

## MIKRO ZONASI RESPON SPEKTRUM GEMPA DI KABUPATEN GORONTALO UTARA UNTUK KEBUTUHAN DESAIN BANGUNAN TAHAN GEMPA

Rivaldo Inaku<sup>1</sup>, Fadly Achmad<sup>2\*</sup> and Indriati Martha Patuti<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia;

\*Corresponding Author, Diterima: 23 Februari. 2022, Revisi: 04 Maret 2022, Diterima: 10 Mei. 2022

**ABSTRACT:** The issuance of SNI 1726:2019 regarding the response of the earthquake spectrum in Indonesia has not accommodated districts and sub-districts. The distribution of values on the zoning map for Indonesia is only divided by province, including Gorontalo. Gorontalo province is included in the high-risk zone because its soil motion parameter  $S_s$  is maroon with a value of 1.2–1.5g, while the ground motion  $S_l$  parameter is light brown with a constant acceleration spectrum of 60% g. Thus, it is necessary to divide the micro-scale map of the earthquake response spectrum zonation. This research aimed to analyze the value of the earthquake spectrum created with a zoning micro map in Gorontalo Utara District. This research is expected to be an initial reference in planning for the earthquake-resilient building, particularly in Gorontalo Utara District. The object of research is located in Gorontalo Utara District. This research only used secondary data obtained from several agencies, namely, BPJN Gorontalo and drilling service companies in Gorontalo Province. The secondary data used is the result of *SPT* (Standard Penetration Test) drilling. Preparation of spectrum responses and zonation micro map referred to the guidelines of SNI 1726:2019 and the *QGIS* learning module. The data analyzed are based on the *N-SPT* data, which previously had been processed. The data obtained were processed to obtain the value that became the goal of this research by correcting the *N-SPT* (Standard Penetration Test) data, making the earthquake response spectrum plan, and making the response spectrum using *QGIS* 3.16. Gorontalo Utara District is classified as a soft-to-moderate site with an  $\bar{N}$  value of 9-37. The short period bedrock acceleration value  $S_s$  is 1.49-2.33g. When viewed by color, Gorontalo Utara District is including in maroon to purple. The value of 1 second bedrock acceleration period  $S_l$  is 0.6-0.78. When viewed by color, it is including whitish orange to pink. The peak ground acceleration value *PGA* is 1.49-2.33g which, by color, is included in yellowish orange to red. The value of bedrock acceleration for a period of 1 second and the highest peak ground acceleration value occurred in Ilangata Village with  $S_s$  values of 2.12-2.33g,  $S_l$  0.74-0.78g and *PGA* values 0.79-0.85g. Meanwhile, the lowest value occurred in Deme 2 Village with an  $S_s$  value of 1.49g,  $S_l$  0.6g and a *PGA* value of 0.6g. It shows that the higher the acceleration value, the greater the earthquake that occurs, and vice versa. Based on the results of this study, the acceleration value affects the estimation of the earthquake that occurs, or the acceleration is directly proportional to the force.

**Keywords:** *N-SPT Data, Response Spectrum, Micro Zoning Map.*

### 1. PENDAHULUAN

Keluarnya SNI 1726:2019 tentang respon spektrum gempa di Indonesia belum mengakomodir wilayah kabupaten maupun kecamatan, pembagian nilai pada peta zonasi untuk Indonesia hanya terbagi berdasarkan wilayah provinsi termasuk Gorontalo. Provinsi Gorontalo termasuk ke dalam zona resiko tinggi karena untuk parameter gerak tanah  $S_s$  warnanya merah maron dengan kisaran nilai 1,2–1,5g sedangkan untuk parameter gerak tanah  $S_l$  warnanya coklat muda dengan spektrum percepatan konstan 60% g, sehingga perlu adanya pembagian peta berskala mikro zonasi respon spektrum gempa.

Wilayah Kabupaten Gorontalo Utara sebagian besar merupakan perbukitan rendah dan dataran tinggi yang tersebar antara 0 hingga 1.800 meter di atas permukaan laut. Topografi didominasi oleh kemiringan 15- 0° (60-70%). Kondisi geologi dan struktur utama berupa patahan yang dapat menimbulkan pergerakan tektonik, membuat Kabupaten Gorontalo Utara rentan terhadap bencana alam seperti gempa bumi, pergerakan tanah, erosi, erosi dan pasang surut, serta pendangkalan dan banjir. Kabupaten Gorontalo Utara memiliki deretan panjang di Provinsi Gorontalo yang berhadapan dengan Samudera Pasifik. Merancang bangunan, terutama bangunan

tahan gempa, berisiko menyebabkan kerusakan moral dan material yang serius. Beban gempa dinyatakan dengan koefisien percepatan gempa, yang ditentukan baik dengan pengukuran langsung maupun tidak langsung. Kondisi tanah setempat mempengaruhi karakteristik gelombang seismik yang masuk saat terjadi gempa. Secara umum parameter dinamika tanah yang digunakan dalam analisis respon tanah adalah kecepatan gelombang geser dan modulus geser. Parameter tersebut dapat diketahui dengan mengukur kecepatan secara langsung di lapangan atau menggunakan hasil uji geoteknik lapangan seperti *Standard Penetration Test (SPT)* berupa nilai  $N$  (Pukulan Palu) yang berkorelasi dengan parameter dinamik tanah seperti shear. Gelombang kecepatan ( $V_s$ ) atau modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ).

## 2. KAJIAN TEORITIS

### 2.1 Penelitian Terdahulu

[1] Modulus geser regangan rendah memainkan peran mendasar dalam rekayasa geoteknik gempa bumi memperkirakan parameter respon tanah untuk mikro zonasi seismik. [2] Penelitian ini dilakukan untuk membuat peta mikrozonasi faktor frekuensi dominan ( $f_g$ ), amplifikasi tanah ( $A_g$ ), indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), percepatan tanah puncak ( $PGA$ ), regangan geser tanah ( $\gamma$ ), ketebalan sedimen ( $h$ ), dan kecepatan gelombang geser sampai kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ) dari data mikrotremor yang dapat menunjukkan tingkat kerentanan suatu daerah terhadap bahaya gempa bumi.

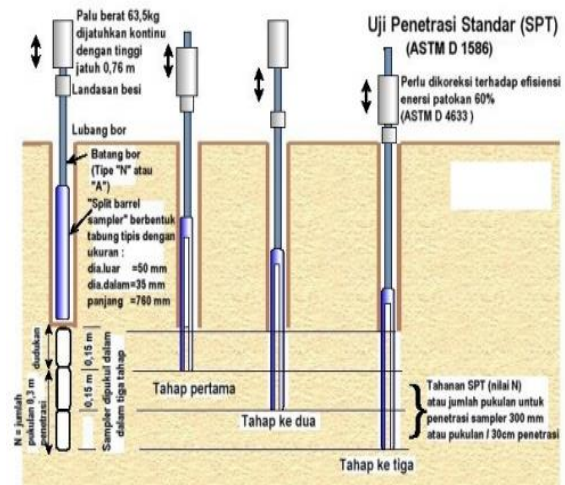
[8] Gempa Aceh pada bulan Desember 2004 silam telah membuktikan zona sumber gempa subduksi Sumatera mampu menghasilkan magnitudo  $M_w$  9,0 yang hampir setara dengan kejadian gempa pada zona subduksi di sekitar Kepulauan Mentawai pada tahun 1883. [9] Suatu teknik analisis resiko gempa dapat dilakukan berdasarkan kriteria desain yang disyaratkan SNI 03-1726-2002, yaitu untuk umur bangunan 50 tahun dan kemungkinan terlampaui 10%.

[12] Prediksi struktur respon ditentukan dengan memilih gerakan tanah yang cocok dengan beberapa target spektral dan gerakan tanah kemudian digunakan sebagai input dalam analisis dinamik. [13] Kecepatan struktur bawah permukaan ditentukan dengan pendekatan heuristik berbasis *forward* perhitungan menggunakan kecepatan fasa dan spektrum H/V. [16] Model bahaya karmania (KHM) adalah aplikasi berbasis GIS untuk pengembangan skenario gempa dan manajemen Bencana.

### 2.2 Uji Penetrasi Standar (*Standard Penetration Test, SPT*)

Suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Uji *SPT* terdiri atas uji pemukulan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk memasuki tahap kedua dan ketiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan  $N$  atau perlawanan *SPT* (Badan Standardisasi Nasional 2008).

Tujuan dari uji *SPT* adalah untuk menentukan ketahanan tanah di dasar lubang bor terhadap penetrasi dinamis oleh *split barrel sampler* terpisah (atau kerucut tetap) dan untuk mendapatkan sampel tanah yang terganggu untuk identifikasi tanah. Uji *SPT* juga dapat digunakan untuk menentukan karakteristik kekuatan dan deformasi tanah berbutir kasar secara terpisah. Tes *SPT* juga dapat digunakan untuk memberikan informasi berharga tentang jenis tanah lainnya (Badan Standardisasi Nasional, 2017) berikut skema urutan uji penetrasi standar (*SPT*) ditunjukkan pada Gambar 2.1.

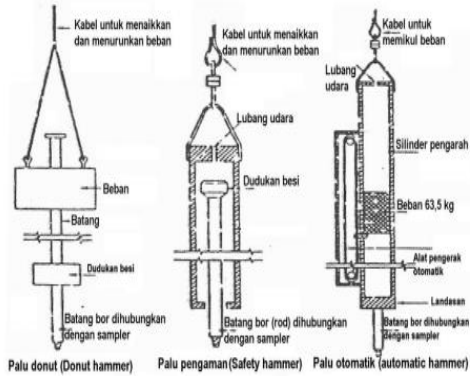


(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2008)

**Gambar 2.1** Skema urutan uji penetrasi standar SPT

#### 2.2.1 Koreksi Hasil Uji *SPT*

Dalam pengujian *SPT* di berbagai negara, tiga jenis palu (palu donat, palu pengaman dan otomatis, ditunjukkan pada Gambar 2.2) dan empat jenis batang bor ( $N$ ,  $NW$ ,  $A$  dan  $AW$ ) digunakan. Ternyata pengujian ini sangat bergantung pada perangkat yang digunakan dan pengguna yang melakukan pengujian. Faktor yang paling penting adalah efisiensi sistem yang digunakan. Secara teori, kekuatan sistem jatuh bebas sebenarnya lebih kecil karena gesekan dan eksentrisitas beban.



