

STUDI PARAMETRIK KEKAKUAN, DAKTILITAS DAN KINERJA STRUKTUR SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN (SRPM) AKIBAT PENGARUH SETBACK DAN DINDING PASANGAN BATA

Rizki Efrida¹⁾, Johannes Tarigan²⁾, Ade Faisal^{2,3)}

¹⁾Alumni Program Studi Magister Teknik Sipil USU

²⁾Staf Pengajar Program Studi Magister Teknik Sipil USU

³⁾Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Abstrak

Ilmu pengetahuan dan penerapan teknologi dalam bidang pembangunan konstruksi teknik sipil mengalami perkembangan yang pesat dengan berkembangnya zaman sehingga menuntut kita untuk lebih kreatif terutama dalam hal perancangan struktur. Di Indonesia, tantangan yang dihadapi dalam konstruksi gedung bertingkat adalah adanya resiko akibat gempa. Salah satu metode untuk menganalisis beban gempa adalah analisis *pushover*. Analisis *pushover* merupakan prosedur analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa. Penelitian dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh setback dan dinding bata terhadap struktur ditinjau dari kekakuan, daktilitas dan kinerja berdasarkan hasil kurva kapasitas *pushover*. Struktur bangunan dimodelkan sebagai portal 2 dimensi yang terdiri dari 2 model yaitu SRPM terbuka dan SRPM berdinding, dan di setiap model terdiri dari 4 buah gedung yaitu rangka penuh, setback1, setback2, dan setback 3. Hasil analisis dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kontribusi dinding pengisi yang terbuat dari dinding bata mempengaruhi kekakuan lateral struktur, serta dengan dikurangnya setback pada struktur bangunan mengakibatkan nilai kekakuan semakin kecil sehingga nilai daktilitas semakin besar. Nilai kekakuan elastis, kekakuan dinding pasca elastis dan kekakuan pasca elastis yang terbesar ada pada model SRPM berdinding dan yang memiliki nilai terkecil ada pada model SRPM terbuka. Nilai daktilitas pada model SRPM terbuka terbesar 18.22 di struktur setback3 pada zona gempa 4. Pada model SRPM berdinding nilai terbesarnya 15.58 di struktur setback3 pada zona gempa 4. Secara keseluruhan model SRPM terbuka strukturnya masih berada dalam kondisi baik atau aman saat terjadi gempa sedang yaitu zona gempa 4.

Kata Kunci: SRPM terbuka, SRPM berdinding, dinding pengisi, setback, analisis *pushover*, kekakuan, daktilitas.

1. Pendahuluan

Ilmu pengetahuan dan penerapan teknologi dalam bidang pembangunan konstruksi teknik sipil mengalami perkembangan yang pesat dengan berkembangnya zaman sehingga menuntut kita untuk lebih kreatif terutama dalam hal perancangan struktur. Berbagai model bangunan dapat dijumpai, mulai dari bangunan yang sederhana hingga bangunan dengan geometrik yang rumit. Dari berbagai macam geometrik bangunan tersebut kita dapat membagi kategori bangunan menjadi 2 kategori, yaitu: bangunan beraturan dan bangunan tidak beraturan. Adapun bentuk bangunan tidak beraturan yaitu, bangunan setback dan bangunan tingkat lunak (*soft storey*).

Bata merah merupakan salah satu material yang sering digunakan sebagai dinding pengisi pada bangunan dan bata merah memiliki harga yang ekonomis, mudah didapat dan tahan terhadap cuaca.

Dinding pengisi pada umumnya hanya diperhitungkan sebagai beban yang disalurkan ke struktur sehingga mengakibatkan pengaruh kekuatan dan kekakuan dinding pengisi tidak diperhitungkan dalam perencanaan bangunan. Dinding pengisi memberikan sumbangan kekakuan yang cukup berarti pada struktur bangunan terutama saat menahan gaya lateral seperti gempa.

Terlepas dari berbagai bentuk bangunan yang tidak beraturan dan permasalahan gempa yang terjadi, maka tugas utama dari para ahli untuk menciptakan suatu tatanan baru mengenai perancangan bangunan tahan gempa yang lebih baik lagi. Hal tersebut tentunya tidak hanya bertujuan untuk menciptakan struktur bangunan yang lebih kuat dan tahan gempa, tetapi juga bertujuan untuk memberikan keamanan dan kenyamanan bagi setiap orang yang ada dan tinggal di dalam bangunan tersebut. Salah satu metode analisis untuk gedung bertingkat terhadap pengaruh gempa adalah dengan analisis *pushover*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh setback dan dinding bata terhadap struktur ditinjau dari kekakuan berdasarkan hasil kurva kapasitas *pushover*, seberapa besar pengaruh setback dan dinding bata terhadap struktur ditinjau dari daktilitas berdasarkan hasil kurva kapasitas *pushover* dan membandingkan kinerja struktur di setiap pemodelan struktur.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Bangunan Setback

Struktur bangunan setback adalah bangunan apabila bagian atas bangunan yang bersangkutan menjorok kedalam. Bangunan setback baik dalam satu arah maupun dua arah merupakan termasuk dalam bangunan

ireguler, karena pusat massa tidak berimpit secara vertikal. Massa dan kekakuan baik ke arah horizontal maupun ke arah vertikal tidak terdistribusi secara merata.

