

Studi komparasi kinerja seismik bangunan publik di wilayah Kabupaten Bogor berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019

Dwi Alfi Maulana Cahyadi^{1,*}, Yunalia Muntafi¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Earthquake
Spectrum response
Story drift
SNI 1726:2012
SNI 1726:2019

Abstract

Indonesia is a country with a high level of earthquake vulnerability because it is located at the meeting point of three active tectonic plates. Bogor Regency is an area with a high potential for earthquakes that needs to be watched, partly because of its proximity to three active earthquake sources, namely the Cimandiri fault, the Baribis fault, the Lembang fault, and the Citarik fault, which are in the Bogor area. Therefore, an evaluation of the performance of earthquake-resistant building structures is necessary to minimize losses and casualties. The research conducted aims to evaluate the performance of the Bogor Regency Zone building structure (UPQ) based on the given earthquake load. This evaluation includes aspects of structural irregularity, base shear force, inter-story drift ratio, and the influence of P-delta effects based on SNI 1726:2012 and SNI 1726:2019 to compare the results. The seismic load analysis was performed using the response spectrum method. The results of the study show that there is no irregularity in the vertical structure, but there is type 2 horizontal irregularity on all floors. The base shear force in SNI 1726:2019 increased by 43.70% from SNI 1726:2012. In SNI 1726:2019, there was an increase in inter-level deflection with an average of 43.93% for the X direction and 45.95% for the Y direction compared to SNI 1726:2012. The P-delta calculation shows that the structure is stable on each floor based on both SNI 1726:2012 and SNI 1726:2019.

Corresponding Author:

Dwi Alfi Maulana Cahyadi
21511067@students.uii.ac.id

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang sangat rentan mengalami bencana gempa bumi, hal ini salah satunya disebabkan karena lokasi Indonesia yang berada di wilayah Cincin Api Pasifik (*Ring of fire*) tepatnya diantara 3 lempeng tektonik yang bergerak aktif yaitu lempeng Indo-Australia berada di sisi selatan, lempeng Pasifik berada di sisi timur, dan lempeng Eurasia berada di sisi utara. Gempa-gempa yang terjadi di Indonesia bervariasi, mulai dari skala magnitudo rendah, sedang, dan tinggi.

Menurut Soehaimi (2011) wilayah Jawa Barat terdapat tiga zona sesar aktif utama, yaitu sesar Cimandiri, sesar Baribis, dan sesar

Lembang. Secara khusus, wilayah Kabupaten Bogor terdapat sesar Citarik yang memiliki jalur patahan memanjang dari pantai tenggara Teluk Pelabuhanratu melewati Gunung Salak, Bogor, hingga Bekasi. Oleh karena itu, Kabupaten Bogor memiliki tingkat risiko seismik yang signifikan karena lokasinya yang berdekatan dengan tiga zona sesar aktif dan sesar Citarik. Keberadaan sumber gempa ini meningkatkan potensi bahaya guncangan tanah di wilayah tersebut. Peta zona sesar yang terdapat di Wilayah Jawa Barat disajikan pada Gambar 1.

Menurut Prasetyo dkk. (2023) gempa bumi merupakan suatu fenomena alam yang salah satunya terjadi akibat pergeseran-pergeseran lempeng pada permukaan bumi, gempa bumi bersifat *destruktif*, sehingga pada setiap

kejadiannya hampir menimbulkan kerugian materiil maupun imateriil. Oleh karena itu, evaluasi kinerja struktur bangunan tahan gempa diperlukan sebagai upaya untuk meminimalisir kerugian dan korban jiwa. Pawirodikromo (2012) menyatakan konsep dasar dari desain bangunan tahan gempa meliputi hal – hal berikut: pada saat gempa kecil, bangunan bangunan tidak mengalami kerusakan yang signifikan sehingga masih tetap berfungsi; pada saat gempa menengah, mungkin terjadi kerusakan kecil pada struktur dan dapat diperbaiki; dan pada saat gempa besar, mungkin bangunan mengalami kerusakan besar tetapi tidak terjadi keruntuhan total.



Gambar 1. Lokasi Patahan di Jawa Barat
(Sumber: Pusat Survei Geologi, 2023)

Berdasarkan katalog gempa bumi merusak yang diterbitkan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), tercatat terjadi gempa bumi di wilayah Jawa barat dari tahun 2012 sampai 2019. Gempa bumi pernah terjadi di wilayah Sukabumi 4 Juni 2012 dengan magnitudo 5,7, Gempa bumi Bogor 9 September 2012 dengan magnitudo 4,8, Gempa bumi Sukabumi 18 Desember 2012 dengan magnitudo 4,3, Gempa bumi Tasikmalaya 15 Desember 2017 dengan magnitudo 6,9, dan masih banyak lagi. Aktivitas gempa bumi di Jawa Barat terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. (BMKG, 2025).

Seiring perkembangan aktivitas gempa yang terjadi di Indonesia, Badan Standardisasi Indonesia menerbitkan SNI 1726:2019 yang merupakan hasil revisi terhadap standar sebelumnya yaitu SNI 1726:2012. Terdapat

perubahan peta gempa dan parameter seismik dari SNI 1726:2019 terhadap SNI 1726:2012. Perubahan peta gempa dan peningkatan parameter seismik merupakan tindakan mitigasi terhadap respons aktivitas gempa dengan tujuan meningkatkan ketahanan kekuatan struktur. Oleh karena itu, mengevaluasi kinerja struktur bangunan tahan gempa diperlukan sebagai upaya untuk meminimalisir kerugian dan korban jiwa.

