

Respons Struktur Bangunan Beton Bertulang dengan Kelas Situs Tanah Khusus Berdasarkan SNI 1726-2019

Halimatusadiyah¹

¹) Program Studi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Dumai
Jl. Utama Karya Bukit Batrem II
Email: h5tussadiyah08@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang respons struktur bangunan beton bertulang dengan kelas situs tanah khusus menggunakan spektrum respons desain dengan percepatan spektral-respons desain untuk setiap periode tidak boleh diambil lebih dari 80% nilai percepatan spektral yang ditentukan untuk kelas situs tanah lunak, yang selanjutnya akan dianalisis dengan menggunakan metode analisis dinamis respons spektrum dilokasi situs tanah khusus atau teridentifikasi sebagai tanah khusus dengan syarat terpenuhinya sebagai tanah khusus yaitu tanah yang berpotensi likuifaksi. Penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur bangunan beton bertulang yang direncanakan diatas tanah khusus dengan menggunakan SNI 1726-2019 dan ATC-40. Perpindahan maksimum yang terjadi pada tanah khusus (SF) bernilai 0,035568 m arah X dan 0,035692 m arah Y, simpangan yang terjadi pada lantai atap bernilai lebih besar daripada lantai lainnya, hal ini membuktikan bahwa karakteristik tanah dan ketinggian dari struktur gedung atau elevasi struktur mempengaruhi nilai perpindahan struktur yang terjadi, dengan menggunakan simpangan antar lantai ijin Δa dari SNI 1726-2019 struktur gedung pada arah X dan arah Y seluruh lantai memenuhi persyaratan yang telah ditentukan yaitu tidak lebih dari 0,025 tinggi lantai sebelumnya dan level kinerja Immediate Occupancy (IO) pada analisis linier menurut ATC-40.

Kata kunci: respons struktur, tanah khusus, analisis dinamis, perpindahan maksimum.

ABSTRACT

This research discusses the response of reinforced concrete structures with site class F 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. This research aims to analyze displacement between the floors reinforced concrete structures in site class F using SNI 1726-2019 and ATC-40. The maximum displacement in site class F (SF) is 0,035568 m X direction and 0,035692 m Y direction, displacement on the rooftop is greater than the other floors, this proves that the soil characteristics and height building structure or elevation structure will be affects the value of the displacement structure, using the displacement permits Δa from SNI 1726-2019 the building structure in X and Y direction all of floors predetermined requirements, not more than 0,025 the previous height floor and the performance level is Immediate Occupancy (IO) in linear analysis according to ATC-40.

Keywords: structure response, site class F, dynamic analysis, maximum displacement

Pendahuluan

Tanah khusus merupakan profil lapisan tanah yang rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah, dan lempung sangat organik (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Tanah khusus membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang ada di setiap lokasi yang ditinjau. Penelitian ini menggunakan spesifik situs tanah atau lokasi yang memiliki riwayat daerah yang pernah terjadi likuifaksi akibat gempa bumi. 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.

Likuifaksi adalah kehilangan kekuatan tanah padat secara cepat dan pada saat bersamaan merubah perilaku tanah padat menjadi pasir lepas (*loose sand dan loose silt*) sehingga menimbulkan ruang kosong dan diisi oleh cairan kental (*viscous liquid*) sehingga tanah tidak mampu menahan beban di atasnya berupa batuan atau bangunan, oleh karena itu daya dukung tanah hilang seketika dan bangunan di atasnya akan turun (Pawirodikromo, 2012). Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk menganalisis respons struktur yang akan dibangun di atas tanah khusus, dengan memanfaatkan data respons struktur dan data kinerja struktur berdasarkan nilai kondisi bangunan seperti simpangan antar lantai yang ditetapkan oleh SNI 1726-2019 dan ATC-40. Apabila lokasi bangunan yang termasuk pada klasifikasi jenis Tanah Khusus (SF) seharusnya dilakukan tes *seismic downhole* atau tes seismik sejenis dan analisis spesifik-situs dengan hasil berupa spektrum respons desain, dengan menggunakan analisis bahaya seismik probabilistik dan deterministik. Namun pada penelitian ini hanya menggunakan spektrum respons desain dengan percepatan spektral-respons desain untuk setiap periode tidak boleh diambil lebih dari 80% nilai percepatan spektral yang ditentukan untuk kelas situs Tanah Lunak (SE) yang mengacu pada SNI 1726-2019.

