

PERBANDINGAN PERILAKU STRUKTUR RANGKA BAJA DENGAN DAN TANPA DINDING PENGISI

Ida Bagus Dharma Giri, Putu Deskarta, Ni Made Ratih Nawangsari

e-mail: guidha_82@yahoo.com

Abstrak: Dinding pengisi selama ini hanya dianggap sebagai elemen non struktural yang dalam perencanaannya hanya dianggap sebagai beban merata dan tidak dimodelkan, namun kenyataannya terjadi interaksi antara dinding dan rangka yang memikulkannya ketika terjadi beban gempa. Baja sebagai material struktur utama gedung dan adanya dinding di dalamnya yang berinteraksi dengan rangka ketika terjadi gaya gempa, maka dilakukan analisis terhadap perbandingan perilaku struktur rangka baja dengan dan tanpa dinding pengisi dengan memodel 5 struktur, yaitu: M1 Sistem Rangka *Open Frame*, M2A Sistem Rangka Dengan Dinding Penuh arah X yang dimodel dengan strut diagonal ekuivalen, M2B Sistem Rangka Dengan Dinding Penuh arah X yang dimodel dengan *shell element*, M3A dengan lantai dasar gedung sebagai parkir tak berdinding, dinding pada lantai selanjutnya dimodelkan sebagai strut diagonal ekuivalen, dan M3B dengan lantai dasar gedung sebagai parkir tak berdinding, dinding pada lantai selanjutnya dimodelkan sebagai *shell element*. Kelima model struktur dibebani dan dirancang berdasarkan pedoman perencanaan SNI Baja 03-1729-2002, SNI Gempa 03-1726-2012 dan PPIUG'83. Dari hasil analisis dan pembahasan dapat diambil simpulan bahwa simpangan puncak pada M1 paling besar yaitu 12,7 kali lebih besar dari simpangan puncak M2B. M1 paling elastis dan M2B paling kaku. Berdasarkan nilai *drift ratio*, terjadi mekanisme *soft storey* pada M3A dan M3B. Periode struktur M1 paling besar dibandingkan model struktur lainnya (paling lentur) sedangkan M2B yang memiliki periode terkecil (paling kaku). Nilai gaya-gaya dalam pada M1 paling besar daripada model lainnya. Tegangan tarik dan tekan maksimum pada dinding pengisi masih memenuhi persyaratan atau kurang dari tegangan ijin. Tegangan geser maksimum yang terjadi melebihi tegangan ijin, namun berdasarkan FEMA-273 dinding mampu menahan geser sampai 4 kali tegangan ijin, sehingga masih memenuhi kriteria.

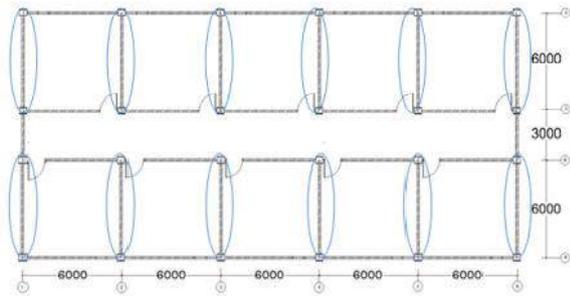
Kata kunci: struktur rangka baja, dinding pengisi, *soft storey*, strut diagonal ekuivalen, *shell element*

COMPARATIVE BEHAVIOR OF STEEL FRAME STRUCTURE WITH AND WITHOUT INFILL WALL

Abstract: *Infill wall so far only considered as a non-structural element, only considered as the load and not modeled, but in reality there is interaction between the wall and the frame that carries the load in the event of an earthquake (Dewabroto, 2005). Steel as main structure of the building material and the presence of the wall which it interacts with the framework when the earthquake forces, the comparison of the behavior of steel frame structures with and without infill wall analyzed with 5 to model the structure namely: M1 Open Frame System Frame, M2A with Full wall X direction is modeled with equivalent diagonal strut, M2B Full Frame System with wall X direction is modeled with shell elements, M3A with the ground floor of the building as an open-sided parking, the wall next floor is modeled as an equivalent diagonal strut, and M3B with ground floor of the building as the parking is not walled, the walls on the next floor is modeled as shell elements. Fifth structure model was designed based on the SNI 03-1729-2002, SNI 03-1726-2012 and PPIUG'83. The results showed the peak deviation of M1 is 12.7 times greater than the peak deviation M2B. M1 most elastic and M2B most rigid. Based on the value of the drift ratio, soft storey mechanism occurs in M3A and M3B. The structure period of M1 is biggest than most other structural models (most flexible) whereas that M2B has the smallest period (most rigid). The value forces of M1 is larger than other models. Maximum tensile stress and compressive stress of the wall still meet the requirements of a permit or less than the voltage permits. The maximum shear stress occurs the voltage exceeds a permit, but based on FEMA-273 is able to withstand shear up to 4 times the voltage of a license, so that it still meets the criteria.*

