

RESPON SPEKTRA PADA AREA PLTU GORONTALO

Jonathan Franklien Sagay

Fabian J. Manoppo, Lanny D. K. Manaroinsong

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

E-mail: joe.frankliens@gmail.com

ABSTRAK

Respon spektra dan percepatan batuan dasar (PGA) merupakan dua aspek yang dipakai dalam menentukan beban gempa suatu bangunan, dalam pertimbangan aspek tersebut digunakan metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) dimana dibantu dengan software EZ-FRISK 7.52 agar diperoleh nilai PGA pada probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dimana gedung di desain untuk menghindari keruntuhan pada Maximum Considered Earthquake (MCE), parameter-parameter gempa dan karakteristik tanah lokasi menjadi 2 hal yang berkontribusi dalam mendapatkan nilai PGA tersebut. Berdasarkan hasil analisis PSHA didapat PGA pada probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun atau periode ulang 2500 tahun sebesar $0.6667g$, $S_s = 1.652g$ dan $S_1 = 0.824g$ dengan data tanah lokasi yaitu tanah sedang ($V_s=245.9$ m/s) dan untuk respon spektra desain berdasarkan SNI 1726-2012 didapat $S_{DS} = 1.1013$ dan $S_{D1} = 0.824$.

Kata kunci : gempa, PSHA, batuan dasar, respon spektra, EZ-FRISK

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dampak yang ditimbulkan gempa bumi sangat beragam, mulai dari tanah longsor, tsunami, likuifaksi, hingga kerusakan pada bangunan, jalan dan jembatan serta infrastruktur lainnya. Salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan menetapkan suatu acuan nilai gempa yang akan menjadi sebuah nilai masukan dalam merencanakan suatu infrastruktur, tentu saja nilai percepatan gempa ini berbeda antara wilayah satu dengan wilayah lainnya karena selain lokasi, struktur komponen tanah juga merupakan salah satu penyebab besar kecilnya percepatan gempa di daerah tersebut. Berdasarkan data Kementerian PU wilayah provinsi Gorontalo berada pada zona 5 gempa di Indonesia, dimana zona 5 merupakan wilayah yang rawan terjadi gempa.

Untuk mengetahui besar kecilnya percepatan gempa dalam hal ini percepatan tanah dasar di daerah tersebut, dibutuhkan beberapa tahap, yang pertama yaitu dengan “memprediksi” kapan dan letak gempa bumi dengan kekuatan terbesar yang akan terjadi berikutnya dengan metode probabilitas dimana dengan menggunakan data-data gempa bumi sebelumnya pada daerah tersebut dan memprogramkannya menggunakan software EZ-FRISK, berikutnya dengan program yang sama untuk mencari Respon Spektra pada

wilayah atau lokasi tersebut dengan menggunakan data tanah pada wilayah tersebut. Hasil dalam bentuk Respon Spektra inilah yang akan menjadi acuan sebagai nilai masukan dalam perencanaan infrastruktur berupa data percepatan tanah permukaan.

Kementerian PU sebenarnya sudah mengeluarkan Peta Gempa Indonesia tahun 2011, peta ini memberikan parameter – parameter Respon Spektra yang biasanya dipakai dalam sebagian besar perencanaan infrastruktur di Indonesia, namun karena peta tersebut dirasa terlalu umum dan belakangan ini telah terjadi beberapa gempa yang cukup besar pada sekitar daerah tersebut (gempa Palu, Donggala), maka perlu adanya pembaharuan data gempa untuk membandingkan tingkat perubahan percepatan tahun 2011 dan tahun 2019 ini.

Rumusan Masalah

1. Berapa besar *Peak Ground Acceleration* dengan metode pada probabilitas terlampaui 2% pada 50 tahun dan periode ulang 2500 tahun.
2. Bagaimana analisis Respon Spektra di PLTU Gorontalo

Batasan Masalah

1. Data gempa yang dipakai yakni data gempa dari USGS mulai bulan Januari 1934 sampai bulan Januari 2019 dengan

data yang akan diambil dibatasi kekuatan ($M_w \geq 5.0$ SR, dengan kedalaman ≤ 300 km serta radius ≤ 300 km dari lokasi penelitian.

2. Beban gempa yang dihitung hanya beban gempa tektonik (gempa yang disebabkan pergeseran lempeng).
3. Data gempa yang digunakan hanya data gempa utama, dan tidak menggunakan gempa rintisan atau gempa susulan.
4. Parameter – parameter yang digunakan (*slip rate, dip, geometri dan*

Tujuan Penelitian

Untuk mendapatkan nilai atau grafik Respon Spektra pada PLTU Gorontalo dengan metode *Probability Seismic Hazard Analysis* dengan probalitas terlampaui 2 % pada 50 tahun dan kala ulang 2500 tahun dengan menggunakan data tanah lokal pada lokasi tersebut dan data gempa terbaru.