Penelitian mengenai Tanah Khusus (SF) belum banyak yang meneliti dikarenakan tidak adanya nilai parameter klasifikasi situs untuk Tanah Khusus (SF) yang signifikan. Namun penelitian terkait dengan respons struktur yang pernah dilakukan oleh (Chin, 2010) melakukan penelitian evaluasi respons seismik untuk kelas situs tanah khusus menggunakan metode linear ekuivalen dan kode komputer *nonlinear*, jika analisis respons situs digunakan untuk tegangan geser tanah dan evaluasi regangan, itu harus dilakukan dengan rangkaian *time history* gempa yang mewakili bahaya seismik pada situsnya. Menurut (Reza et al., 2016) melakukan penelitian kinerja struktur bangunan bertingkat di wilayah gempa Indonesia intensitas tinggi menggunakan analisis statis nonlinier, menyimpulkan bahwa pengaruh kondisi tanah dapat dengan jelas dilihat dari grafik respons spektrum, dapat diambil kesimpulan bahwa kondisi tanah berpengaruh pada gedung. (Karafagka et al., 2019) melakukan penelitian investasi perilaku seismik bangunan pelabuhan tipikal dengan mempertimbangkan likuifaksi, rangka penahan momen yang bertumpu pada tanah likuifaksi dapat menerapkan analisis dinamik bertahap.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur bangunan beton bertulang yang direncanakan di atas tanah khusus menggunakan SNI 1726-2019 dan ATC-40. Klasifikasi suatu situs digunakan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Berikut tipe-tipe kelas situs yang ditetapkan sesuai dengan definisinya yang dicantumkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. 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	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
Klasifikasi Situs Lanjutan			
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		

(Sumber : SNI 1726-2019)

Untuk spektrum respons desain untuk Tanah Khusus (SF) menggunakan percepatan spektral-respons desain untuk berbagai periode tidak boleh diambil lebih kecil dari 80 % nilai S_a yang ditentukan untuk kelas situs SE yang mengacu pada SNI 1726-2019 pada bagian 6.4. Untuk parameter - parameter percepatan desain di Tanah Khusus (SF) yang menggunakan peraturan SNI 1726-2019 pada bagian 6.10.3, maka 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 $V_{s30} > 360$ m/s, dan untuk periode dari 1 sampai 5 detik untuk situs dengan $V_{s30} \leq 360$ 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 dalam 6.2 untuk S_{MS} dan S_{M1} , dan dalam 6.3 S_{DS} dan S_{D1} yang ditetapkan dalam SNI 1726-2019.

Metode Penelitian

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 modal struktur dan analisis dinamis respons spektrum dilokasi situs tanah khusus. Lokasi situs yang digunakan yaitu lokasi Sulawesi Tengah

tepatnya di Kota Palu. khusus dikarenakan wilayah tersebut memiliki riwayat pernah terjadi likuifaksi. Dengan data geometri dan gambaran struktur secara umum yaitu :

- a. Total Panjang = 75 m @ 5 m
- b. Total Lebar = 21 m @ 7 m dan 3 m @ 1,5 m
- c. Tinggi total bangunan = 41,00 m
- d. Tinggi lantai tipikal (2-10) = 4,00 m
- e. Tinggi lantai dasar = 5,00 m
- f. Luas bangunan per lantai = 1.520 m²
- g. Material K-300 (fc') = 24,90 MPa

