

RESPON SPEKTRA PADA JEMBATAN IR. SOEKARNO MANADO

Julian Robin Talumepa

Fabian J. Manoppo, Lanny D. K. Manaroinsong

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

email: juliantalumepa@gmail.com

ABSTRAK

Gempa terjadi secara terus-menerus dan tidak dapat diprediksi kapan dan dimana episenter gempa akan terjadi. Akibatnya kondisi dan parameter kegempaan suatu daerah ikut berubah-ubah seiring dengan kejadian-kejadian gempa. Parameter kegempaan seperti percepatan tanah maksimum dan respon spektra suatu daerah merupakan parameter yang digunakan untuk syarat desain gedung sesuai ketentuan Standar Nasional Indonesia 1726:2012 mengenai perencanaan gedung tahan gempa. Jembatan Ir. Soekarno merupakan salah satu infrastruktur lalu lintas yang terdapat di kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara. Daerah ini merupakan salah satu daerah dengan keaktifan seismik tinggi, sehingga parameter-parameter kegempaan yang digunakan pada perhitungan beban gempa struktur harus sesuai dengan keadaan terbaru lokasi tersebut. Parameter kegempaan ini perlu dilakukan pemutakhiran secara berkelanjutan agar dapat mengetahui beban gempa yang dihasilkan pada struktur jembatan. Parameter-parameter kegempaan terbaru termuat pada Peta Gempa Indonesia 2017. Berdasarkan parameter-parameter yang tersedia dilakukan analisis resiko gempa dengan metode probabilitas. Analisis dilakukan dengan bantuan EZ-FRISK menghasilkan percepatan tanah maksimum dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dimana gedung di desain untuk menghindari keruntuhan pada Maximum Considered Earthquake (MCE) sesuai ASCE 7-10. Kemudian penentuan respon spektra lokasi berdasarkan pada SNI 1726:2012. Hasil klasifikasi data tanah mendapatkan lapisan tanah lokasi termasuk pada klasifikasi tanah sedang. Hasil analisis resiko gempa pada periode ulang gempa 2500 tahun mendapatkan percepatan tanah maksimum lokasi penelitian = 0.732 g dan respon spektra desain = 1.139 g.

Kata Kunci: Respon Spektra, Gempa Bumi, PSHA, ZMAP, EZ-FRISK 7.52

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Provinsi Sulawesi Utara adalah salah satu daerah yang termasuk dalam daerah dengan resiko gempa yang tinggi. Di daerah ini intensitas terjadinya gempa tinggi. Hal ini menyebabkan setiap infrastruktur yang dibangun harus memperhitungkan kondisi kegempaan setempat. Salah satu infrastruktur tersebut adalah jembatan Ir. Soekarno yang terletak di ibukota provinsi Sulawesi Utara, kota Manado. Jembatan ini merupakan infrastruktur yang dibangun oleh pemerintah untuk memperlancar lalu lintas di kota Manado. Tentunya desain jembatan mengacu pada kondisi gempa setempat agar supaya dapat bertahan menghadapi gempa yang dapat terjadi dan tidak menimbulkan kerusakan-kerusakan pada bagian jembatan akibat gempa.

Kondisi kegempaan setiap wilayah di Indonesia telah dibuat dalam Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 yang merupakan pembaharuan dari Peta Gempa Indonesia Tahun 2010.

Berdasarkan Buku Peta Gempa Indonesia Tahun 2017, Provinsi Sulawesi Utara termasuk ke daerah yang rawan akan gempa. Sehingga setiap infrastruktur, gedung-gedung, ataupun bangunan vital yang ada di daerah ini harus didesain tahan gempa berdasarkan parameter-parameter gempa yang ada. Parameter-parameter tersebut dapat ditemukan dari hasil-hasil penelitian sebelumnya dan juga dapat di ambil dari Buku Peta Gempa Indonesia Tahun 2017. Namun dengan pertimbangan bahwa data yang didapat dari penelitian sebelum dan dari buku peta gempa tersebut masih terlalu umum dan juga pemutakhiran peta gempa Indonesia adalah sebuah kebutuhan penting yang harus dilakukan (karena peta gempa merupakan prasyarat penting dalam menentukan beban gempa sesuai peraturan bangunan yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah), maka penting untuk melakukan penelitian ini demi menghasilkan desain spektra Jembatan Ir. Soekarno Manado yang lebih akurat menggunakan data tanah lokal dan data gempa terbaru. Kebutuhan mengenai pemutakhiran data gempa Indonesia juga dicantumkan dalam Buku

Peta Indonesia Tahun 2017. Contohnya setelah publikasi dari peta gempa tersebut pada September 2017, beberapa peristiwa gempa yang berdampak besar terjadi di Indonesia seperti gempa Banten dan Jakarta pada Januari 2018, Gempa di Sumbawa pada Juli 2018 kemudian selang beberapa hari pada bulan Agustus 2018 terjadi gempa di Lombok dan gempa yang terjadi di Palu pada bulan September 2018.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar percepatan tanah maksimum atau *peak ground acceleration* untuk jembatan Ir. Soekarno Manado dengan periode ulang 2500 tahun?
2. Bagaimana respon spektra untuk jembatan Ir. Soekarno Manado?

