

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Ratio Partisipasi Massa

Penentuan ratio partisipasi massa adalah rangkaian dalam melakukan analisis terhadap struktur bangunan, dimana partisipasi massa yang diperoleh harus lebih besar dari 90 % (BSN, 2012). Hasil yang diperoleh dari analisis dengan menggunakan *software* SAP2000 menunjukkan bahwa partisipasi massa mencapai lebih dari 90 % dengan jumlah modal yang dibutuhkan sebanyak 30 modal, hal tersebut dapat dilihat berdasarkan Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Ratio partisipasi massa

Case	Mode	Periode (sec)	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,683	0,395	0,051
Modal	2	0,678	0,462	0,425
Modal	4	0,469	0,491	0,474
Modal	6	0,298	0,592	0,513
Modal	8	0,289	0,666	0,524
Modal	10	0,261	0,667	0,586
Modal	12	0,239	0,667	0,653
Modal	14	0,231	0,667	0,657
Modal	16	0,202	0,686	0,666
Modal	18	0,183	0,695	0,696
Modal	20	0,158	0,721	0,707
Modal	22	0,139	0,755	0,744
Modal	24	0,114	0,779	0,768
Modal	26	0,087	0,819	0,818
Modal	28	0,065	0,858	0,855
Modal	30	0,015	0,935	0,928

4.2. Nilai Gaya Geser

Nilai gaya geser dalam melakukan analisis ditentukan berdasarkan gaya geser statik (V_s) dan gaya geser dinamik (V_d) dengan ketentuan nilai V_d harus lebih besar dari 85 % V_s (BSN, 2012). Nilai V_s diperoleh dari perhitungan manual dengan menggunakan persamaan 2.1, sedangkan V_d didapatkan dari perhitungan parameter respon spektrum dengan menggunakan *software* SAP2000, maka hasil nilai gaya geser dasar tersebut ditampilkan dalam Tabel 4.2

Tabel 4.2 Nilai gaya geser

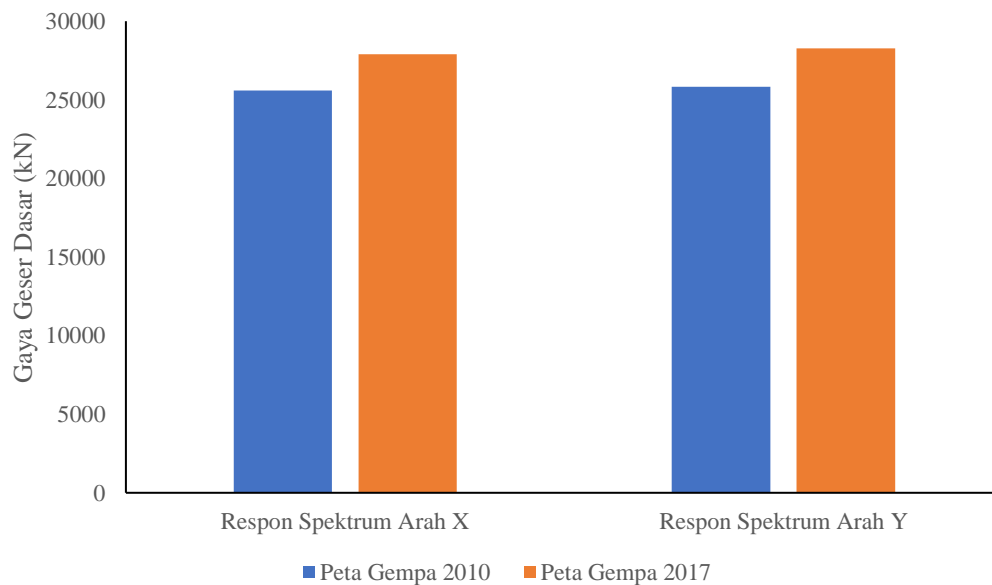
Beban Gempa	V_{statik}, V_s (kN)	V_{dinamik}, V_d (kN)	Sf_a	Sf_b	V_d baru (kN)
RS 2010 x	30107,2644	12029,685	1,8506	3,936	25586,790
RS 2010 y	30364,5914	11366,105	1,8506	4,203	25812,424
RS 2017 x	32834,9311	12790,481	1,8506	4,038	27908,829
RS 2017 y	33246,6544	11366,105	1,8506	4,601	28256,136

RS : Respon spektrum

Sf_a : Faktor skala awal

Sf_b : Faktor skala baru Sf_a x 0,85 (V_s/V_d), apabila ratio V_d/ V_s < 0,85

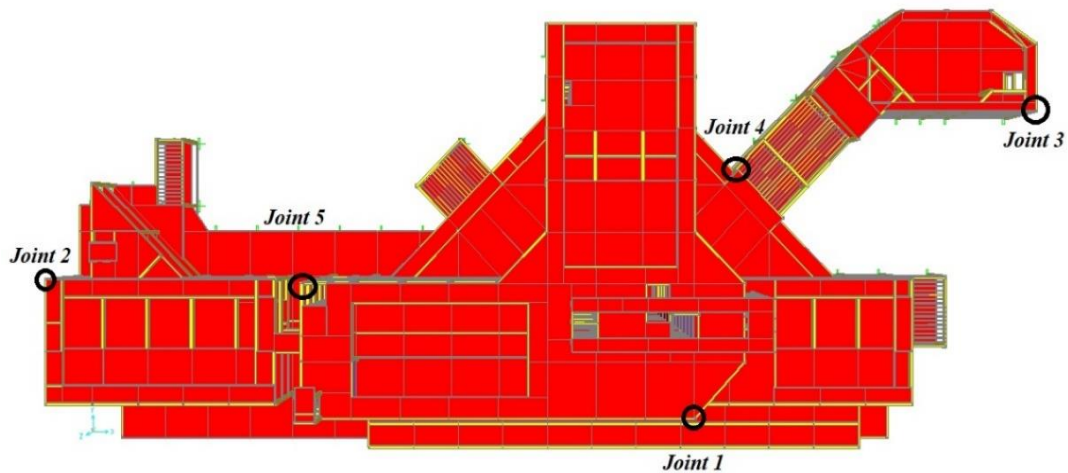
Diperoleh nilai V_d kurang dari 85 % V_s, sehingga nilai faktor skalanya perlu dikalikan dengan persamaan Sf_a x 0,85 (V_s/V_d) agar diperoleh nilai V_d baru yang sesuai dengan ketentuan, yaitu lebih besar dari 85 % V_s. Selain itu diketahui dari Tabel 4.2 bahwa terjadi peningkatan gaya geser respon spektrum pada peta gempa 2017, peningkatan yang terjadi adalah sebesar 9,075 % terhadap arah X dan sebesar 9,467 % terhadap arah Y, hal ini terjadi disebabkan karena adanya pengembangan peta gempa akibat percepatan pada permukaan tanah dan kondisi tanahnya (Arfiandi, 2013), peningkatan tersebut dapat diketahui pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Peningkatan Gaya Geser

4.3. Analisis Simpangan pada Struktur

Simpangan yang terjadi pada struktur bangunan ditinjau pada beberapa *joint* yang telah ditentukan, yang dianggap mengalami simpangan yang paling besar, dimana *joint* tinjauan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Tinjauan *joint* untuk simpangan

Keterangan : *Joint 1* adalah kolom K4
Joint 2 adalah kolom K1
Joint 3 adalah kolom K22
Joint 4 adalah kolom K11
Joint 5 adalah kolom K6

Analisis simpangan dilakukan untuk mengetahui batas izin dan respon dari suatu struktur, sehingga apabila respon struktur melebihi batas izin yang ditentukan maka perlu dilakukan evaluasi agar struktur mampu menerima beban yang terjadi (Soelarso dan Baehaki, 2017), batas izin struktur bangunan ditentukan berdasarkan struktur bangunan dan kategori risiko seperti dapat dilihat pada Tabel 2.10. Sehingga batas izin dari simpangan pada struktur rumah sakit UII ditentukan dengan persamaan $\Delta=0,010h_{sx}$ dimana h_{sx} adalah tinggi struktur.

Batas izin simpangan

$$\begin{aligned}\Delta_{Izin} &= 0,010 h_{sx} \\ &= 0,010 \times 4000 \text{ mm} \\ &= 40 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sedangkan untuk perhitungan simpangan yang terjadi pada struktur dilakukan dengan persamaan 2.6, berikut adalah contoh perhitungan simpangan.

$$\Delta = \frac{\text{perpindahan} \times C_d}{I_e}$$

$$\Delta = \frac{53,86 \times 5,5}{1,5}$$

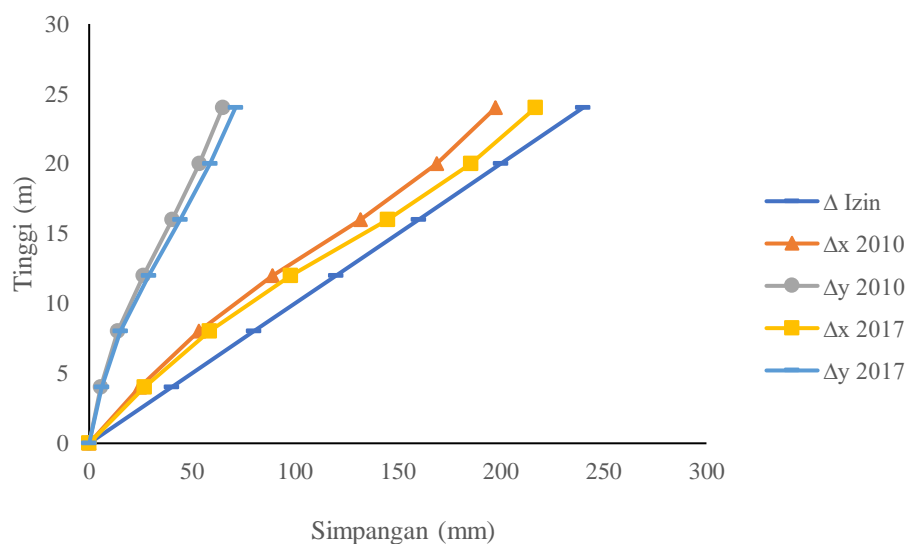
$$\Delta = 198 \text{ mm}$$

Nilai faktor keutamaan gempa (I_e) ditentukan berdasarkan Tabel 2.4 sedangkan faktor pembesaran defleksi (C_d) ditentukan berdasarkan Tabel 2.5. Hasil dari simpangan ditampilkan pada Tabel 4.3 sampai dengan Tabel 4.7, sedangkan respon simpangannya dapat dilihat dari Gambar 4.3 sampai dengan Gambar 4.12.

