

ANALISA PERBANDINGAN SIMPANGAN PADA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN DAN SISTEM GANDA

Shabrina Amalia Shany¹, Andrianus Agus Santosa², Mohammad Erfan³

Jurusan Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang ^{1,2,3}

E-mail : ashany525@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu batasan yang harus dipenuhi oleh Insinyur Teknik Sipil dalam merencanakan sebuah bangunan tahan gempa selain faktor keamanan adalah faktor kenyamanan yang dapat dilihat dari besarnya simpangan yang terjadi. Besar simpangan dapat pula mencerminkan besaran gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan perilaku simpangan yang terjadi pada struktur bangunan gedung 11 lantai dengan memodelkan bangunan tersebut dengan menggunakan Sistem Ganda dan Sistem Rangka Pemikul Momen. Gedung ini akan didesain dengan 2 model. Desain 1 adalah Sistem rangka pemikul momen dimana total volume elemen vertikalnya (kolom dan shearwall area lift) mendekati total volume elemen vertikal pada desain sistem ganda (Desain 2). Desain 2 adalah desain dengan Sistem Ganda, yakni terdiri dari rangka yang memikul 25% beban lateral dan dinding geser. Perhitungan beban gempa akan dihitung dengan menggunakan metode respon spektrum.

Setelah dilakukan analisa, didapatkan hasil bahwa untuk Desain 1 simpangan antar lantai pada arah X nilainya memenuhi persyaratan batas ijin, batas layan, serta batas ultimate. Sedangkan, untuk Desain 1 simpangan antar lantai pada arah Y memiliki nilai simpangan 65,4104 mm di lantai atap ruang lift nilai ini melebihi batas simpangan ijin sebesar 53,846 mm. Pada Desain 1 juga nilai simpangan arah Y pada lantai atap melebihi batas layan dan melebihi batas ultimate simpangan.

Selanjutnya, Desain 2 memiliki nilai simpangan arah X dan simpangan arah Y yang memenuhi persyaratan batas ijin simpangan, batas layan, dan batas ultimate simpangan. Rerata simpangan antar lantai arah X untuk Desain 1 dan Desain 2 masing-masing adalah 26,554 mm dan 22,503 mm. Rerata simpangan antar lantai arah Y untuk Desain 1 dan Desain 2 masing-masing adalah 25,485 mm dan 23,838 mm. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka dipilih Desain 2 karena memiliki nilai simpangan antar lantai yang memenuhi persyaratan batas ijin, batas layan, dan batas ultimate simpangan.

Kata Kunci: *sistem ganda, sistem rangka pemikul momen, simpangan*

ABSTRACT

One of the limitations that must be met by Civil Engineering Engineers in planning an earthquake-resistant building besides the safety factor is the comfort factor which can be seen from the magnitude of the deviation that occurs. The amount of deviation can also reflect the magnitude of the internal forces that occur in the structure.

The purpose of this study is to compare the deviation behavior that occurs in the 11-story building structure by modeling the building using the Dual System and the Moment Bearer Frame System. This building will be designed with 2 models. Design 1 is a moment-bearing frame system where the total volume of vertical elements (column and shearwall area lift) approaches the total volume of vertical elements in a dual system design (Design 2). Design 2 is a Dual System design, consisting of a frame that carries 25% lateral loads and shear walls. Earthquake load calculations will be calculated using the response spectrum method.

After analyzing it, the results show that for Design 1 the deviation between floors in the X direction the value meets the requirements of the permit limit, service limit, and ultimate limit. Meanwhile, for Design 1 the deviation between floors in the Y direction has a deviation value of 65.4104 mm on the roof floor of the elevator space, this value exceeds the allowable deviation limit of 53.846 mm. In Design 1, the Y-direction deviation value on the roof floor exceeds the service limit and exceeds the ultimate deviation limit.

Furthermore, Design 2 has a deviation value of X direction and a deviation of Y direction which meets the requirements of the deviation allowance limit, service limit, and ultimate deviation limit. The mean deviation between floors in the X direction for Design 1 and Design 2 is 26,554 mm and 22,503 mm, respectively. The mean deviation between floors in the Y direction for Design 1 and Design 2 is 25.485 mm and 23.838 mm, respectively. Based on the results of these calculations, Design 2 was chosen because it has a deviation value between floors that meets the requirements of the permit limit, service limit, and ultimate deviation limit.

Keywords: *Dual System, Moment Bearer Frame System, Deviation*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gedung laboratorium sebagai lokasi studi, merupakan gedung 11 lantai terletak di Kota Sidoarjo, Jawa Timur. Gedung ini berada di daerah klasifikasi situs SE atau tanah lunak karena memiliki nilai N-SPT rata-rata sebesar 8,47, nilai $PI > 20$, nilai kadar air $W \geq 40$ dan memiliki Kategori Desain Seismik D.

Suatu struktur bangunan diharapkan mampu memikul beban gravitasi dan juga mampu menahan beban lateral seperti beban angin atau beban gempa. Salah satu batasan yang harus dipenuhi dalam perencanaan selain faktor keamanan adalah faktor kenyamanan yang dapat dilihat dari besarnya simpangan yang terjadi. Besarnya simpangan yang terjadi ini juga mencerminkan besaran gaya dalam yang terjadi pada struktur tersebut.

Oleh karena itu, peneliti ingin membandingkan perilaku simpangan yang terjadi pada lokasi studi dengan membandingkan perilaku simpangan yang terjadi pada lokasi studi dengan memodelkan bangunan tersebut dengan Sistem Ganda dan Sistem Rangka Pemikul Momen. Perencanaan akan menggunakan peraturan SNI 1726-2019 untuk beban gempa sedangkan untuk perencanaan struktur beton bertulang akan menggunakan peraturan SNI 2847-2013. Untuk perhitungan simpangan terhadap batas layan dan batas ultimate akan mengacu kepada SNI 1726-2002.

Rumusan dan Tujuan Perencanaan

Perencanaan ini dilakukan untuk menghitung nilai simpangan antar lantai pada dua sistem struktur serta untuk mengetahui perilaku struktur bangunan gedung terkait simpangan yang terjadi akibat beban gempa sebagai pertimbangan dalam memilih sistem struktur yang digunakan.

