

Analisis Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Untuk Berbagai Variasi Tinggi Bangunan

Frans Okto Simatupang, Ruddy Kurniawan, Sabril Haris

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Indonesia
Correspondence email: fransokto99@gmail.com, ruddysipil@gmail.com

Abstrak. Indonesia termasuk negara rawan dilanda gempa karena terletak dipertemuan sirkum pasifik dan tran asiatik. Padang termasuk pada wilayah gempa 5-6 (KDS E & F), merupakan daerah yang cukup berpotensi dapat terjadinya gempa disertai dengan kemungkinan terjadinya tsunami, maka untuk itulah dalam perencanaan gedung bertingkat tinggi ini harus direncanakan dan didesain dengan matang agar dapat digunakan sebaik-baiknya, nyaman dan aman terhadap bahaya gempa atau tsunami. faktor yang paling berpengaruh dalam perencanaan struktur bangunan bertingkat tinggi adalah kekuatan struktur bangunan itu sendiri, dimana faktor ini sangat terkait dengan keamanan dan ketahanan bangunan dalam menahan dan menampung beban yang bekerja pada struktur. Ketidakstabilan pada struktur merupakan hal dasar harus dihindari serta diperhatikan untuk berbagai jenis tinggi gedung. Struktur yang tidak stabil apabila menerima beban maka struktur tersebut mengalami perubahan bentuk (deformasi) yang lebih besar dibandingkan struktur yang stabil. Salah satu cara yang dapat dilakukan agar struktur menjadi lebih stabil adalah mengkombinasikan struktur dengan *Shear Wall* (Dinding Geser). Sistem Dinding Geser bisa digunakan untuk menahan gaya vertikal seperti beban gravitasi dan gaya horisontal/gaya lateral seperti beban gempa dan tsunami, sehingga dapat mencegah goyangan berlebih pada struktur. Penggunaan dinding geser juga dimaksudkan agar saat terjadi gempa dan tsunami, gaya lateral yang mengenai struktur tidak hanya ditahan oleh elemen balok dan kolom pada struktur tetapi juga ditahan oleh sistem dinding geser. karena penempatan dinding geser yang tidak tepat menyebabkan gaya geser yang terjadi pada kolom dan balok akan lebih besar. Obyek penelitian adalah bangunan gedung beton bertulang bertingkat dengan variasi ketinggian 5, 7, 10, 15 dan 20 lantai. Bangunan gedung 5, 7 dan 10 lantai didesain dengan sistem portal terbuka (open frame), sementara bangunan gedung lantai 7, 10, 15 dan 20, didesain dengan sistem ganda, yaitu portal terbuka dan dinding geser sebagai penahan beban lateral. Portal terbuka menggunakan desain Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), sedangkan dinding geser menggunakan desain Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK). Beban struktur yang diperhitungkan adalah beban mati, beban hidup, beban mati tambahan (superimposed dead load), dan beban gempa. Lokasi Bangunan di Kota Padang dengan kondisi tanah sedang. Kekuatan dan kekakuan struktur dengan dinding geser lebih tinggi dibanding yang tanpa dinding geser.

Kata Kunci : Gempa, *Shearwall*, kekuatan dan kekakuan.

Abstract. Indonesia is a country prone to earthquakes because it is located at the confluence of the Pacific and Trans-Asiatic Circum. Padang is included in the 5-6 earthquake area (KDS E & F), which is an area that has the potential for an earthquake accompanied by the possibility of a tsunami., comfortable and safe against the dangers of an earthquake or tsunami. The most influential factor in the planning of high-rise building structures is the strength of the building structure itself, where this factor is closely related to the safety and resilience of the building in holding and accommodating the loads acting on the structure. Instability in the structure is a basic thing that must be avoided and considered for various types of building heights. An unstable structure when subjected to loads causes the structure to experience a greater deformation than a stable structure. One way that can be done to make the structure more stable is to combine the structure with Shear Walls. Shear wall systems can be used to withstand vertical forces such as gravity loads and horizontal/lateral forces such as earthquake and tsunami loads, thereby preventing excessive swaying of the structure. The use of shear walls is also intended so that when an earthquake and tsunami occurs, the lateral forces that affect the structure are not only resisted by the beam and column elements in the structure but are also resisted by the shear wall system. because the placement of the shear walls that are not appropriate causes the shear forces that occur in the columns and beams to be greater. The research object is multi-storey reinforced concrete buildings with variations in height of 5, 7, 10, 15 and 20 floors. Buildings 5, 7 and 10 floors are designed with an open frame system, while buildings with floors 7, 10, 15 and 20 are designed with a double system, namely open portals and shear walls as lateral load resisters. Open portals use a Special Moment Resisting Frame System (SRPMK) design, while shear walls use a Special Structural Wall System (SDSK) design. The calculated structural loads are dead loads, live loads, superimposed dead loads and earthquake loads. Building location in the city of