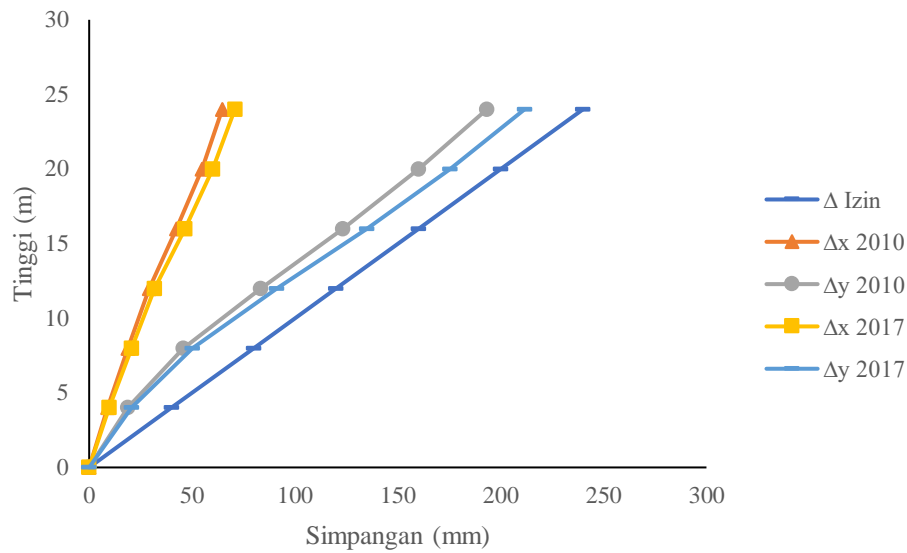
1. Simpangan yang Terjadi pada *Joint 1*

Tabel 4.3 Simpangan akibat respon spektrum pada *Joint 1*

Lantai	Elv (m)	Δ Akibat RS Arah X (mm)				Δ Akibat RS Arah Y (mm)				Δ Izin (mm)
		2010		2017		2010		2017		
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
L.A	24	198	64,8	217	71,1	64,7	193	70,8	212	240
L. 5	20	169	53,4	186	58,6	54,8	161	60,0	175	200
L. 4	16	132	40,3	145	44,2	42,5	123	46,5	135	160
L. 3	12	89,2	26,2	97,9	28,8	29,1	83,3	31,9	91,2	120
L. 2	8	53,3	13,8	58,5	15,1	18,8	45,9	20,6	50,2	80
L. 1	4	24,5	5,6	26,9	6,1	8,9	18,8	9,8	20,6	40
L.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Gambar 4.3 Grafik simpangan akibat respon spektrum arah X pada *Joint 1*

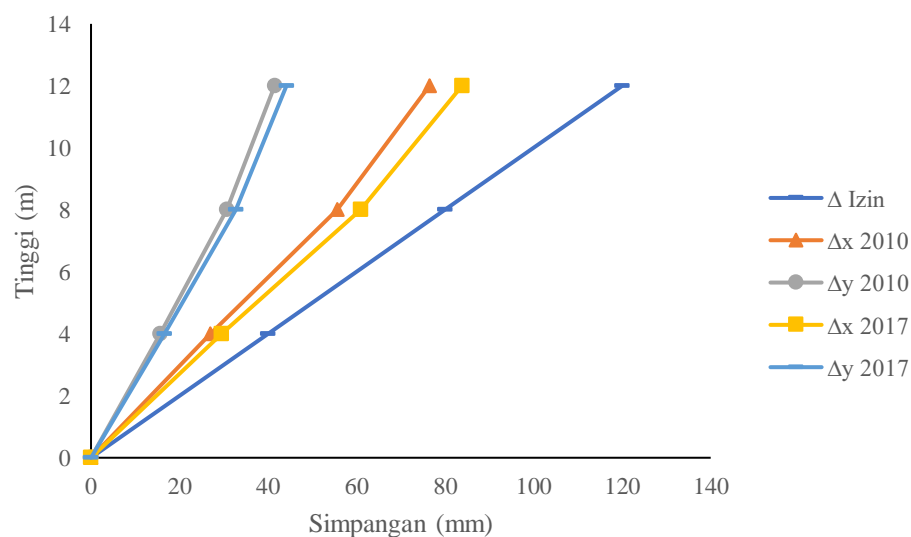


Gambar 4.4 Grafik simpangan akibat respon spektrum arah Y pada *Joint 1*

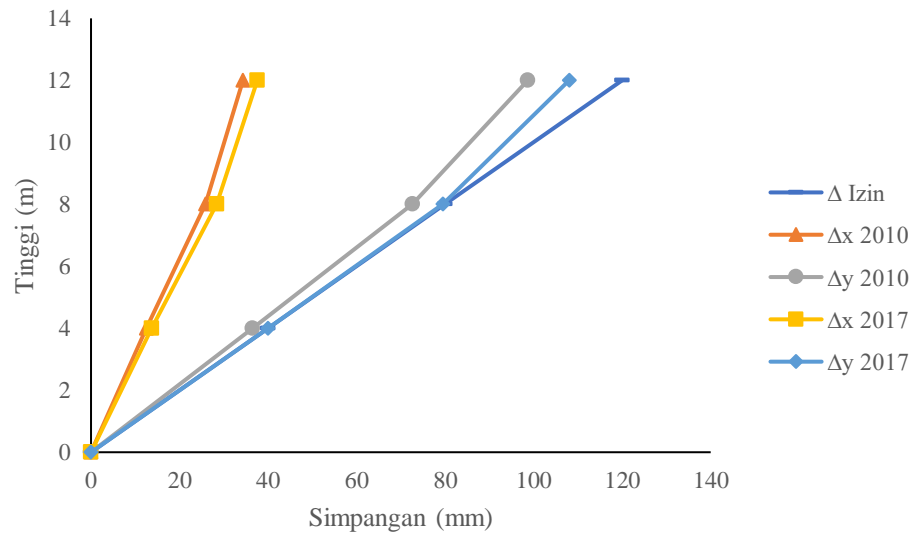
2. Simpangan yang Terjadi pada *Joint 2*

Tabel 4.4 Simpangan akibat respon spektrum pada *Joint 2*

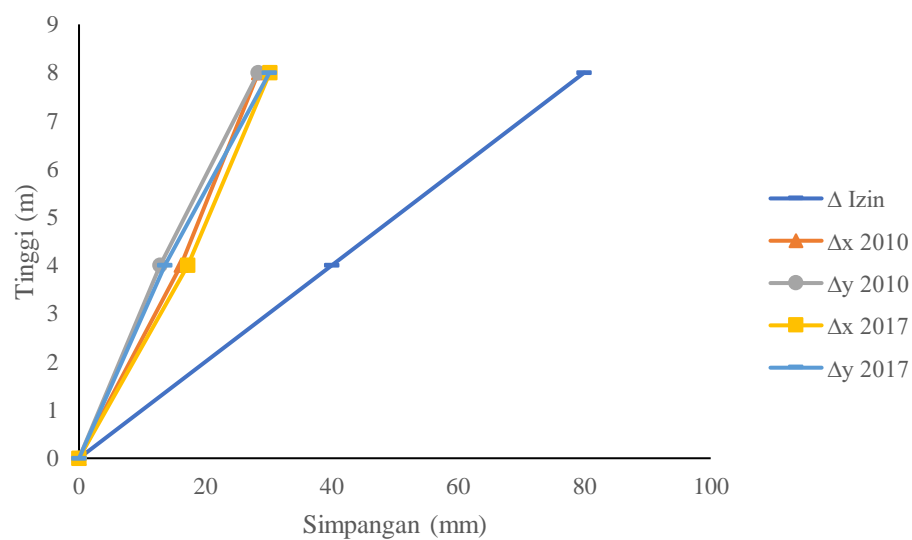
Lantai	Elv (m)	Δ Akibat RS Arah X (mm)				Δ Akibat RS Arah Y (mm)				Δ Izin (mm)
		2010		2017		2010		2017		
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
L. 3	12	76,5	41,5	83,8	44,2	34,3	98,7	37,6	108	120
L. 2	8	55,6	30,7	60,9	32,7	25,9	72,6	28,4	79,5	80
L. 1	4	26,9	15,6	29,5	16,6	12,5	36,5	13,7	39,9	40
L.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

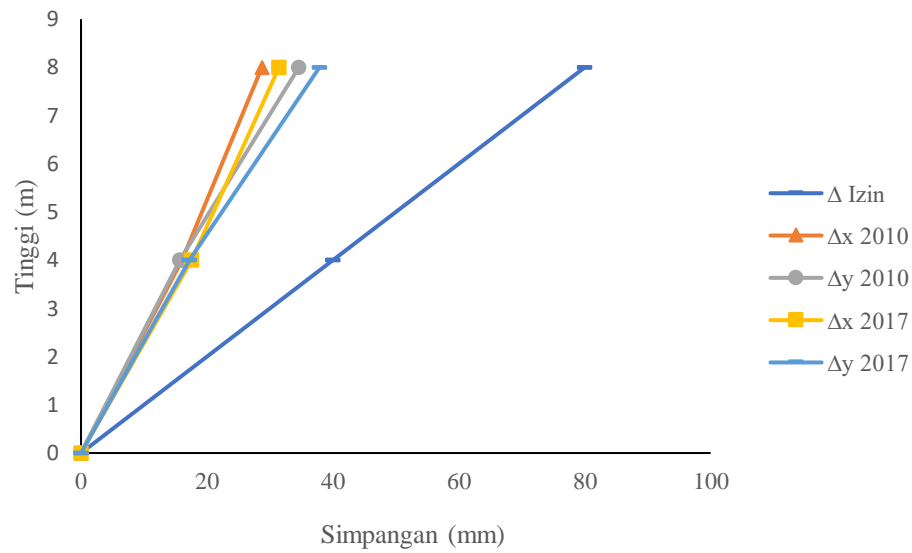


Gambar 4.5 Grafik simpangan akibat respon spektrum arah X pada *Joint 2*

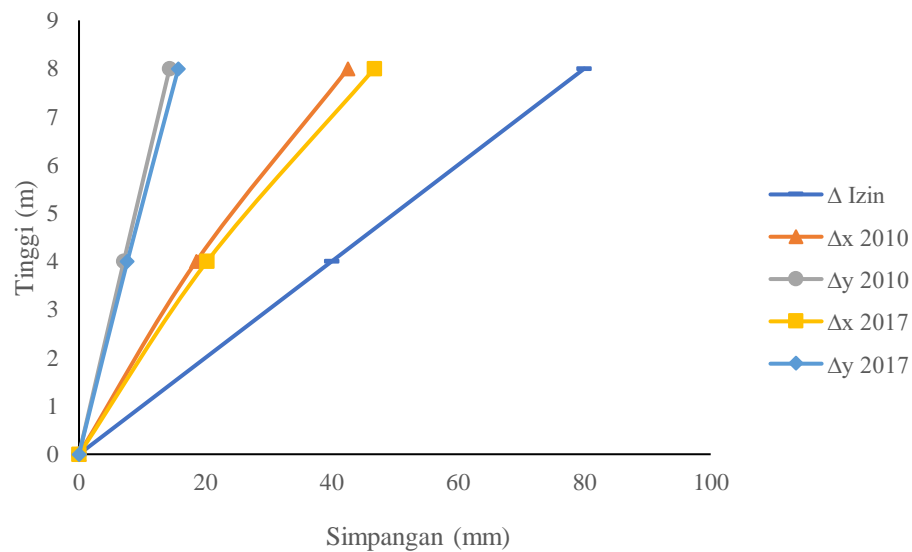
Gambar 4.6 Grafik simpangan akibat respon spektrum arah Y pada *Joint 2*3. Simpangan yang terjadi pada *joint 3*Tabel 4.5 Simpangan akibat respon spektrum pada *joint 3*

