

# Analisis Respon Spektra Pada Embankment Boulevard Amurang

Cliefino A. F. Loong<sup>1</sup>, O. B. A. Sompie<sup>2</sup>, Lanny D. K. Manaroinsong<sup>3</sup>

Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado, 95115

<sup>1</sup>cliefinoafloong@gmail.com; <sup>2</sup>bsompie@yahoo.com; <sup>3</sup>lannymanaroinsong@gmail.com

**Abstrak** - Gempa merupakan salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam merencanakan suatu bangunan. Kondisi gempa merupakan hal selalu berubah juga kejadiannya yang tidak dapat diprediksi kapan dan dimana akan terjadi. Percepatan tanah maksimum merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam merancang suatu bangunan yang merupakan syarat dari Standar Nasional Indonesia 1726:2012 tentang perencanaan gedung tahan gempa. Provinsi Sulawesi utara merupakan kawasan dengan tingkat seismik yang tinggi, boulevard Amurang merupakan salah satu infrastruktur jalan yang termasuk dalam kawasan tersebut sehingga perlu dilakukan analisis respon spektra pada lokasi tersebut. Dengan menggunakan parameter – parameter gempa yang sesuai dengan kondisi lokasi tersebut. Analisis dilakukan menggunakan metode PSHA (Probability Seismic Hazard Analysis) dengan bantuan EZ-FRISK untuk menghasilkan PGA (Peak Ground Acceleration) atau percepatan tanah maksimum dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun masa layanan bangunan atau mewakili keruntuhan pada MCE (Maximum Considered Earthquake). Dari hasil analisis yang dilakukan tanah lokasi diklasifikasikan tanah sedang dengan analisis resiko gempa pada periode ulang gempa 2500 tahun mendapatkan nilai  $PGA = 0.6558\text{ g}$  dan respon spektra desain =  $0.798\text{ g}$ .

**Kata kunci** — respons spektra, gempa bumi, PSHA, ZMAP, EZ-FRISK

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Daerah pesisir pantai merupakan salah satu kawasan strategis dalam hal sumber daya yang menjadi akses menuju lautan yang menjadi sumber pendapatan yang dapat menunjang perekonomian. Dengan adanya perkembangan ekonomi yang dinamis, pembangunan dalam hal ini boulevard Amurang, Minahasa Selatan- Sulawesi Utara juga turut mengikuti proses tersebut dalam menunjang perekonomian, transportasi dan berbagai kegiatan lainnya.

Cliefino A. F. Loong adalah mahasiswa tingkat akhir jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado pada bidang Geoteknik (email : cliefinoafloong@gmail.com);

O. B. A. Sompie adalah dosen jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi dan guru besar pada bidang Geoteknik (email : bsompie@yahoo.com)

Lanny D. K. Manaroinsong adalah dosen jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi pada bidang Geoteknik (email : lannymanaroinsong@gmail.com)

Dengan adanya berbagai bencana alam yang terjadi belakangan ini yang berkaitan dengan Gempa maka kawasan tersebut tidak lepas dari masalah yang dapat mengancam nyawa serta berdampak pada perekonomian daerah tersebut. Guna memprediksi resiko yang dapat terjadi masa mendatang penulis ingin menerapkan ilmu engineering dalam menganalisa nilai potensi Gempa yang akan terjadi di masa mendatang di daerah boulevard Amurang.

Seiring perkembangan zaman, telah dilakukan pembaruan dalam Peta Gempa Indonesia 2017 yang dibuat oleh Kementerian Pekerjaan Umum yang merupakan pembaruan dari Peta Gempa Indonesia Tahun 2010. Peta Gempa Indonesia 2017 ini dapat digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai parameter – parameter gempa yang bisa digunakan dalam proses desain bangunan, namun dikarenakan data yang didapat dari penelitian sekaligus pembaruan data dari buku peta gempa tersebut yang masih besrifat umum dan karena pentingnya parameter gempa yang digunakan dalam mendesain suatu sarana atau prasarana, maka perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan nilai respon spektra Boulevard Amurang yang lebih akurat dengan menggunakan data tanah lokal dan data gempa terbaru.

