

## BAHAYA KEGEMPAAN DI WILAYAH PULAU ALOR

Liberichie P. Putra<sup>1</sup> (liberichiep@gmail.com)  
 Partogi H. Simatupang<sup>2</sup> (simatupangpartogi@yahoo.com)  
 Tri M. W. Sir<sup>3</sup> (trimwsir@yahoo.com)

### ABSTRAK

Pulau Alor merupakan salah satu wilayah yang memiliki aktivitas seismisitas dan tektonik yang tinggi. Upaya mitigasi perlu dilakukan secara optimal guna meminimalisir dampak dari bencana tersebut. Analisis bahaya kegempaan dengan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) merupakan salah satu upaya mitigasi. PSHA bertujuan untuk mengetahui batasan intensitas gempa tertentu dengan berdasarkan pada nilai kemungkinan terlampaui pada suatu periode tertentu. Tahapan penelitian meliputi kajian literatur, pengumpulan dan pengolahan data gempa, identifikasi sumber gempa, dan analisis menggunakan persamaan atenuasi. Data katalog gempa didapatkan dari *United State Geological Survey* (USGS). Persamaan atenuasi yang digunakan adalah Campbell & Bozorgnia (2008), Youngs et.al (1997), Boore & Atkinson (2003) dan Boore & Atkinson (2008). Hasil penelitian menunjukkan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di batuan dasar untuk Pulau Alor bervariasi dari 0,4849 g – 0,5260 g. Grafik respon spektrum hasil penelitian menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan grafik respon spektrum SNI-1726-2002 dan SNI-1726-2012. Berdasarkan peta gempa hasil penelitian menunjukkan Pulau Alor bagian timur memiliki nilai PGA terbesar, sedangkan Pulau Alor bagian barat memiliki nilai PGA terkecil.

**Kata kunci: bahaya kegempaan; PSHA; atenuasi; PGA; respon spektrum.**

### ABSTRACT

*Alor Island is one of the high seismic and tectonic activity area. Optimal mitigation effort is needeful to minimize the disaster impact. Seismic hazard analysis in Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) method is that one. The purpose of PSHA is to figure out the certain earthquake's intensity with based on the exceed of probabilistic's value at certain periods. The Stage of study include literature study, collecting and processing seismic data, identifies of earthquake's source and analysis with attenuation equation. Earthquake katalog data from United State Geological Survey (USGS). Attenuation equation used Campbell & Bozorgnia (2008), Youngs et.al (1997), Boore & Atkinson (2003) dan Boore & Atkinson (2008). The result of this study shows the peak ground acceleration (PGA) in bed rock for Alor Island varied from 0,4979 g – 0,5680 g. Spectrum response graph from result of study is greater than spectrum response graph from SNI-1726-2002 and SNI-1726-2012. Based on the result of earthquake map study shows eastern of Alor Island have largest PGA value, while in the western of Alor Island have the smallest PGA.*

**Keyword: seismic hazard; PSHA; attenuation; PGA; spectrum response.**

### PENDAHULUAN

Pulau Alor yang merupakan salah satu pulau yang berada di Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur berjarak sekitar 260 km dari Kota Kupang dan 1600 km sebelah timur Ibu Kota Jakarta. Pulau Alor memiliki tingkat kerawanan bahaya kegempaan yang tinggi. Pulau Alor yang merupakan bagian dari Nusa Tenggara, secara geologi Nusa Tenggara berada pada busur Banda. Rangkaian pulau ini dibentuk oleh pegunungan vulkanik muda. Pada teori lempeng tektonik, deretan pegunungan di Nusa Tenggara terbentuk tepat di zona subduksi Indo-Australia pada kerak samudra.

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Sipil, FST Undana – Kupang;

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Sipil, FST Undana – Kupang;

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Sipil, FST Undana – Kupang.

Guna mengungkap tingginya tingkat kerawanan Kepulauan Alor terhadap bencana kebumihan, perlu dilakukan kajian aspek seismisitas dan tektonik daerah setempat secara menyeluruh. Sebab, secara umum, aktivitas gempa bumi dapat ditinjau dari tingkat seismiknnya dan kondisi tektonik daerahnya. Oleh karena itu perlu dilakukan untuk mengetahui batasan intensitas gempa tertentu. Metode yang dipergunakan untuk menentukan batas tersebut salah satunya adalah Metode Probabilistik - *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Serta untuk Memudahkan dalam melihat hasil penelitian akan disajikan dalam bentuk peta zonasi gempa.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Gempa Bumi

Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi (Pawirodikromo, 2012). Indonesia memiliki potensi gempa yang besar, sebab berada pada pertemuan sejumlah lempeng tektonik besar yang aktif bergerak.

### Sumber Gempa

Sumber gempa telah diidentifikasi menjadi 3 sumber gempa, yaitu sumber gempa *fault*, *subduction* dan *background*.

1. Sumber gempa *fault* yang merupakan sesar/patahan naik atau busur belakang yang terjadi pada lempeng daratan. *Fault* dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu akibat geometri dan akibat pergerakan lempeng. Pergerakan patahan terdiri atas dua arah pergerakan yaitu tunjaman (*dip*) dan tabrakan (*strike*) (Kramer, 1996).
2. Sumber gempa subduksi merupakan zona subduksi atau lokasi bertumbuhnya dua lempeng tektonik aktif. Pelepasan energi akibat pergerakan lempeng tektonik ini merambat dalam bentuk gelombang sehingga menyebabkan gempa pada suatu tempat. *Subduction*, apabila dilihat dari kedalaman titik gempa dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu: *subduction interface* (gempa yang memiliki kedalaman kurang dari 50 km) dan *subduction inteslab* (gempa yang memiliki kedalaman lebih dari 50 km)
3. Sumber gempa *background* adalah titik-titik gempa yang belum diidentifikasi secara baik sumbernya. Sumber gempa *Background* juga dikelompokkan berdasarkan kedalaman titik gempa, yaitu: *background interface* gempa yang memiliki kedalaman kurang dari 50 km) dan *background inteslab* (gempa yang memiliki kedalaman lebih dari 50 km).

### Tektonik di Wilayah Pulau Alor dan Sekitarnya.

Lokasi geografis pulau Alor yang berada di daerah jangkauan pengaruh dari Pergerakan lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia yang mengakibatkan daerah antara Kepulauan Alor sampai dengan bagian utara kepulauan Timor (selat Ombai) sebagai salah satu daerah yang memiliki tingkat kegempaan yang cukup tinggi di Indonesia. Selain kerawanan seismik akibat aktivitas benturan lempeng, kawasan Alor juga sangat rawan karena adanya sebuah struktur tektonik sesar naik busur belakang kepulauan yang populer dikenal sebagai *back arc thrust* dan juga terdapatnya sesar lokal di bagian tengah pulau Alor. Selain kerawanan seismik akibat aktivitas benturan lempeng, kawasan Alor dan Flores juga sangat rawan karena adanya sebuah struktur tektonik sesar naik busur belakang kepulauan yang populer dikenal sebagai *back-arc thrust*. *Back-arc thrust* yang dimaksud adalah *Flores back-arc thrust*, *Timor back-arc thrust* dan *Wetar back-arc thrust*. Pulau Alor juga dapat dipengaruhi oleh gempa-gempa yang terjadi pada *Megathrust Timor* dan *Megathrust South Banda Sea*, dimana jarak antara Pulau Alor dengan zona subduksi tersebut sekitar 200 km.