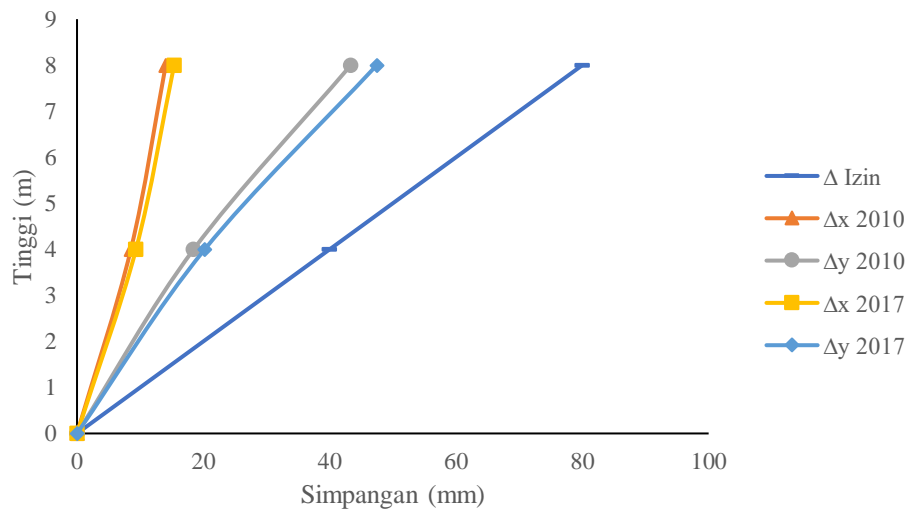
Lantai	Elv (m)	Δ Akibat RS Arah X (mm)				Δ Akibat RS Arah Y (mm)				Δ Izin (mm)
		2010		2017		2010		2017		
		X	ΔY	ΔX	ΔY	X	ΔY	ΔX	ΔY	
L. 2	8	28,4	28,4	30,2	30,2	28,7	34,6	31,4	37,9	80
L. 1	4	16,2	12,8	17,2	13,6	16,0	15,7	17,5	17,2	40
L.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar 4.7 Grafik simpangan akibat respon spektrum arah X pada *Joint 3*

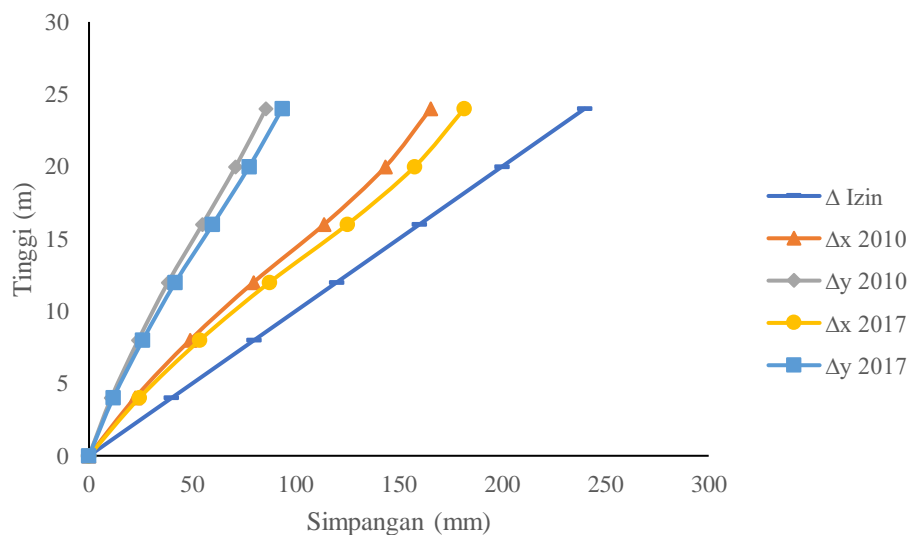
Gambar 4.8 Grafik simpangan akibat respon spektrum arah Y pada *Joint 3*4. Simpangan yang terjadi pada *Joint 4*Tabel 4.6 Simpangan akibat respon spektrum pada *Joint 4*

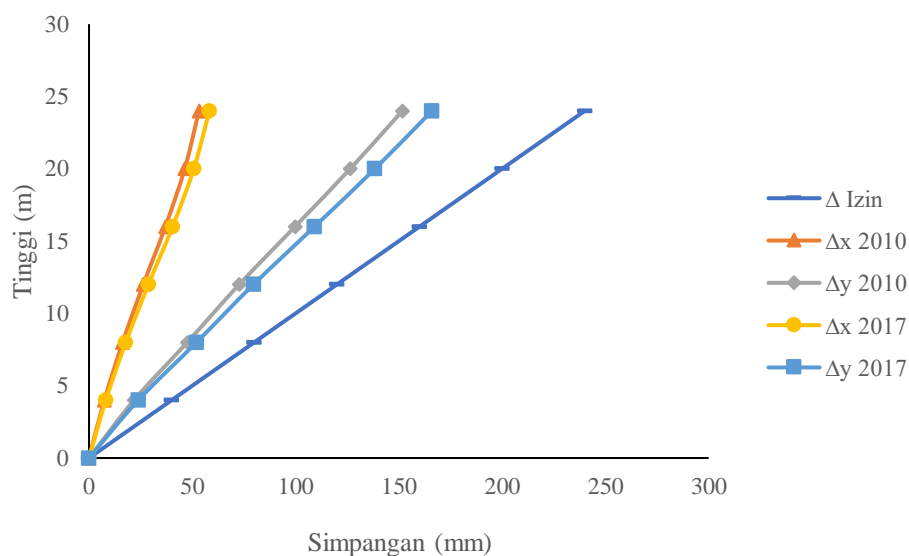
Lantai	Elv (m)	Δ Akibat RS Arah X (mm)				Δ Akibat RS Arah Y (mm)				Δ Izin (mm)
		2010		2017		2010		2017		
		ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	
L. 2	8	42,6	14,3	46,8	15,7	14,0	43,3	15,4	47,5	80
L. 1	4	18,6	7,1	20,3	7,6	8,5	18,5	9,3	20,2	40
L.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar 4.9 Grafik simpangan akibat respon spektrum arah X pada *Joint 4*

Gambar 4.10 Grafik simpangan akibat respon spektrum arah Y pada *Joint 4*5. Simpangan yang Terjadi pada *Joint 5*Tabel 4.7 Simpangan akibat respon spektrum pada *Joint 5*

Lantai	Elv (m)	Δ Akibat RS Arah X (mm)				Δ Akibat RS Arah Y (mm)				Δ Izin (mm)
		2010		2017		2010		2017		
		ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	
L.A	24	165	85,7	182	93,6	53,2	152	58,3	166	240
L. 5	20	144	71,0	158	77,6	46,3	126	50,7	138	200
L. 4	16	114	54,9	125	59,9	37,0	99,7	40,5	109	160
L. 3	12	79,7	38,3	87,5	41,8	26,3	72,7	28,8	79,6	120
L. 2	8	48,9	23,8	53,7	26,0	16,3	47,6	17,8	52,1	80
L. 1	4	22,2	10,8	24,4	11,8	7,4	21,8	8,1	23,9	40
L.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar 4.11 Grafik simpangan akibat respon spektrum arah X pada *Joint 5*



Gambar 4.12 Grafik simpangan akibat respon spektrum Arah Y pada *Joint 5*

Simpangan yang terjadi pada *joint* yang ditinjau menunjukkan hasil berbeda, seperti terlihat pada *joint 1* yang mengalami simpangan tertinggi mencapai 217 mm sedangkan *joint 3* mengalami simpangan terendah yaitu 37,9 mm terlihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.5, hal tersebut karena pengaruh ketinggian *joint* terhadap simpangan, dimana semakin tinggi *joint* pada struktur akan mengakibatkan simpangan yang semakin besar, begitu juga dengan batas simpangan izinnya, sehingga dalam hal ini simpangan yang terjadi masih berada dalam batas izin seperti dapat dilihat pada Gambar 4.3 sampai Gambar 4.12. Selain itu bentuk struktur juga mempengaruhi simpangan yang terjadi.

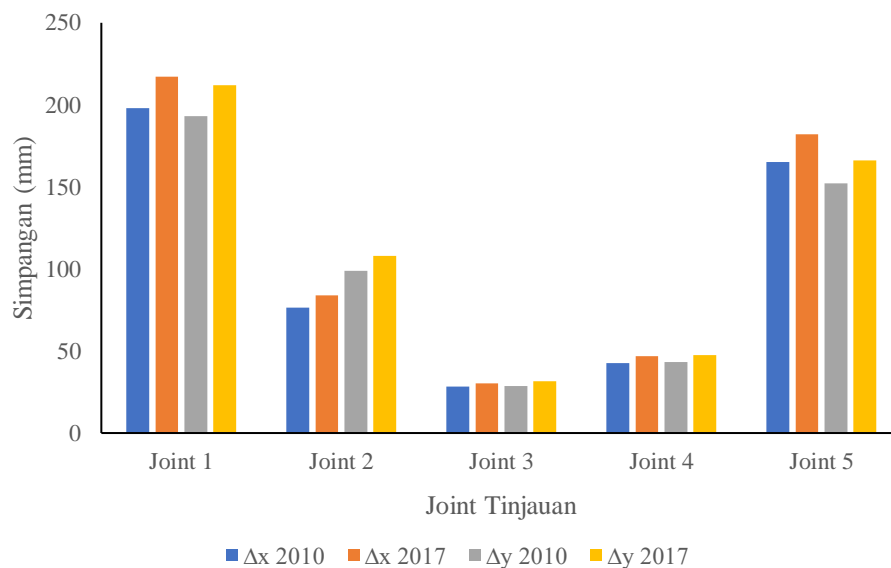
Bentuk struktur yang tidak beraturan membuat arah simpangan pada struktur menjadi tidak seragam, seperti dapat dilihat dari hasil analisis simpangan pada *joint 1* dan *joint 5* didapati simpangan yang terjadi lebih besar terhadap sumbu X, sehingga srstruktur pada tinjauan *joint 1* dan *joint 5* mengalami sumbu lemah pada arah X, sedangkan struktur dengan tinjauan pada *join 2*, *joint 3* dan *joint 4* diperoleh sumbu lemah ada pada arah Y, karena simpangan yang terjadi pada *joint* tersebut lebih besar akibat arah Y, seperti dapat dilihat pada Gambar 4.13. Hal lain yang mempengaruhi simpangan adalah akibat pengembangan peta gempa 2017.

Dampak dari pengembangan peta gempa tersebut adalah peningkatan yang terjadi pada gaya geser dasar seperti terlihat pada Gambar 4.1, yang kemudian mengakibatkan peningkatan pada simpangan terlihat pada Tabel 4.3 sampai dengan

Tabel 4.7, peningkatan terbesar mencapai 9,813% yang terjadi pada *joint 1*, dan peningkatan terkecil terdapat pada *joint 3* arah X yaitu sebesar 6,404 yang ditunjukkan oleh Tabel 7.8, rata-rata peningkatan simpangan yang terjadi adalah 9,084% untuk arah X dan 9,504% untuk arah Y.

