

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman, kebutuhan ruang yang luas pada bangunan bertingkat juga menjadi tuntutan bagi para arsitek sebagai pelaku desain dalam rancangannya. Hal tersebut dapat berupa ruangan bebas kolom atau dengan penggunaan kolom pipih yang tebalnya mengikuti lebar dari ukuran dinding (kolom berbentuk khusus), sehingga akan menimbulkan kesan ruang yang luas dan estetik. Perluasan ini memberikan dampak yang baik, berkaitan dengan penggunaan ruang yang maksimal. Bangunan tinggi memiliki beban yang besar, tentu juga membutuhkan struktur penopang yang besar pula, sehingga nantinya mampu menahan perilaku dari struktur seperti *storey drift*, *storey displacement*, *storey stiffness* dan lain-lain akibat efek dari gaya lateral secara mendasar (Luther, 2021)

SNI 2847:2019 tentang persyaratan dimensi kolom untuk SRPMK dengan dua ketentuan yaitu, Dimensi penampang terkecil kolom harus lebih besar sama dengan dari 300 mm, Rasio dimensi penampang kolom (b/h) harus lebih besar atau sama dengan 0,4. Untuk rasio tulangan longitudinal pada kolom ditentukan berdasarkan pasal 10.6 dan 18.7.4 minimum pada kolom adalah sebesar 0,001 dan untuk maksimum adalah sebesar 0,008 untuk kolom nonprategang, sedangkan untuk kolom SRPMK adalah sebesar 0,006 (SNI 2847-2019).

Di wilayah dengan resiko gempa tinggi seperti Bali, struktur harus didesain mengikuti ketentuan stuktur tahan gempa dimana struktur tidak boleh runtuh akibat gempa kuat (gempa rencana) dan memiliki kemampuan untuk mendistribusikan beban gempa yang baik. Untuk menjamin hal ini maka struktur didesain dengan menerapkan kosep desain kapasitas yaitu suatu konsep desain dengan menentukan elemen-elemen struktur yang mengalami leleh sedangkan elemen lainnya masih dalam kondisi elastis. Dalam SNI 2847:2019, konsep ini diuraikan dalam persyaratan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Pengaruh gaya gempa akan berbeda jika diaplikasikan terhadap bangunan beraturan dan tidakberaturan. Perilaku struktur yang dihasilkan untuk gedung tidak beraturan akan berbeda dengan gedung beraturan untuk intensitas beban yang sama, misalnya jika dibandingkan terhadap simpangan (*displamcement*), simpangan antar lantai (*drift*), dan penulangannya. Pada peraturan perencanaan ketahanan gempa yang terbaru SNI-1726-2019 diatur mengenai ketidakberaturan struktur, yaitu ketidak beraturan horizontal dan vertikal. Ketidak beraturan horizontal ditetapkan berdasarkan kepada ketidakberaturan arah sumbu xy sedangkan ketidakberaturan vertikal ditetapkan berdasarkan arah sumbu xz atau yz.

Kinerja struktur yang dihasilkan untuk bangunan tidak beraturan akan berbeda dengan bangunan beraturan untuk intensitas beban yang sama, misalnya jika dibandingkan dengan displacement, drift, dan tulangan (Rau et al., 2023). Ketidakberaturan struktur memiliki peran penting terhadap keruntuhan struktur akibat beban dinamik, maka penelitian secara ekstensif diperlukan untuk

memperoleh kinerja ultimit meskipun gedung memiliki konfigurasi yang kurang baik (Sakale et al., 2014).

Oleh karena itu, maka dilakukan penelitian menggunakan kolom pipih dengan berbagai orientasi dan kekakuan kolom pipih tersebut tetap menyumbang maksimal serta memenuhi syarat ketidakberaturan horizontal dan vertikal. Analisis permodelan menggunakan ETABS versi 21.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perilaku struktur bangunan dengan variasi orientasi kolom pipih arah vertikal terhadap syarat ketidakberaturan.
2. Bagaimana perilaku struktur bangunan dengan variasi orientasi kolom pipih arah horizontal terhadap syarat ketidakberaturan.

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui perilaku struktur bangunan dengan variasi orientasi kolom pipih arah vertikal terhadap syarat ketidakberaturan.
2. Untuk mengetahui perilaku struktur bangunan dengan variasi orientasi kolom pipih arah horizontal terhadap syarat ketidakberaturan.

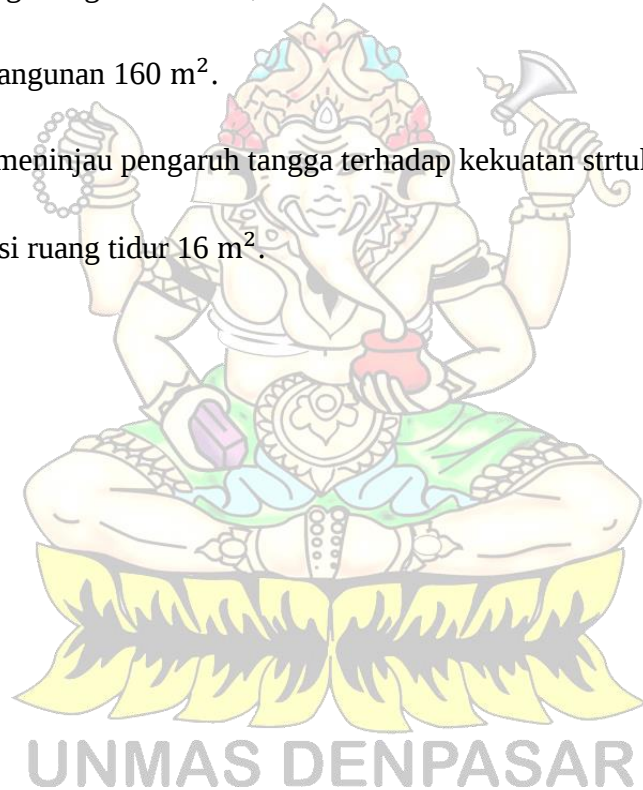
1.4 Manfaat

Dalam penulisan penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat bagi perancang bangunan dengan menambah pengetahuan mengenai:

1. Perilaku struktur gedung dengan variasi orientasi kolom pipih terhadap syarat ketidakberaturan.
2. Cara mendesain kolom pipih beton bertulang pada gedung bertingkat.

1.5 Batasan Penulisan

1. Struktur bangunan adalah struktur tidak beraturan yang merupakan struktur beton bertulang.
2. Permodelan Gedung 3 tingkat.
3. Fungsi Gedung Sebagai Villa.
4. Lokasi gedung di Tabanan, Bali.
5. Luas bangunan 160 m^2 .
6. Tidak meninjau pengaruh tangga terhadap kekuatan struktur.
7. Dimensi ruang tidur 16 m^2 .



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ketidakberaturan Horizontal

Suatu struktur dikatakan memiliki ketidakberaturan horizontal apabila struktur tersebut mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan, yaitu

Tabel 2. 1 Ketidakberaturan horizontal pada struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

(Sumber : SNI 1726:2019)

2.1.1 Ketidakberaturan Torsi

Adanya torsi yang terdapat pada struktur bangunan dibagi menjadi ketidakberaturan 1a dan ketidakberaturan 1b. Berikut ini merupakan ketentuan dari ketidakberaturan 1a dan 1b.

$$\delta_{max} < 1,2 \delta_{avg} \quad \rightarrow \text{tanpa ketidakberaturan torsi}$$

$$1,2 \delta_{avg} \leq \delta_{max} \leq 1,4 \delta_{avg} \quad \rightarrow \text{ketidakberaturan 1a}$$

$$\delta_{max} \leq 1,4 \delta_{avg} \quad \rightarrow \text{ketidakberaturan 1b}$$

Desain struktur untuk kategori desain seismic C, D, E, atau F, apabila terjadi ketidakberaturan torsi 1a atau 1b maka diperlukan pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan M_{ta} pada masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi (A_x) dengan persamaan sebagai berikut.