Padang with moderate soil conditions. The strength and stiffness of structures with shear walls are higher than those without shear walls.

Keywords: Earthquake, Shearwall, strength and steffness.

PENDAHULUAN

Salah satu faktor yang paling berpengaruh dalam perencanaan struktur bangunan bertingkat tinggi adalah kekuatan struktur bangunan itu sendiri, dimana faktor ini sangat terkait dengan keamanan dan ketahanan bangunan dalam menahan dan menampung beban yang bekerja pada struktur. Salah satu penyebab keruntuhan bangunan adalah ketidakstabilan struktur. Saat merencanakan dan mendesain suatu struktur, ketidakstabilan pada struktur merupakan hal dasar harus dihindari serta diperhatikan. Struktur yang tidak stabil apabila menerima beban maka struktur tersebut mengalami perubahan bentuk yang lebih besar dibandingkan struktur yang stabil.

Salah satu cara yang dapat dilakukan agar struktur menjadi lebih stabil adalah mengkombinasikan struktur dengan *Shear Wall*. Mempertahankan setiap saat layanan vital dari fungsi gedung. Selain struktur gedung tahan terhadap gempa, juga yang harus diperhatikan dan dipertimbangkan, yaitu keekonomisan dari bangunan itu sendiri, seperti kita tahu bahwa bangunan yang baik akan membutuhkan biaya pembangunan yang sangat besar.

Beton adalah campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat lain yang dicampur dengan pasta berbahan dasar semen dan air untuk membentuk suatu massa batuan. menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti workability, durabilitas dan curing time. Beton bertulang adalah merupakan campuran antara beton dan baja dimana tulangan baja berfungsi sebagai kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Tulangan baja juga mampu menahan gaya tekan sehingga digunakan pada kolom dan pada berbagai kondisi lain (Mc.Cormac, 2004).

Gempa bumi adalah perubahan (bergesernya) lapisan batu bumi yang berasal dari dasar atau dari bawah permukaan bumi. Atau definisi gempa bumi yang lebih lengkapnya yaitu guncangan atau getaran yang terjadi karena perubahn (bergesernya) lapisan batu bumi yang berasal dari dasar atau dari bawah permukaan bumi dan bisa juga disebabkan adanya letusan gunung api. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %.

Tabel 1. Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber SNI 03-1726-2019 Tabel 4

Tabel 2. Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{cs}	\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
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 respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, 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 plasitisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_v < 50$ kPa
--

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Sumber SNI 03-1726-2019 (Tabel 5)

Parameter Respons Spektral

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1$$

Tabel 3. Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Sumber : SNI 03-1726: 2019(Tabel 6)

Tabel 4. Koefisien situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 1$ detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,25$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,75$	$S_1 = 1,0$	$S_1 = 1,25$	$S_1 \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Parameter Respons Spektral Desain

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

Tabel 5. Kategori Desain Seismik

Nilai S_{Ds}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{D1} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{D1} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{D1}$	D	D

Perioda Fundamental Pendekatan

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

Tabel 7. Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilindungi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Perhitungan Koefisien Respons Seismik

$$C_s = S_{DS} \frac{I}{R}$$

$$C_{smax} = S_{DS} \frac{I}{TR}$$

$$C_{smin} = 0,5S_1$$

Analisa Statis Ekuivalen

$$V = C_s \cdot W$$

Analisa Respon Spektrum Ragam

Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 % dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

Penentuan Faktor Skala Untuk Gaya Geser Dasar

$$\eta_x = \frac{V_x}{VIX} \geq 1,0$$

$$\eta_y = \frac{V_y}{VIY} \geq 1,0$$

Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \leq \delta_{izin}$$

$$\delta_{xe} = \delta_2 - \delta_1$$

$$\delta_{izin} = 0,020 h_{sx}$$

Pemeriksaan P-Delta

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

Tidak boleh melebihi

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25$$

Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal

Berdasarkan SNI 1726-2019, struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 13 dan 14 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal dan vertikal.