Tabel 4.8 Peningkatan Simpangan

Tinjauan	Peta Gempa 2010 (mm)		Peta Gempa 2017 (mm)		Peningkatan (%)	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	Arah X	Arah Y
<i>Joint 1</i>	198	193	217	212	9,831	9,467
<i>Joint 2</i>	76,5	98,7	83,8	108	9,611	9,472
<i>Joint 3</i>	28,4	28,7	30,2	31,4	6,404	9,646
<i>Joint 4</i>	42,6	43,3	46,8	47,5	9,751	9,465
<i>Joint 5</i>	165	152	182	166	9,824	9,469



Gambar 4.13 Grafik Peningkatan pada Simpangan

4.4. Analisis Drift Ratio

Drift ratio merupakan penjabaran simpangan yang terjadi pada setiap lantai, dimana nilai *drift ratio* antar lantai diperoleh dari selisih *displacement* kemudian dihitung dengan persamaan 2.6, dengan batas *drift ratio* izinnnya adalah 1% dari tinggi setiap lantai.

$$\begin{aligned}
 \text{Drift ratio} &= \frac{\Delta \text{ Antar lantai}}{\text{Tinggi antar lantai}} \times 100 \\
 &= \frac{28,563}{4000} \times 100 \\
 &= 0,48 \%
 \end{aligned}$$

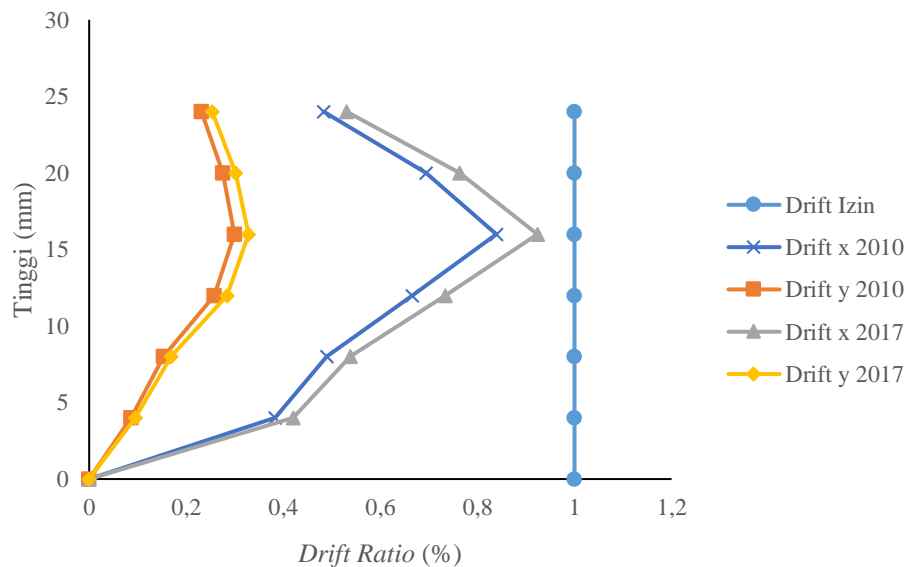
$$\begin{aligned}\Delta \text{ antar lantai} &= \frac{(\delta_2 - \delta_1) \times C_d}{I_e} \\ &= \frac{(56,4 - 48,6) \times 5,5}{1,5} \\ &= 28,563 \text{ mm}\end{aligned}$$

Nilai *drift ratio* antar lantai yang terjadi ditampilkan dalam Tabel 4.9 sampai dengan Tabel 4.13, sedangkan bentuk *drift ratio* antar lantai yang terjadi ditunjukkan dengan grafik seperti pada Gambar 4.14 sampai dengan Gambar 4.23.

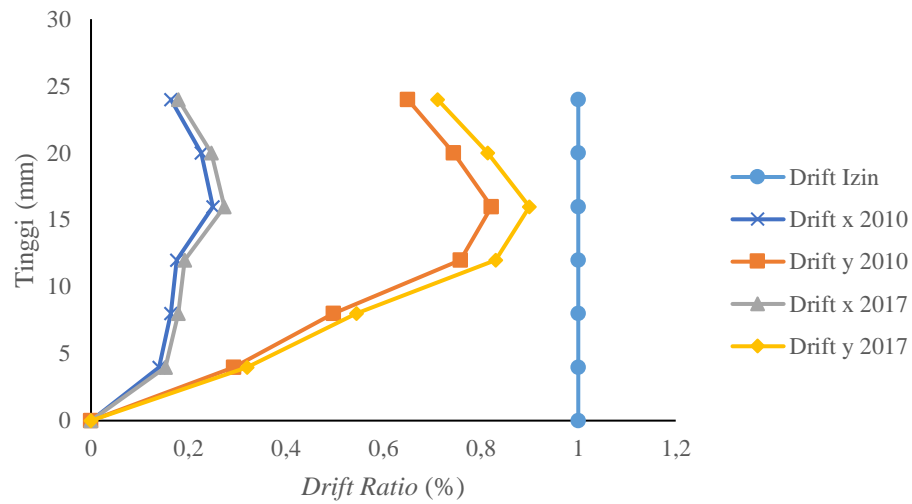
1. *Drift ratio* antar lantai yang terjadi pada *Joint 1*

Tabel 4.9 *Drift ratio* akibat respon spektrum pada *Joint 1*

Lantai	Elv (m)	Drift Akibat RS Arah X (%)				Drift Akibat RS Arah Y (%)				Drift Izin (%)
		2010		2017		2010		2017		
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
L.A	24	0,48	0,23	0,53	0,25	0,16	0,65	0,18	0,71	1
L. 5	20	0,69	0,28	0,76	0,30	0,23	0,74	0,25	0,81	1
L. 4	16	0,84	0,30	0,92	0,33	0,25	0,82	0,27	0,90	1
L. 3	12	0,67	0,26	0,73	0,28	0,18	0,76	0,19	0,83	1
L. 2	8	0,49	0,15	0,54	0,17	0,16	0,50	0,18	0,55	1
L. 1	4	0,38	0,09	0,42	0,09	0,14	0,29	0,15	0,32	1
L.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1



Gambar 4.14 Grafik *drift ratio* akibat respon spektrum arah X pada *Joint 1*

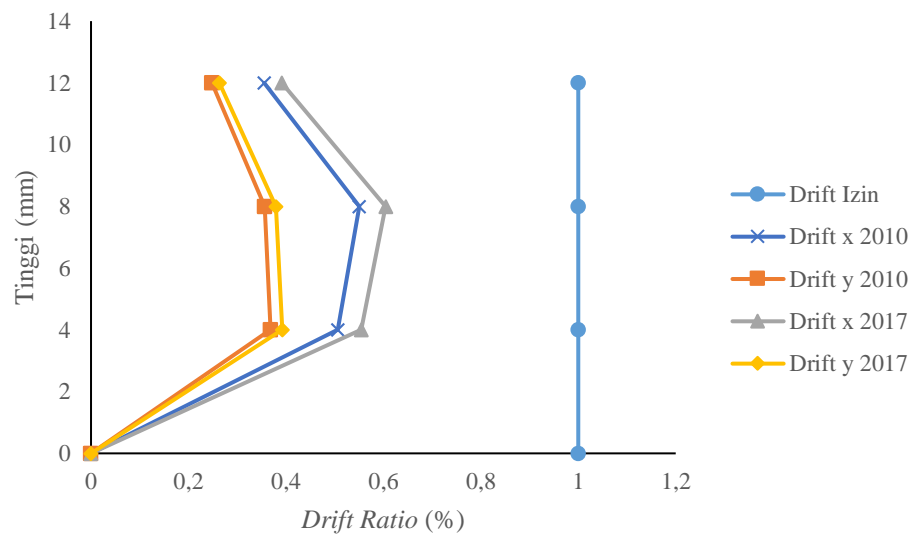


Gambar 4.15 Grafik *drift ratio* akibat respon spektrum arah Y pada *Joint 1*

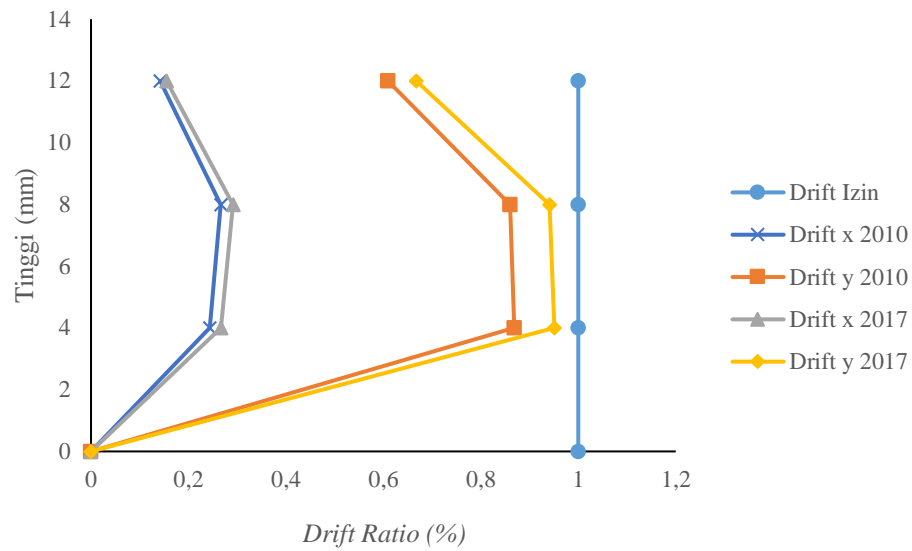
2. *Drift ratio* antar lantai yang terjadi pada *Joint 2*

Tabel 4.10 *Drift ratio* akibat respon spektrum pada *Joint 2*

Lantai	Elv (m)	Drift Akibat RS Arah X (%)				Drift Akibat RS Arah Y (%)				Drift Izin (%)
		2010		2017		2010		2017		
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
L. 3	12	0,36	0,25	0,39	0,26	0,14	0,61	0,16	0,67	1
L. 2	8	0,55	0,36	0,61	0,38	0,27	0,86	0,29	0,94	1
L. 1	4	0,51	0,37	0,55	0,39	0,24	0,87	0,27	0,95	1
L.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1



Gambar 4.16 Grafik *drift ratio* akibat respon spektrum arah X pada *Joint 2*

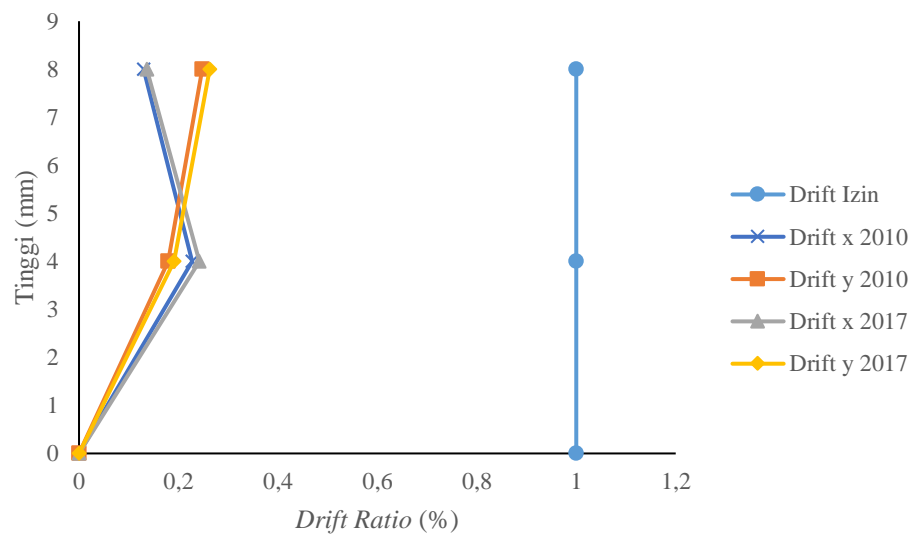


Gambar 4.17 Grafik *drift ratio* akibat respon spektrum arah Y pada *Joint 2*

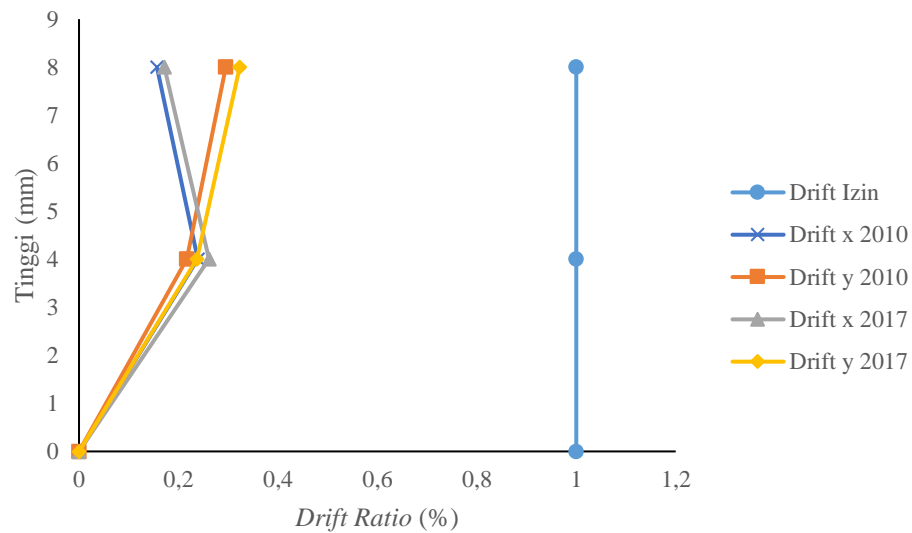
3. *Drift ratio* antar lantai yang terjadi pada *Joint 3*

