

PERBANDINGAN ANALISIS GEMPA STATIK EKIVALEN KELAS SITUS TANAH KHUSUS DENGAN KELAS SITUS TANAH LUNAK BERDASARKAN SNI 1726-2019

Halimatusadiyah^{1*}, Susy Srihandayani², Welly Desriyati³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Dumai
Jl. Utama Karya Bukit Batrem II
Email: h5tussadiyah08@mail.com

Abstract

One of the factors that influence planning of earthquake-resistant building structures is condition of the soil layer and analysis structure. This research discusses about the analysis of static equivalent earthquake to site class F (SF) compare with site class E (SE) based on SNI 1726-2019. For site class F (SF) using the design response spectrum with the design response spectral acceleration for each period not to take more than 80% of the spectral acceleration value specified for the site class E, and then analyzed with using a dynamic response spectrum analysis method at the location of site class F or identified as site class F with the fulfillment requirements as site class F, has the potential for liquefaction. While for site class E (SE) uses the parameters be appointed by SNI 1726-2019. This study aims to compare the increase in earthquake load from static equivalent that occurs in site class F and site class E. The results of the static equivalent analysis show that the value of seismic base shear for site class E (SE) is 14687,085 kN, and site class F (SF) is 16155.793 kN has increased by 10.3%, this affects the calculation of the equivalent lateral force on each floor of the building structure.

Key Words : Static equivalent, site class F, site class E, SNI 1726-2019.

1. PENDAHULUAN

Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statik, pada prinsipnya adalah menggantikan gaya-gaya horisontal yang bekerja pada struktur bangunan akibat pengaruh pergerakan tanah yang diakibatkan gempa, dengan gaya-gaya statik yang ekuivalen. Pada struktur gedung beraturan akan berperilaku sebagai struktur 2D, respons dinamik ragam fundamentalnya adalah sangat dominan, sehingga respons dinamik ragam-ragam lainnya dianggap dapat diabaikan. Kemudian, berhubung struktur gedung tidak terlalu tinggi yaitu kurang dari 10 tingkat atau 40 m, maka bentuk ragam fundamental dapat dianggap mengikuti garis lurus. Dengan dua anggapan penyederhanaan ini, respons dinamik dari struktur bangunan

gedung beraturan dapat ditampilkan seolah-olah sebagai akibat dari suatu beban gempa statik ekuivalen. Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statik, pada prinsipnya adalah menggantikan beban-beban horisontal yang bekerja pada struktur bangunan akibat pengaruh dinamik pergerakan tanah yang diakibatkan gempa, dengan beban-beban statik yang ekuivalen.

Tanah khusus merupakan tanah yang memiliki profil lapisan tanah yang rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, maka struktur yang akan dibangun diatas tanah khusus dapat mengurangi resiko kerusakan struktur bangunan akibat gempa bumi, dengan membandingkan hasil analisis gempa statik

ekivalen tanah khusus dan tanah lunak berdasarkan SNI 1726-2019. Tanah khusus identik dengan terjadinya likuifaksi akibat gempa bumi, sebagaimana yang telah diketahui bahwa berdasarkan data yang dihimpun dari BMKG tercatat kejadian gempa di Indonesia yang pernah terjadi likuifaksi akibat gempa bumi, yaitu Gempa Sulawesi Tengah berkekuatan 7,4 M_W pada tanggal 28 September 2018, dan Gempa Lombok berkekuatan 7,0 M_W pada tanggal 5 Agustus 2018. Hal ini yang melatarbelakangi penulis untuk meneliti perbandingan analisis gempa statik ekivalen kelas situs tanah khusus dengan kelas situs tanah lunak berdasarkan SNI 1726-2019.

Analisis Gempa Statik

Analisis statik terdiri dari metode analisis statik ekivalen dan metode analisis statik pushover. Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statik, pada prinsipnya adalah menggantikan gaya-gaya horisontal yang bekerja pada struktur bangunan akibat pengaruh pergerakan tanah yang diakibatkan gempa, dengan gaya-gaya statik yang ekivalen. Pada struktur gedung beraturan akan berperilaku sebagai struktur 2D, respons dinamik ragam fundamentalnya adalah sangat dominan, sehingga respons dinamik ragam-ragam lainnya dianggap dapat diabaikan. Kemudian, berhubung struktur gedung tidak terlalu tinggi yaitu kurang dari 10 tingkat atau 40 m, maka bentuk ragam fundamental dapat dianggap mengikuti garis lurus.