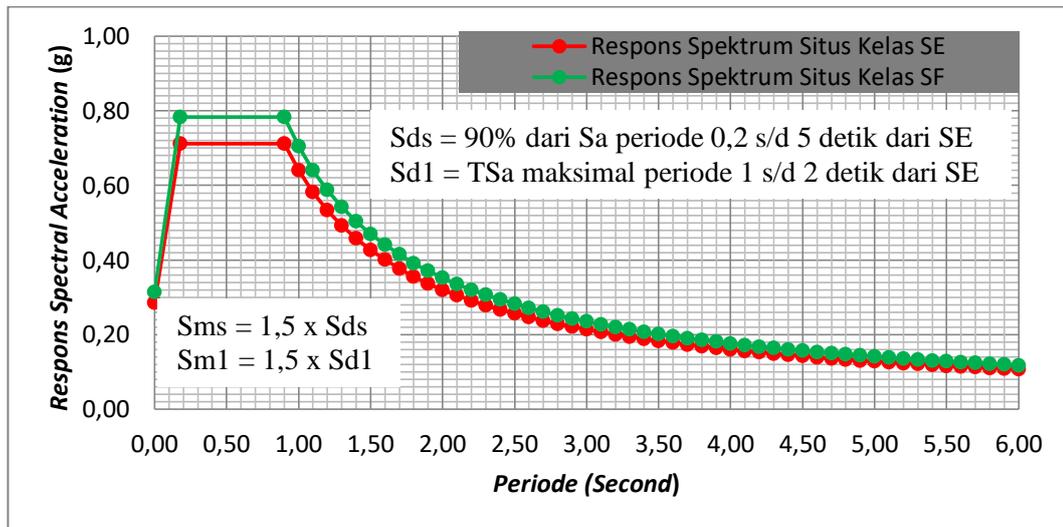
Desain geometrik pada penelitian ini menggunakan gedung bertingkat dengan elemen struktur yang terbuat dari beton. Bangunan ini direncanakan dengan 10 tingkat dan dapat difungsikan sebagaimana perencanaan bangunan rumah susun. Adapun data yang digunakan untuk analisis gempa dinamik lainnya yaitu sebagai berikut :

Fungsi Bangunan : Rumah Susun Sewa
 Lokasi Bangunan : Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah
 Koordinat Lokasi : Longitude : 119,5149
 : Latitude : -0,5341

Analisis dinamik digunakan untuk menentukan besarnya beban gempa pada struktur menggunakan metode linier Analisis Ragam Spektrum Respon (*Spectral Modal Analysis*) untuk nilai spectral percepatan gempa wilayah dapat menggunakan peta sumber bahaya gempa Indonesia tahun 2017 (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Karakteristik tanah khusus yang digunakan yaitu situs lokasi yang memiliki riwayat yang pernah terjadi likuifaksi akibat gempa bumi. Kegagalan bangunan terjadi apabila bangunan tersebut kurang/ tidak memiliki unsur-unsur kekakuan, kekuatan, stabilitas, dan keamanan, sebagaimana yang dipersyaratkan dalam peraturan/ketentuan yang berlaku terhadap bangunan tersebut (Srihandayani, 2020). Adapun nilai spektra percepatan pada Tabel 2, dan Gambar 1 spektrum respons desain tanah khusus (SF) adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Nilai spektral percepatan dari *website* desain spektra Indonesia