Tabel 4.11 *Drift ratio* akibat respon spektrum pada *Joint 3*

Lantai	Elv (m)	Drift Akibat RS Arah X (%)				Drift Akibat RS Arah Y (%)				Drift Izin (%)
		2010		2017		2010		2017		
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
L. 2	8	0,13	0,25	0,14	0,26	0,16	0,30	0,17	0,32	1
L. 1	4	0,23	0,18	0,24	0,19	0,24	0,22	0,26	0,24	1
L.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1



Gambar 4.18 Grafik *drift ratio* akibat respon spektrum arah X pada *Joint 3*

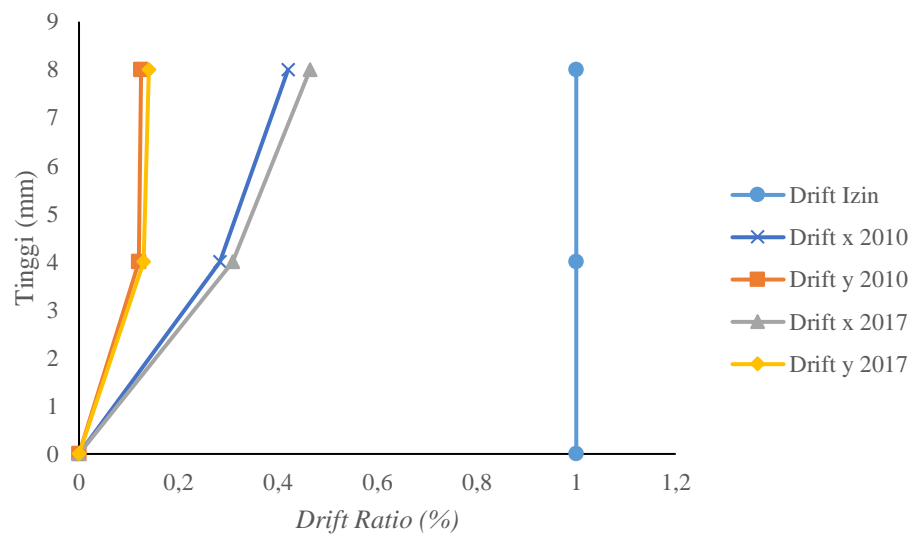


Gambar 4.19 Grafik *drift ratio* akibat respon spektrum arah Y pada *Joint 3*

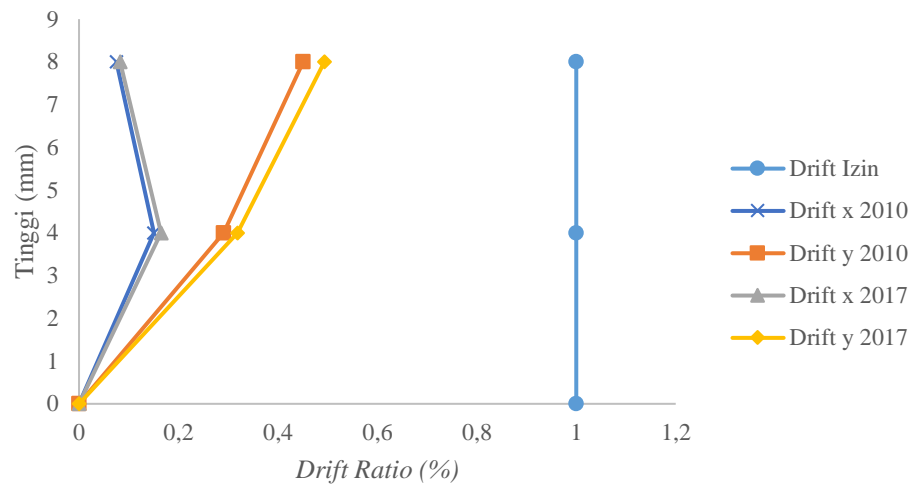
4. *Drift ratio* antar lantai yang terjadi pada *Joint 4*

Tabel 4.12 *Drift ratio* akibat respon spektrum pada *Joint 4*

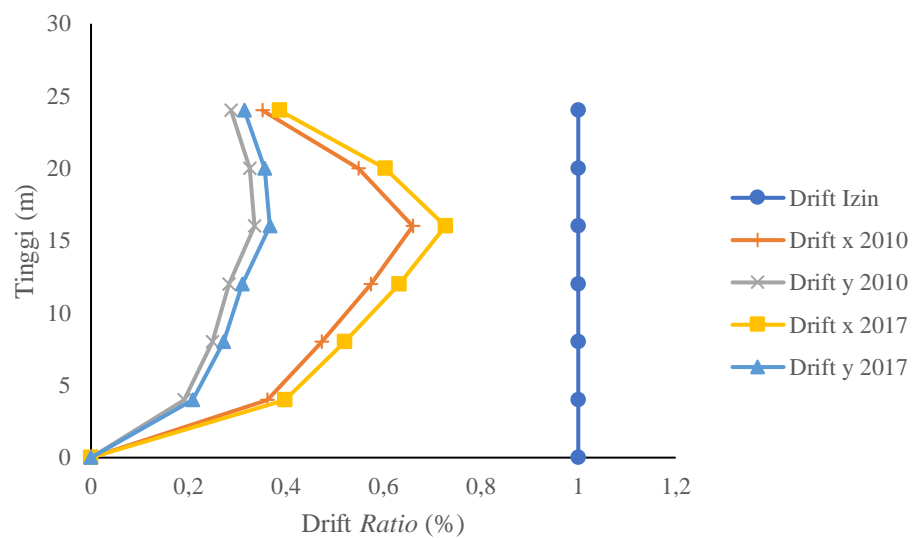
Lantai	Elv (m)	Drift Akibat RS Arah X (%)				Drift Akibat RS Arah Y (%)				Drift Izin (%)
		2010		2017		2010		2017		
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
L. 2	8	0,42	0,12	0,46	0,14	0,08	0,45	0,08	0,49	1
L. 1	4	0,28	0,12	0,31	0,13	0,15	0,29	0,16	0,32	1
L.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

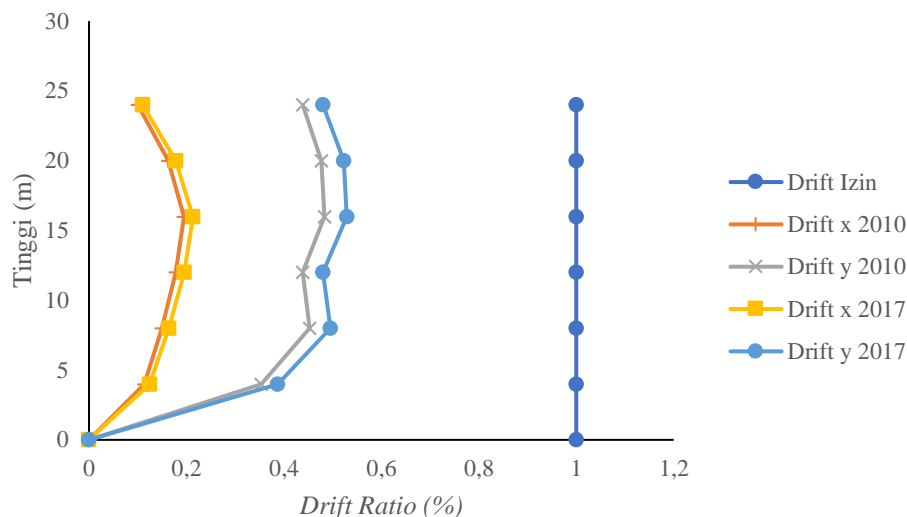


Gambar 4.20 Grafik *drift ratio* akibat respon spektrum arah X pada *Joint 4*

Gambar 4.21 Grafik *drift ratio* akibat respon spektrum arah Y pada *Joint 4*5. *Drift ratio* antar lantai yang terjadi pada *Joint 5*Tabel 4.13 *Drift ratio* akibat respon spektrum pada *Joint 5*

Lantai	Elv (m)	Drift Akibat RS Arah X (%)				Drift Akibat RS Arah Y (%)				Drift Izin (%)
		2010		2017		2010		2017		
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
L.A	24	0,35	0,29	0,39	0,31	0,10	0,44	0,11	0,48	1
L. 5	20	0,55	0,33	0,60	0,36	0,16	0,48	0,18	0,52	1
L. 4	16	0,66	0,34	0,73	0,37	0,19	0,48	0,21	0,53	1
L. 3	12	0,57	0,28	0,63	0,31	0,18	0,44	0,20	0,48	1
L. 2	8	0,47	0,25	0,52	0,27	0,15	0,45	0,16	0,50	1
L. 1	4	0,36	0,19	0,40	0,21	0,11	0,35	0,12	0,39	1
L.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Gambar 4.22 Grafik *drift ratio* akibat respon spektrum arah X pada *Joint 5*



Gambar 4. 23 Grafik *drift ratio* akibat respon spektrum arah Y pada *Joint 5*

Hasil analisis *drift ratio* menunjukkan rasio simpangan yang terjadi pada setiap lantainya, dari hasil tersebut diketahui bahwa nilai tertinggi *drift ratio* antar lantai tidak terjadi pada lantai tertinggi, melainkan terjadi pada bagian tengah struktur seperti terlihat pada Tabel 4.9, hal tersebut terjadi karena pada bagian tengah struktur mengalami selisih *displacement* yang paling besar, sehingga difahami bahwa semakin besar selisih nilai *displacement* akan mengakibatkan nilai *drift ratio* antar lantai yang besar pula.

Nilai *drift ratio* terbesar berada pada *joint 2* di ketinggian empat meter dan delapan meter, dimana nilainya mencapai 0,95% dan 0,94% sangat dekat dengan batas izinnnya yaitu 1% dari tinggi antar lantainya, seperti terlihat dari Tabel 4.10 dan Gambar 4.17, sehingga dapat dikatakan kondisi diatas merupakan kondisi kritis dimana nilai *drift ratio* antar lantai yang terjadi hampir mencapai 1%, namun demikian masih dapat dikatakan aman karena belum melewati batas izin yang disyaratkan.

Peningkatan yang terjadi akibat pengembangan peta gempa 2017 sama seperti peningkatan yang terjadi pada simpangan, hal tersebut karena keduanya mengalami peningkatan akibat peningkatan gaya geser dasar yang sama. Sedangkan batas izin *drift ratio* dibatasi hanya 1% dari tinggi antar lantainya, hasil analisis menunjukkan *drift ratio* yang terjadi pada struktur tidak ada yang melewati batas izin yang ditentukan, sehingga respon struktur bangunan rumah sakit UII dapat dikatakan aman terhadap beban gempa pada peta gempa 2010 dan akibat pengembangan peta gempa 2017.

