

PERBANDINGAN PERANCANGAN GEDUNG TAHAN GEMPA DENGAN MENGGUNAKAN SNI 1726 TAHUN 2002, 2012, DAN 2019

Passa Azam Kallakus

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: passa.azam@gmail.com

Yogie Risdianto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: yogierisdianto@unesa.ac.id

Abstrak

Perkembangan dan pembaruan SNI 1726 tentang ketahanan gempa untuk bangunan gedung di Indonesia (SNI 03-1726-2002, SNI 1726:2012, dan SNI 1726:2019) masih lambat jika dibandingkan ASCE 7. Oleh karena itu percepatan pembaruan SNI 1726 perlu diiringi dengan kajian-kajian akademis.

Jenis penelitian adalah komputasi, analisis eksperimental. Penelitian ini akan membandingkan model bangunan gedung menggunakan SNI 1726 tahun 2002, 2012, dan 2019. Beban dinamis/gempa yang berbeda akan membandingkan analisa dan respon struktur. Model bangunan adalah gedung Biz Square Apartement (Tower A). Gedung tersebut berlokasi di Surabaya dengan 17 tingkat dan dilatasi struktur.

Hasil penelitian menampilkan perbandingan beban luar, gaya dalam, dan perilaku struktur. Spektrum respons desain yang paling signifikan adalah model 2019, diikuti 2012 dan 2002. Gaya dasar yang paling signifikan adalah model 2002, diikuti 2019 dan 2012. Hal tersebut dipengaruhi oleh periode ulang dan pemutakhiran peta gempa yang berbeda. Gaya dalam (gaya aksial (N), gaya geser (V), dan momen (M)) selaras dengan beban luar dinamis yang bekerja (gaya geser dasar). Gaya dalam elemen kolom dan balok yang paling signifikan pada model 2002, diikuti 2019 dan 2012. Perilaku struktur (perpindahan (δ) dan simpangan antar lantai (Δ)) tidak selaras dengan gaya geser dasar. Perilaku struktur dengan hasil paling signifikan pada model 2019, diikuti 2012 dan 2002. Hasil tersebut diakibatkan oleh perpindahan (δ) pada model 2002 tidak diperhitungkan faktor skala. Simpangan antar lantai (Δ) pada semua model memenuhi batas ijin (Δ_a), sedangkan model 2019 paling mendekati batas ijin (Δ_a). Hal tersebut menunjukkan SNI 1726:2019 lebih ketat dalam perencanaan beban gempa.

Kata Kunci: Ketahanan gempa, SNI 1726, ASCE/SEI 7, Perpindahan, Simpangan antar lantai

Abstract

The development and renewal of SNI 1726 regarding earthquake resistance for buildings in Indonesia (SNI 03-1726-2002, SNI 1726:2012, and SNI 1726:2019) are still slow when compared to ASCE 7. Therefore, the acceleration of updating SNI 1726 needs to be accompanied by academic studies.

This type of research is computational, experimental analysis. This study will compare building models using SNI 1726 in 2002, 2012, and 2019. Different dynamic/earthquake loads will compare structure analysis and story response. The building model is the Biz Square Apartement (Tower A) building. The building is located in Surabaya with 17 stories and dilated structure.

The results show the comparison of loads, forces, and story response. The most significant design response spectrum is the 2019 model, followed by 2012 and 2002. The most significant base shear is the 2002 model, followed by 2019 and 2012. That is influenced by different return periods and updated of seismic hazard maps. Forces (axial force (N), shear (V), and moment (M)) that are consistent with dynamic load (base shear). The most significant forces in column and beam elements in the 2002 model were followed by 2019 and 2012. The story response (displacement (δ) and story drift (Δ)) that not consistent with base shear. The most significant story response results in the 2019 model were followed by 2012 and 2002. These results were caused by displacement (δ) in the 2002 model scale factor is not calculated. The story drift (Δ) in all models is by allowable story drift (Δ_a), while the 2019 model the closest with allowable story drift (Δ_a). This show stricter SNI 1726:2019 in seismic load design.

Keywords: Seismic resistance, SNI 1726, ASCE/SEI 7, Displacement, Story drift

PENDAHULUAN

Indonesia secara geografis terletak pada pertemuan tiga lempang tektonik utama yaitu lempeng benua

Eurasia (dimana sebagian wilayah Indonesia berada), lempeng benua Indo-Australia, dan lempeng samudra Pasifik serta lempeng laut Filipina. Pergerakan lempeng

saling menjauhi atau saling mendekati, saling bergeser kadang menjadi macet dan terkunci sehingga terjadi pengumpulan energi secara terus menerus. Lempeng tektonik yang telah tidak sanggup menopang energi tersebut akan melepaskan energi secara mendadak sebagai peristiwa getaran bumi yaitu gempa bumi (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, t.thn.).

Kebutuhan kitab undang-undang (*code*) atau standar terkait gempa bumi ditindaklanjuti pemerintah Republik Indonesia melalui Badan Standardisasi Nasional/BSN dengan menetapkan Standar Nasional Indonesia/SNI. Berdasarkan artikel pada situs BSN, bahwa BSN telah menetapkan 4 SNI yang terkait gempa bumi yaitu SNI dengan nomor 1726 (ketahanan gempa untuk bangunan gedung), 3890.2.6 (klasifikasi kondisi lingkungan-getaran dan kejut gempa-bumi), 6186.21.1 (relai listrik-pengujian gempa), & 2833 (ketahanan gempa untuk jembatan) (Badan Standardisasi Nasional, 2009).

