

EFEK *SOFT STOREY* PADA RESPON DINAMIK STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG TINGKAT TINGGI (199S)

Antonius¹ dan Aref Widhianto²

¹Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung - Jl. Raya Kaligawe Km.4, Semarang

Email : antoni67a@yahoo.com

² Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro dan Asisten Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung - Jl. Raya Kaligawe Km.4, Semarang

Email: aref_wdh@yahoo.co.id

ABSTRAK

Di dalam desain struktur gedung tahan gempa, kolom *soft storey* dianjurkan agar dihindari karena pada dasarnya akan menimbulkan tekukan yang besar dan perubahan kekakuan yang cukup drastis. Paper ini membahas pengaruh *soft storey* pada bangunan tingkat tinggi, dengan membandingkan struktur gedung yang didesain dengan *soft storey* dan struktur gedung tanpa *soft storey*. Kedua struktur gedung yang ditinjau mempunyai ketinggian total 60 meter, dimana dalam arah memanjang adalah 45 meter dan lebar 12,5 meter dan jumlah lantai gedung adalah 20. Material yang digunakan untuk struktur atas adalah beton bertulang dengan menggunakan standar utama perencanaan yaitu SNI 03-2847-2002 dan standar perencanaan terhadap gempa adalah kombinasi antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726-2012. Struktur gedung terletak di zona gempa 3 dan prinsip desain adalah menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang juga dipasang dinding geser di beberapa bagian, sehingga dalam desain struktur adalah tingkat daktilitas penuh dengan beberapa pendetailan pada elemen struktur. Analisis dinamik dilakukan berdasarkan ragam respon spektrum, dimana digunakan metoda Modal Analisis untuk menentukan respon struktur antar tingkat. Hasil analisis menunjukkan bahwa efek *soft storey* sangat berpengaruh pada perilaku deformasi struktur dan kekakuan. Hasil analisis *push-over* yang dilakukan juga menunjukkan bahwa sendi plastis pada struktur gedung dengan *soft storey* terjadi pada beban yang lebih rendah dibandingkan dengan gedung tanpa *soft storey*.

Kata-kata kunci: *soft storey*, gaya gempa, mode shape (modus getar), sendi plastis

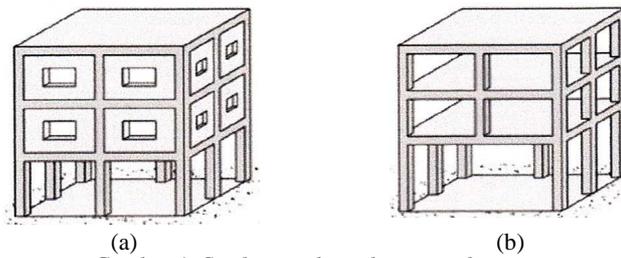
1. PENDAHULUAN

Kejadian gempa yang terjadi dalam beberapa tahun terakhir yang melanda beberapa daerah di Indonesia, telah menyebabkan kerusakan sarana dan prasarana dan korban jiwa yang tidak sedikit pada daerah yang dilanda gempa tersebut. Beberapa kerusakan pada bangunan sederhana maupun kompleks di daerah yang terkena gempa tersebut pada umumnya disebabkan oleh belum diterapkannya kaidah-kaidah perencanaan maupun pelaksanaan struktur bangunan tahan gempa (Imran dkk. 2006). Demikian pula kejadian gempa di luar negeri, seperti misal gempa di Nepal pada tahun 2011, kerusakan maupun keruntuhan bangunan akibat gempa lebih banyak disebabkan oleh pemilihan sistem struktur yang sedemikian rupa sehingga tidak mampu mendisipasi energi getaran akibat gempa dengan baik (Shakya dkk. 2013).