### B. Rumusan Masalah

1. Berapa nilai peak ground acceleration untuk embankment Boulevard Amurang.
2. Bagaimana analisis resiko gempa pada Embankment Boulevard Amurang dengan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA).

### C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak terlalu melebar dan lebih terarah maka perlu adanya batasan masalah, penelitian ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Analisa PSHA (Probability Seismic Hazard Analysis) menggunakan software EZ-FRISK.
2. Gempa yang diperhitungkan adalah gempa tektonik dan merupakan gempa utama.
3. Data gempa yang digunakan data gempa dari USGS mulai bulan Januari tahun 2019 sampai bulan September tanggal 1 tahun 2019 yang dibatasi dengan kekuatan ( $M_w$ ) > 5.0 SR, kedalaman < 200 km dan radius < 300 km dari kota Amurang.
4. Data tanah yang digunakan adalah data sekunder dari tenaga ahli.

- Parameter-parameter gempa yang digunakan berdasarkan hasil dari penelitian yang telah ada.

**D. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan respon spektra pada Embankment Boulevard Amurang menggunakan metode PSHA (Probability Seismic Hazard Analysis).

**E. Manfaat Penelitian**

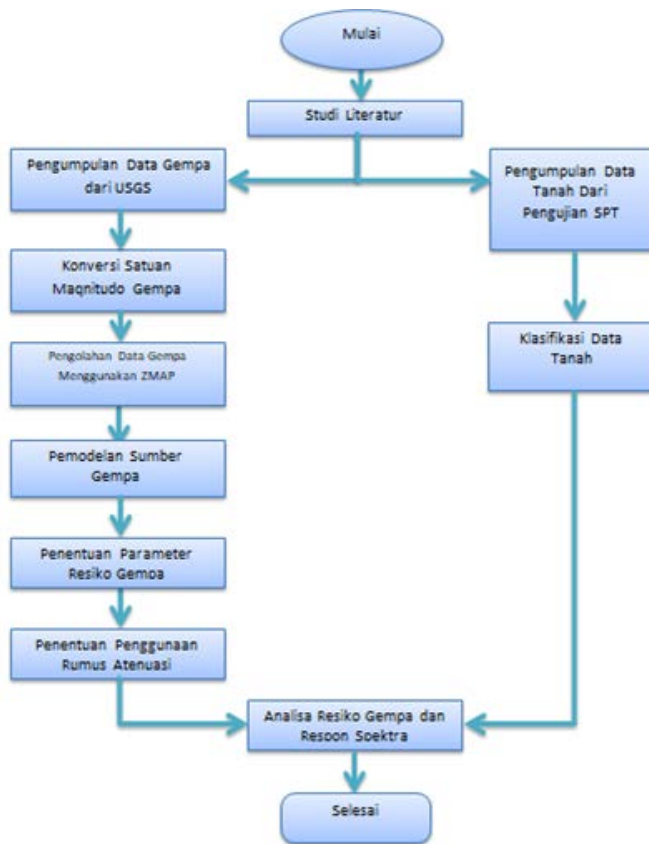
Manfaat dari penelitian ini adalah untuk :

- Menjadi bahan evaluasi dalam menghadapi permasalahan yang berkaitan dengan gempa.
- Data Gempa yang terbaharui dan sesuai kondisi lokasi penelitian.
- Menjadi acuan dalam perencanaan pembangunan di sekitar kawasan tersebut.
- Memprediksi resiko yang dapat terjadi akibat gempa sehingga dapat dilakukan pencegahan.

**II. METODOLOGI PENELITIAN**

**A. Bagan Alir Penelitian**

Kegiatan penelitian ini mengikuti bagan alir seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

**B. Metode Penelitian**

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Studi literatur
- Pengumpulan data gempa
- Pengolahan data gempa dengan ZMAP
- Pengolahan data tanah
- Analisis resiko gempa dengan EZ-FRISK

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Pengambilan Data Gempa**

memasukan parameter-parameter seperti koordinat dengan rentang mulai dari bulan Januari tahun 2019 sampai bulan September 2019 yang dibatasi dengan kekuatan gempa  $M_w > 5$  SR dengan kedalaman  $< 200$  km dan radius  $< 300$  km dari lokasi penelitian.