Batasan Masalah

1. Data gempa yang dipakai berasal dari *United States Geological Survey* mulai tahun 1900 sampai bulan Maret tahun 2019 yang dibatasi dengan kekuatan momen magnitude (M_w) ≥ 5 SR, kedalaman ≤ 300 km dan radius ≤ 300 km dari lokasi penelitian.
2. Sumber gempa yang digunakan adalah gempa tektonik atau gempa akibat aktivitas lempeng dan patahan.
3. Analisa resiko gempa menggunakan metode *Probability Seismic Hazard Analysis (PSHA)*
4. Parameter-parameter kegempaan yang digunakan berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah ada.
5. Data tanah yang akan digunakan adalah data tanah sekunder dari tenaga ahli.
6. Penentuan respon spektra desain berdasarkan SNI 1726-2012
7. Lokasi penelitian hanya pada pylon jembatan Ir. Soekarno.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan analisa resiko gempa pada jembatan Ir. Soekarno Manado dengan periode ulang 2500 tahun menggunakan metode *Probability Seismic Hazard Analysis (PSHA)* dan desain spektra lokasi penelitian yang lebih sesuai dengan data tanah lokal.

Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan data percepatan gempa yang lebih mutakhir dan lebih sesuai dengan lokasi penelitian.

2. Parameter-parameter kegempaan yang dihasilkan dapat digunakan pada penelitian-penelitian selanjutnya.
3. Pemetaan parameter gempa bumi yaitu *a-value* dan *b-value*.
4. Respon spektra yang dihasilkan dapat dijadikan data untuk peninjauan kembali kemampuan pylon jembatan terhadap kondisi kegempaan terbaru sebagai salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi.

LANDASAN TEORI

Pengertian Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran yang dapat di deteksi pada permukaan bumi akibat dari gelombang seismik yang terbentuk karena adanya pelepasan energi secara tiba-tiba pada kedalaman bumi. Dampak pada permukaan yaitu kerusakan atau kehancuran infrastruktur; patahan dan kerak melengkung, likuifaksi, keruntuhan lereng di darat dan lepas pantai; serta tsunami. (Hunt: 2005)

Dampak Gempa Bumi

1. Bahaya/bencana yang berpotensi secara langsung terjadi akibat gempa bumi antara lain patahan, getaran, likuifaksi, serta tsunami. Bahaya/bencana yang berpotensi terjadi setelah gempa bumi antara lain kebakaran, banjir, dan tanah longsor.
2. Aset-aset yang dapat terancam karena gempa bumi antara lain orang-orang, kerugian ekonomi secara langsung, melumpuhkan kegiatan yang sedang berlangsung.
3. Kerugian utama akibat gempa bumi antara lain kehilangan nyawa, kerugian keuangan untuk reparasi, komunikasi dan transportasi terputus. Kerugian sekunder adalah seperti terganggunya kegiatan ekonomi dan pemerintah.
4. Kerusakan dapat terjadi pada gedung-gedung, infrastruktur, monumen-monumen serta pada fasilitas-fasilitas pendukung.

Ukuran dan Korelasi Kekuatan Gempa

1. Pengukuran secara kualitatif adalah pengukuran yang didasarkan pada tingkat kerusakan yang ditimbulkan gempa pada lokasi terjadinya. Besaran atau kekuatan gempa dinilai dari pengaruh yang ditimbulkan pada benda-benda, bangunan, tanah, dan orang-orang. Skala ini disebut *Modified Mercalli Intensity (MMI)*.
2. Pengukuran secara kuantitatif adalah pengukuran dengan menggunakan alat ukur

kekuatan gempa yaitu seismograf. Skala yang digunakan adalah skala Richter yang dikenal ukuran magnitudo gempa. Magnitudo gempa adalah ukuran yang digunakan oleh pusat gempa dalam mengukur kekuatan suatu gempa. Berikut adalah macam-macam magnitudo gempa: Magnitudo Lokal (M_L), magnitudo gelombang badan (m_b), magnitudo gelombang permukaan (M_s), dan magnitudo momen (M_w).

Berikut adalah korelasi kekuatan gempa menurut Asurifak dkk, 2010.

Tabel 1. Korelasi Konversi Skala Magnitudo

Korelasi Konversi	Kesesuaian
$M_w = 0.143m_b^2 - 1.05 m_s + 7.285$	93.9%
$M_w = 0.114m_b^2 - 0.556m_b + 5.560$	72.0%
$M_w = 0.787 M_L - 1.537$	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

Identifikasi Sumber Gempa Bumi

Sumber gempa dapat dibedakan berdasarkan lokasi gempa, skala intensitas gempa, magnitudo gempa, hingga momen magnitudo masing-masing gempa. Hal-hal mengenai suatu gempa dapat diidentifikasi melalui keterangan geologi, tektonik, sejarah dan bukti instrumental yang ada.

Zona sumber gempa dapat dibagi berdasarkan lokasinya, seperti berikut ini:

1. Sumber gempa sesar
 Sumber gempa sesar atau *fault* yaitu gempa yang bersumber atau terjadi pada patahan-patahan. Dalam hal ini patahan-patahan sudah terdefinisi dengan jelas mekanisme, *slip rate*, dip, panjang patahan dan lokasinya. Parameter seperti *fault trace*, mekanisme pergerakan, *slip-rate*, panjang dan lebar sesar atau *fault* adalah parameter-parameter yang diperlukan untuk analisa probabilitas model sumber gempa sesar.
2. Sumber gempa subduksi
 Sumber gempa subduksi adalah gempa yang bersumber di sekitar batas pertemuan antara lempeng benua dan lempeng samudera. Dimana lempeng samudera menunjam masuk ke bawah lempeng benua. Model gempa subduksi menggunakan katalog gempa utama saja dan tidak digunakan gempa ikutan pada daerah sesar. Sumber gempa ini juga dibatasi hanya sampai pada kedalaman 50 km.