Imran dan Hendrik (2010) secara umum menjelaskan prosedur perencanaan berdasarkan SNI Gempa, bahwa struktur bangunan tahan gempa pada prinsipnya boleh direncanakan terhadap beban gempa yang direduksi dengan suatu faktor modifikasi respon struktur (faktor R), yang merupakan representasi tingkat daktilitas yang dimiliki struktur. Dengan penerapan konsep ini, pada saat gempa kuat terjadi, elemen-elemen struktur bangunan tertentu yang dipilih diperbolehkan mengalami plastifikasi (kerusakan) sebagai sarana untuk pendisipasian energi gempa yang diterima struktur. Di dalam desain, elemen-elemen struktur bangunan yang diharapkan mengalami plastifikasi harus diberi detailing penulangan yang memadai agar perilakunya tetap stabil walaupun telah mengalami deformasi inelastis yang besar. Ketentuan detailing tersebut telah diatur dalam SNI Beton (SNI 03-2847-2002).

Di dalam standar perencanaan struktur gedung tahan gempa Indonesia, SNI 03-1726-2002 maupun SNI 1726-2012, salah satu definisi struktur gedung tak beraturan adalah terdapat sistem struktur tingkat lunak (*soft storey*) dalam arah vertikal. Dalam arah tersebut, sistem struktur menurut kedua standar tersebut di atas, *soft storey* didefinisikan sebagai suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

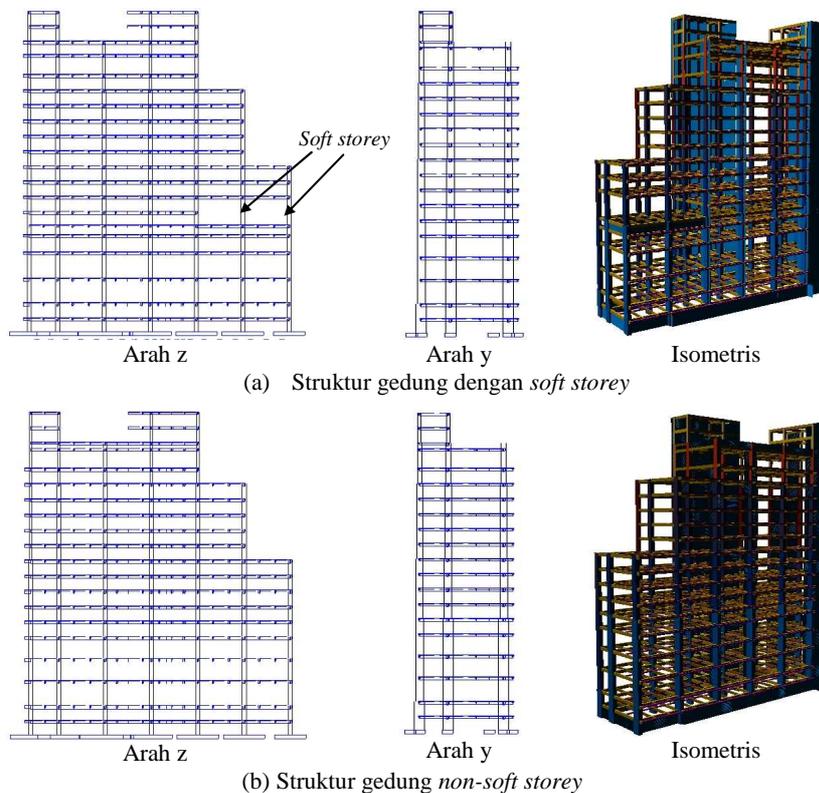
Pemilihan sistem struktur dengan *soft storey* pada dasarnya adalah konsekuensi dari sistem tata ruang ataupun dari perancangan arsitektur. Ilustrasi dari struktur gedung yang mempunyai sistem *soft storey* ditunjukkan pada Gambar 1. Pada dasarnya kolom yang mengalami *soft storey* dapat dikategorikan sebagai kolom yang menerima beban relatif kuat dari struktur di atasnya (Gambar 1a). Kategori lainnya adalah kolom yang tidak menerus (*discontinue*) dari lantai yang berurutan di atasnya (Gambar 1b). Struktur dengan *soft storey* akan memperbesar deformasi lateral dan gaya geser pada kolom (Amin & Islam 2011, Setia & Sharma 2012). Keruntuhan bangunan akibat gempa salah satunya juga dapat diakibatkan oleh pemilihan struktur *soft storey* (Arlekar et al. 1997, Dogan et al. 2002). Salah satu cara untuk meminimalisasikan efek penggunaan sistem struktur *soft storey* terhadap beban gempa adalah dengan memperkuat bagian *soft storey* tersebut yaitu dengan menambah pasangan dinding agar struktur tetap stabil (Guney & Aydin 2012). Paper ini bertujuan untuk mengetahui efek dari sistem struktur dengan *soft storey* di dalam desain bangunan tingkat tinggi. Studi perbandingan dilakukan dengan melakukan 2 desain struktur gedung dengan tinggi, berat dan dimensi yang relatif sama, yaitu sistem struktur dengan *soft storey* dan sistem *non-soft storey*.