Dalam hal ini, penulis akan melakukan suatu perbandingan terhadap SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 mengenai evaluasi kinerja terhadap struktur bangunan eksisting Gedung Pusat Keagamaan Islam Unit Percetakan Al-Quran (UPQ) Zona Literasi Kabupaten Bogor. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan ketentuan dan hasil evaluasi kinerja struktur berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 untuk mengetahui perbedaan pengaruh dan pembaharuan standar terhadap respons dan ketahanan bangunan berdasarkan beban gempa yang diberikan. Adapun aspek yang diteliti yaitu menentukan dan menganalisis gaya geser dasar (*base shear*), ketidakberaturan struktur (*structural irregularity*), simpangan antar tingkat (*story drift*), dan nilai efek P-delta (*P-delta effect*) berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019.

Dinamik respons spektrum

Analisis beban gempa menggunakan respons spektrum yang merupakan suatu bentuk analisis dinamik yang mengevaluasi perilaku struktur bangunan dengan memanfaatkan spektrum gempa yaitu kurva yang menunjukkan antara periode struktur dan percepatan yang dialami oleh bangunan. Menurut Purnomo dkk. (2014) analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik respons spektrum memberikan distribusi gaya geser antar tingkat yang lebih akurat di sepanjang ketinggian bangunan dibandingkan dengan analisis statik ekuivalen.

Periode struktur

Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 pasal 7.8.2 dalam menentukan periode fundamental struktur (T) tidak melebihi perkalian periode hitung (C_u) dan periode pendekatan (T_a) dengan:

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

$$T_{max} = C_u \cdot T_a \quad (2)$$

Keterangan:

C_t dan x = Didapatkan dari SNI 1726:2012 Tabel 15 dan SNI 1726:2019 Tabel 18

h_n = Ketinggian struktur (m)

C_u = Didapatkan dari SNI 1726:2012 Tabel 14 dan SNI 1726:2019 Tabel 17

Gaya geser dasar (Base shear)

Gaya geser dasar adalah cara untuk menyederhanakan efek getaran menjadi satu gaya horizontal total yang bekerja pada dasar struktur yang kemudian digunakan sebagai gaya gempa rencana yang harus diperhitungkan. Gaya geser dasar statik ditentukan dengan persamaan:

$$V = C_s \cdot W \quad (3)$$

Dengan:

V = Gaya geser dasar seismik (kN)

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif (kN)

Pada SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1 mengatur gaya geser dasar dari kombinasi ragam tidak boleh kurang dari 85% gaya geser statik. Sedangkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1 menyebutkan gaya geser dasar kombinasi ragam tidak boleh kurang dari 100% gaya geser statik. Setelah mendapatkan nilai gaya geser dasar, maka dapat didistribusikan gaya tersebut ke tiap lantai menggunakan persamaan:

$$F_x = V_s \cdot C_{vx} \quad (4)$$

Dengan:

$$C_{vx} = \frac{w \cdot h x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (5)$$

Keterangan:

C_{vx} = Faktor distribusi gaya

V_s = Gaya geser dasar (kN)

w_i dan w_x = Berat seismik total struktur di tingkat i dan x

h_i dan h_x = Tinggi dasar sampai tingkat i dan x (m)

k = Didapatkan dari SNI 1726:2012 rumus 31 dan SNI 1726:2019 rumus 41

Ketidakteraturan struktur (Structural irregularity)

Evaluasi ketidakberaturan struktur merupakan hal yang krusial untuk menentukan apakah struktur bangunan beraturan atau tidak beraturan. Struktur yang memiliki ketidakberaturan dapat mempengaruhi kinerja struktur dan keselamatan bagi pengguna bangunan. Ketidakteraturan struktur terbagi menjadi dua jenis yaitu ketidakberaturan struktur horizontal dan vertikal. Menurut Simamora (2020) ketidakberaturan horizontal ditetapkan berdasarkan kepada ketidakberaturan arah sumbu xy sedangkan ketidakberaturan vertikal ditetapkan berdasarkan arah sumbu xz atau yz. Dalam mengevaluasi ketidakberaturan struktur dijelaskan pada SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 beserta dengan konsekuensinya.

Simpangan antar tingkat (Story drift)

Menurut Purba (2024) simpangan antar tingkat adalah pergeseran relatif antara dua lantai berturut-turut yang terjadi akibat beban lateral, seperti gempa bumi. Pada peraturan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 mengatur batas maksimum simpangan antar lantai yang bertujuan untuk memastikan bahwa bangunan yang mengalami deformasi tetap dalam batas aman dan tidak mengalami kerusakan yang parah pada bagian struktur dan nonstruktur. Simpangan antar tingkat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_e}{I_e} \quad (6)$$

keterangan:

δ_x = Defleksi yang terjadi pada tingkat x (mm)

C_d = Faktor amplifikasi defleksi
 δ_x = Defleksi yang disyaratkan pada lokasi ditentukan dari analisis elastis
 I_e = Faktor keutamaan gempa