3. Sumber gempa *background*

Model gempa ini diklasifikasikan menjadi dua yaitu *shallow background* (kedalaman hingga 50 km) dan *deep background* (kedalaman lebih dari 50 km). Model sumber gempa *deep background* juga dibagi menjadi 4 interval kedalaman yaitu 50-100 km, 100-150 km, 150-200 km, dan 200-300 km. Model sumber gempa ini menggunakan katalog gempa utama dengan tidak memasukkan sumber gempa subduksi dan sumber gempa sesar.

Peak Ground Acceleration (PGA)

Peak Ground Acceleration / percepatan tanah maksimum adalah nilai percepatan batuan dasar terbesar yang pernah terjadi pada suatu wilayah tertentu yang diakibatkan oleh gempa bumi. Pada saat terjadi gempa bumi, akan terjadi perpindahan materi. Waktu yang diperlukan untuk perpindahan tersebut adalah kecepatan. Sedangkan percepatan adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai pada kecepatan tertentu.

Semakin besar nilai PGA suatu wilayah berarti semakin besar bahaya dan resiko gempa yang mungkin terjadi. Percepatan tanah adalah faktor utama yang mempengaruhi konstruksi bangunan dan menimbulkan momen gaya yang terdistribusikan merata di titik-titik bangunan, sehingga percepatan tanah merupakan titik tolak perhitungan bangunan tahan gempa.

Nilai percepatan tanah atau PGA suatu daerah bergantung pada karakteristik lapisan tanah. Hal ini menyebabkan nilai PGA dapat berbeda dari suatu daerah dengan daerah yang lainnya walaupun hanya berjarak beberapa kilometer saja. Dikarenakan hal-hal yang kompleks mempengaruhi nilai tersebut, maka gempa dengan magnitudo yang sama dapat menghasilkan nilai PGA yang berbeda, dengan gempa berkekuatan sedang dapat menghasilkan nilai PGA yang tinggi dibanding gempa dengan kekuatan yang besar.

Nilai PGA biasanya ditunjukkan dengan “g” yaitu percepatan gravitasi yang sering muncul dalam bentuk desimal atau presentase dengan satuan m/s^2 ($1 g = 9.81 m/s^2$) atau dalam satuan Gal, dimana 1 gal sama dengan $0.01 m/s^2$ ($1 g = 981 gal$)

Resiko Gempa dan Metode Perhitungannya

Resiko gempa adalah kemungkinan terlampauinya (*probability of exceedance*) suatu gempa dengan intensitas tertentu selama masa suatu bangunan. kekuatan campuran.

Berikut adalah 2 metode yang dapat digunakan untuk analisis resiko gempa suatu daerah :

1. Metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis* (DSHA)

Metode analisa resiko gempa dengan evaluasi dari gerakan tanah (*ground motion*) untuk suatu wilayah didasarkan pada skenario gempa wilayah tersebut. Skenario gempa ini berisi tentang kejadian gempa dengan magnitude tertentu yang akan terjadi pada lokasi tertentu.

2. Metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA)

Metode analisa resiko gempa dengan menggunakan seluruh gempa yang pernah terjadi dan terekam serta masuk dalam daerah yang mempengaruhi lokasi tinjauan. Teori ini mengasumsikan magnitude gempa (m) dan jarak (r) sebagai variabel acak independen yang menerus.

Klasifikasi Tanah

Dalam penelitian ini sistem klasifikasi tanah yang digunakan berdasarkan pada klasifikasi situs yang tercantum dalam SNI 1726:2012 mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Klasifikasi tersebut dibagi ke dalam beberapa kelas situs yaitu sebagai berikut:

1. Tanah khusus, kelas situs SF

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

- tanah yang rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat gempa seperti mudah likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, dan tanah tersementasi lemah
- lempung kadar organik tinggi dan/atau gambut, dengan ketebalan, $H > 3$ m
- lempung dengan plastisitas yang sangat tinggi dengan ketebalan, $H > 7.5$ m, dengan indeks plastisitas, $PI > 75$
- lempung lunak/setengah teguh, dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa

2. Tanah lunak, kelas situs SE

Bila suatu situs tidak 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.

3. Kelas situs SC, SD, dan SE

Penetapan kelas situs SC, SD, dan SE dapat dilakukan berdasarkan tiga parameter berikut:

- a. \bar{v}_s lapisan 30 meter paling atas
- b. \bar{N} lapisan 30 meter paling atas
- c. \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. Bila kedua parameter tersebut menghasilkan kriteria yang berbeda, kelas situs harus diberlakukan sesuai dengan kategori tanah yang lebih lunak.

Kecepatan Gelombang Geser Tanah

Gelombang geser merupakan gelombang sekunder atau *shear*. Gelombang tersebut dinamakan gelombang sekunder karena memiliki kecepatan yang lebih rendah dari gelombang primer atau pressure. Saat penjalaran, gelombang geser memberikan regangan geser pada lapisan yang dilaluinya (Thompson & Turk, 1997). Gelombang geser merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kekuatan guncangan gempa, amplifikasi tanah, likuifaksi dan pemetaan kondisi bawah permukaan untuk kebutuhan bidang rekayasa sesuai ASCE 2010 dan SNI 1726-2012; parameter kecepatan gelombang geser (v_s) sudah dimasukkan menjadi salah satu parameter dalam menentukan pengklasifikasian jenis tanah dan batuan.