Perkembangan standar tentang ketahanan gempa di Indonesia terjadi bertahap dari SNI 03-1726-1989, SNI 03-1726-2002, SNI 1726:2012, dan terkini SNI 1726:2019. Rentang waktu pembaruan secara berurutan adalah 13 tahun, 10 tahun, dan 7 tahun. Pembaruan signifikan terhadap acuan non SNI terjadi pada penetapan SNI 1726:2012 yaitu peralihan dari acuan *National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) & Uniform Building Code (UBC)* menjadi *American Society of Civil Engineers 7 (ASCE 7)* yang digunakan hingga pembaruan terkini. Perkembangan tersebut rutin dan semakin cepat 3 tahun pada pembaruan SNI 1726 di Indonesia rata-rata diperbarui sekali dalam 10 tahun. Hal tersebut masih lambat jika dibandingkan ASCE 7 rata-rata diperbarui setiap 4 tahun dan paling lama 6 tahun sejak versi pertama pada tahun 1988.

Percepatan pembaruan SNI 1726 di Indonesia mengejar ketertinggalan dan perlu diiringi dengan kajian-kajian akademis serta implementasi praktisi secara terus menerus. Penelitian yang akan dilakukan adalah bentuk kajian akademis terhadap perkembangan standar tentang ketahanan gempa di Indonesia, khususnya yang diatur pada SNI 1726 tentang ketahanan gempa untuk gedung.

Perkembangan standar tentang ketahanan gempa yaitu SNI 03-1726-2002, SNI 1726:2012, dan SNI 1726:2019 menggunakan data masukan dan proses perancangan beban gempa yang berbeda, sehingga diperkirakan memiliki hasil respon struktur yang berbeda. Berdasar pada hal tersebut penelitian ini akan membandingkan hasil respon struktur dari model bangunan gedung yang menerapkan 3 standar yang berbeda.

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan beban luar yang terjadi pada struktur gedung menggunakan SNI 03-1726-2002, SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019?

2. Bagaimana perbandingan gaya dalam yang terjadi pada struktur gedung menggunakan SNI 03-1726-2002, SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019?

3. Bagaimana perbandingan perilaku struktur yang terjadi pada struktur gedung menggunakan SNI 03-1726-2002, SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019?

Tujuan penelitian dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan perbandingan beban luar yang terjadi pada struktur gedung menggunakan SNI 03-1726-2002, SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019;

2. Mendapatkan perbandingan gaya dalam yang terjadi pada struktur gedung menggunakan SNI 03-1726-2002, SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019;

3. Mendapatkan perbandingan perilaku struktur yang terjadi pada struktur gedung menggunakan SNI 03-1726-2002, SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019.

Manfaat penelitian dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Mahasiswa

Mahasiswa mendapatkan ilmu dan wawasan tentang perkembangan standar ketahanan gempa di Indonesia, khususnya yang diatur pada SNI 1726 tentang ketahanan gempa untuk gedung.

2. Bagi Praktisi

Praktisi mendapatkan informasi praktis/penggunaan tentang perkembangan standar ketahanan gempa di Indonesia, khususnya yang diatur pada SNI 1726 tentang ketahanan gempa untuk gedung.

3. Bagi Akademisi

Akademisi mendapatkan referensi penelitian tentang perkembangan standar ketahanan gempa di Indonesia, khususnya yang diatur pada SNI 1726 tentang ketahanan gempa untuk gedung.

Batasan penelitian dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan model struktur berdasar pada struktur bangunan gedung Apartemen Biz Square (Tower A) yang dimodifikasi;

2. Perancangan beban kerja pada model struktur berdasar pada SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain;

3. Pembebanan tidak memperhitungkan beban angin, beban hujan, dan beban salju;

4. Perancangan tidak memperhitungkan struktur bawah;

5. Analisis struktur menggunakan perangkat lunak yaitu aplikasi/program perhitungan analisa struktur (Etabs).

Asumsi penelitian dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis tanah pada lokasi gedung adalah tanah lunak;

2. Sistem penahan gaya gempa adalah sistem rangka pemikul momen khusus.

METODE

Pendekatan yang digunakan adalah studi kasus. Studi kasus dilakukan dengan model yang dibuat peneliti dengan perbedaan perlakuan berdasar pada SNI 1726 yang ditinjau. SNI 1726 yaitu tahun 2002, 2012, dan 2019.

Jenis penelitian adalah penelitian komputasi, analisis eksperimental. Penelitian dilakukan dengan membuat model bangunan pada aplikasi/perangkat lunak analisis struktur yang menerapkan kasus pembebanan berbeda sesuai SNI 03-1726-2002, SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019. Analisis struktur dilakukan untuk mendapatkan perbandingan data hasil respon struktur.

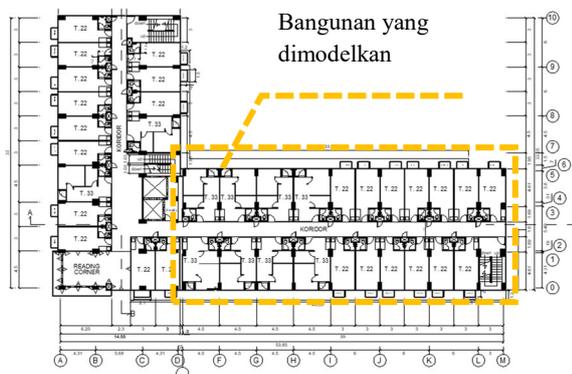
Penelitian menggunakan gambar kerja pelaksanaan proyek gedung Biz Square Apartemen (Tower A). Gedung tersebut berlokasi di Jln. K. Abdul. Karim No. 37 s.d. 39, Surabaya dengan luas bangunan sebesar 8923,2 m² dan jumlah tingkat sebanyak 17 lantai. Informasi yang didapatkan adalah konfigurasi struktur gedung (denah, jarak portal, tinggi antar lantai, panjang lebar, dll.) dan properti serta dimensi elemen struktur (mutu, panjang, lebar, tebal, dll.).

