6,90

Fungsi atenuasi merupakan suatu fungsi yang menggambarkan hubungan antara intensitas gerakan tanah ( $I$ ) dan magnitude ( $M$ ) serta jarak ( $R$ ) dari suatu sumber titik dalam daerah sumber. Namun, hingga saat ini belum ada fungsi atenuasi yang dihasilkan dari catatan gempa di wilayah Indonesia. Oleh karena itu penelitian ini memakai fungsi atenuasi yang sudah dikemukakan oleh para ahli sebelumnya.

Persamaan atenuasi yang digunakan dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan mekanisme sumber. Untuk sumber *Megathrust*

(0-50 km) digunakan persamaan atenuasi *Geomatrix subduction* (Youngs et al, SRL, 1997), *AB03 rock and global sourc*, dan Zhao et al (BSSA, 2006). Untuk sumber *Benioff* (50-300 km) dipakai persamaan atenuasi Atkinson-Boore *intraslab seismicity*, *Geomatrix slab seismicity rock* 1997 SRL dan Atkinson-Boore 2003 *intraslab seismicity worlddata*. Untuk sumber *Shallow Background* (0-50 km) dipakai persamaan atenuasi Boore-Atkinson NGA, Campbell-Bozorgnia NGA dan Chiou-Youngs, NGA. Sedangkan untuk sumber patahan (0-50km) digunakan persamaan atenuasi Boore Atkinson NGA (2006), Campbell-Bozorgnia

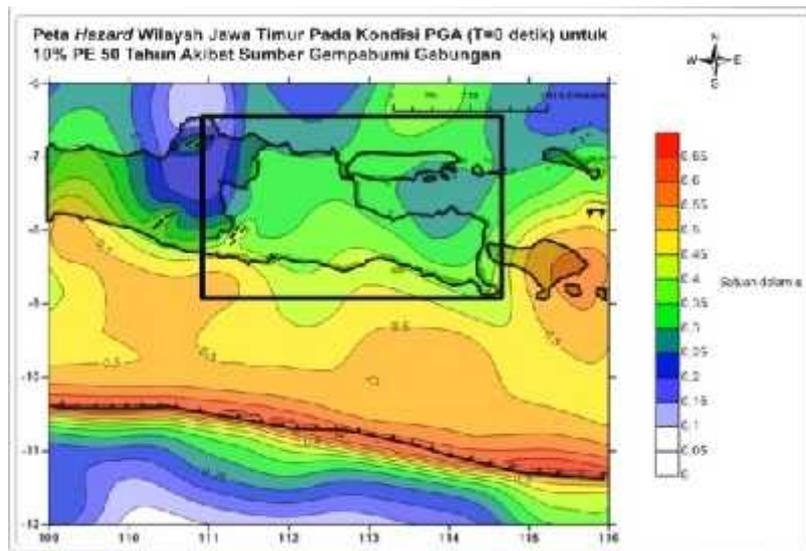
NGA (2006) dan Chiou-Youngs, NGA (2006). Penelitian ini menggunakan bantuan *software* PSHA 2007 dari USGS. Analisis *seismic hazard* meliputi perhitungan PGA dan respon

spektra di batuan dasar untuk periode tertentu sesuai dengan teori probabilistik.

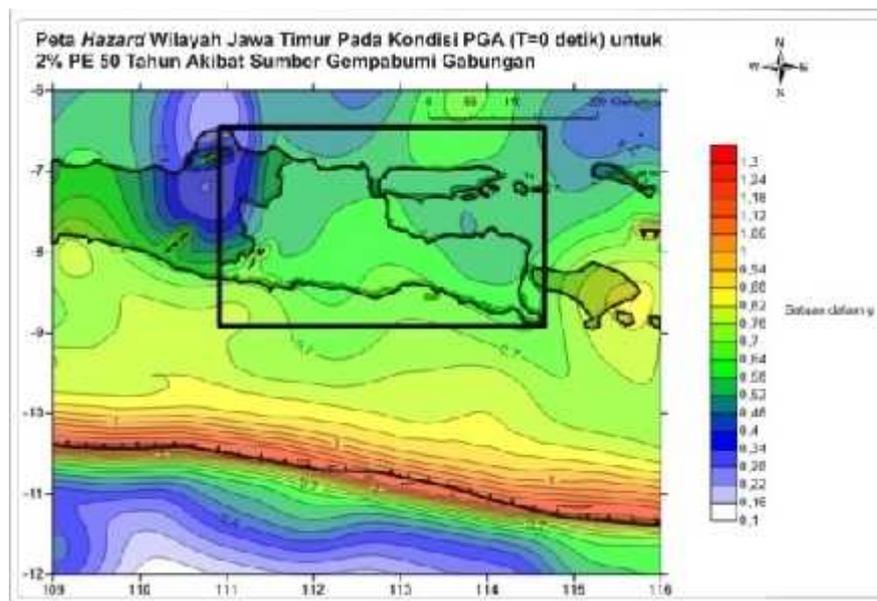
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis PSHA ini adalah peta kontur percepatan gerakan tanah (peta *hazard*) untuk kondisi PGA dan Spektral Acceleration 5 hz

dan 1 hz. Gambar 4 dan 5 memperlihatkan peta PGA untuk 10% dan 2% PE 50 tahun wilayah Jawa Timur.



Gambar 2. Peta *hazard* wilayah Jawa Timur Pada Kondisi PGA (T = 0 detik) untuk 10% PE 50 tahun akibat semua sumber gempabumi



Gambar 3. Peta *hazard* wilayah Jawa Timur Pada Kondisi PGA (T = 0 detik) untuk 2% PE 50 tahun akibat semua sumber gempabumi.