Sifat kekakuan tanah dinilai dari kecepatan gelombang gesernya. Semakin besar nilai kecepatan gelombang geser suatu lapisan, berarti nilai kekakuan geser tanahnya semakin besar atau lapisan tersebut semakin keras dan padat.

v_{s30} merupakan kecepatan gelombang geser suatu lapisan tanah pada kedalaman 30 m dari permukaan tanah. Menurut Roser & Goser (2010) nilai v_{s30} ini dapat dipergunakan dalam penentuan standar bangunan tahan gempa, yaitu untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempa bumi akibat efek lokal serta digunakan untuk keperluan dalam perancangan bangunan tahan gempa. v_{s30} merupakan data penting dan paling banyak digunakan dalam teknik geofisika untuk menentukan karakteristik struktur bawah permukaan hingga kedalaman 30 m. Hanya lapisan-lapisan batuan sampai kedalaman 30 meter saja yang menentukan pembesaran gelombang gempa (Wangsadinata, 2006)

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), (Pawirodikromo, 2001). Spektrum percepatan akan berhubungan dengan gaya geser maksimum yang bekerja pada dasar struktur.

METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian terdiri dari 5 tahap. Tahap-tahap tersebut sebagai berikut:

Tahap I: Pengolahan Data Tanah

Data tanah yang digunakan merupakan data tanah sekunder hasil penyelidikan dengan pengujian penetrasi standar. Data tanah tersebut hanya digunakan data pada kedalaman 30 meter dari permukaan saja sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2012 dan pada Buku Peta Gempa 2017. Kemudian data tersebut dikorelasikan berdasarkan korelasi N_{SPT} ke nilai kecepatan gelombang geser/*shear wave velocity* dengan korelasi Seed & Idris (1982). Berikut adalah rumus korelasi tersebut:

$$v_s = 61.4 N^{0.5}$$

Keterangan

v_s : kecepatan gelombang geser

N : nilai N_{SPT} lapangan

Setelah didapatkan nilai kecepatan gelombang geser setiap lapisan, hitung kecepatan gelombang geser rata-rata lokasi penelitian dengan rumus dari SNI 1726-2012 sebagai berikut:

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}}$$

Keterangan

d_i : tebal setiap lapisan

v_{si} : kecepatan gelombang geser lapisan

$\sum_{i=1}^n d_i$: 30 meter

Tahap II: Pengambilan Data Gempa dari USGS

Data gempa yang diambil mulai tahun 1900 sampai bulan Maret tahun 2019 yang dibatasi dengan kekuatan momen magnitudo (M_w) ≥ 5 SR, kedalaman ≤ 300 km dan radius ≤ 300 km dari lokasi penelitian.

Kemudian pengolahan awal yang dilakukan adalah dengan mengonversikan setiap magnitudo yang berbeda ke magnitudo momen (M_w).

Setelah dikonversikan data gempa tersebut disunting dan diolah sesuai dengan format dan susunan yang dapat dibaca/dibuka dengan ZMAP.

Tahap III: Pengolahan Data Gempa dengan ZMAP

Setelah data katalog gempa sudah dapat terbuka dengan ZMAP, pengolahan yang dilakukan pertama adalah pemisahan gempa utama dengan gempa awalan dan gempa susulan.

Kemudian dilakukan perhitungan otomatis parameter a (*a-value*) dan parameter b (*b-value*). Kedua parameter tersebut dibutuhkan pada *input* data-data sumber gempa.

Tahap IV: Analisis Resiko Gempa dengan EZ-FRISK

Sebelum bisa menganalisis resiko gempa terdapat data-data gempa yang harus dilengkapi terlebih dahulu.

Pertama, pemodelan sumber gempa untuk lokasi penelitian. Pada bagian ini untuk menentukan sumber-sumber gempa apa saja yang akan dimasukkan/dianggap mempengaruhi lokasi penelitian. Setiap sumber gempa (patahan, subduksi, dan *background*) memiliki masing-masing parameter yang dibutuhkan seperti parameter a, parameter b, magnitudo gempa terbesar, pergeseran maksimum, serta koordinat jalur patahan.

Setelah itu, kita melakukan pemilihan rumus atenuasi. Menurut penulis, atenuasi merupakan korelasi energi gelombang yang mencapai permukaan. Energi gelombang berubah karena penjaralan pada lapisan-lapisan tanah yang berbeda. Untuk masing-masing sumber gempa memiliki atenuasi yang sesuai.

Terakhir sebelum analisis dilakukan, parameter lokasi penelitian yang harus dimasukkan untuk mendapatkan analisa yang lebih spesifik adalah parameter kecepatan gelombang geser tanah pada kedalaman 30 meter dari permukaan.

Tahap V: Desain Spektra Lokasi Penelitian

Desain spektra lokasi penelitian dilakukan berdasarkan SNI 1726:2012. Berikut adalah tahapan singkat penentuan respon spektra lokasi:

1. Data yang dibutuhkan untuk memulai langkah selanjutnya adalah data klasifikasi tanah berdasarkan klasifikasi situs (SNI 1726:2012) untuk mengetahui kelas lokasi yang direncanakan.