Gambar 1. Struktur gedung dengan *soft storey*

2. PEMODELAN STRUKTUR DAN DESAIN

Struktur yang ditinjau adalah 2 buah gedung yang mempunyai ketinggian total 60 meter, dimana panjang gedung dalam arah z (arah kuat) adalah 45 meter dan lebarnya dalam arah y (arah lemah) adalah 12,5 meter. Ilustrasi gedung yang ditinjau terlihat pada Gambar 2. Jumlah lantai gedung adalah 20. Gedung yang pertama adalah gedung yang mempunyai *soft storey* pada lantai ke 6 dan 7, dimana pada lantai tersebut difungsikan sebagai kolam renang. Sebagai pembanding, dirancang gedung kedua, dimana kolam renang dipindah pada lantai paling atas sehingga tidak terjadi loncatan lantai yang berurutan dan berat total struktur relatif tidak berubah, yang selanjutnya disebut sebagai struktur gedung *non-soft storey*.



Gambar 2. Tinjauan struktur gedung dengan *soft storey* dan *non-soft storey*

2.1. Material dan pembebanan

Material yang digunakan untuk struktur atas adalah beton bertulang, dengan mutu beton K-350 ($f'_c \sim 30$ MPa) dan baja tulangan utama adalah deform mutu BJTD40. Standar utama dalam perencanaan untuk beton bertulang adalah SNI 03-2847-2002 dan standar perencanaan terhadap gempa adalah SNI 03-1726-2002, namun menggunakan Peta Gempa SNI 1726-2012. Kombinasi pembebanan mengacu kedua standar di atas. Beban layan yang bekerja terdiri dari beban mati yaitu berat sendiri balok, kolom, plat dan dinding geser (*shear wall*), dan beban mati tambahan (*superimposed*) yang terdiri dari plesteran dengan berat jenis mortar adukan sebesar 2000 kg/m^2 , plafon ($w=10 \text{ kg/m}^2$) dan mekanikal & elektrikal adalah 20 kg/m^2 . Beban hidup total pada plat lantai ditetapkan sebesar $2,5 \text{ kN/m}^2$.

Dimensi yang digunakan untuk kolom semakin ke atas semakin kecil, dimana kolom lantai 1 sampai 7 adalah 400/1000, lantai 8 sampai 15 adalah 400/800, dan kolom lantai di atasnya adalah 400/600. Hampir pada semua tingkat, balok induk yang digunakan adalah 350/750 dan balok anak 200/600. Kecuali pada basement, semua plat lantai tipikal dengan tebal 120 mm yang dianggap sebagai diafragma kaku pada sistim struktur rangka. Dinding geser pada basement dan semi-basement menggunakan tebal 400 mm, dan di atasnya menggunakan tebal 300 mm yang menerus sampai lantai paling atas.