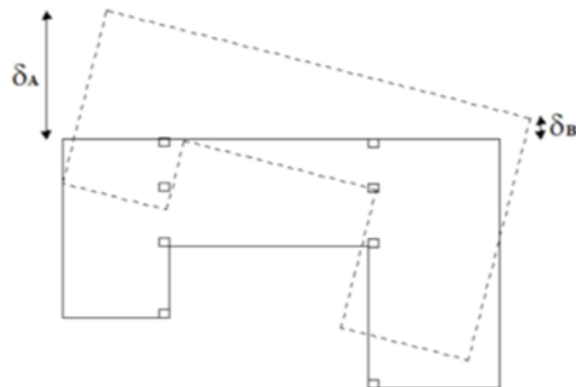
$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}} \right)^2$$

Keterangan :

δ_{max} = Perpindahan maksimum ditingkat x (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1(\text{mm})$

δ_{avg} = Rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur ditingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1(\text{mm})$

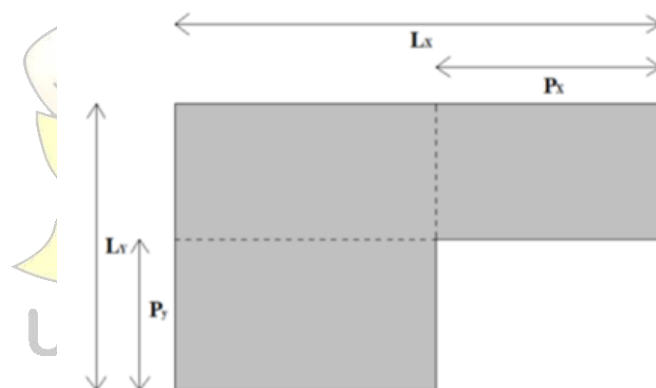
Faktor pembesaran torsi (A_x) dalam ketentuannya tidak boleh kurang dari 1,0 dan tidak melebihi 3,0. Apabila ada pembebanan yang lebih parah pada masing-masing elemen maka perlu dilakukan peninjauan untuk desain.



Gambar 2. 1 Ketidakberaturan 1a dan 1b
(Sumber : SNI 1726:2019)

2.1.2 Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakberaturan sudut dalam diartikan ada apabila kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam $> 15\%$ dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau. Berikut ini gambar 3.10 mengenai ketidakberaturan sudut dalam.

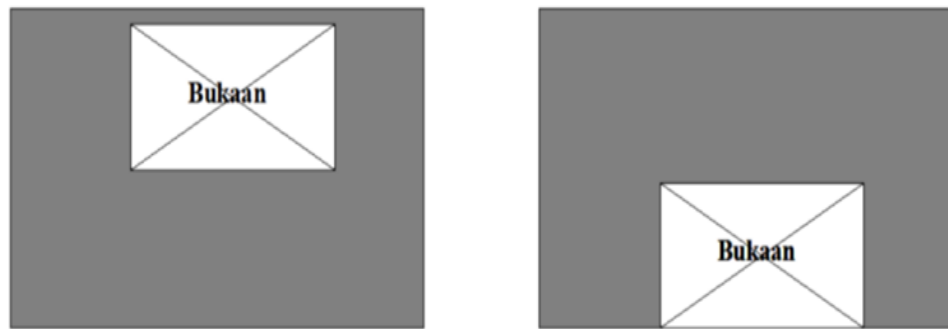


Gambar 2. 2 Ketidakberaturan Sudut Dalam
(Sumber: SNI 1726:2019)

2.1.3 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma diartikan ada apabila suatu diafragma yang mempunyai diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak,

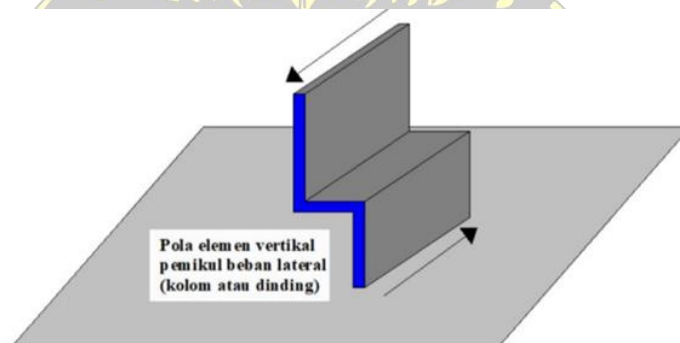
termasuk yang memiliki daerah terpotong atau terbuka $> 50\%$ daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif $> 50\%$ dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya. Digambarkan pada gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma
(Sumber : SNI 1726:2019)

2.1.4 Ketidakberaturan Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Ketidakberaturan pergeseran tegak lurus terhadap bidang diartikan ada apabila diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang yang setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral. Digambarkan pada gambar 3.12 berikut ini.

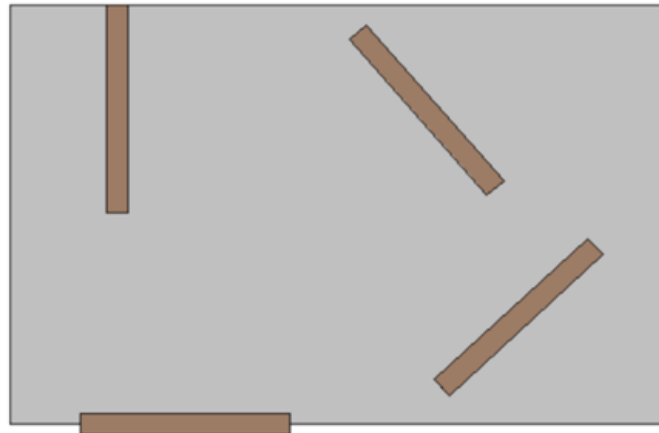


Gambar 2.4 Ketidakberaturan pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang
(Sumber: SNI 1726:2019)

2.1.5 Ketidakberaturan Sistem Non Paralel

Ketidakberaturan sistem nonparalel diartikan ada apabila elemen vertikal

pemikul gaya lateral non-paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismic. Digambarkan pada gambar 3.13 berikut ini.



Gambar 2. 5 Ketidakberaturan Sistem Non-Paralel
(Sumber : SNI 1726:2019)

2.1.6 Pasal referensi Ketidakberaturan horizontal

1. Pasal 7.3.3.4 Peningkatan gaya akibat ketidakberaturan untuk kategori desain seismic D hingga F

Untuk struktur dengan kategori desain seismic D, E, atau F dan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1a, 1b, 2, 3, atau 4 pada Tabel 13 atau ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 4 pada Tabel 14, gaya desain yang ditentukan berdasarkan 0 harus ditingkatkan 25 % untuk elemen-elemen sistem pemikul gaya seismic di bawah ini:

1. Sambungan antara diafragma dengan elemen-elemen vertikal dan dengan elemen-elemen kolektor;
2. Elemen kolektor dan sambungannya, termasuk sambungan-sambungan ke elemen vertikal dari sistem pemikul gaya seismic.