### Kelas Situs Tanah di Pulau Alor berdasarkan NEHRP

Untuk kondisi karakteristik tanah di Pulau Alor, sebagian besar terdiri dari tanah sangat padat dan batuan lunak. Khusus untuk Kota Kalabahi, telah dilakukan suatu penelitian untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang *Shear*, yang dilakukan oleh Sulaeman, C. (2016),

dimana hasil penelitian yang telah dipublikasi, menunjukkan nilai kecepatan gelombang S pada kedalaman 30 m atau  $V_{S30}$  adalah 136 m/det hingga 382 m/det. Apabila dihubungkan dengan karakteristik tanah Pulau Alor secara keseluruhan, bisa diasumsikan kelas situs Pulau Alor berada pada Kelas C dengan nilai  $V_{S30}$  adalah 366 – 762 m/det.

### Seismic Hazard

*Seismic hazard* adalah suatu syarat yang digunakan dalam suatu persamaan umum yang menunjukkan potensial fenomena kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa bumi, seperti tanah bergetar, likuifaksi, longsor dan tsunami. Pengertian lebih spesifik, seismic hazard adalah kemungkinan dari intensitas spesifik yang telah terjadi dari fenomena kerusakan di suatu titik tertentu, atau wilayah sekitarnya, pada jangka waktu tertentu (Chen dan Scawthorn, 2003).

Tujuan dari seismic hazard adalah mengetahui batasan intensitas gempa tertentu dengan berdasarkan pada nilai kemungkinan terlampaui pada suatu periode tertentu. Oleh karena itu seismic hazard dapat dikatakan sebagai salah satu upaya mitigasi terhadap suatu bencana gempa bumi yang akan terjadi pada suatu wilayah. Analisis seismic hazard dapat digunakan untuk menyiapkan peta makro atau mikro zonasi yang sangat berguna untuk pengembangan desain gedung tahan gempa.

### Data Gempa dan Persiapan Data Gempa

Ketersediaan data gempa pada analisis resiko kegempaan merupakan salah satu elemen penting dalam proses *seismic hazard*. Katalog data gempa merupakan sumber utama dalam menentukan parameter seismik yang akan menjadi input dalam proses analisis resiko gempa. Ada banyak lembaga yang telah melakukan proses pengarsipan dan pembaharuan terhadap katalog data gempa. United State Geological Survey (USGS) merupakan salah satu lembaga yang memiliki database data gempa. Data awal rekam gempa tersebut memiliki berbagai macam skala magnituda seperti *surface wave magnitude (MS)*, *Richter local magnitude (ML)*, *body wave magnitude (Mb)* dan *moment magnitude (MW)*. Penyeragaman skala magnitude ini akan dilakukan konversi ke skala magnitude *MW* dengan menggunakan persamaan korelasi konversi skala magnitude untuk katalog data gempa Indonesia yang diusulkan oleh Scordilis.

$$M_w = 0,85 \times M_b + 1,03, M_b \leq 6,1 \quad (1)$$

$$M_w = 0,67 \times M_s + 2,07, M_s \leq 6,1 \quad (2)$$

$$M_w = 0,99 \times M_s + 0,08, M_s > 6,1 \quad (3)$$

Katalog data gempa yang digunakan dalam proses analisis seismik resiko gempa harus merupakan data rekam gempa independen (*mainshock*). *Clustering* merupakan proses identifikasi dan pemisahan data gempa dependen yaitu gempa rintisan (*foreshock*) dan susulan (*aftershock*) terhadap gempa utama (*mainshock*). Beberapa kriteria empiris untuk memisahkan gempa dependen tersebut diusulkan oleh Arabasz & Robinson (1976), Gardner & Knopoff (1974) dan Uhrhammer (1986). Kriteria ini dikembangkan berdasarkan rentang waktu dan jarak tertentu dari satu kejadian gempa besar. Menurut Tim Revisi Peta Gempa Indonesia (2010) metode Garner dan Knopoff (1974) merupakan metode yang paling tepat untuk proses declustering pada wilayah Indonesia karena memiliki hasil yang cukup baik. Untuk mempermudah pemisahan gempa utama dengan gempa susulan, dapat dilakukan *declustering* dengan bantuan *software* yang dikembangkan oleh Stefan Wiemer. Zmap berbasis pada aplikasi Matlab<sup>®</sup>. Zmap digunakan untuk membantu menganalisa katalog data seismologi.

### Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

*Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)* adalah suatu metodologi analisis yang memperkirakan kemungkinan bahwa sejumlah besaran gempa bumi yang terjadi akan menyebabkan *ground motion* (pergerakan tanah) akan terlewat pada suatu wilayah tertentu dalam periode waktu tertentu. Hasil analisa ini adalah menunjukkan estimasi probabilitas per

unit waktu atau estimasi frekuensi, seperti jumlah keterjadian dalam satu tahun. Estimasi pemodelan menggunakan distribusi probabilitas dari intensitas pergerakan tanah, dinyatakan sebagai fungsi dari beberapa variabel seperti magnitudo gempa dan jarak sumber gempa. Oleh karena itu estimasi pergerakan tanah dapat dilakukan dengan persamaan regresi statistik. Ukuran intensitas pergerakan tanah yang disering digunakan adalah salah satunya adalah PGA (*peak ground acceleration*). Untuk hubungan probabilitas, pemodelan prediksi menggunakan persamaan umum sebagai berikut (Baker, 2008):

$$\ln IM = \overline{\ln IM}(M, R, \theta) \sigma(M, R, \theta) \cdot \varepsilon \tag{4}$$

Dimana

$\ln IM$  : logaritma natural dari intensitas pergerakan tanah

$\overline{\ln IM}(M, R, \theta)$  : rata-rata prediksi

$\sigma(M, R, \theta)$  : standar deviasi

$\varepsilon$  : standar normal dari variabel acak

Dikarenakan persamaan umum ini dianggap sangat kompleks, terdiri dari banyak koefisien. Maka pengembangan dari persamaan intensitas pergerakan tanah atau kadang disebut attenuasi sering dilakukan untuk penyederhanaan persamaan tersebut. Maka penggunaan fungsi attenuasi disesuaikan dengan kondisi lingkungan lokasi yang ditinjau terhadap fungsi attenuasi tersebut. Untuk menghindari keraguan dalam penyesuaian lokasi fungsi attenuasi maka dianjurkan penggunaan fungsi attenuasi yang bersifat global.