Batasan-batasan gempa tersebut diambil karena dianggap memberi dampak yang jelas terhadap lokasi penelitian, seperti gempa yang hiposenternya terlalu dalam jarang memberikan pengaruh ke permukaan, sedangkan gempa dengan hiposenter yang dangkal sering memberikan pengaruh ke permukaan sampai menjadi pemicu bencana terjadi. Batasan ini mengacu pada Asrurifak (2010).

Data dari katalog gempa yang akan didapatkan dari website USGS memiliki beberapa satuan gempa diantaranya moment maqnitude ( $M_w$ ), maqnitude gelombang permukaan ( $m_s$ ) dan maqnitudo badan ( $m_b$ ), untuk itu perlu dikonversi mernjadi satu satuan yaitu moment maqnitude ( $M_w$ ) berdasarkan Tabel 1.

TABEL 1. KONVERSI KORELASI SKALA MAQNITUDE

Korelasi Konversi	Kesesuaian
$M_w = 0.143m_s^2 - 1.05 m_s + 7.285$	93.9%
$M_w = 0.114m_b^2 - 0.556m_b + 5.560$	72.0%
$M_w = 0.787 M_E - 1.537$	71.2%
$m_b = 0.125M_L^2 - 0.389M_L - 3.513$	56.1%
$M_L = 0.717M_D + 1.003$	29.1%

Keterangan :

- $M_w$  = magnitudo momen
- $M_s$  = magnitudo gelombang permukaan
- $m_b$  = magnitudo gelombang badan
- $M_L$  = magnitudo lokal

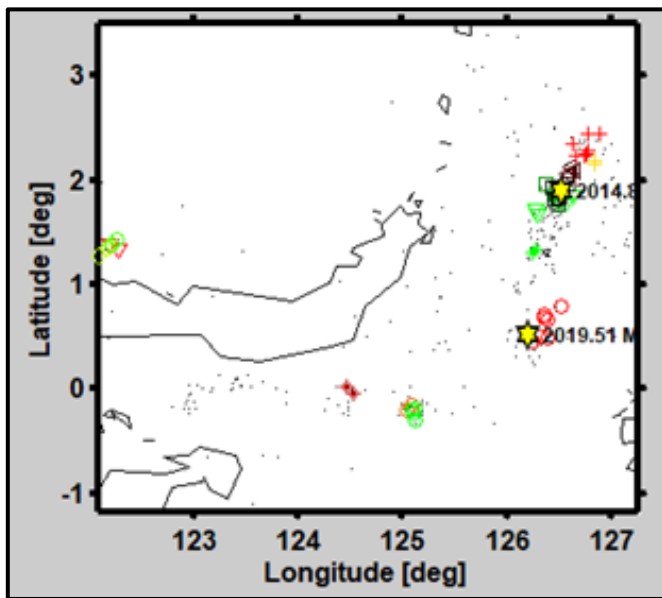
**B. Pengolahan Data Gempa Dengan ZMAP**

Data gempa yang telah sesuai format ketika dimasukan kedalam ZMAP akan menampilkan peta sebaran episenter gempa. Selanjutnya perlu dilakukan pemisahan gempa utama dengan bantuan ZMAP. Hasil pemisahan dapat dilihat dalam Peta Sebaran Episenter Gempa Utama (Gambar 2).

