

RESPON SPEKTRA PADA FLY OVER INTERCHANGE MANADO BYPASS

Maria Astried Kalesaran

Fabian J. Manoppo, Lanny D.K. Manaroinsong

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: mariaastried@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng bumi, yaitu lempeng Indo-Cina, Indo-Australia dan lempeng Filipina. Daerah rawan gempa di Indonesia salah satunya adalah provinsi Sulawesi Utara. Oleh karena itu infrastruktur yang ada di provinsi Sulawesi Utara diharapkan dapat memikul beban gempa. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan analisa resiko gempa dengan memprediksikan percepatan maksimum batuan dasar dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun atau periode ulang 2500 tahun untuk pekerjaan Fly Over Interchange Manado Bypass.

Penelitian ini menggunakan software Zmap ver.6. dan Matlab sebagai interfacenya untuk pengolahan data gempa, serta metode Probability Seismic Hazard Analysis dengan bantuan software EZ-FRISK 7.52 untuk menganalisis probabilitas resiko gempa. Parameter a dan b -value didapat dengan menggunakan hukum perulangan Gutenberg-Richter dan metode maximum Likelihood, penggunaan fungsi atenuasi dan logic tree mengacu pada Tim Revisi Peta gempa Indonesia 2010.

Dari analisis probabilitas resiko gempa untuk Fly Over Interchange Manado Bypass diperoleh nilai percepatan maksimum di batuan dasar untuk periode ulang 475, 975 dan 2475 tahun yakni: 1,427 g; 1,659 g, dan 2,011 g. Hasil analisis respon spektra dengan degregasi pada $T=1,0$ detik berada pada jarak 152,90 km dengan Magnitudo 7,94 dan hazard 0,4832g. Hasil analisis respon spektra Fly Over Interchange Manado Bypass untuk percepatan gempa pada permukaan untuk tanah sedang dengan deagragasi = 0,4 g.

Kata Kunci : Gempa Bumi, PSHA, Percepatan Pergerakan Tanah Maksimum, ZMAP, EZ-FRISK 7.52

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gempa bumi adalah salah satu dari beberapa bencana yang tidak dapat dihindari dan tidak dapat diprediksi dengan tepat kapan dan dimana terjadinya. Indonesia merupakan negara dengan intensitas gempa yang tinggi karena terletak di sekitar daerah pertemuan 3 lempeng bumi, yaitu lempeng Indo-Cina, Indo-Australia dan lempeng Filipina.

Sesuai dengan penelitian yang telah ada, provinsi Sulawesi Utara termasuk ke dalam zona 5 atau daerah aktif yang rawan gempa di Indonesia. Fly Over Interchange Manado Bypass merupakan infrastruktur yang dibangun oleh pemerintah untuk masyarakat Sulawesi Utara. Agar dapat memprediksi dan mencegah resiko gempa yang akan terjadi di masa mendatang maka perlu diketahui besar percepatan gempa pada periode ulang tertentu. Seiring perkembangan zaman, telah

ada Peta Gempa Indonesia 2010 yang dibuat oleh Kementerian Pekerjaan Umum bekerja sama dengan Institut Teknologi Bandung yang dapat diakses secara mudah.

Peta Gempa Indonesia 2010 ini dapat memberikan informasi parameter-parameter gempa dalam satuan-satuan tertentu yang dapat digunakan dalam desain sarana dan prasarana tahan gempa. Dengan pertimbangan bahwa Peta Gempa Indonesia 2010 memberikan hasil yang terlalu umum maka dirasa penting membuat penelitian ini demi menghasilkan desain spektra Fly Over Interchange Manado yang lebih akurat menggunakan data tanah lokal dan data gempa terbaru.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana analisis resiko gempa Fly Over Interchange Manado Bypass dengan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*?

2. Bagaimana analisis respon spektra untuk Fly Over Interchange Manado Bypass?

Batasan Masalah

1. Data gempa yang akan dipakai yakni data gempa dari USGS mulai bulan Januari tahun 2009 sampai bulan Maret tahun 2017 yang dibatasi dengan kekuatan (M_w) ≥ 5.0 SR, kedalaman ≤ 200 km dan radius ≤ 300 km dari lokasi penelitian.
2. Beban gempa yang dihitung hanya beban akibat gempa tektonik (pergeseran lempeng).
3. Data gempa yang digunakan hanya gempa utama, tidak menggunakan gempa rintisan atau susulan
4. Parameter-parameter kegempaan yang digunakan (*slip rate*, *dip*), geometri dan magnitude maksimum) berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah ada.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan respon spektra pada Fly Over Interchange Manado Bypass dengan probabilitas terlampaui 2% pada 50 tahun atau periode ulang 2500 tahun menggunakan metode PSHA (Probability Seismic Hazard Analysis) dan dengan data tanah lokal dan data gempa terbaru.

Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bisa mendapatkan respon spektra Fly Over Interchange Manado Bypass dan memprediksi resiko gempa agar dapat dilakukan tindakan pencegahan kemungkinan resiko gempa yang bisa menyebabkan kerugian dengan mendesain Fly Over Interchange Manado Bypass yang tahan gempa.

LANDASAN TEORI

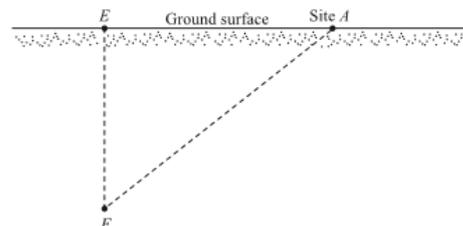
Pengertian

Gempa bumi adalah suatu peristiwa alam dimana terjadi getaran pada permukaan bumi akibat adanya pelepasan energi secara tiba-tiba dari pusat gempa di dalam bumi. Energi yang dilepaskan tersebut merambat melalui tanah dalam bentuk getaran. Gelombang getaran yang sampai ke permukaan bumi inilah yang disebut gempa bumi. Hal ini merupakan pergerakan tanah alami yang

disebabkan oleh fenomena yang beragam, termasuk proses tektonik, vulkanisme/gunung api, dan ledakan, serta runtuhannya. (Chen: 2003)

Istilah yang berkaitan dengan kedalaman gempa

1. Hiposenter atau focus, pusat gempa bumi yang berada dalam perut bumi (poin F pada gambar 1)
2. Episenter merupakan hiposenter yang diproyeksikan tegak lurus ke permukaan bumi (poin E pada gambar 1)
3. Kedalaman gempa, jarak vertikal dari hiposenter ke episenter. Kedalaman gempa yang pernah tercatat sejauh ini tidak pernah melewati 700 km karena getaran yang terjadi tertahan oleh litosfer bumi (lapisan kerak bumi paling luar)
4. Jarak Episenter, jarak horizontal antara episenter dan titik yang akan ditinjau (Garis EA pada gambar 1)
5. Jarak Hiposenter, jarak antara hiposenter dengan titik yang akan ditinjau (Garis FA pada gambar 1)



Gambar 1. Istilah yang berkaitan dengan kedalaman gempa

Istilah yang berkaitan dengan Kekuatan Gempa

Skala gempa adalah ukuran kekuatan gempa yang diukur secara kuantitatif dan kualitatif. Pengukuran skala secara kualitatif dilakukan dengan pengukuran intensitas gempa. Intensitas gempa merupakan tingkat kerusakan yang pada lokasi terjadinya. Angkanya ditentukan dengan menilai kerusakan yang dihasilkan, pengaruhnya pada benda-benda, bangunan, tanah, dan orang-orang. Skala ini disebut MMI (Modified Mercalli Intensity). Sedangkan pengukuran secara kuantitatif dilakukan menggunakan skala Richter yang umumnya dikenal ukuran magnitude gempa. Magnitude gempa adalah ukuran mutlak yang dikeluarkan oleh pusat gempa yang diukur menggunakan seismograf.

Dampak Gempa Bumi

Menurut Moehle dan Oberhard dan Chen (2000), kerusakan gempa bisa memiliki akibat yang besar. Kerusakan ini bisa diklasifikasikan menjadi dua kelas, yaitu:

a. Dampak Primer

Kerusakan ini disebabkan oleh pergerakan tanah atau deformasi langsung tanah. Contohnya tanah yang bergoyang dan terjadinya retak pada permukaan tanah, longsor, celah pada jalan dan trotoar, serta menjadi penyebab robohnya jembatan.

b. Dampak Sekunder

Kerusakan ini terjadi sebagai akibat tidak langsung dari pergerakan tanah diantaranya kebakaran, banjir, tsunami, dll.

Identifikasi Sumber Gempa

Identifikasi sumber gempa dilakukan untuk menghasilkan pergerakan tanah tertentu pada daerah penelitian. Identifikasi sumber gempa diperlukan sebagai hubungan antara data kejadian gempa dengan model perhitungan yang akan digunakan dalam menentukan tingkat resiko gempa.