Adapun batas izin simpangan antar tingkat (Δ_a) Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Simpangan Antar Tingkat Izin

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
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 tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding bata dan lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Pengaruh p-delta (P-delta effect)

Pengaruh efek P-Delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen, serta simpangan antar tingkat tidak perlu diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) sama atau kurang dari 0,10. Persamaan mengenai koefisien stabilitas (θ) berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 adalah sebagai berikut.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (7)$$

Keterangan :

P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x (kN)

Δ = Simpangan antar tingkat desain (mm)

I_e = Faktor keutamaan gempa

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja pada tingkat-x dan x-1 (kN)

H_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat-x (mm)

C_d = Faktor pembesar defleksi

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} yang ditentukan sebagai berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (8)$$

Dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x-1. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

Metodelogi Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian komparatif, yaitu penelitian yang bersifat membandingkan. Evaluasi kinerja struktur yang dilakukan menggunakan prosedur analisis respons spektrum ragam dengan acuan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019. Adapun bangunan objek penelitian adalah gedung Pusat Keagamaan Islam Unit Percetakan Al-Quran (UPQ) Zona Literasi Kabupaten Bogor. Gedung ini berfungsi sebagai fasilitas pendidikan dengan jumlah lantai 6 termasuk atap dengan total ketinggian 23,75m. Data penelitian yang diperoleh yaitu *Detail Engineering Detail* (DED). Gedung UPQ Zona Literasi memakai material beton bertulang dengan sistem struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Adapun mutu beton yang dipakai sebesar 25 MPa, mutu baja ulir (BJTS 420B) sebesar 420 MPa, dan baja polos (BJTP 280) sebesar 280 MPa. Data tanah pada lokasi gedung ini ditentukan berdasarkan data Vs30 dan diperoleh nilai Vs sebesar 425 m/detik sehingga dapat diklasifikasikan ke dalam kelas situs tanah keras (SC). Namun dalam penelitian ini memiliki batasan hanya mengevaluasi bagian struktur atas (*upper structure*) dan tidak meninjau struktur bawah (*lower structure*) dalam hal ini basement. Adapun model gedung akan dianalisis menggunakan *software* ETABS. Pembebanan pada evaluasi ini menggunakan acuan SNI 1727:2013 dan SNI 1727:2020 untuk beban

gravitasi serta SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 untuk beban gempa. Untuk beban angin dan beban hujan tidak dibahas pada penelitian ini.

Hasil dan Pembahasan

Parameter seismik

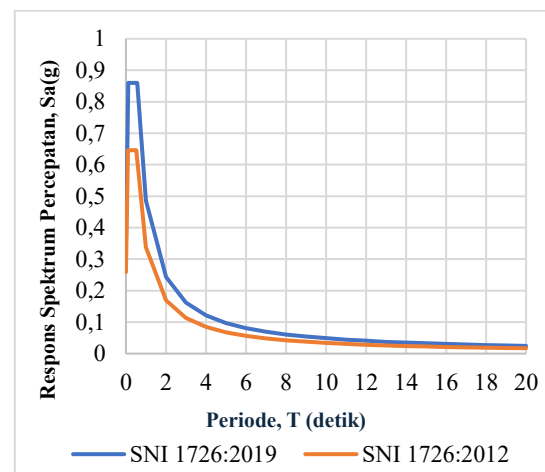
Parameter seismik ditentukan berdasarkan lokasi bangunan dan jenis tanah pada bangunan itu berdiri. Hal tersebut akan menentukan parameter seismik yang dipakai. Adapun parameter seismik merujuk pada SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Seismik

No	Parameter	SNI 1726:2012	SNI 1726:2019
1	Lokasi bangunan	Kabupaten Bogor	
2	Fungsi bangunan	Fasilitas pendidikan	
3	Tinggi bangunan	23,75 m	
4	Jenis tanah	Tanah keras (SC)	
5	Kategori risiko bangunan	IV	IV
6	Faktor keutamaan gempa (I_e)	1,5	1,5
7	Nilai S_s	0,95	1,0749
8	Nilai S_1	0,35	0,4863
9	Nilai F_a	1,02	1,2
10	Nilai F_v	1,45	1,5
11	Nilai S_{DS}	0,646	0,85992
12	Nilai S_{D1}	0,3383	0,4863
13	Faktor modifikasi respons (R)	8	8
14	Faktor pembesaran defleksi (C_d)	5,5	5,5
15	Koefisien C_u	1,4	1,4
16	Nilai C_t dan α	0,0466 ; 0,9	0,0466 ; 0,9

Respons spektrum desain

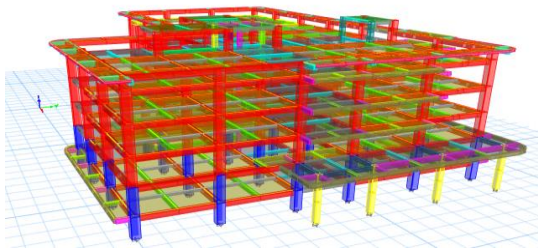
Berdasarkan parameter seismik yang sudah ditentukan maka dapat dibuat grafik respons spektrum. Grafik respons spektrum berkaitan dengan periode (T) dan respons spektrum percepatan (S_a). Berdasarkan SNI 1726:2019 pada $T < T_0$ periode $T=0$ detik dan $T_0 \leq T \leq T_s$ periode $T_0=0,1131$ detik dan $T_s=0,5655$ detik terjadi peningkatan nilai S_a sebesar 33,12%. Kemudian untuk pada $T > T_s$ periode 1 detik dan seterusnya terjadi peningkatan nilai S_a sebesar 43,73%. Perbandingan respons spektrum antara SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