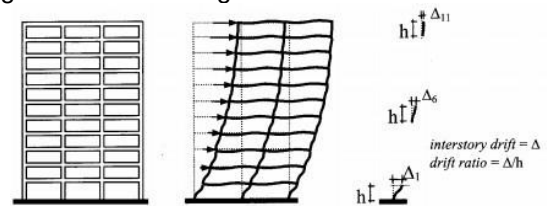
2. LANDASAN TEORI

Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem struktur yang termasuk dalam struktur yang relatif fleksibel adalah sistem rangka pemikul momen. Sistem rangka pemikul momen mampu menahan beban gravitasi dan beban lateral. Beban lateral ini dapat berupa beban gempa atau beban angin.. Beban gempa yang mengenai suatu

gedung, akan semakin besar seiring dengan meningkatnya ketinggian suatu struktur. Sistem rangka pemikul momen cenderung akan berdeformasi akibat gaya geser dasar (base shear).

Kowalczyk (1995), menyatakan bahwa *Shear deformation* pada sistem rangka pemikul momen disebabkan oleh gaya lateral dan hanya 10% diakibatkan oleh beban gravitasi. Hal ini akan mengakibatkan simpangan antar lantai (drift) pada tingkat yang bawah akan sangat besar.

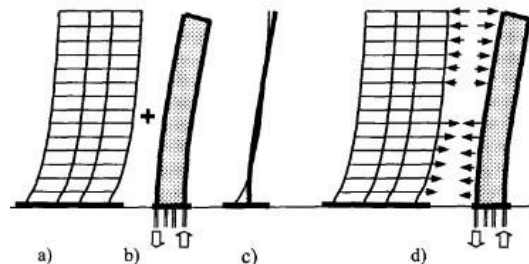


Gambar 1. Pola simpangan sistem rangka pemikul momen.

Sumber: *Seismologi teknik & rekayasa kegempaan*, 2012

Sistem Ganda

Sistem ganda adalah sistem struktur yang terdiri atas rangka pemikul beban gravitasi dan dinding geser yang bertujuan untuk memikul beban lateral.



Gambar 2. Pola simpangan sistem ganda

Sumber: *Seismologi teknik & rekayasa kegempaan*, 2012

Gambar 2.a) menunjukkan suatu *deflected shape* yang paling umum terjadi pada portal terbuka akibat beban horizontal. Terlihat jelas pada gambar tersebut bahwa simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) pada tingkat-tingkat bawah cukup besar. Simpangan antar tingkat yang cukup besar ini akan mengakibatkan momen dan rotasi sendi plastis yang besar sehingga dapat menyebabkan kerusakan elemen non struktural seperti tembok, jendela kaca maupun dinding penyekat.

Banyak ahli teknik kegempaan mengatakan bahwa kerusakan elemen non struktur sering kali mendatangkan kerugian yang besar. Oleh karena itu simpangan antar tingkat harus dibatasi agar kerusakan tersebut dapat diminimalisir.

Gambar 2.9b) menunjukkan pola simpangan untuk struktur dinding kantilever tunggal. Untuk dinding yang relatif langsing, umumnya akan berperilaku seperti batang kantilever yakni berperilaku menurut bending/lentur. Pada bagian bawah, terjadi simpangan yang relatif kecil, tetapi akan terjadi simpangan yang cukup besar pada bagian atas.

Perbandingan pola simpangan antara struktur portal dengan struktur dinding adalah seperti yang ditunjukkan di Gambar 2.9c). Tampak simpangan saling berlawanan, khususnya pada tingkat-tingkat bawah dan atas. Dengan adanya dinding geser, maka akan mengeliminasi simpangan antar tingkat khususnya pada tingkat bawah hingga menengah, serta mempunyai keuntungan untuk melindungi adanya *soft storey* akibat beban gempa yang besar dan kekakuan yang lemah.

Simpangan

Kekakuan merupakan salah satu unsur penting terhadap kestabilan struktur bangunan. Struktur bangunan harus cukup kaku agar mampu menahan beban baik beban gravitasi maupun beban lateral dengan nilai simpangan/displacement yang masih relative kecil.

Pasal 7.8.6 SNI 1726-2019 menerangkan bahwa, penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Defleksi pusat massa tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$\delta_s = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (1)$$

δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastik.

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral dalam Tabel 12 SNI 1726-2019.

I_e = faktor keutamaan gempa.

Besarnya simpangan antar lantai dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$\Delta x = \delta_{xa} - \delta_{xb} \leq \Delta a \quad (2)$$

$$\Delta x = (\delta_{exa} - \delta_{exb}) \frac{C_d}{I_e} \leq \Delta a \quad (3)$$

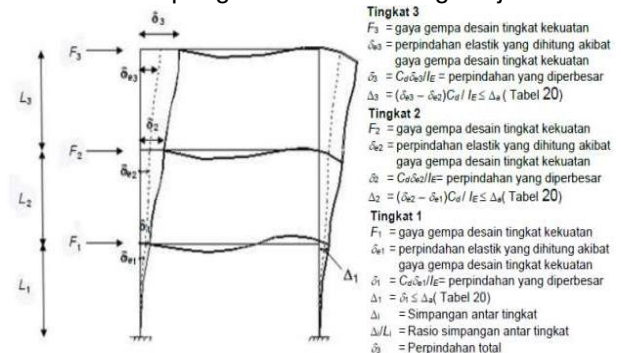
Keterangan:

δ_{xea} = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan pada tingkat atas.

δ_{xeb} = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan pada tingkat bawah.

Δx = simpangan pada lantai ke-x.

Δa = simpangan antar lantai tingkat ijin.



Gambar 3. Penentuan simpangan antar lantai.