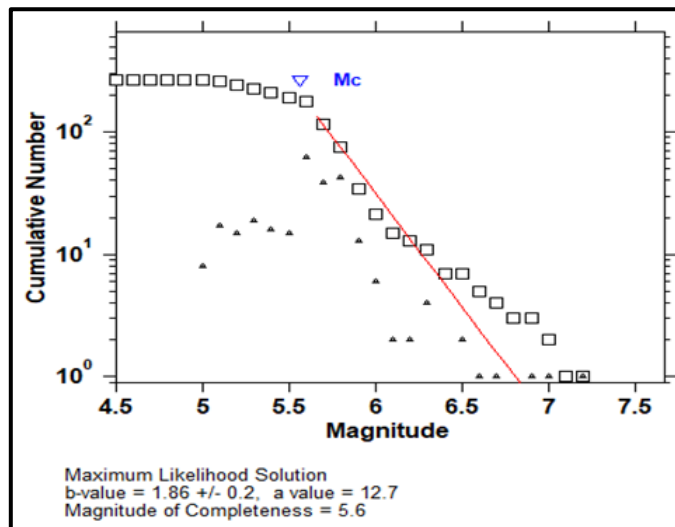
Pemisahan gempa utama menggunakan pemisahan menurut Gardner & Knopoff (1974) dan mendapatkan 52 gempa utama dari 305 gempa yang tercatat.

Setelah itu dilakukan perhitungan untuk mengetahui a-b value melalui ZMAP. Kedua parameter ini adalah parameter yang masing-masing menunjukkan keaktifan seismik suatu wilayah dan penyebaran relatif magnitudo gempa. Parameter-parameter ini akan dimasukkan pada saat penentuan parameter

resiko gempa untuk sumber-sumber gempa. Hasil penentuan kedua nilai tersebut.



Gambar 2. Peta Sebaran Episenter Gempa Utama



Gambar 3. Frequency-Magnitude Distribution

C. Pengolahan Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang didapat dari tenaga ahli. Data yang digunakan adalah hasil dari pengujian *Standard Penetration Test*.

Data tanah tersebut dikorelasikan untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang geser tanah rata-rata pada permukaan ( $V_s$ ), dalam penelitian ini untuk korelasi nilai  $N_{SPT}$  ke  $V_s30$  digunakan rumus Seed & Idris (1981) dengan perhitungan kecepatan rata-rata gelombang geser menggunakan rumus penentuan tanah dari SNI 1726-2012.

Berikut adalah hasil korelasi  $N_{SPT}$  ke  $V_s30$  dan kecepatan rata-rata gelombang geser yang di dapat.

TABEL 2. KORELASI  $N_{SPT}$  KE  $V_s30$  DAN KECEPATAN RATA-RATA GELOMBANG GESER

Kedalaman (m)	N-SPT	vs meter/detik	$\bar{v}_s$
2	2	88.25	283.194
4	3	108.08	
6	20	279.06	
8	38	384.66	
10	36	374.40	
12	35	369.16	
14	42	404.40	
16	39	389.69	
18	46	423.22	
20	48	432.32	
22	51	445.63	
24	45	418.59	
26	52	449.97	
28	54	458.54	
30	60	483.35	

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai kecepatan rata-rata gelombang geser  $\bar{v}_s = 283.194$  m/det. Sehingga jenis tanah berdasarkan nilai  $V_s$  menurut klasifikasi situs SNI 1726-2012 didapat jenis tanah dengan klasifikasi tanah sedang (tipe D).

TABEL 3. KLASIFIKASI SITUS MENURUT SNI 1726-2012

Klasifikasi Site	$\bar{V}_s$ (m/dt)	$\bar{N}$	$\bar{\sigma}_v$ (kPa)
A. Batu Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batu	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batu Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{\sigma}_v \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{\sigma}_v \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{\sigma}_v < 50$
Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut :			
1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air ( $w$ ) $\geq 40\%$ , dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{\sigma}_v < 25$ kPa			
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon spesifik ( <i>Site-Specific Response Analysis</i> )	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan <math>&gt; 3m</math>)</li> <li>- Plastisitas tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7.5m</math> dengan <math>PI &gt; 75</math>)</li> <li>- Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan <math>H &gt; 35m</math></li> </ul>			

Keterangan: N/A = nilai tidak berlaku

D. Analisa Resiko Gempa Dengan EZ-FRISK

Langkah pertama adalah membuat pemodelan sumber gempa yang mempengaruhi lokasi penelitian. Berikut pemodelan tersebut :

1. Sumber gempa subduksi. Untuk sumber gempa subduksi terdapat North Sulawesi Subduction, West Molucca Sea, dan East Molucca Sea.
2. Sumber gempa patahan. Sumber gempa patahan berpengaruh terhadap lokasi penelitian adalah Gorontalo North, Gorontalo South, Batui Thrust, dan Sula Thrust.
3. Sumber gempa background. Sumber gempa yang digunakan adalah sumber gempa areal yang belum teridentifikasi dengan jelas sumber gempa yang terjadi namun memiliki sejarah kegunaan.