Zona sumber gempa didefinisikan sebagai area yang mempunyai derajat gempa yang sama, dimana di setiap titik dalam zona tersebut mempunyai kemungkinan yang sama akan terjadinya gempa dimasa mendatang. Model sumber gempa yang diidentifikasi akan memberikan gambaran distribusi episenter kejadian gempa historik, frekuensi kejadian gempa dan pergeseran relatif lempeng (*slip rate*) dari suatu sumber gempa.

Sumber gempa dapat diidentifikasi berdasarkan keterangan geologi, tektonik, sejarah dan bukti instrumental yang memberikan informasi tentang notasi geometri, lokasi gempa, skala intensitas gempa, magnitude gempa, hingga momen magnitude masing-masing gempa yang membedakan sumber gempa. (Kramer, 1996).

Zona sumber gempa dibagi menjadi beberapa jenis sesuai lokasinya, berikut zona-zona tersebut.

Sumber Gempa Sesar

Sumber gempa sesar (*fault*) yaitu zona kejadian gempa yang terjadi pada patahan-patahan yang sudah terdefinisi dengan jelas, termasuk mekanisme, slip rate, dip, panjang patahan dan lokasinya. Parameter yang diperlukan untuk analisis probabilitas dengan

model sumber gempa sesar adalah *fault trace*, mekanisme pergerakan, *slip-rate*, *dip*, panjang dan lebar *fault*.

Besar dan arah pergeseran permukaan (*slip rate*) bisa didapat melalui metoda survey GPS dengan pengamatan secara teliti di posisi titik-titik dalam suatu jaring secara kontinyu ataupun berkala. Data-data yang diperoleh dari hasil pengukuran GPS pada titik-titik yang telah dipilih ini dapat dipelajari pola dan kecepatan perubahan kordinat dari titik-titik tersebut dari survey yang satu ke survey lainnya sehingga dari hasil ini dapat diketahui karakteristik deformasi dan geodinamika sesar yang dikaji berdasarkan hasil hitungan dan model matematis yang berupa analisis regangan tektonik

Sumber Gempa Subduksi

Sumber gempa subduksi, yaitu zona kejadian gempa yang terjadi didekat batas pertemuan antara lempeng samudera yang menunjat masuk ke bawah lempeng benua. Model sumber gempa subduksi menggunakan katalog gempa utama yang telah dihilangkan gempa ikutannya pada daerah sesar dan gempa yang belum diketahui secara jelas sumbernya (sumber gempa background).

Sumber gempa subduksi dibatasi hingga kedalaman 50 km. Gempa dengan kedalaman lebih dari 50 km akan diwakili oleh sumber gempa deep background.

Sumber Gempa Background

Sumber Gempa Background yaitu sumber gempa yang belum diketahui secara jelas, tetapi pada tempat tersebut didapati adanya beberapa kejadian gempa. Model sumber 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* sendiri dibagi dalam empat interval yaitu kedalaman 50-100 km, 100-150 km, 150-200 km dan 200-300 km.

Model sumber gempa background mempergunakan katalog gempa utama yang telah dihilangkan gempa-gempa akibat subduksi dan gempa-gempa pada daerah sesar.

Parameter Gempa Bumi

Parameter gempa merupakan ukuran yang digunakan untuk menggambarkan

karakteristik aktivitas kegempaan dalam suatu wilayah. Parameter yang dapat menggambarkan aktivitas kegempaan tersebut diantaranya intensitas gempa bumi, kekuatan/magnitudo gempa, parameter *a* (konstanta karakteristik daerah gempa yang tergantung pada jangka waktu pengamatan dan tingkat kegempaan daerah sumbernya.), parameter *b* (konstanta karakteristik daerah gempa yang menyatakan penyebaran relatif dari magnitudo gempa pada sembarang sumber titik pada daerah gempa.), *dip*, *slip rate*, faktor amplifikasi, dan percepatan pergerakan tanah maksimum (PGA).

Percepatan Pergerakan Tanah Maksimum (PGA)

Data PGA akibat getaran gempa bumi pada suatu lokasi menjadi penting untuk menggambarkan tingkat resiko gempa bumi di suatu lokasi tertentu. Semakin besar nilai PGA yang pernah terjadi disuatu tempat, semakin besar resiko gempa bumi yang mungkin terjadi.