(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2008)  
**Gambar 2.2** Contoh palu yang biasa digunakan dalam uji SPT

1. Menurut *ASTM D-4633* dalam Badan Standardisasi Nasional (2008) setiap alat uji SPT yang digunakan harus dikalibrasi tingkat efisiensi tenagannya dengan menggunakan alat ukur *strain gauges* dan aselerometer, untuk memperoleh standar efisiensi tenaga yang lebih teliti. Dalam praktek, efisiensi tenaga sistem balok derek dengan palu donat (*donut hammer*) dan palu pengaman (*safety hammer*) berkisar antara 35% sampai 85%, sementara efisiensi tenaga palu otomatis (*automatic hammer*) berkisar antara 80% sampai 100%, jika efisiensi yang diukur ( $E_f$ ) diperoleh dari kalibrasi alat, nilai  $N$  terukur harus dikoreksi terhadap efisiensi sebagai 60%, dan dinyatakan dalam Persamaan 2.1

$$N_{60} = (E_f/60) N_M \tag{2.1}$$

dengan:

- $N_{60}$  : efisiensi 60%,
- $E_f$  : efisiensi yang terukur,
- $N_M$  : nilai  $N$  terukur yang harus dikoreksi.

2. Dalam beberapa hubungan korelatif, nilai tenaga terkoreksi  $N_{60}$  yang dinominalisasikan terhadap pengaruh tegangan efektif vertikal (*overburden*), dinyatakan dengan  $(N_1)_{60}$  menggambarkan evaluasi pasir murni untuk interpretasi kepadatan relatif, sudut geser, dan potensi likuifaksi.

$$(N_1)_{60} = N_M \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \tag{2.2}$$

$$C_N = 2,2 / (1,2 + (\sigma'_{vo}/Pa)) \tag{2.3}$$

dengan:

- $(N_1)_{60}$  : nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh efisiensi tenaga 60%,
- $N_M$  : hasil uji SPT di lapangan,
- $C_N$  : faktor koreksi terhadap tegangan vertikal efektif (nilainya  $\leq 1,70$ ),

- $C_E$  : faktor koreksi terhadap rasio tegangan palu ditunjukkan pada Tabel 2.1,
- $C_B$  : faktor koreksi terhadap diameter bor ditunjukkan pada Tabel 2.1,
- $C_R$  : faktor koreksi untuk panjang batang SPT ditunjukkan pada Tabel 2.1,
- $C_S$  : koreksi terhadap tabung contoh (*samplers*) dengan atau tanpa pelapis (*linier*) ditunjukkan pada Tabel 2.1,
- $\sigma'_{vo}$  : tegangan vertikal efektif (kPa),
- $Pa$  : 100 kPa.

**Tabel 2.1** Koreksi-koreksi yang digunakan dalam uji SPT (Youd, T.L. & Idriss, I.M., 2001) dalam (BSN, 2008)

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif		$C_N$	$2,2 / (1,2 + (\sigma'_{vo}/Pa))$
Tegangan vertikal efektif		$C_N$	$C_N \leq 1,7$
Rasio tenaga	Palu donat ( <i>Donut hammer</i> )	$C_E$	0,5 s.d 1,0
Rasio tenaga	Palu pengaman ( <i>Safety hammer</i> )	$C_E$	0,7 s.d 1,2
Rasio tenaga	Palu otomatis ( <i>Automatic-trip Donut-type hammer</i> )	$C_E$	0,8 s.d 1,3
Diameter bor	65 s.d 115 mm	$C_B$	1,0
Diameter bor	150 mm	$C_B$	1,05
Diameter bor	200 mm	$C_B$	1,15
Panjang batang	< 3 m	$C_R$	0,75
Panjang batang	3 s.d 4 m	$C_R$	0,8
Panjang batang	4 s.d 6 m	$C_R$	0,85
Panjang batang	6 s.d 10 m	$C_R$	0,95
Panjang batang	10 s.d 30 m	$C_R$	1,0
Pengambilan contoh	tabung standar	$C_S$	1,0
Pengambilan contoh	tabung dengan pelapis ( <i>linier</i> )	$C_S$	1,1 s.d 1,3

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2008)

### 2.3 Prosedur Klasifikasi Situs Untuk Desain Seismik

#### 2.3.1 Klasifikasi Situs

Prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan dengan Tabel 2.2, berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli Desain geoteknik bersertifikat, dengan minimal

mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam Tabel 2.2. Berikut klasifikasi situs ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Klasifikasi situs

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175 Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa.	< 15	< 50
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki alah satu atau lebih dari karakteristik berikut: a. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah. b. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m). c. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$ ). d. Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa.		

Catatan: N/A: tidak dapat dipakai  
(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019)

2.3.2 Tanah Khusus, Kelas Situs SF

Jika salah satu dari kondisi berikut ini terpenuhi, maka situs tersebut harus diklasifikasikan sebagai kelas situs SF, serta selanjutnya investigasi geoteknik spesifik serta analisis respons spesifik-situs harus dilakukan.

1. Tanah yang rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat gempa seperti mudah likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, dan tanah tersementasi lemah, pengecualian untuk struktur bangunan dengan periode getar fundamental  $\leq 0,5$  detik, analisis respons spesifik-situs tidak diperlukan dalam menentukan percepatan spektral untuk tanah yang berpotensi likuifaksi. Sebagai gantinya, klasifikasi situs dapat ditentukan sesuai dengan Tabel 2.2 dan menggunakan nilai  $F_a$  dan  $F_v$  yang ditentukan dari Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.
2. Lempung kadar organik tinggi dan atau gambut, dengan ketebalan,  $H > 3$  m.
3. Lempung dengan plastisitas yang sangat tinggi dengan ketebalan,  $H > 7,5$  m, dengan indeks plastisitas,  $PI > 75$ .
4. Lempung lunak atau setengah teguh, dengan ketebalan  $H > 35$  m dengan  $S_u < 50$  kPa (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

2.3.3 Tanah Lunak, Kelas Situs SE

Bila suatu situs termasuk kelas situs SF dan di dalamnya terdapat ketebalan total lapisan lempung lunak lebih dari 3 m, dan lempung lunak tersebut memiliki kuat geser niralir  $S_u < 25$  kPa, kadar air  $w \geq 40\%$  dan indeks plastisitas,  $PI > 20$ , maka situs tersebut harus diklasifikasikan sebagai kelas situs SE (Badan Standardisasi Nasional 2019).

2.3.4 Kelas Situs SC, SD, dan SE

Penetapan kelas situs SC, SD, dan SE harus dilakukan dengan menggunakan sedikitnya hasil pengukuran dua atau tiga parameter  $\bar{v}_s$ ,  $\bar{N}$ , dan  $\bar{S}_u$ , yang dihitung sesuai:

1.  $\bar{v}_s$  lapisan 30 meter paling atas (metode  $\bar{v}_s$ ),
2.  $\bar{N}$  lapisan 30 paling atas (metode  $\bar{N}$ ),
3.  $\bar{N}ch$  untuk lapisan tanah non-kohefif ( $PI < 20$ ) 30 m paling atas,  $\bar{S}_u$  untuk lapisan tanah kohefif ( $PI > 20$ ) 30 m paling atas (metode  $\bar{S}_u$ ). Bila  $\bar{N} ch$  dan  $\bar{S}_u$  menghasilkan kriteria yang berbeda, kelas situs harus diberlakukan sesuai dengan kategori tanah yang lebih lunak (Badan Standardisasi Nasional 2019).

2.3.5 Kecepatan Gelombang Geser untuk Kelas Situs SB

Kecepatan gelombang SB kelas batuan, juga disebut referensi batuan dasar dalam kode ini, harus ditentukan dari pengukuran lapangan atau diperkirakan oleh ahli geoteknik atau seismolog yang berkualifikasi untuk batuan yang retak dan lapuk sedang. Pengukuran Kecepatan Gelombang harus dilakukan pada batuan yang lebih lunak dengan ketahanan yang lebih besar terhadap patahan atau pelapukan, jika tidak ada pengukuran yang dilakukan, lokasi tersebut diklasifikasikan sebagai lokasi SC. (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

2.3.6 Kecepatan Gelombang Geser untuk Kelas Situs SA

Penentuan tapak batuan keras (kelas situs SA) harus didukung oleh pengukuran laju geser yang dilakukan di lapangan atau pada formasi yang sama dengan profil serupa dengan pelapukan dan retakan yang sama atau lebih besar. Jika kondisi batuan dasar dapat berlanjut hingga kedalaman 30 m, pengukuran kecepatan gelombang geser permukaan dapat diekstrapolasikan menjadi  $\bar{v}_s$  (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

2.3.7 Tahapan Penetrasi Standar Lapangan Rata-rata,  $\bar{N}$ , dan Tahanan Penetrasi Standar Rata-rata untuk lapisan tanah nonkohefif,  $\bar{N}ch$   
Nilai  $\bar{N}$  dan  $\bar{N} ch$  harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n Ni} \tag{2.4}$$

Dengan  $N_i$  dan  $d_i$  dalam Persamaan 2.4 berlaku untuk tanah nonkohesif, tanah kohesif, dan tanah batuan.

$$\bar{N}ch = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{N_i}} \quad (2.5)$$

Dengan  $N_i$  dan  $d_i$  dalam Persamaan 2.5 berlaku untuk lapisan tanah nonkohesif saja, dan  $\sum_{i=1}^m di = ds$  di mana  $ds$  adalah ketebalan total dari lapisan tanah nonkohesif di 30 m lapisan paling atas.  $N_i$  adalah tahanan penetrasi standar sesuai *SMI* 4153 dalam Badan Standardisasi Nasional (2019), dengan nilai tidak lebih dari 300 pukulan/m. Jika ditemukan perlawanan lapisan batuan, maka nilai  $N_i$  tidak boleh diambil lebih dari 300 pukulan/m.