Pada analisis sumber gempa *fault* digunakan persamaan yang diusulkan oleh Campbell & Bozorgnia (2008)

$$\ln \hat{Y} = f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed} \tag{5}$$

Untuk menentukan nilai percepatan attenuasi sumber gempa subduksi, menggunakan persamaan attenuasi yang diusulkan oleh Youngs et. al (1997). Persamaan untuk batuan adalah sebagai berikut:

$$\ln PGA = C_1^* + C_2 M + C_3^* \ln \left[ r_{rup} + e^{C_4^* - \frac{C_2 M}{C_3^*}} \right] + C_8 Z_t + C_9 H \tag{6}$$

Untuk menentukan nilai percepatan attenuasi sumber gempa *background interface*, menggunakan persamaan attenuasi yang diusulkan oleh Boore & Atkinson (2008).

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) \tag{7}$$

Untuk menentukan nilai percepatan attenuasi sumber gempa *background interslab*, menggunakan persamaan attenuasi yang diusulkan oleh Boore & Atkinson (2003).

$$\log Y = c_1 + c_2 M + c_3 h + c_4 R - g \log R + c_5 slS_C + c_6 slS_D + c_7 slS_E \tag{8}$$

### Parameter Gempa

Patahan tektonik dapat menghasilkan skala besaran gempa yang bervariasi, oleh karena itu untuk studi distribusi dari magnitudo gempa dapat menggunakan Hukum Keterjadian Gutenberg dan Richter (1994), dengan persamaan sebagai berikut:

$$\log \lambda_m = \alpha - \beta m \tag{9}$$

$$\lambda_m = \text{kumulatif } m_i / T \tag{10}$$

$$\alpha = \ln(10)a \tag{11}$$

$$\beta = \ln(10)b \tag{12}$$

$$-b = \frac{n \sum(m \cdot \log \lambda_m) - \sum m \cdot \sum \log \lambda_m}{n \cdot \sum(m)^2 - (\sum m)^2} \tag{13}$$

$$a = \frac{\sum \log \lambda_M}{n} - \frac{\sum m}{n} \times (-b) \tag{14}$$

Untuk memprediksi guncangan di titik tinjau, juga sekaligus untuk pemodelan pengaruh dari jarak terhadap sumber gempa dengan titik tinjau, dapat digunakan asumsi umum bahwa probabilitas keterjadian gempa adalah sama untuk semua titik pada daerah yang masuk dalam radius tinjau (Baker, 2008). Jika sumber gempa dimodelkan dengan *point source*, maka distribusi kumulatifnya adalah sebagai berikut:

$$f_R(r) = \begin{cases} 1, & \text{jika } R = r \\ 0, & \text{dan sebaliknya} \end{cases} \tag{15}$$

**Kombinasi parameter gempa**

Persamaan-persamaan umum yang telah ada kemudian dibuat kombinasi untuk perhitungan lanjut PSHA. Kombinasi-kombinasi yang dimaksudkan adalah *Magnitude Recurrence Relationship*; *Magnitude Event Rate*; dan *Annual Exceedence Rate*.

*Magnitude Recurrence Relationship* adalah suatu model hubungan antara magnitude dan frekuensi gempa atau umlah keterjadian gempa pada suatu periode tertentu. Hasil plot dari variasi magnitude dapat dilihat pada contoh kurva di bawah ini.

*Magnitude Event Rate* merupakan suatu analisis nilai regresi dari kurva hubungan antara magnitude dengan  $\lambda_M$  yang telah didapatkan, akan dilakukan analisis probabilitas kumulatif dari magnitude. Dilakukan dengan cara menentukan jumlah keterjadian gempa dengan jumlah magnitude tertentu ( $m_i$ ). Pendistribusian nilai probabilitas kumulatif dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_M \left( m_i - \frac{\Delta m}{2} \right) = \frac{\exp(\alpha - \beta m_o) - \exp(\alpha - \beta \frac{\Delta m}{2})}{\exp(\alpha - \beta m_o) - \exp(\alpha - \beta m_u)} \tag{16}$$

$$F_M \left( m_i + \frac{\Delta m}{2} \right) = \frac{\exp(\alpha - \beta m_o) - \exp(\alpha + \beta \frac{\Delta m}{2})}{\exp(\alpha - \beta m_o) - \exp(\alpha - \beta m_u)} \tag{17}$$

Selanjutnya dapat dihitung

$$P \left( M > m_i - \frac{\Delta m}{2} \right) = 1 - F_M \left( m_i - \frac{\Delta m}{2} \right) \tag{18}$$

$$P \left( M > m_i + \frac{\Delta m}{2} \right) = 1 - F_M \left( m_i + \frac{\Delta m}{2} \right) \tag{19}$$

Event rates dari magnitude diberikan oleh persamaan berikut:

$$P \left( M > m_i - \frac{\Delta m}{2} \right) \lambda_M(m_o) - P \left( M > m_i + \frac{\Delta m}{2} \right) \lambda_M(m_i) \tag{20}$$

Perhitungan *Annual Exceedence Rate* adalah perhitungan yang bertujuan untuk menentukan probabilitas nominal dari probabilitas nilai PGA terlampaui. Perhitungan ini mempertimbangkan radius pengaruh sumber gempa, magnitude gempa, *event rate*, fungsi atenuasi dan beberapa nilai PGA pengujian. Hubungan PGA pengujian dengan PGA analisis dapat dijabarkan melalui persamaan berikut.

$$X = \ln \text{PGA}_{\text{trial}} - \left( \frac{\ln \text{PGA}_{\text{study}}}{\sigma} \right) \tag{21}$$

Dimana,

- X = nilai hubungan PGA pengujian dengan PGA analisis
- PGA<sub>trial</sub> = nilai PGA pengujian
- PGA<sub>study</sub> = nilai PGA hasil analisis
- σ = factor koreksi persamaan atenuasi

Apabila nilai X dicari nilai distribusi normalnya, maka akan didapatkan nilai probabilitas tidak terlampauinya PGA pengujian, sehingga probabilitas terlampauinya PGA pengujian adalah

$$P(> PGA) = 1 - P(< PGA) \tag{22}$$

Dimana,

$P(>PGA)$  = nilai probabilitas terlampuinya PGA pengujian.

$P(<PGA)$  = nilai probabilitas tidak terlampuinya PGA pengujian.

Maka nilai probabilitas total adalah probabilitas terlampuinya PGA pengujian, jarak, dan magnitudo. Perumusannya adalah sebagai berikut:

$$P(a.> PGA) = P(> PGA) \times P(R > r) \times P(> m_i) \tag{23}$$

Dimana,

$P(a.>PGA)$  = nilai probabilitas total

$P(> PGA)$  = nilai probabilitas PGA.

$P(R > r)$  = nilai probabilitas jarak.

$P(> m_i)$  = nilai probabilitas magnitudo  
= nilai event rate  $m_i$ .

Perhitungan *Annual Exceedence Rate* dapat dilakukan tabulasi untuk mempermudah proses perhitungan. Langkah selanjutnya adalah mengulang perhitungan diatas untuk nilai PGA pengujian yang berbeda kemudian melakukan penjumlahan total nilai logaritma natural PGA pengujian dan logaritma natural  $N_{PGA}$ , dimana perbandingan dari dua parameter tersebut menghasilkan suatu kurva *hazard*. Selanjutnya berdasarkan regresi kurva tersebut didapatkan suatu persamaan, guna menentukan besaran PGA rencana.