1. Konfigurasi Struktur

Nama Bangunan : Biz Square Apartemen (Tower A)
 Jenis Bangunan : Apartemen
 Lokasi Bangunan : Kota Surabaya
 Jenis Tanah : Tanah Lunak
 Tingkat Bangunan : 17 lantai
 Tinggi Bangunan : 51,0 meter
 Panjang Bangunan : 39,0 meter
 Lebar Bangunan : 14,3 meter
 Sistem Struktur : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus untuk Beton Bertulang

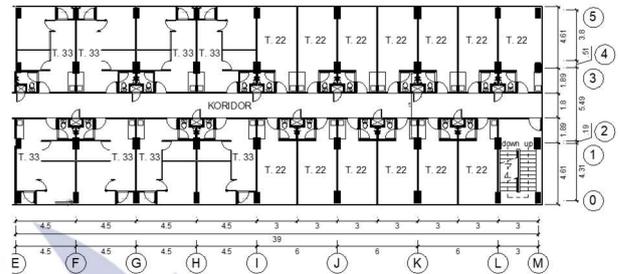
2. Properti dan Dimensi Struktur

Dimensi Elemen Struktur : Lihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.
 Mutu Beton (f'c) : 25 MPa (K-300)
 Mutu Baja (fy) : 240 MPa (Tulangan Polos) 390 MPa (Tulangan Ulir)



Gambar 1. Denah Biz Square Apartemen Lantai 2 s.d. 15 (Sumber: Data Proyek)

Gedung Biz Square Apartemen (Tower A) memiliki 2 bangunan gedung yang berdampingan membentuk huruf L dan dipisahkan oleh dilatasi. Dilatasi umum digunakan pada bangunan yang rumit atau asimetris seperti bentuk huruf T, L, U, dan lain sebagainya. Bagian gedung yang digunakan pada penelitian ini adalah gedung bagian utara atau bisa dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 2. Denah Biz Square Apartemen Lantai 2 s.d. 15 yang digunakan untuk Permodelan (Sumber: Data Proyek)

Penelitian ini membandingkan hasil respon struktur dari permodelan bangunan (struktur gedung dan pembebanan statis) yang sama dengan pembebanan dinamis akibat gempa yang berbeda berdasar tiga versi standar/ketentuan yang berbeda. Model bangunan dengan pembebanan dinamis akibat gempa masing-masing adalah model 1 sesuai SNI 03-1726-2002, model 2 sesuai SNI 1726:2012, dan model 3 sesuai SNI 1726:2019.

Tabel 1. Dimensi Elemen Struktur Kolom

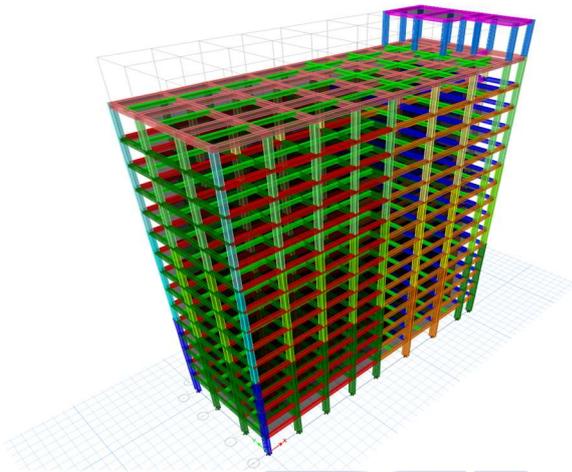
Kode	Tingkat Lantai	Dimensi	
		Lebar, B mm	Tinggi, H mm
K2	Lt. TR	400	500
K3	Lt. 2 - 5	400	800
	Lt. 6 - 10	400	600
	Lt. 11 - TR	400	600
K4	Lt. 2 - 5	400	800
	Lt. 6 - 10	400	700
K5	Lt. 11 - TR	400	600
	Lt. 2 - 5	500	900
	Lt. 6 - 10	400	700
K6	Lt. 11 - TR	400	600
	Lt. 2 - 5	500	900
	Lt. 6 - 10	400	700

(Sumber: Data Proyek)