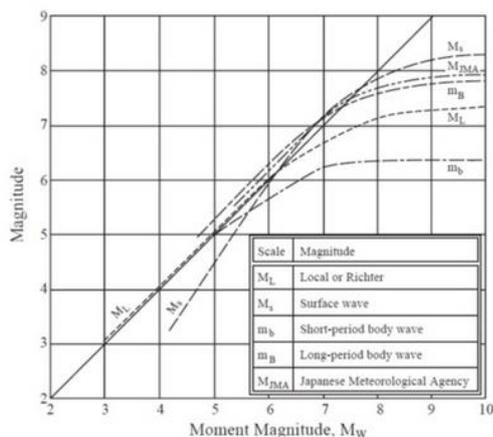
Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan data Respon Spektra terbaru sehingga dapat dilakukan upaya mitigasi atau pencegahan yang nantinya akan dipakai dalam perencanaan pembangunan infrastruktu di daerah tersebut.

LANDASAN TEORI

Gempa Bumi

Gempa bumi (earthquake) adalah peristiwa bergetar atau bergoncangnya bumi karena pergerakan/pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik.



Gambar 1. Hubungan antara skala magnitudo

Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

Dengan metode PSHA ini ketidakpastian dari besar, lokasi dan kecepatan perulangan

(rate of recurrence) dari gempa maupun variasi dari karakteristik gerakan tanah dan lokasi gempa secara eksplisit ikut diperhitungkan dalam evaluasi resiko gempa.

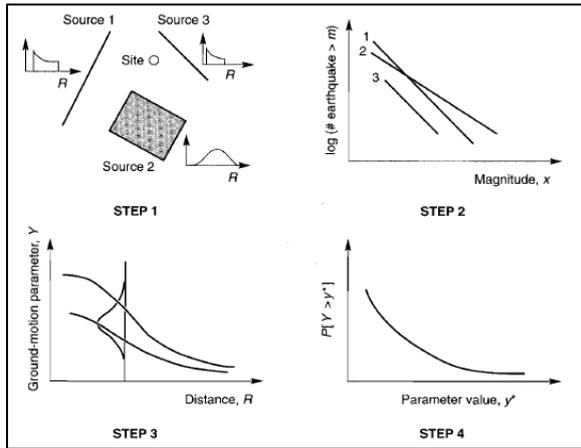
Tujuannya adalah untuk mengkuantifikasi probabilitas terlampauinya berbagai tingkat percepatan tanah akibat setiap gempa bumi yang mungkin terjadi di suatu lokasi. Analisis probabilitas resiko gempa dapat digambarkan sebagai prosedur 4 langkah (four steps process) (Reither, 1990).

Pertama, identifikasi dan karakterisasi semua sumber gempa di suatu lokasi yang mungkin berpotensi menghasilkan ground motion yang signifikan. Karakterisasi sumber gempa termasuk pendefinisian tiap-tiap geometri sumber gempa, potensi gempa dan lokasi runtuh yang terjadi di sekitar lokasi kajian. Pada kasus kebanyakan, distribusi probabilitas seragam dipergunakan untuk masing-masing zona sumber, dengan menganggap bahwa gempa yang terjadi memiliki besaran yang sama pada semua titik didalam zona sumber. Distribusi tersebut kemudian digabungkan dalam geometri sumber untuk mendapatkan distribusi probabilitas jarak sumber ke lokasi.

Kedua, karakterisasi korelasi perulangan kejadian gempa (recurrence relationship) mendefinisikan laju rata-rata akan terlampauinya suatu besaran gempa yang dipergunakan untuk karakterisasi tingkat gempa di masing-masing zona sumber. Parameter ini dapat dipergunakan untuk memprediksi nilai maksimum gempa dari sumber gempa.

Ketiga, ground motion yang dihasilkan oleh gempa pada suatu lokasi dengan ukuran tertentu pada lokasi tertentu di setiap zona sumber harus ditentukan menggunakan predictive relationship dengan memperhitungkan faktor ketidakpastian.

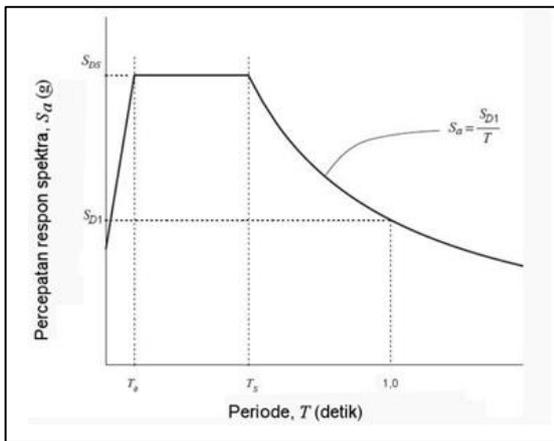
Keempat, Penggabungan perkiraan lokasi gempa, ukuran gempa dan parameter ground motion dengan memperhitungkan faktor ketidakpastian dilakukan untuk mendapatkan probabilitas parameter ground motion akan terlampaui/exceeded dalam selang waktu tertentu.



Gambar 2. Empat tahap metode PSHA

Respon Spektra

Respon spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T, lawan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respon-respon maksimum dapat berupa simpangan maksimum (spectral displacement, SD) kecepatan maksimum (spectral velocity, SV) atau percepatan maksimum (spectral acceleration, SA) massa struktur single degree of freedom (SDOF).