Berikut rumus empiris yang dapat digunakan untuk menghitung PGA:

a. Rumus Donovan

$$a = \frac{1080 \times \text{Exp}(0,5 Ms)}{(R + 25)^{1,32}}$$

b. Rumus Mc.Guirre

$$a = \frac{472,3 \times 10^{0,278Ms}}{(R + 25)^{1,301}}$$

c. Rumus Esteva

$$a = \frac{5600 \times \text{Exp}(0,5Ms)}{(R + 40)^2}$$

d. Rumus Oliviera

$$a = \frac{1230 \times \text{Exp}(0,8Ms)}{(R + 25)^2}$$

e. Rumus M. V. Mickey

$$a = \frac{0,304 \times 10^{0,7Mb}}{R^{1,4}}$$

dimana: *a* = percepatan tanah maksimum

R = jarak hiposenter

Ms = Magnitude surface

Mb = Magnitude body

Magnitudo Maksimum dan Slip Rate

Magnitudo maksimum merupakan gambaran magnitudo gempa yang terbesar yang pernah terjadi diwilayah tersebut, berdasarkan penelitian para ahli atau berdasarkan perhitungan geofisika serta berdasarkan kondisi tektonik dan pergeseran batuan suatu wilayah. Sedangkan *slip rate*

menggambarkan kecepatan pergerakan suatu zona sumber gempa relatif terhadap zona lainnya. Besar dan arah *slip rate* salah satunya bisa didapatkan dengan menggunakan metode survei GPS.

Metode Analisis Resiko Gempa

Dalam menganalisis resiko gempa terdapat 2 metode yang dapat digunakan yaitu:

1. Analisis resiko gempa secara deterministic, metode yang mengambil satu kejadian gempa maksimum sebagai dasar analisis
2. Analisis resiko gempa secara probabilistik, pada metode ini semua kejadian gempa yang terekam pada daerah yang dianggap dapat mempengaruhi lokasi tinjauan digunakan. Metode PSHA ini dikembangkan oleh Cornell (1968 dan 1971), kemudian dilanjutkan oleh Merz dan Cornell (1973). Model dan konsep dari analisis ini tetap dipakai sampai sekarang, namun model dari analisis dan teknik perhitungannya yang terus dikembangkan oleh McGuire R. K. (1976).

Kelebihan metode PSHA ini yaitu memungkinkan memasukan pengaruh faktor ketidakpastian seperti ukuran, lokasi maupun frekuensi gempa. Faktor-faktor ketidakpastian ini diidentifikasi dan diperkirakan kemudian digabungkan dengan metode pendekatan yang rasional dalam PSHA untuk mendapat gambaran yang lebih lengkap tentang kejadian gempa. Kelebihan yang lain yaitu dapat mengintegrasikan resiko suatu lokasi terhadap berbagai sumber gempa.

METODOLOGI PENELITIAN

Pengumpulan data gempa dan data tanah

Data gempa diambil dari Nasional Earthquake Information Center U.S. Geological Survey (NEICUSGS) mulai tahun bulan Januari tahun 2009 sampai bulan April tahun 2017 yang dibatasi dengan magnitudo (*Mw*) ≥ 5.0 SR, kedalaman ≤ 200 km dan radius ≤ 300 km dari Fly Over Interchange Manado Bypass.

Konversi Satuan Magnitudo Gempa

Kejadian gempa yang terjadi direkam menggunakan instrument yang mempunyai

perbedaan metode dalam penentuan ukuran gempa. Dalam katalog gempa terdapat macam-macam ukuran gempa seperti *surface wave magnitude (Ms)*, *Richter local magnitude (ML)*, *body wave magnitude (mb)*, dan juga *moment magnitude (Mw)* dalam menentukan ukuran gempa. Karena perbedaan satuan magnitudo yang dipakai tersebut maka data gempa perlu dikonversi menjadi satu skala magnitudo yang sama. Dalam penelitian ini skala magnitudo yang akan digunakan adalah magnitudo momen (*Mw*). Berikut korelasi antara skala magnitudo untuk wilayah Indonesia (Asurifak,dkk, 2010) :

$$Mw = 0.143Ms^2 - 1.051Ms + 7.285$$

$$Mw = 0.114mb^2 - 0.556mb + 5.560$$

$$Mw = 0.787ME + 1.537$$

$$mb = 0.125ML^2 - 0.389x + 3.513$$

$$ML = 0.717MD + 1.003$$

Pengolahan Data Gempa menggunakan Zmap dengan Interface Matlab

Kejadian gempa yang dihitung dalam penelitian ini hanya gempa utama. Untuk memisahkan gempa utama dengan gempa sebelum dan sesudah gempa utama maka digunakan program bantu Zmap dalam mempermudah pengerjaan. Analisis Kelengkapan Data Gempa juga dikerjakan dengan bantuan software Zmap ini untuk mendapatkan kelengkapan data pada analisis probabilistik.