2.2 Dinding Pengisi

Dinding pengisi yang digunakan dalam penelitian ini berupa dinding bata merah, karena banyak digunakan pada bangunan-bangunan di wilayah negara Indonesia. Hal ini dikarenakan bata merah memiliki harga yang ekonomis, mudah didapat dan tahan terhadap cuaca.

Dinding pengisi bata biasa digunakan pada struktur bangunan beton bertulang ataupun struktur bangunan baja. Dinding dapat menutupi tembok bangunan secara keseluruhan dan ada juga yang memiliki bukaan untuk pintu dan jendela. Namun dalam perencanaan struktur bangunan, dinding pengisi hanya diperlukan sebagai sekat atau partisi tanpa fungsi struktural. Padahal apabila terjadi gempa dinding pengisi dapat mempengaruhi kekakuan dan kekuatan struktur yang efeknya kadang tidak menguntungkan pada struktur tersebut sehingga dapat menimbulkan kerusakan (Dewobroto, 2005).

2.3 Metoda Perencanaan Umum

2.3.1 Metoda Dasar

Portal-isi tunggal yang dibebani secara diagonal sampai tahap puncak ternyata tidak mengalami mekanisme keruntuhan plastis, tetapi hanya mengalami lentur yang besarnya tidak terlalu signifikan yaitu pada sudut yang tidak dibebani. Selanjutnya diketahui bahwa perilaku portal-isi yang terdiri dari panel ganda hampir sama dan disimpulkan bahwa perilaku portal-isi dengan panel tunggal sama dengan perilaku portal-isi dengan banyak panel seperti yang terdapat pada gedung bertingkat. Konklusi yang dapat diambil bahwa apabila properti mekanik dinding pengisi diperoleh maka selanjutnya dapat dimodelkan sebagai batang diagonal tekan pengganti dan dianalisis seperti struktur rangka umumnya.

2.3.2 Diagonal Tekan Ekuivalen

Diakitkan dengan struktur portal bertingkat dengan dinding pengisi, M_j dapat dihilangkan dari Pers. (2.13), sehingga daya dukung horizontal dari portal isi adalah

$$H = \sigma_c t (1 - \alpha_c) \alpha_c h + \tau_b t \alpha_b l + \left(\frac{2M_{pj}}{h} \right) \quad (2.1)$$

Term ke-1 dan ke-2 adalah tahanan dinding pengisi, lalu term ke-3 adalah tahanan portal yang dibebani sampai kondisi batas. Dengan demikian bagian dinding pengisi dapat digantikan dengan tahanan penopang ekuivalen sebagai berikut:

$$H = R \cos \theta + \left(\frac{2M_{pj}}{h} \right) \quad (2.2)$$

Sedangkan R tergantung dari tiga macam keruntuhan yang terjadi dan dipilih yang paling kecil (menentukan).

a. Keruntuhan Sudut / Ujung Diagonal (CC = *Corner Crushing*)

Mode keruntuhan sudut atau ujung diagonal (CC = *corner crushing*) maka tahanan diagonal dapat dihitung dari:

$$R = R_{CC} = \frac{(1 - \alpha_c) \alpha_c t h \sigma_c + \alpha_b t l \tau_b}{\cos \theta} \quad (2.3)$$

b. Keruntuhan Tekan Diagonal (DC = *Diagonal Compression*)

Dinding pengisi yang langsing dapat mengalami keruntuhan tekan diagonal ditengah panel. Kehancuran tersebut akibat ketidak-stabilan dinding pengisi akibat timbulnya diagonal tekan yang besarnya dapat dihitung dari:

$$R = R_{DC} = \frac{0.5 h' t f_a}{\cos \theta} \quad (2.4)$$

Kuat tekan aktual dinding masonri tergantung dari arah tegangan tetapi pendekatan dengan kuat prisma f'_m dari ACI 530-88 dapat digunakan sehingga

$$f_a = f_c \left[1 - \left(\frac{l_{eff}}{40t} \right)^2 \right], \text{ dimana } f_c = 0.6 \phi \cdot f'_m \text{ dengan } \phi = 0.65 \quad (2.5)$$

Panjang efektif pita diagonal tergantung dari panjang bidang kontak dan geometri panel pengisi dan secara konservatif dapat diambil sebagai berikut:

$$l_{eff} = \sqrt{(1 - \alpha_c)^2 h'^2 + l'^2} \quad (2.6)$$

c. **Keruntuhan Geser (S = Shear)**

Dinding pengisi dari masonri dapat mengalami retak horizontal sepanjang panel akibat gaya geser yang berlebihan. Gaya geser horizontal total yang menyebabkan keruntuhan (S) dapat dihitung sebagai berikut:

$$H_s = \frac{\gamma v l'}{1 - 0.45 \tan \theta'} < 0.83 \gamma l' \quad (2.7)$$

Gaya diagonal tekan yang berkesesuaian dengan gaya horizontal tersebut adalah

$$R = R_s = \frac{\gamma v l'}{(1 - 0.45 \tan \theta') \tan \theta} < \frac{0.83 \gamma l'}{\cos \theta} \quad (2.8)$$

Dimana v diambil 0.25 MPa dan 0.41 MPa masing-masing untuk dinding masonri tanpa grouting dan dengan grouting, sedangkan $\tan \theta' = (a - \alpha_c) h' / l'$