Sumber: SNI 1726-2019 Gambar 10

Batas Simpangan Ijin

SNI 1726-2019 Pasal 7.8.6.2 menjelaskan bahwa, Untuk menentukan kesesuaian dengan batas simpangan antar tingkat dalam Pasal 7.12.1 dan 7.12.2 SNI 1726-2019, maka diizinkan untuk menentukan simpangan antar tingkat elastik, δ_{xe} dengan menggunakan gaya desain seismic berdasarkan pada periode fundamental struktur yang dihitung tanpa batas atas ($C_u T_a$) yang ditetapkan.

Besar batasan simpangan antar Lantai tingkat tertera pada pasal 7.12.1 dan 7.12.2 SNI 1726-2019. Simpangan antar lantai tingkat ijin (Δa) adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Simpangan antar lantai tingkat ijin, Δa
Sumber: SNI 1726-2019 Tabel 20

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{xx}$	$0,020h_{xx}$	$0,015h_{xx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{xx}$	$0,010h_{xx}$	$0,010h_{xx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{xx}$	$0,007h_{xx}$	$0,007h_{xx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{xx}$	$0,015h_{xx}$	$0,010h_{xx}$

Batas Layan Simpangan

SNI 1726-2002 Pasal 8.1.1 membahas tentang kinerja batas layan struktur bangunan gedung. Kinerja ini ditentukan oleh besarnya simpangan antar tingkat yang terjadi akibat pengaruh beban gempa. Hal ini bertujuan untuk membatasi terjadinya pelelehan baja serta peretakan struktur beton yang berlebihan, selanjutnya hal ini bertujuan untuk mencegah kerusakan elemen non struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

Simpangan antar tingkat yang terjadi akibat beban gempa ini tidak boleh melampaui $\frac{0,03}{R} \times$ tinggi tingkat yang bersangkutan, atau maksimal 30 mm, nilai ini dipilih yang terkecil.

Batas Ultimate Simpangan

Tujuan dari perhitungan batas ultimate simpangan adalah untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur bangunan gedung, selanjutnya untuk mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau antar bagian struktur yang memiliki sela pemisah atau disebut dengan dilatasi. Oleh karena itu, kondisi batas ultimate ini ditentukan oleh simpangan maksimum akibat pengaruh beban gempa dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan.

Simpangan antar tingkat harus dihitung dari nilai simpangan antar lantai struktur akibat beban gempa kemudian dikalikan dengan suatu faktor pengali. Untuk Struktur gedung yang beraturan, nilai faktor pengali dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini.

$$\square = 0,7 \square \square \quad (4)$$

Dimana nilai R merupakan faktor reduksi gempa dari struktur bangunan gedung. Untuk

SRPMK nilai R = 8 , sedangkan untuk Sistem Ganda nilai R = 7.

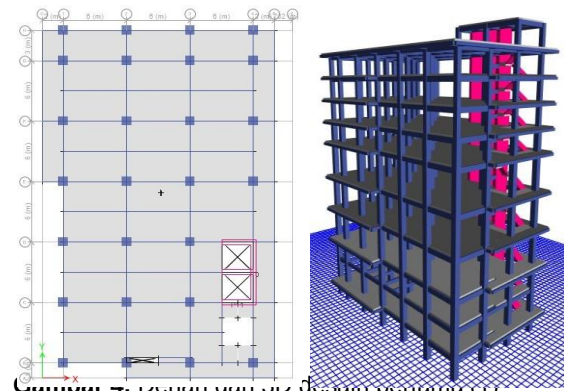
Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas

3. METODOLOGI PENELITIAN

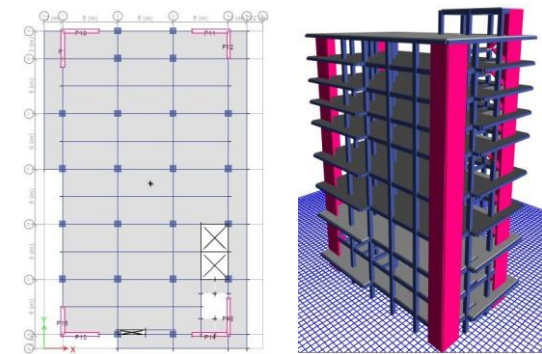
Metode dilakukan dengan pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer merupakan data gambar struktur bangunan pada lokasi studi, sedangkan data sekunder merupakan data tanah yang didapatkan dari area sekitar lokasi studi.

Perencanaan ini bertujuan untuk membandingkan perilaku simpangan pada sistem rangka pemikul momen dan sistem ganda. Perencanaan menggunakan dua (2) desain atau permodelan.

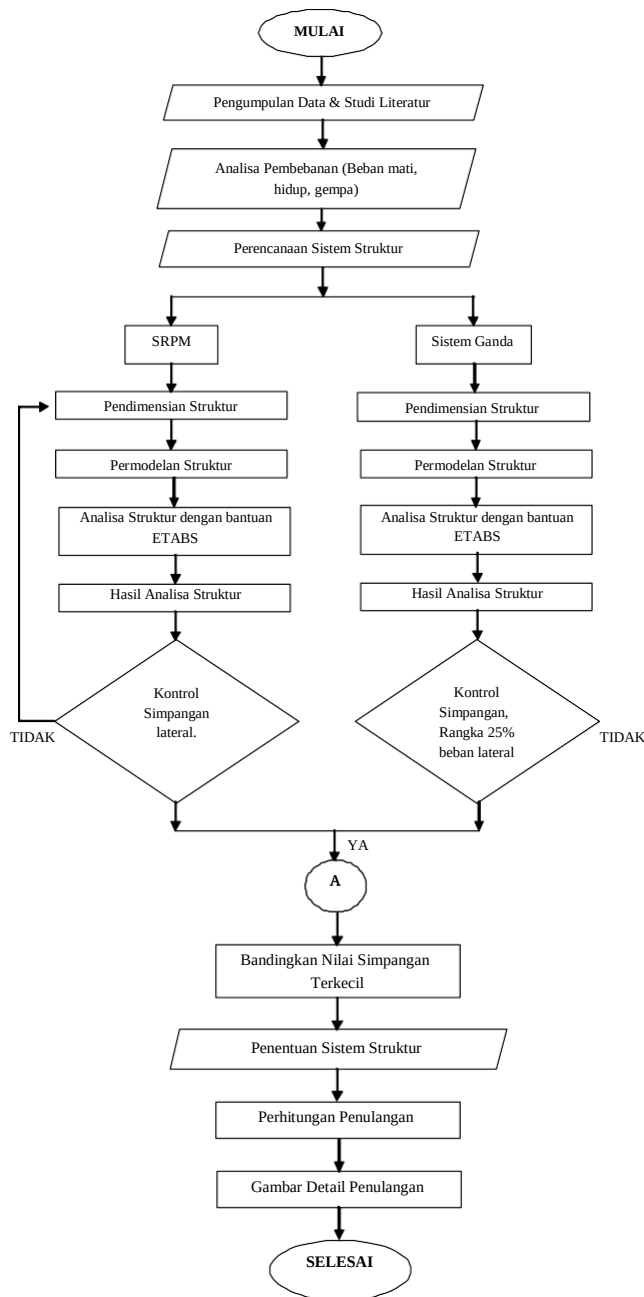
Desain pertama (1) sistem rangka pemikul momen dengan total volume elemen vertikal (kolom dan shearwall area lift) mendekati total volume elemen vertikal (kolom dan shearwall) pada sistem ganda. Desain kedua (2) adalah sistem ganda.