Identifikasi Sumber Gempa

Dalam memodelkan zona-zona sumber gempa, Annaka dan Ohki (1992) telah memperkenalkan tiga model zona sumber yaitu:

1. Model yang disimplifikasi yaitu daerah yang akan di analisis dikotak-kotakkan menjadi beberapa zona sumber gempa dengan interval tertentu.
2. Model katalog gempa yaitu gempa bumi diasumsikan akan terjadi lagi tepat pada lokasi yang sama dengan data katalog.
3. Model tektonik yaitu zona sumber gempa ditentukan berdasarkan kombinasi antara data geologi dan sejarah kegempaan

Penentuan Parameter Resiko Gempa

Penentuan Parameter-parameter input yang digunakan untuk identifikasi dan pemodelan terhadap sumber gempa dan

mekanismenya meliputi lokasi, dimensi, jenis mekanisme sumber gempa dan tingkat aktifitasnya berdasarkan data gempa dari katalog dan penelitian-penelitian para ahli sebelumnya.

Penentuan Penggunaan Rumus Atenuasi

Fungsi atenuasi merupakan prediksi hubungan empiris untuk parameter gempa yang melemah sejalan dengan bertambahnya jarak, seperti percepatan puncak, yang mendeskripsikan parameter gerakan tanah. Umumnya fungsi atenuasi tergantung pada faktor-faktor berikut:

1. Tipe mekanisme sumber gempa daerah yang ditinjau
2. Jarak episenter
3. Kondisi lapisan kulit bumi yang dilintasi oleh gelombang gempa
4. Kondisi tanah lokal di sekitar lokasi

Untuk Indonesia sendiri belum terdapat rumusan pasti tentang persamaan atenuasi, oleh karena itu persamaan atenuasi yang akan digunakan mengadopsi persamaan atenuasi yang telah digunakan oleh peneliti-peneliti sebelumnya dari luar Indonesia.

Tabel 1. Rumus-rumus atenuasi yang sudah sering digunakan untuk berbagai jenis gempa

Model Sumber Gempa	Rumus Atenuasi
Fault dan Shallow Background	1. Boore-Atkinson NGA (Boore dan Atkinson, 2008) 2. Campbell-Bozorgnia NGA (Campbell dan Bozorgnia, 2008) 3. Chiou-Youngs NGA (Chiou dan Youngs, 2008)
Deep Background	1. Atkinson-Boore intraslab (Atkinson dan Boore, 2003) 2. Geomatrix slab seismicity rock (Youngs dkk, 1997) 3. Atkinson-Boore intraslab seismicity world data BC-rock condition (Atkinson dan Boore, 1995)
Subduction	1. Geomatrix subduction (Youngs dkk, 1997) 2. Atkinson-Boore BC rock & global source (Atkinson dan Boore, 1995) 3. Zhao et al., with variable V_{33} (Zhao dkk, 2006)

Melakukan deagregasi pada periode T=1,0s

Dalam menghubungkan hasil analisis resiko gempa dengan pencatatan gempa tertentu diperlukan analisis deagregasi. Analisis deagregasi merupakan analisis penentuan magnitudo (M) dan jarak gempa (R) yang paling dominan.

Analisis Spectral Matching

Dalam analisis ini diperlukan data digitasi riwayat waktu yang dibuat dengan menggunakan bantuan program EZ-FRISK 7.52

Analisis Resiko Gempa dan Respon Spektra pada Fly Over Interchange Manado Bypass

Pada analisis ini dipilih data tanah yang sesuai dengan kondisi di lokasi penelitian kemudian dimasukkan hasil *spectral matching* pada tahap sebelumnya untuk mendapatkan Respon Spektra pada Fly Over Interchange Manado Bypass. digunakan analisis resiko gempa dengan Metode Probabilitas (*Probability Seismic Hazard Analysis*) dengan bantuan *software* EZ-FRISK.

Dalam penelitian ini penentuan tipe tanah menggunakan persamaan 1. karena data yang tersedia adalah data SPT.

$$\dot{N} = \frac{t_i}{t_i/N} \dots \dots \dots (1)$$

Berdasarkan data tanah dan persamaan yang telah digunakan maka sesuai dengan tabel 2. tanah pada lokasi penelitian diklasifikasikan sebagai tanah sedang.