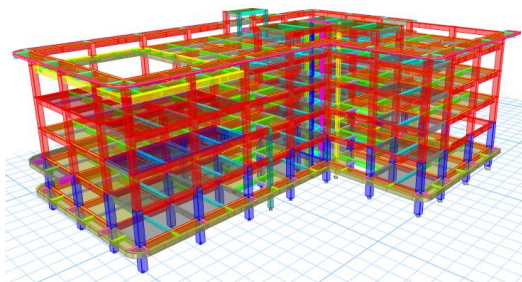
Gambar 2. Grafik Respons Spektrum

Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur menggunakan *software* ETABS yang dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4 berikut.



Gambar 3. Tampak Depan Struktur Gedung UPQ



Gambar 4. Tampak Samping Struktur Gedung UPQ

Massa bangunan

Berikut adalah rekapitulasi massa bangunan gedung UPQ yang disajikan pada Tabel 3.

Lantai	Manual (kg)	ETABS (kg)
Atap	168946,162	156950,26
5	1393853,191	1455284,62
4	1528223,943	1544151,19
3	1460727,967	1490097,12
2	1359057,676	1365827,82
1	1621018,369	1615179,62
Basement	101563,71	97648,56
Total	7633391,019	7725139,19
Selisih	1,202%	

Berdasarkan Tabel 3 selisih perhitungan berat bangunan secara manual dengan hasil analisis ETABS yaitu 1,202%. Selisih tersebut kurang dari 5% sehingga hasil perhitungan dari ETABS sudah mempresentasikan antara bangunan asli dengan yang dimodelkan pada ETABS.

Periode struktur

Penentuan periode pakai ditentukan berdasarkan Pers. (1) dan (2) selain itu, dibandingkan dengan periode yang diperoleh

hasil analisis *software* ETABS. Adapun perhitungan periode adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t h_n^x \\
 &= 0,0466 \times 23,75^{0,9} \\
 &= 0,80627 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{max} &= C_u \cdot T_a \\
 &= 1,4 \times 0,80627 \\
 &= 1,12878 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Untuk rekap ketiga periode tersebut dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5 berikut.

Tabel 4. Periode Struktur Arah X

Periode Struktur (detik)			
T _a	T _{max}	T _{etabs}	T _{pakai}
0,80627	1,12878	1,197	1,12878

Tabel 5. Periode Struktur Arah Y

Periode Struktur (detik)			
T _a	T _{max}	T _{etabs}	T _{pakai}
0,80627	1,12878	1,166	1,12878

Gaya geser dasar (Base shear)

Dalam perhitungan *base shear* menggunakan metode analisis respons spektrum tidak bisa langsung dipakai. Akan tetapi harus dibandingkan terlebih dahulu dengan *base shear* dengan metode statik ekuivalen yaitu dengan menggunakan Pers.3. Adapun nilai C_s yang digunakan menggunakan Pers.23 SNI 1726:2012 atau Pers.32 SNI 1726:2019. Berikut adalah perhitungan dari nilai *base shear* statik ekuivalen.

$$\begin{aligned}
 V_{2012} &= C_s \cdot W \\
 &= 0,0561 \times 75783,615 \text{ kN} \\
 &= 4259,024 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{2019} &= C_s \cdot W \\
 &= 0,08077 \times 75783,615 \text{ kN} \\
 &= 6113,098 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nilai *base shear* hasil statik ekuivalen (V_s) dari perhitungan manual dan hasil etabs memiliki selisih 1,34% untuk SNI 1726:2012 dan 1,23% untuk SNI 1726:2019. Hasil selisih tersebut masih kurang dari 5% maka dapat

dikatakan sudah mempresentasikan gaya yang bekerja pada struktur bangunan. Namun pada penelitian ini *base shear* statik ekuivalen yang digunakan dari hasil ETABS. Berikut *base shear* statik ekuivalen (V_s) dan dinamik respons spektrum (V_d) dari hasil ETABS berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 6. *Base Shear* Berdasarkan SNI 1726:2012

Arah Gempa	<i>Base Shear</i> (kN)		
	V_s	$0,85 V_s$	V_d
X	4202,586	3572,198	2954,517
Y	4202,586	3572,198	3023,353

Tabel 7. *Base Shear* Berdasarkan SNI 1726:2019

Arah Gempa	<i>Base Shear</i> (kN)	
	V_s	V_d
X	6038,591	4169,593
Y	6038,591	4279,995

Berdasarkan Tabel 6 dan 7 untuk *base shear* dari metode dinamik respons spektrum SNI 1726:2012 masih kurang dari 85% *base shear* metode statik ekuivalen. Oleh karena itu, *base shear* dinamik respons spektrum perlu penskalaan ulang dengan $0,85V_s/V_d$ maka didapatkan faktor penskalaan sebesar 1,209 untuk arah X dan 1,182 untuk arah Y. Hal yang sama juga terjadi pada *base shear* SNI 1726:2019 nilai V_d masih kurang dari 100% V_s sehingga perlu penskalaan ulang yaitu dengan V_s/V_d maka didapat faktor penskalaan sebesar 1,448 untuk arah X dan 1,411 untuk arah Y. Berikut hasil dari *base shear* setelah diskala ulang yang dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9.