2.2. Parameter untuk desain terhadap gempa

Besarnya Beban Gempa Rencana (V) yang terjadi di tingkat dasar dari bangunan gedung dihitung dengan persamaan :

$$V = \frac{C \cdot I}{R} W_t \quad (1)$$

Dimana C adalah nilai Faktor Respons Gempa yang didapat dari Spektrum Respon Gempa Rencana. W_t adalah berat total struktur. Selanjutnya gaya geser dasar persamaan (1) didistribusikan di sepanjang tinggi struktur yang bekerja pada pusat massa lantai ke- i , yaitu:

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V \quad (2)$$

Struktur gedung terletak di kota Semarang yang termasuk zona gempa 3 berdasarkan peta gempa SNI 1726-2012 dan didesain sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang juga dirangkai dengan dinding geser maupun spandrel di beberapa bagian. Faktor reduksi gempa (R) adalah 8,5 (Tabel 3. Pasal 4.3.6 SNI 03-1726-2002), sehingga struktur didesain dengan tingkat daktilitas penuh. Analisis dinamik dilakukan berdasarkan ragam respon spektrum, dimana digunakan metoda Modal Analisis untuk menentukan respon struktur antar tingkat. Respon struktur dihitung dengan metode SRSS (*Square Roots of the Sum of the Square of the Mode Contributions*) yaitu:

$$Y_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left\{ \phi_{ij} \Gamma_j g_{j, maks} \right\}^2} \quad (3)$$

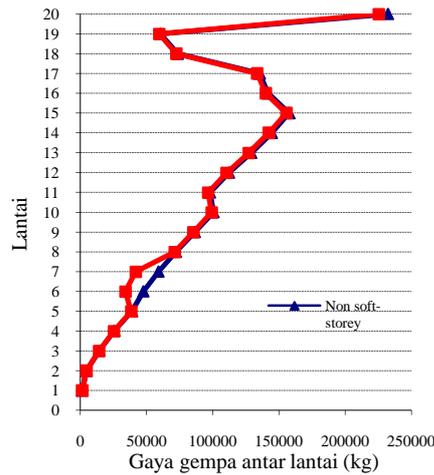
Dimana: ϕ = modal matriks
 Γ = partisipasi tiap mode

Kondisi tanah di lokasi gedung termasuk ke dalam kategori tanah lunak. Menurut SNI 03-1726-2002, untuk tanah lunak, percepatan puncak di batuan dasar adalah sebesar 0,2 g, percepatan puncak di permukaan tanah atau $A_0 = 0,34g$, $T_c = 1$ detik (untuk tanah lunak), $A_m = 2,5 A_0 = 0,9$, $A_r = A_m \times T_c = 0,9$ (Tabel 6. Pasal 4.7.6). Fungsi gedung termasuk gedung umum, maka faktor keutamaan struktur $I = 1,0$. Perbandingan panjang terhadap lebar denah bangunan dalam arah pembebanan gempa adalah $45/12,5 = 3,6 > 3$. Karena nilai perbandingan tersebut lebih besar dari 3, maka ditambahkan beban horizontal terpusat sebesar 0,1V di lantai tingkat paling atas. Di dalam paper ini analisis maupun pembahasan yang diuraikan adalah hasil analisis pada arah y (arah lemah), karena respon struktur akibat beban gempa dominan dalam arah tersebut.

3. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1. Gaya geser dasar

Hasil analisis gaya geser dasar (*base shear*) yang didistribusikan ke antar tingkat yang diterapkan pada struktur gedung arah y memperlihatkan bahwa terjadi loncatan gaya geser yang signifikan pada lantai 6 dan 7 yaitu di daerah lantai *soft storey*, dimana gaya geser lebih rendah dibandingkan gaya geser di daerah yang sama untuk struktur *non-soft storey* (Gambar 2). Pembesaran gaya gempa pada lantai 20 (*top floor*) yang terjadi pada kedua struktur gedung yang ditinjau disebabkan oleh perbandingan panjang terhadap lebar struktur gedung yang lebih dari 3, dimana konsekuensi yang terjadi adalah terjadi penambahan gaya geser dasar sebesar 10% yang ditambahkan pada lantai paling atas.

