

PEMODELAN STRUKTUR RANGKA DINDING PENGISI BERATURAN UNTUK GEDUNG 4, 7 DAN 10 LANTAI DENGAN VARIASI PENEMPATAN DINDING PENGISI PADA LANTAI DASAR

P. A. Parmaheni Tirta Sari¹, M. Sukrawa², I. A. M. Budiwati³

Abstrak : Penelitian struktur beton bertulang dengan dan tanpa dinding pengisi telah dilakukan dengan memodel struktur yang sama sebagai rangka terbuka (OF) dan rangka dengan dinding pengisi (RDP) untuk dibandingkan kekakuan, distribusi gaya dalam dan perubahan dimensi struktur yang terjadi. Dalam model RDP, dinding dimodel sebagai strut diagonal ekuivalen dengan satu, dua dan tiga buah strut. Struktur 7 lantai diambil sebagai acuan dengan meninjau struktur 4 dan 10 lantai sebagai pembandingan. Guna mengamati pengaruh variasi penempatan dinding pada lantai 1 (lantai dasar), seperti pada kasus lobby dan parkir, maka pada struktur 7 lantai dibuat model dengan menghilangkan dinding pada lantai dasar yaitu satu dinding (RDP7S3SS1), 4 dinding (RDP7S3SS2), 6 dinding (RDP7S3SS3), dan seluruhnya 9 dinding (RDP7S3SS4).

Pada model 7 lantai, struktur RDP dengan satu, dua dan tiga strut memiliki kekakuan lateral yang sebanding dengan kecenderungan semakin kaku dengan bertambahnya jumlah strut. Dibandingkan dengan OF, struktur RDP memiliki deformasi lateral yang lebih kecil dengan rasio masing-masing sebesar 0,655; 0,636 dan 0,612 untuk model dengan satu, dua dan tiga strut. Gaya-gaya dalam berupa momen lentur, geser dan aksial pada rangka dalam RDP juga lebih kecil dibandingkan dengan gaya-gaya dalam pada rangka OF dengan rasio berkisar antara 0,223 – 0,916. Model RDP dengan 3 strut memberikan distribusi gaya yang lebih baik dibandingkan dengan strut tunggal karena pengaruh dinding terhadap distribusi gaya-gaya dalam pada balok dan kolom termodelkan. Variasi penempatan dinding pada model RDP7S3 menghasilkan deformasi lateral yang cenderung meningkat sesuai dengan jumlah dinding yang dihilangkan pada lantai dasar. Pada variasi dengan menghilangkan semua dinding pada lantai dasar menghasilkan simpangan antar tingkat sangat besar dengan rasio 4:1 pada tingkat 1 dan tingkat 2. Hal ini merupakan fenomena soft storey. Pada variasi jumlah tingkat 4, 7 dan 10, rasio deformasi lateral pada RDP dan OF masing-masing 0,547; 0,612 dan 0,581. Luas penampang rangka pada RDP rata-rata 40,41% lebih kecil dibandingkan dengan luas rangka pada OF.

Kata kunci : Rangka dengan dinding pengisi, ekuivalen diagonal strut, keruntuhan soft storey

MODELLING OF REGULAR INFILL FRAME STRUCTURE FOR 4, 7, AND 10 STORIES BUILDINGS WITH VARYING INFILL WALL PLACEMENT AT GROUND LEVEL

Abstrack : Research on reinforced concrete structure with and without infill wall has been done by modeling the same structure as open frame (OF) and infilled frame (RDP) to compare in their stiffness, force distribution and dimensional changes. In RDP model, the wall is modeled as equivalent diagonal struts with one, two and three struts. Seven-storey building structure is taken as a reference and structures of 4 and 10 floors are used as comparison. To observe the effect of wall discontinuity at ground level additional 4 models were made for the 7 storey building by removing one, four, six, and all nine walls at ground level (RDP7S3SS1, RDP7S3SS2, RDP7S3SS3, and RDP7S3SS4).

For seven-storey model, RDP structures with one, two, and three struts have a comparable lateral stiffness but it tends to increase for model with many struts. Compared to OF, RDP structure with one, two, and three struts have smaller lateral deformation with ratio 0,655; 0,636, and 0,612, respectively. Bending moment, shear and axial in the frame of RDP are also smaller than those of OF with ratio 0,223 and 0,916. RDP model with 3 struts gives better force distribution on the frame compared to the model with single strut. Removing all walls at ground level produce inter storey drift ratio of 4, which is a soft storey phenomenon. On the 4, 7, and 10 storey variation the lateral deformation ratio for RDP and OF are 0,547; 0,612, and 0,581, respectively. The cross sectional area of frame for RDP is as low as 40% compared to that of OF.

Keywords: Infilled frame, equivalent diagonal strut, soft storey collapse

¹ Alumnus Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Udayana

² Staf Pengajar Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Udayana

³ Staf Pengajar Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Udayana

1. PENDAHULUAN

Pada umumnya, analisis struktur rangka dilakukan dengan memodel rangka sebagai struktur rangka terbuka (*open frame*), di mana dinding pengisi diasumsikan sebagai beban merata. Jika dinding pemisah ini dibuat dari bahan yang fleksibel maka perilaku struktur utama dalam menahan beban lateral tidak akan terpengaruh karena bahan dindingnya akan mengalami deformasi mengikuti deformasi struktur. Dalam kasus dinding yang kaku seperti pasangan batako dan bata, walaupun lebih getas dari bahan kerangka, keberadaannya di antara struktur kerangka akan menimbulkan interaksi yang mengubah kekakuan struktur, terutama saat menerima beban lateral akibat gempa atau angin (Sukrawa, 2010). Kaushik et.al. (2006) menyatakan bahwa dinding pengisi masonry (batako ataupun batu bata) menghasilkan penambahan kekakuan pada struktur rangka beton bertulang.

Berbagai kejadian gempa menunjukkan bahwa interaksi tak terduga antara kerangka dengan dinding pengisi dapat menyebabkan kegagalan *soft storey*, dimana kekakuan salah satu tingkat jauh berbeda dari kekakuan tingkat lainnya, yang menyebabkan kegagalan total pada bangunan. Lendutan pada struktur *soft storey* mencapai 1,4 sampai 2,0 kali lebih besar dibandingkan dengan struktur tanpa *soft storey* (Mahmud et.al, 2010).