Gambar 3. Peta Sumber gempa

Selanjutnya dilakukan penentuan fungsi atenuasi. Fungsi atenuasi ditentukan berdasarkan kondisi geologi dan tektonik dari wilayah dimana fungsi atenuasi itu dibuat. Fungsi atenuasi merupakan suatu fungsi yang menggambarkan korelasi antara intensitas gerak tanah setempat ( $I$ ), maqnitude ( $M$ ) dan jarak ( $R$ ) dari suatu titik ke daerah sumber.

Dalam analisis ini, rumus yang digunakan berdasarkan pemodelan masing-masing sumber gempa didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Manaroinsong (2013).

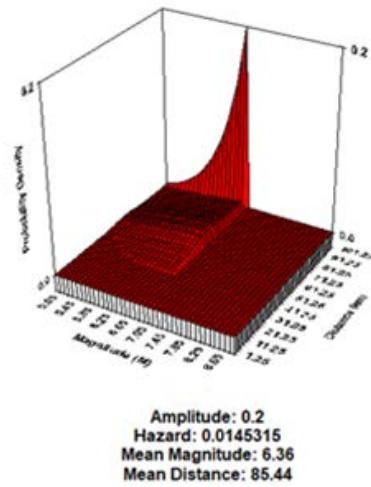
TABEL 4. FUNGSI ATENUASI

Model Sumber Gempa	Rumus Atenuasi
Fault dan Shallow Background	1. Boore-Atkinson NGA (Boore dan Atkinson, 2008) 2. Campbell-Bozorgnia NGA (Campbell dan Bozorgnia, 2008) 3. Chiou-Youngs NGA (Chiou dan Youngs, 2008)
Deep Background	1. Atkinson-Boore intraslab (Atkinson dan Boore, 2003) 2. Geomatrix slab seismicity rock (Youngs dkk, 1997) 3. Atkinson-Boore intraslab seismicity world data BC-rock condition (Atkinson dan Boore, 1995)
Subduction	1. Geomatrix subduction (Youngs dkk, 1997) 2. Atkinson-Boore BC rock & global source (Atkinson dan Boore, 1995) 3. Zhao et al., with variable $V_{p20}$ (Zhao dkk, 2006)

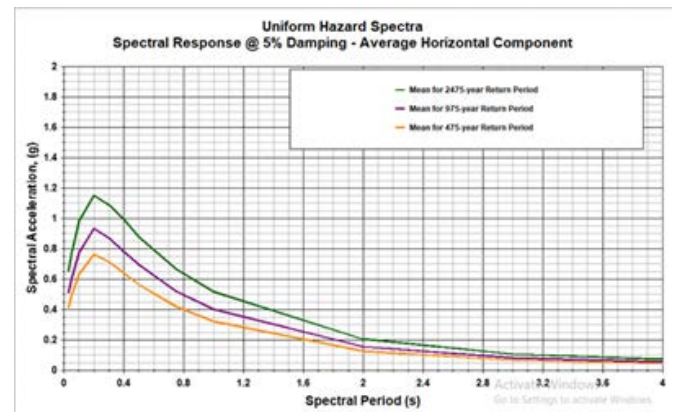
Hasil analisis pertama adalah analisis deagrasi dari lokasi penelitian. Analisis ini mennjukan jarak dan maqnitude yang dominan serta berpotensi memberikan dampak pada lokasi penelitian.

Hasil analisis selanjutnya adalah analisis resiko gempa dengan metode PSHA dalam bentuk grafis UHS, yang memberikan probabilitas terlampauinya nilai percepatan spektral dalam perioede ulang.