2.4 Diagonal Tekan Ekuivalen (Equivalent Diagonal Strut) Berdasarkan FEMA 273

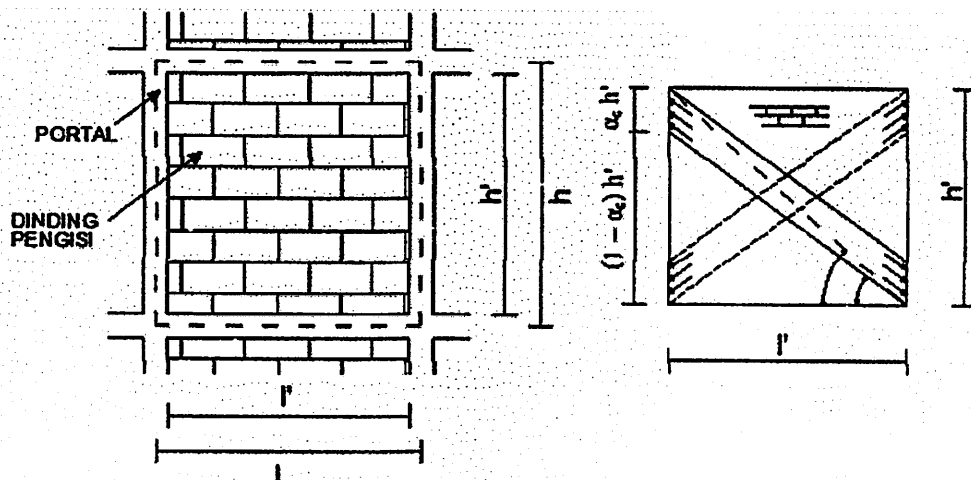
Lebar efektif *diagonal compression strut* yang digunakan untuk menganalisis kekuatan dan kekakuan dinding pengisi bata berdasarkan model FEMA 273 dapat dihitung dengan rumus:

$$a = 0.175 (\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad (2.9)$$

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{14 E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.10)$$

dimana:

- h_{col} = tinggi kolom diantara as-balok
- h_{inf} = tinggi dinding portal
- E_{fe} = modulus elastisitas material portal
- E_{me} = modulus elastisitas material dinding pengisi
- I_{col} = inersia penampang kolom
- L_{inf} = panjang dinding pengisi
- r_{inf} = panjang diagonal dinding pengisi
- t_{inf} = tebal dinding pengisi
- θ = sudut yang dibentuk antara tinggi dan panjang dinding pengisi
- λ_1 = koefisien yang digunakan untuk menentukan lebar efektif *strut*
- a = lebar efektif *strut*

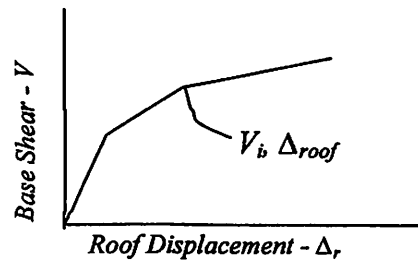


Gambar 2.1 a) Portal isi; b) Penopang diagonal bolak-blik (Saneinejad dan Hobbs,1995)

2.5 Prosedur Perhitungan Analisa Pushover

Analisa statik nonlinier merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan dan kapasitas dari suatu struktur secara keseluruhan, mulai dari kondisi elastis, plastis, hingga elemen-elemen struktur mengalami keruntuhan akibat beban gempa. Analisis ini dilakukan dengan cara memberikan pola beban lateral statik pada struktur yang nilainya terus ditingkatkan secara bertahap hingga mencapai target perpindahan

(displacement) dari suatu titik acuan. Pada analisis ini yang menjadi titik acuan adalah titik pada lantai atap dan besarnya deformasi maksimum yang boleh terjadi pada struktur ditetapkan terlebih dahulu oleh perencana.



Kurva kapasitas pushover

Δ_{roof} : simpangan atap

V_b : gaya geser dasar

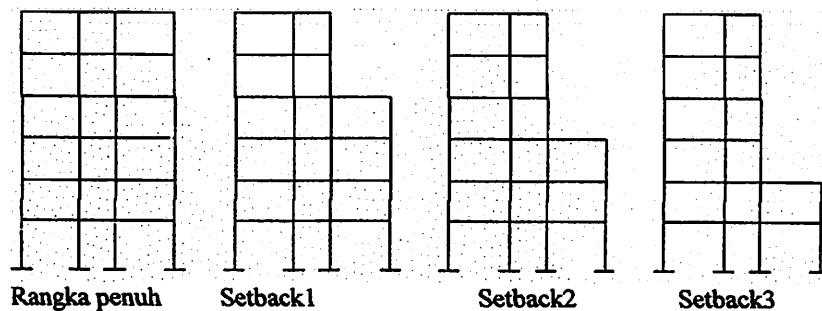
W : berat total

Gambar 2.3 Kurva kapasitas

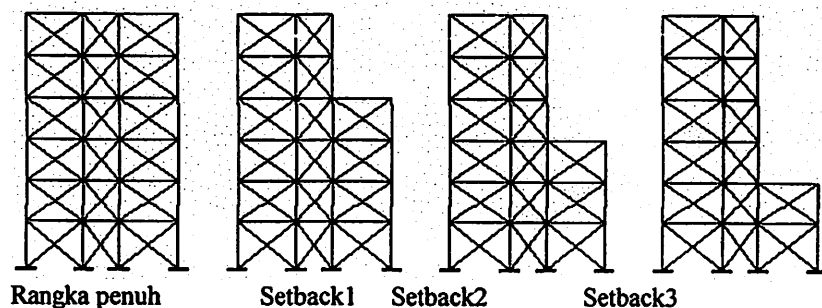
Dari kurva *pushover* dapat ditentukan parameter daktilitas, kekakuan, dan kekuatan. Parameter tersebut mencerminkan perilaku struktur akibat beban lateral (gempa) yang terjadi pada struktur.