Tabel 2. Dimensi Elemen Struktur Balok

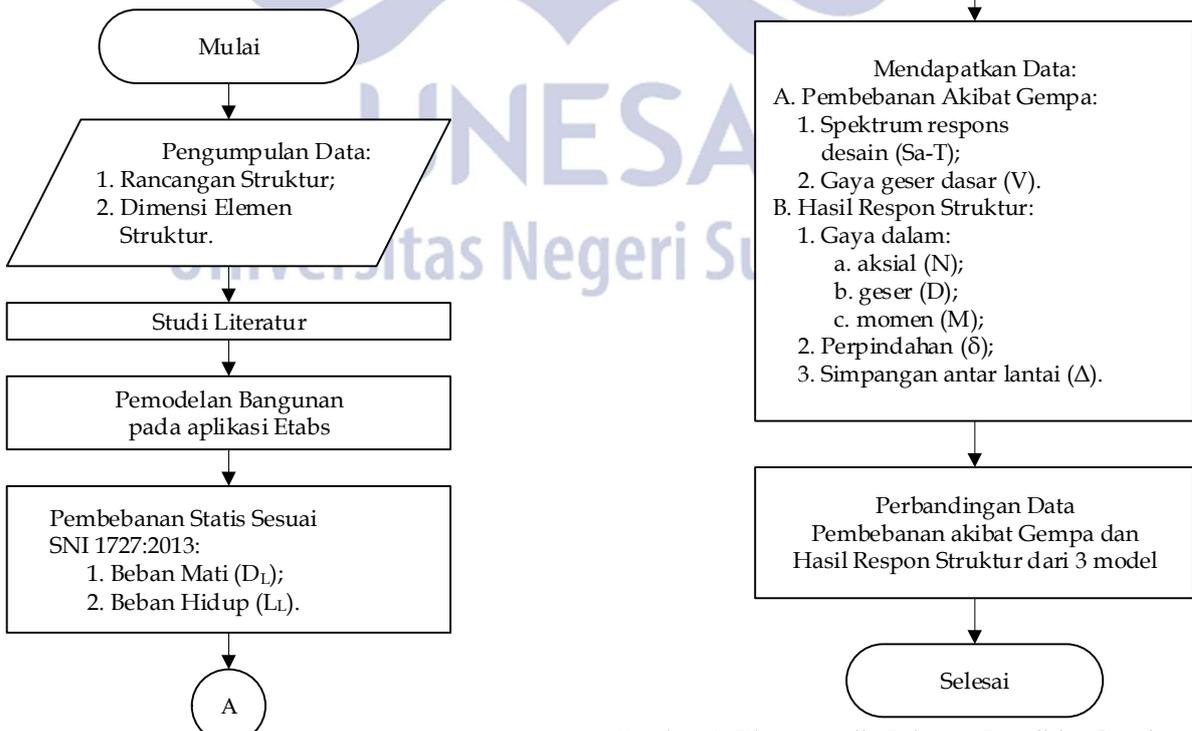
Kode	Tingkat Lantai	Dimensi	
		Lebar, B	Tinggi, H
		mm	mm
BM1B	Lt. 2 - 15	350	500
BM2	Lt. 2 - 15	350	500
BT	Lt. 2 - RT	400	550
BML1	Lt. 2 - 15	350	500
BML2	Lt. 2 - 15	350	500
BA1	Lt. 2 - TR	250	400
BMA	Lt. RT	400	550
BL	Lt. TR	200	400

(Sumber: Data Proyek)



Gambar 3. Tampilan 3D Model Struktur

Tahapan-tahapan penelitian ditampilkan pada diagram alir dan dapat dilihat pada Gambar 4. Rincian tahapan-tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Gambar 4. Diagram Alir Tahapan Penelitian [Lanjutan]

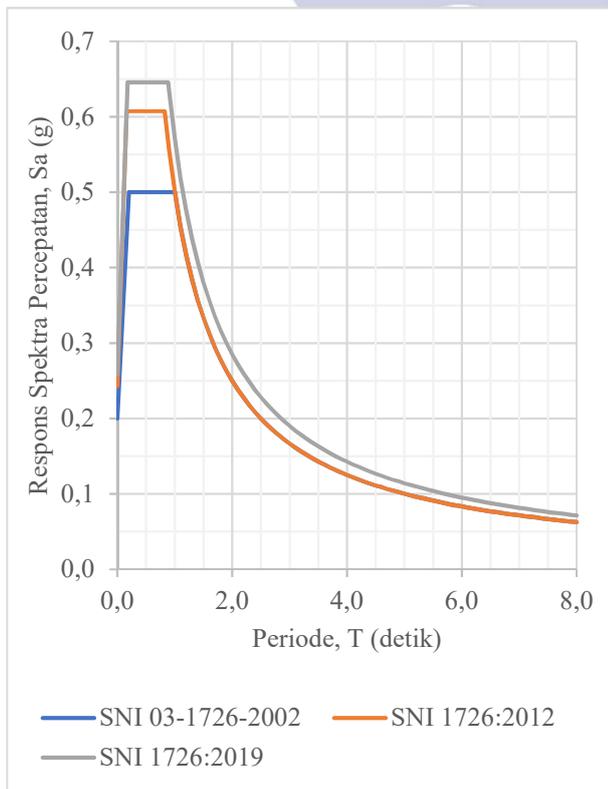
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perbandingan Data Pembebanan akibat Gempa

1. Spektrum Respos Desain (C-T atau Sa-T)

Spektrum respons desain dihitung dari masing-masing standar yaitu SNI 03-1726-2002, SNI 1726:2012, dan SNI 1726:2019. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 3. Nilai yang menunjukkan spektrum respons desain paling signifikan adalah SNI 1726:2019 diikuti oleh SNI 1726:2012, dan SNI 03-1726-2002. Nilai Respons spektra percepatan (S_a) periode awal dan puncak meningkat untuk setiap periode 21% untuk tahun 2002 ke 2012 dan 6% untuk tahun 2012 ke 2019).