HASIL DAN ANALISIS

Klasifikasi Data Tanah

Data tanah diklasifikasikan berdasarkan *shear wave velocity* (kecepatan rambat gelombang geser), *standard penetration resistance* (Uji Penetrasi Standard SPT) dan *undrained shear strength* (kuat geser *undrained*).

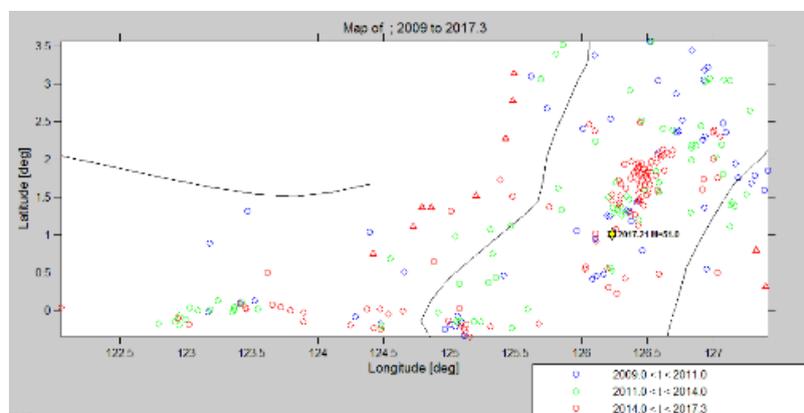
Tabel 2. Klasifikasi site (SNI-2002, UBC-97, IBC-2009, ASCE7-10)

Klasifikasi Site	\bar{V}_s (m/dt)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $S_u < 25$ kPa		
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon spesifik (<i>Site-Specific Response Analysis</i>)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan > 3m) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7.5m$ dengan $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35m$		

