

PENGARUH EKSENTRISITAS PUSAT MASSA BANGUNAN BETON BERTULANG TERHADAP RESPONS STRUKTUR AKIBAT BEBAN GEMPA

Gladys Hestika Kalalo

Ruddy Tenda, Servie O. Dapas

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

email: kalalogladys@ymail.com

ABSTRAK

Kontrol terhadap besarnya respons struktur adalah salah satu kriteria dasar dalam mendisain struktur bangunan bertingkat banyak. Besar respons struktur antara lain dipengaruhi oleh eksentrisitas pusat massa bangunan yang ditentukan oleh bentuk denah strukturnya. Sebuah bangunan dikategorikan beraturan jika denah strukturnya berbentuk persegi panjang tanpa tonjolan. Kalaupun ada, tonjolan tersebut tidak boleh lebih dari 25%. Ketika denah bangunan memiliki tonjolan lebih dari 25%, maka akan terjadi perubahan nilai respons struktur (deformasi) yang signifikan, sehingga struktur bangunan yang demikian tidak bisa lagi didesain dengan cara yang sama seperti mendisain struktur bangunan beraturan.

Pada penelitian ini, dibuat tujuh model struktur bangunan dengan variasi tonjolan pada denah untuk mempelajari pengaruh eksentrisitas pusat massa terhadap respons strukturnya. Untuk mempermudah analisis struktur digunakan program komputer SAP 2000, dimana struktur bangunan akibat pengaruh gempa dianalisis secara 3 dimensi.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa semakin besar eksentrisitas bangunan maka semakin besar pula deformasinya. Selain itu, pada struktur yang sama yang diberikan beban gempa yang sama pula, struktur yang memiliki tonjolan arah pendek menghasilkan deformasi yang lebih besar.

Kata kunci: respons struktur, eksentrisitas, struktur bangunan beraturan, analisis struktur, beban gempa, SAP 2000

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Struktur suatu bangunan didesain sedemikian rupa sehingga struktur bangunan yang dibuat dianggap cukup kuat untuk menahan pembebanan yang terjadi pada struktur sesuai dengan model struktur. Kebanyakan gedung bertingkat yang dibuat saat ini memiliki beberapa bentuk yang tidak simetris, sehingga sekalipun beban yang bekerja pada suatu lantai itu sama akan menimbulkan eksentrisitas karena denah, sehingga titik pusat pembebanannya berubah. Struktur gedung seperti ini dikategorikan sebagai struktur gedung yang tidak beraturan.

Struktur bangunan dengan penambahan tonjolan harus dapat direncanakan dengan baik, apalagi jika bangunan tersebut terletak di daerah gempa. Jika terjadi gempa, maka bangunan tersebut akan mengalami deformasi lebih besar. Besarnya deformasi pada suatu struktur bangunan dapat mengakibatkan daya layan struktur menurun. Penurunan daya layan struktur bangunan yang terlalu ekstrim sangat mem-

bahayakan struktur bangunan, terutama bagi pengguna yang berada dalam bangunan tersebut ketika pembebanan yang ekstrim terjadi.

Besarnya deformasi pada struktur bangunan khususnya bangunan bertingkat, perlu dikontrol/dibatasi lewat perencanaan yang matang. Jika oleh karena permintaan pemilik pekerjaan (*owner*) struktur harus mengikuti model (tampak dan bentuk) yang diinginkannya, maka perlu perlakuan khusus dalam mendisain struktur, sehingga struktur bangunan cukup.

Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas adalah seberapa besar pengaruh eksentrisitas pusat massa bangunan terhadap respons struktur bangunan yang dibebani gempa.

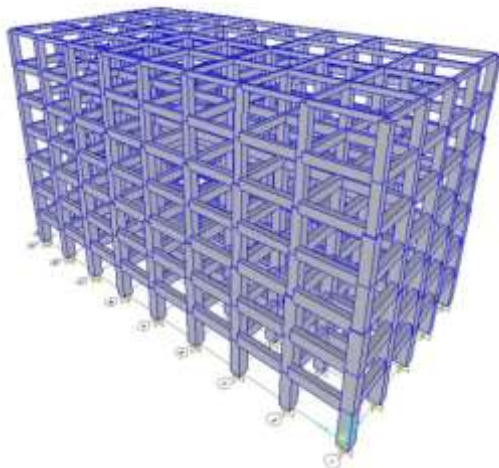
Batasan Masalah

Untuk mempermudah serta memperjelas penulisan ini, maka pembahasan dibatasi pada hal-hal berikut ini:

- Struktur yang ditinjau adalah struktur dengan tipikal *mid-height building* atau gedung

dengan ketinggian maksimum 10 lantai, untuk pemodelan diambil struktur setinggi 7 lantai;

- b. Jumlah bentang pada struktur arah $x = 4$ bentang dan arah $y = 8$ bentang.
- c. Struktur tersebut memiliki kekakuan kolom yang sama serta memiliki kekakuan balok yang sama pula pada masing-masing arah pada suatu lantai Analisis perencanaan menggunakan program SAP2000v14.
- d. Struktur yang dianalisis berupa *open frame* (sistem portal terbuka tanpa dinding). Komponen gedung lainnya (selain kolom, balok dan plat lantai) dianggap ada, namun tidak menjadi bagian dari sistem rangka pemikul beban utama (*main force resisting system*), yang dianggap tidak memberikan kekakuan pada struktur sehingga dapat diabaikan. Perilaku struktur dievaluasi dalam 3 Dimensi (3D) dengan *open frame*.



Gambar 1. Struktur 3-dimensional *open frame*

- e. Eksentrisitas yang dimaksud ditinjau dari perubahan bentuk/model denah struktur. Oleh sebab itu, bentuk denah struktur divariasikan untuk memperoleh variasi perpindahan pusat massa.
- f. Bentuk denah struktur divariasikan dengan tonjolan pada masing-masing arah adalah 25%, 50%, dan 75% dari bentang pada arah tonjolan tersebut
- g. Hasil keluaran adalah defleksi pada masing-masing lantai
- h. Beban yang digunakan adalah beban mati dan beban hidup serta beban gempa.
- i. Beban mati adalah berat sendiri struktur, beban hidup diambil berat beban hidup untuk

lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, restoran, hotel dan asrama sebesar 250 kg/m². Sedangkan untuk beban gempa ditinjau dalam arah x dan y , namun yang diperhitungkan dalam skripsi ini hanya arah yang lebih dominan

- j. Untuk perhitungan 3 dimensi, diambil hasil keluaran (*output*) menggunakan program komputer *Structural Analysis Programme 2000* (SAP 2000) dari *Computers and Structures, Inc.*(CSI Berkeley)
- k. Struktur dianggap memiliki diafragma yang kaku pada masing masing tingkat (plat lantai), sehingga deformasi yang terjadi pada tiap-tiap simpul pada suatu lantai dengan ketinggian serupa adalah sama
- l. Struktur dianalisis secara 3 dimensi (*space frame analysis*).

Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan respons struktur (defleksi) bangunan dengan eksentrisitas pusat massa yang menerima beban gempa.

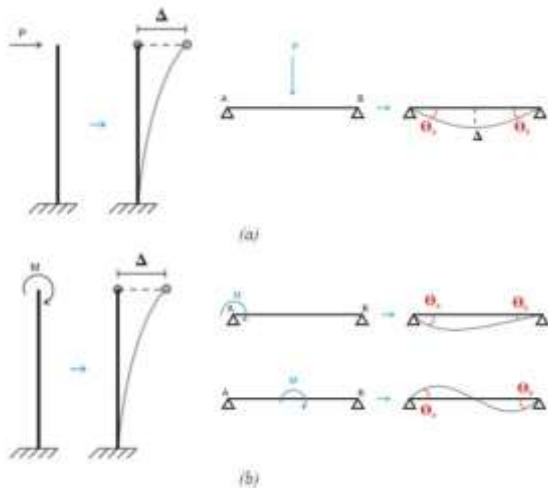
Manfaatnya adalah dengan mendapatkan gambaran respons struktur itu sendiri akibat bentuk denah struktur yang tidak simetris. Diharapkan kita dapat mengetahui sejauh mana sebuah struktur dapat dianalisis dan didesain dengan anggapan struktur gedung beraturan, serta struktur yang mengalami perubahan model struktur yang seperti apa yang menyebabkan struktur tersebut harus dapat didesain dengan lebih teliti.

LANDASAN TEORI

Perpindahan pada Struktur

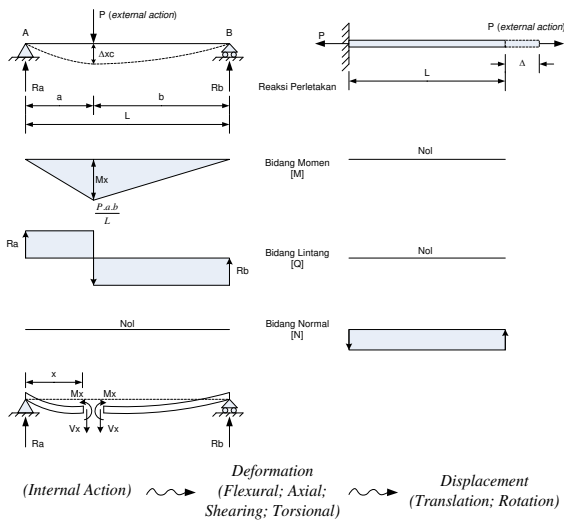
Sebuah struktur yang menerima beban akan mengalami deformasi atau perubahan bentuk akibat adanya pembebanan yang diterima struktur tersebut. Sebuah struktur sederhana dapat menerima pembebanan, baik pada ujung-ujung batang struktur atau pun pada pertemuan batang atau nodal pada struktur.

Pemahaman akan perilaku struktur sangat diperlukan terutama untuk struktur-struktur sederhana. Hal ini sangat berguna dalam pra-desain akan beberapa model struktur yang semestinya dapat disederhanakan agar langkah-langkah perhitungan dapat direduksi sehingga perhitungan menjadi lebih cepat dengan akurasi perhitungan yang memuaskan.



Gambar 2. Deformasi pada Struktur Sederhana akibat (a) beban terpusat (b) momen

Hubungan Antara Aksi dan Deformasi (Constitutive Law)

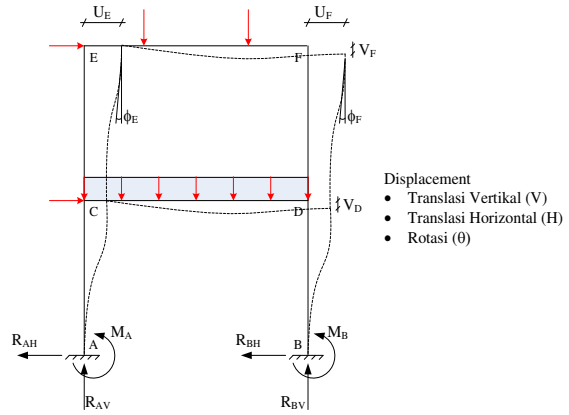


Gambar 3. Constitutive law

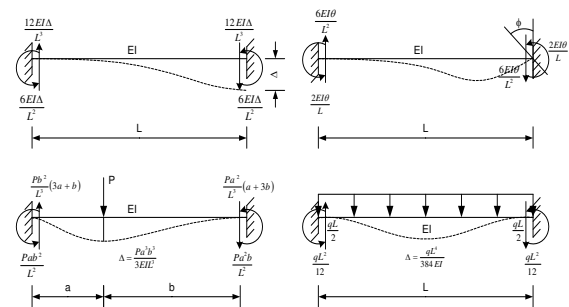
Mengingat pengaruh deformasi geser untuk struktur balok (dimana ukuran-ukuran tampang lintangnya jauh lebih kecil dari pada panjang baloknya) jauh lebih kecil dibanding pengaruh deformasi lentur, maka lazimnya (dalam praktek) pengaruh deformasi geser dapat diabaikan.

Dalam kondisi yang lebih kompleks, terdapat 2 anggapan dasar yang dipakai, yakni:

1. Material berperilaku elastis-linier, sehingga berlaku hukum Hooke dan prinsip superposisi
2. *Displacement* yang terjadi relatif jauh lebih kecil dibandingkan dengan dimensi strukturnya, sehingga persamaan keseimbangan dapat didasarkan pada geometri struktur sebelum terdeformasi, dan pengaruh interaksi antara gaya aksial dan momen lentur dapat diabaikan.



Gambar 4. Perpindahan (*displacements*) pada portal



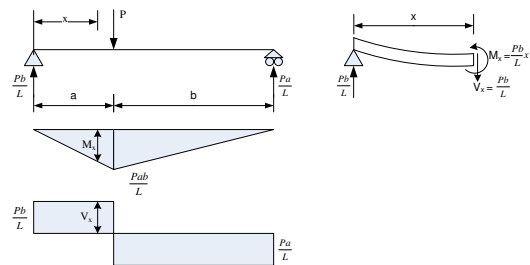
Gambar 5. Hubungan antara aksi dan deformasi

Keseimbangan (Equilibrium)

Secara umum, kondisi tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\begin{aligned} F_x &= 0; & F_y &= 0; & F_z &= 0 \\ M_x &= 0; & M_y &= 0; & M_z &= 0 \end{aligned}$$

Dan persamaan-persamaan tersebut akan memberikan hubungan antara gaya-gaya yang bekerja (*applied forces*) dengan gaya-gaya dalam (*internal actions*). Sebagai ilustrasi ditinjau kondisi berikut ini. Persamaan $\Sigma F_y = 0$ dan $\Sigma M_z = 0$ dipenuhi oleh tinjauan struktur secara keseluruhan dan secara free body.



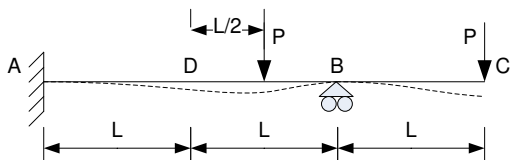
Gambar 6. Internal forces dan free body struktur

Pertimbangan Kinematis Struktur yang Terdeformasi (Compatibility)

Selain kondisi keseimbangan harus terpenuhi, kondisi kompatibilitas (*compatibility*)

sepanjang struktur juga harus dipenuhi. Kondisi ini lazim disebut pula sebagai kontinuitas displacement di sepanjang struktur, atau kondisi geometri, yang secara prinsip dinyatakan:

- Pada dukungan–dukungan:
Displacement harus konsisten dengan kondisi dukungannya. Sebagai contoh: pada dukungan A (jepit), besarnya rotasi dan translasi tersebut harus = 0. Sedangkan pada dukungan B (rol), besarnya translasi vertikal harus = 0.
- Pada semua titik di sepanjang struktur
 Kontinuitas *displacement* harus dipenuhi, sebagai contoh di titik D, yang bisa dianggap sebagai rigid connection antara bagian kiri AD dan kanan DBC, maka: *displacement* (translasi dan rotasi) di titik D dari bagian AD maupun di titik D dari bagian DBC harus sama besar.

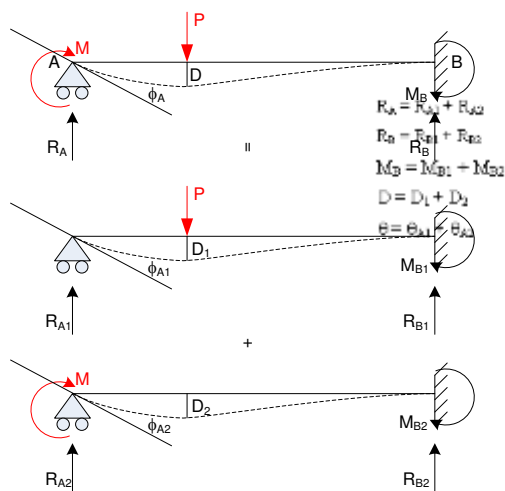


Gambar 7. Translasi struktur

Prinsip–Prinsip Superposisi

Bila perubahan bentuk struktur sebanding dengan beban yang bekerja, maka berlakulah prinsip–prinsip superposisi. Prinsip ini menyatakan bahwa perpindahan akibat beberapa gaya yang bekerja secara serentak sama dengan jumlah perpindahan akibat masing–masing gaya yang bekerja secara terpisah.

Prinsip superposisi hanya terbatas berlakunya pada kondisi dimana hubungan antara aksi dengan displacement adalah elastis–linear. Sebagai ilustrasi sebagai berikut :

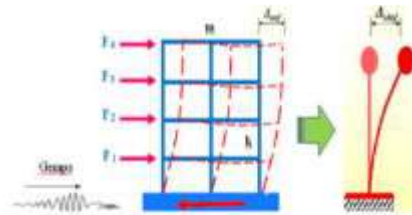


Gambar 8. Prinsip Superposisi

Prinsip superposisi ini juga berlaku untuk hitungan gaya dalam (*internal stress resultant*)

Analisis Respons Struktur

Saat gaya gempa bekerja, maka gedung akan merespon beban gempa tersebut dengan memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya-gaya dalam tersebut melebihi kemampuan/kapasitas gedung, maka gedung akan berperilaku in-elastis jika sifat struktur cukup duktail, tetapi langsung hancur apabila kurang duktail.



Gambar 9. Respons Struktur

Program SAP 2000

Program SAP 2000 merupakan pengembangan program SAP (Edward L. Wilson, SAP – A General Analysis Program No. UC SESM 70-20, Structural Engineering Laboratory, University of California, Berkeley, 1970) yang dibuat oleh Prof. Edward L. Wilson dari Universitas of California at Berkeley, US sekitar tahun 1970. Dasar teori penyelesaian statik yang digunakan dalam program SAP2000 adalah metode matrik kekakuan, dimana suatu persamaan keseimbangan struktur ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut.

$$[K]\{\delta\} = \{F\}$$

Dimana,

[K]= matriks kekakuan yang dapat disebut “unit pendekatan” yang merupakan formulasi matematik dari representasi perilaku mekanik elemen yang ditinjau.

{δ}= vektor perpindahan atau deformasi (translasi atau rotasi) struktur.

{F}= vektor gaya/momen yang dapat berbentuk beban pada titik nodal bebas atau gaya reaksi tumpuan pada titik nodal yang di-restraint.

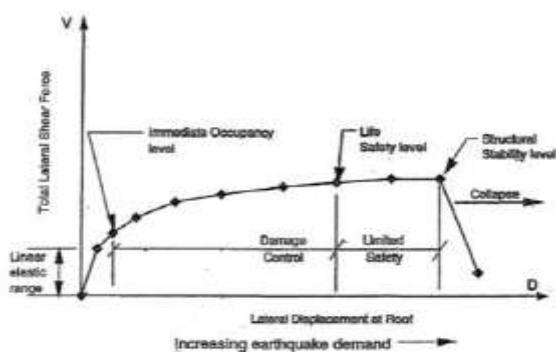
Formulasi diatas memperlihatkan bahwa besarnya gaya deformasi berbanding lurus dengan gaya yang diberikan, dimana matriks [K] adalah sesuatu yang menghubungkan deformasi (perpindahan) dan beban. Lebih tepatnya lagi, matriks [K] adalah besarnya gaya yang diperlukan untuk menghasilkan deformasi (perpindahan) sebesar satu satuan.

Suatu struktur memerlukan tinjauan berbagai kondisi pembebanan. Hal ini umum untuk mencari kombinasi gaya-gaya yang maksimum dalam proses desain penampang. Dalam hal demikian, perlu pengelompokan beban yang memiliki tipe yang sama. Misalnya, kelompok beban mati (berat sendiri, tembok, ...) atau beban hidup (beban orang, mobil, ...), atau beban lateral (angin, gempa, ...). Perlu diperhatikan bahwa secara *default* program SAP2000 otomatis akan menghitung berat sendiri berdasarkan data luas penampang elemen dan berat jenis material yang dipakai.

Kriteria Struktur Tahan Gempa

Bangunan pada daerah rawan gempa harus direncanakan mampu bertahan terhadap gempa. Menurut ATC-40 yang menjadi acuan bagi perencanaan berbasis kinerja maka kategori kriteria-kriteria struktur tahan gempa adalah sebagai berikut:

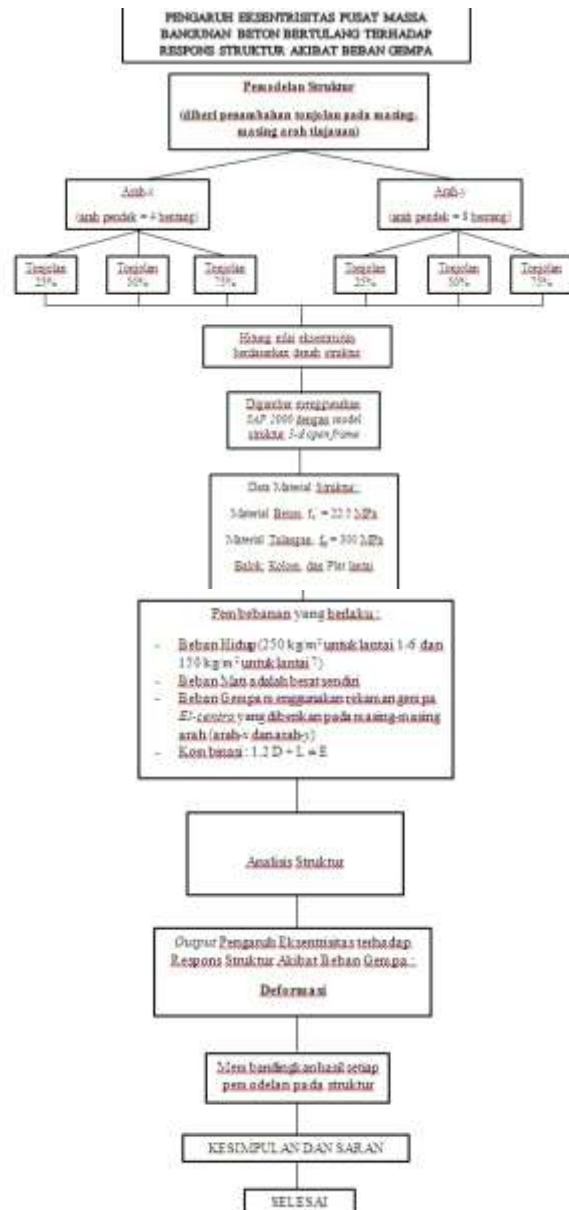
- SP-1 *Immediate Occupancy* (Penggunaan Sedang)
- SP-2 *Damage Control* (Kontrol Kerusakan)
- SP-3 *Life Safety* (Aman untuk Dihuni)
- SP-4 *Limited Safety* (Keamanan Terbatas)
- SP-5 *Structural Stability* (Stabilitas Struktur)
- SP-6 *Not Considered* (Tidak Diperhitungkan)



Gambar 10. Kurva Level Kinerja

METODOLOGI PENELITIAN

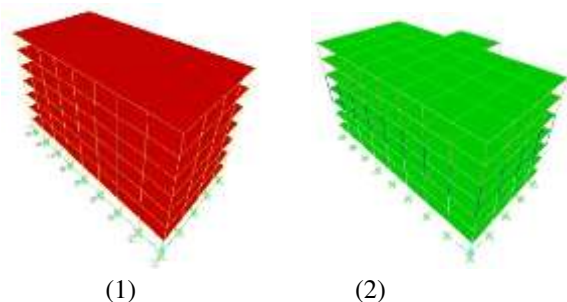
Metodologi penelitian dapat dilihat dalam bagan berikut.

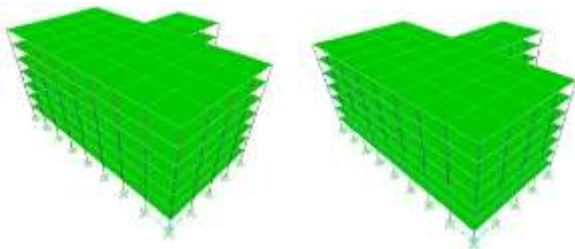


Gambar 11. Bagan alir penelitian

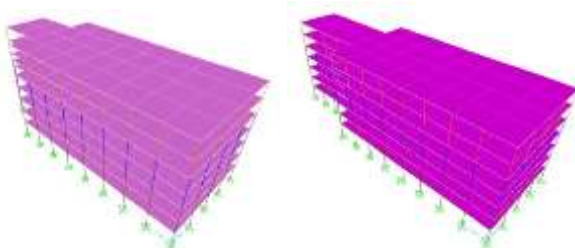
HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun model struktur dibuat sebanyak 7 (tujuh) variasi, sebagai berikut:

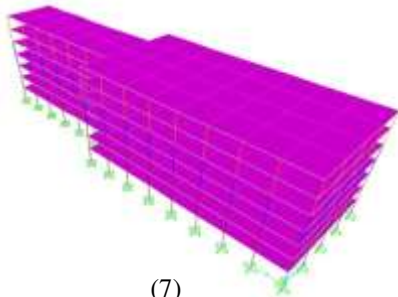




(3) (4)



(5) (6)



(7)

Gambar 12. Model struktur

Nilai-nilai eksentrisitas berdasarkan denah struktur adalah :

Tabel 1. Eksentrisitas Struktur

Model Struktur	Eksentrisitas Denah (m)			
	Arah Pendek		Arah Panjang	
	\bar{x}	\bar{y}	\bar{x}	\bar{y}
MD (Tanpa Tonjolan)	24	12	24	12
Tonjolan 25%	24	12.882	27.333	12
Tonjolan 50%	24	14	31.2	12
Tonjolan 75%	24	15.316	35.454	12

Deformasi yang terjadi pada masing-masing arah:

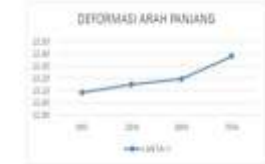
Tabel 2. Deformasi arah panjang lantai 1

LANTAI I					
LANTAI	NAMA JOINT	DEFORMASI		DEFORMASI	
		X	Y	X	Y
		mm	mm	m	m
SATUAN					
MD	293	2.10E-07	5.22	2.89E-01	0.01
25%	293	2.24E-03	5.23	-2.26E-06	0.01
50%	303	1.81E-04	5.25	1.81E-07	0.01
75%	312	8.99E-04	5.25	8.99E-07	0.01



Tabel 3. Deformasi arah panjang lantai 2

LANTAI II					
LANTAI	NAMA JOINT	DEFORMASI		DEFORMASI	
		X	Y	X	Y
		mm	mm	m	m
SATUAN					
MD	248	2.84E-07	13.38	2.84E-11	0.01
25%	257	4.13E-03	13.15	4.13E-06	0.01
50%	268	4.88E-05	13.19	4.88E-04	0.01
75%	410	2.20E-03	13.38	2.20E-06	0.01



Tabel 4. Deformasi arah panjang lantai 3

LANTAI III					
LANTAI	NAMA JOINT	DEFORMASI		DEFORMASI	
		X	Y	X	Y
		mm	mm	m	m
SATUAN					
MD	199	4.25E-07	23.64	4.25E-10	0.01
25%	208	6.05E-03	23.78	6.05E-04	0.01
50%	259	4.14E-05	23.25	4.14E-04	0.01
75%	428	7.09E-03	23.85	7.09E-04	0.01



Tabel 5. Deformasi arah panjang lantai 4

LANTAI IV					
LANTAI	NAMA JOINT	DEFORMASI		DEFORMASI	
		X	Y	X	Y
		mm	mm	m	m
SATUAN					
MD	158	3.19E-07	29.70	3.19E-10	0.01
25%	229	1.38E-02	30.31	1.38E-05	0.01
50%	305	3.04E-02	31.24	2.04E-05	0.01
75%	424	2.97E-02	32.58	1.97E-05	0.01



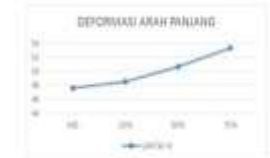
Tabel 6. Deformasi arah panjang lantai 5

LANTAI V					
LANTAI	NAMA JOINT	DEFORMASI		DEFORMASI	
		X	Y	X	Y
		mm	mm	m	m
SATUAN					
MD	109	4.43E-07	28.6175	4.43E-10	0.01
25%	177	8.23E-08	29.3477	8.23E-11	0.01
50%	352	8.79E-07	46.7976	8.79E-09	0.01
75%	422	1.24E-06	42.2589	8.00E-10	0.01



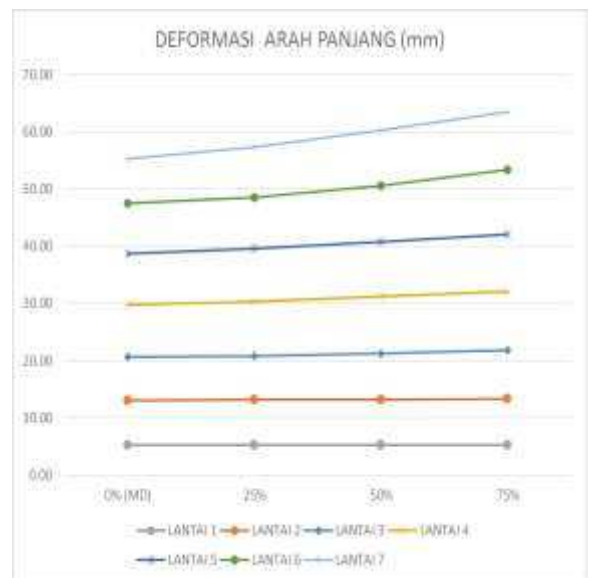
Tabel 7. Deformasi arah panjang lantai 6

LANTAI VI					
LANTAI	NAMA JOINT	DEFORMASI		DEFORMASI	
		X	Y	X	Y
		mm	mm	m	m
SATUAN					
MD	64	2.35E-06	47.5124	2.35E-09	0.01
25%	123	-8.87E-06	48.5199	7.86E-05	0.01
50%	149	-8.84E-07	50.5996	-9.05E-05	0.01
75%	458	-8.88E-04	53.5162	-4.86E-05	0.01



Tabel 8. Deformasi arah panjang lantai 7

LANTAI VII					
LANTAI	NAMA JOINT	DEFORMASI		DEFORMASI	
		X	Y	X	Y
		mm	mm	m	m
SATUAN					
MD	19	1.75E-06	55.27	1.75E-05	0.06
25%	321	3.15E-01	57.34	1.09E-04	0.06
50%	347	1.15E+00	60.28	1.05E-03	0.06
75%	436	1.94E+00	63.50	2.94E-03	0.06



Gambar 13. Deformasi arah panjang

Tabel 9. Deformasi arah pendek lantai 1

LANTAI	LANTAI I				DEFORMASI	
	SAMA JOINT	DEFORMASI		DEFORMASI		
		X	Y	X	Y	
SATUAN	mm	mm	mm	mm	mm	
MD	294	3.444	0.000	0.001443	0.000000	
25%	294	3.480	-0.003	0.001480	-0.000000	
50%	295	3.513	0.000	0.001513	0.000000	
75%	295	3.584	0.000	0.001584	0.000000	

Tabel 10. Deformasi arah pendek lantai 2

LANTAI	LANTAI II				DEFORMASI	
	SAMA JOINT	DEFORMASI		DEFORMASI		
		X	Y	X	Y	
SATUAN	mm	mm	mm	mm	mm	
MD	248	13.932	0.000	0.012932	0.000000	
25%	250	13.977	-0.003	0.012977	-0.000003	
50%	251	13.659	-0.002	0.013659	-0.000002	
75%	347	13.674	0.000	0.013674	0.000000	

Tabel 11. Deformasi arah pendek lantai 3

LANTAI	LANTAI III				DEFORMASI	
	SAMA JOINT	DEFORMASI		DEFORMASI		
		X	Y	X	Y	
SATUAN	mm	mm	mm	mm	mm	
MD	184	12.206	0.000	0.022206	0.000000	
25%	188	12.238	0.578	0.022238	0.000578	
50%	547	12.507	0.511	0.022507	0.000511	
75%	501	12.584	0.682	0.022584	0.000682	

Tabel 12. Deformasi arah pendek lantai 4

LANTAI	LANTAI IV				DEFORMASI	
	SAMA JOINT	DEFORMASI		DEFORMASI		
		X	Y	X	Y	
SATUAN	mm	mm	mm	mm	mm	
MD	153	12.225	0.000	0.132225	0.000000	
25%	328	13.231	-0.028	0.033311	-0.000018	
50%	327	13.931	-0.028	0.033930	-0.000018	
75%	348	14.299	-0.017	0.034299	-0.000017	

Tabel 13. Deformasi arah pendek lantai 5

LANTAI	LANTAI V				DEFORMASI	
	SAMA JOINT	DEFORMASI		DEFORMASI		
		X	Y	X	Y	
SATUAN	mm	mm	mm	mm	mm	
MD	329	13.438	0.000	0.131348	0.000000	
25%	328	14.412	0.527	0.044111	0.000527	
50%	529	14.298	1.204	0.044298	0.000204	
75%	538	17.271	1.335	0.045277	0.001335	

Tabel 14. Deformasi arah pendek lantai 6

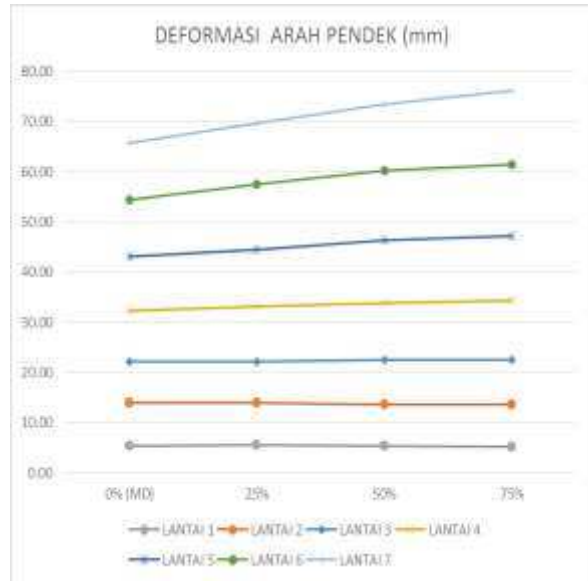
LANTAI	LANTAI VI				DEFORMASI	
	SAMA JOINT	DEFORMASI		DEFORMASI		
		X	Y	X	Y	
SATUAN	mm	mm	mm	mm	mm	
MD	44	54.457	0.000	0.054457	0.000000	
25%	373	12.501	0.047	0.057501	-0.000047	
50%	525	10.313	0.046	0.060313	-0.000046	

Tabel 15. Deformasi arah pendek lantai 7

LANTAI	LANTAI VII				DEFORMASI	
	SAMA JOINT	DEFORMASI		DEFORMASI		
		X	Y	X	Y	
SATUAN	mm	mm	mm	mm	mm	
MD	19	10.734	0.000	0.010734	0.000000	
25%	117	10.787	0.775	0.010775	0.000775	
50%	128	7.540	1.300	0.075400	0.001300	
75%	127	7.142	1.351	0.071402	0.001351	

Tabel 16. Prosentase nilai deformasi

	ARAH PANJANG				ARAH PENDEK			
	0% (MD)	25%	50%	75%	0% (MD)	25%	50%	75%
LANTAI 1	0.00%	0.38%	0.62%	0.60%	0.00%	5.08%	1.92%	1.33%
LANTAI 2	0.00%	0.50%	0.86%	2.27%	0.00%	0.32%	-1.96%	-1.85%
LANTAI 3	0.00%	0.93%	4.48%	9.11%	0.00%	0.17%	1.38%	1.73%
LANTAI 4	0.00%	1.90%	5.01%	8.18%	0.00%	3.09%	5.23%	6.69%
LANTAI 5	0.00%	2.21%	5.44%	8.69%	0.00%	3.19%	7.57%	9.84%
LANTAI 6	0.00%	2.10%	6.46%	12.21%	0.00%	5.59%	10.75%	12.87%
LANTAI 7	0.00%	3.75%	9.07%	14.90%	0.00%	6.08%	11.80%	15.87%



Gambar 14. Deformasi arah pendek

Berdasarkan hasil dari tabel-tabel dan grafik-grafik dapat dilihat:

- Karena eksentrisitas yang dimaksud adalah berdasarkan denah struktur (beban hidup pada setiap lantai adalah sama), maka perubahan denah akibat tonjolan menentukan besarnya defleksi. Lain halnya jika pada suatu lantai tertentu memiliki beberapa fungsi bangunan, sehingga beratnya berbeda dengan lantai yang lain. Kemungkinan pengaruh momen torsi akan lebih besar.
- Di sisi lain, faktor yang mempengaruhi besarnya defleksi adalah dimensi balok dan kolom. Semakin besar kekakuan balok dan kolom, maka nilai defleksi akan semakin kecil.
- Pada perhitungan ini, dimensi kolom dan balok tidak memperhitungkan keefisienan struktur, sehingga dimensi yang digunakan hanya untuk memenuhi tingkat layan struktur.
- Beban gempa pada mulanya ditinjau terhadap 2 arah (arah-x dan arah-y), namun yang dituliskan dalam jurnal ini hanya arah yang dominan. Maksudnya, untuk struktur dengan penambahan tonjolan terletak pada arah-x, setelah diberi beban gempa dalam masing-masing arah ternyata yang memiliki nilai defleksi lebih besar adalah gempa yang diberikan tegak lurus arah penambahan tonjolan, yaitu gempa arah-y, dan begitu pula sebaliknya.
- Nilai defleksi terbesar ada pada lantai teratas struktur, dimana nilai defleksi tersebut sama untuk setiap lantai karena struktur dianggap memiliki diafragma yang kaku pada masing-masing lantai, sehingga deformasi yang

terjadi pada tiap-tiap simpul pada suatu lantai/tingkat serupa adalah sama.

- Pada grafik deformasi arah panjang dan arah pendek, dapat dilihat bahwa semakin besar penambahan tonjolan di masing-masing arah pada struktur maka nilai deformasi semakin besar pula.
- Pada tabel persentase nilai deformasi, nilai deformasi terbesar yaitu pada struktur dengan tonjolan arah panjang sebesar 75% pada lantai 7 yaitu sebesar 14.90% dan pada struktur dengan tonjolan arah pendek sebesar 75% pada lantai 7 yaitu sebesar 15.87% terhadap model dasar struktur di masing-masing arah.
- Juga, jelas terlihat bahwa nilai deformasi yang lebih besar adalah pada arah pendek. Dengan kata lain, pada struktur yang sama yang diberikan beban gempa yang sama pula, struktur yang memiliki tonjolan arah pendek lebih besar menghasilkan deformasi.

Hal-hal tersebut menjadi pertimbangan mengapa SNI memberikan persyaratan untuk struktur gedung beraturan hanya yang boleh memiliki tonjolan < 25% pada arah tinjauan.

Selain itu, dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa pada bagian-bagian tertentu struktur yang memiliki tonjolan lebih dari 25%, yaitu pada bagian dekat sudut tonjolan, dimana ketika struktur mengalami pembebanan gempa yang terus menerus dengan skala gempa tertentu, struktur tersebut kemungkinan besar akan runtuh bukan karena momen akibat gaya vertikal maupun horizontal melainkan karena adanya kombinasi lentur dan torsi. Struktur seperti ini harus diberi perlakuan khusus, yaitu dengan dibuatnya dilatasi.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan:

1. Deformasi maksimum antara struktur yang beraturan terhadap struktur yang memiliki tonjolan 75% pada arahnya berbeda 15.87% atau dengan selisih 10.43 mm dari 65.71 mm total deformasi.
2. Respon akibat beban gempa lebih dominan jika dikerjakan tegak lurus terhadap arah penambahan tonjolan.
3. Dimensi dan kekakuan kolom dan balok akan mempengaruhi nilai deformasi.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini maka penulis menyarankan agar dilakukan penelitian lebih lanjut, dalam hal ini:

1. Hasil analisis pada penelitian ini dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya untuk tipe struktur yang lebih kompleks, misalnya dengan adanya perbedaan sistem pembebanan pada setiap bagian pada suatu lantai.
2. Model struktur dapat dibuat lebih bervariasi untuk mendapatkan variasi nilai eksentrisitas pada masing-masing arah.
3. Pembahasan pada penelitian ini belum memperhitungkan keefisienan dalam desain
4. Masih perlu dikaji lebih lanjut tentang aplikasi penggunaan pembebanan yang tidak diperhitungkan dalam penelitian ini, misalnya beban angin yang dihitung secara manual atau menggunakan beban lateral otomatis akibat angin menurut peraturan ASCE 7 dan IBC.

DAFTAR PUSTAKA

- BSN, 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI – 1726-2002*. Badan Standarisasi Nasional, Bandung.
- BSN, 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI – 03-2847-2002*. Badan Standarisasi Nasional, Bandung.
- Dewobroto, W., 2004. *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000, Edisi Baru*, Gramedia, Jakarta.
- Dewobroto, W., 2005. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP 2000*. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3 No.1, Universitas Pelita Harapan, Jakarta.
- Jati, S., dkk., 2009. *Pengaruh Eksentrisitas Pusat Massa Bangunan Beton Bertulang Terhadap Stabilitas Struktur yang Mengalami Beban Gempa*. Jurnal Rekayasa Sipil, ISSN:1858-2133, Vol. 5 No. 1.

- Paulay, T, and Priestley, M. J. N., 1992. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. John Wiley and Sons, INC. Canada.
- Singal, R., 2009. *Penggunaan Rumus Empiris untuk Menghitung Perpindahan Lateral pada Bangunan Bertingkat*, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Solikin, M., 2007. *The Influence of Centre of Mass Eccentricity in Reinforced Concrete Portal to Earthquake-Loaded Structure Stability.*, *Dinamika TEKNIK SIPIL*, Vol. 7 No. 1.