

Pengaruh Reduksi Kekakuan Elemen Struktur Terhadap Perilaku Struktur Bangunan Gedung Bertingkat Sedang di Kota Padang

Fajri Yusmar^{1,*}, Nevy Sandra¹, Fitra Rifwan¹, Eka Juliafad¹

Departemen Teknik Sipil, Universitas Negeri Padang, Padang¹

Koresponden*, Email: fajriyusmar@ft.unp.ac.id

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	04 Januari 2023	<i>In the latest provisions of SNI 2847 2019, it is mentioned that the moment of inertia is allowed to be reduced in elastic analysis at the factored load level. There is a potential for under-design if the stiffness used to calculate seismic loads is the reduced stiffness. This study aims to examine the influence of reduced stiffness of structural elements in determining seismic loads on the behavior of medium-rise office buildings in the city of Padang. The analysis results indicate that the reduction of structural element stiffness significantly affects the behavior of the structure. This influence can be observed in the decrease in structural period and story drift values, as well as the increase in base shear values and lateral forces at the base level. However, there is no increase in ultimate forces for reinforcement design, as during the design phase, the reduced stiffness is still used.</i>
Diperbaiki	01 September 2023	
Disetujui	11 Oktober 2023	

Keywords: SNI 2847 2019, reduced stiffness, fundamental period, base shear, drift

Abstrak

Dalam ketentuan terbaru SNI 2847 2019 disebutkan bahwa momen inersia diizinkan untuk direduksi dalam analisis elastis pada level beban terfaktor. Terdapat potensi *under design*, bila kekakuan yang digunakan dalam menghitung beban gempa adalah kekakuan yang direduksi. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh kekakuan elemen struktur tereduksi dalam penentuan beban gempa, terhadap perilaku struktur bangunan perkantoran tingkat sedang di Kota Padang. Hasil analisis menunjukkan bahwa reduksi kekakuan elemen struktur, sangat mempengaruhi perilaku struktur. Pengaruh tersebut dapat dilihat pada penurunan nilai periode struktur dan nilai story drift, serta peningkatan nilai base shear dan gaya geser dasar tingkat, akan tetapi tidak terjadi peningkatan gaya dalam ultimate untuk perencanaan tulangan, karena dalam tahap desain tetap menggunakan kekakuan yang telah direduksi.

Kata kunci: SNI 2847 2019, kekakuan yang direduksi, periode fundamental, gaya geser dasar, perpindahan.

1. Pendahuluan

Sumatera merupakan pulau terbesar ketiga di Indonesia setelah pulau Papua dan Kalimantan, yang dilewati oleh cincin api pasifik (*ring of fire*). Beberapa gempa bumi dengan magnitudo besar telah terjadi, yang dipicu oleh keberadaan sesar Sumatera yang membentang dari utara ke selatan pulau Sumatera, dan zona subduksi Sumatera dengan konvergensi kemiringan antara lempeng India-Australia dan Lempeng Eurasia [1]. Salah satu gempa besar yang pernah terjadi di Pulau Sumatera adalah gempa Padang. Padang merupakan ibu kota Provinsi Sumatera Barat yang terletak di bagian barat Pulau Sumatera. Gempa tersebut terjadi pada Tanggal 30 September 2009 dengan magnitudo momen (MW) 7,5, sedangkan pusat gempa berada di 60 km barat laut Kota Padang yang fokusnya berada pada kedalaman 81 km [2]. Adapun dampak dari gempa adalah ribuan korban jiwa dan mengakibatkan kerusakan serta kehancuran pada bangunan yang didominasi oleh struktur beton bertulang dengan panel pengisi bata dan beberapa bangunan struktur baja [3][4]. Namun demikian, saat ini Kota Padang telah mulai pulih

kembali, salah satunya ditandai dengan banyaknya bermunculan gedung-gedung bertingkat, seperti gedung perkantoran, gedung perhotelan, gedung perpustakaan, gedung pusat perbelanjaan (*mall*), dan rumah sakit. Berdasarkan data dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Kota Padang, mengenai bangunan bertingkat di Kota Padang, diketahui bahwa gedung bertingkat lebih didominasi oleh gedung dengan kategori bangunan bertingkat sedang. Menurut Peraturan Daerah (Perda) Kota Padang No 7 tahun 2015 pasal 7 ayat 7, bangunan dengan jumlah lantai melebihi 4 lantai atau lima lantai sampai dengan 8 lantai, dikelompokkan sebagai bangunan bertingkat sedang [5].