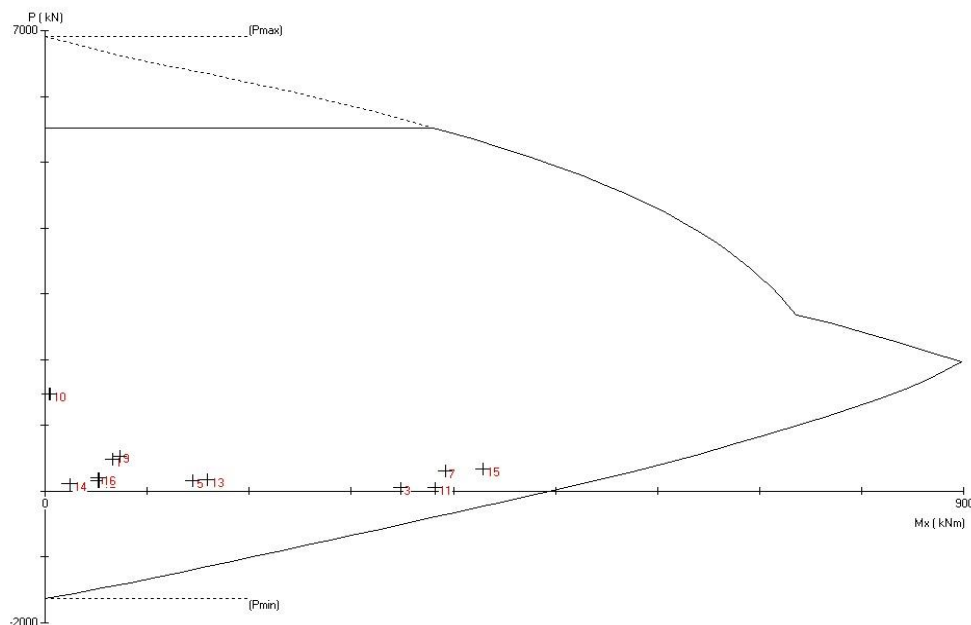
4.5. Analisis Kemampuan Elemen Struktur

4.5.1. Kemampuan Elemen Kolom

Kemampuan kolom dalam menerima beban ditentukan dengan diagram interaksi, dimana dalam hal ini beban yang diterima kolom diperoleh dari *output* SAP2000 yang kemudian dimasukan ke dalam diagram interaksi pada *software* spColumn, *output* SAP2000 yang digunakan merupakan akibat dari respon spektrum peta gempa 2010 dan peta gempa 2017 yang ditampilkan seperti pada Tabel 4.14 sampai dengan Tabel 4.19.

Tabel 4.14 Peningkatan *output* SAP2000 pada kolom K1

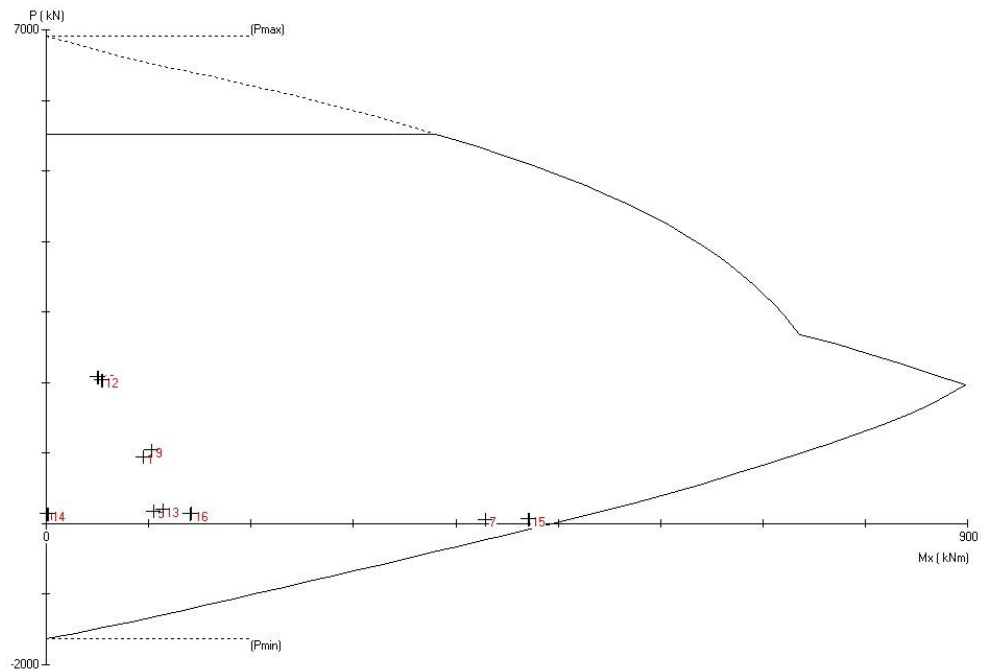
Output SAP	No	Akibat peta gempa 2010		No	Akibat peta gempa 2017	
		P (kN)	M (kNm)		P (kN)	M (kNm)
P max	1	489,461	66,1028	9	535,799	72,3608
P min	2	1479,46	4,809	10	1479,46	4,809
V max	3	51,601	348,0268	11	56,284	381,6267
V min	4	160,577	52,1604	12	160,577	52,1604
M ₂ max	5	161,453	144,8972	13	176,738	158,6149
M ₂ min	6	113,9	24,2041	14	113,9	24,2041
M ₃ max	7	309,232	392,5022	15	339,062	429,5737
M ₃ min	8	202,402	52,556	16	202,402	52,556



Gambar 4.24 Diagram interaksi pada kolom K1

Tabel 4.15 Peningkatan *output* SAP2000 pada kolom K4

Output SAP	No	Akibat peta gempa 2010		No	Akibat peta gempa 2017	
		P (kN)	M (kNm)		P (kN)	M (kNm)
P max	1	952,092	94,3453	9	1042,228	103,2772
P min	2	2078,93	49,9217	10	2078,93	49,9217
V max	3	63,243	429,6054	11	69,255	470,5803
V min	4	2038,8	53,8663	12	2038,8	53,8663
M ₂ max	5	182,828	104,6808	13	200,137	114,5911
M ₂ min	6	139,077	0,4027	14	139,077	0,4027
M ₃ max	7	63,243	429,6054	15	69,255	470,5803
M ₃ min	8	145,099	140,948	16	145,099	140,948

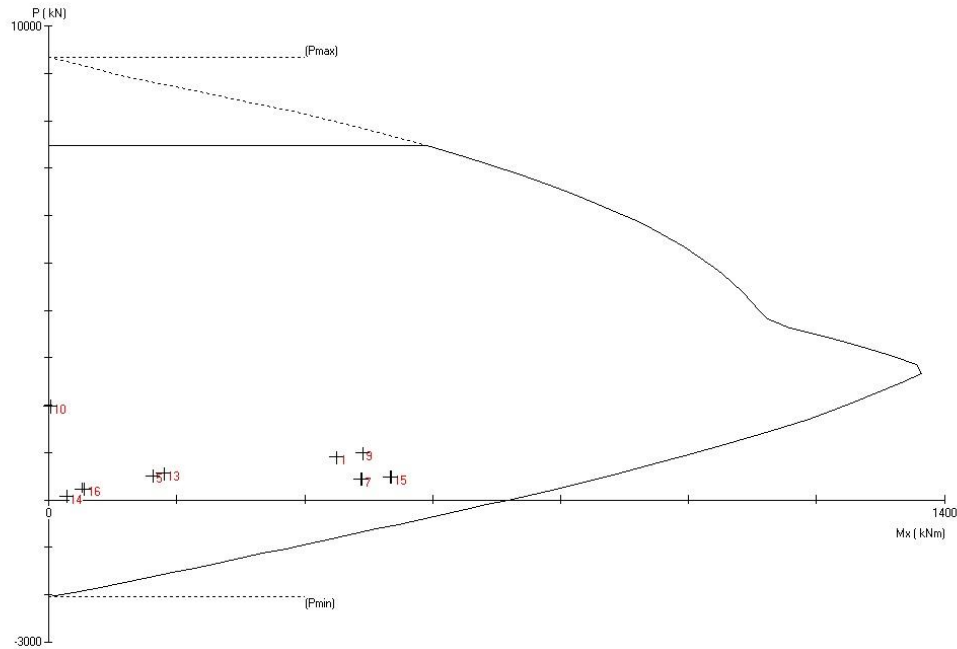


Gambar 4.25 Diagram interaksi pada kolom K4

Tabel 4.16 Peningkatan *output* SAP2000 pada kolom K6

Output SAP	No	Akibat peta gempa 2010		No	Akibat peta gempa 2017	
		P (kN)	M (kNm)		P (kN)	M (kNm)
P max	1	909,393	450,0264	9	998,507	491,7933
P min	2	1983,39	2,977	10	1983,39	2,977
V max	3	444,753	488,1459	11	487,109	534,4805
V min	4	235,973	52,6065	12	235,973	52,6065

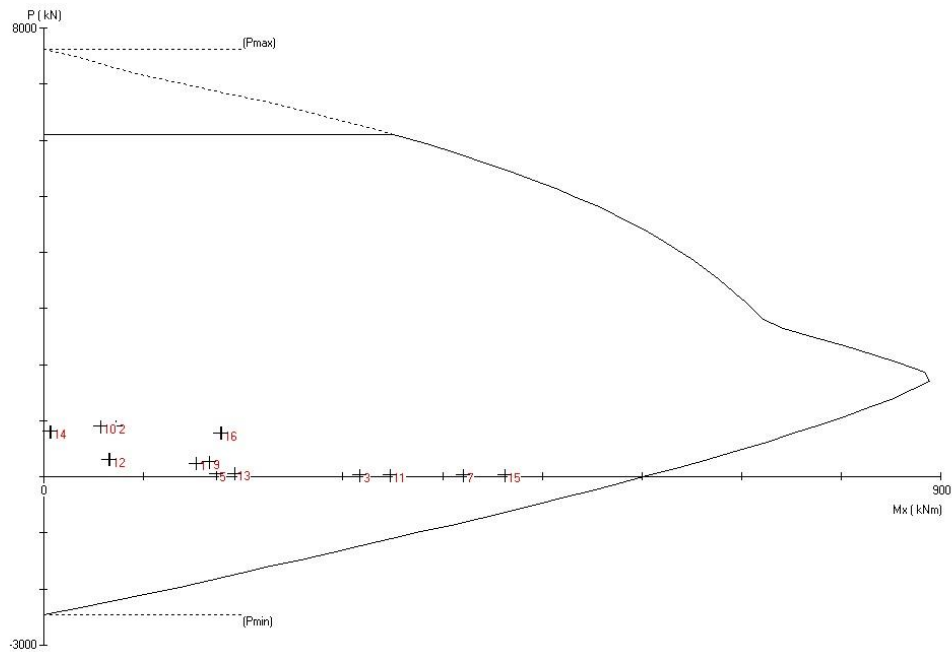
Output SAP	No	Akibat peta gempa 2010		No	Akibat peta gempa 2017	
		P (kN)	M (kNm)		P (kN)	M (kNm)
M ₂ max	5	514,192	163,8235	13	562,871	179,333
M ₂ min	6	84,109	28,3771	14	84,109	28,3771
M ₃ max	7	444,753	488,1459	15	487,109	534,4805
M ₃ min	8	235,973	52,6065	16	235,973	52,6065