Gambar 3. Respon Spektra

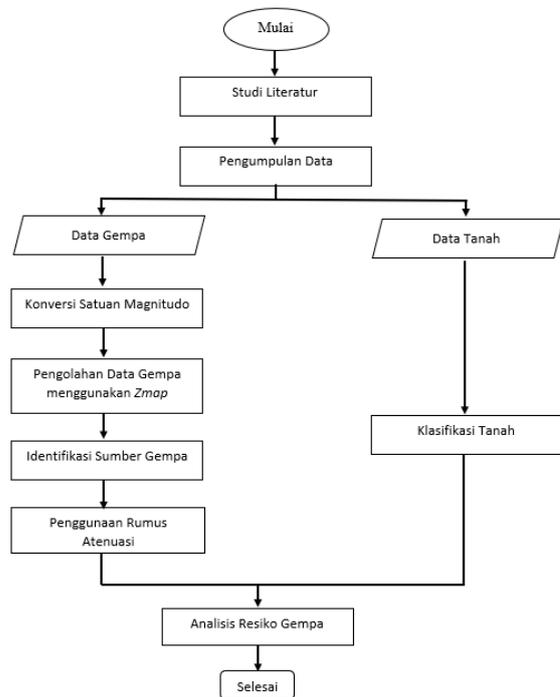
Korelasi N-Value SPT terhadap Vs

Persamaan SPT N_{60} -Stress umumnya memberikan korelasi yang lebih baik dengan Vs berdasarkan perbandingan koefisien determinasi dari studi yang memasukkan persamaan dengan dan tanpa istilah tegangan atau kedalaman. Persamaan Vs-Stress umumnya mengikuti bentuk persamaan:

$$V_s = a \cdot N_{60}^b \cdot \sigma_v^c$$

dimana nilai a dan b merupakan nilai korelasi yang menggambarkan kondisi tanah yang ditinjau, sebagian besar peneliti membuat korelasi-korelasi tersebut yang didapat dengan penelitian mereka sendiri diantaranya Ohsaki&Iwasaki (1973), Jafari et al (1997), Jayasaputra (2010), Athanasopoulos (1995), Seed&Idriss (1981).

METODOLOGI PENELITIAN



Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data gempa diambil dari *Nasional Earthquake Information Center U.S. Geological Survey* (NEICUSGS) mulai tahun bulan Januari tahun 1934 sampai bulan Januari tahun 2019 yang dibatasi dengan magnitudo ($M_w \geq 5.0$ SR, kedalaman ≤ 200 km dan radius ≤ 300 km dari Lokasi PLTU Gorontalo. Sedangkan untuk data tanah dilakukan Uji Standart Penetration Test (SPT).

Karena data yang didapat dari Uji Penetrasi Standar atau SPT berupa data *N-value* maka harus dilakukan korelasi menjadi nilai yang digunakan dalam analisis PSHA yaitu nilai Vs, dan untuk korelasi ini digunakan nilai rata-rata dari beberapa persamaan yaitu Ohsaki&Iwasaki (1973), Jafari et al (1997), Jayasaputra (2010), Athanasopoulos (1995),

Seed&Idriss (1981). Kemudian untuk data gempa dilakukan konversi menjadi magnitudo momen (Mw).

1. Kejadian gempa yang dihitung dalam penelitian ini hanya gempa utama. Untuk memisahkan gempa utama dengan gempa sebelum dan sesudah gempa utama maka digunakan program bantu ZMAP.
2. Proses analisis kelengkapan data gempa dilakukan untuk mengetahui kelengkapan data yang diperlukan dalam analisis probabilistik yang berupa nilai *a-value* dan *b-value* dengan menggunakan *software* ZMAP.
3. Dalam penelitian ini Parameter-parameter kegempaan seperti *slip rate*, *dip*, geometri dan magnituda maksimum yang digunakan dalam analisis resiko gempa diambil dari penelitian yang telah dilakukan terlebih dahulu yang tercantum pada Buku Peta Sumber dan Bahaya Gempa Tahun 2017.
4. Penentuan 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_{s30} (Zhao dkk, 2006)

Tabel 1. Rumus atenuasi berdasarkan sumber gempa

5. Lakukan analisis resiko gempa dengan Metode Probabilitas (*Probability Seismic Hazard Analysis*) dengan bantuan *software* EZ-FRISK.

HASIL DAN ANALISIS

Data yang diperoleh menggunakan alat uji tanah SPT didapat nilai *N value*. Dalam penelitian ini diambil dua data tanah sebagai komparasi data tanah yang akan diambil yakni pada data tanah BH1 dan BH3.