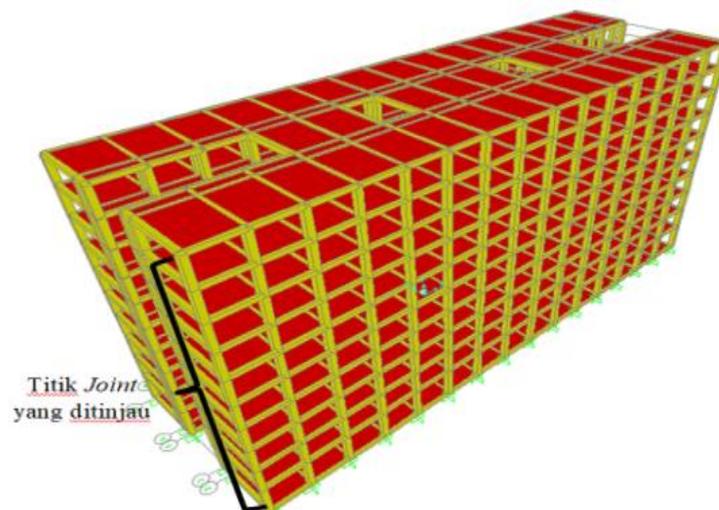
Variabel	Nilai Spektra Percepatan						
	Nilai		T	SE		SF	
	SE	SF		Periode	Sa (g)	Periode	Sa (g)
PGA (g)	0,3624	0,3624	0	0,000	0,2850	0,000	0,3135
PGAm (g)	0,5346	0,5346	T0	0,180	0,7126	0,180	0,7838
Ss (g)	0,9153	0,9153	TS	0,899	0,7126	0,899	0,7838
S1 (g)	0,4008	0,4008	TS +0,00	1,000	0,6409	1,000	0,7050
CRs	0,0000	0,0000	TS +0,10	1,100	0,5826	1,100	0,6409
CR1	0,0000	0,0000	TS +0,20	1,200	0,5341	1,200	0,5875
Fa	1,1678	-	TS +0,30	1,300	0,4930	1,300	0,5423
Fv	2,3983	-	TS +0,40	1,400	0,4578	1,400	0,5036
SMS (g)	1,0688	1,1757	TS +0,50	1,500	0,4273	1,500	0,4700
SM1 (g)	0,9614	1,0575	TS +0,60	1,600	0,4006	1,600	0,4406
SDS (g)	0,7126	0,7838	TS +0,70	1,700	0,3770	1,700	0,4147
SD1 (g)	0,6409	0,7050	TS +0,80	1,800	0,3561	1,800	0,3917
T0 (detik)	0,1799	0,1799	TS +0,90	1,900	0,3373	1,900	0,3710
Ts (detik)	0,8994	0,8994	TS +1,00	2,000	0,3205	2,000	0,3525



Gambar 1. Spektrum respons desain tanah khusus (SF)

Hasil dan Pembahasan

Metode analisis ragam spektrum respons digunakan untuk mengetahui *displacement*/perpindahan maksimum dari struktur gedung yang akan direncanakan diatas permukaan tanah. Adapun titik potongan dari struktur gedung yang akan dianalisis untuk mendapatkan *displacement*/perpindahan maksimum yang akan ditinjau dapat dilihat pada Gambar 2, hal ini dilakukan karena potongan dari titik-titik joint tersebut lebih terlihat perpindahan struktur yang terjadi.



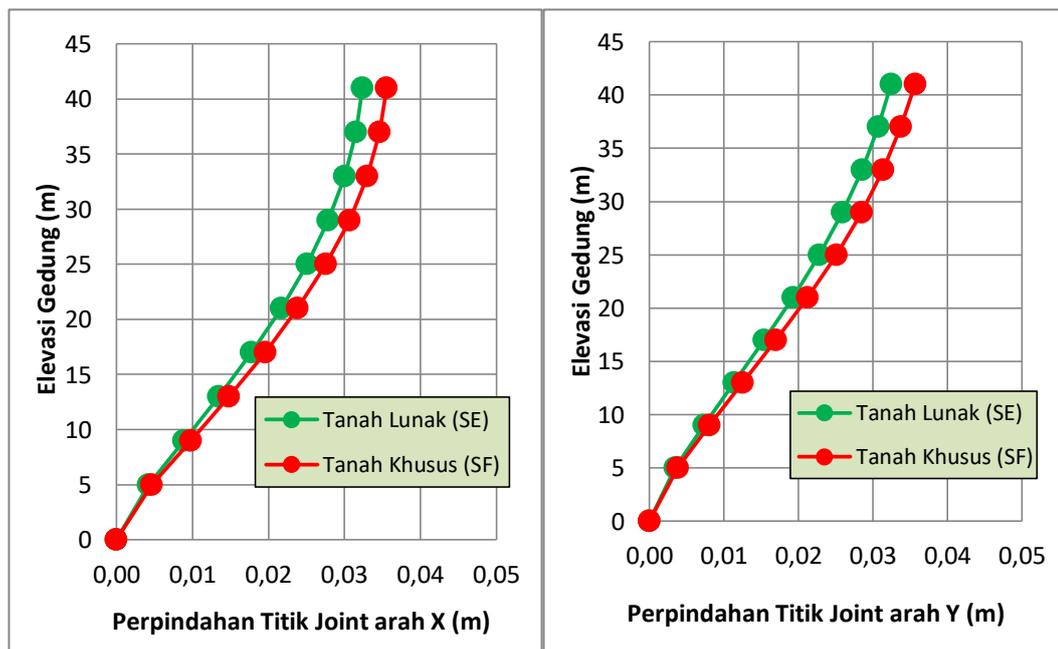
Gambar 2. Titik tinjau displacement/perpindahan struktur