Gambar 4.26 Diagram interaksi pada kolom K6

Tabel 4. 17 Peningkatan output SAP2000 pada kolom K11

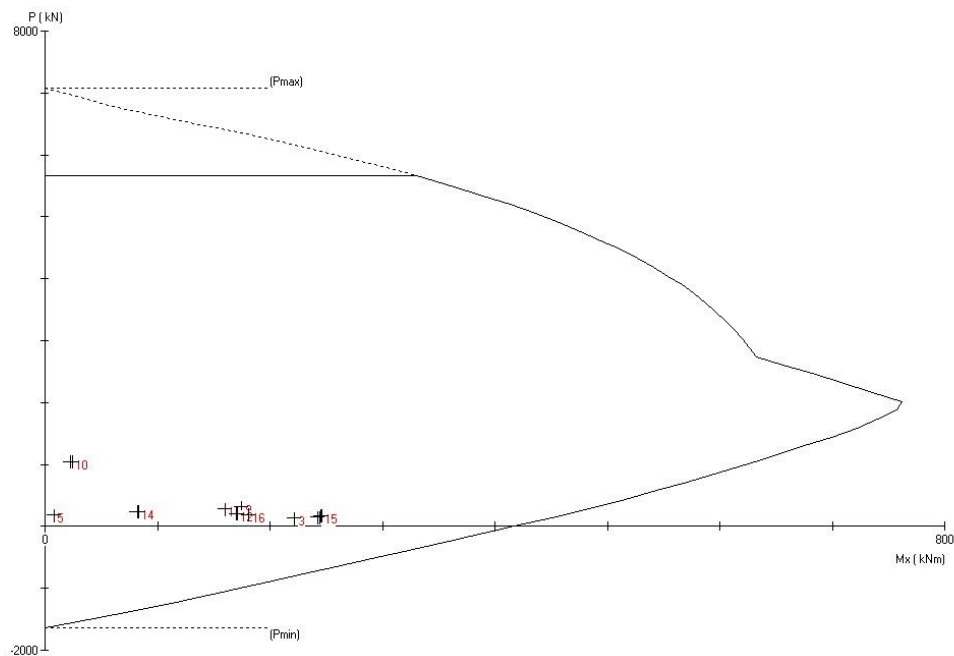
Output SAP	No	Akibat peta gempa 2010		No	Akibat peta gempa 2017	
		P (kN)	M (kNm)		P (kN)	M (kNm)
P max	1	247,512	153,6965	9	271,783	166,6438
P min	2	900,709	57,2223	10	900,709	57,2223
V max	3	36,083	317,6556	11	38,974	347,8543
V min	4	312,493	65,6709	12	312,493	65,6709
M ₂ max	5	60,449	173,8954	13	66,171	190,3585
M ₂ min	6	810,835	6,1648	14	810,835	6,1648
M ₃ max	7	36,083	421,2539	15	38,974	462,1089
M ₃ min	8	781,576	177,703	16	781,576	177,703



Gambar 4.27 Diagram interaksi pada kolom K11

Tabel 4.18 Peningkatan *output* SAP2000 pada kolom K22

Output SAP	No	Akibat peta gempa 2010		No	Akibat peta gempa 2017	
		P (kN)	M (kNm)		P (kN)	M (kNm)
P max	1	286,194	160,5494	9	313,289	175,749
P min	2	1046,67	23,3442	10	1046,67	23,3442
V max	3	136,444	222,5854	11	149,362	243,658
V min	4	207,468	170,98	12	207,468	170,98
M ₂ max	5	183,688	8,1557	13	149,362	243,658
M ₂ min	6	239,479	82,4068	14	239,479	82,4068
M ₃ max	7	173,537	245,1567	15	173,537	245,1567
M ₃ min	8	191,382	180,477	16	191,382	180,477



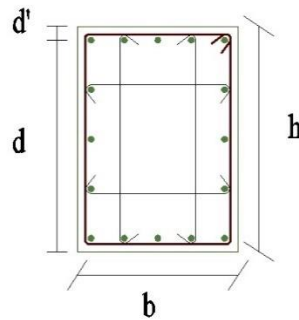
Gambar 4.28 Diagram interaksi pada kolom K22

Nilai *output* SAP menunjukkan adanya peningkatan gaya yang terjadi pada kolom akibat pengembangan peta gempa 2017, seperti terlihat pada Tabel 4.14 sampai Tabel 4.18 peningkatan tersebut terjadi pada beban (P) dan momen (M) dari kolom, namun peningkatan yang terjadi tidak terlalu signifikan, sehingga jika dilihat pada diagram interaksi yang diperoleh dari *software* spColumn menunjukkan peningkatan yang terjadi masih berada di dalam diagram, maka dari itu kolom dinyatakan masih mampu menerima peningkatan yang terjadi dan tidak memerlukan perkuatan.

Perkuatan dilakukan apabila gaya yang diterima kolom melebihi batas diagram interaksi, sehingga dilakukan perkuatan agar kolom mampu menerima beban yang terjadi dan memberikan keamanan pada struktur. dilakukan perhitungan kebutuhan tulangan untuk mengetahui kebutuhan tulangan ideal pada kolom

Digunakan kolom K1 sebagai contoh perhitungan kolom dengan data sebagai berikut:

b	$= 500 \text{ mm}$	E_s	$= 200000 \text{ Mpa}$
h	$= 700 \text{ mm}$	β_1	$= 0,85$
d'	$= 59,5 \text{ mm}$	A_g	$= b \times h$
f_c'	$= 30 \text{ Mpa}$		$= 500 \times 800$
f_y	$= 400 \text{ Mpa}$		$= 400000 \text{ mm}^2$



Gambar 4.29 Detail tulangan pada kolom

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= 16D19 \text{ (Asumsi awal)} \\
 &= 16 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2\right) \\
 &= 4536,46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan tulangan pada kolom diawali dengan menghitung beberapa kondisi yang kemudian akan dijadikan sebagai diagram interaksi sebagai batasan reaksi pada kolom, kondisi tersebut adalah sebagai berikut.

1. Kondisi beban konsentrik, yaitu pada saat $\phi P_{n-\text{maks}}, M_n = 0$

$$\begin{aligned}
 - \phi P_{n_{\text{maks}}} &= \theta(0,85 \times F_c' \times (A_g - A_{st}) + F_y \times A_{st}) \\
 &= 0,65(0,85 \times 30 \times (400000 - 4536,46) + 400 \times 4536,46) \\
 &= 11898904,19 \text{ N} \\
 &= 11898,904 \text{ kN} \\
 - \phi P_n &= 0,65 \times P_n \\
 &= 0,65 \times 11898,904 \\
 &= 7734,288
 \end{aligned}$$

2. Kondisi patah tarik, yaitu pada saat $(\phi P_n, \phi M_n)$

$$\begin{aligned}
 - P_n &= C_c + C_s + T \\
 &= 0,85 f_c' a b + A_s'(f_s' - 0,85 f_c') - A_s' f_y \\
 &= 0,85 \times 30 \times a \times 500 + 1143,11(400 - 0,85 \times 30) - 1143,11 \times 30 \\
 &= 12750 a - 28919,93117
 \end{aligned}$$

- Menentukan nilai a

$$Aa^2 + Ba + C = 0$$

$$\begin{aligned}
 0,425 f_c' b a^2 + 2A(e' - d) + A_s'(f_y - 0,85 F_c')(e' - d + d') - \\
 A_s' f_y \cdot e' = 0
 \end{aligned}$$

$$0,425 \times 30 \times 500 a^2 + 0,85 \times 30 \times 500 (690,5 - 740,5) + 1134,11 \\ (400 - 0,85 \times 30)(690,5 - 740,5 + 59,5) - 1134,11 \times 400 \times 690,5 = 0 \\ 6375 a^2 - 637500 a - 309207651,2 = 0$$

$$a = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$a = \frac{-(-637500) \pm \sqrt{-637500^2 - 4 \times 6375 \times -309207651,2}}{2 \times 6375}$$

$$a_1 = 275,8387942 \quad a_2 = -175,8387942$$

- Memasukan nilai a_1 ke persamaan P_n

$$- P_n = 12750 a - 28919,93117 \\ = 12750 (275,8387942) - 28919,93117 \\ = 9053721,376 \text{ N} \\ = 9053,721 \text{ kN}$$

$$- \phi P_n = 0,65 \times P_n \\ = 0,65 \times 9053,721 \\ = 5884,919 \text{ kN}$$

- Menghitung nilai M_n

$$- M_n = P_n e \\ = 5884,919 \times 0,35 \\ = 916,146 \text{ kNm}$$

$$- \phi M_n = 0,65 \times M_n \\ = 595,495 \text{ kNm}$$

- Kontrol tulangan

$$- \epsilon_s' = \frac{c-d'}{c} \times 0,003 > \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \\ = \frac{\frac{275,8387942}{0,85} - 59,5'}{\frac{275,8387942}{0,85}} \times 0,003 > = \frac{400}{200000} \\ = 0,002449 > = 0,002$$

Tulangan telah luluh

- Sehingga diperoleh nilai pada kondisi patah tarik seimbang adalah sebagai berikut

$$- \phi P_n = 5884,92 \text{ kN} \\ - \phi M_n = 595,5 \text{ kNm}$$

3. Kondisi seimbang

$$\begin{aligned}
 - C_b &= \frac{0,003}{0,003 + f_y/E_s} d \\
 &= \frac{0,003}{0,003 + 400/200000} 740,5 \\
 &= 444,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \epsilon_s' &= \frac{C-d'}{C} \times 0,003 > \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \\
 &= \frac{444,3-59,5}{444,3} \times 0,003 > = \frac{400}{200000} \\
 &= 0,002449 > = 0,002
 \end{aligned}$$

Tulangan telah luluh

$$\begin{aligned}
 - a_b &= \beta_1 C_b \\
 &= (0,85 - 0,005 \times \frac{30-28}{7}) \times 444,3 \\
 &= 377,655 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - C_c &= 0,85 f_c' a_b b \\
 &= 0,85 \times 30 \times 377,655 \times 500 \\
 &= 4815101,250 \text{ N} \\
 &= 4815,101 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - T &= A_s f_y \\
 &= 4536,46 \times 400 \\
 &= 1814584 \text{ N} \\
 &= 1814,584 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - C_s &= A_s' (f_y - 0,85 f_c') \\
 &= 4536,46 (400 - 0,85 \times 30) \\
 &= 1698904,27 \text{ N} \\
 &= 1698,904 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - P_n &= C_c + C_s - T \\
 &= 4815,101 + 1698,904 - 1814,584 \\
 &= 5580,38 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \phi P_n &= \phi P_n \\
 &= 0,65 \times 5580,38 \\
 &= 3195,967 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
- M_n &= C_c \left(d'' - \frac{a}{2} \right) + C_s(d'' - d') + T(d - d'') \\
&= 4815,101 \left((400 - \frac{377,655}{2}) \right) + 1698,904 (400 - 59,5) \\
&\quad + 1814,584 (400 - 59,5) \\
&= 1447375 \text{ Nm} \\
&= 1447,375 \text{ kNm} \\
- \phi M_n &= \phi M_n \\
&= 0,65 \times 1447,375 \\
&= 940,794 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

- Sehingga pada kondisi seimbang diperoleh nilai sebagai berikut

$$\begin{aligned}
- \phi P_n &= 1447,375 \text{ kNm} \\
- \phi M_n &= 940,794 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