Tabel 2. Nilai N-value SPT lokasi penelitian BH1

Depth (m)	GWL	Soil / Rock		SPT			\bar{N}	SPT (N)
		Texture	Description	N1/15	N2/15	N3/15		
0.00				1	1	3		
1.50			Gravelly Sandy Clay, Gray	3	3	5	8.00	
3.00			Gravelly Sandy Clay, Gray	4	8	10	18.00	
4.50			Gravelly Sandy Clay, Gray	4	6	12	18.00	
6.00			Gravelly Sandy Clay, Gray	4	6	14	20.00	
7.50			Gravelly Sandy Clay, Gray	4	5	15	20.00	
9.00			Sandy Clay, Gray	5	5	16	21.00	
10.50			Sandy Clay, Gray	6	7	20	27.00	
12.00			Reef Sandy Clay, Light Gray	7	9	25	34.00	
13.50			Reef, Light Gray	9	15	25	40.00	
15.00			Reef, Light Gray	10	23 up	up		

Tabel 3. Nilai N-value SPT lokasi penelitian BH3

Depth (m)	GWL	Soil / Rock		SPT			\bar{N}	SPT (N)
		Texture	Description	N1/15	N2/15	N3/15		
0.00			Silty Sandy Clay, Dark Brown					
1.50			Silty Sandy Clay, Dark Brown	2	3	5	8.00	
3.00			Silty Sandy Clay, Dark Brown	2	3	5	8.00	
4.50			Silty Sandy Clay, Dark Brown	3	4	6	10.00	
6.00			Silty Sandy Clay, Dark Brown	4	5	7	12.00	
7.50			Silty Sandy Clay, Dark Brown	6	7	10	17.00	
9.00			Silty Sandy Clay, Dark Brown	6	8	12	20.00	
10.50			Silty Sandy Clay, Dark Brown	7	9	16	25.00	
12.00			Silty Sandy Clay, Dark Brown	8	10	20	30.00	
13.50			Sandy Reef, Light Gray	9	15	22	37.00	
15.00			Sandy Reef, Light Gray	10	20 up	up		

Karena dalam persamaan atenuasi nilai data tanah berupa nilai kecepatan gelombang geser tanah rata-rata pada permukaan (V_s) maka nilai N value harus dikorelasikan menjadi nilai V_s , dimana terdapat beberapa korelasi yang dikemukakan oleh beberapa peneliti yaitu Ohsaki&Iwasaki (1973), Jafari et al (1997), Jayasaputra (2010), Athanasopoulos (1995), Seed&Idriss (1981).

Tabel 4. Korelasi nilai N-value terhadap V_s

No	Peneliti	Korelasi
1	Ohsaki&Iwasaki (1973)	$81,4N^{0.39}$
2	Jafari et al (1997)	$22N^{-0.85}$
3	Jayasaputra (2010)	$96,82N^{-0.34}$
4	Athanasopoulos (1995)	$107,6N^{0.36}$
5	Seed&Idriss (1981)	$61,4N^{-0.5}$

Tabel 5. Nilai V_s BH1 setelah dikorelasikan dengan nilai N-value

Depth (m)	N Value	Ohsaki&Iwasaki (1973)	Jafari et al (1997)	Jayasaputra (2010)	Athanasopoulos (1995)	Seed&Idriss (1981)
1.5	8	183,2	128,8	196,3	227,5	173,7
3	18	251,3	256,7	258,7	304,6	260,5
4.5	18	251,3	256,7	258,7	304,6	260,5
6	20	261,8	280,7	268,1	316,4	274,6
7.5	20	261,8	280,7	268,1	316,4	274,6
9	21	266,9	292,6	272,6	322,0	281,4
10.5	27	294,3	362,3	296,9	352,5	319,0
12	34	322,0	440,7	321,1	383,0	358,0
13.5	40	343,1	506,0	339,4	406,0	388,3
Rata-rata		270,6	311,7	275,5	325,9	287,8

Tabel 6. Nilai V_s BH3 setelah dikorelasikan dengan nilai N-value

Depth (m)	N Value	Ohsaki&Iwasaki (1973)	Jafari et al (1997)	Jayasaputra (2010)	Athanasopoulos (1995)	Seed&Idriss (1981)
1.5	8	183,2	128,8	196,3	227,5	173,7
3	8	183,2	128,8	196,3	227,5	173,7
4.5	10	199,8	155,7	211,8	246,5	194,2
6	12	214,5	181,9	225,4	263,2	212,7
7.5	17	245,8	244,5	253,7	298,4	253,2
9	20	261,8	280,7	268,1	316,4	274,6
10.5	25	285,6	339,4	289,2	342,8	307,0
12	30	306,7	396,3	307,7	366,1	336,3
13.5	37	332,8	473,6	330,5	394,8	373,5
Rata-rata		245,9	258,9	253,2	298,1	255,4

Berdasarkan nilai N value rata-rata setiap persamaan korelasi maka didapat nilai V_s terkecil yaitu pada data tanah BH3 dengan korelasi Ohsaki&Iwasaki (1973) yaitu sebesar **245.9 m/s**, data tanah ini diambil untuk mewakili data tanah area PLTU Gorontalo. Berdasarkan klasifikasi situs SNI 1726-2012 maka jenis tanah dapat diklasifikasikan jenis tanah sedang (tipe D).