Perbedaan hasil spektrum respons desain dipengaruhi dengan parameter dasar perhitungan spektrum respons percepatan setiap SNI yang berbeda. Parameter tersebut adalah peta percepatan puncak batuan dasar yang berdasar periode ulang berbeda dan pemutakhiran pada analisis probabilitas bahaya gempa (*probability seismic hazard analysis/PSHA*). Periode ulang dan data pemutakhiran berbeda akan menghasilkan hasil respons spektra percepatan berbeda. Periode ulang peta percepatan puncak batuan dasar pada masing-masing ketentuan adalah periode ulang 500 tahun untuk SNI 1726:2002, periode ulang 50 tahun untuk SNI 1726:2012 dari Peta Gempa Tahun 2010, dan periode ulang 50 tahun untuk SNI 1726:2019 dari Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)



Gambar 5. Perbandingan Spektrum Respons Desain

Tabel 3. Nilai Respons Spektrum Desain

Parameter	Satuan	Peraturan Gempa/ SNI 1726		
		2002	2012	2019
Parameter Spektrum Respons Percepatan				
S_{DS} atau A_m	g	0,50	0,61	0,65
S_{D1} atau A_r	g	0,50	0,50	0,57
Periode				
T_0	dtk	0,20	0,16	0,18
T_s atau T_c	dtk	1,00	0,82	0,88
T_L	dtk	-	-	20,00
Spektrum Respons Desain				
S_a atau C^a	g	0,20	0,24	0,26
S_a atau C^b	g	0,20	0,24	0,26
		s.d. 0,50	s.d. 0,61	s.d. 0,65
S_a atau C^c	g	0,50	0,61	0,65
S_a atau C^d	g/T	0,50	0,50	0,57
S_a atau C^e	g.dtk /T ²	-	-	11,4
Keterangan:				
Parameter Spektrum Respons Percepatan (S_D):				
Periode Pendek 0,2 detik		(S_{DS} atau A_m)		
Periode 1 detik		(S_{D1} atau A_r)		
Periode (T):				
Periode Puncak		(T_0)		
Periode Sudut		(T_s atau T_c)		
Periode Panjang		(T_L)		
Spektrum Respons Desain (S_a atau C_a):				
^a Periode Awal		(T = 0 detik)		
^b Periode Pendek		(0 detik < T < T_0)		
^c Periode Puncak		($T_0 \leq T \leq T_s$ atau T_c)		
^d Periode Sudut		(T_s atau $T_c < T \leq T_L$)		
^e Periode Panjang		($T_L < T$)		

2. Periode Fundamental

Periode fundamental struktur dihitung dari masing-masing standar yaitu SNI 03-1726-2002, SNI 1726:2012, dan SNI 1726:2019. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Periode Fundamental Struktur

Periode	Notasi	Peraturan Gempa/ SNI 1726 (detik)		
		2002	2012	2019
Analisis Etabs	T_{Etabs}	2,143	2,143	2,143
Pendekatan/ Hitung	T_a atau T_R	0,801	1,604	1,604
Batas Maksimum	C_u atau T_{max}	3,230	2,246	2,246
Digunakan	T atau T_1	0,801	2,143	2,143

3. Kontrol Partisipasi Massa

Analisis jumlah ragam cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model (SNI 1726:2019 mensyaratkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 persen sebagai alternatif diijinkan paling sedikit 90 persen). Nilai Partisipasi Massa dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Partisipasi Massa Ragam Terkombinasi untuk Kontrol Partisipasi Massa

SNI 1726	Penjumlahan Respons Ragam			
	Jumlah Ragam	Arah		Batas Minimal
		Modal	X	
2002	33	94,2%	90,6%	90%
2012	33	94,2%	90,6%	90%
2019	33	94,2%	90,6%	90%

4. Kontrol Kombinasi Respons untuk Geser Dasar Ragam

Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih besar dari syarat persentase gaya geser dasar statik (V atau V_1). Syarat masing-masing SNI 03-1726-2002, SNI 1726:2012, dan SNI 1726:2019 secara berurutan adalah 80%, 85%, dan 100%. Hasil analisis untuk kontrol kombinasi respons dapat dilihat pada Gambar 6. Geser dasar ragam atau gaya geser dasar dinamik (V_t) yang belum memenuhi syarat persentase gaya geser dasar statik (V atau V_1) harus dikalikan skala gaya sehingga memiliki nilai yang sesuai.

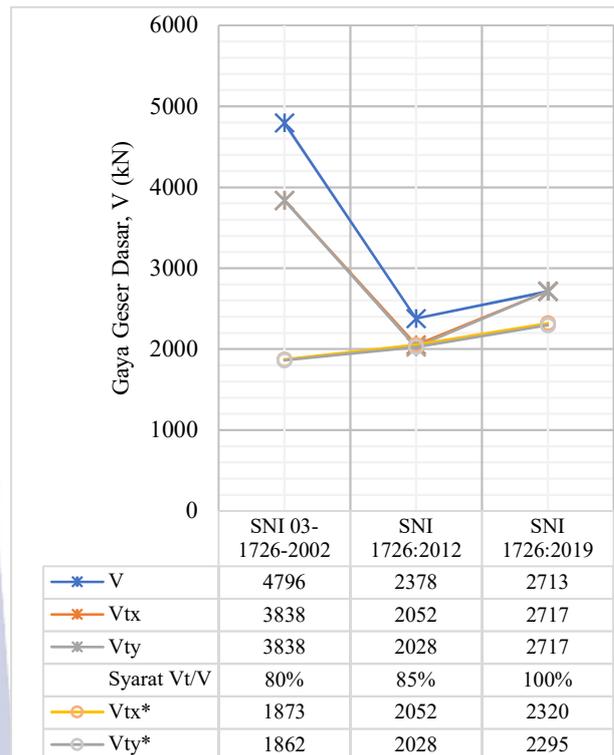
5. Gaya Geser Dasar (V)

Gaya geser dasar sebelum koreksi (sesuai model awal pada program analisis) didapatkan geser dasar ragam atau gaya geser dasar dinamik (V_t) yang terus meningkat pada tiap periode ketentuan. Peningkatan tersebut relevan dengan peningkatan pada grafik spektrum respons desain pada Gambar 5 sebagai fungsi yang digunakan untuk beban dinamis/gempa pada program analisa struktur.

Gaya geser dasar statik (V atau V_1) yang paling signifikan adalah tahun 2002 diikuti tahun 2019 dan 2012. Hal tersebut disebabkan periode fundamental struktur tahun 2002 yang menggunakan rumus Rayleigh yang berdasar berat struktur tahun 2012 dan 2019 menggunakan tinggi struktur dan koefisien pendekatan dari tipe struktur yang digunakan.

Gaya geser dasar memperhitungkan faktor skala/skala gaya jika tidak memenuhi syarat. Faktor skala/skala gaya sesuai ketentuan masing-masing

sehingga didapatkan hasil paling signifikan adalah tahun 2002 diikuti tahun 2019 dan 2012.



*sebelum koreksi dengan skala gaya

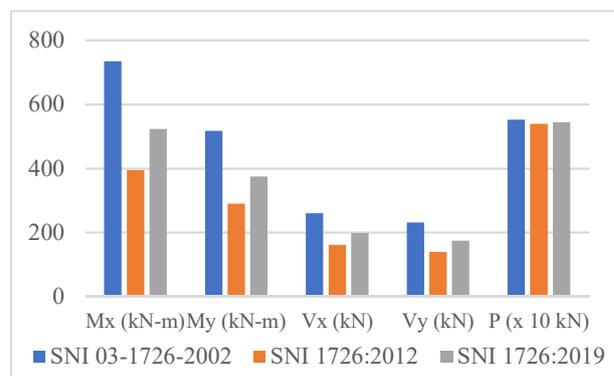
Gambar 6. Perbandingan Gaya Geser Dasar (V)

B. Perbandingan Data Hasil Respon Struktur (Gaya Dalam)

Gaya dalam ditinjau pada elemen kolom dan balok. Hasil gaya dalam menunjukkan bahwa gaya dalam yang terjadi pada elemen kolom dan balok memiliki nilai yang selaras dengan perubahan beban luar dinamis yang bekerja (gaya geser dasar) sehingga model dengan nilai paling signifikan adalah SNI 1726:2019 diikuti dengan SNI 03-1726-2002, dan SNI 1726:2012.

1. Gaya Dalam Kolom

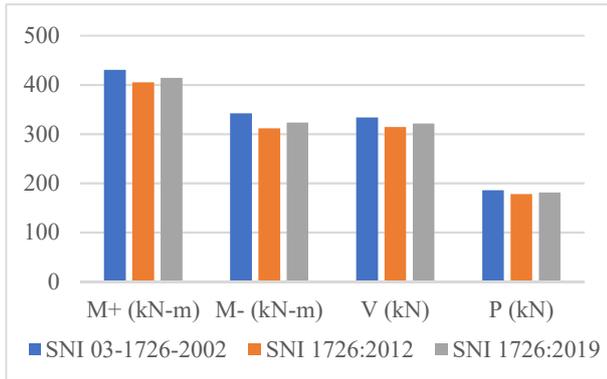
Kolom yang ditinjau adalah kolom K6 (khususnya K6a) dengan gaya dalam paling signifikan di setiap grup lantai/tingkat. Hasil dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan Gaya Dalam pada Kolom K6a

2. Gaya Dalam Balok

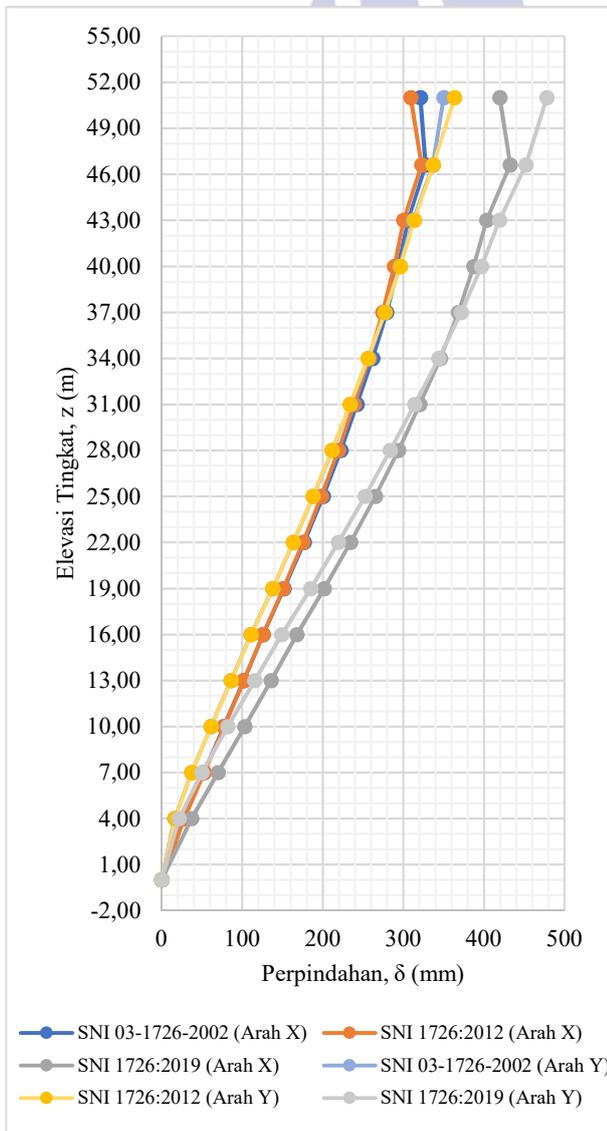
Balok yang ditinjau adalah balok BMA dengan gaya dalam paling signifikan di semua lantai/tingkat. Hasil dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan Gaya Dalam pada Balok BMA

C. Perbandingan Data Hasil Respon Struktur (Perilaku Struktur)

1. Perpindahan (δ)

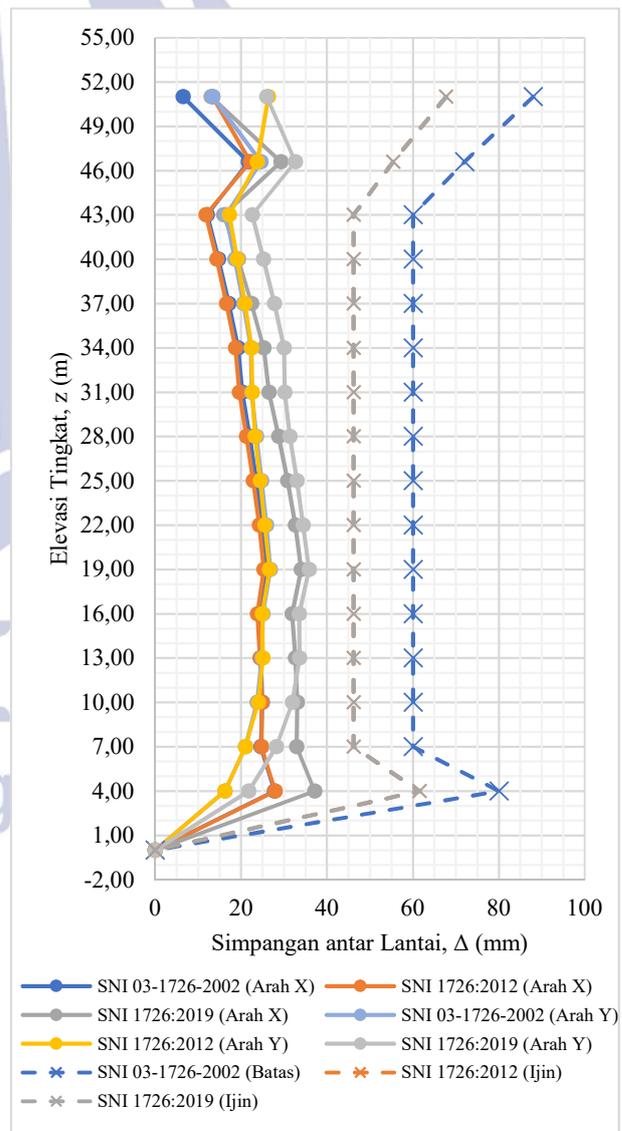


Gambar 9. Perbandingan Perpindahan (δ) pada setiap Lantai

Hasil Perpindahan yang terjadi menunjukkan bahwa perpindahan yang terjadi pada model memiliki nilai yang tidak selaras dengan perubahan beban luar dinamis yang bekerja (gaya geser dasar) sehingga model dengan perpindahan paling signifikan adalah SNI 1726:2019 diikuti dengan SNI 1726:2012 dan SNI 03-1726-2002. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.

Nilai perpindahan yang tidak selaras dengan gaya geser dasar diakibatkan oleh nilai pembesaran defleksi (C_d , SNI 1726 tahun 2012 dan 2019) atau faktor simpangan maksimum (ξ , SNI 1726 tahun 2002) yang berbeda. Hal tersebut terjadi lebih signifikan karena SNI 03-1726-2002 membagi faktor simpangan maksimum (ξ) dengan faktor skala untuk gedung tidak beraturan (> 40 m atau 10 lt.).

2. Simpangan antar Lantai (Δ)



Gambar 10. Perbandingan Simpangan antar Lantai (Δ) pada setiap Lantai

Hasil simpangan antar lantai yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 10. Hasil tersebut menunjukkan bahwa simpangan antar lantai yang terjadi pada

model memiliki nilai yang tidak selaras dengan perubahan beban luar dinamis yang bekerja (gaya geser dasar) sehingga model dengan simpangan antar lantai paling signifikan adalah SNI 1726:2019 diikuti dengan SNI 1726:2012, dan SNI 03-1726-2002.

Nilai simpangan antar lantai yang tidak selaras dengan gaya geser dasar diakibatkan oleh nilai perpindahan. Nilai perpindahan tersebut sebagai dasar perhitungan simpangan antar lantai.

Batas/ijin simpangan antar lantai maksimum (Δ_a atau Δ_{ma}) untuk SNI 03-1726-2002 memiliki nilai lebih besar dari SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 (SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 memiliki nilai yang sama). Hal tersebut karena SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 memperhitungkan faktor redundansi (ρ) sedangkan SNI 03-1726-2002 tidak memperhitungkan faktor tersebut.

Nilai simpangan antar lantai semua SNI memenuhi batas/ijin sedangkan SNI 1726:2019 lebih mendekati batas/ijin. Hal tersebut perlu dipertimbangkan karena kedua ketentuan (SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019) masih berlaku sehingga didapatkan 3 langkah evaluasi yaitu sebagai berikut:

- a. Gedung telah terbangun maka gedung termasuk bangunan tahan gempa sesuai standar yang berlaku;
- b. Gedung dalam tahap konstruksi maka perlu dievaluasi untuk diberi perkuatan penahan gaya lateral;
- c. Gedung belum terbangun maka perlu menggunakan SNI terbaru sebagai acuan perencanaan.

SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 dimana kedua ketentuan tersebut masih berlaku, hal tersebut menunjukkan bahwa SNI 1726:2019 lebih ketat.