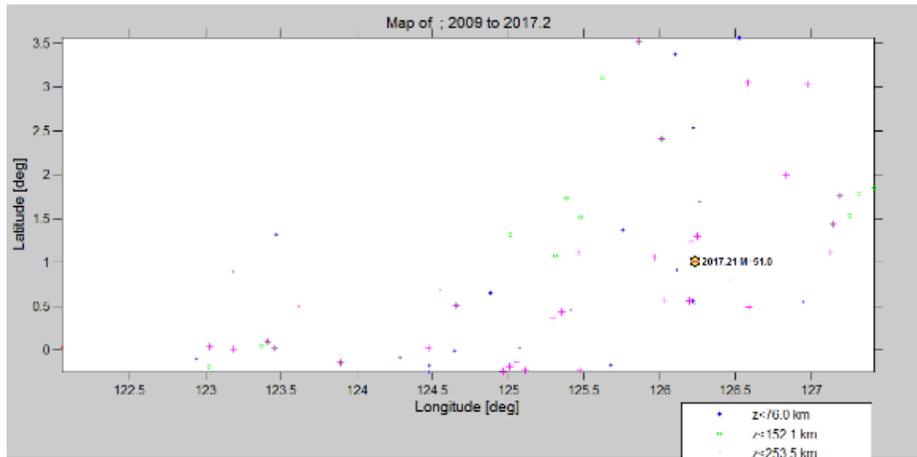
Keterangan: N/A = tidak dapat dipakai

Tabel 3. hasil tes SPT

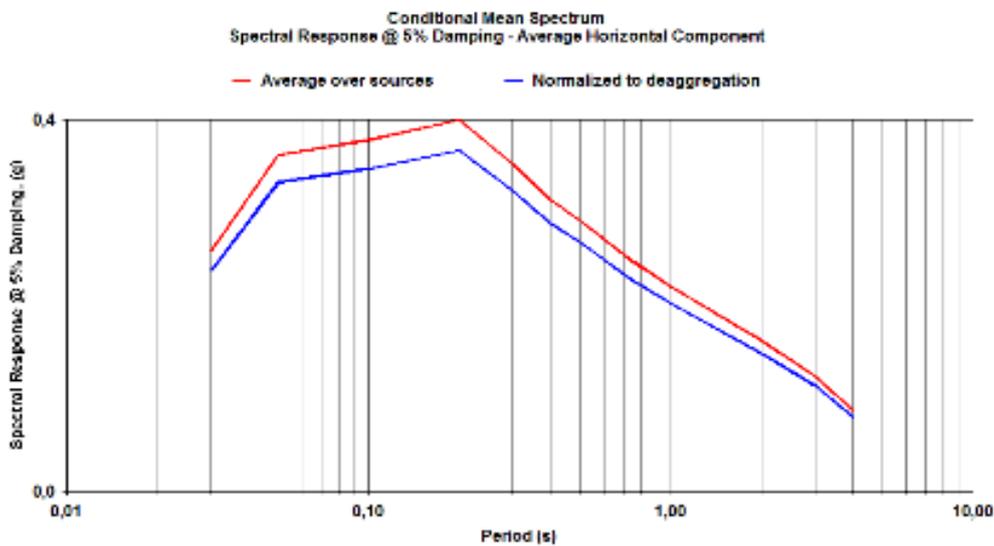
Kedalaman (m)	Deskripsi	SPT			N _{SPT}	$\bar{N} = \text{tebal}/N_{SPT}$	ΣN	$\bar{N} = 15/\Sigma N$
		N1/15	N2/15	N3/15				
0,00	SC	0	0	0	0	0	0,3179	47,1846
1,50	SC	7	14	17	31,00	0,0483		
3,00	SC	8	16	23	39,00	0,0381		
4,50	SC	7	20	34	54,00	0,0277		
6,00	SC	6	22	42	64,00	0,023		
7,50	SC	6	9	35	44,00	0,0340		
9,00	SC	4	8	31	39,00	0,0384		
10,50	SC	9	22	35	57,00	0,0362		
12,00	SC	10	23	36	59,00	0,0254		
13,50	SC	11	24	35	59,00	0,0254		
15,00	SC	10	23	47	70,00	0,0214		



Gambar 2. Gempa yang terjadi sepanjang tahun 2009 hingga Maret Tahun 2017



Gambar 3. Seismicity Map setelah declustering



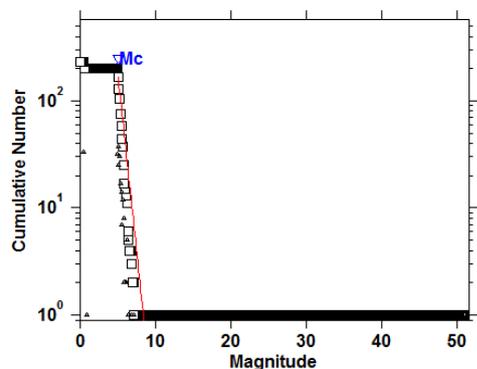
Gambar 4. Respon Spektra Fly Over Interchange Manado Bypass Hasil Deagregasi Pada $T = 1,0$

Pengolahan Data Gempa

Data kejadian gempa yang diambil dari Nasional Earthquake Information Center U.S. Geological Survey (NEICUSGS) dengan magnitude (M_w) ≥ 5.0 SR, kedalaman ≤ 200 km dan radius ≤ 300 km dari Fly Over Interchange Manado Bypass setelah dikonversi dapat dilihat pada gambar 2. dan lampiran.

Hasil Analisis Kelengkapan Data Gempa

Berikut hasil analisis kelengkapan data gempa menggunakan aplikasi Zmap dengan *Maximum Likelihood Solution*



Maximum Likelihood Solution
 b-value = 0.665 +/- 0.3, a value = 5.61, a value (annual) = 4.69
 Magnitude of Completeness = 5.1

Gambar 5. Kelengkapan Magnitudo dengan *Maximum Likelihood Solution*

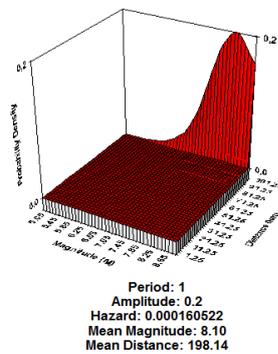
Analisis Deagregasi dan Respon Spektra

Hasil analisis deagregasi untuk Fly Over Interchange Manado Bypass yang diperoleh pada $T=1,0$ detik berada pada jarak 152,90 km dengan Magnitudo 7,94 dan hazard 0,4832 seperti pada gambar 4. independen dalam penelitian ini digunakan model pemisahan Gardner & Knopoff (1974) dengan bantuan software Zmap dan Matlab sebagai interfacenya.

Analisis Resiko Gempa dengan Software EZ-FRISK

Berdasarkan parameter gempa, sumber gempa yang mempengaruhi Fly Over Interchange Manado Bypass, magnitudo gempa yang diambil dari data gempa dari NEUIC-USGS yang telah dikonversi, dan rumus atenuasi Atkinson-Boore (2003), Boore-Atkinson (2008) NGA, Youngs (1997), Zhao et al (2006) USGS 2008, maka diperoleh percepatan puncak di batuan dasar atau Peak Ground Acceleration (PGA) dari grafik *Uniform Hazard Spectra* (UHS) untuk periode ulang 475, 1475 dan 2475 tahun. Hasil tersebut dapat dilihat pada pada Gambar 5.