PENGECEUALIAN Gaya yang dihitung menggunakan efek gaya seismic,

termasuk faktor kuat lebih sesuai 0, tidak perlu diperbesar.

2. Tabel 16 Prosedur analisis yang diizinkan

Tabel 2. 2 Prosedur analisis yang diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 0	Analisis spektrum respons ragam pasal 0	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 0
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak lebih 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

(Sumber : SNI 1726:2019)

CATATAN I: Diizinkan, TI: Tidak Diizinkan

2.2 Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan vertikaln terdiri dari 5 tipe berdasar Tabel 14 pada SNI 1726-2019. Berikut adalah macam tipe dari ketidakberaturan vertikal.

UNMAS DENPASAR

Tabel 2. 3 ketidakberaturan vertikal pada struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

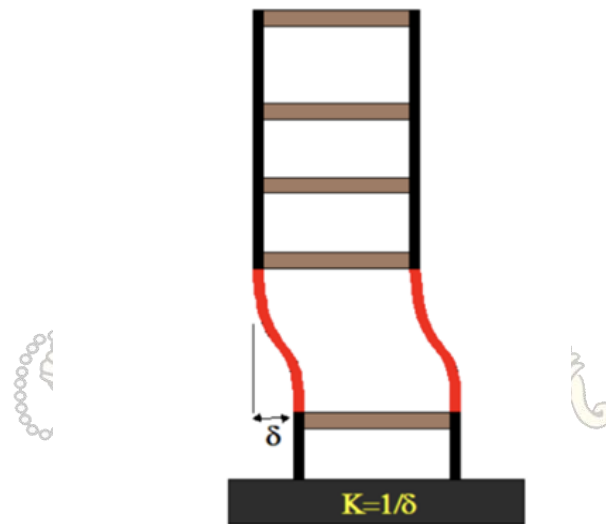
(Sumber : SNI-1726:2019)

2.2.1 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a ada jika pada suatu tingkat yang memiliki kekakuan lateralnya kurang dari 70% dari kekakuan lateral pada tingkat yang berada di atasnya atau kurang dari 80% dari rata-rata kekakuan pada tiga tingkat yang berada di atasnya.

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebih 1b pun akan ada apabila

pada suatu tingkat memiliki kekakuan lateral yang kurang dari 60% dari kekakuan lateran lateral pada tingkat yang berada di atasnya atau kurang dari 70% % dari rata-rata kekakuan pada tiga tingkat yang berada diatasnya.

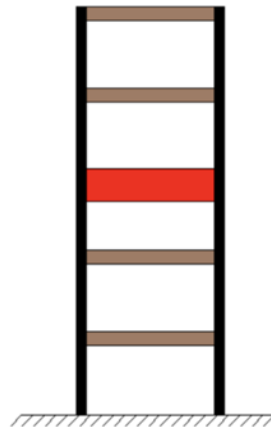


Gambar 2. 6 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a dan 1b
(Sumber : SNI 1726:2019)

2.2.2 Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketidakberaturan berat atau massa terjadi apabila massa efektif pada suatu tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai dibawahnya tidak perlu di tinjau.

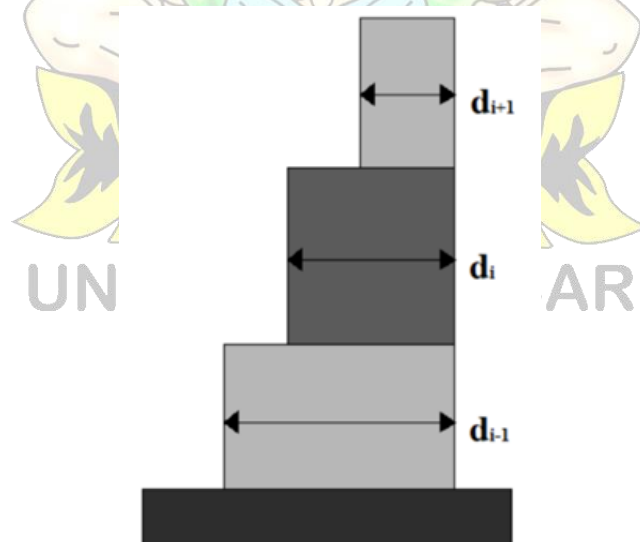
UNMAS DENPASAR



Gambar 2. 7 Ketidakberaturan Berat (Massa)
(Sumber : SNI 1726:2019)

2.2.3 Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Ketidakberaturan geometri vertikal terjadi apabila dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik pada suatu tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya

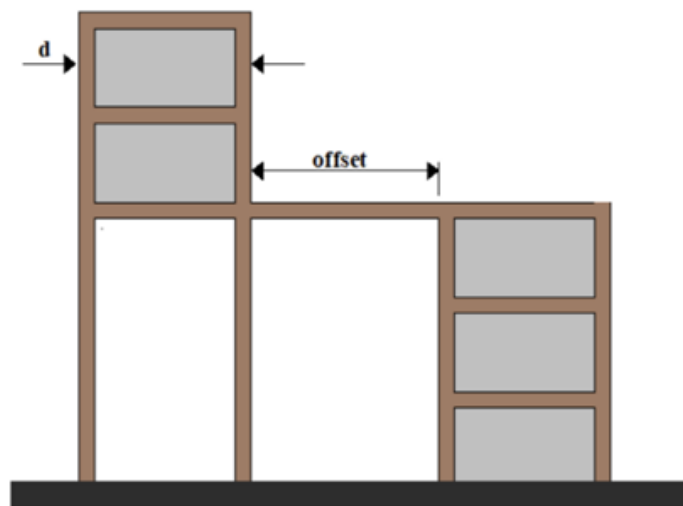


Gambar 2. 8 Ketidakberaturan Geometri Vertikal
(Sumber : SNI 1726:2019)

2.2.4 Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen

Vertikal Pemikul Gaya Lateral

Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral dapat terjadi apabila pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.



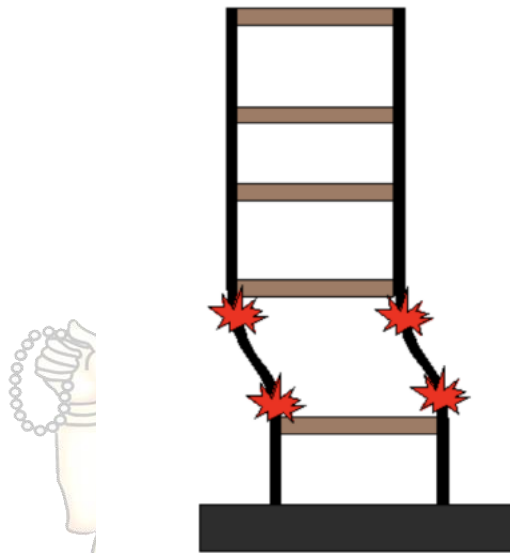
Gambar 2. 9 Ketidakberaturan Diskontinuitas Bidang
(Sumber : SNI 1726:2019)

2.2.5 Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat

Ketidakberaturan tipe ini terdiri dari 2 jenis, pada ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat (5a) terjadi apabila kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80% kekuatan lateral tingkat yang berada di atasnya.