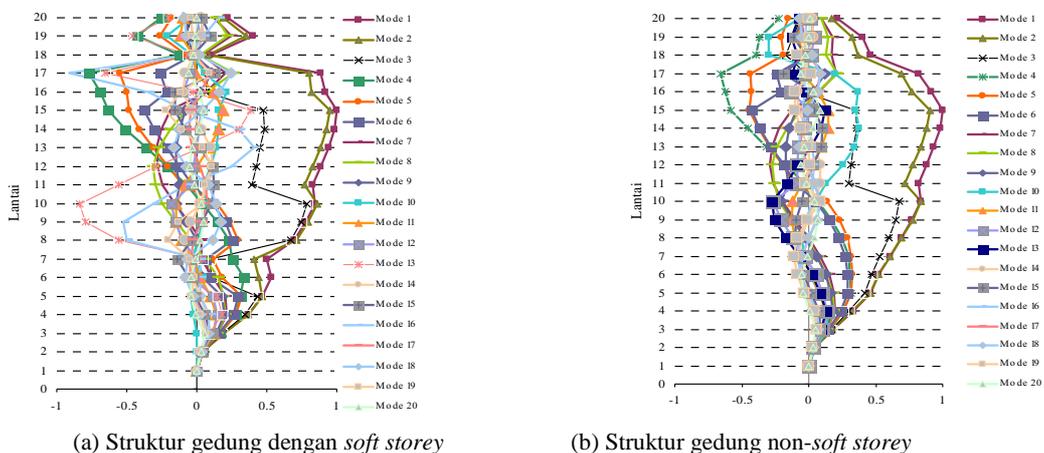


Gambar 3. Distribusi gaya gempa antar tingkat

3.2. Modus getar

Respon dinamik struktur pada kedua gedung yang ditinjau diperlihatkan melalui perilaku modus getar seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Modus getar yang terjadi pada struktur gedung dengan *soft storey* pada Gambar 4a mengindikasikan perilaku struktur menjadi tidak beraturan dimana respon bolak balik terjadi secara ekstrim pada setiap perpindahan modus getar. Hampir semua modus getar yang terjadi pada lantai 18 menunjukkan loncatan perubahan perilaku yang signifikan dari lantai tepat di bawahnya, namun gaya gempa tersebut kembali membesar pada lantai 19. Kondisi tersebut salah satunya disebabkan oleh tidak dapat bekerjanya dinding geser yang dipasang untuk meredam deformasi lateral struktur secara berlebihan akibat beban gempa. Perilaku tersebut juga berpotensi untuk memicu terjadinya torsi bangunan secara ekstrim.

Di lain pihak, modus getar pada struktur gedung *non-soft storey* pada Gambar 4b memperlihatkan perilaku yang lebih stabil dibandingkan dengan struktur gedung dengan *soft storey*. Meskipun struktur *non-soft storey* yang ditinjau adalah termasuk jenis struktur gedung yang tidak beraturan, namun perpindahan atau transisi antar modus getar relatif tidak terlalu ekstrim. Perilaku ini menunjukkan adanya distribusi gaya gempa yang diterima pada setiap struktur kolom juga lebih seragam. Demikian pula perilaku modus getar pada lantai 18 ke atas juga terlihat relatif *smooth* dibandingkan perilaku gedung dengan *soft storey* pada lantai yang sama.