Sistim Ganda

Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu memikul paling sedikit 25 % gaya seismik desain. Tahanan gaya seismik total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya. (Pasal 7.2.5.1. SNI 03-176-2019).

Sistem Struktur dan Parameter Struktur

Batasan kategori desain seismik yang diizinkan akan menentukan sistem struktur yang akan digunakan dalam menahan gaya gempa. Setiap sistem struktur yang berbeda memiliki nilai koefisien R , C_d dan Ω_0 yang berbeda pula. Hal ini diatur dalam tabel SNI 03-1726-2019 (Tabel 12).

Sistem Rangka Pemikul Momen

SPRM dibagi menjadi 3 jenis :

- a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) KDS B
- b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) KDS C
- c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) KDS D, E, F

SRPMK

Dalam SNI 03-2847-2019 pasal 18.6 tentang Balok Sistem Pemikul Momen Khusus. Kuat lentur positif pada komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh kurang dari setengah kuat lentur negatifnya pada muka tersebut serta baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar dari yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut. Sama dengan balok SRPMK, untuk kolom ini di atur dalam pasal 18.7 tentang Kolom sistem rangka pemikul momen khusus. Disini membahas tentang syarat dimensi penampang, syarat kuat lentur minimum, tulangan lentur, tulangan transversal serta kekuatan gesernya.

Balok Kolom

Dalam sistem SRPMK, sambungan balok kolom menjadi hal yang sangat penting, karena akibat beban lateral yang bekerja akan menimbulkan momen lentur pada ujung balok-balok yang akan memutar join pada arah yang sama. Hal ini akan menyebabkan terjadinya gaya geser yang besar pada sambungan kolom balok. Pada struktur beton pengaruh keretakan beton harus diperhitungkan terhadap kekakuannya. Peraturan yang digunakan adalah SNI Struktur Beton untuk Gedung 03-2847-2019 yang mengadopsi peraturan ACI 318-14. Perbedaan yang harus disesuaikan adalah faktor reduksi untuk SNI Beton Indonesia. *Shear wall* adalah dinding slab beton bertulang atau pelat baja yang dipasang vertikal pada posisi gedung tertentu untuk meningkatkan kinerja struktural pada bangunan tinggi.

Shear Wall (Dinding Geser)

Shear wall adalah dinding slab beton bertulang atau pelat baja yang dipasang vertikal pada posisi gedung tertentu untuk meningkatkan kinerja struktural pada bangunan tinggi. Dalam struktur bertingkat, dinding geser memiliki beragam fungsi, yaitu :

1. Menahan beban atau gaya lateral seperti gaya gempa dan angin yang bekerja pada bangunan.
2. Menyerap baban horizontal atau gaya geser yang besar seiring dengan semakin tingginya suatu struktur.
3. Menambah kekakuan pada struktur.
4. Mencegah kegagalan dinding eksterior dan mendukung beberapa lantai gedung.
5. Memastikan bahwa struktur tidak runtuh akibat adanya gerakan lateral dalam gempa bumi. Penggunaan shear wall sudah cukup banyak diaplikasikan pada bangunan bertingkat tinggi (*high rise building*), terlebih untuk gedung berlantai 20 atau lebih. Umumnya, sistem *shear wall* ini digunakan pada gedung beton bertulang. Namun, sesuai perkembangannya telah merambah ke bangunan gedung yang menggunakan material baja dalam strukturnya.