Apabila dinding dianggap sebagai komponen struktur, maka struktur ini disebut *system infilled frame* (system kerangka dinding pengisi, KDP). Pemodelan dinding pengisi pada struktur rangka bangunan bertingkat salah satunya adalah dengan menganggap dinding berperilaku seperti *equivalent diagonal strut*. Untuk dinding yang dianggap sebagai *ekivalen diagonal strut*, dinding dapat dimodel dengan strut tunggal ataupun dengan multi strut

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka permasalahan dapat dirumuskan yaitu “Bagaimanakah perilaku struktur RDP dibandingkan dengan struktur OF dilihat dari simpangan lateral, distribusi gaya-gaya dalam dan tegangan dinding serta dimensi penampang rangka untuk pemodelan dengan satu, dua dan tiga strut diagonal pada struktur 4,7 dan 10 tingkat dengan variasi penempatan dinding pengisi pada lantai satu”. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang pengaruh penempatan dinding pengisi pada model dengan *ekivalen diagonal strut*, posisi dinding pada lantai dasar dan interaksinya dengan balok dan kolom struktur terhadap kemungkinan terjadinya *soft storey*, serta bermanfaat sebagai referensi perancangan struktur dengan dinding pengisi struktur dalam perencanaan posisi dinding pengisi.

Pada penelitian ini pemodelan struktur dinding pengisi dianggap sebagai dinding permanen (dinding pembatas antar ruang pada arah melintang, sedangkan dinding pada arah memanjang tidak dimodel), dinding yang dimodel dianggap tanpa bukaan serta perencanaan struktur portal berdasarkan kebutuhan tulangan hasil analisa SAP 2000 V14.

2. PENELITIAN TERKAIT

2.1 Rangka Dinding Pengisi

Dinding pengisi sering digunakan sebagai partisi pemisah pada struktur portal yang pengerjaannya dilakukan setelah struktur utama selesai dikerjakan, sehingga sering dianggap sebagai bagian dari finishing bangunan yang bukan merupakan bagian dari komponen struktural selama intensitas beban yang timbul sudah diantisipasi terlebih dahulu (misal, dianggap sebagai beban merata). Karena struktur kerangka dinding pengisi (KDP) memiliki inersia yang besar, maka struktur ini mempunyai perilaku yang berbeda dengan kerangka terbuka (*open frame, OF*), sehingga diperlukan metode dan model analisis yang mampu memperhitungkan interaksi antara dinding pengisi (DP) dan rangka bangunan bertingkat (RBB) serta memperhitungkan sifat material yang non linier dan getas (*brittle*) (Sukrawa, 2010).

Dalam kasus dinding yang kaku dan kuat seperti batako dan bata, walaupun lebih getas dari bahan kerangka, namun keberadaannya di antara struktur kerangka akan menimbulkan interaksi yang merubah kekuatan struktur. Interaksi antara portal dan dinding dapat menimbulkan efek positif yaitu meningkatnya kekuatan struktur terutama saat menerima beban lateral serta efek negative yang terjadi apabila struktur lantai bawah yang memiliki dinding lebih sedikit dibandingkan dengan lantai di atasnya, sehingga kekakuan lantai bawah lebih kecil dibandingkan lantai di atasnya. Hal ini umumnya akan menimbulkan bahaya *soft storey*, dimana kolom pada tingkat paling bawah gagal karena kolom pada tingkat di atasnya lebih kaku sebagai akibat dari terjadinya interaksi tak terduga antara dinding dengan rangka (Dewobroto 2009, 2005; Kermani et. al., 2008).

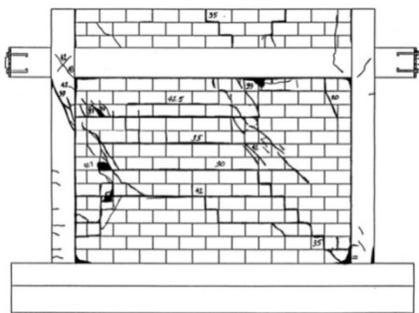
2.2 Dinding Pengisi dan Diagonal Tekan Ekuivalen

Banyak penelitian telah dilakukan untuk memodel dinding pengisi sebagai dinding struktural, seperti penelitian yang dilakukan oleh Dewobroto (2005) dimana untuk mensimulasi adanya beban gravitasi dari lantai di bawahnya maka pada kedua kolom sampel uji diberikan beban vertikal konstan P_v sebesar 294 kN sedangkan beban lateral P_h diberikan secara bertahap sampai terjadi runtuh. Dinding pengisi menggunakan *masonry* dari blok beton padat berukuran 194x92x92 mm dengan kuat tekan 15,57 MPa dan dilekatkan dengan mortar yang memiliki kuat tekan 15,98 Mpa.

Mehrabi et al. (1996), membuktikan bahwa portal dengan dinding pengisi mengalami kegagalan geser pada struktur portal dan mengalami keruntuhan geser diagonal pada dinding pengisi. Dalam penelitian tersebut digunakan struktur beton bertulang yang umumnya berperilaku lebih kompleks dibandingkan portal baja. Pada penelitian tersebut juga dilakukan pengujian terhadap portal terbuka (tanpa dinding pengisi) sebagai pembanding.

Hasil penelitian Mehrabi membuktikan bahwa struktur portal dengan dinding pengisi mampu menerima beban 2,6 kali lebih besar dengan lendutan 20 kali lebih kecil dibandingkan dengan portal tanpa dinding pengisi. Adapun hasil hubungan beban dan lendutan yang terjadi pada penelitian tersebut adalah untuk portal terbuka, kondisi keruntuhannya adalah keruntuhan lentur dengan hasil uji lateral maksimum menunjukkan bahwa dengan beban yang bekerja sebesar 106,31 KN menyebabkan terjadinya lendutan sebesar 65,28 mm, sedangkan untuk sampel portal dengan dinding pengisi menunjukkan bahwa kondisi keruntuhan yang terjadi akibat retak diagonal dengan hasil pengujian beban dan lendutan menunjukkan bahwa pada beban 277,68 KN menimbulkan retak pertama pada dinding dengan lendutan sebesar 3,3 mm.

Perilaku keruntuhan yang terjadi pada struktur dengan dinding pengisi adalah timbulnya retak diagonal pada dinding pengisi dan terjadi retak akibat geser dan tarik pada kolom struktur yang terbentuk pada beban lateral maksimum pada salah satu arah.



Sumber : Mehrabi et al (dalam Dewobroto, 1994)
Gambar 1. Kondisi Keruntuhan Portal Penelitian Mehrabi

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa keruntuhan pada struktur portal terjadi akibat gaya tekan dan tarik yang disebabkan oleh beban horizontal yang diberikan sedangkan pada dinding pengisi terjadi retak geser pada bagian tengah serta keruntuhan akibat tekan yang terjadi pada pojok kiri atas dinding pengisi. Retak akibat tarik juga terjadi pada bagian pojok kanan bawah dinding pengisi. Namun demikian adanya dinding pengisi tersebut mampu menambah kekuatan dan kekakuan struktur portal yang ditempatinya sehingga dapat mengurangi deformasi yang terjadi pada struktur.