Dengan dua anggapan penyederhanaan ini, respons dinamik dari struktur bangunan gedung beraturan dapat ditampilkan seolah-olah sebagai akibat dari suatu beban gempa statik ekivalen. Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statik, pada prinsipnya adalah menggantikan beban-beban horisontal yang bekerja pada struktur bangunan akibat pengaruh dinamik pergerakan tanah yang

diakibatkan gempa, dengan beban-beban statik yang ekivalen.

Kelas Situs

Klasifikasi suatu situs digunakan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam rumusan 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, seperti pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	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		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah liquifaksi, 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 $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Penentuan Periode

Periode fundamental struktur dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung dari Tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Periode fundamental pendekatan dalam detik harus ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$T_a = C_t \cdot (h_n)^x \quad (1)$$

Dimana :

- h_n = ketinggian struktur (m)
- C_t dan x = ditentukan dari Tabel 3

Tabel 3. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik :		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9

Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

2. METODOLOGI

Metode pendekatan penelitian yang digunakan bersifat kuantitatif yaitu dengan mengumpulkan data sekunder berupa studi pustaka dan literatur ilmiah yang berkaitan dengan analisis dan menggunakan data geometri struktur, dan denah struktur. Setelah itu dilakukan pemodelan 3D dan analisis struktur menggunakan bantuan software analisis struktur dengan menganalisis gempa statis ekuivalen dilokasi situs tanah khusus atau teridentifikasi sebagai tanah berpotensi likuifaksi karena salah satu syarat terpenuhinya sebagai tanah khusus.

Karakteristik tanah khusus yang digunakan yaitu situs lokasi yang memiliki riwayat yang pernah terjadi likuifaksi akibat gempa bumi, seperti Sulawesi Tengah tepatnya di Kota Palu. khusus dikarenakan wilayah tersebut memiliki riwayat pernah terjadi likuifaksi. Adapun data geometri dan gambaran struktur secara umum yaitu sebagai berikut :

Total Panjang	= 75 m @ 5 m
Total Lebar	= 14 m @ 7 m dan 3 m @ 1,5 m
Tinggi total bangunan	= 41,00 m
Tinggi lantai tipikal (2-10)	= 4,00 m
Tinggi lantai dasar	= 5,00 m
Luas bangunan per lantai	= 1.520 m ²
Material	= 24,90 MPa

Desain geometrik pada penelitian ini menggunakan gedung bertingkat dengan elemen struktur yang terbuat dari beton. Bangunan ini direncanakan dengan 10 tingkat dan dapat difungsikan sebagaimana perencanaan bangunan rumah susun. Adapun data pembebanan pada perhitungan beban seismik efektif yang digunakan dalam

penelitian dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini :

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Beban Seismik Efektif

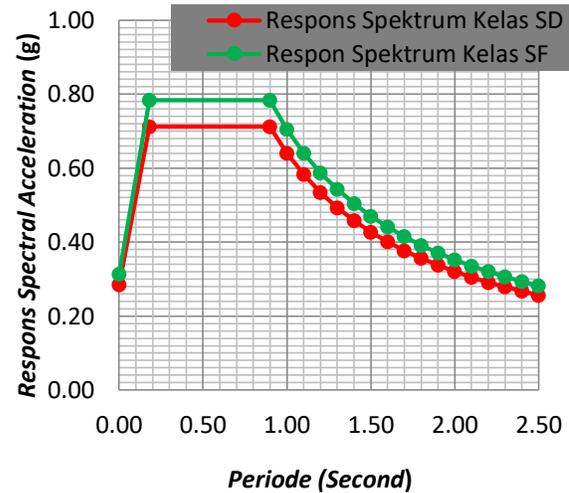
Lantai	Beban Mati (kN)	Beban Hidup 30% (kN)	Beban Total (1D+0,3L) (kN)
Atap	11698,51	438,24	12136,75
9	15539,49	1280,24	16819,73
8	15539,49	1280,24	16819,73
7	15539,49	1280,24	16819,73
6	15539,49	1280,24	16819,73
5	15539,49	1280,24	16819,73
4	15539,49	1280,24	16819,73
3	15539,49	1280,24	16819,73
2	15539,49	1280,24	16819,73
1	16229,86	1280,24	18200,47
Berat Seismik Efektif			164895,07