Bentuk persamaan umum adalah sebagai berikut:

$$y = Bx+A \tag{24}$$

maka persamaan PGA adalah sebagai berikut:

$$\ln N_{PGA} = A+B \ln PGA \tag{25}$$

### Analisis Resiko Gempa dan PGA Rencana

Resiko gempa bumi adalah probabilitas dari terlampuinya gempa bumi dengan besaran intensitas dan kala ulang tertentu untuk suatu bangunan. Dapat dilihat dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_n = 1 - (1 - R_a)^t \tag{26}$$

Dimana,

$R_n$  = resiko gempa bumi (%)

$R_a$  = resiko tahunan

=  $1/T$

$t$  = umur bangunan (tahun)

$T$  = kala ulang gempa (tahun)

Hubungan antara *annual rate* dengan PGA rencana dapat dijabarkan melalui persamaan berikut:

$$PGA = \exp(A + |\ln N|)/|B| \tag{27}$$

Dimana,

$N$  = *annual rate*

$A \& B$  = parameter PGA dari kurva *hazard* (logaritma natural)

### Respon Spektrum

Menurut Pawirodikromo (2012), respon spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar suatu struktur  $T$ , lawan respon-respon maksimumnya. Respon spektrum dapat berupa simpangan maksimum, kecepatan maksimum atau percepatan maksimum.

Desain respon spektrum sesuai aturan SNI 2002 dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_m = 2,5A_0 \tag{28}$$

$$C = A_m, \text{ untuk } T \leq T_c \tag{29}$$

$$C = \frac{A_r}{T}, \text{ untuk } T > T_c \tag{30}$$

$$A_r = A_m \cdot T_c \tag{31}$$

Pada SNI 2012 tidak lagi disajikan grafik respon spektrum untuk suatu wilayah, oleh karena itu grafik respon spektrum SNI 2012 pada suatu titik didapatkan melalui situs <http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/>. Berdasarkan situs ini, hanya membutuhkan data koordinat titik dan jenis tanah untuk menampilkan grafik respon spektrum suatu titik.

**METODE PENELITIAN**

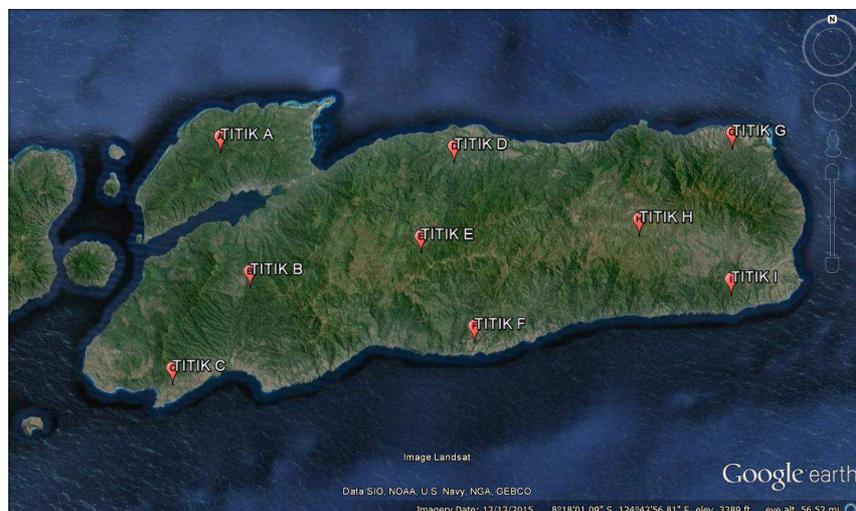
**Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian adalah Pulau Alor. Guna kepentingan penelitian dibutuhkan penentuan suatu titik koordinat sebagai titik tinjau terhadap sumber gempa. Pada penelitian ini penentuan titik tinjau berjumlah 9 titik, dengan harapan area pula Alor dapat terbagi secara merata dan bisa mendapatkan pola peta gempa yang baik. Tabel 1 di bawah ini, menyajikan data titik-titik tinjau yang telah ditentukan:

Tabel 1. Titik Tinjau Berserta Koordinatnya

Titik Tinjau	Latitude	Longitude
A	8.1782°	124.4842°
B	8.3273°	124.5256°
C	8.4345°	124.4383°
D	8.1892°	124.7511°
E	8.2890°	124.7144°
F	8.3880°	124.7738°
G	8.1739°	124.0594°
H	8.2699°	124.9550°
I	8.3359°	124.0592°

Koordinat dari 9 titik tinjau kemudian diplot pada peta Pulau Alor untuk menampilkan secara visual lokasi titik tersebut. Gambar 1 berikut ini menampilkan lokasi titik tinjau pada Pulau Alor.



Gambar 1. Lokasi Titik Tinjau

**Jenis-jenis Data**

Jenis data dalam penelitian ini adalah data sekunder, yang diperoleh melalui katalog gempa berisi lokasi, waktu kejadian, dan besaran terukur dari gempa historik dari USGS.

**Teknik Analisis Data**

Teknik analisis data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pengumpulan data sekunder. Pada penelitian ini data sekunder adalah data katalog gempa dari USGS dan nilai  $V_{s30}$  yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.
2. Mengeliminasi data gempa yang memiliki jarak episentrum dan hiposentrum dengan radius lebih dari 500 km terhadap masing-masing titik tinjau. Eliminasi dilakukan dengan menggunakan *Haversine formula*.
3. Melakukan proses *decluster* sebagai pemisahan gempa utama dengan gempa susulan. Proses *decluster* dilakukan dengan bantuan software Zmap.
4. Menentukan *rate of occurrence* dari kejadian dengan  $m_i$  dan  $\Delta m = 0,5$  atau data gempa dengan magnitudo yang bukan kelipatan 0,5 akan dibulatkan menuju kelipatan terdekat.
5. Melakukan pengelompokkan sumber gempa dari data hasil *decluster*
6. Menentukan *magnitude recurrence relationship* dengan menggunakan model Gutenberg-Richter (1994).
7. Menghitung *magnititude event rate* dengan menggunakan persamaan
8. Menghitung nilai percepatan menggunakan fungsi atenuasi berdasarkan pengelompokkan sumber gempa.
9. Menghitung *annual axccedance rate* berdasarkan fungsi atenuasi masing-masing sumber gempa, dengan nilai  $\Delta PGA = 20$  dari hingga PGA 500.
10. Hasil perhitungan  $Ln PGA$  dan  $Ln N_{PGA}$  yang akan dibuat dalam bentuk kurva *hazard* sebagai hasil perbandingan pergerakan tanah dan magnitudo.
11. Mendapatkan grafik respon spektrayang merupakan hasil dari fungsi atenuasi.
12. Membandingkan grafik respon spektrum fungsi atenuasidengan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI-1726-2002), untuk mengetahui nilai perbedaan antara hasil fungsi atenuasi, SNI-1726-2002 dan SNI-1726-2012.
13. Melakukan penggambaran peta untuk wilayah Pulau Alor berdasarkan hasil respon spektra untuk nilai percepatan tanah dasar ( $A_0$ ).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Nilai PGA**