Dari hasil analisis yang telah ditampilkan, nilai PGA (Gambar 4) untuk periode ulang 500 tahun yang dihasilkan tidak lebih dari 0,4 g. Hal ini menyatakan bahwa jika resiko yang diakibatkan oleh gempa bumi yang terjadi tidak lebih dari skala MMI VIII, yaitu kerusakan ringan pada bangunan yang dirancang khusus, kerusakan besar pada bangunan dengan struktur standar dan meruntuhkan bangunan dengan struktur jelek.

Distribusi PGA pun terlihat sangat dipengaruhi oleh sumber gempa bumi subduksi dan *fault*. Hal ini terlihat dari semakin ke arah selatan, PGA nilainya juga semakin besar. Begitu pula untuk daerah di sekitar *fault*, nilai PGA nya lebih besar. Berdasarkan peta PGA akibat

gabungan dari ketiga sumber gempa bumi yaitu sumber gempa bumi *background*, sesar (*fault*) dan subduksi (*megathrust*), wilayah Jawa Timur dapat dibagi ke dalam dua zona wilayah gempa bumi sesuai tingkat intensitas kerusakan yang ditimbulkan di atas permukaan tanah. Dua zona tersebut adalah zona 1 dengan kisaran nilai PGA antara 0,2 g - 0,3 g yang sama dengan VI MMI, zona 2 dengan nilai PGA berkisar antara 0,3 g - 0,4 g yang sama dengan VII-VIII MMI.

Untuk hasil analisis yang lebih detail, penelitian ini telah menghitung PGA untuk periode ulang 500 tahun di seluruh kabupaten/kota di Jawa Timur yang hasilnya ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Detail nilai PGA untuk 10% PE 50 tahun di kabupaten/kota Jawa Timur

No	Nama Kota/Kabupaten	nilai PGA (g)
1	Kab. Tuban	0,277
2	Kab. Lamongan	0,292
3	Kab. Bangkalan	0,318
4	Kab. Banyuwangi	0,302
5	Kab. Blitar	0,374
6	Kab. Bojonegoro	0,302
7	Kab. Bondowoso	0,278
8	Kab. Gresik	0,306
9	Kab. Jember	0,337
10	Kab. Jombang	0,344
11	Kab. Kediri	0,338
12	Kab. Lumajang	0,363
13	Kab. Madiun	0,306
14	Kab. Magetan	0,271
15	Kab. Malang	0,358
16	Kab. Mojokerto	0,335
17	Kab. Nganjuk	0,319
18	Kab. Ngawi	0,277
19	Kab. Pacitan	0,393
20	Kab. Pamekasan	0,319
21	Kab. Pasuruan	0,351
22	Kab. Ponorogo	0,344
23	Kab. Probolinggo	0,313
24	Kab. Sampang	0,320
25	Kab. Sidoarjo	0,331
26	Kab. Situbondo	0,279
27	Kab. Sumenep	0,306
28	Kab. Trenggalek	0,380
29	Kab. Tulung Agung	0,341
30	Kota Batu	0,362
31	Kota Blitar	0,352
32	Kota Kediri	0,335
33	Kota Madiun	0,298
34	Kota Malang	0,375

No	Nama Kota/Kabupaten	nilai PGA (g)
35	Kota Mojokerto	0,341
36	Kota Pasuruan	0,322
37	Kota Probolinggo	0,329

## SIMPULAN

Berdasarkan peta zonasi percepatan gerakan tanah (peta *hazard*) di wilayah Jawa Timur yang dihasilkan dari proses PSHA, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: 1) Periode ulang 500 tahun (10% PE 50 tahun) nilai PGA yang dihasilkan adalah 0,2 g - 0,4 g dan untuk periode ulang 2500 tahun (2% PE 50 tahun) nilai PGA yang dihasilkan adalah 0,4 g – 0,65 g; 2) Wilayah Jawa Timur dibagi menjadi dua zona yaitu, zona 1 (wilayah Utara) dengan PGA 0,2 g – 0,3 g yang dikategorikan Skala VI – VII MMI dan zona 2 (wilayah Selatan)

dengan PGA 0,3 g – 0,4 g yang dikategorikan Skala VII – VIII MMI; 3) Jawa Timur merupakan wilayah yang tidak stabil dengan tingkat bahaya gempabumi menengah; 4) Kabupaten yang memiliki PGA tertinggi adalah Pacitan karena dilalui sesar Grindulu, sedangkan sesar lain belum dapat diidentifikasi; 5) Nilai PGA dan SA dalam penelitian ini lebih besar dari revisi peta gempabumi Indonesia SNI-03-1726-02 tahun 2010.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] Werner, S.D., 1991, *Earthquake Ground Motion*, Earthquake Resistant Concrete Structure in elastic Response and design, ACI, SP 127.
- [2] Kramer, 1996, *Geotechnical Earthquake Engineering Upper Saddle River*, Jersey 07458, Perntice Hall Inc.
- [3] Razali, 2008, *Rekonturing Zona Percepatan Gempa Di Permukaan Tanah Provinsi Sumatera Utara dengan Program Aplikasi Shake2000*, Tesis, Universitas Sumatera Utara. Medan.
- [4] Wiemer, Stefan., 2001, A Software Package To Analyze Seismicity: Zmap, *Seismological Research Letters*, Volume 72, No.2.
- [5] Mc. Guire, R.K., 2001, Deterministic Vs Probabilistic Earthquake Hazards And Risks, *Jurnal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, No 21, pp 377-384.