Setelah diskala ulang maka dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9 untuk *base shear* sudah sesuai syarat SNI 1726:2012 yaitu $V_d > 85\%V_s$ dan SNI 1726:2019 dengan $V_d > V_s$. Kemudian dari hasil tersebut dapat didistribusikan ke tiap lantai. Rekapitulasinya distribusi *base shear* tiap lantai disajikan pada Tabel 10 berikut.

Tabel 8. *Base Shear* Berdasarkan SNI 1726:2012

Arah Gempa	<i>Base Shear</i> (kN)		
	V_s	$0,85 V_s$	V_d
X	4202,586	3572,198	3575,731
Y	4202,586	3572,198	3575,669

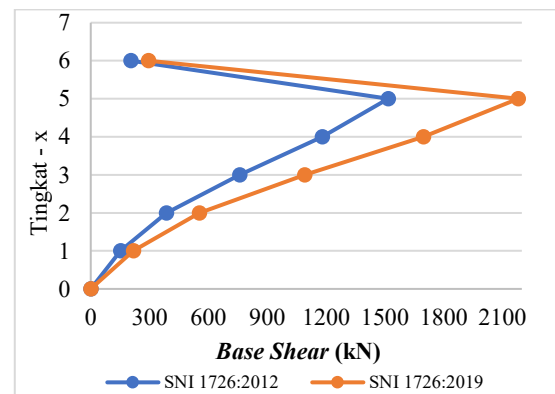
Tabel 9. *Base Shear* Berdasarkan SNI 1726:2019

Arah Gempa	<i>Base Shear</i> (kN)	
	V_s	V_d
X	6038,591	6043,591
Y	6038,591	6039,192

Tabel 10. Distribusi *Base Shear* Tiap Lantai

Lantai	SNI 1726:2012	SNI 1726:2019
	F_x (kN)	F_x (kN)
Atap	205,256	294,927
5	1518,389	2181,735
4	1181,862	1698,188
3	759,803	1091,742
2	385,726	554,240
1	151,551	217,759
Total	4202,5861	6038,591

Adapun grafik distribusi *base shear* tiap lantai dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Grafik *Base Shear*

Dari perhitungan yang sudah dilakukan, terjadi peningkatan gaya geser dasar pada SNI 1729:2019 sebesar 43,69% terhadap SNI 1726:2012. Peningkatan gaya geser dasar terjadi karena meningkatnya parameter gempa seperti nilai S_s dan S_l serta beberapa parameter lainnya. Pada penelitian yang dilakukan Arrofi (2022) memiliki kesamaan yaitu peningkatan gaya geser dasar sebesar

50,503% pada SNI 1726:2019 terhadap SNI 1726:2012.

Ketidakteraturan struktur (Irregularity structure)

Dalam mengidentifikasi ketidakteraturan struktur terdapat beberapa hal yang

mempengaruhi, seperti kekakuan, berat (massa), geometri bangunan, dan sistem penahan gaya lateral. Berikut rekapitulasi ketidakteraturan struktur horizontal dan vertikal yang terjadi pada gedung UPQ dapat dilihat pada Tabel 11 dan 12 sebagai berikut.

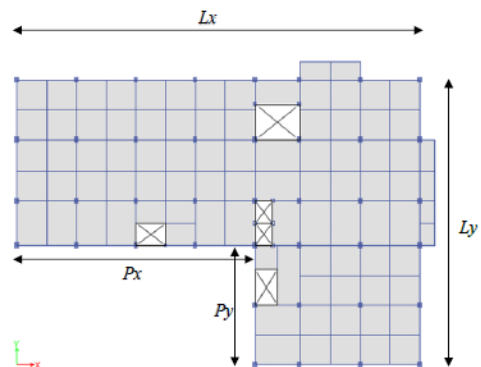
Tabel 11. Pemeriksaan Ketidakteraturan Struktur Horizontal

Tipe	Keterangan	SNI 1726:2012		SNI 1726:2019	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
1a	Torsi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi
1b	Torsi berlebih	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi
2	Sudut dalam	Terjadi	Terjadi	Terjadi	Terjadi
3	Diskontinuitas diafragma	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi
4	Pergeseran tegak lurus bidang	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi
5	Sistem nonparalel	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi

Tabel 12. Pemeriksaan Ketidakteraturan Struktur Vertikal

Tipe	Keterangan	SNI 1726:2012		SNI 1726:2019	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
1a	Kekakuan lunak	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi
1b	Kekakuan lunak berlebih	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi
2	Berat (massa)	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi
3	Geometri vertikal	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi
4	Diskontinuitas bidang	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi
5a	Tingkat lemah	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi
5a	Tingkat lemah berlebih	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi	Tidak Terjadi

Berdasarkan hasil pemeriksaan ketidakteraturan struktur baik horizontal maupun vertikal, gedung UPQ terjadi ketidakteraturan struktur horizontal tipe 2 yaitu ketidakteraturan sudut dalam. Ketidakteraturan ini terjadi karena perbandingan panjang P_x dan L_x yang lebih dari 15%. Hal yang sama juga terjadi pada sumbu Y yaitu perbandingan panjang P_y dan L_y lebih dari 15%. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Pemeriksaan Sudut Dalam