Pada ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat (5b) juga dapat terjadi apabila kekuatan lateral suatu tingkat

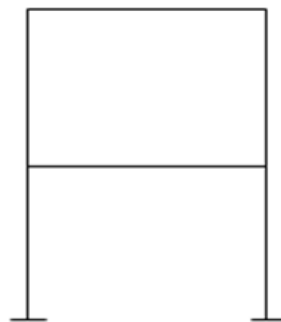
kurang dari 65% kekuatan lateral tingkat di atasnya. Yang mana kekuatan lateral tingkat merupakan kekuatan total pada semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang di tinjau.



Gambar 2. 10 Ketidakberaturan Tingkat Lemah (5a dan 5b)
(Sumber : SNI 1726:2019)

2.3 Desain Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen

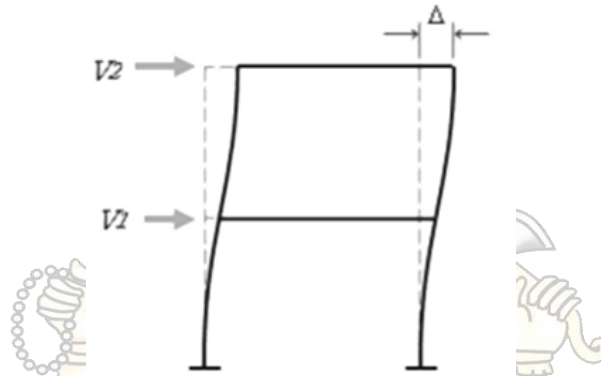
Sistem rangka pemikul momen merupakan rangka momen dimana komponen struktur seperti balok, pelat, kolom dan joint menahan gaya melalui lentur, geser, dan gaya aksial (SNI 2847 2019).



Gambar 2. 11 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem Rangka Pemikul Momen sangat baik dalam menahan momen yang

terjadi pada struktur. Pada sistem ini, hanya elemen kolom dan balok yang mampu mendisipasi energi saat terjadinya gempa atau gaya lateral. Untuk mendisipasi energi, ada sendi-sendi plastis sebagai tempat untuk menyerap energi yang diterima gedung.



Gambar 2. 12 Mekanisme Sistem Rangka Pemikul Momen

2.4 Desain Kolom

Kolom adalah elemen struktur vertikal dari rangka (frame) struktural yang menerima beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi (Nawy, 1998). Keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan keruntuhan (collapse) lantai yang bersangkutan, dan juga keruntuhan total seluruh strukturnya.

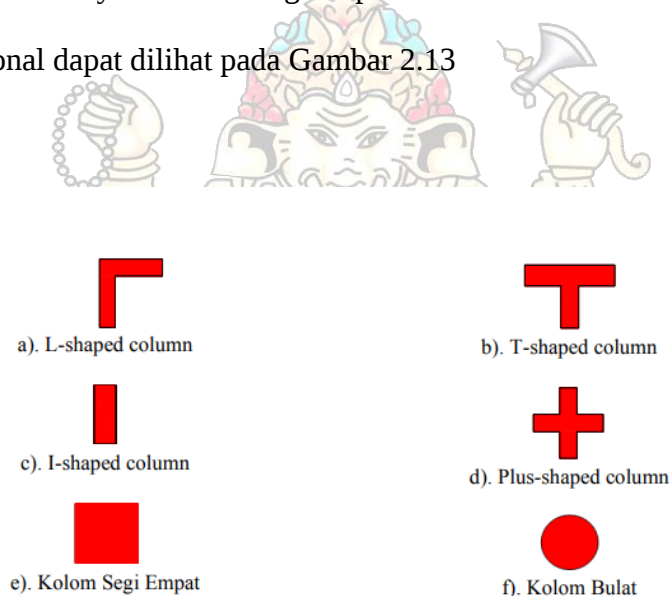
2.4.1 Batas Kelangsingan Kolom

Kolom dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu kolom pendek dan kolom panjang (kolom langsing). Perbedaan ini di tinjau dari rasio kelangsingan kolom, yaitu nilai perbandingan ukuran antara pendek atau panjangnya kolom terhadap dimensi lateral. Kegagalan pada kolom pendek, biasanya terjadi karena hancurnya material beton atau baja tulangan. Tetapi kegagalan pada kolom panjang, biasanya

terjadi karena tertekuknya batang sehingga patah. Dalam hal perilaku deformasi kolom akibat menahan beban horizontal, kolom dibedakan menjadi 2 macam, yaitu kolom tidak dapat bergoyang dan kolom dapat bergoyang

2.4.2 Jenis – jenis Kolom Pipih dan Konvensional

Kolom pipih mempunyai 4 bentuk yaitu L-shaped column, T-shaped column, plus-shaped column, dan I-shaped column, sedangkan kolom konvensional mempunyai 2 bentuk yaitu kolom segi empat dan kolom bulat. Bentuk kolom pipih dan konvensional dapat dilihat pada Gambar 2.13



Gambar 2. 13 Bentuk Kolom Pipih dan Kolom Konvensional
(Sumber: Sakti et al., 2022)

2.4.3 Persyaratan Umum Kolom SRPMK

Komponen struktur yang menerima kombinasi lentur dan beban aksial beton bertulang sesuai SNI 2847-2019 Pasal 21.6 pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah sebagai berikut:

1. Persyaratan dari sub pasal ini berlaku untuk komponen struktur rangka

momen khusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa dan yang menahan gaya aksial terfaktor, P_u , akibat sebarang kombinasi beban yang melebihi $A_g f_c' / 10$.

2. Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm.
3. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0.4.

2.5 Desain Balok

Balok adalah elemen struktural yang menerima gaya-gaya yang bekerja dalam arah transversal terhadap sumbunya yang mengakibatkan terjadinya momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya. Balok merupakan elemen struktural yang menyalurkan beban-beban dari pelat lantai ke kolom sebagai penyangga vertikal. Pada umumnya balok dicor secara monolit dengan pelat dan secara struktural dipasang tulangan di bagian bawah dan di bagian atas. Dua hal utama yang dialami oleh balok ialah gaya tekan dan gaya tarik, antara lain karena adanya pengaruh lentur ataupun gaya lateral (Suhendi et al., 2020).

2.5.1 Persyaratan Umum Balok SRPMK

Kaidah standar perencanaan elemen struktur lentur sistem struktur SRPMK mengacu pada SNI Beton 2847-2019 pasal 21.5.1 yaitu:

1. Gaya tekan aksial terfaktor, P_u , tidak lebih dari $A_g f_c' / 10$.
2. Panjang bentang bersih untuk komponen struktur, l_n , harus lebih besar dari pada 4 kali tinggi efektif.

3. Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0.3.
4. Lebar komponen, b_w , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari $0.3h$ dan 250
5. Lebar komponen struktur, b_w , tidak boleh melebihi lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak $\frac{3}{4}$ tinggi komponen struktur lentur.

2.6 Desain Pelat

Pelat merupakan komponen struktur yang menerima beban mati dan beban hidup.

Pelat dibedakan menjadi dua yakni:

2.6.1 Pelat Satu Arah

Pelat dapat dinyatakan pelat satu arah apabila rasio perbandingan bentang panjang dan bentang pendek suatu pelat lebih dari dua. Berikut adalah tabel untuk tebal minimum pelat satu arah.

Tabel 2. 4 Tebal minimum pelat satu arah

Komponen struktur	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar.			
Pelat masif satu arah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau plat rusuk satu arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$

(Sumber : SNI 1726:2019)

2.6.2. Pelat Dua Arah

Pelat dua arah adalah pelat yang mempunyai rasio perbandingan bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari dua. Berikut adalah tabel untuk tebal minimum pelat dua arah.