(a) Struktur gedung dengan *soft storey*

(b) Struktur gedung *non-soft storey*

Gambar 4. Modus getar struktur gedung

3.3. Analisis Push Over

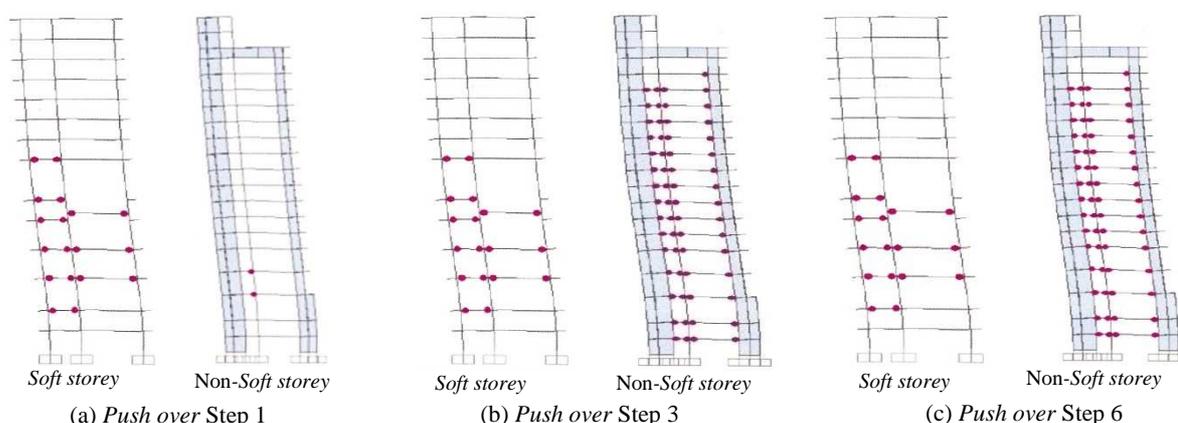
Selanjutnya dilakukan analisis *push over* pada kedua gedung yang ditinjau, dimana dalam analisis pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya sendi plastis pertama di dalam struktur gedung. Kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut struktur mengalami perubahan bentuk menjadi elasto-plastis yang besar sampai mencapai kondisi di ambang keruntuhan.

Hasil analisis *push over* terlihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel tersebut, sistem struktur gedung dengan *soft storey* hanya memerlukan 6 step peningkatan beban hingga mencapai ambang keruntuhan. Berbeda dengan gedung dengan *soft storey* tersebut, pada struktur gedung *non-soft storey*, sifat elasto-plastik maksimum baru dicapai setelah dicapai 8 step pembebanan. Hampir di setiap step pembebanan pada kedua gedung yang ditinjau, gaya geser dasar (*base force*) pada gedung *non-soft storey* mempunyai nilai yang lebih besar, sehingga dapat diartikan bahwa struktur gedung *non-soft storey* mempunyai kapasitas terhadap beban gempa yang lebih tinggi. Selain hal tersebut, perbandingan perilaku kedua gedung berdasarkan analisis *push over* menunjukkan bahwa sistem struktur dengan *soft storey* lebih cepat mengalami keruntuhan dibandingkan dengan struktur *non-soft storey* apabila diberi inkrementasi beban gempa yang sama.

Tabel 1. Hasil analisis *push-over*

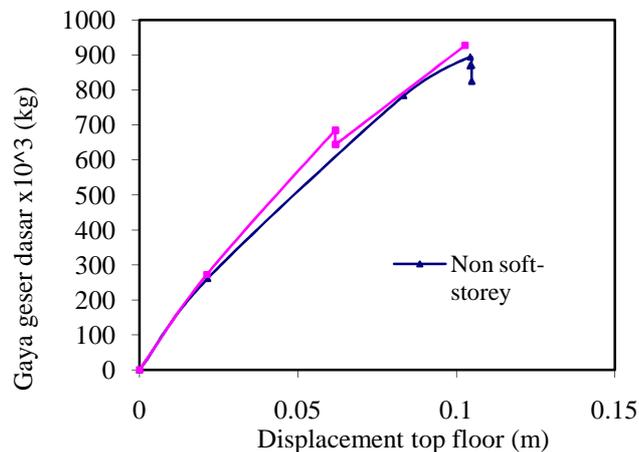
a. Struktur gedung dengan <i>soft storey</i>				b. Struktur gedung <i>non-soft storey</i>			
Step	Displacement m	Base Force Kgf	A to B	Step	Displacement m	Base Force Kgf	A to B
0	0	0	13720	0	0	0	7112
1	0.021219	272458.14	13718	1	0.021516	261293.28	7110
2	0.06181	685654	13545	2	0.083429	783819.98	6846
3	0.06181	683001.2	13545	3	0.104374	894495.91	6753
4	0.06181	643686.19	13544	4	0.104374	869837.41	6752
5	0.061888	644015.84	13544	5	0.104406	868682.53	6752
6	0.102705	927300.94	13366	6	0.104796	870293.18	6751
				7	0.104799	825061.93	6749
				8	0.104895	824423.83	6748