3. Metodologi

Pada penelitian ini semua model struktur terdiri dari 6 lantai dan 3 bentang termasuk struktur rangka penuh, setback1, setback2 dan setback3 (Gambar 3.1 dan Gambar 3.2). Tinggi pada lantai pertama 4 m untuk semua model, sedangkan pada lantai yang lain 3.5 m. Masing-masing panjang bentang 5 m kecuali dibagian tengah 3 m. Perletakan diasumsikan jepit. Struktur diasumsikan terletak di atas tanah sedang dan berada di zona gempa sedang atau zona 4. Peruntukan bangunan diasumsikan sebagai perhotelan. Untuk *preliminary design* ditetapkan dimensi balok 40x60 cm, kolom 60x60 cm, dan tebal plat lantai/atap 12 cm.



Gambar 3.1 Pemodelan struktur SRPM terbuka

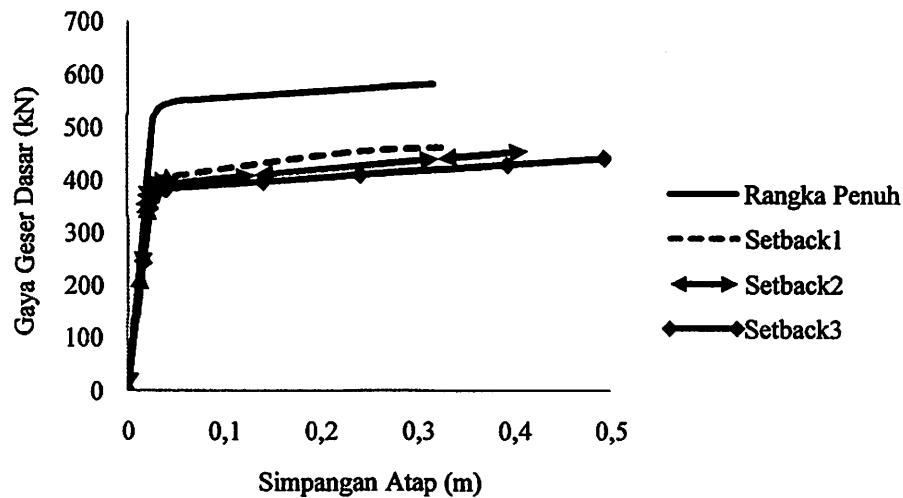


Gambar 3.2 Pemodelan struktur SRPM berdinding

4. Evaluasi Hasil

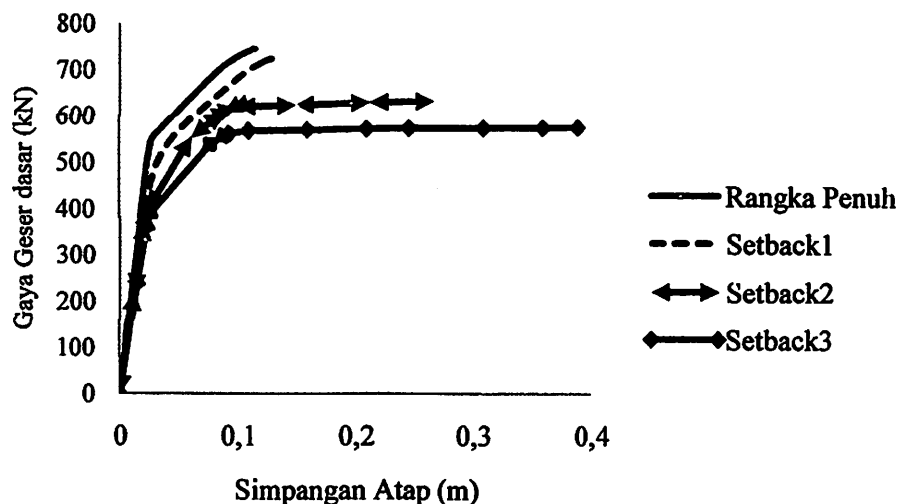
4.1 Hasil Analisis Kurva Kapasitas ATC-40

Berikut ini akan diuraikan beberapa kurva kapasitas dari hubungan antara struktur SRPM terbuka dan SRPM berdinding seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



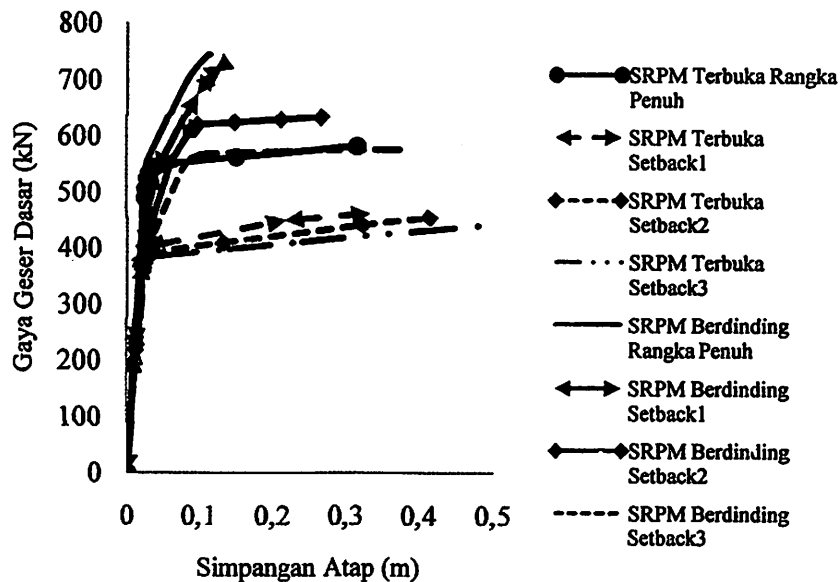
Gambar 4.1 Perbandingan kurva kapasitas SRPM terbuka