Salah satu upaya pemerintah pusat untuk mengurangi dampak dari gempa bumi terhadap bangunan infrastruktur adalah dengan selalu memperbaharui peraturan-peraturan terkait dengan perencanaan struktur bangunan [6]. Beberapa pembaharuan peraturan atau *standard* dalam perencanaan adalah peraturan terkait perencanaan ketahanan gempa untuk gedung dan non gedung, persyaratan beton struktural, spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural, dan peraturan

untuk beban desain minimum untuk bangunan gedung dan struktur lain. Untuk peraturan gempa yang berlaku saat ini adalah SNI 1726 2019 yang merupakan *update* dari peraturan SNI 1726 2012, sedangkan untuk persyaratan beton struktural saat ini adalah SNI 2847 2019 yang merupakan *update* dari SNI 2847 2013 [7]. Semua ketentuan-ketentuan dalam standar perencanaan harus diterapkan dalam perencanaan bangunan, sehingga beban pada bangunan, baik beban gravitasi atau beban lateral dapat didistribusikan ke tanah, sehingga struktur dapat memiliki kinerja yang baik saat memikul beban-beban tersebut [8].

Dalam perencanaan bangunan untuk aspek struktur, secara umum setidaknya terdapat 4 tahapan, diantaranya (1) pemodelan struktur, (2) pembebanan struktur, (3) analisis struktur dan (4) desain penampang. Salah satu faktor yang mempengaruhi hasil dalam tahapan analisis struktur adalah faktor kekakuan dari masing-masing elemen struktur. Parameter kekakuan juga dipengaruhi oleh *properties* penampang yang meliputi, luas penampang (A) dan momen inersia penampang (I), sedangkan untuk *properties* material meliputi modulus elastisitas (E) serta mutu kuat tekan untuk beton bertulang (f_c').

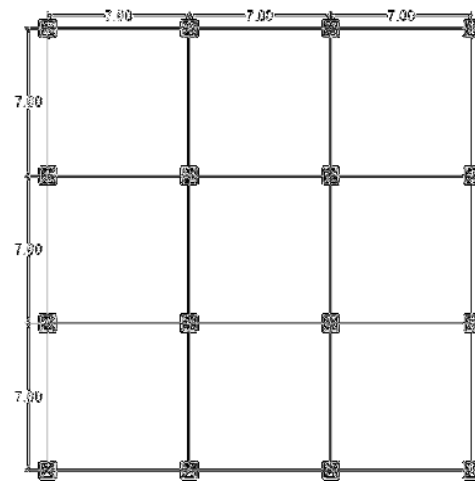
Pada SNI 2847 2013 ayat 10.10.4.1 atau peraturan terdahulu untuk perencanaan struktur beton bertulang, diketahui bahwa *properties* penampang untuk kategori momen inersia dapat direduksi nilainya, seperti untuk elemen kolom menjadi 0,7 *Inersia Gross* (I_g), elemen balok menjadi 0,35 I_g , elemen pelat dan *slab* datar menjadi 0,25 I_g [9]. Reduksi penampang dalam proses analisis struktur juga dapat mencerminkan derajat keretakan pada beton bertulang yang direpresentasikan melalui penampang efektif [10]. Hal ini tentunya akan berdampak kepada kekakuan lateral dari elemen struktur yang dihitung saat analisis struktur yang tidak lagi menggunakan inersia penampang utuh [11]. Namun demikian, dalam ketentuan terbaru yang terdapat pada judul tabel 6.6.3.-1.1 (a) SNI 2847 2019, disebutkan bahwa momen inersia dan luas penampang diizinkan untuk direduksi dalam analisis elastis pada level beban terfaktor.

Penekanan analisis elastis pada level beban terfaktor dapat memberikan pengertian, bahwa penggunaan faktor reduksi kekakuan penampang dilakukan pada tahap desain penampang. Akan tetapi, sebelum tahapan penentuan gaya dalam, pada level beban terfaktor untuk desain penampang, terlebih dahulu dilakukan penentuan besaran beban gempa rencana yang juga dipengaruhi oleh kekakuan elemen struktur. Sementara itu, seringkali dalam penentuan nilai gaya gempa rencana, perencana struktur menggunakan modifikasi kekakuan dengan mereduksi kekakuan elemen struktur, seperti yang disebutkan pada SNI 2847 2013. Dengan demikian,

terdapat potensi *under design* bilamana kekakuan yang digunakan saat penentuan besaran beban gempa adalah kekakuan yang telah direduksi. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh penggunaan kekakuan elemen struktur tereduksi saat penentuan beban gempa rencana terhadap perilaku struktur bangunan perkantoran tingkat sedang di Kota Padang.

2. Metode

Struktur yang akan dievaluasi perilakunya merupakan gedung tujuh tingkat yang terletak di atas tanah lunak. Gedung berfungsi sebagai kantor dan terletak di kota Padang dengan denah struktur berbentuk simetri. Panjang bentang arah X dan arah Y adalah 21 m, dengan jarak antar kolom 7 m. Tinggi kolom lantai 1 adalah 4,25 m, sedangkan untuk lantai 2 s.d lantai atap, tinggi antar lantainya adalah 3,25 m. Denah dan potongan struktur dapat dilihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.

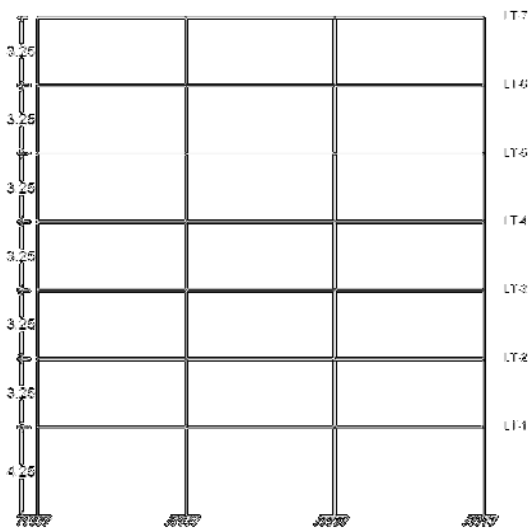


Gambar 1. Denah Struktur Gedung

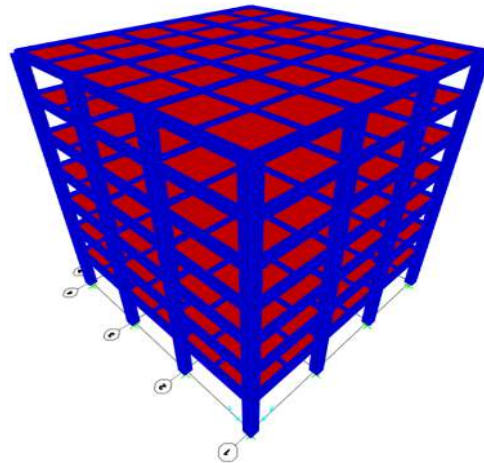
Preliminary tinggi penampang balok induk dan balok anak menggunakan pendekatan $L/10$ dan $L/14$, sedangkan untuk lebar balok diambil dari $1/2$ s.d $2/3$ tinggi balok. Dengan demikian, penampang balok induk yang digunakan adalah 600 X 400 mm dan balok anak adalah 450 X 300 mm. Pelat lantai merupakan pelat dua arah (*two-way slab*), dengan tebal pelat rencana untuk lantai 1 s.d lantai 6 adalah 130 mm, sedangkan untuk lantai atap 120 mm. Untuk *preliminary* penampang kolom dihitung menggunakan persamaan (1), dengan f_c' rencana adalah 30 MPa. Elemen kolom direncanakan menggunakan dimensi seragam dari lantai 1 s.d lantai 7 dengan dimensi 750 X 750 mm. Struktur dimodelkan dan dianalisis dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 yang terlihat pada **Gambar 3**, dengan memodelkan kolom dan balok sebagai elemen *frame* dan elemen pelat lantai dimodelkan sebagai elemen *shell*.

$$A_g = \frac{P_u}{0,3 f_{c'} } \quad (1)$$

Pembebanan gravitasi pada struktur dapat dilihat pada **Gambar 4**, yang meliputi : (A) beban mati (*dead load*) yang merupakan berat sendiri struktur dengan berat jenis beton bertulang 24 kN/m³, (B) beban mati tambahan (*superimposed dead load*) dengan nilai 1,5 kN/m² untuk lantai 1 s.d lantai 6 dan 1,0 kN/m² untuk lantai atap, dan beban dinding bata pada area perimeter sebagai beban garis dengan berat 2,5 kN/m², untuk ketinggian dinding mencapai 2,65 m, sehingga beban dinding dijadikan beban merata dengan besaran 6,625 kN/m, (C) beban hidup (*live load*) untuk perkantoran ditambah dengan beban partisi dengan nilai 3,12 kN/m² untuk lantai 1 s.d lantai 6 dan 1,0 kN/m² untuk lantai atap. Sementara itu, pembebanan lateral pada struktur yang diperhitungkan hanya beban gempa (*earthquake*) yang dapat diperoleh melalui website <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>. Untuk Kota Padang dengan kelas situs tanah lunak (SE), nilai S_s = 1,1245 g, S₁ = 0.5737 g, S_{DS} = 0,750 g dan S_{D1} 0,790 g. Berdasarkan parameter gempa tersebut, maka dapat dihasilkan grafik respon spektra desain untuk kota Padang seperti terlihat pada **Gambar 5**. Selanjutnya adalah penentuan kategori desain seismik (KDS). Berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1}, kota padang termasuk kepada KDS D, sehingga sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SPRMK), dengan paramter koefisien modifikasi respon (R) = 8, faktor kuat lebih (Ω_o) = 3, dan faktor pembesaran simpangan lateral (C_d) = 5,5. Perilaku struktur yang dilihat pengaruhnya meliputi (1) parameter dinamik struktur, (2) gaya geser dasar (*base shear*) dan geser tingkat, (3) simpangan antar tingkat, dan (4) gaya dalam serta hasil desain penampang untuk elemen kolom.