Magnitude-Distance Deaggregation Spectral Response @ 5% Damping - Average Horizontal Component



Gambar 4. Deagrasi Lokasi Penelitian



Gambar 5. Grafik UHS

Dari grafik UHS di atas didapatkan nilai PGA pada Tabel 5.

TABEL 5. NILAI PGA

Periode ulang (Tahun)	PGA (g)
500	0.4154
1000	0.5148
2500	0.6558

E. Desain Respon Spektra Lokasi

Desain spektra ini dibuat berdasarakan SNI 726:2012. Berikut adalah hasil berdasarakan langkah yang telah dijelaskan sebelumnya.

1. Kelas situs lokasi penelitian : Tanah Sedang (SD)
  - $S_S = 1.152$
  - $S_1 = 0.5175$
2. Nilai faktor amplifikasi
  - $F_a = 1.0392$
  - $F_v = 1.5$
3. Parameter percepatan spektral desain

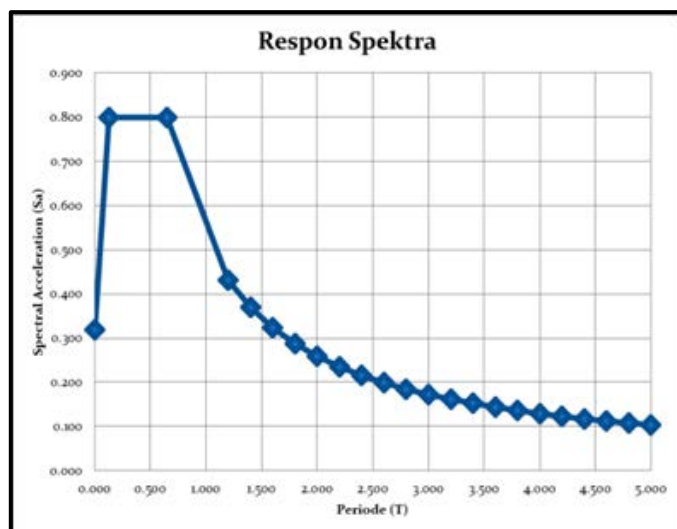


- $S_{DS} = 0.79811$
- $S_{D1} = 0.5175$
- 4. Nilai periode
- $T_0 = 0.12968$
- $T_s = 0.64841$
- 5. Respon Spektra Desain, ditampilkan pada Tabel 6

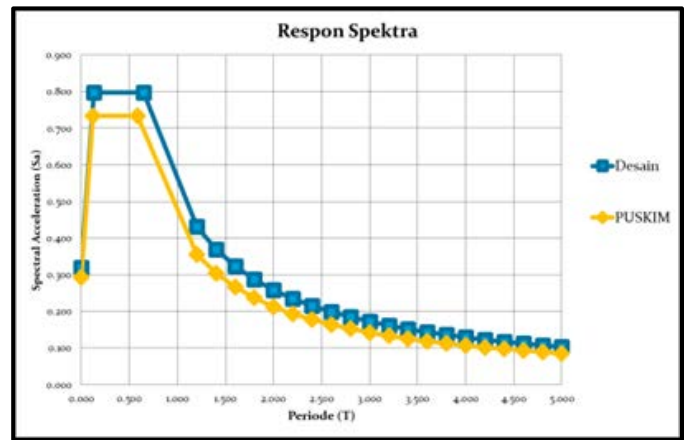
TABEL 6. HASIL PERIODE (T) VS PERCEPATAN SPEKTRA ( $S_a$ )

Periode (T)	Percepatan ( $S_a$ )
0.000	0.319
0.130	0.798
0.648	0.798
1.2	0.431
1.4	0.370
1.6	0.323
1.8	0.288
2	0.259
2.2	0.235
2.4	0.216
2.6	0.199
2.8	0.185
3	0.173
3.2	0.162
3.4	0.152
3.6	0.144
3.8	0.136
4	0.129
4.2	0.123
4.4	0.118
4.6	0.113
4.8	0.108
5	0.104

Hasil respon spektra lokasi penelitian ditampilkan pada Gambar 6. Perbandingan respon spektra desain lokasi penelitian dengan respon spektra pada lokasi yang sama berdasarkan Puskim ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Respon Spektra Lokasi Penelitian