Adapun nilai dari *displacement*/perpindahan maksimum struktur yang terjadi ditinjau khusus (SF) dibandingkan dengan nilai dari *displacement*/perpindahan maksimum struktur tanah lunak (SE) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *Displacement*/perpindahan maksimum

Lantai	Arah X			Arah Y		
	Elevasi Gedung	Tanah Lunak (SE)	Tanah Khusus (SF)	Elevasi Gedung	Tanah Lunak (SE)	Tanah Khusus (SF)
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Atap	41	0,032334	0,035568	41	0,032448	0,035692
10	37	0,031489	0,034638	37	0,030717	0,033788
9	33	0,03002	0,033021	33	0,028564	0,03142
8	29	0,027863	0,030649	29	0,025935	0,028528
7	25	0,025062	0,027568	25	0,022827	0,02511
6	21	0,021679	0,023847	21	0,019299	0,021229
5	17	0,017787	0,019566	17	0,015445	0,01699
4	13	0,013474	0,014821	13	0,011398	0,012538
3	9	0,008862	0,009748	9	0,007339	0,008073
2	5	0,004186	0,004605	5	0,003498	0,003847
1	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan hasil analisis gempa dinamik dengan metode respons spektrum pada Tabel 3 diatas diketahui bahwa nilai *displacement*/perpindahan maksimum yang terjadi pada tanah khusus (SF) bernilai 0,035568 m pada arah X dan 0,035692 m pada arah Y.



Gambar 3. Grafik *displacement*/perpindahan maksimum

Grafik *displacement*/perpindahan maksimum struktur dapat dilihat pada Gambar 3. *Displacement*/perpindahan maksimum yang terjadi pada lantai atap bernilai lebih besar daripada lantai lainnya, hal ini membuktikan bahwa karakteristik tanah dan ketinggian dari struktur gedung atau elevasi struktur mempengaruhi nilai *displacement*/perpindahan struktur yang terjadi.

Dalam analisis kinerja struktur berdasarkan nilai simpangan yang terjadi akibat beban gempa yang diberikan. Untuk memenuhi persyaratan kinerja yang telah ditetapkan

pada SNI 1726-2019 pasal 7.12.1 pada simpangan antar lantai ijin Δa untuk struktur dengan kategori resiko tingkat I dengan struktur selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat di ketahui simpangan antar lantai ijin Δa tidak lebih dari 0,025 tinggi lantai sebelumnya. Adapun kinerja struktur yang dibatasi dengan Simpangan antar Lantai Ijin Δa SNI 1726-2019 yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kontrol kinerja struktur dengan SNI 1726-2019

Lantai	Arah X				Arah Y			
	Tinggi Lantai	Δs Tanah Lunak (SE)	Δs Tanah Khusus (SF)	Syarat Δa (0,025 h_{sx})	Tinggi Lantai	Δs Tanah Lunak (SE)	Δs Tanah Khusus (SF)	Syarat Δa (0,025 h_{sy})
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Atap	4	0,032334	0,035568	0,100	4	0,032448	0,035692	0,100
10	4	0,031489	0,034638	0,100	4	0,030717	0,033788	0,100
9	4	0,03002	0,033021	0,100	4	0,028564	0,03142	0,100
8	4	0,027863	0,030649	0,100	4	0,025935	0,028528	0,100
7	4	0,025062	0,027568	0,100	4	0,022827	0,02511	0,100
6	4	0,021679	0,023847	0,100	4	0,019299	0,021229	0,100
5	4	0,017787	0,019566	0,100	4	0,015445	0,01699	0,100
4	4	0,013474	0,014821	0,100	4	0,011398	0,012538	0,100
3	4	0,008862	0,009748	0,100	4	0,007339	0,008073	0,100
2	5	0,004186	0,004605	0,125	5	0,003498	0,003847	0,125
1	0	0	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan kontrol kinerja struktur pada Tabel 4 dengan menggunakan simpangan antar lantai ijin Δa dari SNI 1726-2019 struktur gedung pada arah X dan arah Y semua lantai memenuhi persyaratan yang telah ditentukan yaitu tidak lebih dari 0,025 tinggi lantai sebelumnya dengan kategori struktur aman untuk digunakan. Sedangkan menurut (ATC-40, 1996) membatasi rasio drift untuk gedung bertingkat yang digunakan untuk menentukan nilai kinerja bangunan berdasarkan batasan yang telah ditetapkan ATC-40 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kontrol kinerja struktur dengan ATC-40