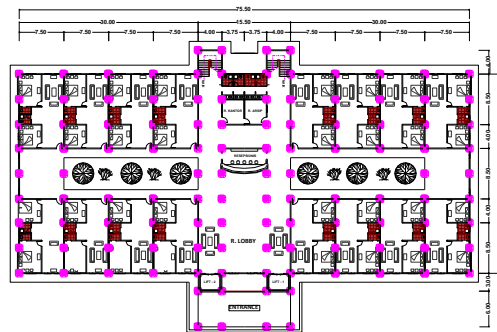
METODE

Untuk mempermudah dalam perencanaan desain dan penyusunan penelitian ini, maka dibutuhkan data-data sebagai bahan acuan. Meliputi fungsi bangunan dan lokasi bangunan yang didirikan. Fungsi bangunan penting untuk mendesain perencanaan pembebanan, dan lokasi bangunan penting untuk mengetahui keadaan tanah dari lokasi bangunan yang akan didirikan sehingga bisa direncanakan jenis struktur yang akan digunakan.

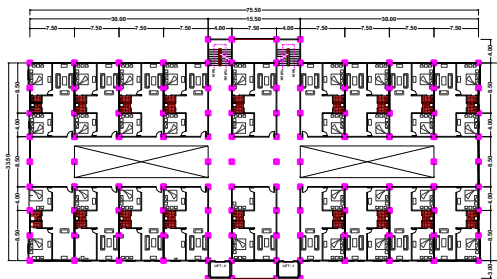
Pemodelan struktur dilakukan dengan Program **ETABS v.17.0.** dan **Spcolumn v.6.0.** Perencanaan dengan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus dan Dinding geser berfungsi menahan gaya lentur, geser, dan aksial sekaligus memperkaku struktur bangunan. Pemodelan struktur gedung 5, 7, 10 15 dan 20 lantai untuk rencana gedung apartemen/plat/kondominium dengan bentuk struktur

sama, khusus untuk lantai 10, Lantai 15 dan lantai 20 diberikan Sistem Dinding Khusus yang akan didesain ditunjukkan pada Gambar berikut. Asumsi yang Digunakan :

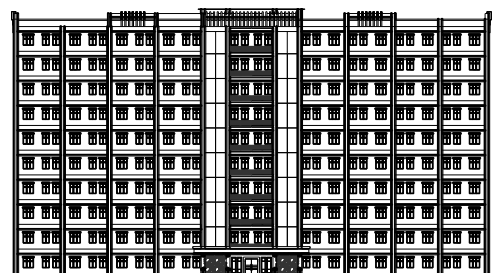
- a. Memperhatikan Efek P-delta.
- b. Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai.
- c. Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal.
- d. Plat lantai dianggap sebagai elemen shell yang bersifat menerima beban tegak lurus bidang (vertikal) dan beban lateral (horizontal) akibat gempa.
- e. Pondasi dianggap jepit, karena desain pondasi menggunakan bore pile (pondasi dalam), sehingga kedudukan pondasi diasumsikan tidak mengalami rotasi dan translasi.