Gambar 7. Grafik Respon Spektra Desain vs Grafik Respon Spektra PUSKIM

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Dari hasil yang di dapatkan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Besar nilai percepatan tanah maksimum atau *peak ground acceleration* (PGA) menggunakan data tanah lokal untuk periode ulang 2500 tahun adalah 0.6558 g dengan nilai  $S_s = 1.152$  dan nilai  $S_1 = 0.5175$ .
2. Hasil analisis respon spektra desain yang dibuat dibandingkan dengan hasil respon spektra PUSKIM yang menunjukkan perbedaan dimana adanya peningkatan pada nilai PGA dari respon spektra desain sebesar 0.319 g dibandingkan PGA respon spektra Puskim sebesar 0.293 g, Perbedaan ini disebabkan penggunaan data tanah lokasi sebagai tinjauan untuk hasil respon spektra yang lebih spesifik dan akurat dan penggunaan katalog gempa yang telah terbaharui sampai 2019 serta penginputan parameter gempa dari hasil penelitian terdahulu.

##### B. Saran

1. Parameter-parameter gempa yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang diambil pada kondisi berlangsungnya penelitian sehingga dapat terjadi perubahan seiring waktu, maka perlu dilakukan pembaruan untuk data secara terus – menerus.
2. Pada penentuan rumus Atenuasi digunakan rumus yang telah ada rumus yang dipilih berdasarkan kemiripan dengan kondisi kegempaan yang ada di Indonesia. Hal ini dikarenakan di Indonesia belum ada rumus atenuasi yang mewakili kondisi kegempaan di Indonesia. Sehingga diperlukan pembaruan untuk penggunaan rumus atenuasi dengan karakteristik kegempaan di Indonesia pada masa mendatang.
3. Hasil percepatan tanah maksimum yang didapat tidak dapat mewakili daerah disekitarnya, karena adanya perbedaan kondisi lapisan tanah yang mempengaruhi nilai percepatan tanah. Maka itu perlu dilakukan peninjauan ulang untuk kondisi tanah yang berbeda.

## V. KUTIPAN

## A. Buku

- [1] ASCE, *American Society of Civil Engineers (ASCE) 7th Edition, Chapter 20-22*. 2010.
- [2] SNI 1726:2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standar Nasional, 2012.
- [3] Puskim, *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum, 2017.
- [4] G. R. R. Thompson, J. Turk, *Introduction to Physical Geology*. Saunders Golden Sunburst Series, 1997.
- [5] W. Wangsadinata, *Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2002*. Jakarta: Shortcourse HAKI, 2006.
- [6] H. B. Seed, I. M. Idriss, *Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes*. Oakland, California: Earthquake Engineering Research Institute, 1982.

## B. Jurnal

- [7] Maria A. Kalesaran, Fabian J. Manoppo, Lanny D. K. Manarainsong, "Respon Spektra Pada Fly Over Interchange Manado Bypass," dalam *Jurnal Sipil Statik* Vol. 5, No. 10, 2017.
- [8] Lanny D. K. Manarainsong, H. Manalip, S. Balamba, "Analisis Respon Spektra Kota Manado," dalam *Jurnal Media Engineering* Vol. 3, No. 2, 2013.
- [9] K. C. Tiwow, O. B. A. Sompie, J. H. Ticoh, "Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Standart Penetration Test (SPT)," dalam *Jurnal Sipil Statik* Vol. 6, No. 7, 2018.
- [10] J. F. Sagay, Fabian J. Manoppo, Lanny D. K. Manarainsong, "Respon Spektra Pada Area PLTU Gorontalo," dalam *Jurnal Sipil Statik* Vol. 6 No. 7, 2019.

## C. Skripsi/Tesis/Disertasi

- [11] M. Asrurifak, "Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa dengan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi dalam Analisis Probabilitas," Disertasi, Program Studi Pascasarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2010.
- [12] Julian R. Talumepa, "Respon Spektra Pada Jembatan Ir. Soekarno Manado," Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, 2019.