## 2.4 Wilayah Gempa Dan Spektrum Respons

### 2.4.1 Kelas Situs

Berdasarkan karakteristik tanah tapak, tapak harus diklasifikasikan sebagai subkategori *SA*, *SB*, *SC*, *SD*, *SE* atau *SF*. Jika karakteristik tanah tidak didefinisikan secara jelas sehingga suatu kelas tapak tidak dapat ditetapkan, maka kelas tapak *SE* dapat digunakan jika otoritas atau badan yang berwenang tidak memiliki informasi geoteknik yang memungkinkan penetapan kelas tapak lainnya.

### 2.4.2 Koefisien-koefisien Situs dan Parameter parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang dipertimbangkan Risiko-Tertarget (*MCE<sub>R</sub>*)

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa *MCE<sub>R</sub>* di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik ( $F_v$ ). parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan Persamaan 2.6 dan Persamaan 2.7.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.6)$$

$$S_{M1} = F_v S_I \quad (2.7)$$

dengan:

$S_s$  : parameter respons spektral percepatan gempa *MCE<sub>R</sub>* terpetakan untuk perioda pendek,

$S_I$  : parameter respons spektral percepatan gempa *MCE<sub>R</sub>* terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

Dengan koefisien situs  $F_a$  atau  $F_v$  mengikuti Tabel 2.3 dan Tabel 2.4. Jika kelas situs *SE* digunakan sebagai kelas situs berdasarkan 0, maka

nilai  $F_a$  tidak boleh kurang dari 1,2 berikut koefisien situs  $F_a$  dan koefisien  $F_v$  ditunjukkan pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

**Tabel 2.3** Koefisien situs,  $F_a$

Kelas situs	Parameter respons spektrum percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( <i>MCE<sub>R</sub></i> ) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
<i>SA</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>SB</i>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
<i>SC</i>	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
<i>SD</i>	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
<i>SE</i>	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
<i>SF</i>	<i>SS<sup>(a)</sup></i>					

Catatan: (a) *SS*: situs yang memerlukan investigasi geotek dan analisis respons situs-spesifik.

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019)

**Tabel 2.4** Koefisien situs,  $F_v$

Kelas situs	Parameter respons spektrum percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( <i>MCE<sub>R</sub></i> ) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
<i>SA</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>SB</i>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
<i>SC</i>	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
<i>SD</i>	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
<i>SE</i>	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
<i>SF</i>	<i>SS<sup>(a)</sup></i>					

Catatan: (a) *SS*: situs yang memerlukan investigasi geotek dan analisis respons situs-spesifik.

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019)

### 2.4.3 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek,  $S_{DS}$  dan pada periode 1 detik,  $S_{D1}$  harus ditentukan melalui Persamaan 2.8 dan Persamaan 2.9.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.8)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.9)$$

### 2.4.4 Spektrum Respons Desain

Bila spektrum desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.4 dan mengikuti ketentuan antara lain:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil berdasarkan Persamaan 2.10:

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \quad (2.10)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$  sama dengan  $S_{DS}$ .
3. Untuk periode lebih besar dari  $T_S$  tetapi lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$  respons spektral percepatan desain,  $S_a$  diambil berdasarkan persamaan 2.11:

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T^2} \quad (2.11)$$

4. Untuk periode lebih besar dari  $T_L$  respons spektral percepatan Desain,  $S_a$  diambil berdasarkan persamaan 2.12:

$$S_a = \frac{S_{DS} T_L}{T^2} \quad (2.12)$$

dengan:

$S_{DS}$  : parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek,

$S_{D1}$  : parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik,

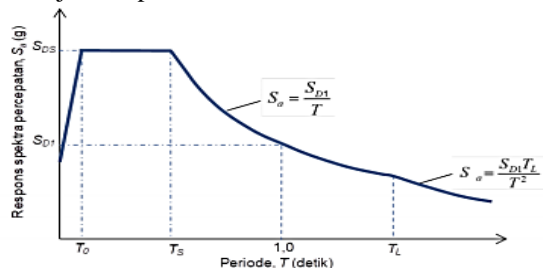
$T$  : periode getar fundamental struktur,

$T_0$  : periode 0,2

$T_S$  : periode

$T_L$  : transisi periode panjang.

Berikut kurva spektrum respons desain yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019)

**Gambar 2.3** Spektrum respon desain

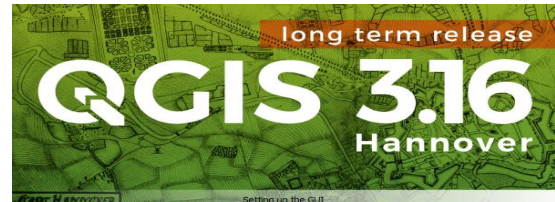
## 2.5 QGIS 3.16

QGIS (Quantum Geographic Information System) adalah sebuah software SIG yang gratis, mudah digunakan dan bersifat *opensource*. QGIS dapat dioperasikan pada komputer berbasis Windows, Mac OS X dan Linux. QGIS memiliki berbagai macam kemampuan melalui fungsi utama dan *plugin*. QGIS dapat melakukan visualisasi data, mengolah data, mengedit data, menganalisis data dan membuat peta siap cetak.

QGIS memiliki banyak kelebihan diantaranya:

1. Gratis, tidak perlu membayar seperserpun.
2. Bebas, jika sebuah fitur tidak ada di QGIS, bisa juga menjadi sponsor untuk pengembangan fitur tersebut.
3. Terus-menerus berkembang dan diperbaharui. Banyak orang terus menambahkan fitur-fitur baru di QGIS. Hal ini yang menyebabkan, QGIS menjadi semakin lebih baik.
4. Tersedia dokumentasi serta bantuan yang ekstensi. Jika memiliki kendala, bisa selalu dapat membuka dokumentasi *software* atau bertanya pada pengguna QGIS lain atau bahkan pengembangan QGIS.

Berikut tampilan QGIS 3.16 ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Sumber: Disaster Management Inovation & Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2019).

**Gambar 2.4** QGIS 3.16

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Dan Waktu Penelitian

Adapun lokasi dan waktu penelitian adalah sebagai berikut:

1. Lokasi Penelitian

Objek penelitian terletak di Kabupaten Gorontalo Utara. Berikut lokasi Penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan Lampiran 1.



**Gambar 3.1** Lokasi penelitian

2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan mulai bulan Januari 2021 sampai dengan bulan Mei 2021.

### 3.2 Alat Dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian terdiri dari:

- a. Alat Tulis,

- b. PC/atau laptop yang dilengkapi dengan software pendukung,
- c. Global Positioning System GPS.

2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, data *N-SPT (Standard Penetration Test)*.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini hanya menggunakan data sekunder yang didapatkan dari beberapa instansi yaitu, BPJN Gorontalo dan perusahaan jasa pengeboran yang ada di Provinsi Gorontalo. Data sekunder yang digunakan adalah hasil pengeboran dari pengujian *SPT (Standard Penetration Test)*.

3.4 Metode Analisis Data

Data yang dianalisis berdasarkan dari data *N-SPT* yang sebelumnya data tersebut harus diolah terlebih dahulu. Data yang didapatkan diolah untuk mendapatkan nilai yang menjadi tujuan dari penelitian ini, berikut tahapan-tahapannya:

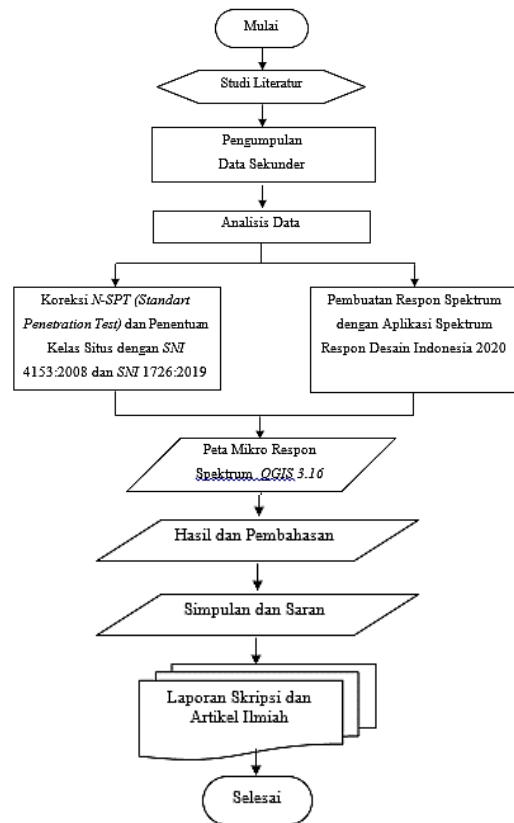
1. Koreksi data *N-SPT (Standard Penetration Test)*  
Data *N-SPT* yang sudah dikumpulkan terlebih dahulu harus dikoreksi terhadap tegangan efektif, terhadap tegangan palu, terhadap diameter bor, untuk panjang batang, dan terhadap tabung contoh sesuai dengan Tabel 2.1 kemudian dirata-ratakan sesuai Persamaan 2.4.
2. Pembuatan respon spektrum gempa rencana  
Langkah-langkah membuat respon spektrum gempa rencana antara lain:
  - a. Langkah pertama tentukan kelas situs sesuai Tabel 2.2.
  - b. Langkah kedua menentukan koefisien situs sesuai Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.
  - c. Langkah ketiga menghitung  $S_{MS}$  dan  $S_{MI}$  sesuai dengan Persamaan 2.6 dan Persamaan 2.7.
  - d. Langkah keempat menghitung  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$  sesuai dengan Persamaan 2.8 dan Persamaan 2.9.
  - e. Langkah keenam membuat kurva hubungan antara spektrum respon percepatan dengan periode menggunakan aplikasi spektrum respon Desain Indonesia 2020.
3. Pembuatan peta mikro respon spektrum dengan menggunakan *QGIS 3.16*  
Langkah-langkah membuat peta mikro antara lain:
  - a. Registrasi Peta
  - b. Digitasi Peta
  - c. *Layouting* Peta

3.5 Tahapan Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

1. Tahap persiapan dilakukan dalam rangka memenuhi segala persyaratan pengajuan judul penelitian meliputi administrasi dan menyiapkan kerangka pelaksanaan studi.
2. Tahap pengumpulan data bertujuan untuk memenuhi segala keperluan dalam menganalisis.
3. Tahap pengolahan dan analisis data, bertujuan untuk menghasilkan nilai spektrum dan peta mikro respon spektrum di Kabupaten Gorontalo Utara berdasarkan analisis aplikasi respon spektrum desain Indonesia 2020 dan *Software QGIS 3.16*.
4. Tahap akhir studi, bertujuan untuk melengkapi laporan studi sesuai dengan hasil studi yang disertai kesimpulan dan saran penelitian.