Perkuatan pada tahap perencanaan atau penggunaan ketentuan SNI 1726:2019 (terbaru) maka bisa menggunakan sistem struktur berbeda atau jenis analisa yang berbeda. Sistem struktur berbeda ditunjukkan pada perbandingan sistem rangka pemikul momen khusus dan sistem ganda (beserta variasi) menghasilkan struktur dengan sistem ganda dengan prosentase dinding geser yang menahan gaya gempa dengan prosentase lebih besar memiliki hasil simpangan yang tidak melebihi batas ijin (Wijaya & Risdianto, 2020). Jenis analisa yang berbeda juga menunjukkan perbedaan. Perbedaan juga ditunjukkan pada struktur yang menggunakan diafragma kaku penuh (*full-rigid*), semi kaku (*semi-rigid*), dan tanpa diafragma dimana diafragma kaku penuh atau *full-rigid* memiliki nilai simpangan antar lantai terkecil daripada variasi lainnya (Prasetya & Risdianto, 2020).

PENUTUP

A. Simpulan

Simpulan penelitian dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Spektrum respons desain yang paling signifikan adalah model dengan ketentuan SNI 1726:2019 diikuti SNI 1726:2012 dan SNI 03-1726-2002 sesuai Gambar 5. Gaya geser dasar yang paling signifikan adalah model dengan SNI 1726 tahun 2002 ($V = 3838$ kN) diikuti tahun 2019 ($V = 2717$ kN) dan tahun 2012 ($V = 2052$ kN).
2. Gaya dalam yang didapatkan selaras dengan perubahan beban luar dinamis yang bekerja (gaya geser dasar). Elemen kolom dan balok didapatkan gaya dalam yang paling signifikan pada model dengan ketentuan SNI 03-1726-2002 diikuti SNI 1726:2019 dan SNI 1726:2012.
3. Perilaku struktur didapatkan cenderung meningkat pada setiap periode tahun terkini. Perilaku struktur yang paling signifikan pada model dengan ketentuan SNI 1726:2019 diikuti SNI 1726:2012 dan SNI 03-1726-2002. Hasil secara rinci adalah sebagai berikut:
 - a. Perpindahan pada SNI 03-1726-2002 tidak memperhitungkan faktor redundansi. Nilai-nilai perpindahan menjadi lebih kecil dari SNI 1726 tahun 2012 dan 2019;
 - b. Simpangan antar lantai pada model dengan semua SNI memenuhi batas/ijin (Δ_a atau Δ_{ma}) sedangkan SNI 1726:2019 yang paling mendekati batas/ijin.

B. Saran

Saran sesuai dengan hasil penelitian yang dapat ditindaklanjuti adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan gempa sesuai SNI 1726:2019 harus dicapai sehingga memenuhi ketentuan-ketentuan yang diyaratkan dalam peraturan tersebut;
2. Perkuatan struktur (bresing/dinding geser/penahan gaya lateral lainnya) untuk gaya lateral diperlukan jika gedung dalam tahap konstruksi/sudah terbangun dan ditempatkan sedemikian rupa tanpa mengurangi fungsi ruang dan estetika bangunan sehingga dapat mengurangi perpindahan dan gedung memenuhi simpangan antar lantai yang diijinkan pada SNI 1726:2019.
3. Struktur tahan gempa direncanakan sebagai struktur yang memiliki keberaturan vertikal dan/atau horizontal sehingga struktur menghasilkan perilaku struktur yang stabil. Analisis model bangunan yang memiliki ketidakberaturan vertikal dan/atau horizontal perlu ditinjau untuk melihat bagaimana perilaku struktur yang terjadi;
4. Sistem penahan gaya seismik yang digunakan sistem rangka pemikul momen (SRPM/MRFS). Sistem tersebut merupakan sistem yang umum digunakan.

Sistem penahan gaya seismik yang berbeda/selain sistem rangka pemikul momen (SRPM/MRFS) perlu ditinjau (misalkan sistem dinding penumpu, sistem rangka bangunan, sistem ganda, dan lain sebagainya).

DAFTAR PUSTAKA

- Abell, M. (2014, Juni 13). *Nonlinear*. Dipetik November 22, 2020, dari CSi Knowledge Base: <https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Nonlinear>
- American Society of Civil Engineers. (2010). *ASCE/SEI 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Virginia.
- American Society of Civil Engineers. (2017). *ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. Virginia.
- Asroni, A. (2010). *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (t.thn.). *Tentang Gempa Bumi*. Dipetik Mei 11, 2020, dari Indonesia Tsunami Early Warning System - InaTEWS: http://inatews2.bmkg.go.id/new/tentang_eq.php
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-1726-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2009, Oktober 6). *BSN telah menetapkan 4 SNI yang terkait dengan Gempa Bumi*. Dipetik Mei 11, 2020, dari Badan Standardisasi Nasional: https://bsn.go.id/main/berita/berita_det/1317/BSN-telah-menetapkan-4-SNI-yang-terkait-dengan-Gempa-Bumi
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta.
- Building Seismic Safety Council. (1997). *National Earthquake Hazards Reduction Program Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures Part 1: Provisions (FEMA 302)*. Washington, D.C.
- International Conference of Building Officials. (1997). *Uniform Building Code (Volume 2)*. California.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2014). *Undang-undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2014 tentang Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian*. Jakarta.
- Prasetya, E., & Risdianto, Y. (2020). Perbandingan Respons Struktur Tanpa Diafragma, Diafragma Semi-Rigid, Diafragma Full-Rigid pada Gedung Puncak CBD. *Rekayasa Teknik Sipil*, 2(1).
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Wijaya, W. A., & Risdianto, Y. (2020). Perbandingan Respon Struktur Gedung Puncak CBD Surabaya dengan Shear Wall Semi Rigid dan Full Rigid. *Rekayasa Teknik Sipil*, 2(1).