2. Penentuan nilai S_s dan S_1 . Pada penelitian ini, kedua nilai tersebut didapatkan dari hasil analisis resiko gempa menggunakan *software* Ez-Frisk.

S_s : parameter percepatan respons spektral pada periode pendek (0.2 detik)

S_1 : parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik

3. Penentuan nilai F_a dan F_v . Kedua nilai ini merupakan faktor amplifikasi. F_a merupakan faktor amplifikasi untuk getaran periode pendek dan F_v adalah faktor amplifikasi untuk getaran periode 1 detik. Kedua nilai ini ditentukan oleh nilai S_s dan S_1 serta ditentukan oleh kelas lokasi.

4. Perhitungan nilai S_{DS} dan S_{D1}

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times F_a \times S_s$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times F_v \times S_1$$

Keterangan:

S_{DS} : parameter respons spektra desain pada periode pendek (0.2 detik)

S_{D1} : parameter respons spektra desain pada periode 1 detik

5. Perhitungan nilai T_0 dan T_s

$$T_0 = 0.2 \times \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

6. Tabel untuk grafik percepatan spektra S_a (g) vs periode T (s)

Tabel 2. Percepatan Spektra (g) vs Periode (s)

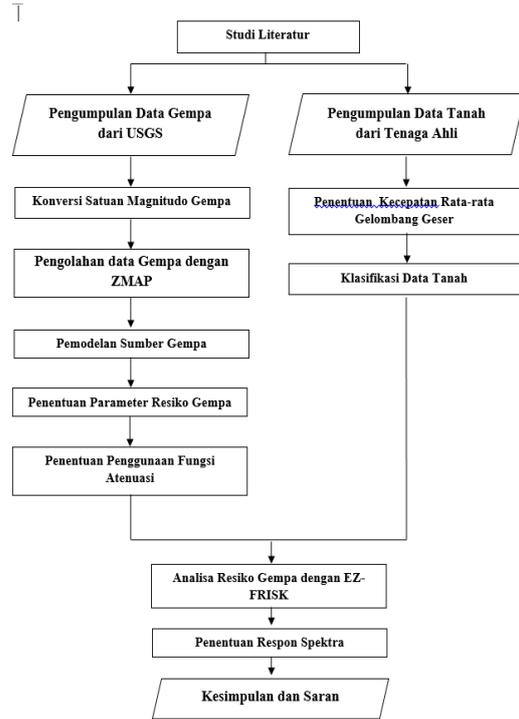
T (s)	S_a (g)
$T_1 = 0$	$S_{DS} \times (0.4 + 0.6 \times (T_1/T_s))$
$T_2 = T_0$	$S_{DS} \times (0.4 + 0.6 \times (T_2/T_s))$
$T_3 = T_s$	S_{D1}/T_3
T_4	S_{D1}/T_4
T_n	S_{D1}/T_n

Urutan langkah penelitian, dipresentasikan dalam bentuk bagan alir penelitian seperti pada Gambar 1 berikut.

HASIL DAN ANALISIS

Pengolahan Data Tanah

Data tanah yang digunakan adalah data sekunder hasil pengujian N_{SPT} pada lokasi penelitian.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Berikut adalah data tanah dan hasil korelasinya.

Tabel 3. Data Tanah Lokasi Penelitian

Kedalaman (m)	Tebal (m)	Deskripsi	N_{SPT}
0 - 10	10	Soft to Medium Clayey Sandy Silt	4
10 - 12	2	Medium Dense Silty Fine Sand	12
12 - 20	8	Very Dense Sand	38
20 - 32	12	Very Dense Silty Sand	50
32 - 50	18	Dense Silty Sand	38

Kemudian data tanah dikorelasikan ke nilai kecepatan gelombang geser sampai kedalaman 30 meter dari permukaan (v_s 30) karena parameter inilah yang dibutuhkan untuk analisis resiko gempa nantinya. Korelasi dilakukan untuk masing-masing lapisan kemudian dihitung nilai kecepatan rata-rata gelombang geser berdasarkan rumus klasifikasi situs SNI 1726:2012. Berikut adalah perhitungannya:

Tabel 4. Penentuan kecepatan rata-rata gelombang geser

Tebal m	N_{SPT}	kecepatan gelombang geser meter / detik	tebal / kecepatan d / v_s	kecepatan rata-rata gelombang geser \bar{v}_s
10	4	122.80	0.0814	222.213
2	12	212.70	0.0094	
8	38	378.50	0.0211	
10	50	434.16	0.0230	

Setelah didapatkan nilai kecepatan rata-rata gelombang geser, klasifikasi dilakukan berdasarkan nilai kecepatan rata-rata gelombang

geser tersebut sesuai dengan tabel klasifikasi situs pada SNI 1726:2012. Berikut adalah klasifikasinya:

Tabel 5. Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{V}_z (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{eq}	$\bar{\tau}_s$ (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	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	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 nirair $\bar{\tau}_s < 25$ kPa Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{\tau}_s < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipaka

Pengambilan dan Konversi Magnitude Gempa

Katalog gempa diambil dari USGS dengan rentang mulai dari tahun 1925 sampai bulan Maret tahun 2019. Katalog gempa tersebut menunjukkan gempa pertama yang terekam dan sesuai dengan batasan-batasan kedalaman, magnitude serta masuk dalam radius penelitian dimulai pada tahun 1925.