Klasifikasi Site	\bar{V}_s (m/dt)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$

Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut :

- Indeks plastisitas, $PI > 20$,
- Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan
- Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ kPa

F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon spesifik (Site-Specific Response Analysis)

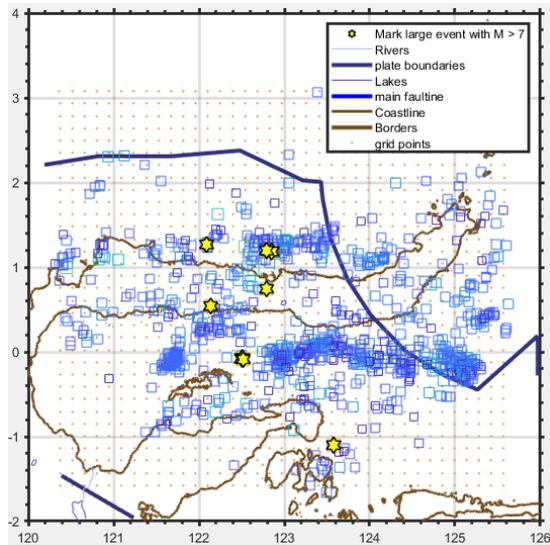
Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti:

- Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah teresementasi lemah
- Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan > 3m)
- Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan $PI > 75$)
- Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m

Keterangan: N/A = tidak dapat dipakai

Tabel 7. Klasifikasi situs SNI 1726-2012

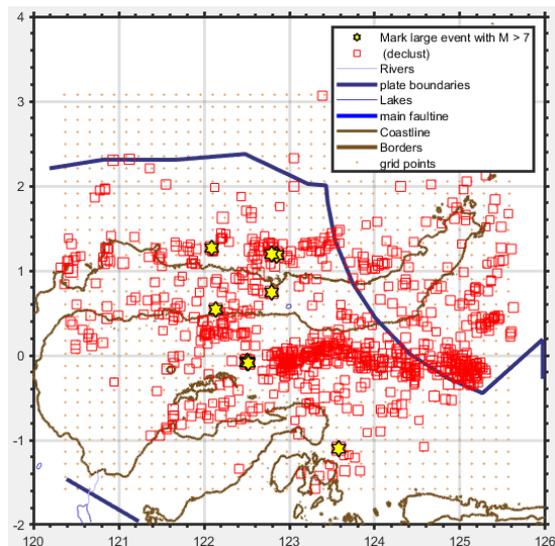
Berdasarkan katalog data gempa yang didapat dari NEICUSGS dari tahun 1933 sampai dengan bulan Maret tahun 2019, total 908 kejadian gempa didapat dengan gempa sebesar $M > 7$ sebanyak 8 kejadian.



Gambar 4. Penyebaran Titik Gempa antara tahun 1933 sampai 2019

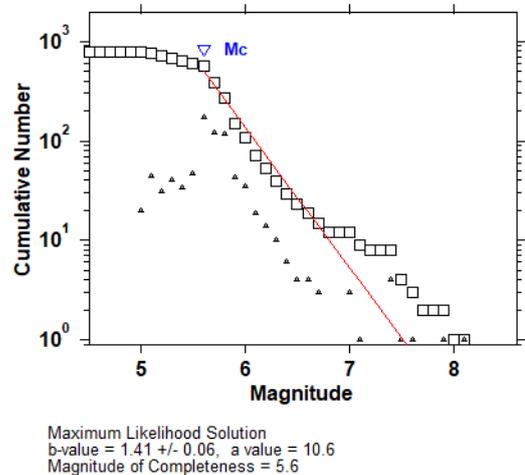
Dilakukan pemisahan gempa utama (*mainshock*) terhadap gempa susulan (*aftershock*) menggunakan metode pemisahan Reasenberg (1985)

The declustering found 35 clusters of earthquakes, a total of 167 events (out of 908). The map window now display the declustered catalog containing 776 events. The individual clusters are displayed as magenta o in the map.



Gambar 5. Letak titik terjadinya gempa Utama (setelah dilakukan declustering)

Dengan menggunakan *software* ZMAP dilakukan analisis kelengkapan data gempa untuk mengetahui nilai *a-b value* atau Maximum Likelihood Solution berdasarkan Gutenberg-Richter Recurrence Law (1944).



Gambar 6. Nilai *a-b value* berdasarkan Maximum Likelihood Solution

Berdasarkan penelitian yang dirangkum dalam BUKU PETA GEMPA INDONESIA 2017, area lokasi dikelilingi Patahan Gorontalo (*Fault*) dan Subduksi Sulawesi Utara (*Megatrust*), data yang diambil berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya.

Nama	Mechanism	Slip Rate	Dip	Top	Mmax
Gorontalo	Strike-Slip	11mm/yr	90	3	6.9
N.Sulawesi Megatrust	Reverse	45-55mm/yr	20	-	8.2