Tabel 2. 5 Tebal minimum pelat dua arah

Tegangan leleh, f_y Mpa	Tanpa pennebalan			Dengan Penebalan		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$
Untuk konstruksi dua arah, l_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur dari muka ke muka tumpuan. Untuk f_y antarlah nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier. Pelat dengan balok di antarlah kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α_f Untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.						

(Sumber : SNI 1726:2019)

2.7 Pembebanan Struktur

Beban yang diterima struktur gedung adalah faktor yang menimbulkan tegangan dan regangan pada struktur. Akibat pembebanan pada struktur akan menimbulkan gaya - gaya yang bekerja pada struktur itu sendiri diantaranya gaya tarik, tekan, lentur geser dan lain-lain. Secarah umum beban dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu:

2.7.1 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain (BSN, 2020). Beban hidup selalu berubah-ubah dan sulit diperkirakan. Perubahan tersebut terjadi sepanjang waktu,

baik untuk jangka pendek maupun jangka Panjang. Beban hidup atap merupakan beban yang diakibatkan pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan material. Selain itu juga beban selama masa layan struktur yang diakibatkan oleh benda bergerak, seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghunian (BSN, 2020).

2.7.2 Beban Mati

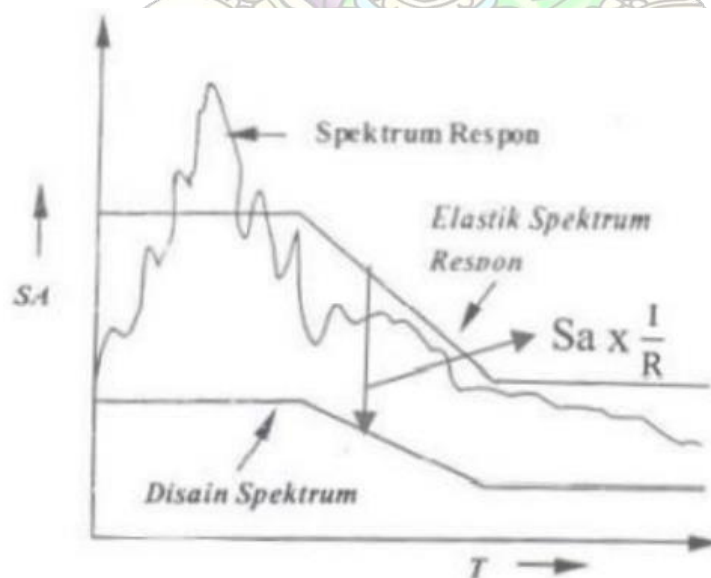
Beban mati adalah beban dari bangunan atau gedung yang terpasang dan tidak dapat dipindahkan atau bersifat tetap selama masa layan struktur, termasuk bagian dari beban mati tambahan seperti dinding, lantai, atap, plafon, tangga, finishing, dan komponen arsitektural yang tidak bisa dipisahkan dari sebuah bangunan. Nilai beban mati mengacu pada (BSN, 2020).

2.8 Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Prosedur dalam melaksanakan perencanaan struktur tahan gempa telah ditentukan didalam SNI 03-1726-2019. Untuk melakukan analisis beban gempa terdapat 3 cara yang dapat digunakan yaitu analisis statik ekuivalen, analisis respons spektrum, dan analisis riwayat waktu (time history). Dalam penentuan mana yang akan digunakan perlu diperhatikan dari berbagai aspek sebagai berikut : system struktur, property dinamis, kategori desain seismic struktur dan keteraturan struktur. Prosedur analisis yang diizinkan dapat dilihat pada SNI 1726 Tabel 16 Tahun 2019.

2.8.1 Analisis Respons Spektrum

Analisis respons spektrum disajikan dalam bentuk grafik dengan sumbu x yaitu T (periode getar struktur) dan sumbu y yaitu lawan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respon-respon maksimum dapat berupa kecepatan maksimum (spectral velocity, SV), simpangan maksimum (spectral displacement, SD) atau percepatan maksimum (spectral acceleration, SA) massa struktur single degree of freedom (SDOF), (Pawirodikromo, 2012). Respons spektrum terdiri dari dua macam yaitu respons spektrum elastik dan respons spektrum in-elastik. Respons spektrum elastik berdasarkan respons elastik dan respons spektrum inelastik berarti *discale down* dari spektrum elastik dengan nilai daktilitas tertentu yang dapat dilihat pada Gambar 2.14



Gambar 2. 14 Respons Spektrum Elastik dan Inelastik
(Sumber: Pawirodikrimo 2000)

Dalam melakukan pembuatan respons spektrum berdasarkan SNI 03-1726-2019.

Tabel 2. 6 Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber : SNI 1726:2019)

2.8.2 Faktor Redundansi

Berdasarkan SNI 1926-2019 struktur bangunan dengan kategori desain seismic D, E, atau F, maka p menggunakan 1,3 kecuali apa bila dua kondisi dibawah ini terpenuhi maka p diperbolehkan menggunakan 1,0.

1. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 % geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan Tabel 15 SNI 1726-2019,
2. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem pemikul gaya gempa seismic terdiri dari paling sedikit dua bentang pemikul gaya seismic yang terdapat pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35 % geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat (h_{sx}) untuk konstruksi rangka ringan.

2.8.3 Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Masing-masing bangunan memiliki sistem pemikul gaya seismic sesuai dengan sifat bangunan itu sendiri. Pemilihan sistem tersebut terbagi berdasarkan tipe elemen vertikal pemikul gaya seismic lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur (h_n),

koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih system (Ω_0) dan faktor pembesaran simpangan lateral (C_d), yang sesuai berdasarkan Tabel 12 SNI 1726-2019 yang dipergunakan untuk menentukan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar tingkat desain.

2.8.4 Kombinasi dan Pengaruh Beban Gempa

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh bebanbeban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi yang tertera dibawah. Dengan adanya pengaruh satu atau lebih beban yang tidak bekerja perlu ditinjau.

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr$ (atau R)
3. $1,2 D + 1,6 Lr$ (atau R) + $1,0 L$ (atau $0,5 W$)
4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 Lr$ (atau R)
5. $0,9 D + 1,0 W$
6. $1,2 D + 1,0 Ev + 1,0 Eh + L$
7. $0,9 D - 1,0 Ev + 1,0 Eh$

Pengaruh beban gempa arah horizontal (E_h) ditentukan dengan persamaan seperti dibawah ini.

$$E_h = \rho QE$$

Keterangan :

ρ = faktor redudansi

QE = pengaruh beban gempa arah horizontal dari V atau F_p

Pengaruh beban gempa arah vertikal (E_v) ditentukan dengan persamaan

seperti dibawah ini.

$$E_v = 0,2 S_{DS} D$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda pendek