Secara sistematis tahapan penelitian ditunjukkan dalam bentuk bagan alir pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Bagan alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penentuan Kelas Situs Tanah

Pengolahan hasil kelas situs dilakukan secara bertahap yang dimulai dengan koreksi data *N-SPT* terlebih dahulu sampai dengan penentuan kelas situs, pengolahan hasil kelas situs dan koreksi data *N-SPT* ditunjukkan pada Lampiran 8 sampai Lampiran 62. Hasil penentuan kelas situs tanah diantaranya yaitu:

1. Desa Ilangata  
Desa Ilangata terletak di Kecamatan Anggrek, berdasarkan penentuan kelas situs tanah Desa Ilangata termasuk kelas situs lunak sampai sedang dengan kisaran nilai  $\bar{N}$  9-24. Penentuan kelas situs tanah Desa Ilangata ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Penentuan kelas situs tanah Desa Ilangata

Koordinat		Bore Hole	Nilai $\bar{N}$ Terkoreksi	Klasifikasi Situs	
X	Y			Nilai $\bar{N}$	Kelas Situs
0,85814	122,78893	BH 1	24	15 sampai 50	SD (sedang)
0,85783	122,78819	BH 2	9	< 15	SE (lunak)
0,85194	122,75772	BH 1	11	< 15	SE (lunak)
0,85189	122,75794	BH 2	14	< 15	SE (lunak)

2. Desa Imana  
Desa Imana terletak di Kecamatan Atinggola, berdasarkan penentuan kelas situs tanah Desa Imana termasuk kelas situs lunak sampai sedang dengan kisaran nilai  $\bar{N}$  13-18. Penentuan kelas situs tanah Desa Imana ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Penentuan kelas situs tanah Desa Imana

Koordinat		Bore Hole	Nilai $\bar{N}$ Terkoreksi	Klasifikasi Situs	
X	Y			Nilai $\bar{N}$	Kelas Situs
0,90636	123,09838	BH 1	13	15 sampai 50	SE (lunak)
0,90608	123,09845	BH 2	18	< 15	SD (sedang)

3. Desa Ipilo  
Desa Ipilo terletak di Kecamatan Gentuma Raya, berdasarkan penentuan kelas situs tanah Desa Ipilo termasuk kelas situs lunak dengan kisaran nilai  $\bar{N}$  10-12. Penentuan kelas situs tanah Desa Ipilo ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Penentuan kelas situs tanah Desa Ipilo

Koordinat		Bore Hole	Nilai $\bar{N}$ Terkoreksi	Klasifikasi Situs	
X	Y			Nilai $\bar{N}$	Kelas Situs
0,88692	123,01536	BH 1	12	< 15	SE (lunak)
0,90607	123,02720	BH 2	10	< 15	SE (lunak)

4. Desa Molingkapoto  
Desa Molingkapoto terletak di Kecamatan Kwandang, berdasarkan penentuan kelas situs tanah Desa Molingkapoto termasuk kelas situs

sedang dengan nilai  $\bar{N}$  36. Penentuan kelas situs tanah Desa Molingkapoto ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Penentuan kelas situs tanah Desa Molingkapoto

Koordinat		Bore Hole	Nilai $\bar{N}$ Terkoreksi	Klasifikasi Situs	
X	Y			Nilai $\bar{N}$	Kelas Situs
0,79370	122,86332	BH 1	36	15 sampai 50	SD (sedang)

5. Desa Lelato  
Desa Lelato terletak di Kecamatan Sumalata, berdasarkan penentuan kelas situs tanah Desa Sumalata termasuk kelas situs sedang dengan nilai  $\bar{N}$  14. Penentuan kelas situs tanah Desa Lelato ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Penentuan kelas situs tanah Desa Lelato

Koordinat		Bore Hole	Nilai $\bar{N}$ Terkoreksi	Klasifikasi Situs	
X	Y			Nilai $\bar{N}$	Kelas Situs
0,99681	122,27283	BH 1	12	< 15	SE (lunak)

6. Desa Deme 2  
Desa Deme 2 terletak di Kecamatan Sumalata Timur, berdasarkan penentuan kelas situs tanah Desa Sumalata Timur termasuk kelas situs sedang dengan kisaran nilai  $\bar{N}$  26-37. Penentuan kelas situs tanah Desa Deme 2 ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Penentuan kelas situs tanah Desa Deme 2

Koordinat		Bore Hole	Nilai $\bar{N}$ Terkoreksi	Klasifikasi Situs	
X	Y			Nilai $\bar{N}$	Kelas Situs
0,99482	122,47880	BH 1	26	15 sampai 50	SD (sedang)
0,99492	122,47840	BH 2	37	15 sampai 50	SD (sedang)

7. Desa Mulangato  
Desa Mulangato terletak di Kecamatan Tolinggula, berdasarkan penentuan kelas situs tanah Desa Mulangato termasuk kelas situs sedang sampai lunak dengan kisaran nilai  $\bar{N}$  10-35. Penentuan kelas situs tanah Desa Mulangato ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Penentuan kelas situs tanah Desa Mulangato

Koordinat		Bore Hole	Nilai $\bar{N}$ Terkoreksi	Klasifikasi Situs	
X	Y			Nilai $\bar{N}$	Kelas Situs
1,01661	122,15893	BH 1	35	15 sampai 50	SD (sedang)
1,01876	122,15338	BH 2	10	< 15	SE (lunak)

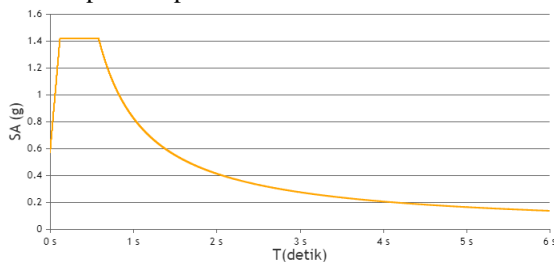
Berdasarkan Tabel 4.1 sampai Tabel 4.7, dari Desa Ilangata Kec. Anggrek sampai dengan Desa Mulangato Kec. Tolinggula untuk penentuan kelas situs tanah dan koreksi data *N-SPT* sudah sesuai dengan SNI 1726:2019 dan SNI 4153:2008.

#### 4.2 Hasil Respon Spektrum Desain

Respon spektrum desain merupakan acuan awal perencana dalam menganalisis beban gempa yang akan digunakan dalam desain bangunan tahan gempa. Hasil respon spektrum desain dibantu dengan menggunakan aplikasi respon spektrum desain 2020 yang mengacu pada SNI 1726:2019. Penggunaan aplikasi respon spektrum desain 2020 bertujuan untuk mendapatkan parameter amplifikasi tanah pada tanah lokal dan kurva spektrum respon desain di permukaan tanah. Berdasarkan aplikasi respon spektrum desain 2020 wilayah Kabupaten Gorontalo Utara sebelum disesuaikan dengan nilai  $\bar{N}$  masih tergolong kedalam kelas situs batuan, setelah disesuaikan dengan nilai  $\bar{N}$  terdapat perbedaan kelas situs dan sudah tergolong kedalam kelas situs tanah lunak sampai sedang. Hasil respon spektrum desain yaitu:

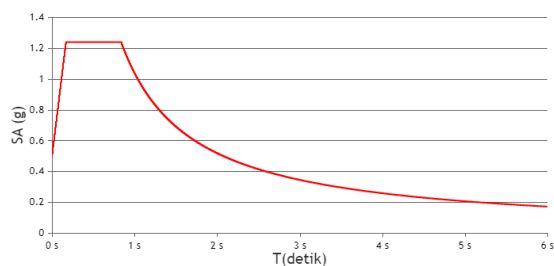
1. Desa Ilangata

Kurva spektrum desain dibuat berdasarkan hubungan antara percepatan spektral Desain untuk periode pendek  $S_{DS}$  dan percepatan spektral desain untuk periode 1 detik  $S_{D1}$  dengan  $T_0$  dan  $T_S$ . Hasil respon spektrum desain untuk kurva spektrum respon desain Desa Ilangata ditunjukkan pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4 dan Lampiran 11 sampai Lampiran 23.



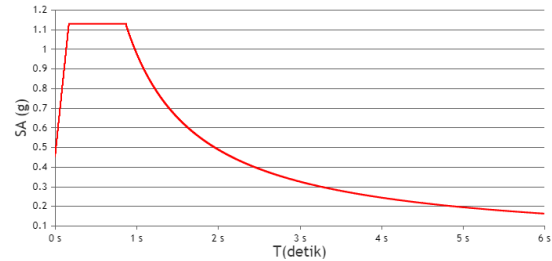
Gambar 4.1 Spektrum desain BH 1 (koordinat x: 0,85814 y: 122,78893)

Berdasarkan Gambar 4.1 kurva spektrum desain yang didapatkan untuk percepatan spektral desain periode pendek  $S_{DS}$  1,42g dan percepatan spektral desain periode 1 detik  $S_{D1}$  0,83g dengan  $T_0$  0,12 detik dan  $T_S$  0,58 detik.



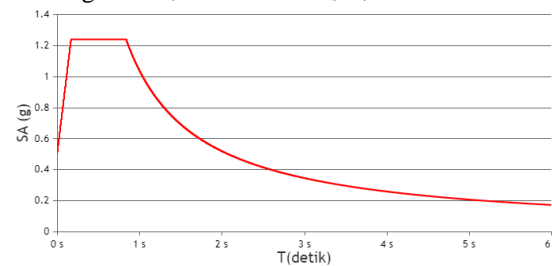
Gambar 4.2 Spektrum desain BH 2 (koordinat x: 0,85783 y: 122,78819)

Berdasarkan Gambar 4.2 kurva spektrum desain yang didapatkan untuk percepatan spektral desain periode pendek  $S_{DS}$  1,13g dan percepatan spektral periode 1 detik  $S_{D1}$  0,98g dengan  $T_0$  0,17 detik dan  $T_S$  0,87 detik.