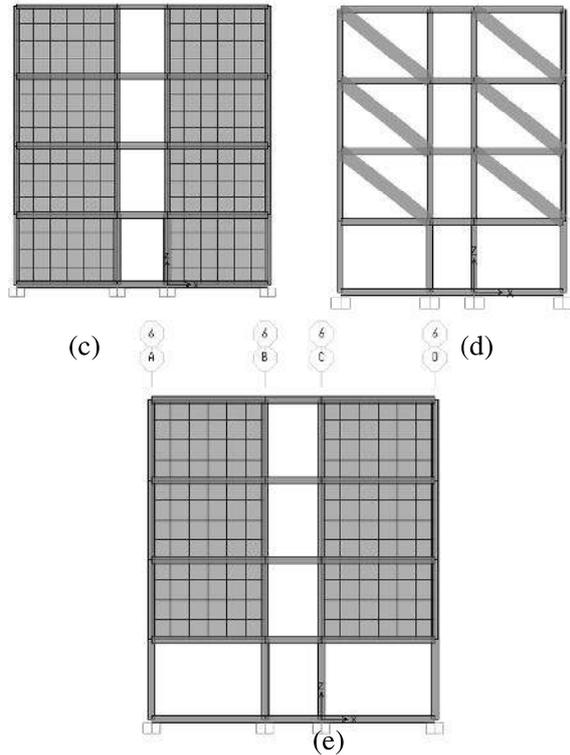
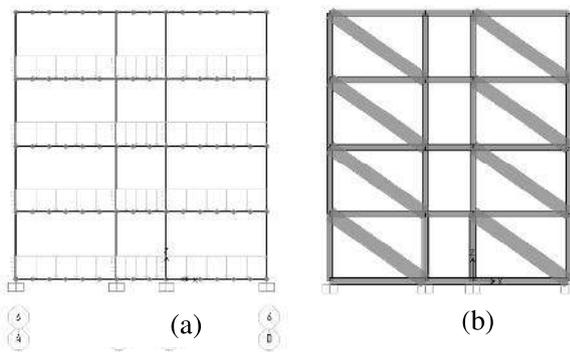
Keywords: structural steel frame, wall charger, *soft storey*, equivalent diagonal strut, *shell element*

Material utama struktur adalah baja dengan mutu BJ41. Pemisah ruang menggunakan dinding pengisi dari pasangan batako yang memiliki kuat tekan 5,5 MPa dengan tebal 15 cm. perencanaan struktur portal berdasarkan kebutuhan profil baja hasil analisa SAP. Dinding yang dimodelkan adalah dinding permanen yang merupakan pembatas antar ruang seperti ditampilkan pada Gambar 2.



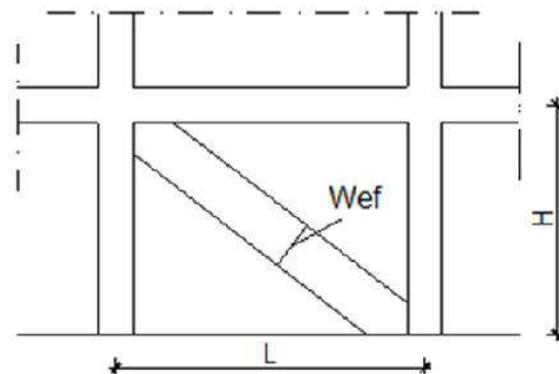
Gambar 2. Denah Penempatan Dinding

Analisis terhadap perbandingan perilaku struktur rangka baja dengan dan tanpa dinding pengisi dilakukan dengan memodel 5 struktur, yaitu: M1 Sistem Rangka Open Frame, M2A Sistem Rangka Dengan Dinding Penuh arah X yang dimodel dengan diagonal strut ekuivalen, M2B Sistem Rangka Dengan Dinding Penuh arah X yang dimodel dengan shell element, M3A dengan lantai dasar gedung sebagai parkir tak berdinding, dinding dinding pada lantai selanjutnya dimodelkan sebagai strut diagonal ekuivalen, dan M3B dengan lantai dasar gedung sebagai parkir tak berdinding, dinding pada lantai selanjutnya dimodelkan sebagai *shell element*.



Gambar 3. (a) M1, (b) M2A, (c) M2B, (d) M3A, (e) M3B

Mainstone (Demir and Sivri, 2002) mengusulkan lebar diagonal tekan, W_{ef} (Gambar 3) dinyatakan dalam persamaan 1 dan 2 yang juga dirujuk oleh FEMA.



Gambar 4. Estimasi Lebar Strut Diagonal
Sumber: Demir and Sivri, 2002

$$W_{ef} = 0,175(\lambda_1 H)^{-0,4} \sqrt{H^2 + L^2} \quad (1)$$

dengan:

$$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{E_i \cdot t \cdot \sin 2\theta}{4E_c I_c H_i}} \quad (2)$$

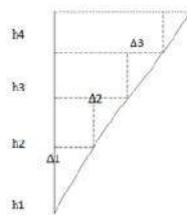
H adalah tinggi kolom, H_i adalah tinggi dinding pengisi, L adalah jarak antar kolom dari

as ke as, E_c adalah modulus elastisitas kolom, E_i adalah modulus elastisitas dinding pengisi, adalah sudut strut diagonal, I_c adalah momen inersia kolom, dan t adalah tebal dinding pengisi. *Soft storey* adalah istilah yang sering digunakan dalam pembahasan tentang struktur gedung tahan gempa. *Soft storey* bila diterjemahkan berarti *lantai lunak*. Sebuah gedung bertingkat dianalogikan sebagai lapisan-lapisan batu bata yang ditumpuk di atas sebuah meja. Tiap lapisan batu bata merepresentasikan lantai gedung. Sementara itu ada tumpukan batu bata lain, namun di tengah-tengah tumpukan tersebut, ada satu lapisan yang batu batanya mempunyai rongga yang cukup besar di dalamnya.



Gambar 5. Ilustrasi *Soft Storey*

Tingkat dasar bangunan yang terbuka secara konsisten menunjukkan perilaku yang buruk pada saat terjadi gempa bumi di seluruh belahan dunia. EERI (*Earthquake Engineering Research Institute*) mengidentifikasi pada saat gempa Turki di tahun 1999, Taiwan di tahun 1999, India di tahun 2001 dan gempa Aljazair tahun 2003, sebagian besar bangunan seperti ini mengalami kehancuran.



Gambar 6. Simpangan antar tingkat

Mekanisme *soft storey* terjadi apabila

$$Dr_i > 1,3 Dr_{i+1} \tag{3}$$

$$Dr_i > 1,2 \left(\frac{Dr_{i+1} + Dr_{i+2} + Dr_{i+3}}{3} \right) \tag{4}$$

Dengan Dr (*drift ratio*) adalah i/h , i adalah simpangan antar tingkat lantai- i dalam satuan mm, dan h_i adalah tinggi tingkat dalam satuan mm.

Kegagalan geser yang terjadi pada dinding pengisi berkaitan dengan tegangan geser yang terdapat pada dinding ketika struktur tersebut menerima gaya lateral. Pada analisis model elemen diperoleh bahwa nilai tegangan geser kritis terjadi dibagian tengah dinding pengisi (Smith and Coull, 1991). Nilai tegangan geser empiris dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\tau_{xy} = \frac{1,43Q}{Lt} \tag{5}$$

FEMA-273 (*Federal Emergency Management Agency*) dalam Bell and Davidson (2001) menyebutkan bahwa walaupun tegangan geser pada dinding melampaui kuat geser yang diijinkan namun dinding pengisi tersebut tetap mampu menahan geser sampai empat kali tegangan ijin. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan Smith and Coull (1991) tegangan tarik diagonal dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_d = \frac{0,58 Q}{Lt} \tag{6}$$

Tegangan tekan pada dinding pengisi secara empiris dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_y = \frac{(0,8 \frac{h}{L} - 0,2)Q}{Lt} \tag{7}$$

Q adalah gaya horizontal struktur rangka, L adalah panjang dinding pengisi struktur, t adalah tebal dinding pengisi, dan h adalah tinggi dinding pengisi.

Besarnya tegangan yang diijinkan ada dinding pengisi diberikan pada persamaan berikut:

Tegangan Geser Ijin: $0,3\sqrt{f'm}$ (8)

Tegangan Tarik Ijin: $0,1\sqrt{f'm}$ (9)

Tegangan Tekan Ijin: $f'm$ (10)

Dengan $f'm$ adalah kuat tekan dinding pengisi. Sebagaimana diketahui, umumnya segala benda di bumi ini mengalami peredaman, diantaranya adalah gesekan antara dua bidang permukaan, gesekan dengan zat cair atau zat gas yang mengelilingi, gesekan yang terjadi pada sambungan maupun gesekan antar molekul

didalam benda itu sendiri. Namun dalam analisis dinamik terdapat suatu pendekatan, yaitu gerakan benda dianggap tidak teredam, artinya gerakan benda tersebut tidak mengalami peredaman. Gerakan tanpa redaman itu disebut gerakan bebas (*undamped free vibration*). Getaran bebas terjadi ketika struktur beresilasi dibawah aksi dari suatu gaya yang melekat dalam struktur tanpa adanya gaya luar. Kekuatan-kekakuan yang melekat tersebut muncul dari kecepatan awal (*initial velocity*) dan perpindahan (*displacement*) yang dimiliki struktur pada awal fase getaran bebasnya (Anderson, 2001 dalam jurnal Rezky Mulia,2013). Sebagaimana diketahui, periode getar struktur, yang selanjutnya akan disebut sebagai periode getar adalah properti dinamik dari suatu struktur. Periode getar T adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya. Periode getar juga sering disebut secara lengkap dengan “periode getar alami struktur” (*natural fundamental period*). Istilah “alami” tersebut digunakan untuk menggambarkan setiap getaran untuk menekankan fakta bahwa hal tersebut merupakan properti alami dari struktur yang bergantung pada massa dan kekakuan yang bergetar secara bebas tanpa adanya gaya luar. Untuk memahami, dapat dilihat gambar dari FEMA 451B (2007) berikut:



Gambar 7. Undamped Free Vibration FEMA 451B, 2007

Dengan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \tag{11}$$

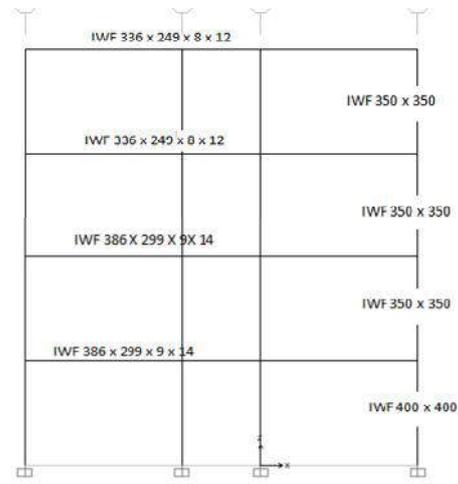
$$f = \frac{\omega}{2\pi} \tag{12}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{13}$$

Dengan T adalah Periode (dt), f adalah frekuensi (1/dt), ω adalah frekuensi getaran (rad/detik), k adalah kekakuan (N/m), dan m adalah massa (kg).

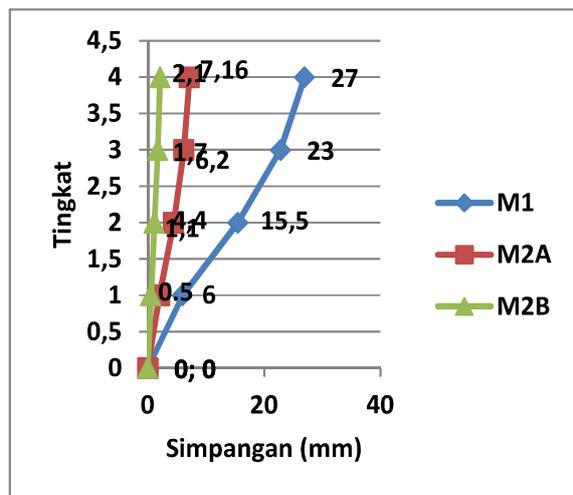
HASIL DAN PEMBAHASAN

Terjadi aksi komposit antara balok dan pelat maka balok yang digunakan pada analisis selanjutnya adalah balok dengan nilai inersia yang mendekati hasil inersia transformasi balok dan pelat.

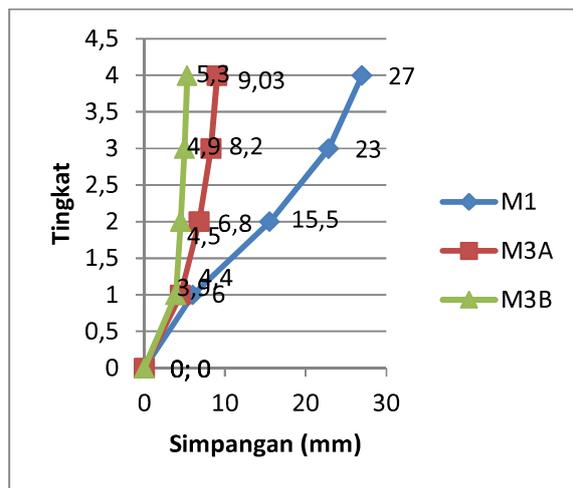


Gambar 8. Hasil Disain Struktur Portal 4 Lantai M1

Berdasarkan persamaan 1 dan 2 didapat dimensi strut untuk lantai 1 sampai 3 adalah 800 mm dan 870 mm untuk lantai 4 dengan tebal dinding 150 mm.



Gambar 9. Simpangan arah X M1 dan M2



Gambar 10. Simpangan arah X M1 dan M3

Berdasarkan grafik pada Gambar 9 dan 10 M1 memiliki simpangan puncak yang paling besar yaitu 26,98 mm. M2A dengan dinding yang dimodelkan sebagai strut diagonal ekuivalen mengalami simpangan puncak sebesar 7,16 mm atau 3,76 kali lebih kecil daripada M1, sementara M2B dengan dinding yang dimodelkan sebagai *shell element* mengalami simpangan puncak sebesar 2,1 mm atau 12,71 kali lebih kecil daripada M1. M3A yang merupakan struktur gedung hotel dengan lantai dasar sebagai areal parkir tak ber dinding dan dinding lantai 2 sampai lantai 4 dimodelkan sebagai strut diagonal ekuivalen mengalami simpangan puncak sebesar 9,02 mm atau 3 kali lebih kecil daripada M1, M3B mengalami simpangan puncak sebesar 5,32 mm atau 5,07 kali lebih kecil dari M1.

Berdasarkan analisa terhadap rasio simpangan antar tingkat terjadi mekanisme *soft storey* pada lantai 1 M3A dan M3B. Nilai Drift ratio pada lantai 1 M1, M2A, M2B, M3A, M3B berturut-turut sebagai berikut 62,74% , 81,39% , 191,12% , dan 650,015%.

Periode struktur yang terjadi pada M1 paling besar yaitu 0,72186 sama dengan M3A pada mode 1 tapi menurun pada model selanjutnya, ini karena bentuk struktur pada M1 dan M3A pada lantai dasar sama yaitu tidak terdapat dinding yang dimodelkan.

Nilai periode (T), seperti pada persamaan 11 berbanding terbalik terhadap nilai frekuensi (f), sementara nilai frekuensi (f) bergantung pada nilai *circular frekuensi* atau frekuensi getar (ω) dengan ω itu sendiri berbanding lurus terhadap kekakuan (k) dan berbanding terbalik dengan massa (m),

kekakuan (k) berbanding lurus terhadap nilai modulus elastisitas dan inersia, sementara inersia ditentukan oleh faktor panjang (h) dan lebar profil (b). Profil baja yang digunakan di kelima model adalah sama, sehingga inersia profil dalam hal ini adalah sama. Perbedaan terletak pada modulus elastisitas pada masing-masing model, pada M1 dinding hanya dianggap sebagai beban merata yang dalam pemodelannya termasuk dalam *load case DEADLOAD*, pada M2A dan M3A berat dinding pada portal arah X tetap dianggap sebagai beban merata dalam *DEADLOAD* tetapi ditambah dengan pemodelan strut diagonal ekuivalen sebagai batang tekan dengan berat strut nol, sedangkan pada M2B dan M3B beban merata dinding dihilangkan dan diganti dengan dinding yang dimodelkan sebagai *shell element* dengan *weight per unit volume* 300kg/m². Sehingga M2A dan M3A mendapat tambahan kekakuan dari penambahan batang diagonal yang dianalogikan sebagai dinding, sedangkan pada M2B dan M3B dinding sepenuhnya dimodelkan sebagai *shell element*, oleh sebab itu M2B dan M3B lebih kaku daripada M2A dan M3A, M3A dan M2A lebih kaku daripada MI. Sehingga nilai ω dan f M1 paling kecil dibandingkan model lainnya, dan nilai ω dan f M2B paling besar, maka nilai periode M1 paling besar diantara model lainnya sementara nilai periode M2B paling kecil dibandingkan model lain sebab nilai ω berbanding terbalik terhadap periode (T). Periode struktur M2B paling kecil. Struktur dengan nilai periode besar jika dibebani beban horizontal, baik angin maupun gempa, akan mengalami simpangan yang besar pula, artinya struktur tersebut membutuhkan waktu yang lama untuk kembali ke posisi semula. Sedangkan struktur dengan periode kecil akan mengalami simpangan yang sedikit ketika dibebani gempa atau beban horizontal dan memerlukan waktu yang singkat untuk kembali ke posisi semula (nilai periode berbanding lurus dengan simpangan yang dialami struktur tetapi berbanding terbalik terhadap frekuensinya).

Nilai gaya momen, gaya geser, dan aksial yang terjadi pada struktur dengan dinding yang dimodelkan baik dengan strut diagonal ekuivalen maupun *shell element* lebih kecil daripada struktur rangka dengan dinding yang hanya dianggap sebagai beban (*Open Frame*). Ini terjadi karena terdapat dinding yang menambah kekakuan dan

membantu struktur utama dalam menganggulangi dan menahan gaya-gaya luar yang terjadi, terutama gaya lateral.

Nilai tegangan pada dinding pengisi didapat dengan 3 cara, yaitu dengan menghitung nilai tegangan melalui gaya aksial strut yang diuraikan secara vertikal (tekan) dan horizontal (geser) kemudian dibagi dengan luas permukaan strut (analitis), secara empiris yaitu berdasarkan persamaan empiris sehingga didapat nilai tegangan tekan tarik, dan geser, dan melalui SAP dengan metode *shell element*. Berdasarkan hasil analisis terhadap tegangan dinding yang dimodel dengan strut diagonal ekuivalen maupun dengan *shell element*, nilai tegangan dinding maksimum didapat dari hasil perhitungan analitis strut. Tegangan tekan ijin maksimum yaitu 0,574 MPa lebih kecil dari tegangan tekan ijin 5,5 MPa. Tegangan tarik maksimum yang terjadi yaitu 0,076 MPa lebih kecil dari tegangan tarik ijin sebesar 0,234 MPa. Tegangan geser maksimum yang terjadi adalah 0,865 MPa lebih besar dari tegangan geser yang diijinkan 0,703 MPa. Walaupun tegangan geser pada dinding pengisi melampaui kuat geser yang diijinkan namun dinding pengisi tetap masih mampu menahan beban geser yang terjadi. Dinding pengisi mampu menahan beban geser sampai 4 kali tegangan geser ijinnya (FEMA-273 dalam Bell and Davidson, 2001)

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan analisis didapat beberapa simpulan sebagai berikut:

Simpangan lantai *open frame* paling besar dan *infill frame* dengan *shell element* penuh di arah X paling kecil, simpangan lantai struktur yang dindingnya dimodelkan sebagai *shell element* lebih kecil dari struktur yang dindingnya dimodelkan sebagai strut diagonal ekuivalen.

Periode struktur yang dialami *infill frame* dengan shell penuh di arah X paling kecil dan periode *open frame* paling besar, periode struktur yang dindingnya dimodelkan sebagai *shell element* lebih kecil dari struktur dengan dinding yang dimodelkan sebagai strut diagonal ekuivalen, nilai frekuensi struktur berbanding terbalik terhadap nilai periodenya.

Struktur rangka dengan dinding pengisi yang dimodelkan sebagai *shell element* maupun strut diagonal ekuivalen memiliki nilai momen, gaya geser, dan aksial yang lebih kecil dari struktur rangka *open frame*.

Tegangan yang terjadi akibat kegagalan tekan dan tarik pada dinding pengisi dengan cara empiris, analitis, maupun berdasarkan SAP masih memenuhi persyaratan atau kurang dari tegangan ijin. Tegangan geser maksimum yang terjadi melebihi tegangan ijin, namun berdasarkan FEMA-273 dalam Bell and Davidson (2001) dinding mampu menahan geser sampai 4 kali tegangan ijin, sehingga masih memenuhi criteria

Berdasarkan analisis terhadap rasio simpangan antar tingkat didapat hasil bahwa terjadi mekanisme *soft storey* M3A dan M3B.

Struktur dengan dinding yang dimodelkan baik dengan *shell element* maupun strut diagonal ekuivalen lebih kaku dari struktur *open frame*, struktur dengan dinding yang dimodelkan sebagai *shell element* lebih kaku dari struktur dengan dinding yang dimodelkan sebagai strut diagonal ekuivalen.

Saran

Berdasarkan analisis dan pembahasan, dapat disarankan hal-hal sebagai berikut:

Dinding pengisi perlu dimodel sebagai komponen struktur karena sangat mempengaruhi perilaku struktur, adanya dinding memberi tambahan kekakuan pada struktur.

Jarak antara dinding dan rangka pada struktur dengan dinding yang dimodelkan sebagai *shell element* perlu dimodelkan dengan *link gap* agar dapat mewakili kondisi struktur sebenarnya

Perlu adanya studi mengenai perilaku struktur rangka baik baja maupun beton dengan dinding pengisi berlubang melalui pemodelan struktur yang memodelkan keseluruhan gedung karena kenyataannya pada bangunan gedung terdapat lubang berupa pintu, jendela, maupun ventilasi pada dinding pengisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional.2012. *Tata Cara Perencanaan Gempa untuk Stuktur bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012.*
- Badan Standarisasi Nasional 2003. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002.*
- Bell, D. K., & Davidson, B. J. 2001. Evaluation of Earthquake Risk Building with Masonry Infill Panels. *NZSEE 2001 Conference.*
- Auckland.Building Seismic Safety Council. 1997. *NEHRP Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 273).* Washington D.C.:FEMA.
- Das, D and Murty, C.V.R. 2004. *Brick Masonry infill in seismic design of RC framed buildings: P a r t 1-Cost implications.* July 2004-The Indian Concrete Journal.
- Departemen Pekerjaan Umum Ditjen Karya Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung.*
- Dewobroto,W. 2005. Analisa Inelastis Portal - Dinding Pengisi dengan“Equivalent Diagonal Strut”. *Jurnal Teknik Sipil ITB* Vol. 12/4.
- Demir, F. and Sivri, M. 2004. *Earthquake Response of Masonry Infilled Frames. ECAS2002 International Symposium on Structural and Earthquake Engineering, October 14, 2002, Middle East Technical University, Ankara, Turkey*
- Murty, C., Brzev, S., Faison, H., Comartin, C. D., & Irfanoglu, A. (2006). *Perilaku Bangunan Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Dinding Pengisi dari Bata Terhadap Gempa.* Oakland: EERI.
- Mulia,R. 2013.*Periode Getar Struktur, Mengapa Begitu Penting.* Diakses tanggal 15/07/2014.
- Smith, B.S. and Coull. 1991. *Tall Building Structures: Analysis and Design.* J o h n Wiley and Sons, Inc.
- www.reidsteel.com/environmentally-friendly-steel-buildings. Diakses tanggal 10 November 2013.