4. Kondisi momen murni

$$\begin{aligned}
- a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \\
&= \frac{4536,46 \times 400}{0,85 \times 30 \times 500} \\
&= 75,702 \text{ mm} \\
- M_n &= A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
&= 4536,46 \times 400 \left(740,5 - \frac{75,702}{2} \right) \\
&= 667378461,5 \text{ Nmm} \\
&= 667,855 \text{ kNm} \\
- \phi M_n &= 0,65 \times 667,855 \\
&= 440,294 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

- Sehingga pada kondisi momen murni diperoleh nilai sebagai berikut

$$\begin{aligned}
- \phi P_n &= 0 \\
- \phi M_n &= 440,294 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

5. Menghitung kebutuhan tulangan geser 2D10-100

$$\begin{aligned}
- \text{Kebutuhan Tulangan} \\
- V_u &= 224,1 \text{ (diperoleh dari SAP2000)} \\
- A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times 2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 2 \\
&= 157,079 \text{ mm}^2 \\
- \quad V_c &= \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \times b \times (h-d') \\
&= \frac{\sqrt{30}}{6} \times 500 \times (800-59,5) \\
&= 337990,5 \text{ N} \\
&= 337,991 \text{ kN} \\
- \quad V_s &= \frac{A_v f_y (h-d')}{s} \\
&= \frac{157,079 \times 240 (800-59,5)}{100} \\
&= 279161,9 \text{ N} \\
&= 279,162 \text{ kN} \\
- \quad \phi V_n &= 0,6 (V_c + V_s) \\
&= 0,6 (337,991 + 279,162) \\
&= 370,291 \text{ kN} \\
- \quad \phi V_n &> V_u \\
370,291 &= 224,1 \text{ ok}
\end{aligned}$$

Peningkatan gaya yang terjadi pada kolom akibat pengembangan peta gempa 2017 tidak menunjukkan hasil yang terlalu signifikan, sehingga tidak diperlukan perkuatan pada kolom

Tabel 4.19 Perbandingan Kebutuhan Tulangan

Tipe Kolom	Dimensi (mm)	Jenis Tulangan	Akibat Beban Gempa	
			Peta Gempa 2010	Peta Gempa 2017
K1	500x800	T. Utama	16 D19	16 D19
		T. Sengkang	2D10-100	2D10-100
K4	500x700	T. Utama	16 D19	16 D19
		T. Sengkang	2D10-100	2D10-100
K6	600x800	T. Utama	20 D19	20 D19
		T. Sengkang	2D10-100	2D10-100
K11	600x600	T. Utama	24 D19	24 D19
		T. Sengkang	2D10-100	2D10-100
K22	600x600	T. Utama	16 D19	16 D19
		T. Sengkang	1,5D10-150	1,5D10-150

5.6.2. Kemampuan Elemen Balok

Kemampuan balok dalam menerima beban yang terjadi dilakukan dengan perhitungan menggunakan *software* excel, dimana data yang digunakan merupakan hasil *output* dari SAP2000 dengan material yang ada dilapangan, hasil *output* dari SAP2000 menunjukkan adanya peningkatan gaya akibat pengembangan peta gempa 2017 seperti terlihat pada Tabel 4.20, sehingga dengan adanya peningkatan tersebut dilakukan perhitungan kebutuhan tulangan untuk mengetahui kemampuan balok.

Tabel 4.20 Hasil *output* SAP2000 pada balok

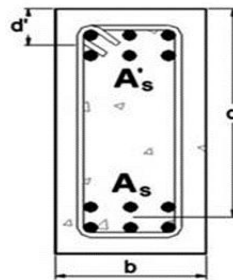
Jenis Balok	Output SAP	Peta gempa 2010		Peta gempa 2017	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Balok B1	M (kNm)	-697,623	835,6969	-697,623	914,814
	V (kN)	-329,756	676,584	-329,756	740,638
	T (kNm)	-108,5	123,3868	-108,5	135,2868
Balok B3	M (kNm)	-227,087	330,7637	-227,087	362,0778
	V (kN)	-231,142	195,973	-214,526	231,142
	T (kNm)	-56,1147	87,3273	-56,1147	95,7483
Balok B4	M (kNm)	-219,037	390,0898	-219,037	428,0935
	V (kN)	-152,435	201,914	-152,435	221,588
	T (kNm)	-67,8039	65,9105	-67,8039	72,1503
Balok B28	M (kNm)	-96,5785	178,6728	-96,5785	195,5881
	V (kN)	-63,285	100,608	-63,285	110,133
	T (kNm)	-14,1586	18,4362	-14,1586	20,1816
Balok B31	M (kNm)	-240,977	281,5537	-240,977	308,9468
	V (kN)	-181,227	179,292	-181,227	179,292
	T (kNm)	-20,9839	45,9646	-20,9839	50,3893

Hasil *output* SAP2000 pada Tabel 4.20 menunjukkan adanya peningkatan gaya pada balok akibat pengembangan peta gempa 2017, peningkatan tersebut terjadi karena meningkatnya gaya geser dasar yang mengakibatkan meningkatnya simpangan, sehingga meningkat pula gaya yang terjadi pada balok, dengan adanya peningkatan tersebut dilakukan perhitungan kebutuhan tulangan untuk mengetahui kemampuan balok terhadap peningkatan akibat pengembangan peta gempa 2017,

Digunakan balok B1 sebagai contoh perhitungan balok dengan data yang diperoleh sebagai berikut:

Data material di lapangan

f_c'	= 30 Mpa	d'	= 90,5 mm
f_y	= 400 Mpa	d	= 710 mm
b	= 450 mm	t_s	= 40 mm
h	= 800 mm	y	= 65 mm
β_1	= 0,85		



Gambar 4.30 Detail penulangan pada balok

1. Perhitungan kebutuhan tulangan pada balok dilakukan dengan tahapan sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 - \rho_b &= 0,85 \times \beta_1 \frac{f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,85 \times \beta_1 \frac{30}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0,0325 \\
 - \rho_{max} &= 0,75 \rho_b \\
 &= 0,0239 \\
 - R_{nmax} &= \phi \rho_b f_y \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b f_y}{0,85 f_c} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,032 \times 400 \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,032 \times 400}{0,85 \times 30} \right) \\
 &= 7,791 \\
 - R_n &= \frac{M_n}{b d^2} \\
 &= \frac{697,7}{450 \times 710^2} \\
 &= 5,298
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \rho &= \frac{0,85f_c}{f_y} \left(\sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85f_c}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 30}{400} \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 5,298}{0,85 \times 30}} \right) \\
 &= 0,0150
 \end{aligned}$$

2. Menghitung kebutuhan tulangan dengan asumsi awal untuk tulangan bagian atas 10D25, bagian bawah 5D25 dengan sengkang 4D12-100

$$\begin{aligned}
 - A_s &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times 10 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \times 10 \\
 &= 4908,739 \text{ mm}^2 \\
 - A_{s'} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times 5 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \times 5 \\
 &= 2454,369 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

3. Kontrol tulangan minimum

$$\begin{aligned}
 - A_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{400} \times 450 \times 800 \\
 &= 1117,46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - A_{min} &< A_s \\
 1117,46 &< 4908,739 \text{ oke}
 \end{aligned}$$

A_s dapat digunakan

$$\begin{aligned}
 - a &= \frac{(A_s - A_{s'})f_y}{0,85 f_c' b} \\
 &= \frac{(4908,739 - 2454,369)400}{0,85 \times 30 \times 450} \\
 &= 85,543 \text{ mm ... tulangan desak telah leleh}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - C_c &= 0,85 f_c' a b \\
 &= 0,85 \times 30 \times 85,6 \times 450 \\
 &= 981747,704
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - C_s &= 0,85 f_c' a b \\
 &= 0,85 \times 30 \times 85,6 \times 450
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 981747,704 \\
 - \quad M_n &= C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d-d') \\
 &= 981747,704 \left(710 - \frac{85,6}{2} \right) + 981747,704 (710-90,5) \\
 &= 1311833197 \text{ Nmm} \\
 &= 1311,833 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$- \quad M_n > M_u / 0,9$$

1311,833 > 775,222Oke, Tulangan dapat digunakan

Kebutuhan tulangan utama pada tumpuan balok B1 adalah 10D25 untuk bagian atas dan untuk tulangan bawahnya digunakan 5D25, hal itu karena pada posisi tumpuan balok menerima momen positif. Sedangkan pada bagian lapangan digunakan momen negatif untuk menghitung kebutuhan tulangan pada balok.

4. Menghitung kebutuhan tulangan geser dengan asumsi awal 4D12-80

$$\begin{aligned}
 - \quad A_v &= \frac{1}{4} \pi d^2 4 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 \times 4 \\
 &= 452,389 \text{ mm}^2 \\
 - \quad V_u &= 740,7 \text{ kN} \\
 - \quad V_c &= \frac{\sqrt{f_{ct}}}{6} b \times d \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{6} \times 250 \times 350 \\
 &= 312201,9 \text{ N} \\
 &= 312,202 \text{ kN} \\
 - \quad V_s &= \frac{A_v f_y d}{s} \\
 &= \frac{452,389 \times 240 \times 760}{80} \\
 &= 1031448 \text{ N} \\
 &= 1031,448 \text{ kN} \\
 - \quad \phi V_n &= 0,6 (V_c + V_s) \\
 &= 0,6 (312,202 + 1031,448) \\
 &= 806,189
 \end{aligned}$$

$$- \phi V_n > V_u$$

$$806,189 > 740,7 \dots \text{sengkang dapat digunakan}$$

Hasil perhitungan kebutuhan tulangan menunjukkan bahwa balok B1 mengalami penambahan kebutuhan tulangan, seperti dapat dilihat pada Tabel 4.21. penambahan tersebut menunjukkan bahwa balok yang ada tidak mampu menerima beban akibat pengembangan peta gempa 2017, sehingga dibutuhkan perkuatan pada balok untuk memenuhi kebutuhan amannya, namun perkuatan yang dibutuhkan pada balok tinjauan berbeda-beda, hal tersebut karena menyesuaikan peningkatan beban yang diterima akibat pengembananan peta gempa 2017.

Tabel 4.21 Perbandingan Kebutuhan Tulangan pada Balok

Tipe Balok	Jenis Tulangan	Akibat Beban Gempa			
		Peta Gempa 2010		Peta Gempa 2017	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
B1 450x800	T. Atas	10 D25	4 D25	10 D25	4 D25
	T. Bawah	5 D25	7 D25	5 D25	10 D25
	Senggang	2D10-100	D10-100	4D12-80	2D12-100
	T. Torsi	2 D10	2 D10	2 D10	2 D10
B4 400x600	T. Atas	6 D25	3 D25	6 D25	3 D25
	T. Bawah	3 D25	5 D25	3 D25	5 D25
	T. Senggang	1,5D10-100	D10-100	1,5D10-100	D10-100
	T. Torsi	2 D10	2 D10	2 D10	2 D10
B6 450x600	T. Atas	9 D19	3 D19	9 D19	3 D19
	T. Bawah	4 D19	5 D19	4 D19	10 D19
	T. Senggang	1,5D10-100	D10-100	2D10-100	D10-100
	T. Torsi	2 D10	2 D10	2 D10	2 D10
B11 450x700	T. Atas	4 D25	3 D25	4 D25	3 D25
	T. Bawah	3 D25	4 D25	3 D25	5 D25
	T. Senggang	1,5D10-100	D10-100	2D10-100	D10-100
	T. Torsi	2 D10	2 D10	2 D10	2 D10
B22 400x600	T. Atas	6 D19	3 D19	6 D19	3 D19
	T. Bawah	3 D19	6 D19	3 D19	6 D19
	T. Senggang	D10-100	D10-100	D10-100	D10-100
	T. Torsi	2 D10	2 D10	2 D10	2 D10