Gambar 4.3 Spektrum desain BH 1 (koordinat x: 0,85194 y: 122,75772 )

Berdasarkan Gambar 4.3 kurva spektrum desain yang didapatkan untuk percepatan spektral desain periode pendek  $S_{DS}$  1,24g dan percepatan spektral desain 1 detik  $S_{D1}$  1,04g dengan  $T_0$  0,17 detik dan  $T_S$  0,84 detik



Gambar 4.4 Spektrum desain BH 2 (koordinat x: 0,85189 y: 122,75794 )

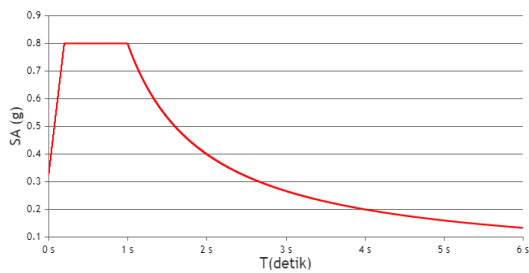
Berdasarkan Gambar 4.4 kurva spektrum desain yang didapatkan untuk  $S_{DS}$  1,24g dan  $S_{D1}$  1,04g dengan  $T_0$  0,20 detik dan  $T_S$  1,00 detik. Parameter amplifikasi untuk Desa Ilangata ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Parameter amplifikasi Desa Ilangata

Koordinat		Bore Hole	$S_s$	$S_1$	$S_{ns}$	$S_{dt}$	PGA	$T_0$	$T_s$	$T_l$
X	Y		(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(d)	(d)	(d)
0,85814	122,78893	BH 1	2,13	0,74	1,42	0,83	0,79	0,12	0,58	16
0,85783	122,78819	BH 2	2,12	0,74	1,13	0,98	0,79	0,17	0,87	16
0,85194	122,75772	BH 1	2,33	0,78	1,24	1,04	0,85	0,17	0,84	16
0,85189	122,75794	BH 2	2,33	0,78	1,24	1,04	0,85	0,20	1,00	16

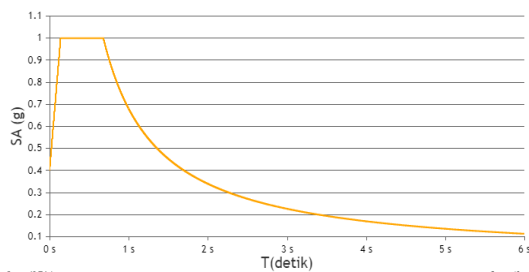
2. Desa Imana

Hasil respon spektrum desain untuk kurva spektrum respon desain Desa Imana ditunjukkan pada Gambar 4.5, Gambar 4.6, Lampiran 27, dan Lampiran 31.



Gambar 4.5 Spektrum desain BH 1 (koordinat x: 0,90636 y: 123,09838 )

Berdasarkan Gambar 4.5 kurva spektrum desain yang didapatkan untuk percepatan spektral desain periode pendek  $S_{DS}$  0,80g dan percepatan spektral desain 1 detik  $S_{D1}$  0,80g dengan  $T_0$  0,12 detik dan  $T_S$  0,58 detik. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan percepatan terjadi di awal periode kemudian dengan bertambahnya periode percepatan mulai terjadi penurunan.



Gambar 4.6 Spektrum desain BH 2 (koordinat x: 0,90608 y: 123,09845 )

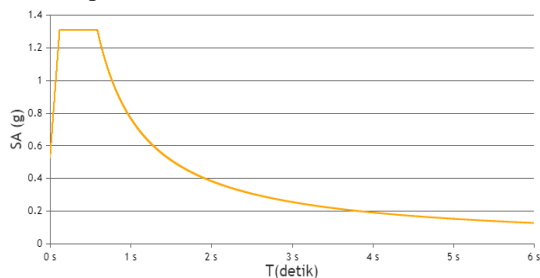
Berdasarkan Gambar 4.6 kurva spektrum desain yang didapatkan untuk percepatan spektral desain periode pendek  $S_{DS}$  1,00g dan percepatan spektral desain 1 detik  $S_{D1}$  0,68g dengan  $T_0$  0,14 detik dan  $T_S$  0,68 detik. Parameter amplifikasi untuk Desa Imana ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Parameter amplifikasi Desa Imana

Koordinat		Bore Hole	$S_s$ (g)	$S_1$ (g)	$S_{ns}$ (g)	$S_{D1}$ (g)	PGA (g)	$T_0$ (d)	$T_s$ (d)	$T_L$ (d)
X	Y									
0,90636	123,09838	BH 1	1,50	0,60	0,80	0,80	0,60	0,20	1,00	16
0,90608	123,09845	BH 2	1,50	0,60	1,00	0,68	0,60	0,14	0,68	16

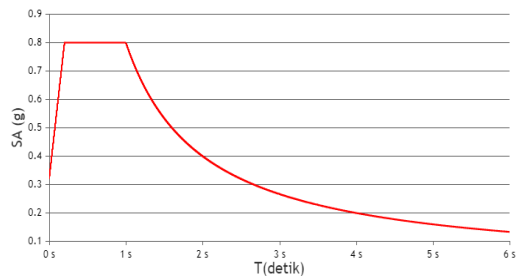
3. Desa Ipilo

Hasil respon spektrum desain untuk kurva spektrum respon desain Desa Ipilo ditunjukkan pada Gambar 4.7, Gambar 4.8, Lampiran 35 dan Lampiran 39.



Gambar 4.7 Spektrum desain BH 1 (koordinat x: 0,88692 y: 123,01536 )

Berdasarkan Gambar 4.7 kurva spektrum desain yang didapatkan untuk percepatan spektral desain periode pendek  $S_{DS}$  0,80g dan percepatan spektral desain 1 detik  $S_{D1}$  0,80g dengan  $T_0$  0,20 detik dan  $T_S$  1,00 detik. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan percepatan terjadi di awal periode kemudian dengan bertambahnya periode percepatan mulai terjadi penurunan.



Gambar 4.8 Spektrum desain BH 2 (koordinat x: 0,90607 y: 123,02720 )

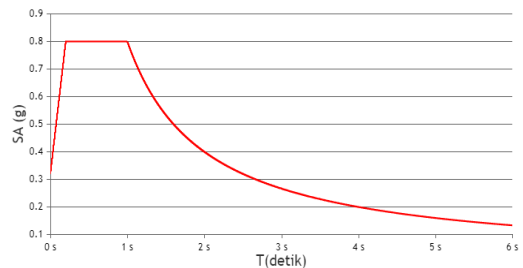
Berdasarkan Gambar 4.8 kurva spektrum desain yang didapatkan untuk percepatan spektral desain periode pendek  $S_{DS}$  0,80g dan percepatan spektral desain 1 detik  $S_{D1}$  0,80g dengan  $T_0$  0,20 detik dan  $T_S$  1,00 detik. Parameter amplifikasi untuk Desa Ipilo ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Parameter amplifikasi Desa Ipilo

Koordinat		Bore Hole	$S_s$ (g)	$S_1$ (g)	$S_{ns}$ (g)	$S_{D1}$ (g)	PGA (g)	$T_0$ (d)	$T_s$ (d)	$T_L$ (d)
X	Y									
0,88629	123,01536	BH 1	1,50	0,60	0,80	0,80	0,60	0,20	1,00	16
0,90607	123,02720	BH 2	1,50	0,60	0,80	0,80	0,60	0,20	1,00	16

4. Desa Molingkapoto

Hasil respon spektrum desain untuk kurva spektrum respon desain Desa Molingkapoto ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan Lampiran 53.



Gambar 4.9 Spektrum desain BH 1 (koordinat x: 0,79370 y: 122,86332 )

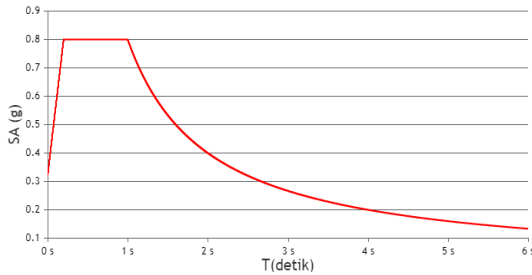
Berdasarkan Gambar 4.9 kurva spektrum desain yang didapatkan untuk percepatan spektral desain periode pendek  $S_{DS}$  1,31g dan percepatan spektral desain 1 detik  $S_{D1}$  0,77g dengan  $T_0$  0,12 detik dan  $T_S$  0,59 detik. Parameter amplifikasi untuk Desa Molingkapoto ditunjukkan pada Tabel 4.11.

**Tabel 4.11** Parameter amplifikasi Desa Molingkapoto

Koordinat		Bore Hole	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>ss</sub>	S <sub>oi</sub>	PGA	T <sub>0</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>l</sub>
X	Y		(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(d)	(d)	(d)
0,79370	122,86332	BH 1	1,97	0,68	1,31	0,77	0,74	0,12	0,59	16

5. Desa Lelato

Hasil respon spektrum desain untuk kurva spektrum respon desain Desa Lelato ditunjukkan pada Gambar 4.10 dan Lampiran 57.



**Gambar 4.10** Spektrum desain BH 1 (koordinat x: 0,99681 y: 122,27283 )

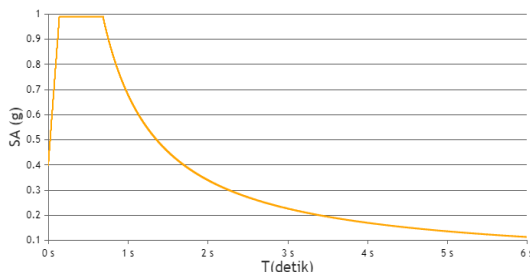
Berdasarkan Gambar 4.10 kurva spektrum desain yang didapatkan untuk percepatan spektral desain periode pendek  $S_{DS}$  0,80g dan percepatan spektral desain 1 detik  $S_{D1}$  0,80g dengan  $T_0$  0,20 detik dan  $T_s$  1,00 detik. Parameter amplifikasi untuk Desa Lelato ditunjukkan pada Tabel 4.12.