Penelitian yang dilakukan untuk meninjau efek dari pemasangan dinding pengisi pada respon gempa dan struktur beton bertulang, dilakukan oleh Demir and Sivri (2002) yang mempertimbangkan struktur beton bertulang dengan berbagai konfigurasi dinding pengisi untuk mengevaluasi efek yang timbul secara tidak beraturan dari perilaku struktur dinding pengisi. Model strut diagonal diadaptasi untuk memodel dinding pengisi.

Hasil dari analisis menunjukkan bahwa dinding pengisi non struktural dapat merubah perilaku seismik struktur rangka dinding pengisi. Stabilitas dan integritas

dari dari rangka beton bertulang meningkat dengan adanya dinding pengisi. Dinding pengisi juga mengubah *displacement* dan *base shear* dari rangka. *Displacement* yang terjadi pada dinding pengisi adalah 7,6mm, sedangkan pada *bare frame* dan *soft storey frame* masing - masing 16,8mm dan 11mm.

Analisa yang berdasarkan atas metoda Diagonal Tekan Ekvivalen dilakukan oleh Saneinejad dan Hobbs (1995) dengan memperhitungkan parameter non-linier dalam memodelkan struktur portal-isi agar “dinding pengisi” menjadi komponen struktur dilakukan oleh Dewobroto (2005). Metode tersebut digunakan untuk analisis keruntuhan portal-isi dari eksperimen Universitas Colorado (Mehrabi et al, 1996 dalam Dewobroto, 2005). Dengan melakukan percobaan terhadap RDP dengan menggunakan analisa dengan metode strut diagonal dengan prinsip penelitian Portal-Isi dapat dianggap sebagai portal tidak bergoyang (braced framed), dimana dinding pengisi akan berfungsi sebagai diagonal tekan ekivalen (*equivalent diagonal strut*).

Dari hasil analisa tersebut diperoleh hasil bahwa hasil eksperimen menunjukkan keruntuhan yang terjadi pada portal terbuka adalah keruntuhan lentur pada beban maksimal 106,31 KN dengan lendutan 65,28mm. untuk portal isi dengan diagonal tekan ekivalen keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan geser pada beban maksimal 211KN dan lendutan maksimal 10,1mm, sedangkan untuk portal isi hasil eksperimen menunjukkan bahwa dibandingkan dengan OF eksperimen, keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan akibat retak diagonal ditengah dengan beban maksimal 277,68 KN dan lendutan maksimal 3,3 mm. Metode Diagonal Tekan Ekvivalen memberikan prediksi numerik yang berada diantara struktur “portal terbuka” dan “portal-isi” hasil eksperimen dan hasilnya dalam batas-batas yang mencukupi atau lower bound yang sesuai digunakan untuk perencanaan (hasilnya cukup konservatif).

Penelitian lain juga dilakukan oleh Sukrawa (2010) yaitu dengan melakukan kajian terhadap perkembangan analisis kerangka dengan dinding pengisi (KDP) dan kemudian menerapkannya pada struktur apartemen 5 lantai. Dengan memodel sebagai kerangka terbuka/model open frame (MOF) dan KDP dengan mempergunakan metode elemen hingga (MEH) dan metode strut diagonal (MSD). Model dengan dimensi kerangka yang bervariasi, ketebalan dinding tetap yaitu 200mm dan ketebalan lantai tetap 120mm. Pemodelan dilakukan untuk memperhitungkan pengaruh beban vertikal dimodel untuk memperhitungkan pengaruh beban vertikal pada struktur. Implikasi biaya dari variasi model dilihat dari kebutuhan tulangan dan volume beton. MEH dengan elemen shell dan plane strain serta MSD dengan strat tunggal dan 3 strat dibuat untuk semua kelompok model. MSD dengan strat tunggal dibedakan antara lebar 650 mm dan 1300 mm. Semua model dianalisis sebagai struktur linier elastik menggunakan program SAP2000 dan dibandingkan hasilnya.

Hasil analisis menunjukkan bahwa MOF jauh lebih fleksibel dari KDP. MEH dan MSD menunjukkan hasil yang konsisten dan logis dimana kekakuan struktur meningkat dari MOF ke MSD dan MEH. Model struktur dengan dinding pengisi (MEH dan MSD) berperilaku jauh lebih kaku dari struktur tanpa dinding (MOF). Untuk dimensi kerangka yang sama (M1), dibandingkan dengan MOF, MEH 25 kali lebih kaku, sedangkan MSD 15 kali lebih kaku. Disini terlihat ketidaksesuaian deformasi pada MEH dan MSD dengan rasio sekitar 0,6 dimana hal ini terkait dengan model analisis linier elastik pada MEH sedangkan dalam perumusan MSD sudah termasuk faktor non linier anisotropik pada material dinding. Nilai momen dan geser pada kerangka membesar dari MEH ke MSD dan MOF akibat dari peningkatan kekakuan dari MOF ke MSD dan MEH, sehingga, kebutuhan tulangan pada MSD dan MEH juga berkurang. Volume beton dan tulangan pada

$$\tau_{xy} = \frac{1,43Q}{Lt} \quad (1)$$

Tegangan geser

$$\sigma_d = \frac{0,58Q}{Lt} \quad (2)$$

Tegangan tarik diagonal

KDP lebih kecil dari kebutuhan pada MOF dengan rasio masing-masing 66,7% dan 49,5%. Tegangan yang terjadi pada dinding masih dalam batas-batas kekuatan bahan sehingga pemodelan dinding sebagai bagian dari struktur tidak akan menambah komponen biaya.

Penelitian terhadap struktur beton bertulang yang dimodel sebagai OF dan RDP dan dianalisis dengan metode konvensional dan konstruksi bertahap dilakukan oleh Gunawan, M. (2011) yang memperhatikan metode pemasangan dinding yaitu dinding yang dipasang bersamaan dengan rangka per tingkat dan dinding yang dipasang setelah struktur rangka selesai dikerjakan. DP dimodel sebagai elemen shell dan strut diagonal ekuivalen dengan strut tunggal dan tiga strut. Sedangkan hubungan antara rangka dengan dinding pengisi dimodel sebagai elemen gap yang merupakan interface antara DP dan rangka.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dinding pengisi sangat mempengaruhi perilaku struktur secara keseluruhan, sedangkan analisis bertahap tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perilaku struktur secara keseluruhan pada struktur yang simetris. Model RDP memiliki simpangan arah X (searah pemasangan DP) lebih kecil 60-90% terhadap OF. RDP shell merupakan model RDP yang paling kaku, sedangkan RDPS1 merupakan model yang paling flexible. Model RDP Shell gap memiliki lendutan balok yang lebih kecil daripada RDPS1 dan RDPS3. Selain itu model RDP shell gap memiliki momen, gaya geser dan gaya aksial yang lebih besar. Model RDPS1 dan RDPS3 nilai momen memberikan, gaya geser dan gaya aksial yang relative sama. Analisis konstruksi bertahap menghasilkan simpangan yang lebih besar dari analisis konvensional, memberikan hasil lendutan yang sedikit

lebih besar dari analisis konvensional pada lantai bawah, dan relatif sama atau lebih kecil pada lantai atas, serta memberikan gaya dalam yang relative lebih besar pada model RDPS1 dan RDPS2, sedangkan RDP shell gap memberikan hasil yang lebih besar hingga 72%.

2.3 Pendekatan Empiris dalam Perencanaan KDP

Kompleksitas perilaku dinding getas yang berinteraksi dengan kerangka daktail menimbulkan kesulitan dalam mengevaluasi tegangan-tegangan yang terjadi pada dinding maupun pada kerangka. Smith and Coull (1991) mengusulkan rumus-rumus empiris untuk perencanaan sebagai perpaduan hasil penelitian, analisis, dan MEH. Pendekatan dalam disain KDP yang digunakan untuk memprediksi keruntuhan pada dinding adalah pendekatan plastis dimana keruntuhan yang terjadi pada dinding meliputi geser, tarik dan tekan. Kegagalan geser yang terjadi pada dinding pengisi berkaitan dengan tegangan geser akibat gaya lateral Q, yang secara empiris dapat dirumuskan dalam Persamaan 1, sedangkan tegangan tarik diagonal yang terjadi pada bagian pojok bawah dan tengah dinding pengisi dirumuskan dalam Persamaan 2.

Panjang dinding pengisi yang menekan kolom di tiap tingkatnya bergantung pada kekakuan lentur kolom. Kolom yang lebih kaku menyebabkan tekanan pada kolom semakin luas sehingga tegangan tekan yang terjadi pada dinding menjadi lebih kecil. Tegangan tekan pada dinding pengisi dirumuskan dalam Persamaan 3

Tegangan diagonal tekan

$$\sigma_y = \frac{\left(0,8 \frac{Hm}{L} - 0,2\right)Q}{Lt} \quad (3)$$

Pendekatan panjang keruntuhan dinding yang menekan kolom kerangka yang dinotasikan sebagai α dianalogikan sebagai teori balok di atas pondasi elastis yang dirumuskan dalam dua Persamaan berikut.

$$\alpha = \frac{\pi}{2\lambda} \quad (4)$$

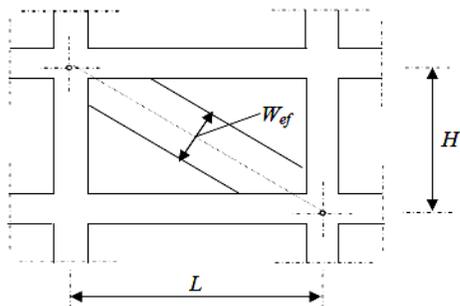
$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_m t}{4E_c I_h}} \quad (5)$$

Parameter λ merupakan kekakuan dinding pengisi relatif terhadap kekakuan lentur kolom dimana, semakin besar kekakuan kolom maka nilai λ akan semakin kecil sehingga dinding pengisi yang menekan kolom akan semakin panjang, E_m adalah modulus elastisitas DP, t merupakan tebal dinding pengisi, E_c adalah modulus elastisitas kolom, I merupakan momen inersia DP dan H adalah tinggi kolom.

2.4 Diagonal Tekan Ekivalen (Equivalent Diagonal Strut)

Dalam menganalisis struktur portal dengan dinding pengisi menggunakan metode ekivalen diagonal strut menggunakan program SAP2000v11. Pada ujung-ujung strut yang berhubungan langsung dengan balok kolom bersifat sendi agar sifat strut tersebut mendekati perilaku dinding pengisi yang dianalogikan sebagai ekivalen diagonal strut (Das and Murty, 2004).

Pemodelan dinding pengisi dengan metode ekivalen diagonal strut dimodelkan dengan batang yang dimensinya telah ditentukan terlebih dahulu. Lebar batang tekan sebagai ekivalen diagonal strut pada pemodelan dinotasikan sebagai W_{ef} seperti pada Gambar 2.



Sumber : Demir and Sivri, (2002)
Gambar 2 Estimasi Lebar Diagonal Strut

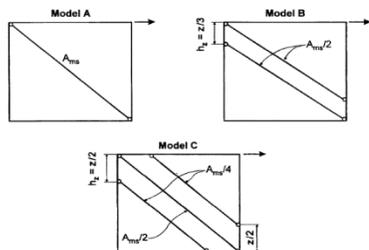
Demir and Sivri (2002) memberikan pendekatan lebar strut (W_{ef}) yang digunakan dalam pemodelan dinding pengisi adalah

$$W_{ef} = 0,175(\lambda_h H)^{-0,4} \sqrt{H^2 + L^2} \quad (6)$$

Dengan,

$$\lambda_h = 4 \sqrt{\frac{E_m t \sin 2\theta}{4E_c I_c H_i}} \quad (7)$$

Untuk multi strut diagonal, Crisafulli et.al. dalam Bell and Davidson (2001) menggunakan lebar strut untuk satu strut (Gambar 3 model A) dua strut (Gambar 3 model B) dan tiga strut (Gambar 3 model C) seperti ditampilkan pada Gambar 3. Dengan A_{ms} adalah luas dari strut diagonal.



Sumber : Crisafulli et.al. dalam Bell and Davidson (2001)
Gambar 3 Model Multi Strut Diagonal

3. METODE PENELITIAN

Langkah pemodelan struktur diawali dengan estimasi dimensi balok dan kolom, dimana nilai awalnya diambil berdasarkan rumus empiris dari SNI 03-2847-2002 yaitu $\frac{1}{12}l$. Selanjutnya dilakukan pemodelan struktur OF7, rangka terbuka 7 lantai, OF7 dengan 1,2,dan 3 strut. Dari pemodelan tersebut diperoleh nilai OF7 dengan 3 strut. Dari hasil OF7 dengan 3 strut tersebut, lalu dilakukan pemodelan RDP7S1, RDP7S2 dan RDP7S3, yaitu pemodelan rangka dinding pengisi dengan menggunakan 1,2 dan 3 strut dimana dimensi portal yang dipergunakan adalah dimensi portal yang telah direduksi sebagai dimensi portal yang efektif berdasarkan hasil perhitungan OF7 dengan 3 strut. Pemodelan dilanjutkan dengan memodel RDP7S3 dengan berbagai kombinasi penempatan dinding pengisi, yaitu RDP7S3SS1 (mereduksi 1 dinding portal tengah), RDP7S3SS2 (mereduksi 4 dinding selangseling), RDP7S3SS3 (mereduksi 6 dinding As 2,3,4,6,7,8), dan RDP7S3SS4 (RDP 7 lantai dengan mereduksi seluruh dinding di lantai 1). Pemodelan dilanjutkan dengan memodel struktur 4 lantai, OF4 dan RDP4S3, serta struktur 10 lantai, OF10 dan RDP10S3.

Pada saat melakukan analisis, pada masing-masing model diberikan beban yaitu beban mati, yang disesuaikan dengan dimensi masing-masing struktur ditambah dengan beban mati tambahan dan beban DP, beban hidup sebesar 250 Kg/m^2 serta beban gempa respon spectrum sesuai dengan SNI 03-1276-2002 dengan wilayah gempa 5, tanah dasar sedang serta nilai R adalah 8,5. Setelah diberikan pembebanan, dilanjutkan dengan analisis struktur. Dari analisis struktur ini diperoleh nilai deformasi dan gaya-gaya dalam struktur. Selanjutnya dilakukan disain struktur pada program SAP 2000 dengan kontrol kekuatan struktur.

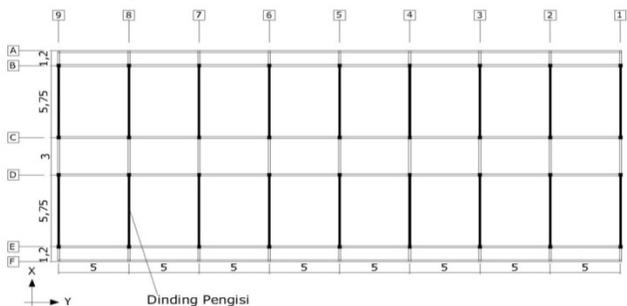
Kontrol terhadap kekuatan kolom dan balok dilakukan dengan syarat rasio tulangan adalah $A_{min} \leq \rho \leq A_{max}$ dimana untuk kolom nilai $A_{min} = 1\%$ dan $A_{max} = 4\%$ sedangkan untuk balok $A_{min} = 0,35\%$ dan $A_{max} = 2,438\%$. Setelah kontrol terhadap kekuatan balok dan kolom lalu dilakukan pembahasan hasil analisa terhadap simpangan struktur, lendutan balok pada masing-masing tingkat, gaya-gaya dalam balok dan kolom struktur, dimensi struktur dan volume beton serta tegangan pada dinding pengisi.

Bangunan yang dianalisis pada tugas akhir ini berfungsi sebagai gedung hotel dengan ketinggian masing-masing lantai 3,6 m, bentang arah memanjang adalah 5m sedangkan bentang arah melintang adalah 5,75 m, 3 m dan kantilever 1,2 m seperti terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Dalam analisis dan perencanaan ini akan digunakan mutu material sebagai berikut:

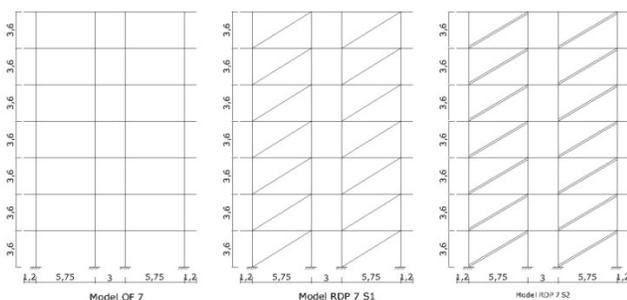
1. Mutu beton balok dan kolom (f'_c)= 30 MPa
2. Mutu beton lantai (f'_c)= 21 MPa
3. Tulangan lentur (f_y) = 400 MPa
4. Tulangan geser (f_{yv}) = 240 MPa

5. Mutu dinding pengisi yang digunakan antara lain:

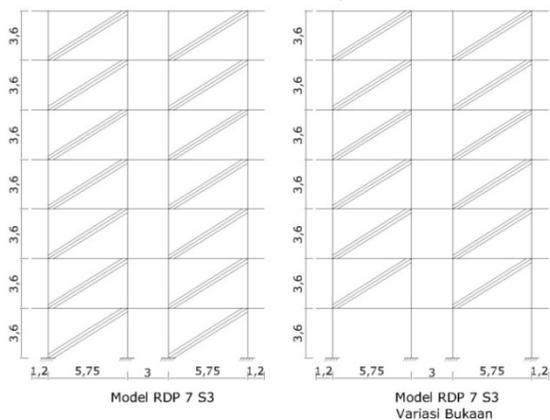
- Kuat tekan dinding pengisi (f_m)= 5 MPa
- Poisson rasio (μ) = 0,18
- Modulus elastisitas dinding pengisi (E_m)= 2750 Mpa (Mondal & Jain, 2008)



Gambar 3 Denah Bangunan



(a) Model struktur pada portal As 5 struktur 7 lantai (OF7, RDP7S1 dan RDP7S2)



(b) Model struktur pada portal As 5 struktur 7 lantai (RDP7S3 dan RDP7S3 dengan variasi penempatan dinding pengisi)

Gambar 4 Model Struktur pada Portal As-5 (a),(b)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Dimensi Struktur

. Pemodelan dinding pengisi, yang dalam hal ini dimodel sebagai strut, memberikan pengaruh pada pengurangan dimensi struktur balok dan kolom yaitu 27,8% (dari 242,127 cm menjadi 174,87 cm) pada struktur 4 lantai, 40,14% pada struktur 7 lantai dan 3,67% pada

struktur 10 lantai (Tabel 1). Pengurangan dimensi struktur ini secara langsung akan mengurangi volume beton dan atau volume tulangan pada struktur tersebut, yang akan memberikan efek pada biaya (Tabel 2). Sedangkan akibat adanya variasi penempatan dinding pengisi pada lantai 1 menyebabkan dimensi kolom pada lantai 1 menjadi lebih besar. Hal ini terjadi pada variasi bukaan RDP7S3SS3 dan RDP7S3SS4 seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 1 Perubahan Dimensi Balok dan Kolom Struktur

Tingkat	Lantai	OF		Lantai	RDP	
		Dimensi	ρ		Dimensi	ρ
4 lt		Balok			Balok	
		35/40	2.22%		25/40	0.61%
		30/45	0.76%		25/30	1.28%
		Kolom			Kolom	
1-2				Kolom tengah Lt 1; lt 2; kolom tepi lt 3		
		30/35	3.48%		30/30	3.53%
		30/30	2.61%	Kolom tepi Lt 1	30/35	1.85%
				Kolom tengah Lt 3; lt 4	25/30	2.82%
Luas permukaan		242.1			174.8	
7 lt		Balok			Balok	
		30/35	2.24%		35/40	0.94%
		35/40	2.02%		30/45	0.72%
		35/35	0.96%			
	Kolom			Kolom		
lt 1,2 & 3		40/40	2.08%	1-2	35/40	2.92%
		30/35	3.29%	3-4	30/35	3.72%
				5	30/30	1.08%
				6-7	25/30	2.68%
Luas permukaan		701.7			420.1	
10 lt		Balok			Balok	
		35/45	1.67%		35/45	1.67%
		35/40	0.79%		35/40	0.79%
		Kolom			Kolom	
	1	40/50	2.92%	1	45/45	2.53%
	2-4	40/45	3.10%	2-4	40/40	3.38%
	5-6	40/40	1.36%	5	35/35	3.34%
	7-8	30/35	2.64%	6-7	30/35	2.35%
	9-10	25/30	1.91%	8-10	30/30	2.39%
Luas permukaan		486.2			468.3	

Tabel 2 Rasio Tulangan Balok dan Kolom

Tingkat	Balok	Rasio Tulangan		Kolom	Rasio Tulangan	
		OF	RDP		OF	RDP
4 lt	35/40	2,22%	1,23%	30/35	3,48%	1,35%
	30/45	0,76%	0,69%	30/30	2,61%	1,00%
7 lt	30/35	2,24%	1,25%	40/40	2,08%	1,46%
	35/40	2,02%	1,06%	30/35	3,29%	1,00%
	35/35	0,96%	0,88%	35/35	3,29%	1,00%
10 lt	35/45	1,67%	0,67%	40/50	2,92%	2,35%
	35/40	0,79%	0,69%	40/45	3,10%	2,89%
				40/40	1,36%	1,00%
				30/35	2,64%	2,29%
				25/30	1,91%	1,98%

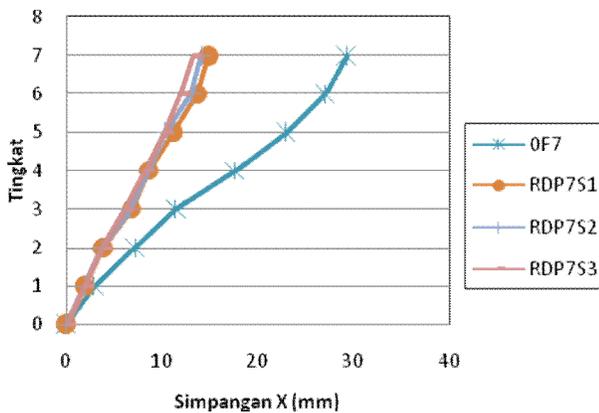
Tabel 3 Perubahan Dimensi Kolom Struktur Lantai 1

Kolom		Kolom		Kolom		Kolom		Kolom	
Dimensi	ρ	Dimensi	ρ	Dimensi	ρ	Dimensi	ρ	Dimensi	ρ
RDP7S3		RDP7S3SS1		RDP7S3SS2		RDP7S3SS3		RDP7S3SS4	
								40/45	1,95%
						40/40	2,44%	40/40	3,27%
35/40	2,93%	35/40	2,51%	35/40	3,20%	35/40	3,74%	35/40	1,31%
30/35	3,79%	30/35	3,71%	30/35	3,76%	30/35	3,94%	30/35	3,86%
30/30	1,08%	30/30	1,10%	30/30	1,09%	30/30	1,22%	30/30	1,00%
25/30	2,68%	25/30	2,70%	25/30	2,72%	25/30	2,78%	25/30	2,32%

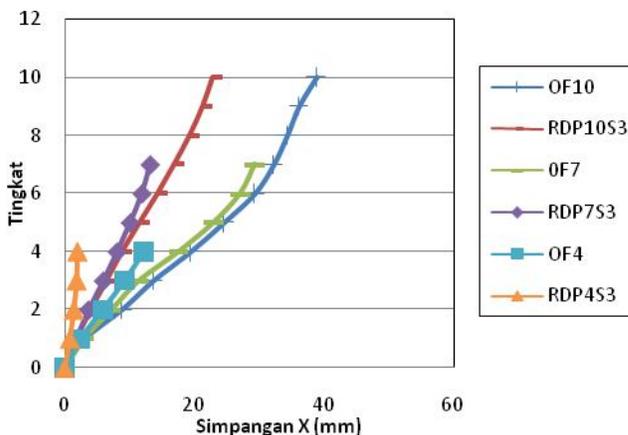
Dari Tabel 3 terlihat bahwa variasi penempatan dinding pengisi pada lantai 1 menyebabkan penambahan dimensi kolom struktur pada portal C dan D lantai 1 max sebesar 4,1% dibandingkan dengan RDP7S3.

4.2 Deformasi dan Lentutan

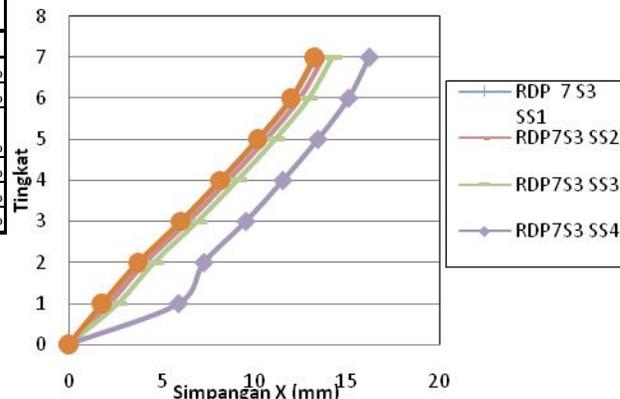
Hasil analisis struktur terhadap deformasi dan lentutan struktur pada semua model dapat dilihat pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.



(b) Simpangan Arah Sb-X pada Variasi jumlah Strut Akibat Kombinasi Beban D+L+E



(c) Simpangan Arah Sb- Pada Variasi Jumlah Tingkat Akibat Kombinasi Beban D+L+E



(d) Simpangan Arah Sb-X pada Variasi Penempatan DP Akibat Kombinasi Beban D+L+E

Gambar 5. Simpangan Arah Sb-X Struktur OF dan RDP 3,7 dan 10 Lantai Akibat Kombinasi Beban D+L+E

Deformasi OF dan RDP pada struktur 7 lantai akibat variasi jumlah strut dapat dilihat pada Gambar 5(a) tampak bahwa pemodelan dinding sebagai satu, dua dan tiga strut menunjukkan hasil yang konsisten dengan nilai deformasi pada lantai 7 masing-masing 14,83 mm, 14,05 mm, dan 13,23 mm. Dibandingkan dengan model OF, deformasi RDP lebih kecil antara 49,3%-54,8%. Dari Gambar 5 (b) terlihat bahwa pada struktur 4 lantai, struktur OF4 dan RDP4S3 mempunyai perbedaan simpangan sebesar 10,222 mm, pada struktur 7 lantai, struktur OF7 dan RDP7S3 mempunyai perbedaan simpangan sebesar 16,043mm, pada struktur 10 lantai, struktur OF10 dan RDP10S3 mempunyai perbedaan simpangan sebesar 16,035 mm. Pemodelan tersebut menggunakan dimensi seperti yang terlihat pada Tabel 1,2 dan 3. Grafik Nilai Simpangan X pada variasi penempatan dinding pengisi yang diperlihatkan pada Gambar 5(c) bahwa perbedaan simpangan X lantai ke-7 RDP7SS4 terhadap RDP7SS1 sebesar 2,841 mm, sedangkan jika dibandingkan dengan RDP7S3, simpangan X pada RDP7SS4 meningkat sebesar 2,921 mm dan jika

dibandingkan dengan OF7, maka simpangan X pada RDP7SS4 berkurang hingga 13,122mm. Deformasi arah Y untuk struktur RDP4S3, RDP7S3 dan RDP10S3 lebih besar dibandingkan dengan struktur OF4, OF7 dan OF 10. Hal ini merupakan penggambaran dari deformasi struktur ke arah Y, dimana dinding pengisi pada arah Y tidak diperhitungkan sebagai dinding struktural dan dimensi struktur pada RDP lebih kecil dibandingkan dengan dimensi struktur OF.

Deformasi arah X untuk variasi jumlah strut menunjukkan bahwa RDP memiliki rasio deformasi terhadap OF, secara berturut-turut sebesar 0,655; 0,639 dan 0,612 untuk satu, dua dan tiga strut. Pengaruh variasi penempatan dinding pada lantai 1 struktur gedung lantai 7 ini menyebabkan deformasi pada lantai 1 memiliki rasio sebesar 1,081; 1,218; 1,469 dan 3,278 untuk RDP7S3SS1, RDP7S3SS2, RDP7S3SS3, dan RDP7S3SS4 dibandingkan dengan model RDP7S3. Sedangkan perubahan deformasi arah X untuk lantai 1 lebih besar daripada deformasi pada lantai 2 hingga mencapai 327,81% yang terjadi pada RDP7S3SS4 dimana pada model tersebut tidak disertakan dinding pengisi pada lantai 1, sedangkan untuk RDP7S3SS1, RDP7S3SS2 dan RDP7S3SS3 perubahan deformasi yang terjadi sebanding yaitu masing-masing 108,14%, 121,77% dan 146,93%. Besarnya perubahan deformasi pada lantai 1 dan lantai 2 yang terjadi pada struktur RDP7S3SS3 dan RDP7S3SS4 menunjukkan telah terjadi keruntuhan yang bersifat soft storey. Pada variasi jumlah tingkat perbandingan simpangan arah X antara OF dengan RDP7S3 dengan variasi jumlah tingkatnya menunjukkan bahwa deformasi arah X RDP4S3 memiliki rasio 0,547 terhadap OF4, untuk RDP7S3 0,612 terhadap OF7 dan RDP10S3 memiliki rasio 0,581 terhadap OF10.

Pemodelan struktur yang mengikut sertakan dinding pengisi, memberikan hasil lendutan balok yang secara berturut-turut memiliki rasio 1,034; 0,782 dan 0,708 yang terjadi pada satu, dua dan tiga strut terhadap OF 7. Untuk struktur dengan variasi penempatan dinding pengisi, menunjukkan rasio lendutan balok OF terhadap RDP lantai 1 adalah 1,295 sedangkan untuk lantai 2 sampai dengan lantai 7 cenderung tidak mengalami perubahan lendutan.

4.3 Gaya Dalam Balok

Momen tumpuan balok RDP7S1, RDP7S2 dan RDP7S3 memiliki rasio adalah 0,713; 0,390 dan 0,395 dibandingkan dengan OF. Sedangkan struktur yang didisain dengan variasi jumlah strut menunjukkan bahwa jumlah strut mempengaruhi besarnya momen balok, dimana struktur dengan 3 strut memiliki momen yang paling kecil, dengan rasio maksimal 0,500 terhadap RDP7S1. Rasio momen tumpuan balok RDP7S3 terhadap OF 4 dan 10 lantai sebesar 0,563 dan 0,567.

Untuk momen lapangan balok diperlihatkan bahwa antara struktur dengan kombinasi jumlah strut dibandingkan terhadap OF7 menunjukkan bahwa secara berturut-turut momen lapangan balok RDP7S1, RDP7S2

dan RDP7S3 memiliki rasio 0,938; 0,713 dan 0,556 terhadap OF7. Sedangkan struktur yang didisain dengan variasi jumlah strut menunjukkan bahwa struktur dengan 3 strut memberikan nilai momen yang paling kecil dibandingkan struktur dengan 1 strut dan 2 strut, dengan rasio maksimal 0,697 terhadap RDP7S1. Pada struktur 4 lantai menunjukkan bahwa momen lapangan balok RDP4S3 memiliki rasio 0,714 terhadap OF4 serta pada struktur lantai 10 menunjukkan bahwa RDP10S3 memiliki momen lapangan balok dengan rasio 0,781 terhadap OF10.

Untuk struktur dengan variasi penempatan dinding pada lantai 1 menunjukkan bahwa secara berturut-turut momen tumpuan balok RDP7S3SS1, RDP7S3SS2, RDP7S3SS3, dan RDP7S3SS4 memiliki rasio 0,399; 0,394; 0,398 dan 0,405 jika dibandingkan dengan RDP7S3. Sedangkan untuk momen lapangan balok secara berturut-turut balok RDP7S3SS1, RDP7S3SS2, RDP7S3SS3, dan RDP7S3SS4 memiliki rasio 0,554; 0,553 dan 0,555 terhadap RDP7S3. Namun indikasi lain yang terlihat adalah adanya perubahan momen yang sangat mencolok antara momen balok lantai 1 dengan momen balok lantai di atasnya dengan rasio 2,10 untuk momen tumpuan dan 1,40 untuk momen lapangan yang terjadi pada struktur RDP7S3SS4. Hal ini menunjukkan bahwa penempatan dinding pengisi mempengaruhi momen yang terjadi pada balok karena dinding pengisi tersebut akan menambah kekakuan struktur, selain itu, perbedaan momen balok yang sangat besar antara balok lantai 1 dengan balok di atasnya merupakan salah satu indikasi adanya pengaruh penempatan dinding pengisi terhadap keruntuhan struktur yang bersifat softstorey.

Pada struktur dengan pemodelan dinding pengisi dengan variasi jumlah strut menunjukkan bahwa rasio gaya geser balok RDP7S1, RDP7S2 dan RDP7S3 terhadap OF7 berturut-turut senilai 0,842; 0,374, dan 0,508. Pada struktur dengan variasi penempatan dinding pengisi pada lantai 1 menunjukkan bahwa rasio gaya geser balok pada lantai 1 struktur RDP7S3SS1, RDP7S3SS2, RDP7S3SS3, dan RDP7S3SS4 secara berturut-turut adalah 1,077; 1,035; 1,075 dan 1,413 terhadap RDP7S3. Sedangkan rasio gaya geser balok pada lantai 2 sampai dengan lantai 7 cenderung tetap dan berkisar antara 0,1%-0,3%.