Data Spektral Percepatan dari website Desain Spektra Indonesia

Spektrum respons desain di Tanah Khusus (SF) menggunakan percepatan spektral-respons desain untuk setiap periode tidak boleh diambil lebih kecil dari 80% nilai percepatan spektral yang ditentukan untuk kelas situs Tanah Lunak (SE), sedangkan untuk parameter S_{DS} harus diambil sebesar 90% dari percepatan spektral maksimum (S_a), yang diperoleh dari spektra spesifik-situs, pada setiap periode dalam rentang 0,2 sampai 5 detik secara inklusif. Parameter S_{D1} harus diambil dari nilai terbesar dari perkalian TS_a , dalam rentang periode 1 sampai 2 detik dengan $Vs30 > 360$ m/s, dan untuk periode dari 1 sampai 5 detik untuk situs dengan $Vs30 \leq 360$ m/s. Parameter S_{MS} dan S_{M1} diambil 1,5 kali dari masing-masing S_{DS} dan S_{D1} . Nilai yang telah didapat, tidak boleh kurang 80% nilai yang ditentukan untuk S_{MS} dan S_{M1} , dan S_{DS} dan S_{D1} . Sedangkan untuk spektrum respons desain di Tanah Lunak (SE) telah ditetapkan dalam SNI 1726-2019.

Lokasi Bangunan : Kota Palu

Provinsi : Sulawesi Tengah
 Koordinat Lokasi : Longitude : 119,5149
 : Latitude : -0,5341



Gambar 1. Spektrum respons desain tanah khusus (SF) dan tanah lunak (SE)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis beban statik ekuivalen adalah suatu cara analisis struktur dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban statik horizontal yang diperoleh dengan hanya memperhitungkan respon ragam getar yang pertama, biasanya distribusi gaya geser tingkat ragam getar yang pertama ini disederhanakan sebagai segitiga terbalik. Adapun hasil analisis gaya geser dasar seismik (Base Shear) dari struktur yang akan dibangun diatas tanah lunak (SE) dan tanah khusus (SF) dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini :

Tabel 5. Gaya Geser Dasar Seismik (Base Shear)

Tipe Tanah	Gaya Geser Dasar Seismik (kN)	Perbedaan (%)
Tanah Lunak (SE)	14687,085	0,00
Tanah Khusus (SF)	16155,793	10,3

Berdasarkan Tabel 5 hasil analisis gempa statik ekuivalen diketahui nilai besaran base shear (V) yang terjadi pada struktur gedung tersebut diatas permukaan Tanah Khusus (SF) bernilai lebih besar yaitu 16155,793 kN dari pada diatas permukaan Tanah Lunak (SE) yaitu bernilai 14687,085 kN, terjadi peningkatan gaya geser dasar seismik (base shear) sebesar 10,3%. Hal ini berpengaruh pada perhitungan gaya lateral ekuivalen pada tiap-tiap lantai. Sebelum menghitung gaya lateral ekuivalen (Fi) tiap lantai, terlebih dahulu perlu dicari periode fundamental dengan menggunakan data bangunan, tinggi bangunan gedung $H = 41$ m, yang akan digunakan untuk analisis statik ekuivalen sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Periode fundamental} &= C_t \cdot (h_n)^x \\ &= 0,0466 \times (41)^{0,9} \\ &= 1,31793 \text{ detik} \end{aligned}$$

Periode analisis modal = 1,260961 detik
(Diperoleh dari *software* analisis modal struktur)

Kontrol : Periode Fundamental < Periode analisis modal
: 1,31793 < 1,260961

Dikarenakan nilai periode fundamental lebih besar dari periode analisis modal, maka periode T_c diatas diambil nilai dari periode analisis modal yaitu 1,260961 detik. Berdasarkan parameter daktilitas struktur gedung SNI 1726-2019 pada Tabel 12. untuk sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus faktor reduksi gempa digunakan $R = 8$. Sedangkan untuk bangunan gedung rumah susun (apartemen) sesuai SNI 1726-2019 pada Tabel 3. kategori risiko bangunan gedung dan nongedung termasuk pada kategori II, dengan faktor keutamaan gempa pada Tabel 4. $I_c = 1,0$. Dengan menggunakan data hasil dari perhitungan periode fundamental yang diperoleh sebesar 1,260961 detik, parameter daktilitas struktur gedung, kategori risiko bangunan gedung dan nongedung, faktor keutamaan gempa, dan parameter S_{DS} dan S_{D1} dari masing-masing tipe tanah yang dianalisis yaitu, tanah lunak

(SE) dan tanah khusus (SF), sehingga hasil analisis statik ekuivalen untuk perhitungan gaya lateral ekuivalen (Fi), dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7 berikut ini :

Tabel 6. Gaya Lateral Ekuivalen (Fi) di Tanah Lunak (SE)