Lebih lanjut analisis *push over* juga menghasilkan terjadinya sendi plastis di beberapa lokasi seperti diperlihatkan pada Gambar 5, dimana akan dijelaskan hasil analisis untuk pembebanan pada step 1, 3 dan 6. Hasil analisis *push over* step 1 menunjukkan bahwa sendi plastis lebih cepat dan lebih banyak terjadi pada struktur dengan *soft storey* (Gambar 5a). Pada step 3 dan step 6, sendi plastis yang terjadi pada struktur dengan *soft storey* tidak mengalami penambahan atau telah mencapai kondisi maksimum, dimana hal ini ditandai dengan jumlah sendi plastis yang jauh lebih banyak dibandingkan dengan struktur *non-soft storey* (lihat Tabel 1). Gambar 5b dan 5c memperlihatkan penambahan jumlah sendi plastis pada step 3 dan step 6 yang terjadi pada struktur gedung *non-soft storey*, namun dengan gaya geser dasar yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa pada struktur gedung *non-soft storey* memerlukan beban yang lebih tinggi untuk mencapai pelelehan pada elemen struktur secara signifikan.



Gambar 5. Lokasi sendi plastis

Hasil analisis *push over* lainnya adalah hubungan antara gaya geser dasar terhadap perpindahan pada lantai atas (top floor) yang ditunjukkan pada Gambar 6. Perilaku struktur gedung dengan *soft storey* menunjukkan bahwa terjadi penurunan gaya geser dasar secara tiba-tiba pada gaya sebesar 700 ton, dan hal tersebut mengindikasikan degradasi kekakuan meskipun struktur belum mengalami keruntuhan. Namun demikian, kemampuan deformasi struktur maksimum dihitung pada beban 700 ton tersebut. Sebaliknya perilaku gedung *non-soft storey* memperlihatkan kestabilan kurva hingga struktur mencapai keruntuhan di sekitar 900 ton, dan deformasi maksimum dapat ditentukan berdasarkan gaya geser dasar pada beban tersebut.



Gambar 6. Hubungan gaya geser dasar vs displacement gedung dengan *soft storey* dan *non-soft storey*

Selanjutnya berdasarkan Gambar 6 dan Tabel 1, dilakukan kalkulasi besarnya daktilitas yang terjadi pada kedua struktur gedung yang ditinjau. Di dalam paper ini, daktilitas didefinisikan sebagai rasio antara simpangan maksimum struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama pada struktur gedung. Nilai daktilitas maksimum untuk SRPMK beton bertulang dengan dinding geser berdasarkan SNI 03-1726-2002 adalah 5.3, dan berdasarkan SNI 1726-2012 adalah 5.5. Tabel 2 berikut adalah hasil kalkulasi nilai daktilitas pada kedua struktur gedung yang ditinjau. Nilai daktilitas pada struktur gedung dengan *soft storey* ($\mu=2.9$) adalah jauh di bawah ketentuan nilai daktilitas maksimum berdasarkan kedua SNI Gempa tersebut. Nilai daktilitas struktur gedung *non-soft storey* adalah 4.9, dimana nilai tersebut mendekati nilai maksimum yang ditentukan di dalam SNI Gempa. Untuk mencapai nilai daktilitas maksimum seperti ketentuan SNI Gempa tersebut, pada struktur gedung *non-soft storey*, salah satunya adalah memperkecil dimensi kolom di beberapa lokasi elemen struktur.