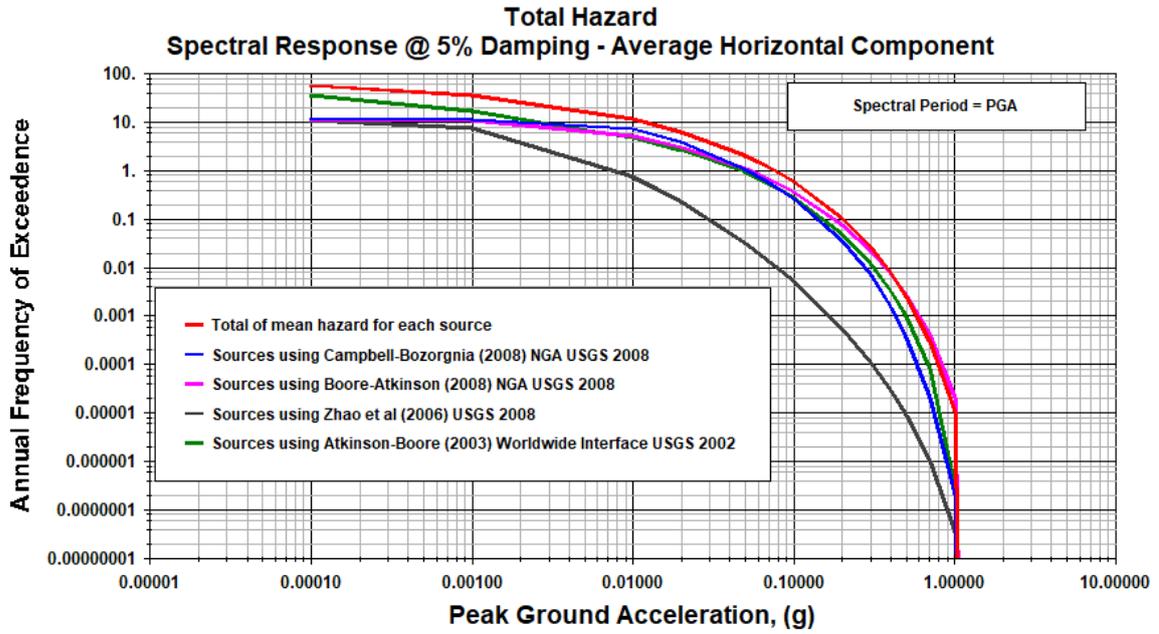
Tabel 8. Karakteristik patahan dan Subduksi yang mempengaruhi titik penelitian

Berdasarkan pengumpulan data-data gempa berupa parameter gempa, sumber gempa, serta magnitudo gempa yang diambil dari data gempa NEICUSGS yang mempengaruhi titik penelitian begitu juga dengan nilai V_s yang menggambarkan kondisi tanah di lokasi, maka dilakukan pengimputan data dengan mengikutsertakan rumus atenuasi Boore-Atkinson (2008) NGA USGS, Zhao et al (2006) USGS, Cambell-Bozorgnia (2008) NGA USGS, dan Atkinson-Boore (2003) Worldwide Interface USGS.

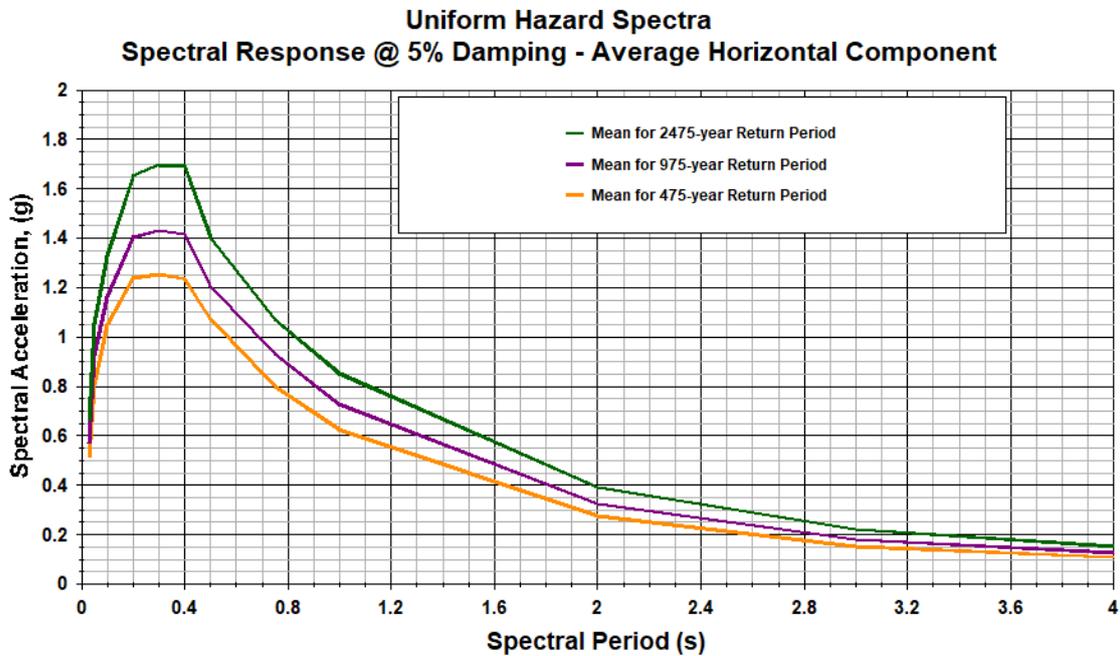
- $V_s = 245.9$ m/s (Tanah Sedang)
- Seismic Source :
 1. Fault (Gorontalo)
 2. Subduction (N.Sulawesi Megatrust)
 3. Background (*decluster catalog*)

Hasil Analisa

Berdasarkan data tersebut maka diperoleh percepatan batuan di permukaan dasar atau *Peak Ground Acceleration (PGA)* dari grafik *Uniform Hazard Spectra (UHS)* untuk periode ulang 500 tahun atau 10% dalam 50 tahun, kala ulang 1000 tahun atau 5% dalam 50 tahun, dan kala ulang 2500 tahun atau 2% dalam 50 tahun.