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa struktur rangka penuh memiliki kapasitas terbesar dalam menerima beban gempa dibandingkan struktur setback1, setback2, dan setback3, namun memiliki kemampuan berdeformasi pasca leleh lebih kecil dibanding struktur setback3. Struktur setback 3 memiliki kemampuan berdeformasi terbesar diantara struktur yang lain, namun dalam menerima beban gempa memiliki kapasitas struktur yang kecil. Struktur setback2 memiliki kapasitas yang lebih besar dalam menerima beban gempa dibandingkan struktur setback3 namun lebih kecil dibandingkan struktur setback1. Sifat daktail dari perilaku struktur SRPM dimana struktur akan cenderung berdeformasi lebih besar seiring dengan penurunan kapasitas kekuatan dalam menahan gaya lateral.



Gambar 4.2 Perbandingan kurva kapasitas SRPM berdinding

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa struktur rangka penuh memiliki kapasitas terbesar dalam menerima beban gempa dibandingkan struktur setback1, setback2, dan setback3, namun struktur rangka penuh memiliki kemampuan berdeformasi pasca leleh lebih kecil dibandingkan dengan setback3. Struktur setback3 memiliki kemampuan berdeformasi terbesar diantara struktur yang lain dan lebih kecil dalam menerima beban gempa. Kapasitas struktur setback2 dalam menerima beban gempa lebih besar dibandingkan struktur setback3 namun lebih kecil dibandingkan setback1. Sifat daktail dari perilaku struktur SRPM dimana struktur akan cenderung berdeformasi lebih besar seiring dengan penurunan kapasitas kekuatan dalam menahan gaya lateral.

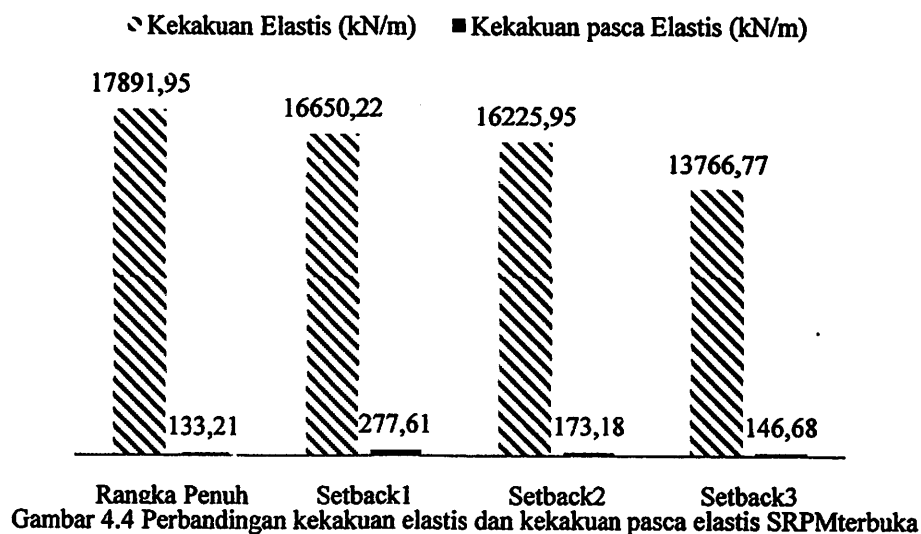


Gambar 4.3 Perbandingan kurva kapasitas dua model SRPM

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa dari kedua model struktur bangunan yang memiliki kapasitas terbesar dalam menerima beban gempa atau gaya lateral ada pada SRPM berdinding. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh dinding bata pada SRPM berdinding yang menyebabkan struktur bangunan menjadi lebih kaku sehingga lebih besar dalam menerima gaya lateral dan berdeformasi lebih kecil.

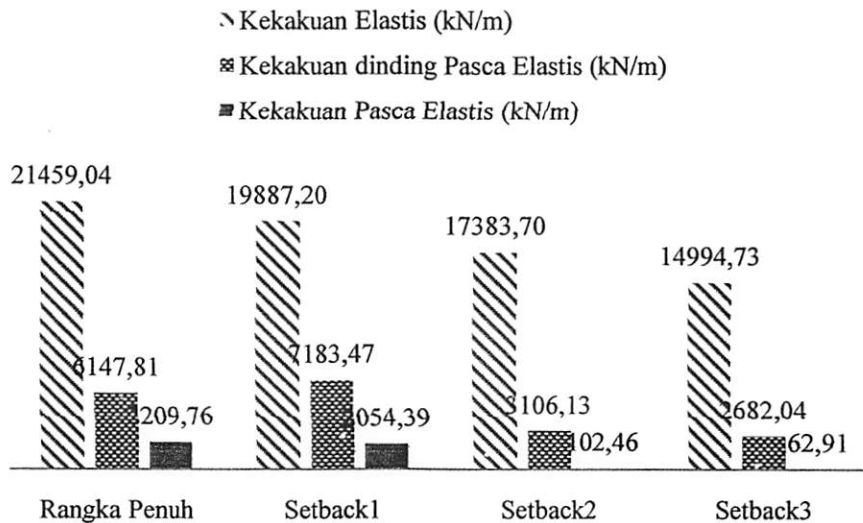
4.2 Kekakuan

Berikut ini grafik perbandingan kekakuan elastis, kekakuan dinding pasca elastis dan kekakuan pasca elastis. Kekakuan elastis dihitung berdasarkan gaya geser dasar yang menyebabkan leleh pertama pada elemen struktur dengan perpindahan atap saat terjadi leleh pertama pada elemen struktur.



Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dianalisis bahwa:

- Struktur rangka penuh memiliki kekakuan elastis lebih besar dibandingkan struktur setback1, setback 2 dan setback3.
- Persentase terbesar perbedaan kekakuan elastis struktur setback3 adalah mencapai 23.06% lebih kecil terhadap struktur rangka penuh.
- Struktur rangka penuh memiliki kekakuan pasca elastis lebih kecil dibandingkan struktur setback1, setback2 dan setback3.
- Persentase terbesar perbedaan kekakuan pasca elastis struktur setback1 adalah mencapai 60.42% lebih besar terhadap struktur rangka penuh.



Gambar 4.5 Perbandingan kekakuan elastis, kekakuan dinding pasca elastis dan kekakuan pasca elastis SRPM berdinding

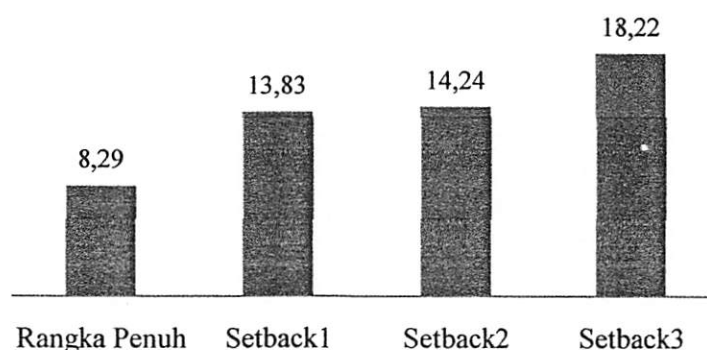
Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dianalisis bahwa:

- Struktur rangka penuh memiliki kekakuan elastis lebih besar dibandingkan struktur setback1, setback 2 dan setback3.
- Persentase terbesar perbedaan kekakuan elastis struktur setback3 adalah mencapai 30.12% lebih kecil terhadap struktur rangka penuh.
- Struktur setback1 memiliki kekakuan dinding pasca elastis lebih besar dibandingkan struktur rangka penuh, setback2 dan setback3.
- Persentase terbesar perbedaan kekakuan dinding pasca elastis struktur setback3 adalah mencapai 56.37% lebih kecil terhadap struktur rangka penuh.
- Struktur rangka penuh memiliki kekakuan pasca elastis lebih besar dibandingkan struktur setback1, setback 2 dan setback3.
- Persentase terbesar perbedaan kekakuan pasca elastis struktur setback3 adalah mencapai 97.15% lebih kecil terhadap struktur rangka penuh.

Dari kedua model diatas, nilai kekakuan elastis yang terbesar ada pada model SRPM berdinding dan yang memiliki nilai terkecil ada pada model SRPM terbuka. Dari analisis ini dapat diambil kesimpulan bahwa keberadaan dinding bata bisa mengakibatkan struktur menjadi lebih kaku dan menyebabkan menurunnya daktilitas struktur serta dengan semakin dikurangnya setback pada bangunan akan menghasilkan kekakuan yang turun atau kecil.

4.3 Daktilitas

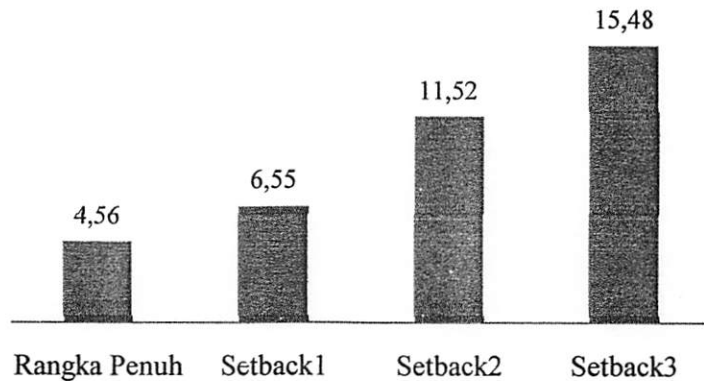
Besarnya faktor daktilitas (μ) diperoleh dari perbandingan perpindahan atap saat mencapai batas ultimit dengan perpindahan atap saat terjadi leleh pertama (sendi plastis) pada elemen struktur. Gambar berikut ini menunjukkan daktilitas struktur pada semua model untuk zona gempa 4 (gempa sedang).



Gambar 4.6 Perbandingan daktilitas struktur SRPM terbuka

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dianalisis bahwa:

- Struktur setback3 memiliki daktilitas yang lebih besar dari struktur rangka penuh, setback1, dan setback2.
- Persentase terbesar perbedaan daktilitas struktur setback3 adalah mencapai 119.82% lebih besar terhadap struktur rangka penuh.