Tipe Tanah	Arah X				Arah Y			
	Δ Lantai Atap (m)	Target Kinerja		Ket	Δ Lantai Atap (m)	Target Kinerja		Ket
		Maks Drift	Maks <i>In-elastic Drift</i>			Maks Drift	Maks <i>In-elastic Drift</i>	
SD	0,000624	0,01	0,005	IO	0,025708	0,01	0,005	IO
SE	0,000788	0,01	0,005	IO	0,032448	0,01	0,005	IO
SF	0,000867	0,01	0,005	IO	0,035692	0,01	0,005	IO

Berdasarkan hasil analisis kinerja gedung menurut ATC-40 dari Tabel 5 telah membatasi nilai dari maksimal *drift* sebesar 0,01 dan nilai maksimal *In-elastic drift* sebesar 0,005, maka hasil kinerja gedung berdasarkan batasan rasio *drift* tidak melebihi batas yang telah ditetapkan pada ATC-40 dengan level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) pada analisis linier.

Simpulan

Berdasarkan hasil dari analisis respons struktur bangunan beton bertulang di tanah khusus dapat disimpulkan bahwa analisis gempa dinamik linier metode respons spektrum menghasilkan nilai *displacement*/perpindahan maksimum yang terjadi pada tanah khusus (SF) bernilai 0,035568 m arah X dan 0,035692 m arah Y, lebih besar daripada tanah lunak (SE) bernilai 0,032334 m arah X dan 0,032448 m arah Y. *Displacement*/perpindahan maksimum yang terjadi pada lantai atap bernilai lebih besar daripada lantai lainnya, hal ini membuktikan bahwa karakteristik tanah dan ketinggian dari struktur gedung atau elevasi struktur mempengaruhi nilai *displacement*/perpindahan struktur yang terjadi, semakin tinggi bangunan tersebut dibangun maka semakin besar nilai dari displacement yang diperoleh. Level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) pada analisis linier menurut ATC-40. Dalam mendesain respons spektrum rencana di Tanah Khusus (SF) sebaiknya dilakukan evaluasi spesifik-situs dengan menggunakan analisis bahaya seismik probabilitas dan deterministik spesifik situs, hal ini dilakukan mengingat bahwa Tanah Khusus (SF) membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, dan untuk penelitian yang lebih lanjut sebaiknya perlu dianalisis *non linier* pada struktur yang akan dibangun diatas Tanah Khusus (SF).

Daftar Pustaka

- ATC-40. (1996). *Applied Tecnology Council - 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building Volume 1* (pp. 1–334).
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung* (Issue 8).
- 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*, 4th ed. California: Prentice Hall.
- FEMA 273. (1997). *Federal Emergency Management Agency 273 Nehrps Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C: Federal Emergency Management Agency.
- Karafagka, S., Fotopoulou, S., Karatzetzou, A., & Pitilakis, D. (2019). Investigation of the seismic behaviour of typical port buildings considering liquefaction. *2nd International Conference on Natural Hazards & Infrastructure, Lc*.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan* (1st ed.).
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017* (pp. 1–377).
- 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).
- Srihandayani, S. (2020). Mitigasi Bencana Akibat Kegagalan Struktur. *Jurnal Unitek*, 13(2), 25–38. <https://doi.org/10.52072/unitek.v13i2.137>