Diketahui panjang $L_x = 62,6$ m, $P_x = 32$ m, $L_y = 38$ m, $P_y = 18$ m. maka dari data tersebut

dapat diketahui bahwa nilai P_x dan P_y melebihi 15% dari L_x dan L_y . Berdasarkan hasil tersebut maka terdapat konsekuensi yang harus dilakukan sesuai pasal 7.3.3.4 dan tabel 13 SNI 1726:2012 atau pasal 7.3.3.4 dan tabel 16 SNI 1726:2019. Pada pasal 7.3.3.4 disebutkan bahwa gaya desain diafragma yang ditentukan harus ditingkatkan sebesar 25% untuk elemen sistem pemikul gaya seismik. Kemudian untuk tabel 13 atau 16 mengatur mengenai prosedur analisis yang diizinkan.

Simpangan Antar Tingkat (Story Drift)

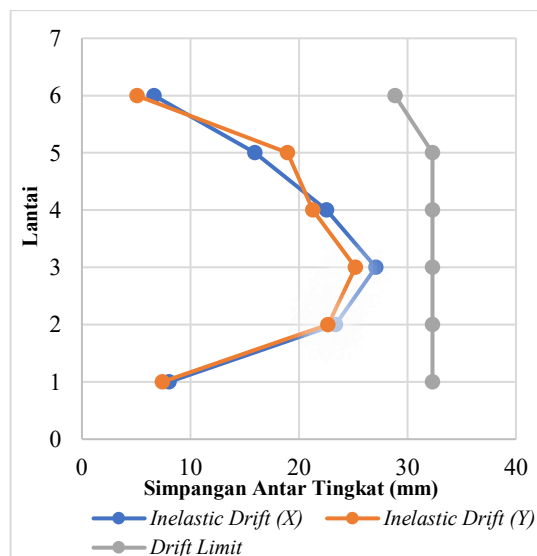
Menurut acuan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 simpangan antar tingkat diperoleh pada titik pusat massa. Adapun batas simpangan antar tingkat yang diizinkan menurut Tabel 1 adalah $0,010h_{sx}$ dengan faktor reduksi 1,3. Berikut pemeriksaan simpangan yang terjadi di gedung UPQ yang dapat dilihat pada Tabel 13 dan 14 atau Gambar 7 dan 8.

Tabel 13. Pemeriksaan *Story Drift* Berdasarkan SNI 1726:2012

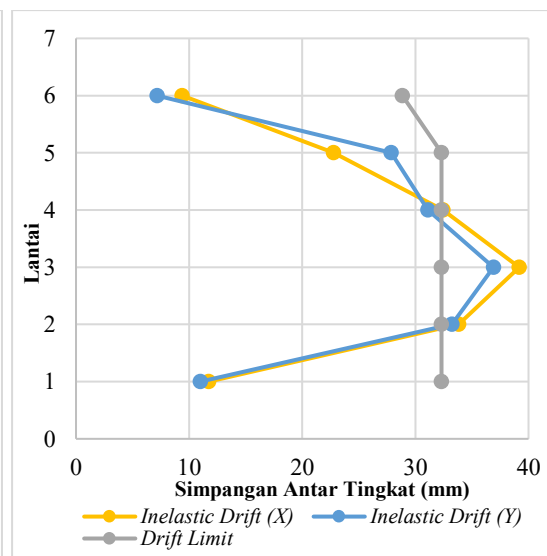
Lantai	Tinggi Tingkat (mm)	Inelastic Drift (mm)		Drift Limit (mm)	Cek Arah X	Cek Arah Y
		Arah X	Arah Y			
Atap	3750	6,644	5,067	28,846	Oke	Oke
5	4200	15,924	18,960	32,308	Oke	Oke
4	4200	22,535	21,281	32,308	Oke	Oke
3	4200	27,078	25,205	32,308	Oke	Oke
2	4200	23,375	22,693	32,308	Oke	Oke
1	4200	8,034	7,410	32,308	Oke	Oke

Tabel 14. Pemeriksaan *Story Drift* Berdasarkan SNI 1726:2019

Lantai	Tinggi Tingkat (mm)	Inelastic Drift (mm)		Drift Limit (mm)	Cek Arah X	Cek Arah Y
		Arah X	Arah Y			
Atap	3750	9,394	7,161	28,846	Oke	Oke
5	4200	22,770	27,770	32,308	Oke	Oke
4	4200	32,428	31,119	32,308	Not Oke	Oke
3	4200	39,182	36,901	32,308	Not Oke	Not Oke
2	4200	33,840	33,246	32,308	Not Oke	Not Oke
1	4200	11,715	10,989	32,308	Oke	Oke



Gambar 7. Grafik *Story Drift* SNI 1726:2012



Gambar 8. Grafik *Story Drift* SNI 1726:2019

Namun pada SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 pasal 7.3.4.2 poin a, menyebutkan untuk kategori desain seismik D, E, atau E nilai ρ diizinkan 1 dengan salah satu syarat setiap tingkat harus mampu menahan 35% gaya geser dasar. Berdasarkan pemeriksaan, semua tingkat yang mampu menahan 35%

gaya geser dasar kecuali lantai atap oleh karena itu perlu melepas momen balok terbesar untuk arah X dan Y tanpa mengurangi kekuatan sebesar 33%. Berikut adalah rekapitulasi pelepasan momen yang dapat dilihat pada Tabel 15 dan 16 berikut.