Tabel 2. Kalkulasi daktilitas struktur gedung

Struktur gedung	Simpangan pada leleh pertama (m)	Simpangan maksimum (m)	Daktilitas (μ)
<i>Soft storey</i>	0.06181	0.021219	2.9
<i>Non-soft storey</i>	0.104895	0.021516	4.9

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan uraian hasil analisis yang telah dilakukan di atas, maka disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem struktur dengan *soft storey* cenderung menimbulkan perubahan gaya geser secara tiba-tiba pada kolom *soft storey*, dan hal tersebut memicu lebih cepatnya deformasi struktur secara keseluruhan.
2. Modus getar sistem struktur dengan *soft storey* mempunyai tingkat ketidakaturan yang cukup tinggi dan perubahan modus getar antar lantai yang ekstrim dibandingkan dengan struktur *non-soft storey*. Perilaku ini dapat menimbulkan torsi yang berlebihan dan mempercepat penurunan kekakuan pada struktur dengan *soft storey*.
3. Sendi plastis yang timbul pada sistem struktur dengan *soft storey* lebih cepat terjadi dibandingkan dengan struktur gedung *non-soft storey* pada step pertama. Namun demikian relatif tidak terjadi penambahan sendi plastis pada step selanjutnya, dan kapasitas gaya geser dasar juga lebih rendah dibandingkan struktur *non-soft storey*.

4. Daktilitas sistim struktur dengan *soft storey* jauh di bawah struktur *non-soft storey* dan nilai daktilitas maksimum berdasarkan SNI Gempa. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem struktur dan dimensi yang digunakan kurang efektif untuk menghasilkan perilaku struktur yang optimal berdasarkan SNI Gempa.

Saran

1. Perlu evaluasi dan desain secara lebih teliti dan cermat dalam desain struktur gedung dengan *soft storey* yang berada di zona gempa sedang atau bahkan yang berada di zona gempa kuat, mengingat respon dinamik struktur tersebut yang cenderung menurunkan kekakuan dan daktilitas dibandingkan dengan struktur *non-soft storey*. Selain itu juga harus diperhatikan simpangan antar tingkat dan modus getar agar tidak menimbulkan torsi bangunan yang berlebihan.
2. penelitian ini dapat dilanjutkan dengan melakukan analisis struktur gedung dengan *soft storey* yang diperkuat, misalnya dengan menambah peredam sehingga dapat menambah daktilitas secara signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arlekar, JN; Jain, SK and Murty, CVR (1997). *Seismic response of rc frame buildings with soft first storeys*, Proceedings of the CBRI Golden Jubilee Conf. On Natural Hazards in Urban Habitat, New Delhi.
- Badan Standardisasi Nasional (2012). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung*, SNI 1726-2012.
- Badan Standardisasi Nasional (2002). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk gedung*, SNI 03-1726-2012.
- Badan Standardisasi Nasional (2002). *Tata cara perhitungan struktur beton untuk gedung*, SNI 03-2847-2002.
- Dogan, M; Kirac, N and Gonen, H. (2002). "Soft storey behaviour in an earthquake and samples of Izmit-Duzce", *ECAS 2002*, Ankara, Turkey, 42-49.
- Guney, D and Aydin, E (2012). "The nonlinear effect of infill walls stiffness to prevent soft storey collapse of rc structures", *The Open Construction and Building Technology Journal*, 6 (Suppl 1-M5), 74-80.
- Imran I, Suarjana M, Hoedajanto D, Soemardi B, and Abduh M. (2006). "Beberapa pelajaran dari gempa Yogyakarta: studi kinerja gedung", *Jurnal HAKI*, Vol. 7, 1-13.
- Imran, I. dan Hendrik, F. (2010). *Perencanaan struktur gedung beton bertulang tahan gempa*. Penerbit ITB.
- Setia, S and Sharma, V (2012). "Seismic response of rc buildings with soft storey", *International Journal of Applied Eng. Research*, Vo.7(11).
- Shakya, K., Pant, D.R., Maharjan, M., Bhagat, S., Wijeyewickrema, A.C. and Maskey, P.N. (2013), "Lessons learned from performance of buildings during the September 18, 2011 earthquake in Nepal", *Asian Journal of Civil Engineering*, Vol. 14(5), 719-733.