Nilai PGA hasil perhitungan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) adalah sebagai berikut

Tabel 2. Nilai PGA Tiap Titik Tinjau

KOORDINAT		TITIK	PGA PSHA				PGA
<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>		<i>Fault</i>	<i>Subduksi</i>	<i>B.interface</i>	<i>B.interslab</i>	
124.48	-8.18	A	0.7569	0.3445	0.3062	0.5372	0.5077
124.53	-8.33	B	0.7589	0.3658	0.3121	0.3480	0.4849
124.44	-8.43	C	0.7576	0.3783	0.3051	0.5004	0.5129
124.75	-8.19	D	0.7778	0.3516	0.2992	0.4151	0.4955
124.71	-8.29	E	0.7761	0.3833	0.3014	0.4159	0.5060
124.77	-8.39	F	0.7762	0.3837	0.3008	0.4194	0.5067
125.06	-8.17	G	0.7591	0.3885	0.3058	0.5547	0.5260
124.96	-8.27	H	0.7592	0.3820	0.3024	0.5551	0.5233
125.06	-8.34	I	0.7604	0.3856	0.3035	0.5606	0.5260

Untuk masing-masing titik tinjau menunjukkan bahwa nilai PGA dari sumber gempa *fault* lebih besar dibandingkan sumber gempa subduksi dan *background*. Ini berarti sesuai dengan penjelasan awal mengenai kondisi Pulau Alor, dimana aktifitas seismik di Pulau Alor sebagian besar dipengaruhi oleh Flores Back-arc, Timor Back-arc dan Wetar Back-arc.

**Grafik Respon Spektrum**

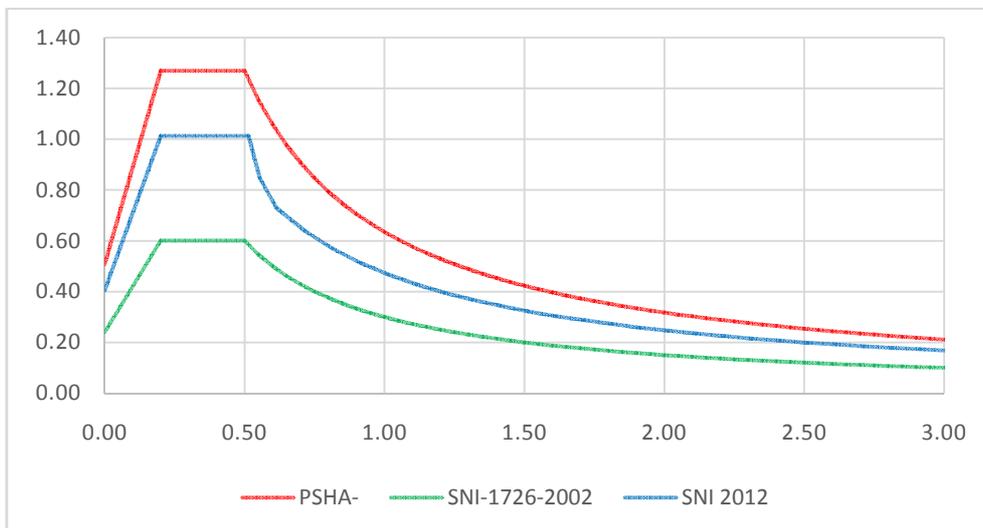
Nilai PGA hasil penelitian kemudian dibuat dalam bentuk grafik respon spektrum dan selanjutnya dibandingkan terhadap respon spektrum SNI 2002 dan SNI 2012. Grafik respon spektra SNI 2012, didapatkan melalui bantuan aplikasi “Desain Spektra Indonesia”, yang diambil melalui situs [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/). Grafik respon spektra SNI 2002, sesuai dengan tabel spektrum respon gempa rencana SNI 1726-2002, untuk lokasi Pulau Alor yaitu wilayah 4 adalah

$$A_o = 0,24 \text{ g}$$

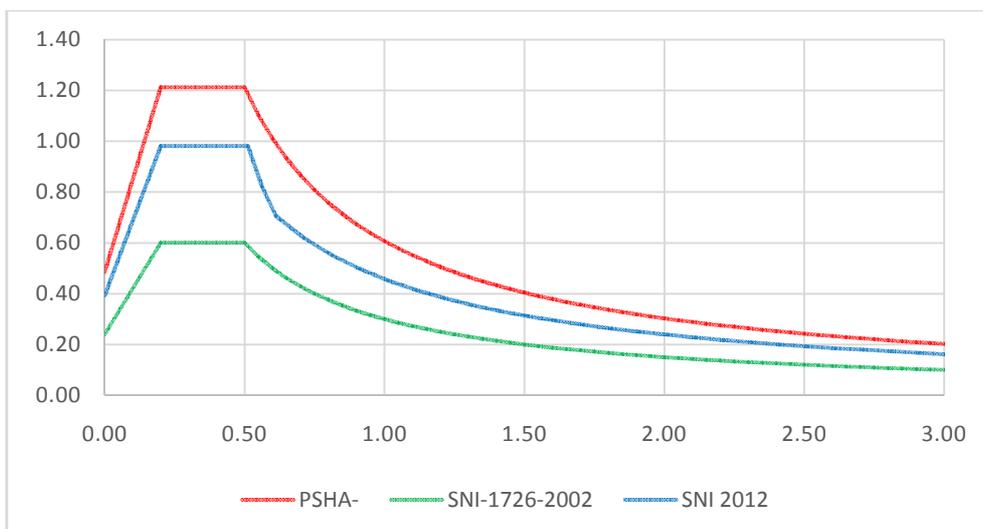
$$A_m = 0,60 \text{ g}$$

$$A_r = 0,30 \text{ g}$$

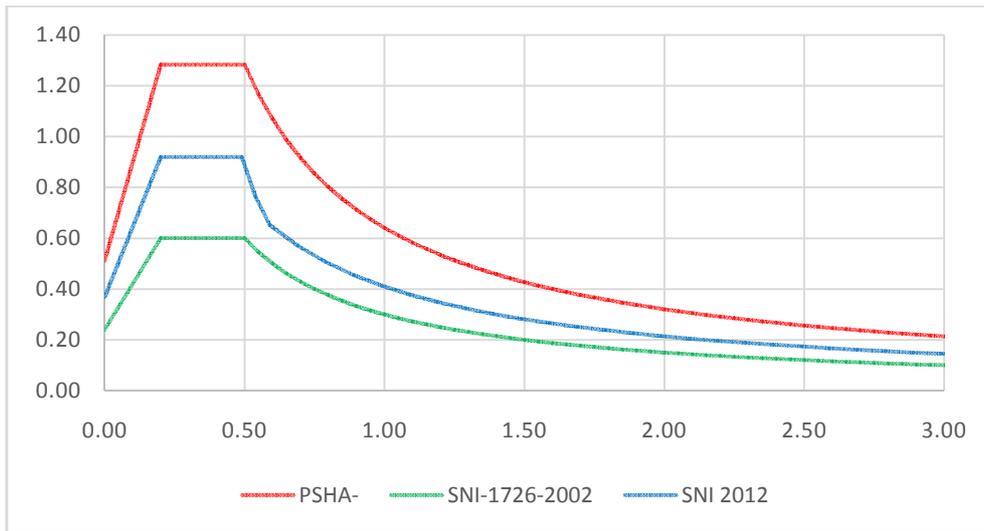
$$C (g) = A_r / T (\text{det})$$



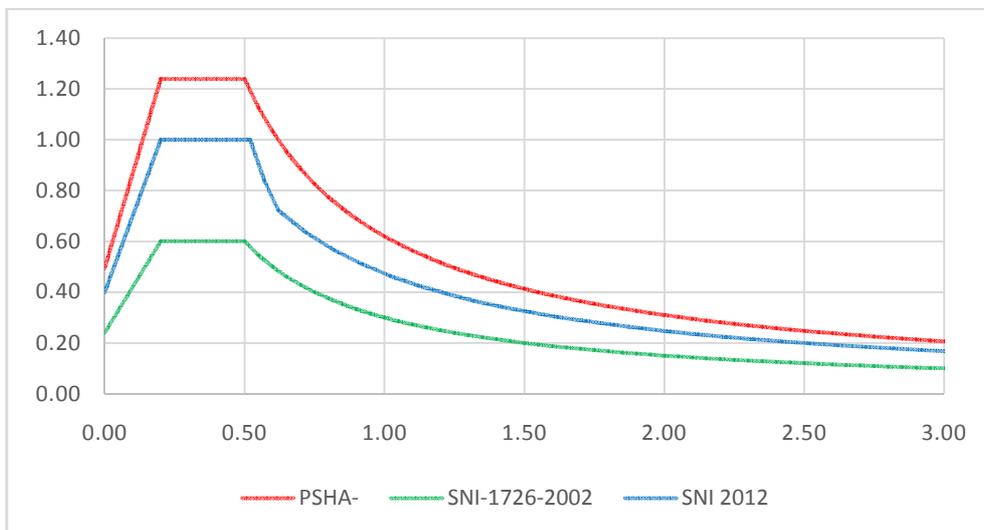
Gambar 2. Perbandingan Grafik Respon Spektrum Titik A terhadap SNI



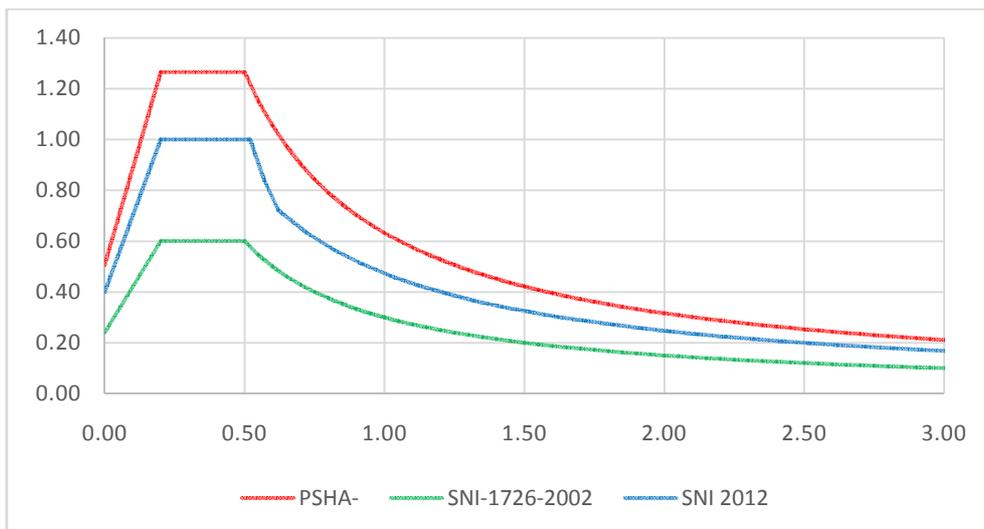
Gambar 3. Perbandingan Grafik Respon Spektrum Titik B terhadap SNI



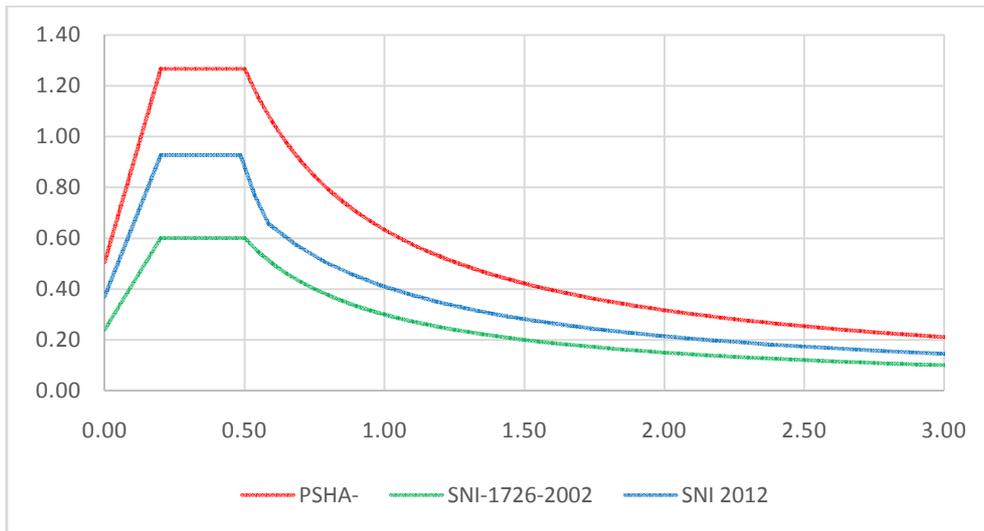
Gambar 4. Perbandingan Grafik Respon Spektrum Titik C terhadap SNI



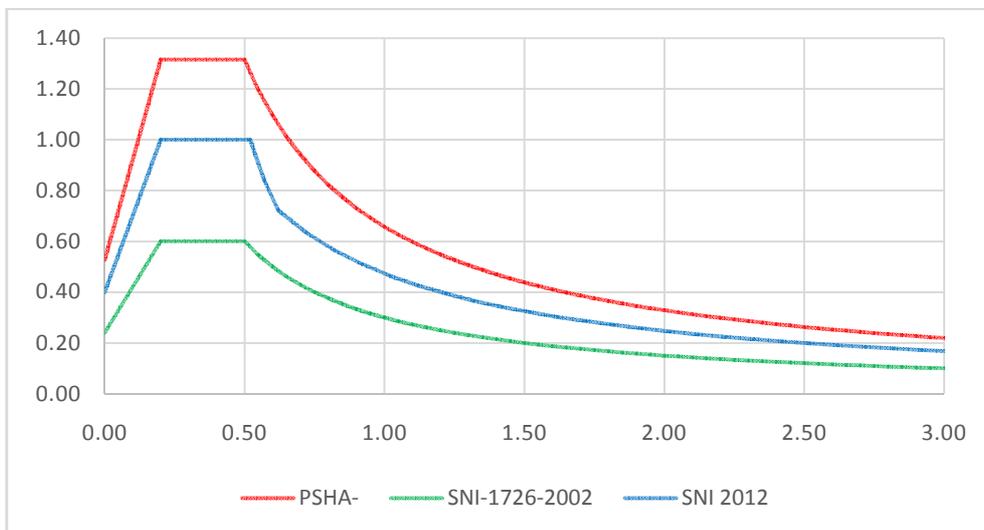
Gambar 5. Perbandingan Grafik Respon Spektrum Titik D terhadap SNI



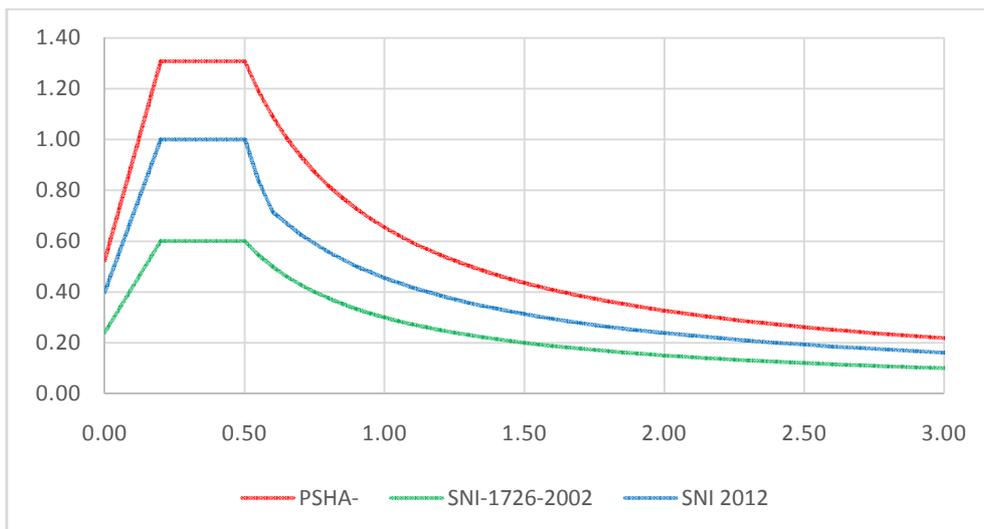
Gambar 6. Perbandingan Grafik Respon Spektrum Titik E terhadap SNI



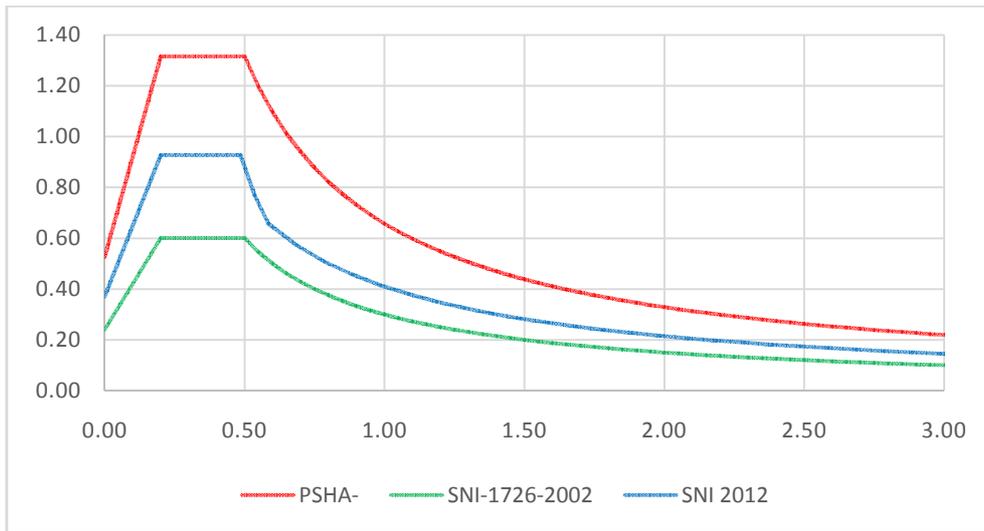
Gambar 7. Perbandingan Grafik Respon Spektrum Titik F terhadap SNI



Gambar 8. Perbandingan Grafik Respon Spektrum Titik G terhadap SNI



Gambar 9. Perbandingan Grafik Respon Spektrum Titik H terhadap SNI

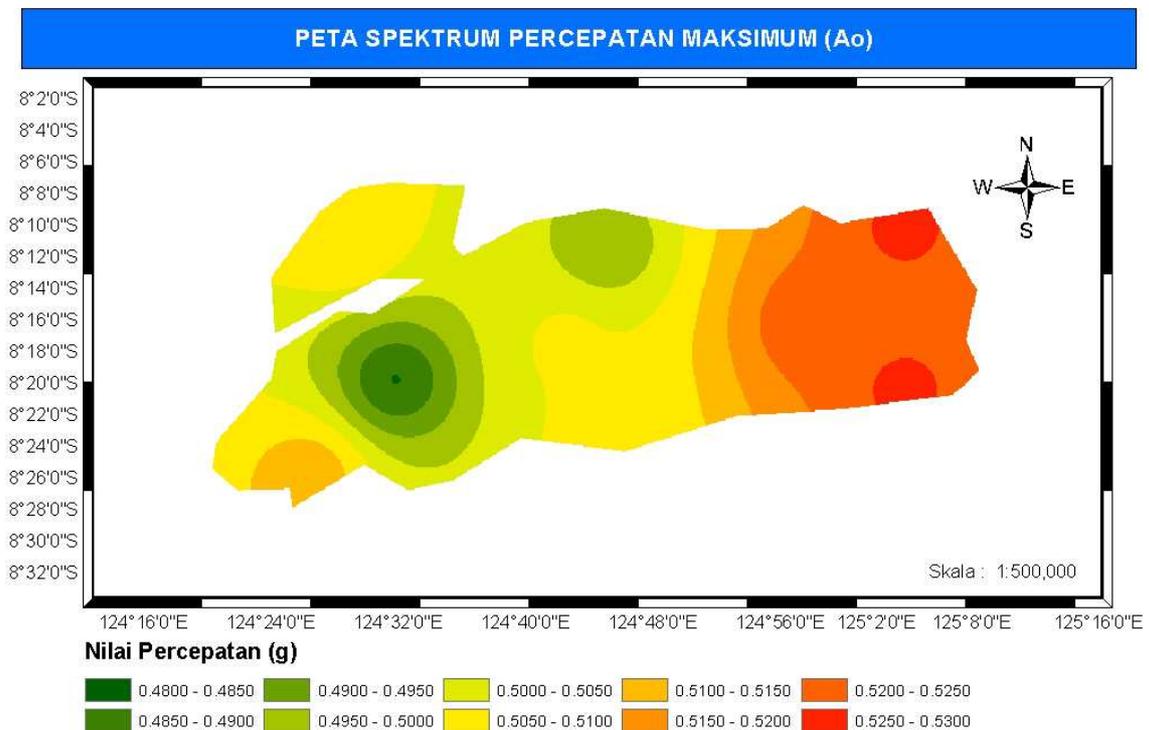


Gambar 10. Perbandingan Grafik Respon Spektrum Titik I terhadap SNI

Berdasarkan hasil penelitian, grafik respon spektrum hasil penelitian (garis merah) lebih besar dibandingkan grafik respon spektrum SNI 2012 (garis biru) dan grafik respon spektrum SNI 2002 (garis hijau).

**Peta Percepatan Puncak Muka Tanah ( $A_0$ ) Pulau Alor**

Nilai percepatan batuan dasar hasil PSHA untuk tiap-tiap titik tinjau dapat diubah menjadi peta. Pembuatan dilakukan dengan bantuan program ArcGis. Dimana ArcGis akan melakukan interpolasi terhadap nilai-nilai percepatan batuan dasar tersebut. Berikut ini adalah peta percepatan batuan dasar untuk Pulau Alor.



Gambar 11. Peta Percepatan Maksimum Tanah (PGA) Pulau Alor

Peta Zonasi Gempa Pulau Alor untuk nilai percepatan puncak batuan dasar hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah Alor bagian timur memiliki nilai percepatan tertinggi untuk wilayah Pulau Alor dengan besaran nilai 0,5260 g. Pulau Alor bagian barat memiliki percepatan puncak batuan dasar dibawah 0,5000 g.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Nilai percepatan batuan dasar Pulau Alor pada kondisi *Peak Ground Acceleration* (PGA) untuk periode ulang gempa rencana 2500 tahun dan untuk usia bangunan 50 tahun dengan probabilitas 2 % adalah berkisar 0,4849 g – 0,5260 g. Secara umum relatif hampir sama dengan Peta Gempa Indonesia 2010 yang berkisar 0.4 – 0.6 g.
2. Berdasarkan hasil penelitian, grafik respon spektrum hasil PSHA memiliki nilai respon spektrum yang lebih besar dibandingkan dengan grafik respon spektrum dari SNI 2002 dan SNI 2012.
3. Berdasarkan hasil pembuatan peta, Pulau Alor bagian timur memiliki nilai percepatan batuan dasar terbesar yaitu berada pada kelas percepatan 0,5250 – 0,5300 g. Selanjutnya nilai percepatan batuan dasar menuju ke arah tengah Pulau Alor berada pada kelas 0,5050 – 0,5100 g. Kemudian nilai percepatan akan semakin mengecil menuju arah barat, hingga nilai percepatan batuan dasar mencapai kelas 0,4850 – 0,4900 g, dan pada suatu titik untuk area yang kecil nilainya bahkan berada pada kelas 0,4800 – 0,4850 g.

### Saran

1. Perlunya penelitian lanjutan nilai percepatan batuan dasar Pulau Alor dengan cara memperbanyak titik tinjau serta penggunaan persamaan percepatan atenuasi lebih dari satu untuk tiap sumber gempa.
2. Diharapkan kedepannya adanya suatu penelitian untuk mengetahui nilai kecepatan gelombang Shear ( $V_{S30}$ ) untuk daerah-daerah di Pulau Alor secara keseluruhan. Sehingga dapat menambah keakuratan dalam analisa percepatan batuan dasar.
3. Diharapkan adanya penelitian identifikasi lanjutan mengenai keadaan tektonik di sekitar Pulau Alor. Karena diperkirakan adanya suatu sesar lokal di Pulau Alor. Dengan telah teridentifikasinya sesar tersebut, maka akan menambah keakuratan nilai hasil penelitian.

### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung(SNI 1726 – 2002)*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung(SNI 1726 – 2012)*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Asrurifak. 2010. *Spectral Hazard Map for Indonesia with a Return Period of 2500 Years*, ITB, Bandung.
- Atkinson, Gail M dan Boore, David M. 2003. *Empirical Ground-Motion Relations for Subduction-Zone Earthquakes and Their Application to Cascadia and Other Regions*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 93, No.4, 1703-1729.
- Atkinson, Gail M dan Boore, David M. 2007. *Boore-Atkinson NGA Ground Motion Relations for the Geometric Mean Horizontal Component of Peak and Spectral Ground Motion Parameters*. PEER Report 2007/01.
- Building Seismic Safety Council (BSSC). 2000. *The 2000 NERHP Recommended Provisions for New Building and Other Structures, Part I (Provisions) and Part II (Commentary)*, FEMA 363/369, Whashington, US.
- Campbell, Kenneth. W dan Bozorgnia, Y. 2006. *Campbell-Bozorgnia NGA Empirical Ground Motion Model for the Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and SA at Selected Spectral Periods Ranging from 0,01-10,0 Seconds (Version 1.1)*.

- Campbell, Kenneth. W dan Bozorgnia, Y. 2011. *A Ground Motion Prediction Equation for JMA Instrumental Seismic Intensity for Shallow Crustal Earthquakes in Active Tectonic Regimes*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics: 40: 431-427.
- Chen, W. F., dan Scawthorn, C. 2003. *Earthquake Engineering Handbook*. CRC Press LLC, New York, US.
- Chiou, Brian S.-J. dan Young, Robert R. 2008. *NGA Model for Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra*, PEER Report 2008/09.
- Cornell, C. Allin. 1968. *Engineering Seismic Risk Analysis*, Bulletin of the Seismological Society of America Vol 58, No.5, 1583-1606.
- Douglas. 2011. *Ground-motion Prediction Equation 1964-2010*, Geoscience for Sustainable Earth, California.
- Gardner, J. K dan Knopoff, L. 1974. *Is The Sequence of Earthquake In Southern California With Aftershocks Removed, Poissonian?*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 64, No. 5, 1363-1367.
- Irsyam, M., dkk. 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*, Bandung. Kramer. 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, New Jersey.
- Pawirodikromo. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman, Kementerian PU dan Perumahan Rakyat, 2011. *Desain Spektra Indonesia*, <[http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/)>[diakses 17 Juli 2017]
- Scordilis, E.M. 2006. *Empirical Global Relations Converting  $M_s$  and  $M_b$  to Moment Magnitude*. Journal of Seismology. 10. 225-236.
- Sulaeman, C. 2016. *Karakteristik Tanah di Kota Kalabahi Berdasarkan Nilai Kecepatan Gelombang Shear ( $V_s$ )*, Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi.
- USGS, NEIC. 2008. *Seismic Hazard of Western Indonesia*, Map prepare by United State of Geology Survey, < [http://earthquake.usgs.gov/research/hazmap/product\\_data](http://earthquake.usgs.gov/research/hazmap/product_data) > [diakses 24 Juni 2016]
- Wiemer, S., 2001. *A Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP*, Seismological Research Letters, 72(2):373–382.