Tabel 15. Kehilangan Tahanan Momen Maksimum Berdasarkan SNI 1726:2012

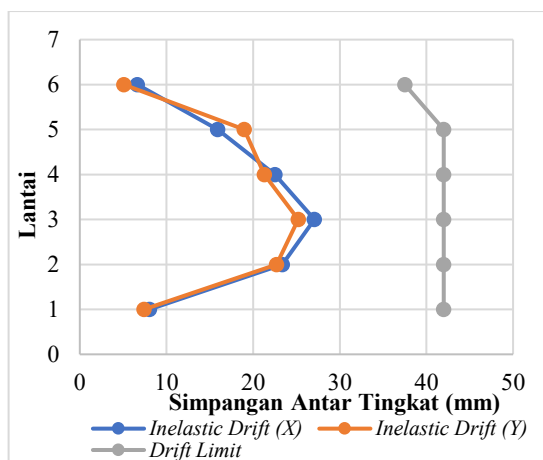
Lantai	Arah X			Arah Y			Cek
	V_x (kN)	F_x (kN)	Selisih (%)	V_x (kN)	F_x (kN)	Selisih (%)	
Atap	201,865	205,816	1,958	217,409	217,193	0,099	Oke
5	1317,622	1313,533	0,310	1335,023	1330,398	0,346	Oke
4	1920,124	1910,603	0,496	1971,503	1952,798	0,949	Oke
3	2364,052	2350,638	0,567	2442,510	2414,061	1,165	Oke
2	2723,425	2709,222	0,522	2805,808	2776,266	1,053	Oke
1	2954,517	2939,844	0,497	3023,353	2995,201	0,931	Oke

Tabel 16. Kehilangan Tahanan Momen Maksimum Berdasarkan SNI 1726:2019

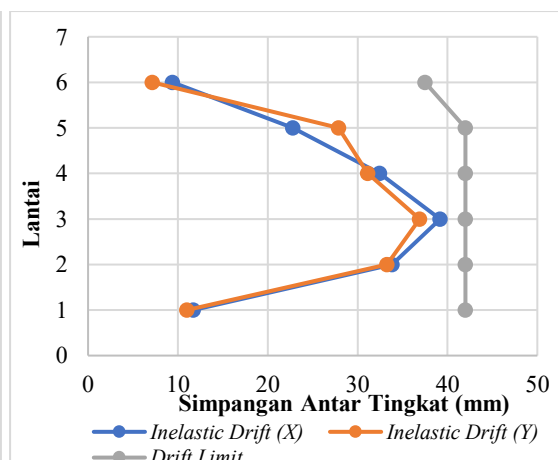
Lantai	Arah X			Arah Y			Cek
	V_x (kN)	F_x (kN)	Selisih (%)	V_x (kN)	F_x (kN)	Selisih (%)	
Atap	273,981	274,576	0,217	297,309	298,180	0,293	Oke
5	1826,311	1818,106	0,449	1859,839	1850,233	0,516	Oke
4	2717,731	2693,122	0,905	2793,356	2766,289	0,969	Oke
3	3371,401	3335,290	1,071	3482,234	3443,367	1,116	Oke
2	3865,924	3827,073	1,005	3987,743	3946,101	1,044	Oke
1	4169,593	4131,674	0,909	4279,995	4238,718	0,964	Oke

Setelah melepas momen balok terbesar maka diizinkan untuk menggunakan faktor redundansi sebesar 1. Dengan mengubah faktor redundansi sebesar 1 maka akan mengakibatkan batas izin simpangan antar tingkat menjadi lebih besar maka simpangan

yang terjadi berdasarkan SNI 1726:2019 masih dibawah nilai batas izin simpangan. Berikut adalah grafik mengenai simpangan antar tingkat dengan menggunakan faktor redundansi = 1 yang disajikan pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Grafik Story Drift SNI 1726:2012



Gambar 10. Grafik Story Drift SNI 1726:2019

Berdasarkan Gambar 9 dan 10 dengan menggunakan faktor reduksi sebesar 1 maka tidak terjadi simpangan yang melebihi batas izin simpangan untuk semua tingkat baik dengan acuan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019.

Pengaruh P-Delta (P-Delta Effect)

P-Delta Effect berhubungan langsung mengenai kestabilan struktur. Adapun batas koefisien stabilitas tidak boleh melebihi dari perhitungan Per.8. Adapun contoh perhitungan nilai pengaruh P-Delta pada lantai 2 arah X sebagai berikut.

$$\theta = \frac{Px\Delta I_e}{VxhsxCd}$$

$$\theta = \frac{32669,40 \times 23,375 \times 1,5}{3296,05 \times 4200 \times 5,5}$$

$$\theta = 0,0150$$

Dengan batas koefisien stabilitas:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta Cd}$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{1 \times 5,5}$$

$$\theta_{max} = 0,0909$$

Berikut adalah rekapitulasi mengenai stabilitas struktur yang disajikan pada Tabel 17 dan 18.