Gambar 4.7 Perbandingan daktilitas struktur SRPM berdinding pada zona 4

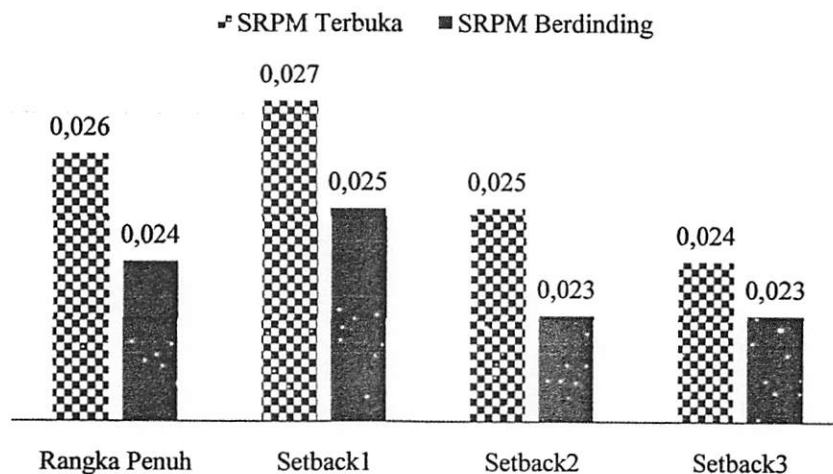
Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dianalisis bahwa:

- Struktur setback3 memiliki daktilitas yang lebih besar dari struktur rangka penuh, setback1, dan setback2.
- Persentase terbesar perbedaan daktilitas struktur setback3 adalah mencapai 239.47% lebih besar terhadap struktur rangka penuh.

Dari kedua model diatas, nilai daktilitas yang terbesar ada pada model SRPM terbuka dibandingkan model SRPM berdinding. Dari analisis ini dapat diambil kesimpulan bahwa keberadaan dinding bata bisa mengakibatkan menurunnya daktilitas struktur dan menyebabkan struktur menjadi lebih kaku serta dengan semakin dikurangnya setback pada bangunan akan menghasilkan daktilitas yang tinggi atau besar.

4.4 Simpangan Target

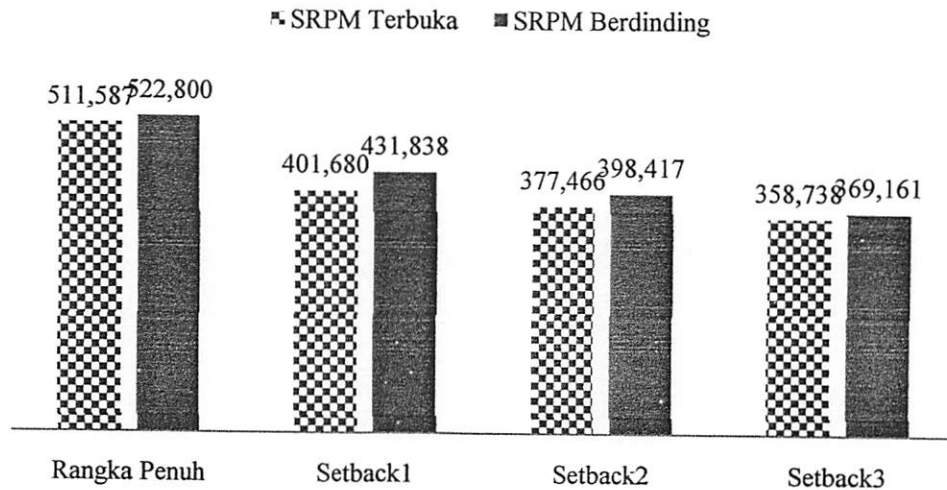
Simpangan target atau titik kinerja merupakan nilai yang diperoleh dari hasil kurva pushover yang dipengaruhi akibat adanya pembebanan yang bekerja secara lateral. Secara keseluruhan pada gempa zona 4 (sedang) model struktur SRPM terbuka nilai simpangan target lebih besar dari model struktur SRPM berdinding. Hal ini menunjukkan bahwa struktur SRPM terbuka dapat berdeformasi lebih baik dari pada struktur dengan dinding bata, seperti terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Perbandingan simpangan target

4.5 Gaya Geser Dasar

Struktur dengan dinding bata mampu menerima gaya geser dasar lebih baik daripada struktur SRPM terbuka. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya nilai gaya geser dasar pada SRPM berdinding, diikuti dengan SRPM tingkat lunak dan diakhiri pada SRPM terbuka, seperti terlihat pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24.



Gambar 4.9 Perbandingan gaya geser

Berdasarkan hasil titik kinerja menurut metoda spektrum kapasitas (ATC-40) pada saat terjadi gempa sedang (zona 4), dapat dianalisa sebagai berikut:

- a. Model SRPM terbuka pada struktur rangka penuh, setback1, setback2 dan setback3 level kinerjanya masih berada pada daerah B to IO, yang berarti bahwa struktur masih berada dalam kondisi baik.
- b. Model SRPM berdinding pada struktur rangka penuh level kinerjanya berada pada daerah LS to CP yang berarti struktur sudah mulai mengalami kerusakan kecil dan keselamatan pengguna masih terjamin saat terjadi gempa. Pada struktur setback1 berada pada daerah IO to LS yang menunjukkan struktur masih berada dalam kondisi baik. Struktur setback2 dan setback3 berada pada daerah B to IO yang berarti struktur masih dalam kondisi baik.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai Kekakuan
 - a. Kekakuan elastis
Pada model SRPM terbuka nilai kekakuan elastis terbesar 17891.95 kN/m di struktur rangka penuh dan pada model SRPM berdinding nilainya 21459.04 kN/m di struktur rangka penuh.
 - b. Kekakuan dinding pasca elastis
Pada model SRPM berdinding nilai kekakuan dinding pasca elastis terbesar 7183.47 kN/m di struktur setback1.
 - c. Kekakuan pasca elastis
Pada model SRPM terbuka nilai kekakuan pasca elastis terbesar 277.61 kN/m di struktur setback1 dan pada model SRPM berdinding nilainya 2209.76 kN/m di struktur rangka penuh.
2. Dari analisis ini dapat diambil kesimpulan bahwa keberadaan dinding bata bisa mengakibatkan struktur menjadi lebih kaku dan menyebabkan menurunnya daktilitas struktur serta dengan semakin dikurangnya setback pada bangunan struktur mengakibatkan kekakuan semakin turun atau kecil.
3. Nilai daktilitas pada model SRPM terbuka terbesar 18.22 di struktur setback3 dan pada model SRPM berdinding nilai terbesarnya 15.48 di struktur. Dari analisis ini dapat diambil kesimpulan bahwa keberadaan dinding bata bisa mengakibatkan menurunnya daktilitas struktur dan menyebabkan struktur menjadi lebih kaku serta dengan semakin dikurangnya setback pada bangunan struktur mengakibatkan daktilitas semakin naik atau besar.
4. Secara keseluruhan model SRPM terbuka strukturnya masih berada dalam kondisi baik atau aman saat terjadi gempa sedang yaitu pada di zona gempa 4.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryanto, A. 2008. *Kinerja Portal Beton Bertulang dengan Dinding Pengisi Bata Ringan terhadap Beban Gempa*. Tesis Magister, Institusi Teknologi Bandung, Bandung.
- Asteris, P. G. 2003. Lateral stiffness of brick masonry infilled planed frame. *Journal of Struktural Engineering*, ASCE, 129(8), 1071-1079.
- ATC-40 (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Report SSC 96-01, California Seismic Safety Commission, Penerbit: Applied Technology Council, Redwood City.
- Badan Standarisasi Nasional. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002.)*

- Berny, A. E. R. (2013). *Perhitungan Inter Story Drift Pada Bangunan Tanpa Set-back dan Dengan Set-back Akibat Gempa*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 1.
- Carvalho, G., Rita, B., & Carlos, B. (2012). *Nonlinear Static and Dynamic Analyses of Reinforced Concrete Buildings-Comparison of Different Modelling Approaches*. Portugal.
- Chopra, A. (2001). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Penerbit: Prentice Hall, New York.
- Davis, R., dkk. (2004). *Effect of Infill Stiffness on Seismic Performance of Multi-Storey RC Framed Building In India*. World Conference on Earthquake Engineering. Canada.
- Dewobroto, W. (2005). *Analisa Inelastis Portal-Dinding Pengisi dengan "Equivalent Diagonal Strut"*. Jurnal Teknik Sipil, Vo: 12.
- Dewobroto, W. (2005). *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*. Universitas Pelita Harapan.
- Faisal, A. (2013). *Pemodelan Getaran Gempa Struktur Beton untuk Analisis Tidak Linier*. Seminar Nasional IV HASTAG, Medan.
- Hejazil, F., dkk. (2011). *Effect of Soft Story on Structural Response of High Rise Buildings*. Material Science and Engineering.
- Mehrabi, A.B., Shing, P.B., Schuller, M.P., Noland, J.L. (1996). *Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames*. Journal of Structural Engineering, ASCE, 122(3), 228-237.
- McGuire, W., Ziemian, R. D., & Gallagher, R. H. (1999), *Matrix structural analysis*, with MASTAN2, Penerbit: John Wiley & Sons, New York.
- Park, R. dan Paulay, T. (1976). *Reinforced Concrete Structures*, Penerbit: John Wiley and Sons, New York.
- Park, Y. J., Ang, A. H-S., and Wen, Y.K. (1987), *Damage-Limiting Aseismic Design of Buildings, Earthquake Spectra*, 3(1), hal.: 1-26.
- Paulay, T. dan Priestley, M.J.N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, Penerbit: ohn Wiley and Sons, New York.
- Priestley, M.J.N., Seible, F., Calvi, M.G. (1995). *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, Penerbit: John Wiley and Sons, New York.
- Saneinejad, A. dan Hobbs, B. 1995. *Inelastic design of infilled frames*. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 121(4), 634-650.
- Sitompul, M. (2015). *Studi Parametrik Kinerja Dinding Pengisi Bata Merah pada Struktur Beton Bertulang Akibat Beban Gempa*. Tesis, Program Studi Teknik Sipil. Universitas Sumatera Utara.
- Sudarman, dkk. (2014). *Analisis Pushover pada Struktur gedung Bertingkat Tipe Podium*. Jurnal Sipil Statik. Universitas Sam Ratulangi.
- Wibisono, C. dan Lie, H. (2008). *Modal Pushover Analysis Struktur Gedung Beton Bertulang di Bawah Pengaruh Beban Gempa Kuat*. Laporan Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil, ITB, Bandung.
- Widodo. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Jogjakarta: Pustaka Pelajar.