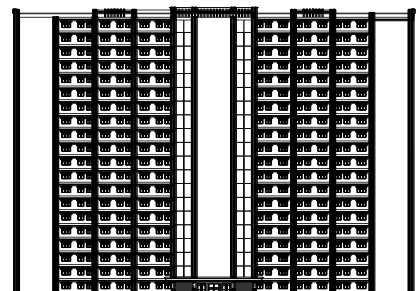
Gambar 1. Denah Rencana Lantai 1



Gambar 2. Denah Rencana Lantai 2 s/d 20



Gambar 3. Tampak Depan Rencana Lantai 5, 7 dan 10 Lantai

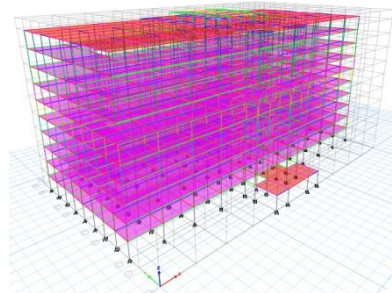


Gambar 4. Tampak Depan Rencana Lantai 7, 10, 15, 20 Lantai

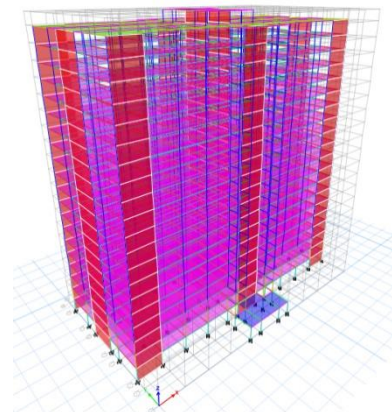
Deskripsi umum bangunan

- ▶ Fungsi Bangunan : Plat / Apartemen
- ▶ Jumlah lantai : 5, 7, 10, 15 dan 20 lt
- ▶ Jenis Struktur : Untuk 5, 7 dan 10 Lantai, Kolom + Balok Beton Bertulang
Untuk 7, 10, 15 dan 20 Lantai, Kolom+Balok+Shearwall beton bertulang
- ▶ Mutu beton : K-350 ($f_c 29,05$ MPa)
- ▶ Mutu Tulangan : $f_c = 420$ MPa ≥ 13 mm
 $f_c = 280$ MPa ≤ 13 mm
- ▶ Bj Beton : 2400 kg/m³
- ▶ Tegangan leleh baja : 400 Mpa
- ▶ M. Elastisitas beton : $4700 \sqrt{f_c}$ Mpa
- ▶ M. Elastisitas baja : 200.000 Mpa
- ▶ Jenis beban : Beban Mati, Beban Hidup, Beban Mati Tambahan, Beban Gempa
- ▶ Analisis Struktur : *Etabs v.17.0* dan *Spcolumn v.6.0*

Sistim Struktur Program Etabs



Gambar 5. Rencana Permodelan Struktur Gedung 10 Lantai

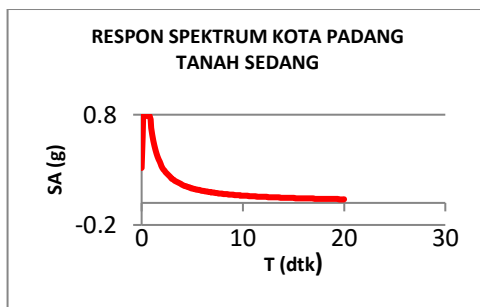


Gambar 6. Rencana Permodelan Struktur Gedung 20 Lantai dengan dinding geser

HASIL

Struktur bangunan didesain mampu menahan beban mati, hidup dan gempa sesuai peraturan SNI Gempa 03-1726-2019 Pasal 4.1.1 dimana gempa rencana ditentukan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %. Analisis beban gempa dinamik respons spektrum ditentukan oleh percepatan gempa rencana dan massa total struktur. Dalam analisis struktur terhadap beban gempa, massa bangunan sangat menentukan besarnya gaya inersia akibat gempa.

Pada analisis beban gempa dinamik, respons spektrum dibuat berdasarkan respons terhadap percepatan tanah hasil rekaman gempa.



Gambar 7. Respon spektrum Kota Padang

Dari hasil response spectrum didapat nilai S_{DS} sebesar 0,79 dan nilai S_{D1} sebesar 0,66, berdasarkan tabel 2.8 dan tabel 2.9 didapat kriteria desain seismik (KDS D).

Kontribusi Frame Memikul 25% Gaya Lateral

Pada SNI gempa Pasal 7.2.5.1 terdapat persyaratan bahwa shearwall harus memikul paling banyak 75% gaya gempa desain. Dari tabel 4.3 terlihat kontribusi portal memikul gaya gempa relatif besar dari 25%. Hal ini disebabkan karena kekakuan kolom yang relatif besar menyebabkan gaya gempa banyak terserap ke portal.

Pemeriksaan Faktor Skala Gempa

Tabel 8. Pemeriksaan faktor skala gempa 5, 7 dan 10 lantai tanpa dinding geser

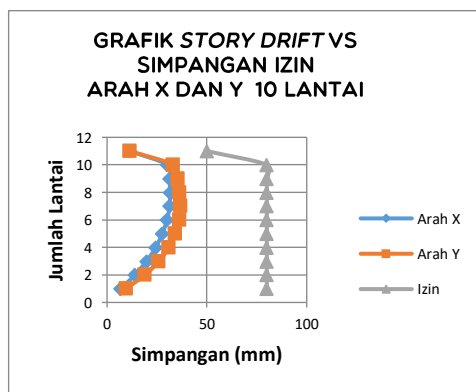
Gaya Gempa	Vx	Vy	Gaya Gempa	Vx	Vy	Gaya Gempa	Vx	Vy
	(KN)	(KN)		(KN)	(KN)		(KN)	(KN)
STATIK	21603	21603	STATIK	11681	11557	STATIK	13797	13797
DINAMIK	22430	22413	DINAMIK	12339	11705	DINAMIK	13813	13812
Perbandingan	1,038	1,038	Perbandingan	1,056	1,013	Perbandingan	1,001	1,001