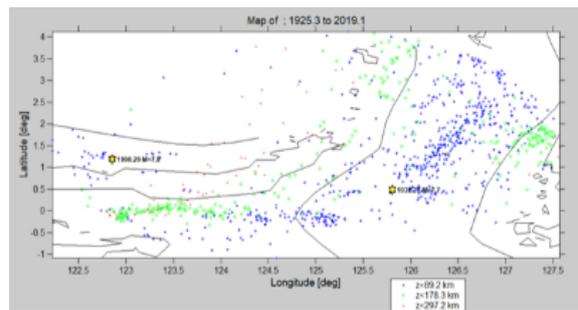
Batasan kedalaman yang diambil adalah gempa dengan kedalaman ≤ 300 km dari permukaan. Hal ini dikarenakan gempa-gempa dengan hiposenter dalam jarang memberikan pengaruh pada permukaan sehingga tidak diperhitungkan. Energi gelombang gempa yang dalam akan melemah karena merambat melalui berbagai lapisan tanah. Sedangkan gempa-gempa dengan hiposenter dangkal sering memberikan pengaruh pada permukaan sebagai pemicu bencana terjadi dan sebagai penentu besarnya percepatan tanah. Batasan kedalaman ini mengacu pada Asrurifak (2010) mengenai pemodelan sumber gempa. Untuk batasan magnitude dan jarak lokasi sumber gempa ke lokasi yang ditinjau juga mengacu pada penelitian tersebut.

Konversi magnitude gempa dibutuhkan karena pada katalog gempa yang didapat dari USGS, data gempa yang dihasilkan memiliki variasi besaran magnitude gempa. Magnitude-magnitude yang ditemukan pada katalog tersebut adalah *magnitude body* (m_b), *magnitude surface* (m_s), dan *moment magnitude* (M_w). Konversi dilakukan ke *moment magnitude* (M_w). Konversi yang digunakan adalah korelasi skala magnitude yang diberikan oleh Irsyam dkk (2010) untuk wilayah Indonesia.

Setelah dikonversi data gempa harus diolah dan sunting sesuai dengan ketentuan yang dapat terbaca oleh ZMAP.

Pengolahan Data Gempa dengan ZMAP

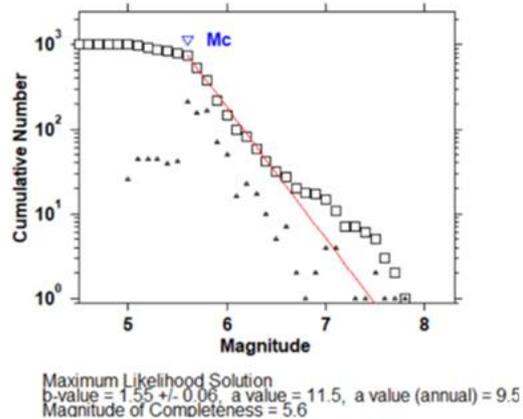
Data gempa yang sudah sesuai dengan susunan dan tipe data untuk ZMAP akan langsung menampilkan peta persebaran episenter gempa. Langkah pertama dalam pengolahan dengan ZMAP adalah dengan melakukan pemisahan data gempa utama dengan gempa awalan atau susulan. Peta hasil pemisahan dapat dilihat pada Gambar 2. Peta Persebaran Episenter Gempa Utama.



Gambar 2. Peta Persebaran Episenter Gempa Utama

Pemisahan data gempa menggunakan pemisahan menurut Uhrhammer (1986). Hasil pemisahan mendapati dari 1964 kejadian gempa sepanjang rentang waktu yang dipakai, ada 1105 kejadian gempa utama.

Setelah pemisahan dilakukan, selanjutnya penentuan parameter a (*a-value*) dan parameter b (*b-value*). Kedua parameter ini adalah parameter yang masing-masing menunjukkan keaktifan seismik suatu wilayah dan penyebaran relatif magnitude gempa. Parameter-parameter ini akan dimasukkan pada saat penentuan parameter resiko gempa untuk sumber-sumber gempa. Hasil penentuan kedua nilai tersebut

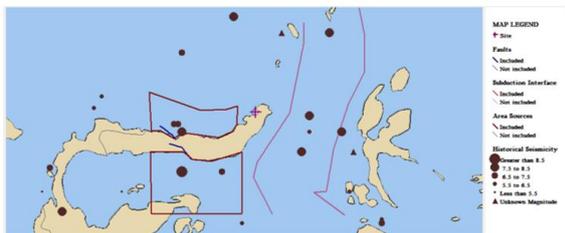


Gambar 3. Frequency-Magnitude Distribution

Analisis Resiko Gempa dengan EZ-FRISK

Langkah pertama yaitu pemodelan sumber gempa yang berpengaruh dan masuk pada radius 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* dan *Gorontalo South*.
3. Sumber gempa *background*. Sumber gempa yang digunakan adalah sumber gempa areal yang belum teridentifikasi dengan jelas sumber gempa yang terjadi namun memiliki sejarah kegempaan.