D = beban mati

Kombinasi dasar untuk desain kekuatan:

$$1. (1,2 + 0,2S_{DS})D + \rho QE + L$$

$$2. (0,9 - 0,2S_{DS})D + \rho QE + 1,6H$$

Dalam perencanaan struktur, beban-beban yang diterima struktur harus diperhitungkan agar bangunan kuat menerima kombinasi pembebanan yang ada. Dalam perencanaan dicari kombinasi pembebanan yang paling kritis untuk menentukan kuat perlu. Adapun kuat perlu yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$1. 1,4D$$

$$2. 1,2D + 1,6L$$

$$3. (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L + \rho E_x + 0,3 \rho E_y$$

$$4. (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L + \rho E_x - 0,3 \rho E_y$$

$$5. (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L - \rho E_x + 0,3 \rho E_y$$

$$6. (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L - \rho E_x - 0,3 \rho E_y$$

$$7. (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L + 0,3 \rho E_x + \rho E_y$$

$$8. (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L - 0,3 \rho E_x + \rho E_y$$

$$9. (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L + 0,3 \rho E_x - \rho E_y$$

$$10. (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L - 0,3 \rho E_x - \rho E_y$$

$$11. (0,9 - 0,2S_{DS})D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y$$

$$12. (0,9 - 0,2S_{DS})D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y$$

$$13. (0,9 - 0,2S_{DS})D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y$$

$$14. (0,9 - 0,2S_{DS})D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y$$

$$15. (0,9 - 0,2S_{DS})D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y$$

$$16. (0,9 - 0,2S_{DS})D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y$$

$$17. (0,9 - 0,2S_{DS})D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y$$

$$18. (0,9 - 0,2S_{DS})D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y$$

Keterangan:

D = beban mati (dead load)

L = beban hidup (live load)

S_{DS} = parameter percepatan respons desain pada periode pendek

ρ = faktor redundansi

E_x = beban gempa arah horizontal

E_y = beban gempa arah vertikal

2.8.5 Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726-2019 telah ditetapkan jenis-jenis tanah yang ada di Indonesia terdiri dari 4 kategori, yaitu Batuan Keras (SA), Batuan (SB), Tanah Keras

(SC), Tanah Sedang (SD), Tanah Lunak (SE), dan Tanah Khusus (SF)

2.8.6 Koefisien Situs, F_a dan F_v

Dalam menentukan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, dibutuhkan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{Ms}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang telah disesuaikan dengan adanya pengaruh klasifikasi situs, sehingga perlu ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$S_{Ms} = F_a S_s$$

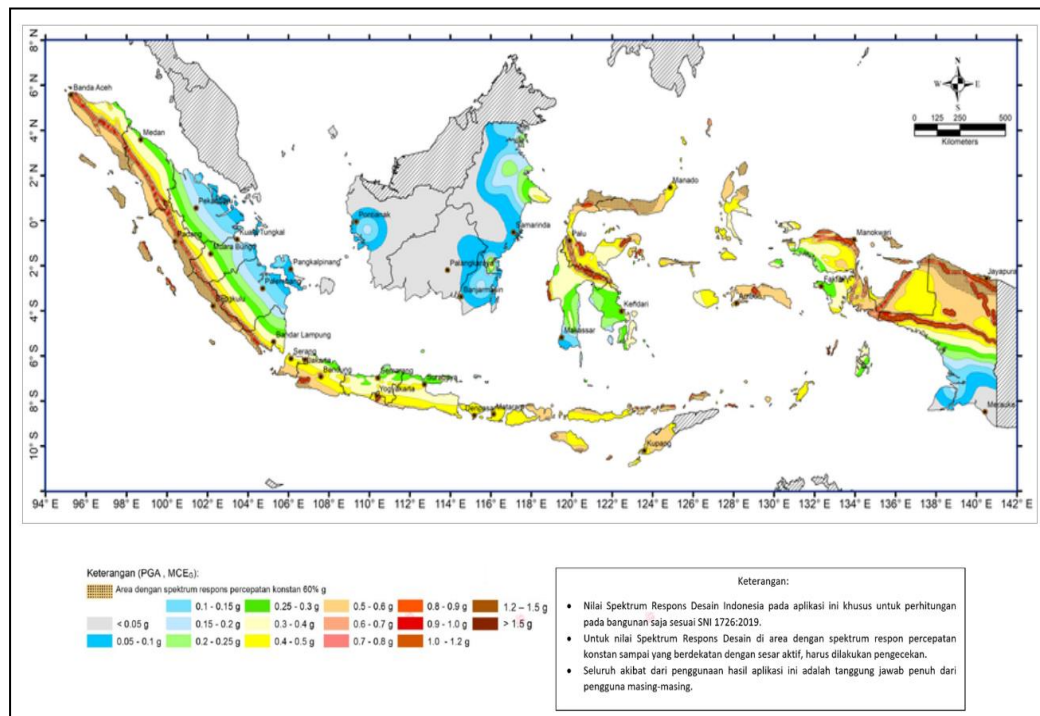
$$S_{M1} = F_v S_1$$

Keterangan :

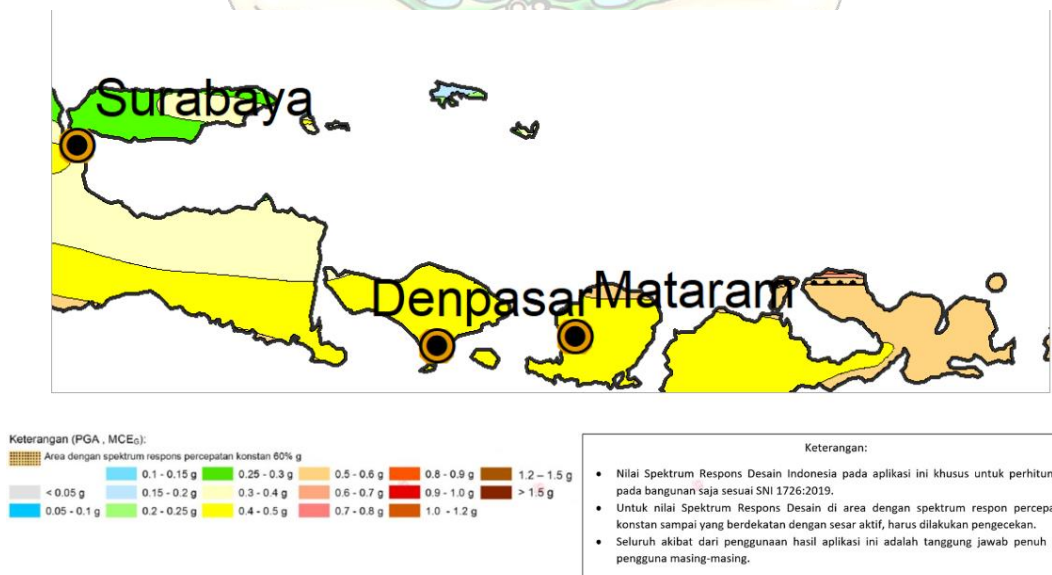
S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik

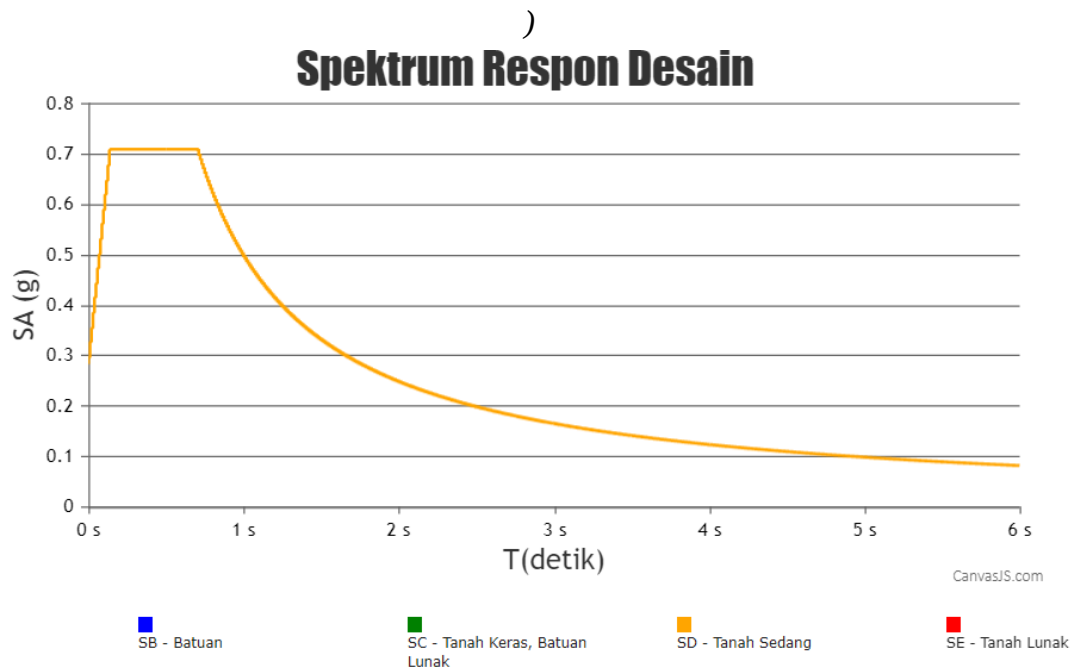
UNMAS DENPASAR



Gambar 2. 15 Peta Gempa
(Sumber: BSN, 2019)



Gambar 2. 16 Peta Gempa Kabupaten Tabanan
(Sumber: PuSGeN, 2017)



Gambar 2. 17 Spektrum Respon Desain Kabupaten Tabanan
((Sumber: PuSGeN, 2017))

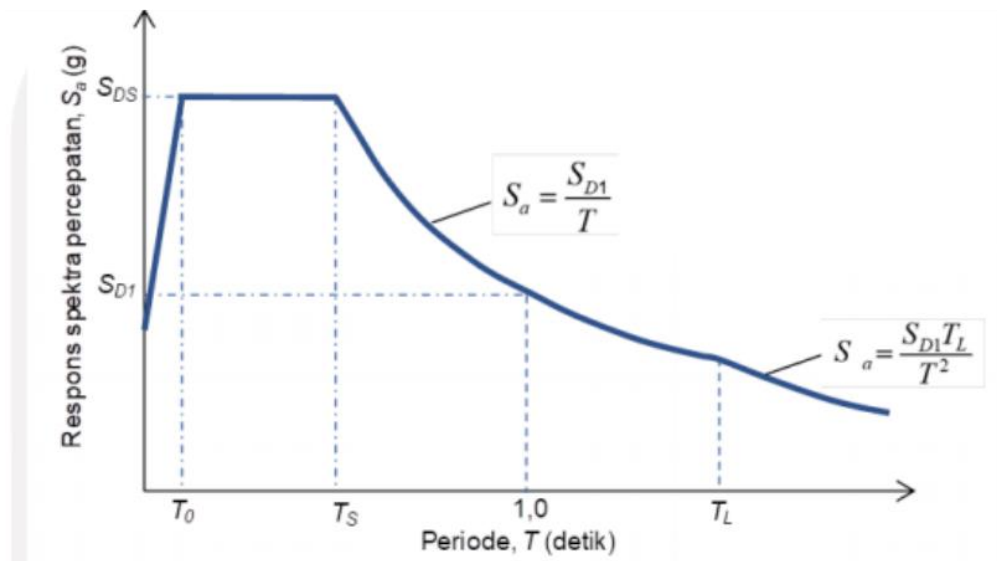
2.8.7 Spektrum Respons Desain

Perioda yang lebih kecil dari hasil T_0 , spektrum respons percepatan desain (S_a) diambil dari persamaan seperti dibawah ini.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

Apabila perioda lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain (S_a) sama dengan S_{DS} . Namun, jika perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain (S_a) diambil berdasarkan persamaan berikut ini.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$



Gambar 2. 18 Spektrum Respons Desain
(Sumber : SNI 1726-2019)

Keterangan :

S_S = Parameter gempa respons spektra percepatan MCER terpetakan untuk periode pendek,

S_1 = Parameter respons spektra percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik,

F_a = Koefisien situs untuk periode pendek (pada periode 0,2 detik),

F_v = Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik),

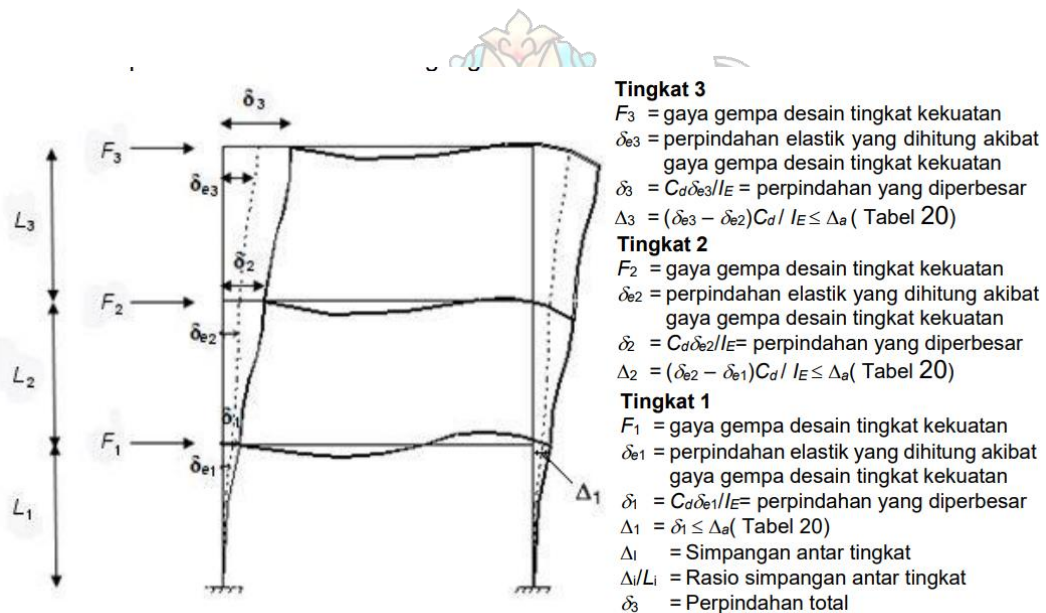
S_{DS} = Parameter respons spektra percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = Parameter respons spektra percepatan desain pada periode 1 detik,

T = Periode getar fundamental struktur.

2.9 Simpangan Antar Lantai

Dalam menentukan simpangan antar tingkat desain (Δ) dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan bawah tingkat yang ditinjau. Jika pusat massa tidak segaris dengan arah vertikal, maka diizinkan menghitung simpangan dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya.