Gambar 4. Denah dan 3D desain pertama (1)
Sumber: perencanaan



Gambar 5. Denah dan 3D desain kedua (2)
Sumber: perencanaan



Gambar 6. Diagram Alir Perencanaan
Sumber: perencanaan

4. PEMBAHASAN

Hasil simpangan terhadap batas ijin

Setelah dilakukan permodelan dan perhitungan pembebanan di Program Bantu Etabs, maka didapatkan besar simpangan antar lantai pada kedua desain sebagai berikut ini:

Desain 1 : simpangan yang terjadi pada arah X dan arah Y pada sistem rangka pemikul momen.

Tabel 2. Simpangan yang terjadi pada arah X sistem rangka pemikul momen khusus (Desain 1).

Sumber: perhitungan

STORY	Hsx (mm)	δe (mm)	Δ (mm)	Δi (mm)	Δijin (mm)	KET
Atap	3500	61.604	271.0376	10.516	53.846	ok
10	3500	63.994	281.5786	10.894	53.846	ok
9	3500	61.508	270.6792	14.674	53.846	ok
8	3500	58.183	256.0852	19.558	53.846	ok
7	3500	53.736	236.4472	23.246	53.846	ok
6	5700	48.454	213.1976	47.838	87.692	ok
5	5500	37.384	165.3696	52.113	84.615	ok
4	5500	25.739	113.2516	51.944	84.615	ok
3	3900	13.983	61.3052	31.224	60.000	ok
2	3900	6.833	30.0652	23.034	60.000	ok
1	3000	1.598	7.0312	7.0312	46.154	ok
Base	0	0	0	0	0.000	ok

Contoh perhitungan simpangan antar lantai terhadap persyaratan batas ijin, perhitungan dilakukan pada lantai 5 simpangan arah X.

$$\Delta_{F5} = \frac{Cd \times \delta e}{le} = \frac{5,5 \times 37,584}{1,25} = 165,3696 \text{ mm}$$

$$\Delta_{F4} = \frac{Cd \times \delta e}{le} = \frac{5,5 \times 25,739}{1,25} = 113,2516 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{i5} &= \Delta_{F5} - \Delta_{F4} \\ &= 165,3696 - 113,2516 \\ &= 52,118 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nilai simpangan antar lantai tingkat ijin dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

Contoh perhitungan pada lantai 5

$$\begin{aligned} \Delta_{ijin} &= (0,020 \text{ hsx}) / \rho \\ &= (0,020 \times 5500) / 1,3 = 84,615 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol : $\Delta_{i5} = 52,118 \text{ mm} > \Delta_{ijin} = 84,615 \text{ mm}$ (OK)

Tabel 3. Simpangan yang terjadi pada arah Y sistem rangka pemikul momen khusus (Desain 1).
Sumber: perhitungan

STORY	Hsx (mm)	de (mm)	Δ (mm)	Δi (mm)	Δijin (mm)	KET
Atap	3500	33.973	149.4812	65.4104	53.846	ndk ok
10	3500	48.839	214.3996	7.7088	53.846	ok
9	3500	47.087	207.1828	10.7052	53.846	ok
8	3500	44.654	196.4776	14.5332	53.846	ok
7	3500	41.351	181.9444	17.3404	53.846	ok
6	5700	37.41	164.604	36.212	87.692	ok
5	5500	29.108	128.392	39.6132	84.615	ok
4	5500	20.177	88.7788	40.062	84.615	ok
3	3900	11.072	48.7168	26.6464	60.000	ok
2	3900	5.016	22.0704	16.3856	60.000	ok
1	3000	1.292	5.6848	5.6848	46.154	ok
Base	0	0	0	0	0.000	ok

Berikut ini adalah contoh perhitungan simpangan antar lantai yang terjadi pada lantai ke-5 pada simpangan arah-Y.

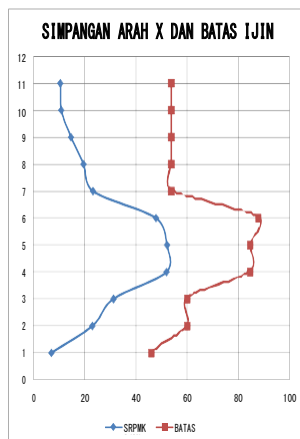
$$\Delta_{F5} = \frac{Cd \times de}{le} = \frac{5,5 \times 29,18}{1,25} = 128,392 \text{ mm}$$

$$\Delta_{F4} = \frac{Cd \times de}{le} = \frac{5,5 \times 20,177}{1,25} = 88,7788 \text{ mm}$$

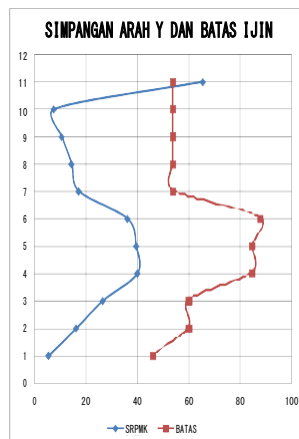
$$\begin{aligned} \Delta_{i5} &= \Delta_{F5} - \Delta_{F4} \\ &= 128,392 - 88,7788 \\ &= 39,6132 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nilai simpangan antar lantai tingkat ijin dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:
Contoh perhitungan pada lantai 5

$$\begin{aligned} \Delta_{ijin} &= (0,020 \text{ hsx}) / \rho \\ &= (0,020 \times 5500) / 1,3 = 84,615 \text{ mm} \\ \text{Kontrol : } \Delta_{i5} &= 39,6132 \text{ mm} > \Delta_{ijin} = 84,615 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$



(a)



(b)

Grafik 1. a) Grafik simpangan arah X terhadap batas ijin.
b) Grafik simpangan arah Y terhadap batas ijin dari data simpangan desain 1.