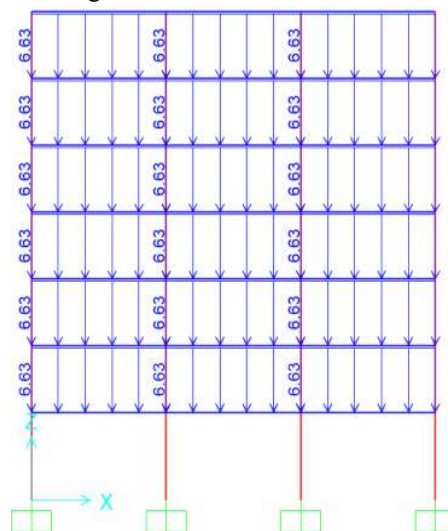
Gambar 2. Potongan Struktur



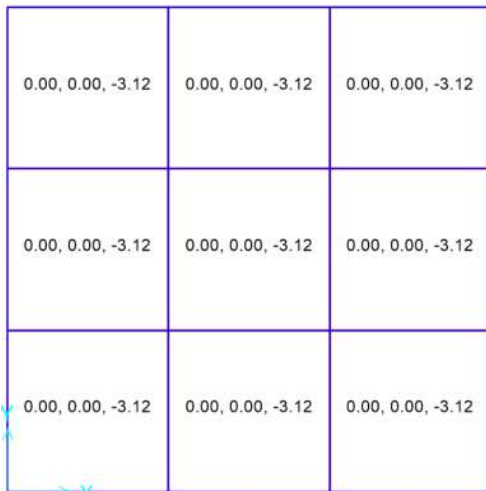
Gambar 3. Pemodelan struktur menggunakan SAP2000

0.00, 0.00, -1.50	0.00, 0.00, -1.50	0.00, 0.00, -1.50
0.00, 0.00, -1.50	0.00, 0.00, -1.50	0.00, 0.00, -1.50
0.00, 0.00, -1.50	0.00, 0.00, -1.50	0.00, 0.00, -1.50

(A) Beban mati tambahan (*Superimposed dead load*) dengan nilai 1,5 kN/m²

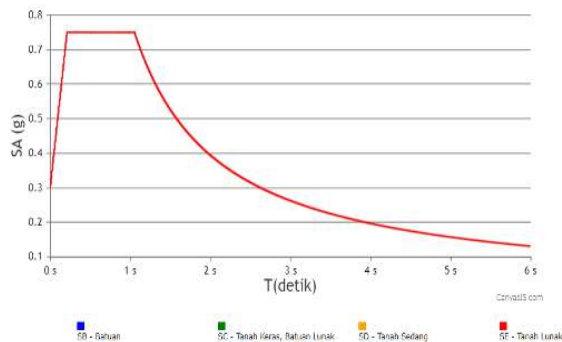


(B) Beban mati tambahan dinding (*Superimposed dead load*) perimeter dengan nilai 6,625 kN/m



(C)Beban hidup (*live load*) dengan nilai 3,12 kN/m²

Gambar 4. Pembebanan pada struktur (A), (B), (C)



Gambar 5. Spektrum respon desain kota Padang dengan kelas situs tanah lunak (SE)

Untuk parameter dinamik struktur seperti frekuensi natural (ω), periode fundamental (T), dan frekuensi struktur (f) diperoleh melalui analisis getaran bebas (*free vibration*). Faktor utama yang mempengaruhi nilai parameter dinamik tersebut adalah massa struktur dan kekakuan struktur. Untuk massa struktur atau *mass source* merupakan penjumlahan dari massa beban mati (*dead load*), beban mati tambahan (*superimposed dead load*), dan 25% beban hidup (*live load*). Selanjutnya untuk kekakuan dari elemen balok dan kolom menggunakan jenis elemen *frame* dengan menggunakan metode matrik kekakuan. Adapun matrik kekakuan untuk elemen *frame* dapat dilihat pada **Gambar 6**. Kemudian untuk nilai properties inersia dan luas penampang yang direduksi mengacu kepada tabel 6.6.3.1.1 (a) SNI 2847 2019 yang ditampilkan pada

Tabel 1.

Setelah mendapatkan nilai massa dan kekakuan struktur, maka dapat dilanjutkan ke tahapan analisis untuk mendapatkan parameter dinamik dari struktur. Adapun sistem struktur gedung ini termasuk kepada struktur dengan derajat kebebasan banyak atau *multi degree of freedom* (MDOF). Nilai parameter dinamik tersebut diperoleh melalui analisis *eigen vectors* dengan bantuan perangkat lunak (*software*) SAP2000. Akan tetapi, jika struktur tersebut merupakan struktur dengan derajat kebebasan tunggal atau *single degree of freedom* (SDOF), maka dapat dihitung dan diselesaikan menggunakan persamaan 2 s.d persamaan 4.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{2}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \tag{3}$$

$$f = \frac{1}{T} \tag{4}$$

EA/L	0	0	-AE/L	0	0
0	12EI/L ³	6EI/L ²	0	-12EI/L ³	6EI/L ²
0	6EI/L ³	4EI/L	0	-6EI/L ³	2EI/L
-EA/L	0	0	AE/L	0	0
0	12EI/L ³	-6EI/L ²	0	12EI/L ³	-6EI/L ²
0	6EI/L ³	2EI/L	0	-6EI/L ³	4EI/L

Gambar 6. Formula matrik kekakuan elemen frame

Tabel 1. Reduksi inersia dan luas penampang

Bagian dan kondisi		Momen Inersia	Luas Penampang
Kolom		0,70 Ig	
Dinding	Tidak Retak	0,70 Ig	
Dinding	Retak	0,25 Ig	1,0 Ag
Balok		0,35 Ig	
Pelat datar dan slab datar		0,25 Ig	

Gaya geser dasar seismik (*base shear*) dapat dihitung dan diperoleh menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen dan analisis spektrum respon ragam dengan persamaan dasarnya adalah persamaan 5. Untuk analisis spektrum respons ragam harus mensyaratkan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100%, persyaratan ini disebutkan pada SNI 1726 2019 pasal 7.9.1.1. Persyaratan lain mengenai penskalaan gaya, juga diatur pada SNI 1726 2019 pasal 7.9.1.4.1, yang menjelaskan bawah penskalaan gaya dilakukan apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar analisis spektrum respon ragam (Vt) kurang dari 100 % dari gaya geser prosedur lateral ekuivalen (V), maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/Vt [12]. Selanjutnya untuk mendapatkan gaya geser lateral untuk

sebarang tingkat dihitung menggunakan persamaan 6 dan persamaan 7. C_{vx} dan V adalah faktor distribusi vertikal dan gaya lateral desain total atau gaya geser di dasar struktur.

$$V = C_s W \quad (5)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_i^n w_i h_i^k} \quad (6)$$

$$F_x = C_{vx} V \quad (7)$$

Simpangan antar tingkat desain (Δ) dihitung menggunakan persamaan 8 yang terdapat pada SNI 1726 2019 pasal 7.8.6. Nilai tersebut tidak boleh lebih besar dari simpangan antar tingkat izin (Δ_a). Untuk struktur dengan kategori sistem rangka pemikul momen khusus (SPRMK) dengan kategori risiko II, nilai batasan simpangan antar tingkat adalah 0,02 h_{sx} . Khusus untuk struktur dengan KDS D, E, dan F, simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi nilai $(\Delta_a)/\rho$ untuk semua tingkat, dengan ρ merupakan faktor redundansi. Nilai C_d dan I_e sudah ditentukan sebelumnya saat menentukan sistem struktur, sedangkan nilai δ_{ex} merupakan perpindahan struktur elastik yang diperoleh dari hasil analisis struktur berdasarkan gaya gempa rencana.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{ex}}{I_e} \quad (8)$$

Setelah mendapatkan gaya dalam pada masing-masing elemen struktur, dilanjutkan dengan melakukan *sorting* gaya dalam maksimum, yang digunakan sebagai dasar dalam penentuan kapasitas penampang. Gaya dalam hanya difokuskan pada elemen kolom. Setelah merencanakan kebutuhan tulangan longitudinal pada kolom, dilanjutkan dengan pemeriksaan kapasitas melalui diagram interaksi untuk semua kombinasi pembebanan yang disyaratkan pada SNI 1726 2019 pasal 4.2.2 untuk kombinasi ultimate. Pemeriksaan kekuatan melalui diagram interaksi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SP *Column*.

3. Hasil dan Pembahasan

Pemodelan struktur terdiri dari dua model, yaitu model A dan model B. Model A merupakan struktur dengan kekakuan yang direduksi saat penentuan beban gempa rencana dan gaya dalam maksimum untuk desain penampang, sedangkan model B merupakan struktur yang tidak mengalami reduksi kekakuan dalam menentukan beban gempa rencana, dan direduksi kekakuannya saat menentukan gaya dalam maksimum untuk desain penampang. Selanjutnya dilakukan perencanaan tulangan longitudinal untuk kolom pada Model A. Hasil perencanaan pada Model A dievaluasi menggunakan gaya dalam maksimum yang diperoleh pada model B.

Setelah dilakukan perhitungan, hasil parameter dinamik struktur untuk kedua model terlihat pada **Tabel 2**. Periode fundamental struktur Model B, mengalami penurunan 17,53 %, sementara itu untuk frekuensi struktur dan frekuensi

natural mengalami kenaikan 21,26 %. Penurunan periode struktur pada model B disebabkan oleh penggunaan kekakuan yang tidak direduksi. Semakin tinggi kekakuan struktur akan meningkatkan nilai frekuensi natural dan menurunkan periode struktur seperti yang terlihat pada persamaan 2 s.d persamaan 4.

Tabel 2. Parameter dinamik Model A dan Model B

Parameter Dinamik	Satuan	Model A	Model B
1. Periode (T)	Detik	1,217	1,004
2. Frekuensi (f)	Hz	0,821	0,996
3. Frekuensi natural (ω)	rad	5,161	6,258

Selanjutnya adalah terkait dengan gaya geser dasar struktur dan gaya geser tingkat, yang dapat diperoleh setelah mendapatkan nilai periode getar struktur untuk masing-masing model terlebih dahulu. Penurunan periode struktur berdampak kepada peningkatan gaya geser dasar struktur pada model B, yang terlihat pada **Tabel 3**. *Base shear* yang diperoleh model B dengan metode statik ekuivalen mengalami peningkatan gaya geser dasar sebesar 11,56 % dan metode spektrum respon ragam mengalami peningkatan *base shear* 20,19 %. Hal ini disebabkan karena terjadinya pergeseran periode struktur model B ke arah kiri dari grafik respon spektra. Diketahui periode puncak berada pada rentang periode 0,20 s.d 1,01 detik dengan nilai percepatan struktur 0,79 g, sedangkan model A dengan periode struktur 1,217 detik atau lebih *flexible* dan memiliki nilai percepatan struktur 0,68 g. Senada juga dengan gaya geser tingkat pada model B yang mengalami peningkatan untuk setiap tingkat seperti terlihat pada **Gambar 7**.

Drift struktur pada Model B memperlihatkan struktur yang lebih kaku, sehingga nilai *drift* yang dihasilkan lebih kecil bila dibandingkan dengan Model A, sebagaimana terlihat pada **Gambar 8**. Namun demikian, dua model tersebut masih memiliki *drift* yang diizinkan sesuai dengan ketentuan *drift* maksimum tiap tingkat pada struktur. Perbedaan *drift* model A dan model B untuk tiap tingkat berkisar antara 15,13 % s.d 22,12 %. Nilai *drift* yang lebih kecil pada Model B disebabkan kekakuan struktur model B yang lebih besar dari kekakuan model A. Senada dengan persamaan umum antara kekakuan (K) terhadap gaya (F) dan perpindahan (X), $X = K/F$. Untuk gaya yang sama, kekakuan yang besar akan menghasilkan perpindahan yang lebih kecil.

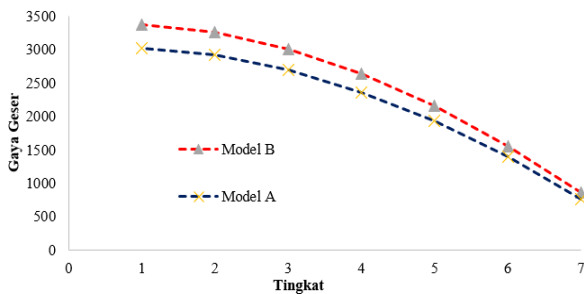
Selanjutnya gaya dalam maksimum pada model A dapat diperoleh dari hasil analisis struktur. Gaya dalam merupakan gaya dalam terbesar untuk kombinasi ultimate dapat dilihat

pada **Tabel 4**. Tulangan longitudinal direncanakan menggunakan **24 D 29** dengan persentase tulangan 2,75 %. Persyaratan tulangan longitudinal untuk struktur SRPMK adalah 1 – 6 %, sehingga syarat perencanaan masih terpenuhi. Selanjutnya adalah pemeriksaan kapasitas tulangan kolom dengan bantuan perangkat lunak SP Col. Kemudian diperoleh perbandingan kapasitas dan gaya dalam seperti terlihat pada

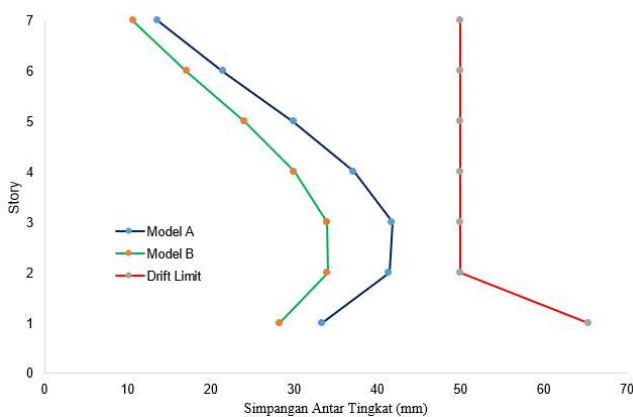
Tabel 5, dengan nilai *ratio* minimum 1,05 untuk kombinasi satu dan lima, yang juga terlihat pada diagram interaksi pada **Gambar 9**.

Tabel 3. Base shear model A dan model B

Metode	Base Shear (kN)	
	Model A	Model B
1. Statik Ekuivalen	3028.81	3379.11
2. Spektrum Respon Ragam	2317.92	2785.97



Gambar 7. Gaya geser tingkat model A dan Model B



Gambar 8. Simpangan antar tingkat model A dan model B.

Tabel 4. Gaya dalam maksimum model A

No	Gaya Dalam	P KN	M2 KN-m	M3 KN-m
1	Pmax	-4901.9	-948.5	-948.5
2	Pmin	-31.8	215.5	215.5

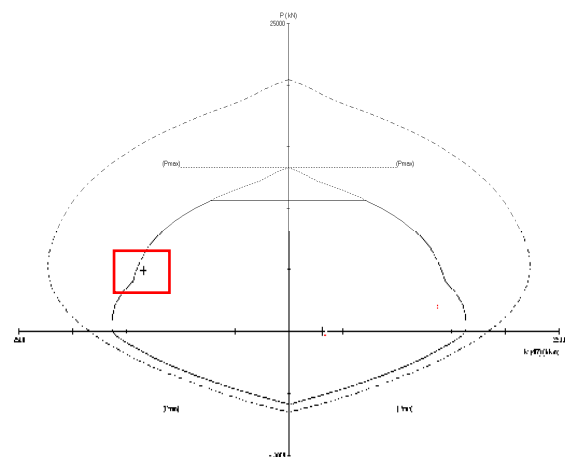
3	M2 Min	-4901.9	-953.4	-948.5
4	M2 Max	-2061.9	953.4	953.4
5	M3 Min	-4901.9	-948.5	-953.4
6	M3 Max	-2061.9	953.4	953.4

Tabel 5. Perbandingan gaya dalam dan kapasitas kolom Model A

No	phi(Mnx) kNm	phi(Mny) kNm	Phi(Mn)/Mu
1	-998.39	-998.39	1,05
2	1154.45	1154.45	5,36
3	-1000.95	-995.83	1,05
4	1137.38	1137.38	1,19
5	-995.83	-1000.95	1,05
6	1137.38	1137.38	1,19

Untuk melihat pengaruh hasil desain Model A terhadap Model B, maka selanjutnya dilakukan analisis struktur model B dengan memodifikasi kekakuan elemen kolom, setelah terlebih dahulu menentukan besaran beban gempa menggunakan kekakuan yang tidak direduksi. Berdasarkan hasil analisis struktur diperoleh gaya dalam untuk model B seperti terlihat pada **Tabel 6**. Kemudian diperoleh perbandingan kapasitas dan gaya dalam yang menggunakan hasil perencanaan pada model A, seperti terlihat pada

Tabel 7, dengan nilai *ratio* minimum 1,16 untuk kombinasi satu, tiga, dan lima yang terlihat pada diagram interaksi pada **Gambar 10**.



Gambar 9. Pemeriksaan penampang Model A.

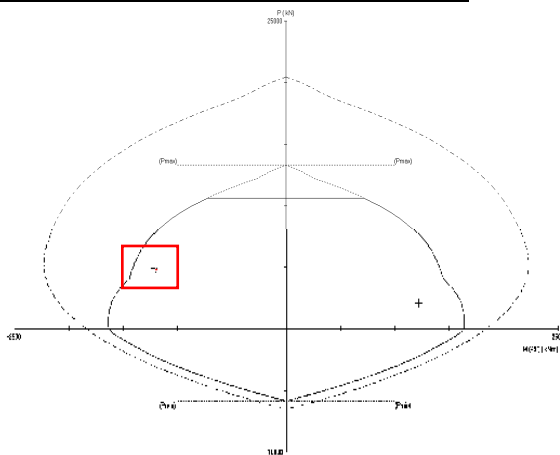
Tabel 6. Gaya dalam maksimum model B

No	Gaya Dalam	P KN	M2 KN-m	M3 KN-m
1	Pmax	-4904.5	-863.5	-858.5

2	Pmin	-35.6	43.1	203.9
3	M2 Min	-4904.5	-863.5	-858.5
4	M2 Max	-2063.2	863.5	863.5
5	M3 Min	-4904.5	-858.5	-863.5
6	M3 Max	-2063.2	863.5	863.5

Tabel 7. Perbandingan gaya dalam dan kapasitas kolom Model B

No	phi(Mnx) kNm	phi(Mny) kNm	Phi(Mn)/Mu
1	-1001.22	-995.42	1.16
2	355.79	1683.21	8.26
3	-1001.22	-995.42	1.16
4	1137.34	1137.34	1.32
5	-995.42	-1001.22	1.16
6	1137.34	1137.34	1.32



Gambar 10. Pemeriksaan penampang Model B.

Gaya dalam maksimum pada model B mengalami penurunan s.d 9,85 % bila dibandingkan dengan model A, sehingga *ratio* kapasitas dan gaya dalam mengalami peningkatan 10,47 %. Hal ini disebabkan kekakuan yang digunakan untuk mendapatkan gaya dalam pada model B, menggunakan kekakuan yang telah direduksi, sehingga periode struktur semakin membesar menjadi 1,228 detik dan nilai percepatan gempa juga berkurang menjadi 0,66 g, bila dibandingkan dengan periode saat penentuan besaran gaya gempa rencana, yaitu 1,004 detik. Meskipun gaya geser dasar gempa mengalami peningkatan bila menggunakan kekakuan tanpa direduksi, akan tetapi gaya dalam struktur yang digunakan untuk desain pada model B masih lebih kecil bila dibandingkan dengan gaya dalam struktur model A. Hal ini dapat dimaklumi karena penggunaan periode struktur saat penentuan gaya dalam adalah periode yang lebih besar, sehingga

terjadi penurunan koefisien percepatan gempa yang digunakan, bila periode strukturnya telah melewati periode puncak.

4. Simpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa reduksi kekakuan elemen struktur, sangat mempengaruhi perilaku struktur. Hal ini ditandai dengan penurunan nilai periode struktur yang berdampak kepada peningkatan nilai *base shear* dan gaya geser dasar tingkat. Sementara itu, terjadi penurunan nilai *story drift* akibat bertambahnya kekakuan dari struktur. Akan tetapi, tidak terjadi peningkatan gaya dalam ultimate untuk perencanaan tulangan, karena dalam tahap desain tetap menggunakan kekakuan yang telah direduksi.

Daftar Pustaka

- [1] R. Mulyani, R. Ahmadi, K. Pilakoutas, I. Hajirasouliha, and Taufik, "A multi-hazard risk assessment of buildings in Padang city," in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2015, pp. 1094–1100.
- [2] L. Restu, E. Juliafad, and F. Yusmar, "Evaluasi Struktur Bangunan Pasar Inpress Blok IV Gedung B dengan Metode Pushover," *CIVED (Journal of Civil Engineering and Vocational Education)*, vol. 8, no. 3, pp. 117–127, Sep. 2021.
- [3] J. Bothara *et al.*, "General observations of effects of the 30th september 2009 Padang Earthquake, Indonesia," *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, vol. 43, no. 3, pp. 143–173, 2010.
- [4] E. Juliafad and H. Gokon, "Seismic Fragility Function For Single Storey Masonry Wall RC Building In Padang City, Indonesia," *International Journal of GEOMATE*, vol. 22, no. 94, pp. 39–46, Jun. 2022.
- [5] F. Yusmar, D. Rezki, and E. Juliafad, "Parameter Dinamik Struktur Base Isolation dan Fixed Base Pada Gedung Bertingkat Sedang Di Kota Padang," *CIVED (Journal of Civil Engineering and Vocational Education)*, vol. 9, no. 2, pp. 158–165, Jun. 2022.
- [6] A. S. Nurul Sodik and R. Andayani, "Pengaruh Penerapan SNI 1726:2019 Terhadap Desain Struktur Rangka Momen Beton Bertulang Di Indonesia," *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, vol. 17, no. 1, p. 1, Jul. 2021.
- [7] W. Nugroho, A. Sagara, and I. Imran, "The Evolution of Indonesian Seismic and Concrete Building Codes From the Past to the Present," *Structure*, vol. 41, pp. 1092–1108, 2022.
- [8] F. Yusmar, A. Prita Melinda, and N. Sandra, "Studi Komparasi Perhitungan Beban Gempa Statik

- Ekuivalen Menggunakan Software SAP 2000 Dengan SNI 1726 2019,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 10, no. 2, pp. 114–123, 2021.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019),” 2019.
- [10] Sukamta Davy, “Dari Analisis Statik Linear Menuju Analisis Dinamik Non-Linear,” in *Seminar dan Pameran HAKI - 2011 “Konstruksi Indonesia Melangkah Ke Masa Depan,”* Jakarta: Haki, Oct. 2011.
- [11] W. Wangsadinata, “Pengaruh Peretakan Beton Dalam Analisis Struktur Beton,” *Seminar dan Pameran HAKI - 2007 “Konstruksi Tahan Gempa Di Indonesia,”* Seminar dan Pameran Haki, 2007.
- [12] Badan Standardisasi Indonesia, “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019),” 2019.