Gambar 7. Grafik Total Hazard yang terjadi setelah analisis PSHA

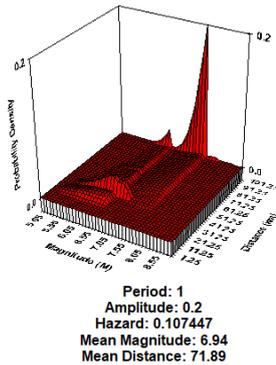


Gambar 8. Grafik Total Hazard yang terjadi setelah analisis PSHA

Tabel 9. Nilai PGA Lokasi untuk berbagai periode ulang

500 Tahun	1000 Tahun	2500 Tahun
0.5146	0.5761	0.6667

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



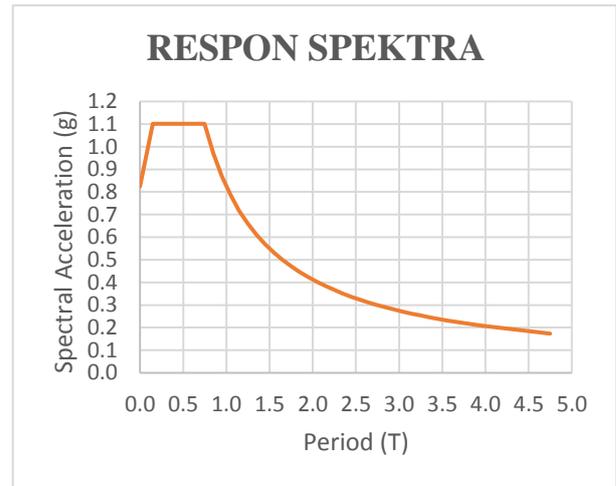
Gambar 9. Grafik Jarak-Magnitudo yang mengalami deagregasi

Desain Respon Spektra Bangunan (SNI 1726-2012)

Dilakukan pembuatan respon spektra desain berdasarkan SNI 1726-2012 dengan nilai S_s (periode 0.2s) dan S_1 (periode 1s) berdasarkan Uniform Hazard Spectra untuk kala ulang 2500 tahun atau 2% dalam 50 tahun, $S_s = 1.652g$ dan $S_1 = 0.824g$. Dan nilai faktor amplifikasi $F_a = 1$ dan $F_v = 1.5$ (tanah sedang) dengan hasil yang didapatkan sebagai berikut :

Tabel 10. Hasil perhitungan Respon Spektra Desain

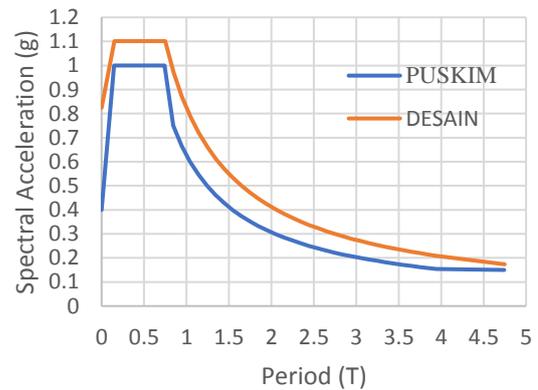
Periode (T)	Acceleration (SA)	Periode (T)	Acceleration (SA)
0.000	0.824	2.348	0.351
0.150	1.101	2.448	0.337
0.748	1.101	2.548	0.323
0.848	0.971	2.648	0.311
0.948	0.869	2.748	0.300
1.048	0.786	2.848	0.289
1.148	0.718	2.948	0.279
1.248	0.660	3.048	0.270
1.348	0.611	3.148	0.262
1.448	0.569	3.248	0.254
1.548	0.532	3.348	0.246
1.648	0.500	3.448	0.239
1.748	0.471	3.548	0.232
1.848	0.446	3.648	0.226
1.948	0.423	3.748	0.220
2.048	0.402	3.848	0.214
2.148	0.384	3.948	0.209
2.248	0.367	4.748	0.174



Perbandingan Grafik Respon Spektra

Desain vs Respon Spektra Desain PUSKIM

PERBANDINGAN RESPON SPEKTRA



PENUTUP

Kesimpulan

1. Hasil besar percepatan tanah maksimum *peak ground acceleration* (PGA) berdasarkan data tanah lokal untuk periode ulang 500 tahun sebesar 0.5146g, 1000 tahun sebesar 0.5761g, dan untuk 2500 tahun sebesar 0.6667g, dan untuk nilai S_s (periode 0.2s) dan S_1 (periode 1s) berdasarkan *Uniform Hazard Spectra* untuk kala ulang 2500 tahun atau 2% dalam 50 tahun yaitu $S_s = 1.652g$ dan $S_1 = 0.824g$ hal ini disebabkan karena area Gorontalo memiliki patahan aktif yaitu