Lantai	Lateral (Fi)	Fi X	Fi Y
	Fi x-y (kN)	1/16 Fi x-y (kN)	1/6 Fi x-y (kN)
Atap	2336,02	146,00	389,34
9	2809,63	175,60	468,27
8	2399,14	149,95	399,86
7	2007,19	125,45	334,53
6	1635,33	102,21	272,56
5	1285,51	80,34	214,25
4	960,26	60,02	160,04
3	663,06	41,44	110,51
2	399,11	24,94	66,52
1	191,85	11,99	31,97

Tabel 7. Gaya Lateral Ekuivalen (Fi) di Tanah Khusus (SF)

Lantai	Lateral (Fi)	Fi X	Fi Y
	Fi x-y (kN)	1/16 Fi x-y (kN)	1/6 Fi x-y (kN)
Atap	2569,62	160,60	428,27
9	3090,59	193,16	515,10
8	2639,05	164,94	439,84
7	2207,91	137,99	367,98
6	1798,86	112,43	299,81
5	1414,06	88,38	235,68
4	1056,28	66,02	176,05
3	729,37	45,59	121,56
2	439,02	27,44	73,17
1	211,03	13,19	35,17

Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7 hasil analisis gempa statik ekuivalen diketahui gaya lateral ekuivalen (Fi) yang bernilai paling besar terjadi pada lantai 9 (Sembilan) dari masing-masing tipe tanah yang dianalisis, namun pada struktur gedung diatas permukaan Tanah Khusus (SF) bernilai lebih besar yaitu 3090,59 kN dari pada diatas permukaan Tanah Lunak (SE) bernilai 2809,63 kN.

4. KESIMPULAN

Dari analisis statik ekuivalen diketahui bahwa nilai gaya geser dasar seismik (Base Shear) yaitu untuk Tanah Lunak (SE) sebesar 14687,085 kN, dan Tanah Khusus (SF) sebesar 16155,793 kN mengalami peningkatan sebesar 10,3%. Sedangkan gaya lateral ekuivalen (F_i) yang bernilai paling besar terjadi pada lantai 9 (Sembilan) dari masing-masing tipe tanah yang dianalisis, namun pada struktur gedung diatas permukaan Tanah Khusus (SF) bernilai lebih besar yaitu 3090,59 kN dari pada diatas permukaan Tanah Lunak (SE) bernilai 2809,63 kN.

Dalam mendesain gedung sebaiknya menggunakan peraturan gempa yang telah resmi sehingga hasil analisis sesuai dengan peraturan yang terbaru. Dan tidak menggunakan desain yang terlalu kuat dan kaku seperti pemilihan dimensi, mutu material, tulangan, dan faktor lainnya yang menyebabkan tidak mudah runtuh saat diberi beban gempa. Tanah khusus (SF) tidak memiliki klasifikasi kelas situs yang signifikan, sebaiknya dilakukan evaluasi spesifik-situs pada daerah-daerah yang memiliki riwayat pernah terjadi likuifaksi atau yang berpotensi mengalami likuifaksi lainnya, dan tidak terfokus pada satu daerah saja.

REFERENSI

- ATC-40. (1996). *Applied Tecnology Council - 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building Volume 1*. California.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Puslitbang Perumahan dan Permukiman. (2019). *Manual Aplikasi Online Spektrum Respons Desain Indonesia 2019*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 4153-2008 Cara uji penetrasi lapangan dengan SPT*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 1726 : 2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk*
- Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 1727 : 2013. Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta.
- Chin, K. H. (2010). *Evaluation of Seismic Response of a Site Class F Site Using Equivalent Linear and Nonlinear Computer Codes*.
- Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering, Fourth Edition*.
- FEMA 273. (1997). *Federal Emergency Management Agency 273 Nehrps Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C: FEMA.
- FEMA 356. (2000). *Federal Emergency Management Agency 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building*. Washington, D.C.
- Munirwansyah, Yunita, H., & Munirwan, R. P. (2017). Kajian Potensial Likuifaksi Akibat Gempa Berdasarkan Data SPT-N Di Wilayah Provinsi Aceh. *Prosiding Simposium II - UNIID*, (September), 457–463.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan* (1st ed.). Yogyakarta.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta.
- Reza, S. F., Suryanita, R., & Ismeddiyanto. (2016). Analisis Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat di Wilayah Gempa Indonesia Intensitas Tinggi Menggunakan Analisis Statis Nonlinier. *Jom FTEKNIK*, 3(1).
- Salim, Afif & Siswanto, A. B. (2018). *Rekayasa Gempa. In K-Media*.
- Tavio & Wijaya, Usman. (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Yogyakarta: ANDI.