Tabel 9. Pemeriksaan faktor skala gempa 7, 10, 15, dan 20 lantai dengan dinding geser

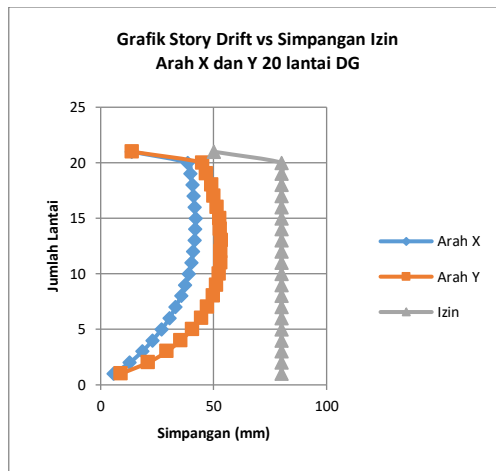
Gaya Gempa	Vx	Vy	Gaya Gempa	Vx	Vy	Gaya Gempa	Vx	Vy
	(KN)	(KN)		(KN)	(KN)		(KN)	(KN)
STATIK	31991	31991	STATIK	26383	26383	STATIK	21846	23911
DINAMIK	34069	33115	DINAMIK	29245	28347	DINAMIK	21965	24495
Perbandingan	1,065	1,035	Perbandingan	1,108	1,074	Perbandingan	1,005	1,024

Gaya Gempa	Vx	Vy
	(KN)	(KN)
STATIK	19662	19696
DINAMIK	20079	20079
Perbandingan	1,021	1,019

Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai

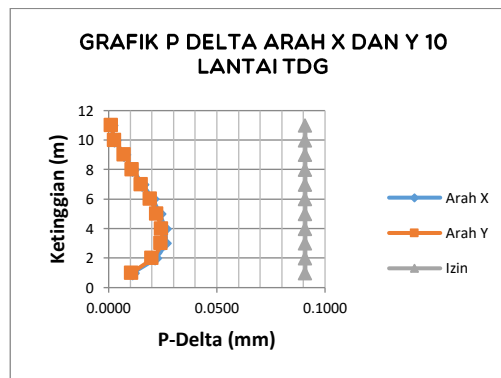


Gambar 8. Pemeriksaan simpang antar lantai tanpa dinding geser

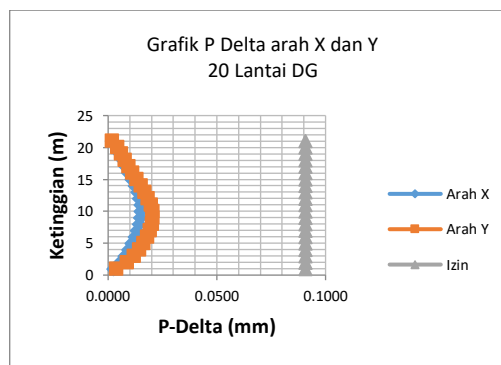


Gambar 9. Pemeriksaan simpang antar lantai dengan dinding geser

Pemeriksaan P-Delta



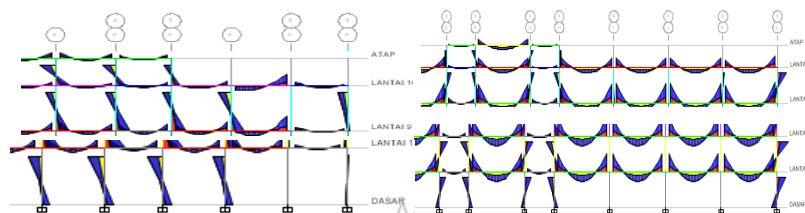
Gambar 10. Pemeriksaan P-delta tanpa dinding geser