**Tabel 4.12** Parameter amplifikasi Desa Lelato

Koordinat		Bore Hole	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>ss</sub>	S <sub>oi</sub>	PGA	T <sub>0</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>l</sub>
X	Y		(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(d)	(d)	(d)
0,99681	122,27283	BH 1	1,50	0,60	0,80	0,80	0,6	0,20	1,00	16

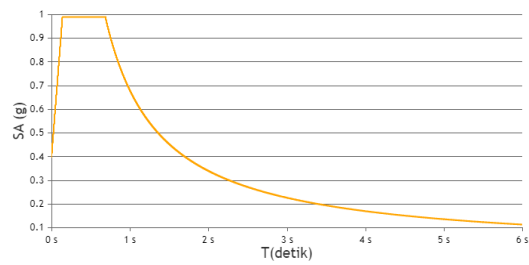
6. Desa Deme 2

Hasil respon spektrum desain untuk kurva spektrum respon desain Desa Deme 2 ditunjukkan pada Gambar 4.11, Gambar 4.12, Lampiran 61, dan Lampiran 65.



**Gambar 4.11** Spektrum desain BH 1 (koordinat x: 0,99482 y: 122,47880 )

Berdasarkan Gambar 4.11 kurva spektrum desain yang didapatkan untuk percepatan spektral desain periode pendek  $S_{DS}$  0,99g dan percepatan spektral desain 1 detik  $S_{D1}$  0,68g dengan  $T_0$  0,14 detik dan  $T_s$  0,69 detik.



**Gambar 4.12** Spektrum desain BH 2 (koordinat x: 0,99492 y: 122,47840 )

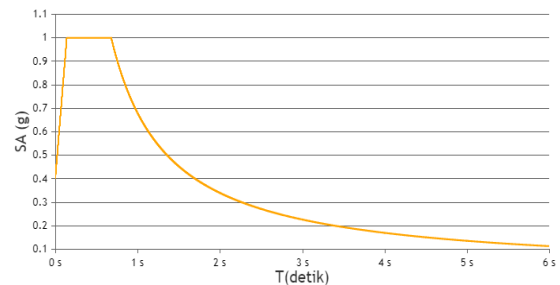
Berdasarkan Gambar 4.12 kurva spektrum desain yang didapatkan untuk percepatan spektral desain periode pendek  $S_{DS}$  0,99g dan percepatan spektral desain 1 detik  $S_{D1}$  0,68g dengan  $T_0$  0,14 detik dan  $T_s$  0,69 detik. Parameter amplifikasi untuk Desa Deme 2 ditunjukkan pada Tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Parameter amplifikasi Desa Deme 2

Koordinat		Bore Hole	S <sub>s</sub>	S <sub>i</sub>	S <sub>ss</sub>	S <sub>oi</sub>	PGA	T <sub>0</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>l</sub>
X	Y		(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(d)	(d)	(d)
0,99482	122,47880	BH 1	1,49	0,60	0,99	0,68	0,60	0,14	0,69	16
0,99492	122,47840	BH 2	1,49	0,60	0,99	0,68	0,60	0,14	0,69	16

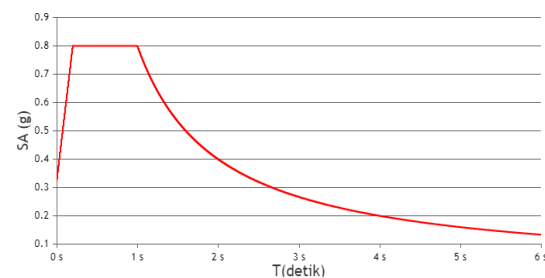
7. Desa Mulangato

Hasil respon spektrum desain untuk kurva spektrum respon desain Desa Mulangato ditunjukkan pada Gambar 4.13, Gambar 4.14, Lampiran 69, dan Lampiran 73.



**Gambar 4.13** Spektrum desain BH 1 (koordinat x: 0,99492 y: 122,47840 )

Berdasarkan Gambar 4.13 kurva spektrum desain yang didapatkan untuk percepatan spektral desain periode pendek  $S_{DS}$  1,00g dan percepatan spektral desain 1 detik  $S_{D1}$  0,68g dengan  $T_0$  0,14 detik dan  $T_s$  0,68 detik.



**Gambar 4.14** Spektrum desain BH 2 (koordinat x: 1,01661 y: 122,15893 )

Berdasarkan Gambar 4.14 kurva spektrum desain yang didapatkan untuk percepatan spektral desain periode pendek  $S_{DS}$  0,80g dan percepatan spektral desain 1 detik  $S_{D1}$  0,80g dengan  $T_0$  0,20 detik dan  $T_s$  1,00 detik. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan percepatan terjadi di awal periode kemudian dengan bertambahnya periode percepatan mulai terjadi penurunan. Parameter amplifikasi untuk Desa Mulangato ditunjukkan pada Tabel 4.14.

**Tabel 4.14** Parameter amplifikasi Desa Mulangato

Koordinat		Bore Hole	$S_s$ (g)	$S_1$ (g)	$S_{Ds}$ (g)	$S_{D1}$ (g)	PGA (g)	$T_0$ (d)	$T_s$ (d)	$T_L$ (d)
X	Y									
1,01661	122,15893	BH 1	1,50	0,60	1,00	0,68	0,60	0,14	0,68	16
1,01876	122,15338	BH 2	1,50	0,60	0,80	0,80	0,60	0,20	1,00	16

#### 4.2 Hasil Rekap Parameter Amplifikasi Kabupaten Gorontalo Utara

Rekapan parameter amplifikasi merupakan hasil respon spektrum yang disusun dalam tabel, terdiri dari koordinat, bore hole, nilai  $\bar{N}$  dan parameter amplifikasi respon spektrum Desa Ilangata sampai dengan Desa Mulangato. Rekapan parameter amplifikasi bertujuan untuk menentukan serta mengetahui nilai parameter gerak tanah percepatan batuan dasar periode pendek  $S_s$ , nilai parameter gerak tanah percepatan batuan dasar periode 1 detik  $S_1$ , dan nilai parameter percepatan tanah puncak PGA yang nantinya dijadikan sebagai parameter input pada saat pembuatan peta mikro zonasi. Berikut rekapan parameter amplifikasi Kabupaten Gorontalo Utara ditunjukkan pada Tabel 4.15 dan Lampiran 2.

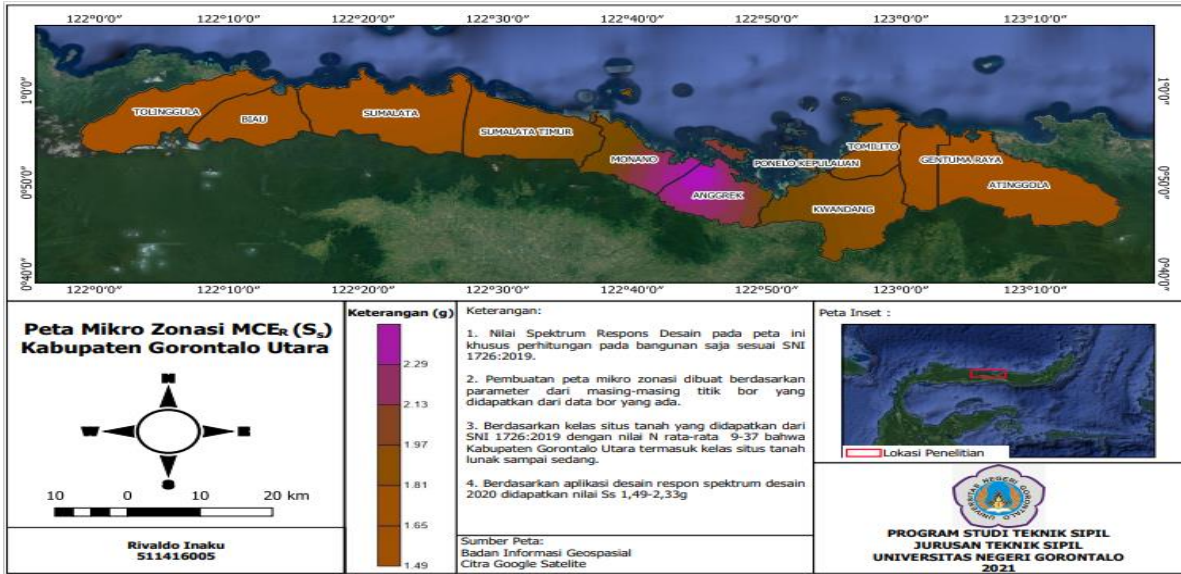
**Tabel 4.15** Rekapan parameter amplifikasi Kabupaten Gorontalo Utara

Koordinat		Bore Hole	Desa	Kelas Situs	$\bar{N}$	$S_s$ (g)	$S_1$ (g)	$S_{Ds}$ (g)	$S_{D1}$ (g)	PGA (g)	$T_0$ (detik)	$T_s$ (detik)	$T_L$ (detik)
X	Y												
0.85814	122.78893	BH 1	Ilangata	SD (sedang)	24	2.13	0.74	1.42	0.83	0.79	0.12	0.58	16.00
0.85783	122.78819	BH 2	Ilangata	SE (lumak)	9	2.12	0.74	1.13	0.98	0.79	0.17	0.87	16.00
0.85194	122.75772	BH 1	Ilangata	SE (lumak)	11	2.33	0.78	1.24	1.04	0.85	0.17	0.84	16.00
0.85189	122.75794	BH 2	Ilangata	SE (lumak)	9	2.33	0.78	1.24	1.04	0.85	0.17	0.84	16.00
0.90636	123.09838	BH 1	Imana	SE (lumak)	13	1.50	0.60	0.80	0.80	0.60	0.20	1.00	16.00
0.90608	123.09845	BH 2	Imana	SD (sedang)	18	1.50	0.60	1.00	0.68	0.60	0.14	0.68	16.00
0.88692	123.01536	BH 1	Ipilo	SE (lumak)	12	1.50	0.60	0.80	0.80	0.60	0.20	1.00	16.00
0.90607	123.02720	BH 2	Ipilo	SE (lumak)	10	1.50	0.60	0.80	0.80	0.60	0.20	1.00	16.00
0.79370	122.86332	BH 1	Molingkapoto	SD (sedang)	36	1.97	0.68	1.31	0.77	0.74	0.12	0.59	16.00
0.99681	122.27283	BH 1	Lelato	SE (lumak)	14	1.50	0.60	0.80	0.80	0.60	0.20	1.00	16.00
0.99482	122.47880	BH 1	Deme 2	SD (sedang)	26	1.49	0.60	0.99	0.68	0.60	0.14	0.69	16.00
0.99492	122.47840	BH 2	Deme 2	SD (sedang)	37	1.49	0.60	0.99	0.68	0.60	0.14	0.69	16.00
1.01661	122.15893	BH 1	Mulangato	SD (sedang)	35	1.50	0.60	1.00	0.68	0.60	0.14	0.68	16.00
1.01876	122.15338	BH 2	Mulangato	SE (lumak)	10	1.50	0.60	0.80	0.80	0.60	0.20	1.00	16.00