Desain 2 : Simpangan yang terjadi pada arah X dan arah Y pada Desain 2, sistem ganda.

Tabel 4. Simpangan yang terjadi pada arah X Sistem Ganda (Desain 2)
Sumber: perhitungan

STORY	Hsx (mm)	de (mm)	Δ (mm)	Δi (mm)	Δijin (mm)	KET
Atap	3500	56.26	247.54	13.16	52.50	ok
10	3500	53.27	234.37	19.36	52.50	ok
9	3500	48.87	215.02	20.81	52.50	ok
8	3500	44.14	194.21	22.27	52.50	ok
7	3500	39.08	171.94	23.66	52.50	ok
6	5700	33.70	148.28	40.57	85.50	ok
5	5500	24.48	107.71	38.16	82.50	ok
4	5500	15.81	69.55	33.82	82.50	ok
3	3900	8.12	35.73	18.70	58.50	ok
2	3900	3.87	17.03	12.90	58.50	ok
1	3000	0.94	4.13	4.13	45.00	ok
Base	0	0.00	0.00	0.00	0.00	ok

Contoh perhitungan simpangan antar lantai terhadap persyaratan batas ijin. Perhitungan dilakukan pada lantai 5 simpangan arah X.

$$\Delta_{F5} = \frac{Cd \times de}{le} = \frac{5,5 \times 24,48}{1,25} = 107,71 \text{ mm}$$

$$\Delta_{F4} = \frac{Cd \times de}{le} = \frac{5,5 \times 15,81}{1,25} = 69,55 \text{ mm}$$

Sumber: perencanaan

$$\begin{aligned}\Delta_{i5} &= \Delta F5 - \Delta F4 \\ &= 107,71 - 69,55 \\ &= 36,16 \text{ mm}\end{aligned}$$

Nilai simpangan antar lantai tingkat ijin
dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

Contoh perhitungan pada lantai 5

$$\begin{aligned}\Delta_{ijin} &= (0,015 \text{ hsx}) \\ &= (0,015 \times 5500) = 82,50 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kontrol : $\Delta_{i5} = 36,16 \text{ mm} > \Delta_{ijin} = 82,50 \text{ mm}$
(OK)

Tabel 5. Simpangan yang terjadi pada arah Y Sistem Ganda (Desain 2).
Sumber: perhitungan

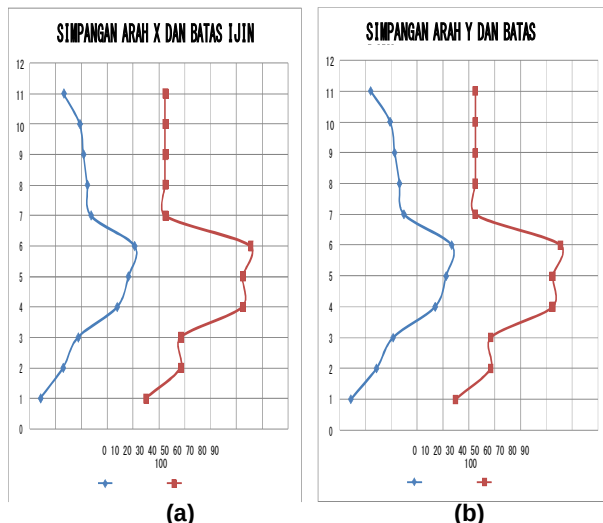
STORY	Hsx (mm)	δe (mm)	Δ (mm)	Δi (mm)	Δijin (mm)	KET
Atap	3500	59.595	262.208	12.1044	52.5	ok
10	3500	56.844	250.1136	19.5888	52.5	ok
9	3500	52.392	230.5248	21.3532	52.5	ok
8	3500	47.539	209.1716	23.1616	52.5	ok
7	3500	42.275	186.001	24.9128	52.5	ok
6	5700	36.613	161.0922	43.3576	85.5	ok
5	5500	26.759	117.7396	41.2104	82.5	ok
4	5500	17.393	76.5292	36.9064	82.5	ok
3	3900	8.987	39.5428	20.7636	58.5	ok
2	3900	4.268	18.7792	14.3308	58.5	ok
1	3000	1.011	4.4484	4.4484	45	ok
Base	0	0	0	0	0	ok

Berikut ini adalah contoh perhitungan simpangan antar lantai yang terjadi pada lantai ke-5 pada simpangan arah-Y.