Tabel 17. Pemeriksaan Nilai *P-Delta Effect* Berdasarkan SNI 1726:2012

Lantai	Arah X			Arah Y		
	θ	θ_{max}	Status	θ	θ_{max}	Status
Atap	0,0013	0,0909	Stabil	0,0009	0,0909	Stabil
5	0,0028	0,0909	Stabil	0,0034	0,0909	Stabil
4	0,0091	0,0909	Stabil	0,0086	0,0909	Stabil
3	0,0150	0,0909	Stabil	0,0139	0,0909	Stabil
2	0,0150	0,0909	Stabil	0,0145	0,0909	Stabil
1	0,0063	0,0909	Stabil	0,0058	0,0909	Stabil

Tabel 18. Pemeriksaan Nilai *P-Delta Effect* Berdasarkan SNI 1726:2019

Lantai	Arah X			Arah Y		
	θ	θ_{max}	Status	θ	θ_{max}	Status
Atap	0,0011	0,0909	Stabil	0,0008	0,0909	Stabil
5	0,0024	0,0909	Stabil	0,0030	0,0909	Stabil
4	0,0077	0,0909	Stabil	0,0074	0,0909	Stabil
3	0,0127	0,0909	Stabil	0,0119	0,0909	Stabil
2	0,0128	0,0909	Stabil	0,0125	0,0909	Stabil
1	0,0054	0,0909	Stabil	0,0051	0,0909	Stabil

Berdasarkan tabel rekapitulasi diatas menunjukan bahwa gedung UPQ Zona Literasi untuk semua lantai memiliki nilai koefisien stabilitas (θ) $\leq$ koefisien stabilitas maksimal (θ_{max}) sehingga gedung tersebut dapat dikatakan stabil sesuai SNI 1726:2019.

Kesimpulan

1. Ketidakberaturan struktur yang terjadi pada gedung UPQ Zona Literasi memiliki kesamaan yaitu terjadi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 2 baik berdasarkan SNI 1726:2012

dan SNI 1726:2019. Walaupun memiliki tipe ketidakberaturan struktur yang sama namun terjadi peningkatan nilai *displacement*, nilai gaya yang bekerja pada struktur serta kekakuan struktur.

2. Nilai gaya geser dasar terjadi peningkatan berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019. Peningkatan tersebut sebesar sebesar 43,70% yang dipengaruhi oleh parameter percepatan respons spektral yang meningkat pada SNI 1726:2019.

3. Nilai simpangan antar tingkat yang terjadi di gedung UPQ Zona Literasi berdasarkan SNI 1726:2019 terjadi peningkatan simpangan untuk X dengan rerata peningkatan sebesar 43,93% dan arah Y dengan rerata peningkatan sebesar 45,95% terhadap SNI 1726:2012. Berdasarkan SNI 1726:2012 nilai simpangan antar tingkat masih di bawah batas simpangan antar tingkat izin untuk arah X dan Y. Sedangkan berdasarkan SNI 1726:2019 terjadi simpangan antar tingkat yang melebihi batas izin simpangan yaitu pada lantai 2 dan 3 untuk arah X dan Y serta lantai 4 untuk arah X. Akan tetapi dengan menggunakan faktor reduksi sebesar 1 tidak terjadi simpangan yang melebihi batas izin baik berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019.
4. Pengaruh P-delta memiliki nilai koefisien stabilitas di bawah nilai koefisien stabilitas maksimum untuk semua tingkat berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019, sehingga gedung UPQ Zona Literasi tergolong stabil.

Daftar Pustaka

- Arrofi, A. (2022). *(Evaluation Of Upper Structure Of Uii Hospital Building Based On SNI 1726:2019)*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 1726:2012 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 1727:2013 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*.
- BMKG. (2025). *Katalog Gempabumi Signifikan & Merusak* (Cetakan Pertama). Direktorat Gempabumi dan Tsunami Kedeputan Bidang Geofisika Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan* (1 ed.). Pustaka Pelajar.
- Prasetyo, A., Effendi, M. M., & Dwi M, M. N. (2023). Analisis Gempa Bumi Di Indonesia Dengan Metode Clustering. *Bulletin of Information Technology (BIT)*, 4(3), 338–343. <https://doi.org/10.47065/bit.v4i3.820>
- Purba, S. M. (2024). Evaluasi Story Drift Pada Struktur Gedung Perkantoran 5 Lantai Dengan SAP2000. *KoNTekS Ke-18*, 6.
- Purnomo, E., Purwanto, E., & Supriyadi, A. (2014). Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus : Bangunan Hotel Di Semarang). *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 569–576.
- Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, & Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral. (2023, Maret 13). *Karakteristik Sesar Cimandiri & Potensi Gempabumi Studi Kasus Daerah Sukabumi – Jawa Barat*. Fokus Grup Discussion (FDG), Sukabumi.
- Simamora, J., Wibowo, L. S. B., Purwanto, D., & Ray, N. (2020). Analisis Perpindahan Lateral Struktur Beton Bertulang Pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidak Beraturan Horizontal. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, 3(1), 19–23. <https://doi.org/10.25139/jprs.v3i1.2436>
- Soehaimi, A. (2011). *Seismotektonik Jawa Barat dan mikrozonasi potensi bencana gempa bumi DKI Jakarta*. Badan Geologi.