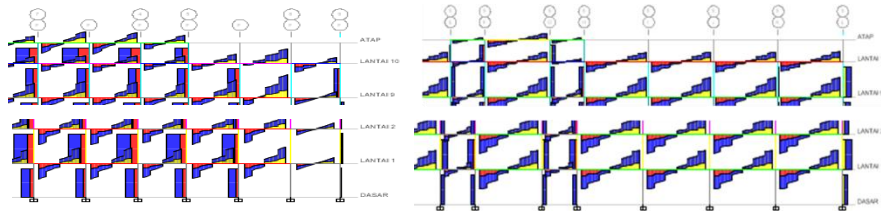
Gambar 11. Pemeriksaan P-delta dengan dinding geser

Diagram Gaya Dalam Struktur

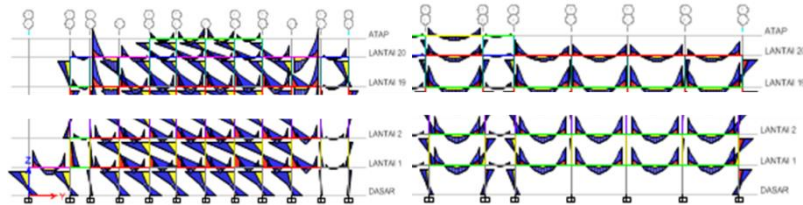
Dari analisis menggunakan *Software Etabs 2017* untuk mengetahui besarnya gaya dalam berupa momen dan gaya geser, dapat dilihat pada gambar berikut ini :



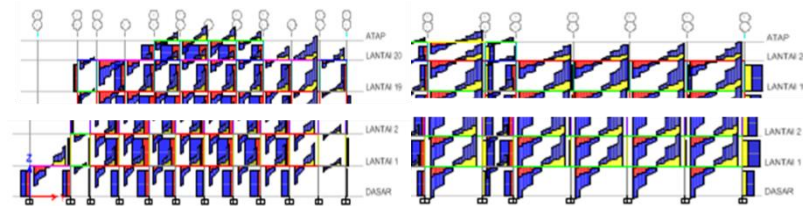
Gambar 12. Diagram Momen Portal Arah Y dan arah X tanpa dinding geser



Gambar 13. Diagram Geser Portal Arah Y dan arah X tanpa dinding geser



Gambar 14. Diagram Momen Portal Arah Y dan arah X dengan dinding geser



Gambar 15. Diagram Geser Portal Arah Y dan arah X dengan dinding geser

Desain Elemen Struktur Bangunan
Desain Dimensi Balok

Tabel 10. Desain Dimensi Balok Tanpa dinding geser dan dengan dinding geser

Balok	Ukuran (cm)	Panjang (m)
Atap	300x500	4
	300x500	4,25
	300x500	7,5
Dak	300x500	3
	300x500	4
	300x500	4,25
	400x600	6
	400x600	7,5
	400x600	8,5
Lantai 1 s/d 5		
Induk	300x500	3
	300x500	4
	300x500	4,25
	400x600	7,5

Desain Dimensi Kolom

Kolom	Ukuran (cm)	Panjang (m)
Atap	300x500	4 m
	300x500	4,25 m
	300x500	7,5 m

Dak	300x500	3 m
	300x500	4 m
	300x500	4,25
	400x600	6
	400x600	7,5
	400x600	8,5
Lantai 1 s/d 20		
Induk	300x500	3
	300x500	4
	300x500	4,25
	400x600	7,5

Hasil Perhitungan Kolom Tanpa Dinding Geser

Tabel 11. Desain Dimensi Kolom Tanpa dinding geser

Kolom	Ukuran (cm)	Panjang (m)
Atap	600x600	4
10	700x700	4
9	700x700	4
8	700x700	4
7	700x700	4
6	700x700	4
5	800x800	4
4	800x800	4
3	900x900	4
2	1100x1100	4
1	1100x1100	4

Tabel 12. Desain Dimensi Kolom dengan dinding geser

Kolom	Ukuran (cm)	Panjang (m)
Atap	700x700	4
20	750x750	4
19	750x750	4
18	800x800	4
17	800x800	4
16	800x800	4
15	900x900	4
14	900x900	4
13	900x900	4
12	1000x1000	4
11	1000x1000	4
10	1000x1000	4
9	1100x1100	4
8	1100x1100	4
7	1100x1100	4
6	1200x1200	4
5	1300x1300	4
4	1300x1300	4
3	1400x1400	4
2	1400x1400	4
1	1400x1400	4