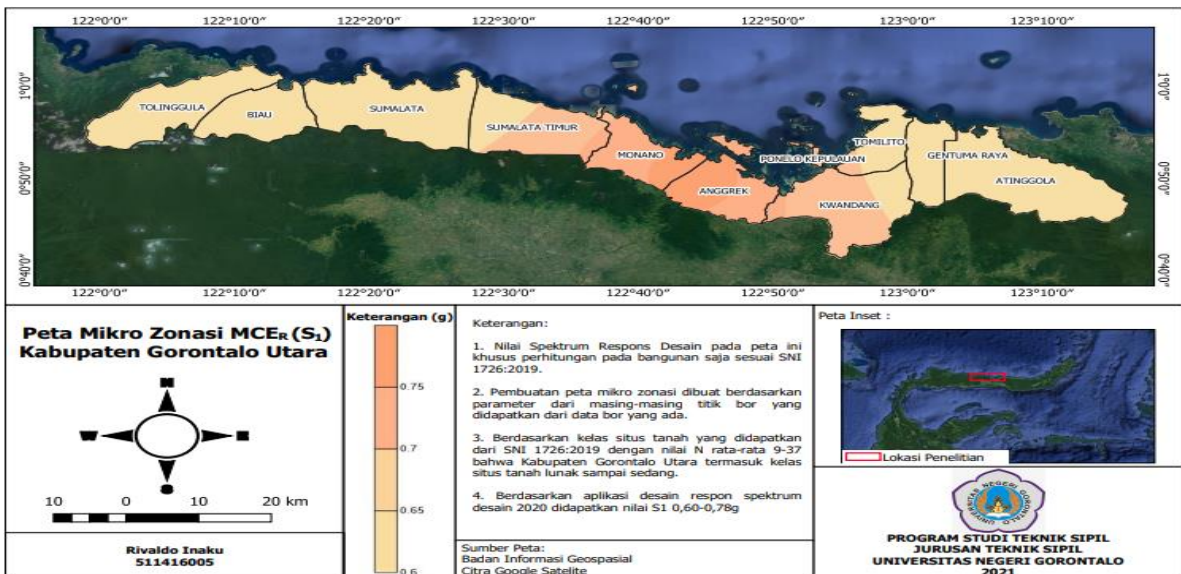
Berdasarkan Tabel 4.15 bahwa nilai percepatan batuan dasar periode pendek, nilai percepatan batuan dasar periode 1 detik dan nilai percepatan tanah puncak yang paling besar terjadi pada Desa Ilangata dengan nilai  $S_s$  2,12-2,33g,  $S_1$  0,74-0,78g dan nilai PGA 0,79-0,85g. Sedangkan nilai yang paling kecil terjadi pada Desa Deme 2 dengan nilai  $S_s$  1,49g,  $S_1$  0,6g dan nilai PGA 0,6g. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai percepatan maka semakin besar pula gempa yang akan terjadi begitupun sebaliknya semakin kecil nilai percepatan maka semakin kecil pula gempa yang akan terjadi. Respon spektrum keseluruhan yang terjadi di Kabupaten Gorontalo Utara yaitu, untuk percepatan batuan dasar periode pendek  $S_s$  adalah 1,49-2,33g, untuk percepatan batuan dasar periode pendek 1 detik  $S_1$  adalah 0,60-0,78g dan nilai percepatan tanah puncak PGA adalah 0,60-0,85g.

#### 4.4 Peta Mikro Zonasi Kabupaten Gorontalo Utara

Peta mikro zonasi merupakan bentuk visualisasi dari hasil respon spektrum yang dibuat dalam bentuk peta agar bisa dijadikan acuan awal dalam perencanaan desain bangunan tahan gempa. Pembuatan peta mikro respon spektrum gempa dibantu dengan menggunakan software QGIS 3.16 dengan menghasilkan peta mikro zonasi terdiri dari peta percepatan batuan dasar periode pendek  $S_s$  yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan Lampiran 3, kemudian peta percepatan batuan dasar periode 1 detik  $S_1$  yang ditunjukkan pada Gambar 4.16 dan Lampiran 4, peta percepatan tanah puncak PGA yang ditunjukkan pada Gambar 4.17 dan Lampiran 5, peta kelas situs tanah yang ditunjukkan pada Gambar 4.18 dan Lampran 6, serta peta geologi Kabupaten Gorontalo Utara ditunjukkan pada Gambar 4.19 dan Lampiran 7.



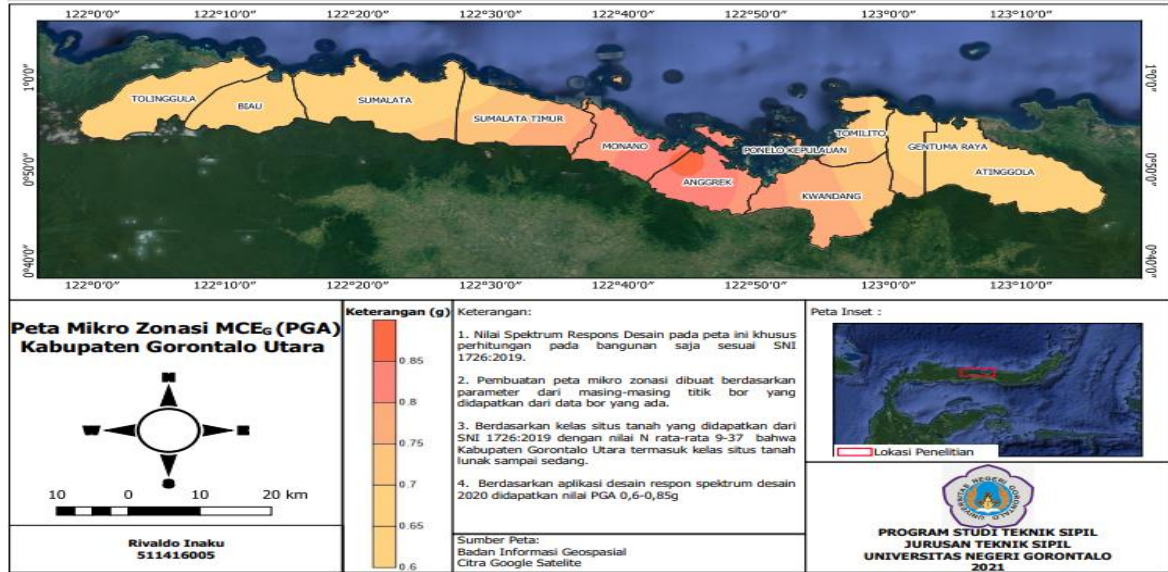
Gambar 4.15 Peta percepatan batuan dasar periode pendek S<sub>2</sub>



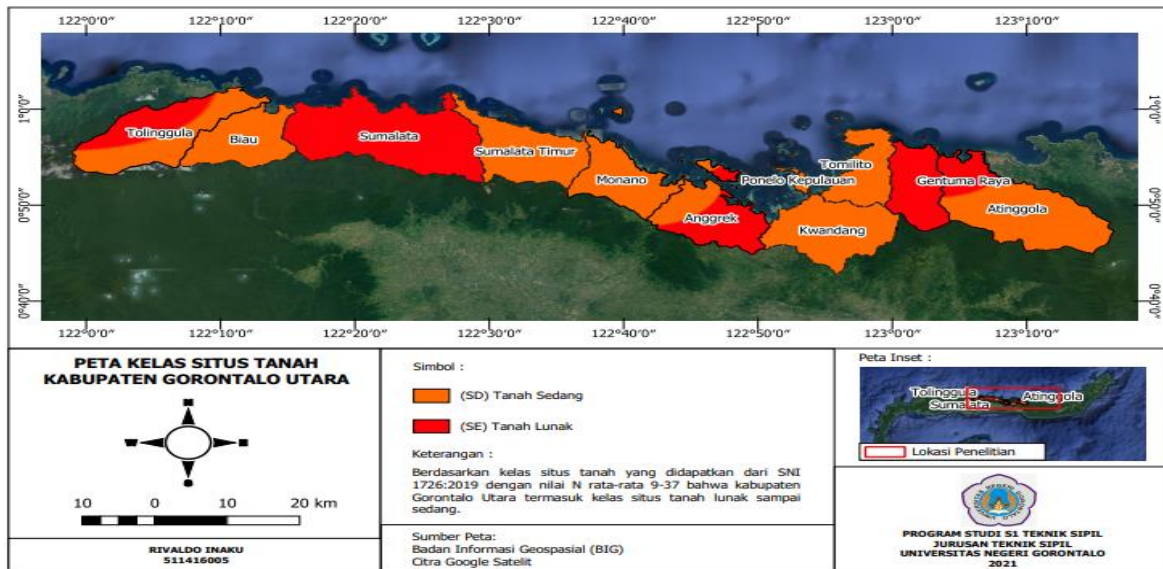
Gambar 4.16 Peta percepatan batuan dasar periode 1 detik S<sub>1</sub>

Berdasarkan peta percepatan batuan dasar periode pendek S<sub>2</sub> bahwa Kabupaten Gorontalo Utara termasuk zona kategori tinggi dengan kelas situs tanah lunak sampai sedang. Jika dilihat berdasarkan warna, Kabupaten Gorontalo Utara termasuk warna merah maron sampai ungu dengan nilai S<sub>2</sub> 1,49-2,33g. Hal ini menunjukkan bahwa semakin warnanya mendekati ungu maka percepatannya semakin besar sedangkan jika warnanya mendekati warna merah maron maka percepatannya semakin kecil.