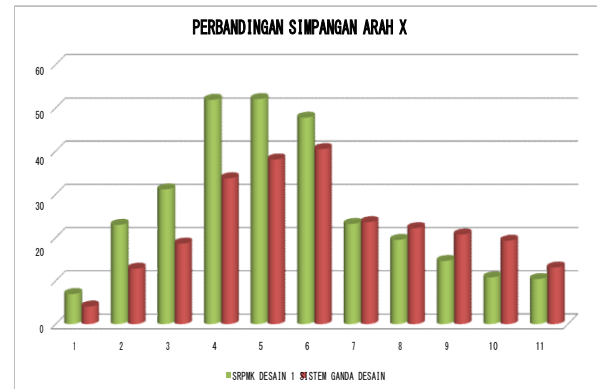
$$\Delta_{F5} = \frac{Cd \times \delta e}{le} = \frac{5,5 \times 26,759}{1,25} = 117,7396 \text{ mm}$$

$$\Delta_{F4} = \frac{Cd \times \delta e}{le} = \frac{5,5 \times 17,393}{1,25} = 76,5292 \text{ mm}$$

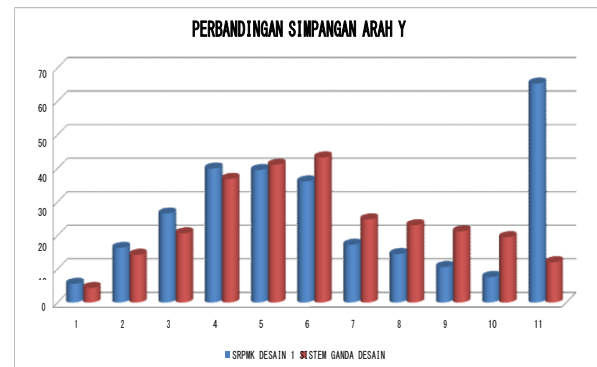
$$\Delta_{i5} = \Delta_{F5} - \Delta_{F4} = 117,7396 - 76,5292 = 41,2104 \text{ mm}$$



Grafik 2. a) Grafik simpangan arah X terhadap batas ijin. b) Grafik simpangan arah Y terhadap batas ijin dari data simpangan desain 2. Sumber: perencanaan



Grafik 3. Grafik perbandingan simpangan arah X pada kedua desain sistem struktur.
Sumber: perencanaan



Grafik 4. Grafik perbandingan simpangan arah Y pada ketiga desain sistem struktur.
Sumber: perencanaan

Berdasarkan kedua desain di atas, dapat diketahui bahwa Desain 1 memiliki simpangan arah X yang sudah memenuhi batas simpangan ijin akibat beban gempa. Sedangkan, untuk simpangan arah Y yang melebihi batas simpangan ijin terjadi hanya di lantai 11 (atap).

Untuk Desain 2, dimana struktur dipasang dengan dinding geser (*shear wall*) berbentuk siku (L) di sudut bangunan, didapatkan hasil bahwa simpangan arah X dan simpangan arah Y nilainya tidak ada yang melebihi batas simpangan ijin.

Selain ditinjau terhadap batas ijin simpangan, perhitungan pada perencanaan ini akan ditinjau pula terhadap batas layan dan batas ultimate sesuai dengan SNI 1726-2002.

Batas layan simpangan

Desain 1 : simpangan yang terjadi pada arah X dan arah Y pada sistem rangka pemikul momen terhadap persyaratan batas layan

Tabel 6. Simpangan yang terjadi pada arah X dan Y sistem rangka pemikul momen khusus desain 1 terhadap batas layan.

Sumber: perhitungan

STORY	Hsx	Simpangan		As		Aijin X	KET	Aijin Y	KET
		X	Y	Δx	Δy				
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	
Atap	3500	61.604	33.973	2.39	14.866	13.125	ok	13.125	OK OK
10	3500	63.994	48.839	2.476	1.752	13.125	ok	13.125	ok
9	3500	61.518	47.087	3.335	2.403	13.125	ok	13.125	ok
8	3500	58.183	44.654	4.445	3.303	13.125	ok	13.125	ok
7	3500	53.738	41.351	5.284	3.941	13.125	ok	13.125	ok
6	5700	48.454	37.41	10.87	8.23	21.38	ok	21.38	ok
5	5500	37.584	29.08	11.845	9.003	20.63	ok	20.63	OK
4	5500	25.739	20.177	11.806	9.005	20.63	ok	20.63	OK
3	3900	13.933	11.072	7.1	6.056	14.63	ok	14.63	OK
2	3900	6.833	5.006	5.235	3.724	14.63	ok	14.63	OK
1	3000	1.598	1.292	1.598	1.292	11.25	ok	11.25	OK

Contoh perhitungan kontrol kinerja batas layan pada lantai 10 arah X adalah sebagai berikut :

$$\Delta s_{10} = 63,994 \text{ mm}$$

$$\Delta s_9 = 61,518 \text{ mm}$$

$$\Delta 10 = \Delta s_{10} - \Delta s_9 = 63,994 - 61,518 = 2,476 \text{ mm}$$

$$\text{Batas ijin} = \frac{0,03}{R} \times \text{tinggi tingkat yang bersangkutan}$$

$$= \frac{0,03}{8} \times 3500 = 13,125 \text{ mm}$$

$$\text{Kesimpulan, } \Delta 10 = 2,476 \text{ mm} < \text{Batas ijin} = 13,125 \text{ mm (OK)}$$

Desain 2 : simpangan yang terjadi pada arah X dan arah Y pada Sistem Ganda terhadap persyaratan batas layan

Tabel 7. Simpangan yang terjadi pada arah X dan Y Sistem Ganda Desain 2 terhadap batas layan.

Sumber: perhitungan

STORY	Hsx	Simpangan		As		Aijin X	KET	Aijin X	KET
		X	Y	Δx	Δy				
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	
Atap	3500	56.258	59.595	2.991	2.751	15	ok	15	ok
10	3500	53.267	56.844	4.399	4.452	15	ok	15	ok
9	3500	48.868	52.392	4.73	4.853	15	ok	15	ok
8	3500	44.138	47.539	5.061	5.264	15	ok	15	ok
7	3500	39.077	42.275	5.378	5.662	15	ok	15	ok
6	5700	33.699	36.613	9.22	9.854	24.43	ok	24.43	ok
5	5500	24.479	26.759	8.673	9.366	23.57	ok	23.57	ok
4	5500	15.806	17.393	7.686	8.406	23.57	ok	23.57	ok
3	3900	8.12	8.987	4.25	4.719	16.71	ok	16.71	ok
2	3900	3.87	4.268	2.931	3.257	16.71	ok	16.71	ok
1	3000	0.939	1.011	0.939	1.011	12.86	ok	12.86	ok

Contoh perhitungan kontrol kinerja batas layan pada lantai 10 arah X sistem ganda adalah sebagai berikut :

$$\Delta s_{10} = 53,267 \text{ mm}$$

$$\Delta s_9 = 48,868 \text{ mm}$$

$$\Delta 10 = \Delta s_{10} - \Delta s_9 = 53,267 - 48,868 = 4,399 \text{ mm}$$

$$\text{Batas ijin} = \frac{0,03}{R} \times \text{tinggi tingkat}$$

$$= \frac{0,03}{7} \times 3500 = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Kesimpulan, } \Delta 10 = 4,399 \text{ mm} < \text{Batas ijin} = 15 \text{ mm (OK)}$$

Batas ultimate simpangan

Desain 1 : simpangan yang terjadi pada arah

X dan arah Y pada sistem rangka pemikul momen terhadap persyaratan batas ultimate.