Tabel 13. Desain Pelat Lantai, Dak dan Atap

Jenis Plat	Ukuran (m)
Atap	7,5 x 4,25
	7,5 x 4
	4,25 x 4
	4 x 4
Dak	7,5 x 6
	7,5 x 4,25
	7,5 x 4
	7,5 x 3
	6 x 4
	4,25 x 4
	4 x 4
	4 x 3
Lantai	7,5 x 4,25
	7,5 x 4
	4,25 x 4
	4 x 4

Tabel 14. Desain Dinding Geser

Jumlah Lantai	Panjang (mm)	Tinggi (mm)	Tebal (mm)
7			
Tipe 1	7500	30500	300
Tipe 2	4250	30500	300
10			
Tipe 1	7500	40000	300
Tipe 2	4250	40000	300
15			
Tipe 1	7500	60000	400
Tipe 2	4250	60000	400
20			
Tipe 1	7500	80000	500
Tipe 2	4250	80000	500

Tabel 15. Perbandingan kuat lentur

Perbandingan Kuat Lentur Kolom Lantai 1 Eksterior dan Balok Bentang 7,5 m Lantai 1								
No	Jumlah Lantai		Kolom Lantai 1			Balok 7,5 m Lt. 1		
			M_{nc}	$M_{nb}^+ + M_{nb}^-$	Ratio	ϕM_n	M_u	$\phi M_u / M_u$
1	5	TDG	390,944	$\frac{358,197}{185,559}$	1,198	322,377	273,553	1,178
2	7	TDG	422,422	$\frac{302,087}{185,559}$	1,444	271,878	264,925	1,026
3	7	DG	513,767	$\frac{302,087}{185,559}$	1,756	271,878	265,022	1,026
4	10	TDG	297,033	$\frac{302,087}{185,559}$	1,015	271,878	260,421	1,044
5	10	DG	325,676	$\frac{302,087}{185,559}$	1,113	271,878	260,330	1,044
6	15	DG	360,278	$\frac{358,197}{185,559}$	1,104	271,878	249,262	1,091
7	20	DG	331,286	$\frac{358,197}{185,559}$	1,015	234,092265	229,1315	1,022

Tabel 16. Kekakuan struktur bangunan

Kekakuan Struktur Bangunan								
No	Jumlah Lantai		Arah X			Arah Y		
			Δ_{max}	V	k	Δ_{max}	V	k
1	5	TDG	38,67	10.993,36	284,32	37,73	11.153,86	295,59
2	7	TDG	54,73	11.045,91	201,83	53,25	11.180,81	209,96
3	7	DG	20,49	20.763,14	1.013,43	33,37	19.784,60	592,81
4	10	TDG	79,46	14.237,09	179,16	72,96	13.865,92	190,05
5	10	DG	47,02	25.009,64	531,88	56,02	19.363,12	345,66
6	15	DG	72,05	24.549,27	340,72	91,47	22.488,58	245,86
7	20	DG	118,34	33.642,16	284,29	156,15	34.111,58	218,45

SIMPULAN

Model struktur bangunan tipikal dengan variasi jumlah lantai telah di desain sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2019 dan SNI 2847-2019. Bangunan 5 sampai 20 lantai, kenaikan volume beton, volume baja tulangan, volume bekisting dan Rencana Anggaran Biaya struktur sebanding dengan kenaikan jumlah lantai dalam fungsi kurva pangkat 3. Geser sebaiknya digunakan untuk bangunan mulai dari ketinggian 7 lantai. Kekuatan dan kekakuan struktur dengan dinding geser lebih tinggi dibanding yang tanpa dinding geser.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standar Nasional, Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung SNI 03-1726-2019, Jakarta.
- Badan Standar Nasional, Tatacara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2019, Jakarta.
- Badan Standar Nasional, Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 03-1727 - 2020, Jakarta.
- Badan Standar Nasional, Baja Tulangan Beton, SNI 03-2052 - 2017, Jakarta.
- Jack C Mc.Cormac, Desain Beton Bertulang Jilid I, Erlangga, Jakarta, 2004.
- Muhammad Miftakhur Riza, Aplikasi Perencanaan Struktur Gedung Dengan *Etabs*, ARS Group, Seri 1.