Berdasarkan peta percepatan batuan dasar periode 1 detik S<sub>1</sub> bahwa Kabupaten Gorontalo Utara termasuk zona kategori tinggi dengan kelas situs tanah lunak sampai sedang. Jika dilihat berdasarkan warna, Kabupaten Gorontalo Utara termasuk warna oranye keputih-putihan sampai merah muda dengan nilai S<sub>1</sub> 0,60-0,78g. Hal ini menunjukkan bahwa semakin warnanya merah muda maka percepatannya semakin besar sedangkan jika warnanya mendekati warna oranye keputih-putihan maka percepatannya semakin kecil.



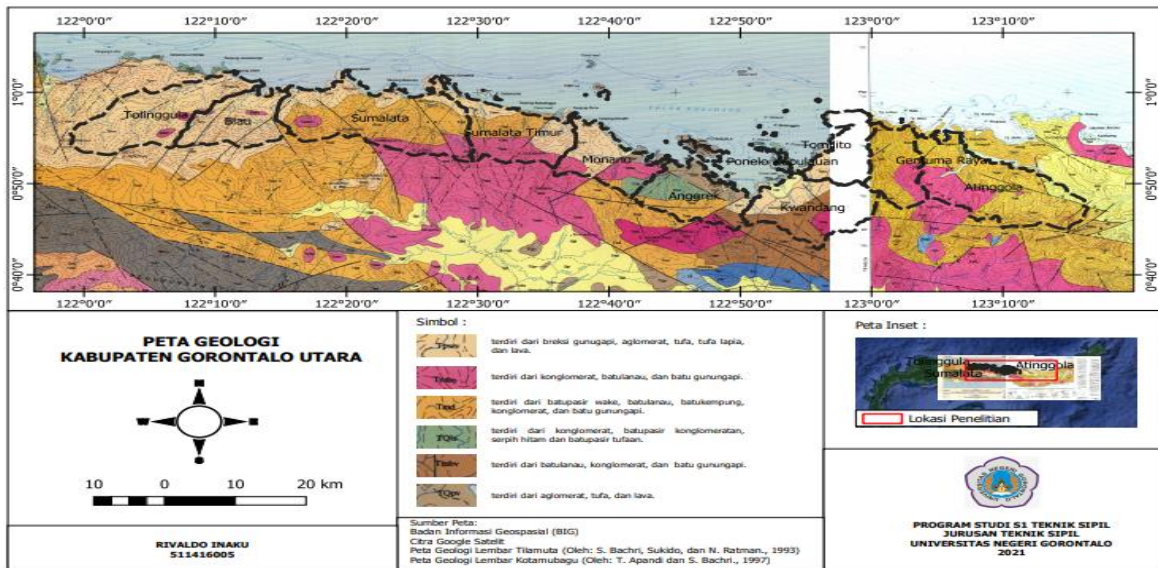
Gambar 4.17 Peta percepatan tanah puncak PGA



Gambar 4.17 Peta kelas situs tanah

Berdasarkan peta percepatan batuan dasar periode 1 detik  $S_1$  bahwa Kabupaten Gorontalo Utara termasuk zona kategori tinggi dengan kelas situs tanah lunak sampai sedang. Jika dilihat berdasarkan warna, Kabupaten Gorontalo Utara termasuk warna oranye keputih-putihan sampai merah muda dengan nilai  $S_1$  0,60-0,78g. Hal ini menunjukkan bahwa semakin warnanya merah muda maka percepatannya semakin besar sedangkan jika warnanya mendekati warna oranye keputih-putihan maka percepatannya semakin kecil.

Berdasarkan peta kelas situs tanah yang didapatkan dari SNI 1726:2019 bahwa Kabupaten Gorontalo Utara termasuk kelas situs tanah lunak sampai sedang. Jika dilihat berdasarkan warna, Kabupaten Gorontalo Utara termasuk warna oranye dan merah dengan nilai  $N$  9-37. Hal ini menunjukkan bahwa jika warnanya oranye termasuk kelas situs tanah sedang dan jika warnanya merah termasuk kelas situs tanah lunak. Jika dilihat berdasarkan letak geologi, wilayah Kabupaten Gorontalo Utara sebahagian terletak di lembar Talamuta dan sepertiganya terletak di lembar Kotamobagu. Geologi daerah Kabupaten Gorontalo Utara terbagi ke dalam 3 kelompok batuan secara umum, yaitu kelompok batuan sedimen (endapan), kelompok batuan vulkanik (gunungapi), dan kelompok batuan terobosan (intrusi) (Kasim dkk, 2014).



Gambar 4.18 Peta geologi Kabupaten Gorontalo Utara

Berdasarkan peta geologi Kabupaten Gorontalo Utara bahwa wilayah Kabupaten Gorontalo Utara didominasi oleh  $T_{pwv}$  yaitu, terdiri dari breksi gunungapi, aglomerat, tufa, tufa lapia dan lava. Kemudian  $T_{mbo}$  yaitu, terdiri dari aglomerat, batulanau, dan batu gunungapi. Selanjutnya  $T_{md}$  yaitu, terdiri dari batupasir wake, batulanau, batukempung, konglomerat dan batu gunungapi. Kemudian  $TQls$  yaitu, terdiri dari konglomerat, batupasir konglomerat, serpih hitam dan batu pasir tufan. Selanjutnya  $T_{mbv}$  yaitu, terdiri dari batulanau, konglomerat, dan batu gunungapi. Kemudian  $TQpv$  yaitu, terdiri dari aglomerat, tufa dan lava. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah geologi Kabupaten Gorontalo Utara sangat berpengaruh terhadap gempa yang terjadi sehingga perlu dilakukan analisis ataupun perhitungan yang sangat spesifik terhadap suatu bangunan yang akan direncanakan khususnya terhadap pengaruh percepatan kegempaan dan geologi dalam suatu wilayah.

## 5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, nilai percepatan berpengaruh terhadap perkiraan gempa yang terjadi atau percepatan berbanding lurus dengan gaya jika semakin besar gaya maka semakin besar pula gempa yang terjadi. Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini diantaranya:

1. Kabupaten Gorontalo Utara termasuk kelas situs lunak sampai sedang dengan nilai  $\bar{N}$  9-37.
2. Nilai respon spektrum yang didapatkan adalah sebagai berikut:

- a. Nilai percepatan batuan dasar periode pendek  $S_s$  adalah 1,49-2,33g.
- b. Nilai percepatan batuan dasar periode 1 detik  $S_1$  adalah 0,6-0,78g.
- c. Nilai percepatan tanah puncak  $PGA$  adalah 1,49-2,33g.

## 6. REFERENCES

- [1] Anbazhagan, Parihar, dan Rashmi, 2012. Review of Correlations Between SPT N and Shear Modulus: A New Correlation Applicable to Any Region. *Journal Homepage Elsevier*, 36(5), pp. 52-69.
- [2] Arifudin, Mas dan Anggit, 2018. Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik di Kabupaten Klaten dengan Metode Horizontal to Vertikal Spectral Ratio (HVSr) dari Data Mikrometer. *Universitas Islam Indonesia*, 2(3), pp. 1-10.
- [3] Achmad, F., 2019. Analisis Kapasitas Dukung Tanah Sebagai Informasi Awal Bagi Pembangunan Gedung di Kecamatan Kota Timur. *Seminar Nasional Teknologi, Sains dan Humaniora*, 3(4), pp. 181-186.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, 2008. *SNI 4153:2008 Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT*, Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, 2012. *SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

- [6] Badan Standardisasi Nasional, 2017. *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, 2019. *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [8] Delfebriyadi, 2009. Peta Respons Spektrum Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(2), pp. 71-82.
- [9] Delfebriyadi, 2010. Studi Keandalan Selubung Respons Spektrum Kelas Tanah Lunak Zona 5 untuk Daerah Meukek. *Jurnal Teknik Sipil*, 17(1), pp. 1-14.
- [10] Disaster Management Inovation dan Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2019. Modul Pembelajaran Analisis QGIS dan InaSAFE. In: H. O. Team, ed. *Pembelajaran Analisis QGIS dan InaSAFE*. Jakarta: Disaster Management Inovation & Badan Nasional Penanggulangan Bencana, pp. 1-141.
- [11] Kasim, M., Zainuri, A., Nurfaika, Imran dan Ria, I., 2014. *Model Mineralisasi Breksi Wobudu dengan Pendekatan Metode Geologi dan Petrogenesis di Gorontalo*. Laporan Penelitian, Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo.
- [12] Merley, M., 2019. Site Response Analysis Gedung Asrama LPMP Sumbar dari Input Motion Conditional Mean Spectrum (CMS) Menggunakan Software NERA. *Jurnal Fondasi*, 8(1), pp. 32-40.
- [13] Nouguchi, T., Nishimura, I., Ono, Y. dan Konho, M., 2021. Estimation of Subsurface Structure Based on Microtremor and Seismic Observations in Area Damaged By 2018 Hokkaido Eastern Iburu Earthquake, Hokkaido, Japan. *International Journal of GEOMATE*, 20(81), pp. 8-15.
- [14] Nurfitriani, Guntur, P. dan Raharjo, S., 2014. Identifikasi Sesar di Wilayah Gorontalo dengan Analisis Mekanisme Bola Fokus. *Jurnal MIPA UNSRAT*, 3(1), pp. 40-43.
- [15] Portal Resmi Gorontalo Utara, 2021. *Portal Resmi Gorontalo Utara*. [Online] Available at: <http://portal.gorutkab.go.id/letak-geografis/> [Accessed 6 Juni 2021].
- [16] Reza, H., Nedovic, Z., Akbar, A., Mohsen, N. dan Hassan, H., 2013. Interactive Approach for GIS-based Earthquake Scenario Development and Resource Estimation (Karmania hazard model). *Jurnal Homepage Elsevier*, 3(51), pp. 324-338.
- [17] Badan Standardisasi Nasional, "SNI Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017. *Peta Sumber Gempa dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.