- patahan Gorontalo dan subduksi Sulawesi Utara yang memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap nilai PGA untuk kondisi tanah sedang ($V_s = 245.9$ m/s).
2. Nilai PGA penelitian ini juga memiliki hasil yang berbeda dari nilai yang dikeluarkan Peta Gempa 2017 yaitu sebesar 0.7-0.8g dan untuk nilai $S_s = 1.5-2.0g$ dan $S_1 = 0.6-0.7g$. Hal ini disebabkan oleh data gempa yang memiliki katalog terbaru yaitu sampai tahun 2019, berbeda dengan Peta Gempa 2017 yang data katalog gempanya hanya sampai 2017, jenis tanah yang lebih spesifik juga memberikan kontribusi dalam perbedaan nilai tersebut.
 3. Untuk grafik Respon Spektra Desain juga memiliki peningkatan dibandingkan grafik Respon Spektra Desain yang dikeluarkan PUSKIM.

Saran

1. Karena parameter-parameter kegempaan ini bersifat tidak tetap yaitu berubah-ubah terlebih pada jenis parameter gempa *background* dimana setiap tahunnya ada kemungkinan terjadi gempa yang lebih besar, maka dari itu harus dilakukan pemutakhiran data secara terus menerus.
2. Untuk penggunaan rumus atenuasi masih berdasarkan penggunaan rumus yang memiliki kecenderungan umum untuk tektonik dan geologi Indonesia, dan untuk Indonesia sendiri belum memiliki persamaan atenuasi yang memang mewakili daerah Indonesia sendiri, maka akan lebih baik apabila digunakan persamaan atenuasi yang memiliki karakteristik untuk tektonik dan geologi di Indonesia untuk masa yang akan datang.
3. Untuk hasil percepatan tanah maksimum akan berbeda untuk daerah yang dipengaruhi parameter gempa yang sama, hal ini disebabkan oleh keadaan lapisan tanah, maka dari itu harus dilakukan peninjauan kembali untuk lapisan tanah yang cenderung berbeda. Dan untuk area PLTU Gorontalo sendiri memiliki kecenderungan lapisan tanah yang sama.
4. Respon spektra desain digunakan untuk perancangan perhitungan beban gedung bangunan boiler pada area PLTU Gorontalo.

DAFTAR PUSTAKA

- Asurifak, M. (2010). Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi dalam Analisa Probabilitas.
- Athanasopoulos. (1995). Empirical correlations V_s -NSPT for soils of Greece: a comparative study of reliability. *Proc. 7th Int. Conf. on Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, pg. 19-36.
- Boore, D. a. (2008). Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01 s and 10.0 s. *Earthquake Spectra*, Vol. 24, 99-138.
- Ghosh, S. (2008). Seismic Design of RC Structures using UBC/ACI Provisions.
- Guntur, P. (2011). Respon Spektra Gempa Bumi di Batuan Dasar Kora Bitung Sulawesi Utara pada Periode Ulang 2500 Tahun.
- Gutenberg, B. (1945). Magnitude Determination for deep-focus earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 35, 117-130.
- Iwasaki R, Ohsaki, Y. (1973). On Dynamic Shear Modulli dan Poisson's Ratio of Soil Deposit. Soil and Foundation. *JSSMFE*, Vol. 13, N.4, Desember pp 59-73.
- Jafari. (2002). Dynamic Properties of Fine Grained Soil in South of Tehran. *JSEE*, Vol 4. No.1.

- Jayasaputra. (2010). Studi Korelasi Empiris untuk Menentukan Shear Wave Velocity tanah dengan Menggunakan Data SASW Seismic Down Hole dan Data Penyelidikan Tanah. *Institut Teknologi Bandung*.
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Upper Saddle River: Prentice-Hall, Inc.
- Lanny, D. (2013). Analisis Respon Spektra Kota Manado. *Jurnal Ilmiah MEDIA ENGINEERING*, Vol.3 84-93.
- Maria, A. (2017). Respon Spektra Pada Fly Over Interchange Manado Bypass. *Jurnal Sipil Statik* , Vol.5 , No.10.
- N, O. Y. (1978). Empirical Shear Wave Velocity Equation in Term of characteristic Soil Indexes. *Earthquake Engineering and Structure Dynamic*, Vol. 6, 167-187.
- Naeim, F. (2001). *The Seismic Design Handbook*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Pemukiman, P. S. (n.d.). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*.
- Reiter, L. (1990). *Earthquake Hazard Analysis - Issues and Insights*. New York: Columbia University Press.
- Seed, H. W. (1981). Evaluation of Modulli & Damping Factor for Dynamic Analysis of Cohesionless Soil. *Geotechnical Engineering Division, ASCE*,, vol. 112, No. GTI 1, November, pp 1016-1032.
- SNI-1726-2012. (n.d.). Standar Perencanaan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung. Departemen Pekerjaan Umum.
- Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Pusat Studi Gempa Nasional Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman. Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat