

STUDI PERILAKU STRUKTUR BETON BERTULANG TERHADAP KINERJA BATAS AKIBAT PENGARUH TINGGI BANGUNAN DAN DIMENSI KOLOM BERDASARKAN SNI 03-1726-2002

Oleh : Arie Wardhono *)

Abstrak

Kontrol terhadap perilaku bangunan terhadap gempa telah diatur dalam SNI-03-1726-2002 pada Kinerja Batas Layan (KBL) dan Kinerja Batas Ultimit (KBU) untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan. Namun pada bangunan tinggi, kontrol tersebut menimbulkan suatu pertanyaan mendasar akibat perilaku struktur yang terjadi pada batas nilai drift yang diijinkan. Berdasarkan hal tersebut, tujuan studi ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi tinggi bangunan terhadap nilai Kinerja Batas Layan (KBL) dan Kinerja Batas Ultimit (KBU) akibat perilaku bangunan struktur beton bertulang pada wilayah yang mempunyai resiko gempa tinggi berdasarkan SNI 03-1726-2002. Metode yang digunakan adalah dengan memodelkan struktur beton bertulang sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada sistem struktur portal terbuka (*open frame*). Model dibuat sebanyak 3 model dengan dengan variasi tinggi struktur (H_{str}) = 4, 6, dan 8 lantai dengan perbandingan tinggi struktur (H_{str}) terhadap lebar struktur (B_{str}) adalah = 2 : 1. Struktur dianalisis sesuai peraturan SNI 03-1726-2002 dengan memakai software SAP 2000 Nonlinear. Permodelan dilakukan dalam bentuk 2 Dimensi (2D). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi dari penambahan tinggi struktur dan pembesaran dimensi kolom memberikan pola defleksi yang sama hingga struktur 6 lantai yaitu dalam batas drift Δ_s (KBL) dan drift Δ_m (KBU) dimana pola penyimpangan terjadi pada kolom langsing. Namun terjadi perubahan pola pada struktur 8 lantai yaitu tidak adanya kontribusi pada nilai defleksi akibat adanya pembesaran kolom yaitu pada kolom 60 cm^2 , 70 cm^2 , dan 80 cm^2 .

Kata Kunci: Struktur beton bertulang, tinggi struktur, dimensi kolom, KBL, KBU

PENDAHULUAN

Bangunan akan mengalami keruntuhan secara parsial atau secara total pada waktu terjadinya gempa. Hal ini tampak pada beberapa peristiwa gempa besar yang melanda Indonesia. Peristiwa-peristiwa gempa itu adalah gempa Aceh (Desember 2004), gempa Nias (2005), gempa Yogyakarta (Mei 2006) dan gempa Sumatra Barat (Oktober 2009). Kejadian-kejadian gempa tersebut menunjukkan bahwa Indonesia terletak di daerah rawan terjadinya gempa dan termasuk dalam kategori wilayah gempa dengan intensitas moderat yang cukup tinggi. Kebanyakan kegagalan struktur atau keruntuhan bangunan tersebut terjadi pada bangunan-bangunan tua yang dirancang tidak berdasarkan standar disain saat ini dan juga akibat perencanaan dan pelaksanaan konstruksi yang kurang baik (Villaverde, 2007). Hal ini didukung oleh Goel dan Chopra (2004) yang menemukan adanya penyimpangan pada nilai kinerja batas yaitu nilai kinerja batas masih memenuhi persyaratan pada bangunan 3 tingkat, namun penyimpangan terjadi pada bangunan diatas 6 tingkat yang menyebabkan nilai kinerja batas tidak

terpenuhi. Pernyataan tersebut menimbulkan banyak pertanyaan mengenai terjadinya penyimpangan serta penyebab nilai kinerja batas tidak terpenuhi pada bangunan diatas 6 lantai.

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi tinggi bangunan terhadap nilai Kinerja Batas Layan (KBL) dan Kinerja Batas Ultimit (KBU) akibat perilaku bangunan struktur beton bertulang pada wilayah yang mempunyai resiko gempa tinggi berdasarkan SNI 03-1726-2002.

Adapun metode yang digunakan adalah dengan memodelkan struktur beton bertulang sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada sistem struktur portal terbuka (*open frame*). Model dibuat sebanyak 3 model dengan dengan variasi tinggi struktur (H_{str}) = 4, 6, dan 8 lantai dengan perbandingan tinggi struktur (H_{str}) terhadap lebar struktur (B_{str}) adalah = 2 : 1. Struktur dianalisis sesuai peraturan SNI 03-1726-2002 dengan memakai *software* SAP 2000 Nonlinear.

*) Dosen Teknik Sipil
Universitas Negeri Surabaya

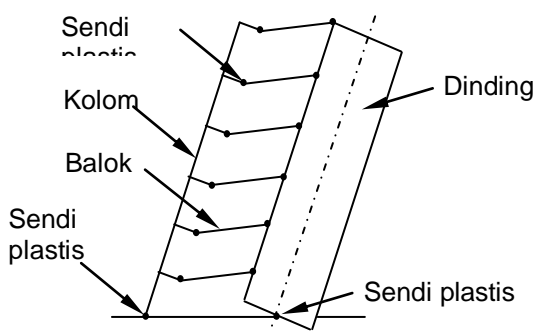
Permodelan dilakukan dalam bentuk 2 Dimensi (2D).

Sedangkan manfaat yang dapat diambil dari studi ini adalah untuk memberikan gambaran pada perencana bangunan dalam mempertimbangkan pengaruh tinggi bangunan dan dimensi kolom terhadap nilai kinerja batas akibat perilaku bangunan struktur beton bertulang pada wilayah yang mempunyai resiko gempa tinggi yang tepat agar tercapai kinerja struktur yang direncanakan.

KAJIAN PUSTAKA

Konsep *Strong Column Weak Beam*

Perencanaan pada konsep "*Strong Column Weak Beam*" atau "Kolom Kuat Balok Lemah" dinamakan sebagai Disain Kapasitas yang artinya ketika struktur gedung memikul pengaruh gempa rencana, sendi-sendi plastis di dalam struktur gedung tersebut hanya boleh terjadi pada ujung-ujung balok dan pada kaki kolom saja, oleh karena itu perlu adanya batasan-batasan yang jelas mengenai konsep *Strong Column Weak Beam*.



Gambar 1. Mekanisme keruntuhan ideal suatu struktur gedung

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Perencanaan pembangunan gedung bertingkat untuk daerah resiko gempa yang tinggi digunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) adalah sistem rangka ruang dalam dimana komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya dalam yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial, dimana perhitungan struktur menggunakan konsep *Strong Column Weak Beam* (SCWB). SCWB merancang kolom sedemikian rupa sehingga bangunan dapat merespon terhadap beban gaya gempa dengan mengembangkan mekanisme sendi

plastis pada balok-baloknya dan dasar kolom. Hal ini sangat berbeda dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) yang boleh mengabaikan konsep SCWB karena SRMB memiliki kekakuan yang besar bila dibandingkan dengan sistem struktur yang lain. SRPMK merupakan suatu sistem rangka yang selain memenuhi ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga memenuhi ketentuan-ketentuan umum dan ketentuan hubungan balok-kolom pada sistem itu sendiri (SNI 03-2847-2002 pasal 23)

Kapasitas Disain (*Design Capacity*)

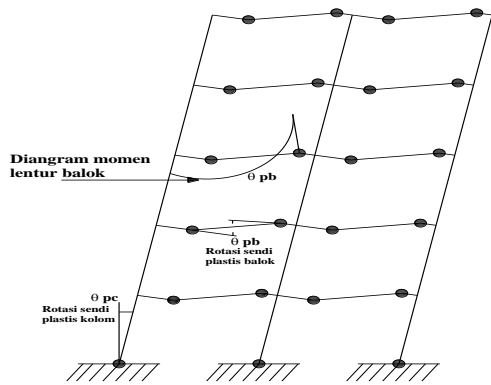
Selama ini perencanaan struktur terhadap gempa memakai konsep Disain kapasitas di mana pengendalian pola keruntuhan struktur dilakukan melalui pemanfaatan sifat daktail dari struktur secara maksimal.. Konsep *Design Capacity* juga dapat diartikan dengan *Strength Based Design* yaitu di mana setiap struktur harus direncanakan mampu menahan beban geser dasar akibat gempa. Dua macam batasan struktur dalam konsep *Strength Based Design* adalah sebagai berikut:

a. *Serviceability Limit State*

Titik berat dari kinerja ini adalah pengontrolan dan pembatasan *displacement* yang terjadi selama gempa berlangsung. Kekuatan tambahan harus dapat dipastikan tersedia pada semua komponen struktur untuk menahan gempa, sementara komponen tersebut tetap berperilaku elastis. Diiijinkan terjadi kerusakan-kerusakan minor pada elemen non-struktur. Dalam kriteria ini intensitas gempa sangat berhubungan erat dengan faktor penggunaan bangunan.

b. *Survival Limit State*

Prinsip utama dari kriteria ini adalah sedapat mungkin mencegah kehilangan nyawa manusia ketika terjadi gempa yang kuat. Ketika suatu struktur mengalami perpindahan lateral yang besar, kehilangan kekuatan untuk menahan gaya lateral harus sesedikit mungkin dan kemampuan struktur untuk menahan beban gravitasi masih harus tetap dapat dipertahankan.



Gambar 2. Mekanisme goyang dengan pembentukan sendi - sendi plastis pada ujung-ujung balok dan kaki kolom.

Pengaruh Tinggi Bangunan

Semakin tinggi bangunan maka semakin besar pula gaya gempa yang di terima oleh bangunan tersebut. Hal ini dikarenakan selain bangunan tersebut harus memikul berat sendiri, bangunan tersebut juga harus dapat menerima gaya lateral ketika gempa terjadi. Gaya gempa sendiri diperoleh dari total berat bangunan (Wt) dikalikan dengan faktor-faktor yang mempengaruhi struktur gedung itu sendiri. Dengan kata lain, beban yang mempunyai pengaruh dominan terhadap struktur, beban gravitasi atau beban gempa, ditentukan oleh struktur itu sendiri. Hal ini mengandung pengertian bahwa bila suatu bangunan bertingkat rendah atau biasa disebut (*low rise building*) dengan bentang balok yang besar dan terletak pada daerah dengan resiko gempa kecil maka dapat dipastikan beban gravitasilah yang menentukan. Sebaliknya bila suatu bangunan bertingkat tinggi atau biasa disebut (*high rise building*) dengan bentang balok kecil dan terletak pada daerah dengan resiko gempa besar maka yang menentukan adalah beban gempunya.

Pada umumnya, bangunan dikatakan bertingkat rendah (*low rise building*) apabila tinggi bangunan dibawah 35 meter dan pembagian jarak atau tinggi pada setiap lantai tetap. Sedangkan bangunan dikatakan bertingkat tinggi (*high rise building*) apabila tinggi bangunan lebih dari 35 meter. Jadi bangunan yang tingginya kurang dari 35 meter tidak bisa disebut dengan bangunan bertingkat tinggi (*high rise building*).

Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat akibat pengaruh gempa rencana, yaitu untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, di samping untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

$$\text{Kinerja Batas Layan (KBL)} \leq \frac{0,03}{R} h_i \text{ atau } \leq 30 \text{ mm (SNI 03-1726-2002 pasal 8.1.2)}$$

Kinerja Batas Ultimit

Kinerja Batas Ultimit (KBU) struktur akibat gempa rencana, untuk struktur gedung beraturan dibatasi sebesar : $\leq 0,7 R$ (KBL) atau $\leq 0,02 h_i$ (SNI 03-1726-2002 pasal 8.1.2). Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela delatasi). Sesuai SNI 03-1726-2002 pasal 4.3.3 simpangan dan simpangan antar-tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan suatu faktor pengali ξ sebagai berikut:

(SNI 03-1726-2002 pasal 8.2.1)

Untuk struktur gedung beraturan: $\xi = 0,7 R$

Untuk struktur gedung tidak beraturan: $\xi =$

$$0,7 \cdot R$$

Faktor skala

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung menurut SNI 03-1726-2002 pasal 8.2.1 tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan.

METODOLOGI PENELITIAN

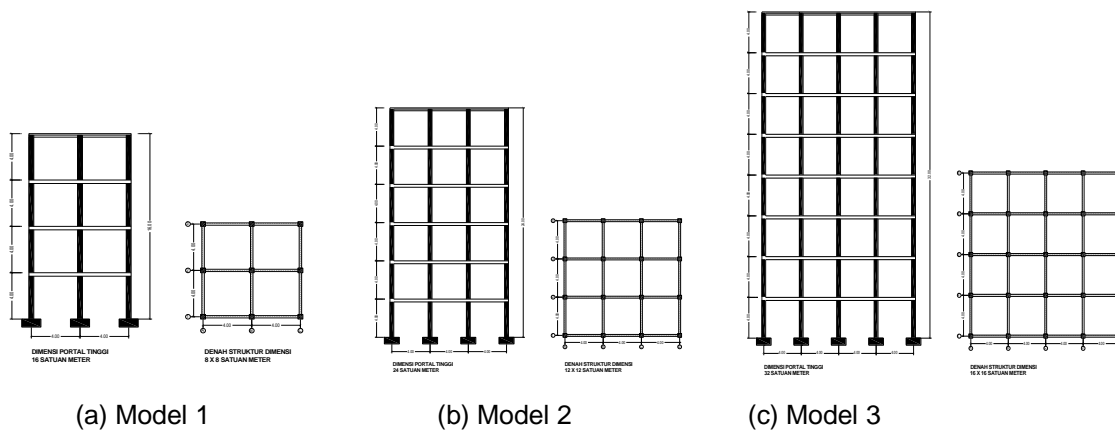
Langkah-langkah yang dilakukan dalam studi ini:

1. Studi kasus.
Struktur yang akan dibandingkan adalah 3 model struktur *open frame* dengan variasi tinggi struktur yaitu struktur (1) 4 lantai, (2) 6m, dan (3) 8 m. Ketiga model

- struktur tersebut akan didisain dan dievaluasi sesuai dengan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-2847-2002.
- Melakukan perencanaan awal struktur gedung berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan SNI 03-1726-2002.
 - Melakukan analisis elastis yaitu dengan menghitung gaya-gaya dalam berdasarkan distribusi gaya gempa dasar menggunakan metode statis ekuivalen. Analisis dilakukan dengan bantuan SAP 2000 Nonlinear berdasarkan SNI 03-1726-2002.
 - Melakukan kontrol T rayleigh terhadap periode alami struktur (T).
 - Melakukan analisis dan pengecekan Kinerja Batas Layan (KBL) dan Kinerja Batas Ultimit (KBU) terhadap batas *drift* KBL dan KBU berdasarkan SNI 03-1726-2002.
 - Simpulan

HASIL DAN PEMBAHASAN Permodelan Struktur

Perencanaan model struktur gedung beton bertulang *open frame* dengan tinggi antar lantai 4 m, fungsi perkantoran, mutu beton $f_c' = 30$ MPa, mutu baja $f_y = 390$ MPa, $f_{ys} = 240$ MPa. Tebal pelat = 120 mm dan dimensi balok 30/50 cm. Struktur gedung berada di Wilayah Gempa (WG) 6 berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan nilai daktilitas (μ) = 5,3 dan faktor reduksi gempa (R) = 8,5 sesuai Tabel 2 SNI-1726-2002. Perbandingan tinggi struktur (H_{str}) terhadap lebar struktur (B_{str}) sebesar = 2 : 1 adalah untuk mencegah agar bentang balok tidak mengalami perubahan yaitu tetap sebesar = 4 m arah sumbu X dan sumbu Y. Permodelan struktur dapat dilihat pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Permodelan Struktur (a) 4 Lantai, (b) 6 Lantai, (c) 8 lantai

Adapun detail permodelan struktur dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Detail Permodelan Struktur

Model	Jumlah Lantai	Tinggi Struktur	Lebar Struktur	Perbandingan
1	4	16 m	8 m	2 : 1
2	6	24 m	12 m	2 : 1
3	8	32 m	16 m	2 : 1

Analisis Kinerja Batas Layan dan Ultimit
Analisis Kinerja Batas Layan (KBL) dan Kinerja Batas Ultimit (KBU) terhadap Model 1 (4 lantai), Model 2 (6 lantai), dan Model 3 (8 lantai).

Kontrol KBL dan KBU untuk Model 1 (4 lantai) dengan berbagai dimensi kolom dapat dilihat pada Tabel 2, 3, dan 4 berikut:

Tabel 2. KBL dan KBU Model 1 Portal 4 Lantai (Kolom 30 cm x 30 cm)

Lantai	Tinggi (m)	Δs (m)	Drift Δs antar tingkat (m)	Batas Drift Δs (m)	Ket	Drift Δm antar tingkat (m)	Batas Drift Δm (m)	Ket
4	16	0,05745	0,007494	0,0141	OK	0,044589	0,08	OK
3	12	0,04996	0,014035	0,0141	OK	0,083508	0,08	NO
2	8	0,03592	0,018381	0,0141	NO	0,109367	0,08	NO
1	4	0,01754	0,017539	0,0141	NO	0,104357	0,08	NO

Tabel 3. KBL dan KBU Model 1 Portal 4 Lantai (Kolom 35 cm x 35 cm)

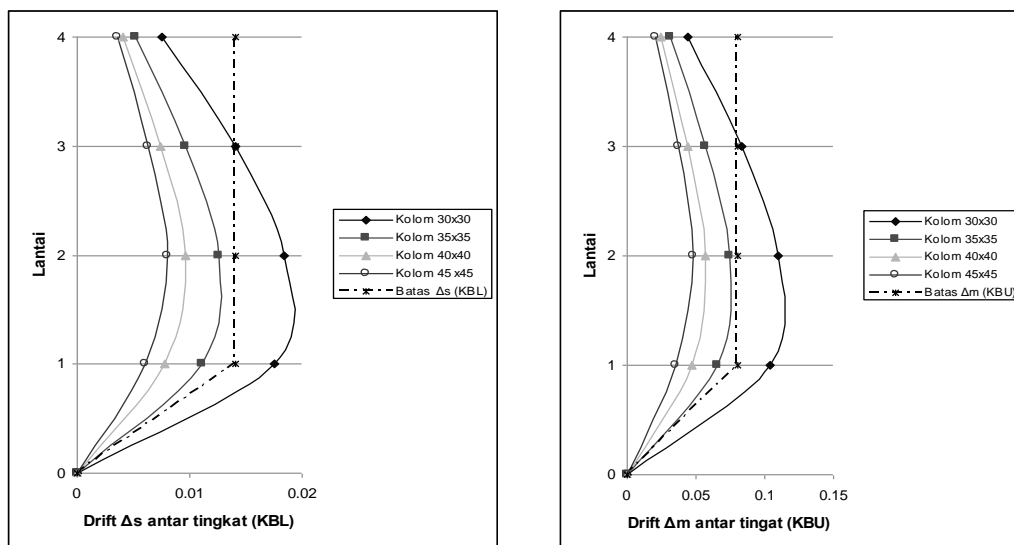
Lantai	Tinggi (m)	Δs (m)	Drift Δs antar tingkat (m)	Batas Drift Δs (m)	Ket	Drift Δm antar tingkat (m)	Batas Drift Δm (m)	Ket
4	16	0,03850	0,005211	0,0141	OK	0,031005	0,08	OK
3	12	0,03329	0,009639	0,0141	OK	0,057352	0,08	OK
2	8	0,02365	0,012566	0,0141	OK	0,074768	0,08	OK
1	4	0,01109	0,011086	0,0141	OK	0,065962	0,08	OK

Tabel 4. KBL dan KBU Model 1 Portal 4 Lantai (Kolom 40 cm x 40 cm)

Lantai	Tinggi (m)	Δs (m)	Drift Δs antar tingkat (m)	Batas Drift Δs (m)	Ket	Drift Δm antar tingkat (m)	Batas Drift Δm (m)	Ket
4	16	0,02903	0,00410	0,0141	OK	0,024401	0,08	OK
3	12	0,02492	0,00746	0,0141	OK	0,044387	0,08	OK
2	8	0,01746	0,00964	0,0141	OK	0,057334	0,08	OK
1	4	0,00783	0,00783	0,0141	OK	0,046577	0,08	OK

Gambar 4 menunjukkan bahwa untuk portal 4 lantai dengan dimensi balok 30 x 50 cm, penyimpangan *drift Δs* antar tingkat terjadi pada kolom dengan dimensi 30 x 30 cm dimana pada lantai 1 dan 2 terlihat telah melewati batas *drift Δs* atau menyimpang dari batas *drift Δs* . Pada analisis KBU, terjadi penyimpangan *drift Δm* antar tingkat pada kolom dengan dimensi 30 x 30 cm dimana pada lantai 1, 2, dan lantai 3

telah terjadi penyimpangan batas *drift Δm* . Untuk dimensi kolom 35 x 35 cm walaupun KBU terpenuhi akan tetapi pada lantai 2 sangat rawan karena hampir mendekati batas *drift Δs* dan *drift Δm* . Sedangkan untuk dimensi kolom 40 x 40 cm dan 45 x 45 cm, *drift Δm* antar tingkat pada setiap lantai dapat dikatakan sangat aman terhadap batas *drift Δs* dan *drift Δm* .



Gambar 4. Kinerja Model 1 (4 lantai) terhadap KBL dan KBU

Kontrol KBL dan KBU untuk Model 2 (6 lantai) dengan berbagai dimensi kolom dapat dilihat pada Tabel 5, 6, dan 7 berikut:

Tabel 5. KBL dan KBU Model 2 Portal 6 Lantai (Kolom 40 cm x 40 cm)

Lantai	Tinggi (m)	Δs (m)	Drift Δs antar tingkat (m)	Batas Drift Δs (m)	Ket	Drift Δm antar tingkat (m)	Batas Drift Δm (m)	Ket
6	24	0,06770	0,00473	0,0141	OK	0,02814	0,08	OK
5	20	0,06297	0,00867	0,0141	OK	0,05157	0,08	OK
4	16	0,05430	0,01201	0,0141	OK	0,07144	0,08	OK
3	12	0,04229	0,01443	0,0141	NO	0,08584	0,08	NO
2	8	0,02787	0,01570	0,0141	NO	0,09339	0,08	NO
1	4	0,01217	0,01217	0,0141	OK	0,07242	0,08	OK

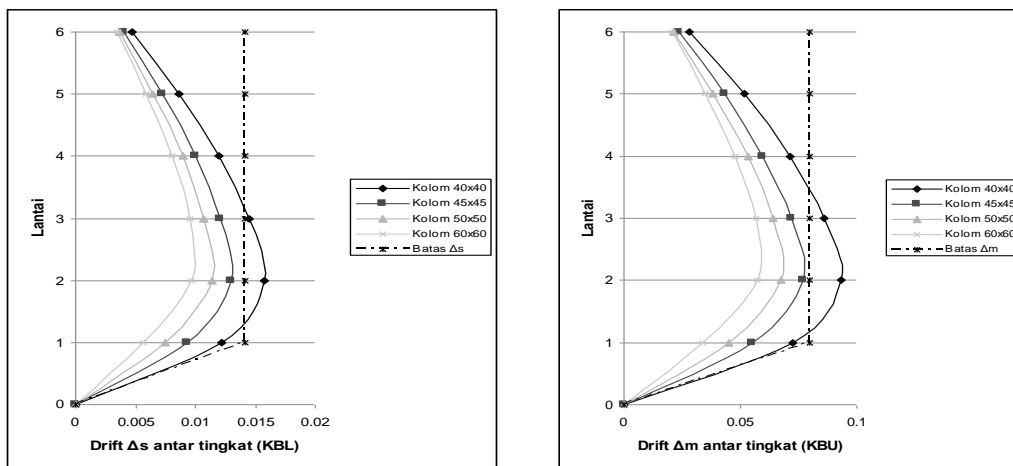
Tabel 6. KBL dan KBU Model 2 Portal 6 Lantai (Kolom 45 cm x 45 cm)

Lantai	Tinggi (m)	Δs (m)	Drift Δs antar tingkat (m)	Batas Drift Δs (m)	Ket	Drift Δm antar tingkat (m)	Batas Drift Δm (m)	Ket
6	24	0,05552	0,00400	0,0141	OK	0,023806	0,08	OK
5	20	0,05152	0,00722	0,0141	OK	0,042983	0,08	OK
4	16	0,04430	0,01003	0,0141	OK	0,059696	0,08	OK
3	12	0,03426	0,01205	0,0141	OK	0,071715	0,08	OK
2	8	0,02221	0,01294	0,0141	OK	0,077011	0,08	OK
1	4	0,00927	0,00927	0,0141	OK	0,055127	0,08	OK

Tabel 7. KBL dan KBU Model 2 Portal 6 Lantai (Kolom 50 cm x 50 cm)

Lantai	Tinggi (m)	Δs (m)	Drift Δs antar tingkat (m)	Batas Drift Δs (m)	Ket	Drift Δm antar tingkat (m)	Batas Drift Δm (m)	Ket
6	24	0,04860	0,00363	0,0141	OK	0,02162	0,08	OK
5	20	0,04497	0,00644	0,0141	OK	0,03830	0,08	OK
4	16	0,03853	0,00895	0,0141	OK	0,05325	0,08	OK
3	12	0,02958	0,01074	0,0141	OK	0,06387	0,08	OK
2	8	0,01885	0,01133	0,0141	OK	0,06740	0,08	OK
1	4	0,00752	0,00752	0,0141	OK	0,04476	0,08	OK

Gambar 5 menunjukkan pola penyimpangan *drift* Δs dan *drift* Δm antar tingkat terjadi pada kolom serupa pada Model 1. Penyimpangan batas *drift* Δs dan *drift* Δm terjadi pada lantai 2 dan 3 pada kolom 40 x 40 cm.



Gambar 5. Kinerja Model 2 (6 lantai) terhadap KBL dan KBU

Kontrol KBL dan KBU untuk Model 3 (8 lantai) dengan berbagai dimensi kolom dapat dilihat pada Tabel 8, 9, dan 10 berikut:

Tabel 8. KBL dan KBU Model 3 Portal 8 Lantai (Kolom 45 cm x 45 cm)

Lantai	Tinggi (m)	Δs (m)	Drift Δs antar tingkat (m)	Batas Drift Δs (m)	Ket	Drift Δm antar tingkat (m)	Batas Drift Δm (m)	Ket
8	32	0,10055	0,004479	0,0141	OK	0,026650	0,08	OK
7	28	0,09607	0,007908	0,0141	OK	0,047053	0,08	OK
6	24	0,08816	0,011128	0,0141	OK	0,066212	0,08	OK
5	20	0,07703	0,013780	0,0141	OK	0,081991	0,08	NO
4	16	0,06325	0,015847	0,0141	NO	0,094290	0,08	NO
3	12	0,04740	0,017267	0,0141	NO	0,102739	0,08	NO
2	8	0,03014	0,017645	0,0141	NO	0,104988	0,08	NO
1	4	0,01249	0,012496	0,0141	OK	0,074351	0,08	OK

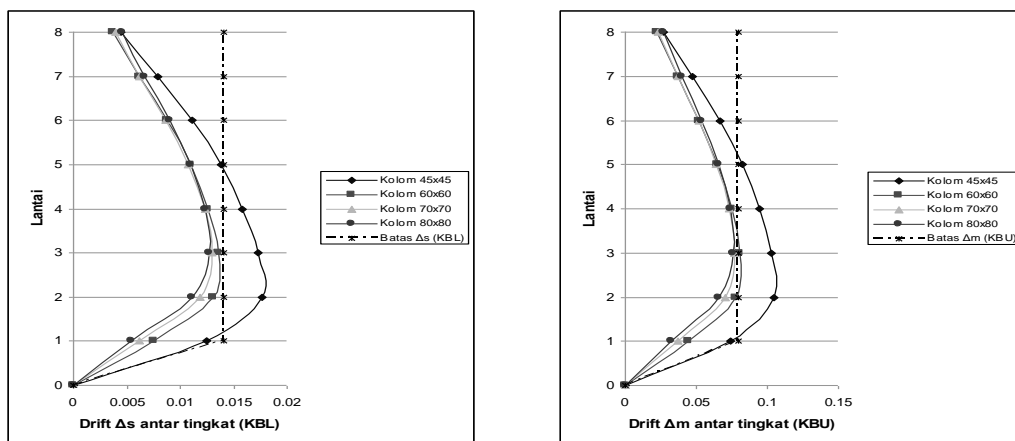
Tabel 9. KBL dan KBU Model 3 Portal 8 Lantai (Kolom 60 cm x 60 cm)

Lantai	Tinggi (m)	Δs (m)	Drift Δs antar tingkat (m)	Batas Drift Δs (m)	Ket	Drift Δm antar tingkat (m)	Batas Drift Δm (m)	Ket
8	32	0,07643	0,003730	0,0141	OK	0,022194	0,08	OK
7	28	0,07270	0,006229	0,0141	OK	0,037063	0,08	OK
6	24	0,06647	0,008787	0,0141	OK	0,052283	0,08	OK
5	20	0,05768	0,010948	0,0141	OK	0,065141	0,08	OK
4	16	0,04673	0,012607	0,0141	OK	0,075012	0,08	OK
3	12	0,03413	0,013561	0,0141	OK	0,080688	0,08	NO
2	8	0,02057	0,013043	0,0141	OK	0,077606	0,08	OK
1	4	0,00752	0,007528	0,0141	OK	0,044792	0,08	OK

Tabel 10. KBL dan KBU Model 3 Portal 8 Lantai (Kolom 70 cm x 70 cm)

Lantai	Tinggi (m)	Δs (m)	Drift Δs antar tingkat (m)	Batas Drift Δs (m)	Ket	Drift Δm antar tingkat (m)	Batas Drift Δm (m)	Ket
8	32	0,07300	0,00396	0,0141	OK	0,023544	0,08	OK
7	28	0,06905	0,00622	0,0141	OK	0,037021	0,08	OK
6	24	0,06283	0,00867	0,0141	OK	0,051557	0,08	OK
5	20	0,05416	0,01076	0,0141	OK	0,064034	0,08	OK
4	16	0,04340	0,01231	0,0141	OK	0,073250	0,08	OK
3	12	0,03109	0,01298	0,0141	OK	0,077237	0,08	OK
2	8	0,01811	0,01189	0,0141	OK	0,070734	0,08	OK
1	4	0,00622	0,00622	0,0141	OK	0,036997	0,08	OK

Gambar 6 menunjukkan pola penyimpangan *drift Δs* dan *drift Δm* antar tingkat terjadi pada kolom serupa pada Model 1 dan Model 2. Penyimpangan batas *drift Δs* dan *drift Δm* terjadi pada lantai 2, 3 dan 4 pada kolom 45 x 45 cm. Selain itu, pembesaran dimensi kolom tidak memberikan kontribusi pada defleksi yang terjadi pada lantai 4 keatas.



Gambar 6. Kinerja Model 3 (8 lantai) terhadap KBL dan KBU

Gambar 6 menunjukkan pola penyimpangan *drift* Δs dan *drift* Δm antar tingkat terjadi pada kolom serupa pada Model 1 dan Model 2. Penyimpangan batas *drift* Δs dan *drift* Δm terjadi pada lantai 2, 3 dan 4 pada kolom 45 x 45 cm. Selain itu, pembesaran dimensi kolom tidak memberikan kontribusi pada defleksi yang terjadi pada lantai 4 keatas.

Variasi Tinggi Bangunan Terhadap Nilai KBL dan KBU

Hasil analisis menunjukkan semakin tinggi bangunan yang direncanakan maka semakin besar pula nilai *drift* Δs dan *drift* Δm antar tingkat terhadap batas *drift* Δs (KBL) dan batas *drift* Δm (KBU). Selain itu, semakin besar nilai *drift* Δs dan *drift* Δm antar tingkat menyebabkan terjadinya simpangan antar lantai dan berakibat tidak terpenuhinya KBL dan KBU. Untuk portal dengan dimensi balok 30 x 50 cm simpangan antar lantai terjadi pada bangunan 8 lantai dan 10 lantai.

Berdasarkan hasil pengamatan, variasi dimensi kolom dapat berpengaruh terhadap nilai KBL dan KBU. Kombinasi variasi tinggi bangunan dan dimensi kolom mempengaruhi nilai defleksi yang terjadi. Pada struktur 4 dan 6 lantai pola defleksi yang terjadi adalah sama, namun pembesaran dimensi kolom memberikan tingkat keamanan yang cukup tinggi terhadap batasan nilai *drift* Δs (KBL) dan batas *drift* Δm (KBU). Pada struktur 8 lantai terjadi perubahan pola untuk defleksi struktur akibat pembesaran dimensi kolom yaitu tidak adanya pengaruh pada defleksi yang terjadi untuk kolom 60 x 60, 70 x 70, dan 80 x 80 cm. Hal ini memberikan suatu kesimpulan adanya perubahan pola akibat pergerakan struktur yang dipengaruhi oleh *mode shape*.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari hasil analisis dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Semakin tinggi bangunan yang direncanakan maka semakin besar pula nilai *drift* Δs dan *drift* Δm antar tingkat terhadap batas *drift* Δs (KBL) dan batas *drift* Δm (KBU). Sedangkan pembesaran kolom memberikan pengaruh terhadap nilai *drift* antar tingkat struktur pada ketinggian struktur kurang dari 6 lantai.
2. Kombinasi dari penambahan tinggi struktur dan pembesaran dimensi kolom memberikan pola defleksi yang sama hingga struktur 6 lantai yaitu dalam batas *drift* Δs (KBL) dan *drift* Δm (KBU) dimana pola penyimpangan terjadi pada kolom langsung. Perubahan pola terjadi pada struktur 8 lantai yaitu tidak adanya kontribusi pada nilai defleksi akibat adanya pembesaran kolom yaitu pada kolom 60 cm², 70 cm², dan 80 cm².

Saran

Saran-saran yang dapat diberikan pada studi ini adalah:

1. Berdasarkan hasil analisis, dimensi balok memberikan pengaruh terhadap *drift* antar tingkat struktur. Untuk itu perlu mempertimbangkan faktor dimensi balok pada struktur diatas 6 lantai.
2. Struktur diatas 8 lantai memiliki perilaku berbeda untuk *drift* antar tingkat sehingga perlu mempertimbangkan perilaku struktur akibat *mode shape*.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk variasi tinggi bangunan yang berbeda dan pengaruh variasi dimensi balok.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perbandingan analisis statik terhadap analisis dinamik atau 3 dimensi terhadap perilaku *drift* struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Alami, F., 2004, "Experimental and Numerical Study of Prediction of Linear Buckling Load from Frequency Measurement", Jurnal SIGMA, Jurnal Sains dan Teknologi Vol.7 No.1 Januari 2004, ISSN 1410-5888, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-1726-2002.
- Badan Standardisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2002.

- Budiono, B. dan Wibowo, F., 2008, "*Analisis Kapasitas Struktur dengan Incremental Dynamic Analysis (IDA) & Pendekatan Modal Pushover Analysis (MPA) Struktur Beton Bertulang*", Seminar dan Pameran HAKI 2008.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1983, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG)*, Jakarta.
- Dewobroto, W., 2007, *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP 2000*, Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Dewobroto, W. dan Besari, S., 2006, "*Simulasi Numerik Berbasis Komputer Sebagai Solusi Pencegah Bahaya Akibat Kegagalan Bangunan*", Seminar Nasional "Kegagalan Bangunan, Solusi dan Pencegahan", Kampus UPH, Jakarta.
- Pranata, A.Y., 2006, "*Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440)*", Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3, No. 1, Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
- Purwono, Rachmat et all, 2007, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI-03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)*, ITS Press, Surabaya.
- Purwono, R. dan Tavio, 2007, "*Evaluasi Cepat Sistem Rangka Pemkul Momen Tahan Gempa*", Seminar dan Pameran HAKI 2007 "Konstruksi Tahan Gempa di Indonesia", ITS press, Surabaya.
- T. Pauley and M.J.N. Priestley, 1992, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons.
- Villaverde, R., 2007, "*Methods to Assess the Seismic Collapse Capacity of Building Structures: State of the Art*", Journal of Structural Engineering (ASCE), 133:1(57), 0733-9445.