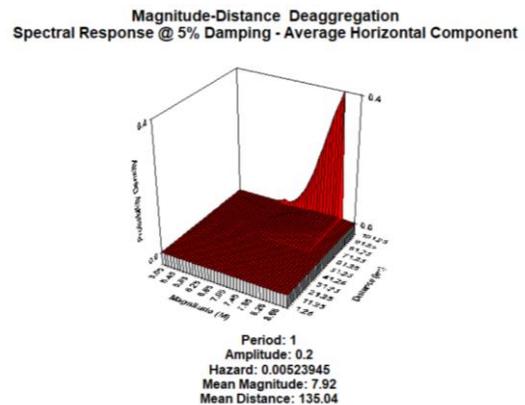
Gambar 4. Pemetaan sumber gempa yang diperhitungkan pada EZ-FRISK

Langkah kedua yaitu penentuan rumus atenuasi yang akan digunakan untuk perhitungan masing-masing sumber gempa. Penentuan rumus atenuasi didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Kalesaran (2017) dan Manarinsong (2013).

Berikut adalah atenuasi-atenuasi yang digunakan pada penelitian (Nugraha, dkk, 2014):

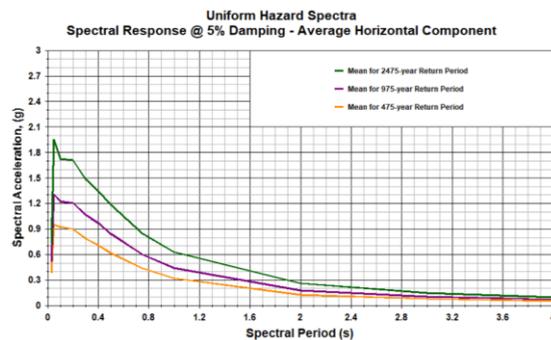
1. Sumber gempa *Shallow Crustal*, untuk model sumber gempa *fault* dan *shallow background*:
 - (1) Boore-Atkinson (2008) NGA.
 - (2) Campbell-Bozorgnia (2008) NGA.
 - (3) Chiou-Youngs (2008) NGA.
2. Sumber gempa subduksi *interface (megathrust)*, untuk model sumber gempa subduksi:
 - (1) Atkinson-Boore *BC rock and global source subduction* (1995).
 - (2) Zhao dkk, *with variable Vs30* (2006).
 - (3) Youngs *subduction* (2008).
3. Sumber gempa *Benioff (deep intraslab)*, untuk model sumber gempa *deep background*:
 - (1) Atkinson-Boore *Cascadia interface* (2003)
 - (2) Atkinson-Boore *worldwide intraslab* (2003)
 - (3) Youngs *subduction* (2008)

Hasil analisis yang pertama adalah analisis deagregasi lokasi penelitian. Analisis deagregasi adalah analisis yang menunjukkan magnitudo dan jarak yang paling dominan dan berpotensi memberikan dampak pada lokasi penelitian. Berikut adalah hasil analisis tersebut:



Gambar 5. Deagregasi untuk lokasi penelitian

Hasil analisis yang kedua adalah hasil analisis resiko gempa metode PSHA dalam bentuk grafik UHS. Grafik ini memberikan hasil probabilitas terlampauinya nilai percepatan spektral pada periode ulang gempa pada lokasi penelitian. Berikut adalah grafik tersebut:



Gambar 6. Grafik UHS

Dari grafik UHS, didapati beberapa parameter berikut:

Tabel 6. PGA hasil analisis

Periode Ulang (tahun)	500	1000	2500
PGA (g)	0.389	0.523	0.732

Parameter lainnya adalah parameter percepatan respon spektral periode pendek (0.2 detik) atau S_s yang didapat 1.709 dan parameter percepatan respon spektral periode 1 detik atau S_1 yang didapat 0.629. Kedua parameter ini akan digunakan pada penentuan respon spektra lokasi penelitian.

Desain Spektra Lokasi Penelitian

Desain spektra pada penelitian ini dibuat berdasarkan desain spektra lokasi pada SNI 1726:2012.

Berikut adalah hasil desain spektra berdasarkan langkah-langkah yang telah dijelaskan sebelumnya:

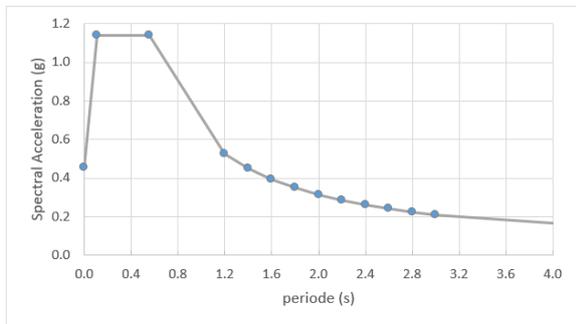
1. Klasifikasi Situs untuk lokasi penelitian didapatkan situs tanah sedang.
2. Parameter percepatan respon spektral didapat dari analisis resiko gempa yaitu $S_s = 1.709$ dan $S_1 = 0.629$.
3. Faktor amplifikasi sesuai dengan tabel koefisien situs didapat $F_a = 1.0$ dan $F_v = 1.5$.
4. Parameter percepatan respon spektral desain $S_{DS} = 1.139$ dan $S_{D1} = 0.629$.
5. Periode $T_0 = 0.110$ dan $T_s = 0.552$.