Tabel 8. Simpangan yang terjadi pada arah X dan sistem rangka pemikul momen khusus desain 1 terhadap batas ultimate.

Sumber: perhitungan

STORY	Hsx	Simpangan		Simpangan antarlantai	Faktor pengali	Δswξ	Batas ijin (mm)	Cek
		X	Y					
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)					
Atap	3500	61.604	33.973	2.39	5.60	13.384	70	ok
10	3500	63.994	48.839	2.476	5.60	13.8656	70	ok
9	3500	61.518	47.087	3.335	5.60	18.676	70	ok
8	3500	58.183	44.654	4.445	5.60	24.892	70	ok
7	3500	53.738	41.351	5.284	5.60	29.5904	70	ok
6	5700	48.454	37.41	10.87	5.60	60.872	114	ok
5	5500	37.584	29.08	11.845	5.60	66.332	110	ok
4	5500	25.739	20.177	11.806	5.60	66.1136	110	ok
3	3900	13.933	11.072	7.1	5.60	39.76	78	ok
2	3900	6.833	5.006	5.235	5.60	29.316	78	ok
1	3000	1.598	1.292	1.598	5.60	8.9488	60	ok

Contoh perhitungan kontrol kinerja batas ultimate pada lantai 10 arah X adalah sebagai berikut :

$$\xi = 0,7 \times R = 0,7 \times 8 = 5,60$$

$$\Delta s_{10} = 63,994 \text{ mm}$$

$$\Delta s_9 = 61,518 \text{ mm}$$

$$\Delta 10 = \Delta s_{10} - \Delta s_9 = 63,994 - 61,518 = 2,476 \text{ mm}$$

$$\Delta 10 \times \xi = 2,476 \times 5,60 = 13,8656 \text{ mm}$$

$$\text{Batas ijin} = 0,02 H = 0,02 \times 3500 = 70 \text{ mm}$$

$$\text{Kesimpulan} = (\Delta 10 \times \xi) = 13,8656 \text{ mm} < \text{batas ijin} = 70 \text{ mm (OK)}$$

Tabel 9. Simpangan yang terjadi pada arah Y dan sistem rangka pemikul momen khusus desain 1 terhadap batas ultimate.

Sumber: perhitungan

STORY	Hsx (mm)	Simpangan Y (mm)	Simpangan antar tingkat	Faktor pengali	$\Delta s \times \xi$	Batas ijin Y (mm)	Cek
		(mm)					
Atap	3500	33.973	14.866	5.60	83.2496	70	tdk ok
10	3500	48.839	1.752	5.60	9.8112	70	ok
9	3500	47.087	2.433	5.60	13.6248	70	ok
8	3500	44.654	3.303	5.60	18.4968	70	ok
7	3500	41.351	3.941	5.60	22.0696	70	ok
6	5700	37.41	8.23	5.60	46.088	114	ok
5	5500	29.18	9.003	5.60	50.4168	110	ok
4	5500	20.177	9.105	5.60	50.988	110	ok
3	3900	11.072	6.056	5.60	33.9136	78	ok
2	3900	5.016	3.724	5.60	20.8544	78	ok
1	3000	1.292	1.292	5.60	7.2352	60	ok
Base	0	0	0	5.60	0	0	ok

Contoh perhitungan kontrol kinerja batas ultimate pada lantai 10 arah Y adalah sebagai berikut :

$$\xi = 0,7 \times R = 0,7 \times 8 = 5,60$$

$$\Delta s_{10} = 48,839 \text{ mm}$$

$$\Delta s_9 = 47,087 \text{ mm}$$

$$\Delta 10 = \Delta s_{10} - \Delta s_9 = 48,839 - 47,087 = 1,752 \text{ mm}$$

$$\Delta 10 \times \xi = 1,752 \times 5,60 = 9,8112 \text{ mm}$$

$$\text{Batas ijin} = 0,02 H = 0,02 \times 3500 = 70 \text{ mm}$$

$$\text{Kesimpulan} = (\Delta 10 \times \xi) = 9,8112 \text{ mm} < \text{batas ijin} = 70 \text{ mm (OK)}$$

Desain 2 : simpangan yang terjadi pada arah X dan arah Y pada sistem ganda terhadap persyaratan batas ultimate.

Tabel 10. Simpangan yang terjadi pada arah X Sistem Ganda Desain 2 terhadap Batas Ultimate.

Sumber: perhitungan

STORY	Hsx (mm)	Simpangan X (mm)	Simpangan antar tingkat	Faktor pengali	$\Delta s \times \xi$	Batas ijin (mm)	Cek
		(mm)					
Atap	3500	56.258	2.991	4.90	14.6559	70	ok
10	3500	53.267	4.399	4.90	21.5551	70	ok
9	3500	48.868	4.73	4.90	23.477	70	ok
8	3500	44.138	5.061	4.90	24.7989	70	ok
7	3500	39.077	5.378	4.90	26.3522	70	ok
6	5700	33.699	9.22	4.90	45.178	114	ok
5	5500	24.479	8.673	4.90	42.4977	110	ok
4	5500	15.806	7.686	4.90	37.6614	110	ok
3	3900	8.12	4.25	4.90	20.825	78	ok
2	3900	3.87	2.931	4.90	14.3619	78	ok
1	3000	0.939	0.939	4.90	4.6011	60	ok