Gambar 2. 19 Penentuan Simpangan Antar Tingkat
 (Sumber : SNI 1726:2019)

Simpangan pusat massa ditingkat x (δ_x) dalam milimeter (mm) yang telah ditentukan dengan rumus berikut ini.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Berdasarkan (BSN, 2019), Simpangan antar lantai ini tidak boleh melebihi dari batas-batas yang ditentukan. Untuk semua struktur lainnya yang termasuk dalam kategori

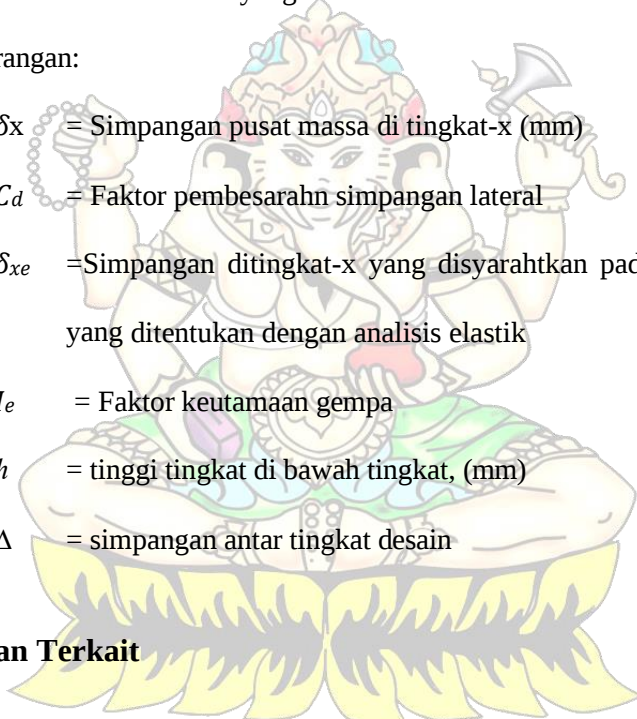
resiko gedung I dan II, batas simpangan antar lantai ultimitnya (Δ_a) tidak boleh melebihi dari:

$$\Delta_a = 0,020 h_{sx}$$

$$\Delta \leq \Delta_a$$

Tujuan dari pemberian batasan ini adalah agar struktur tidak terlalu kaku (Rigid) dan tidak terlalu melentur. Struktur yang terlalu kaku tidak memberikan adanya tanda tanda kerusakan struktur dan struktur yang terlalu melentur memberikan efek nyaman.

Keterangan:

- 
- δx = Simpangan pusat massa di tingkat-x (mm)
 - C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral
 - δ_{xe} = Simpangan ditingkat-x yang disyaratkan pada pasal ini, yang ditentukan dengan analisis elastik
 - I_e = Faktor keutamaan gempa
 - h = tinggi tingkat di bawah tingkat, (mm)
 - Δ = simpangan antar tingkat desain

2.10. Penelitian Terkait

1. (Nurul Hidayati et al., 2023). Melakukan Analisa ketidakberaturan horizontal dan vertikal pada struktur gedung beton bertulang. Penelitiannya berfokus untuk mengetahui kemampuan struktur gedung bertingkat akibat pengaruh beban gempa serta ketidakberaturannya. Hasil analisa geometri struktur secara ketidakberaturan horizontal menunjukkan bahwa struktur tidak memiliki ketidakberaturan Tipe 1a, Tipe 1b, Tipe 3, Tipe 4 dan Tipe 5. Sedangkan pada Tipe 2 struktur dinyatakan memiliki ketidakberaturan sudut dalam, sehingga

gaya desain diafragma pada struktur tersebut harus ditingkatkan 25% pada tahap perencanaannya. Adapun hasil analisa geometri struktur secara ketidakberaturan vertikal menunjukkan bahwa struktur tidak memiliki ketidakberaturan Tipe 1a, Tipe 1b, Tipe 2, Tipe 3, Tipe 4, Tipe 5a dan Tipe 5b. Sehingga struktur dapat direncanakan tanpa mempertimbangkan persyaratan untuk dipenuhi pada ketidakberaturan vertikal.

2. (Limbongan et al., 2016). Melakukan Analisis Struktur Beton Bertulang Kolom Pipih pada Gedung Bertingkat. Penelitian ini untuk mengetahui cara mendisain kolom pipih beton bertulang pada gedung bertingkat dan perilaku perilaku kolom pipih. Hasil analisis tebal dinding 15cm merupakan tebal dengan tinggi optimal lantai yang kecil sedangkan pada tebal 25cm mempunyai tinggi optimal lantai yang dihasilkan besar, namun dari beberapa pertimbangan tebal 20cm dianggap sebagai pilihan yang ekonomis. perbandingan menunjukkan bahwa semakin besar dimensi kolom baik arah lebar maupun panjang semakin kecil nilai simpangan antar lantai yang terjadi, namun berbanding terbalik dengan tinggi antar tingkatnya, dimana semakin besar tinggi antar tingkatnya semakin besar pula nilai simpangan antar lantainya.
3. (Rau et al., 2023). Melakukan Analisis Kinerja Struktur Gedung dengan Ketidakberaturan Horizontal. Pada penelitian ini akan meneliti tentang struktur gedung beraturan dan ketidak beraturan horizontal diantaranya struktur gedung berbentuk L (ML) yang tergolong kedalam ketidakberaturan horizontal sudut dalam, sedangkan C (MC) tergolong kedalam ketidakberaturan horizontal diskontinuitas diafragma, dan O (MO) tergolong kedalam ketidakberaturan

horizontal diskontinuitas diafragma, hasil analisis program software SAP 2000 dengan Analisis Statik Nonlinear Pushover maka didapatkan hasil bahwa kinerja struktur arah X pada gedung MB memiliki kekakuan yang paling kuat diantar struktur gedung lainnya dan hasil yang sama yang didapatkan pada arah Y yaitu struktur gedung MB memiliki tingkat kekakuan yang paling kuat, dan dapat disimpulkan bahwa kinerja struktur gedung MB lebih baik dari struktur gedung ML, MC, dan MO

4. (Bambang Budiono & Eko Budi Wicaksono, 2016) Melakukan Analisis Perilaku Struktur Bangunan dengan Ketidakberaturan Vertikal Tingkat Lunak Berlebihan dan Massa Terhadap Beban Gempa, Analisis level kinerja dan plastifikasi struktur dilakukan pada elemen-elemen struktur utama penyusun bangunan tersebut baik balok, kolom, dan dinding geser. Plastifikasi elemen balok dan kolom bisa dilihat dari level kinerja yang terjadi berdasarkan rotasi sendi plastis. Sedangkan untuk dinding geser menggunakan elemen *fiber*, untuk melihat level kinerjanya bisa dengan menganalisis *strain gage* yang dipasang di elemen *fiber* tersebut. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak yang terjadi pada lantai bawah (B1) memberikan respon yang paling menyimpang jika dibandingkan terhadap struktur bangunan dasar (A0) serta memiliki akurasi yang paling buruk jika dilakukan perbandingan antara metode *push-over* terhadap *NL-THA*, ketidak-beraturan pada lantai bawah (B1) memiliki nilai safety paling rendah jika dibandingkan ketidak-beraturan kekakuan tingkat lunak pada lantai diatas (B2 dan B3). Kombinasi ketidak-beraturan kekakuan tingkat lunak dan massa pada lantai satu (D1) memberikan respon yang paling buruk dibandingkan terhadap semua struktur

studi kasus. Keadaan ini menyebabkan perlu ada perhatian khusus pada proses desain jika terjadi kedua jenis ketidak-beraturan dalam waktu yang bersamaan. Analisis kinerja struktur menggunakan analisis *NL-THA*, memberikan nilai deformasi lateral yang hampir sama baik untuk struktur bangunan irregular maupun struktur bangunan regular (bangunan dasar). Meskipun demikian, perbedaan respon struktur dapat berbeda secara signifikan pada respon elemen strukturnya.