Berikut adalah tabel hasil percepatan spektra (g) vs periode (s)

Tabel 7. Percepatan spektra vs periode

T (s)	Sa (g)
0	0.456
0.1	1.139
0.6	1.139
1.2	0.524
1.4	0.449
1.6	0.393
1.8	0.349
2.0	0.315
2.2	0.286
2.4	0.262
2.6	0.242
2.8	0.225
3.0	0.210
5.0	0.126

Hasil respon spektra lokasi penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 7. Respon spektra lokasi penelitian

Perbandingan Hasil Penelitian

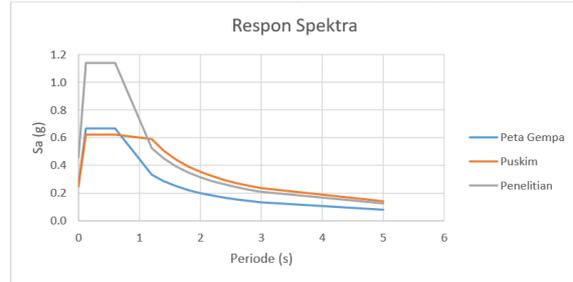
Berikut adalah perbandingan parameter-parameter hasil penelitian serta respon spektra

terhadap hasil yang diberikan oleh peta gempa 2017 dan PUSKIM.

Tabel 8. Perbandingan parameter PGA, S_s , S_1

Sumber	Parameter-parameter		
	PGA (g)	S_s	S_1
Peta Gempa 2017	0.4 ~ 0.5	0.9 ~ 1.0	0.3 ~ 0.4
PUSKIM	0.451	1.037	0.442
Penelitian	0.732	1.709	0.629

Tabel 9. Perbandingan Respon Spektra



Sumber: Hasil Penelitian

PENUTUP

Kesimpulan

1. Besar percepatan tanah maksimum atau *peak ground acceleration* untuk lokasi penelitian yaitu Pylon Jembatan Ir. Soekarno Manado didapat untuk periode ulang 2500 tahun adalah 0.732 g. Perbandingan dilakukan dengan dua sumber lainnya yaitu PUSKIM dan Peta Gempa 2017 menunjukkan perbedaan cukup besar. Kedua sumber tersebut memberikan nilai PGA yang sama yaitu untuk PUSKIM didapat 0.451 g dan untuk peta gempa 2017 berada pada kisaran 0.4 ~ 0.5 g.
2. Respon spektra desain yang dihasilkan dari penelitian ini juga memberikan grafik yang berbeda dengan hasil dari PUSKIM serta peta gempa 2017. Beban geser dasar gempa yang didapatkan dari penelitian ini lebih besar dari kedua sumber tersebut.

Saran

1. *Input* parameter kegempaan pada penelitian ini berdasarkan pada kondisi kegempaan dan publikasi penelitian saat berlangsungnya penelitian. Parameter tersebut dapat berubah seiring dengan dan kejadian gempa terbaru. Sehingga pemutakhiran parameter kegempaan perlu dilakukan secara terus-menerus.
2. Pada pemilihan rumus atenuasi, penelitian ini menggunakan rumus atenuasi yang tersedia. Namun rumusan atenuasi yang digunakan pada peta gempa 2017 menggunakan atenuasi

- yang berbeda dan sudah diperbaharui. Maka hasil penelitian akan lebih tepat dengan menggunakan atenuasi terbaru.
3. Hasil percepatan tanah maksimum lokasi penelitian tidak dapat mewakili lokasi disekitarnya karena percepatan tanah maksimum dipengaruhi oleh keadaan lapisan tanah. Sedangkan untuk lapisan tanah suatu lokasi dapat berbeda dengan lokasi lainnya walau hanya berdekatan.
 4. Respon spektra desain yang dihasilkan dapat digunakan pada perhitungan beban gempa yang bekerja pada pylon jembatan Ir. Soekarno Manado

DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Civil Engineers, (ASCE) 7th Edition, 2010. Chapter 20-22.
- Asrurifak, M., 2010. *Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa dengan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi dalam Analisis Probabilitas*. Disertasi Doktor Teknik Sipil ITB, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional, 2012. SNI 1726:2012, *Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*, Jakarta.
- Hunt, R. E., 2005. *Geotechnical Engineering Investigation Handbook*. CRC Press.
- Irsyam, M., Segara, I. W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Hilman, D., Kertapati, E., Meilno, I., Asrurifak, M., Ridwan, M., Suhardjono, 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*, (edisi 2), Kementrian Pekerjaan Umum, Bandung.
- Kalesaran, M. A., Manoppo, F. J., Manaroinsong, L. D., 2017. *Respon Spektra pada Fly Over Interchanges Manado Bypass*. Jurnal Sipil Statik, Vol.5 No.10, ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Manaroinsong, L. D. K., Manalip, H. and Balamba, S., 2013. *Analisis Respon Spektra Kota Manado*. Jurnal Ilmiah Media Engineering, Vol 3. No. 2. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Nugraha, J., Pasau, G., Sunardi, B. and Widiyantoro, S., 2014. *Analisis Hazard Gempa dan Isoleismal untuk Wilayah Jawa-Bali-NTB*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika, 15(1)
- Pawirodikromo, Widodo., 2001. *Analisis Dinamik Struktur: Analisis Dinamika Elastik Analisis Dinamik Inelastik + Dasar-dasar Semiologi Teknik*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Puskim., 2017. *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Seed, H. B., and Idriss, I. M., 1982. *Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes*, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 134 pp
- Thompson, G. R. R., Turk, J., 1997. *Introduction to Physical Geology*, Saunders Golden Sunburst Series.
- Wangsadinata, W., 2006. *Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2002*, Shortcourse HAKI 2006, Jakarta.