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



Gambar 5. Magnitude-Distance Deaggregation

PENUTUP

Kesimpulan

- a. Hasil analisis resiko gempa dengan metode probabilistik dengan menggunakan program EZ-FRISK 7.52 untuk Fly Over Interchange Manado Bypass diperoleh PGA (Peak Ground Acceleration) untuk periode ulang 475, 975, dan 2475 tahun adalah 1,427 g; 1,659 g, dan 2,011 g. Nilai ini berbeda dengan nilai PGA dari Tim Peta Gempa 2010 dimana pada Peta Gempa Indonesia hanya terdapat nilai PGA periode ulang 475 tahun yang dibulatkan menjadi 500 tahun sebesar 0,25 – 0,3 g; dan untuk periode ulang 2475 yang dibulatkan menjadi 2500 tahun sebesar 0,4 – 0,5 g.
- a. Hasil analisis Respon Spektra untuk Fly Over Interchange Manado Bypass tanah sedang dengan deagregasi pada $T=1,0$ s jarak 152,90 km dengan magnitudo maksimum 7,94 dalam penelitian ini sama dengan nilai Respon Spektra dari Tim Peta Gempa 2010 yaitu sebesar 0,4g.

Saran

Data dan analisa dalam Penelitian ini sebatas perhitungan dan analisa awal. Oleh karena itu

akurat dalam perolehan percepatan gempa maksimum maka disarankan :

1. Dilakukannya update terhadap kejadian gempa supaya jika terdapat kejadian gempa yang cukup besar dikemudian hari dapat dihitung dalam analisa.
2. Dilakukan pengembangan lagi mengenai perhitungan yang lebih rinci ke dalam software ini.
3. Hasil perhitungan akan lebih akurat apabila nanti menggunakan rumus atenuasi NGA (next generation attenuation) yang lebih sesuai dengan Indonesia sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

Asurifak, M., 2010. Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi dalam Analisa Probabilitas. Disertasi Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Institut Teknologi Bandung.

- Bowles, J. E., 1977. *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill, Inc., New York
- Chasanah Uswatun, Madlazim, Tjipto Prastowo. 2013. Analisis Tingkat Seismitas dan Periode Ulang Gempa Bumi di Sumatera Barat pada periode 1961-2010. *Jurnal Fisika Volume 02 nomor 02 tahun 2013*, 0-5.
- Kramer, S. L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*, Upper Saddle River, New Jersey 07458: Prentice Hall, Inc
- Mallisa, H. G., Turu'allo, Z. Malissa. Mikrozonasi Seismic dan Analisis Respon Site Specific Kota Palu. *Fakultas Teknik Universitas Tadulako Palu*.
- Manaroinsong, Lanny Dian K., 2013. Analisis Respon Spektra Kota Manado. *Jurnal Ilmiah MEDIA ENGINEERING Vol. 3, No. 2, Juli 2013 ISSN 2087-9334 (84-93)*
- Muslim Fadhilah, 2012. *Kajian Pengaruh Gempa Terhadap Perilaku Jembatan Kabel Ssuramadu Selama Tahap Konstruksi Dengan Analisis Riwayat Waktu*. Skripsi Program Studi Teknik Sipil Universitas Indonesia.
- Nugraha, J., Pasau, G., Sunardi, B., Widiyantoro, S., 2013. Analisis Hazard Gempa dan Isoleismal Untuk Wilayah Jawa – Bali – NTB
- Pasau G. dan A. Tanauma. 2011. *Pemodelan Sumber Gempa di Wilayah Sulawesi Utara Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi*. Penelitian IPTEK dan Seni dengan Biaya DIPA Unsrat Tahun 2011.
- Pasau Guntur, 2011. *Respon Spektra Kota Gempa Bumi di Batuan Dasar Kota Bitung Sulawesi Utara pada Periode Ulang 2500 Tahun*. Skripsi Program Studi Fisika Fakultas MIPA Universitas Sam Ratulangi Manado.
- SNI 2833:2008. *Standar Perencanaan Tahan Gempa Untuk Jembatan*, Departemen Pekerjaan Umum.

Halaman ini sengaja
dikosongkan