Contoh perhitungan kontrol kinerja batas ultimate pada lantai 10 arah X adalah sebagai berikut :

$$\xi = 0,7 \times R = 0,7 \times 7 = 4,90$$

$$\Delta s_{10} = 53,267 \text{ mm}$$

$$\Delta s_9 = 48,868 \text{ mm}$$

$$\Delta 10 = \Delta s_{10} - \Delta s_9 = 53,267 - 48,868 = 4,399 \text{ mm}$$

$$\Delta 10 \times \xi = 4,399 \times 4,90 = 21,5551 \text{ mm}$$

$$\text{Batas ijin} = 0,02 H = 0,02 \times 3500 = 70 \text{ mm}$$

$$\text{Kesimpulan} = (\Delta 10 \times \xi) = 21,5551 \text{ mm} < \text{batas ijin} = 70 \text{ mm (OK)}$$

Tabel 11. Simpangan yang terjadi pada arah Y dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Desain 2 terhadap batas ultimate.

Sumber: perhitungan

STORY	Hsx (mm)	Simpangan X (mm)	Simpangan antar tingkat	Faktor pengali	$\Delta s \times \xi$	Batas ijin (mm)	Cek
		(mm)					
Atap	3500	59.595	2.751	4.90	13.4799	70	ok
10	3500	56.844	4.452	4.90	21.8148	70	ok
9	3500	52.392	4.853	4.90	23.7797	70	ok
8	3500	47.539	5.264	4.90	25.7936	70	ok
7	3500	42.275	5.662	4.90	27.7438	70	ok
6	5700	36.613	9.854	4.90	48.2846	114	ok
5	5500	26.759	9.366	4.90	45.8934	110	ok
4	5500	17.393	8.406	4.90	41.1894	110	ok
3	3900	8.987	4.719	4.90	23.1231	78	ok
2	3900	4.268	3.257	4.90	15.9593	78	ok
1	3000	1.011	1.011	4.90	4.9539	60	ok

Contoh perhitungan kontrol kinerja batas ultimate pada lantai 10 arah Y adalah sebagai berikut :

$$\xi = 0,7 \times R = 0,7 \times 7 = 4,90$$

$$\Delta s_{10} = 56,844 \text{ mm}$$

$$\Delta s_9 = 52,392 \text{ mm}$$

$$\Delta 10 = \Delta s_{10} - \Delta s_9 = 56,844 - 52,392 = 4,452 \text{ mm}$$

$$\Delta 10 \times \xi = 4,452 \times 4,90 = 21,8148 \text{ mm}$$

$$\text{Batas ijin} = 0,02 H = 0,02 \times 3500 = 70 \text{ mm}$$

$$\text{Kesimpulan} = (\Delta 10 \times \xi) = 21,8148 \text{ mm} < \text{batas ijin} = 70 \text{ mm (OK)}$$

5. PENUTUP

Kesimpulan

1. Rerata simpangan antar lantai pada SRPMK Desain 1 dan Sistem Ganda Desain 2 arah X masing-masing adalah 26,554 mm dan 22,503 mm. Rerata simpangan antar lantai pada SRPMK Desain 1 dan Sistem Ganda Desain 2 arah Y masing-masing 25,482 mm dan 23,838 mm.
2. Simpangan antar lantai arah X yang terjadi pada SRPMK Desain 1 nilainya memenuhi batas simpangan ijin. Sedangkan simpangan antar lantai arah Y yang terjadi pada SRPMK Desain 1 melebihi batas ijin, lokasinya berada di lantai 11 (atap ruang lift). Simpangan antar lantai arah yang terjadi pada

Sedangkan simpangan antar lantai pada Desain 3 yaitu sistem ganda, baik arah X dan arah Y tidak ada yang melebihi batas simpangan ijin.

3. Untuk pengecekan terhadap batas layan, simpangan arah X pada SRPMK Desain 1 memenuhi persyaratan batas layan. Sedangkan, untuk simpangan arah Y pada SRPMK Desain 1 nilainya melebihi persyaratan kondisi batas layan. Untuk pengecekan simpangan antar lantai terhadap kondisi batas ultimate, simpangan antar lantai arah X nilainya memenuhi persyaratan kondisi batas ultimate. Simpangan antar lantai arah Y nilainya melebihi persyaratan kondisi batas ultimate di lantai 11 (atap ruang lift).

Pengecekan terhadap batas layan, simpangan arah X dan arah Y pada sistem ganda memenuhi persyaratan batas layan. Untuk pengecekan terhadap kondisi batas ultimate, baik simpangan arah X dan simpangan arah Y pada sistem ganda ternyata masih memenuhi batasan kondisi ultimate.

Sehingga, dari hasil perhitungan terhadap batas ijin simpangan antar lantai, batas layan, dan batas ultimate dipilihlah Desain 2 menjadi sistem struktur yang terpilih, karena memenuhi ketiga persyaratan tersebut.

Saran

1. Tidak semua struktur gedung yang memiliki jumlah lantai kurang dari atau sama dengan 10 lantai harus dipasang dinding shearwall, meskipun simpangan suatu sistem setelah dipasang dinding shearwall akan lebih kecil. Pemasangan dinding shearwall ini tentunya akan membutuhkan metode pelaksanaan yang lebih rumit, biaya untuk kebutuhan volume beton yang lebih banyak dibandingkan Sistem Rangka Pemikul Momen. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemeriksaan keseluruhan sebelum memilih sistem struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Setiawan, Agus. 2016. *"Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013"*. Jakarta : Erlangga.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *"Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726:2019)"*. Jakarta:BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *"Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013)"*. Jakarta : BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *"Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)"*. Jakarta : BSN.
- Imran, I., Fajar Hendrik. 2016. *"Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang"*. Bandung : ITB Press.
- Pamungkas, A., Erny Harianti. 2018. *"Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa"*. Yogyakarta : C.V Andy Offset.
- Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. *"Peta Sumber Bahaya Gempa Bumi Indonesia Tahun 2017"*. Jakarta : Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman Kementrian PUPR.
- Wijaya, U., Tavio. 2018. *"Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja"*. Surabaya : C.V Andi Offset.