Indikasi lain yang terlihat adalah adanya perubahan gaya geser yang sangat mencolok antara gaya geser balok lantai 1 dengan gaya geser balok lantai di atasnya dengan rasio 1,46 yang terjadi pada RDP7S3SS4. Hal ini menunjukkan bahwa penempatan dinding pengisi mempengaruhi gaya geser yang terjadi pada balok karena dinding pengisi tersebut akan menambah kekakuan struktur, selain itu, perbedaan gaya geser balok yang sangat besar antara balok lantai 1 dengan balok di atasnya merupakan salah satu indikasi adanya pengaruh penempatan dinding pengisi terhadap keruntuhan struktur yang bersifat softstorey.

Pada struktur lantai 4 dan 10, rasio gaya geser balok RDP4S3 dan RDP10S3 masing-masing sebesar 0,593 dan 0,646 terhadap OF nya.

Untuk gaya aksial balok diperlihatkan bahwa struktur dengan variasi jumlah strut rasio gaya aksial pada struktur RDP7S1, RDP7S2 dan RDP7S3 masing-masing 5,289; 112,94 dan 44,768 terhadap OF7. Sedangkan untuk struktur dengan variasi penempatan dinding pengisi pada lantai 1 menunjukkan bahwa rasiogaya aksial balok lantai 1 struktur RDP7S3SS1, RDP7S3SS2, RDP7S3SS3, dan RDP7S3SS4 berturut-turut adalah 0,954; 1,031; 1,951, dan 0,603 terhadap RDP7S3. Untuk lantai 2 sampai dengan lantai 7, perubahan gaya aksial balok hingga 4,3% terhadap RDP7S3.

4.4 Gaya Dalam Kolom

Perbandingan momen yang terjadi pada kolom struktur pada pemodelan dinding pengisi dengan variasi jumlah strut menunjukkan bahwa rasio momen kolom RDP7S1, RDP7S2 dan RDP7S3 masing-masing sebesar 0,423; 0,223 dan 0,751 terhadap OF7. Untuk variasi penempatan dinding pengisi terlihat bahwa rasio momen kolom lantai 1 struktur RDP7S3SS1, RDP7S3SS2, RDP7S3SS3, dan RDP7S3SS4 berturut-turut adalah 0,722; 1,181; 1,474, dan 2,432 terhadap RDP7S3. Selain itu dari variasi penempatan dinding pengisi ini juga terlihat bahwa terjadi ketimpangan antara momen lantai 1 dengan lantai di atasnya dengan rasio 1,58 yang terjadi pada RDP7S3SS4. Hal ini merupakan salah satu indikasi keruntuhan struktur akibat softstorey. Akibat adanya variasi jumlah tingkat rasio momen struktur lantai 4 pada RDP4S3 terhadap OF4 sebesar 0,556, sedangkan pada lantai 10 rasio momen RDP10S3 yaitu 0,485 terhadap OF10.

Perbandingan gaya geser yang terjadi pada kolom struktur pada pemodelan dinding pengisi dengan variasi jumlah strut menunjukkan bahwa rasio gaya geser kolom RDP7S1, RDP7S2, dan RDP7S3 secara berturut-turut yaitu 0,276; 0,138, dan 3,198 terhadap OF7. Untuk variasi penempatan dinding pengisi terlihat bahwa rasio gaya geser kolom RDP7S3SS1, RDP7S3SS2, RDP7S3SS3 dan RDP7S3SS4 sebesar 1,109; 1,171; 1,418, dan 1,047 terhadap RDP7S3. Selain itu juga terlihat bahwa terjadi ketimpangan antara gaya geser lantai 1 dengan lantai di atasnya dengan rasio 1,95 terjadi pada struktur RDP7S3SS4. Hal ini merupakan salah satu indikasi keruntuhan struktur akibat softstorey. Akibat adanya variasi jumlah tingkat menunjukkan bahwa pada struktur lantai 4 memiliki rasio gaya geser kolom sebesar 2,458 terhadap OF4 dan pada lantai 10 struktur RDP10S3 memiliki rasio gaya geser senilai 4,796 terhadap OF10.

Perbandingan gaya aksial yang terjadi pada kolom struktur dapat digambarkan bahwa struktur dengan pemodelan dinding pengisi dengan variasi jumlah strut menunjukkan bahwa gaya aksial kolom RDP7S1, RDP7S2, dan RDP7S3 secara berturut-turut memiliki rasio 0,916; 0,912, dan 0,718 terhadap OF7. Untuk variasi

penempatan dinding pengisi menunjukkan bahwa gaya aksial kolom kolom lantai 1 struktur RDP7S3SS1, RDP7S3SS2, RDP7S3SS3, dan RDP7S3SS4 memiliki rasio 0,983, 1,000, 1,033, dan 1,037 terhadap RDP7S3. Selain itu dari variasi penempatan dinding pengisi ini juga terlihat bahwa terjadi ketimpangan antara gaya aksial lantai 1 dengan lantai di atasnya dengan rasio 1,24 yang terjadi pada RDP7S3SS3, sedangkan gaya aksial pada lantai 2 sampai dengan lantai 7 cenderung tetap. Akibat adanya variasi jumlah tingkat menunjukkan bahwa pada struktur lantai 4, RDP4S3 memiliki gaya aksial kolom dengan rasio 0,912 terhadap OF4. Sedangkan pada lantai 10 terlihat bahwa struktur RDP10S3 memiliki gaya aksial dengan rasio 0,974 terhadap OF10.

4.5 Tegangan Pada Dinding

Tegangan maksimum DP ditampilkan dalam Tabel 4. Tegangan pada DP yang ditinjau adalah tegangan tekan, geser, tarik pada strut yang memiliki gaya aksial terbesar, yaitu strut pada lantai dasar portal As 5 atau strut pada lantai 2 portal As 5 untuk model dengan variasi penempatan dinding. Tegangan tekan dan geser DP didapat dengan membagi komponen vertikal dan komponen horisontal gaya aksial strut dengan luas strut, sedangkan tegangan tarik DP diperoleh dari hasil perhitungan dengan rumus empiris (Persamaan 3).

Tabel 4 Tegangan Maksimum pada DP

Model Struktur	Aksial (KN)	Tegangan DP (Mpa)		
		Tekan	Geser	Tarik*
OF 4				
RDP 4 S3 (1/2 Strut)	16343.9	2.790	1.747	1.909
OF 7				
RDP 7 S1	23220	3.768	2.359	2.712
RDP 7 S2	21321.3	3.372	2.111	2.490
RDP 7 S3	20836.8	3.295	2.063	2.434
RDP 7 S3 SS1	22442.6	3.549	2.222	2.621
RDP 7 S3 SS2	22817.8	3.609	2.259	2.665
RDP 7 S3 SS3	27780.4	4.393	2.751	3.245
RDP 7 S3 SS4	30088.8	4.759	2.979	3.514
OF 10				
RDP 10 S3	38619.3	6.108	3.824	4.511

Catatan :

Kuat tekan dinding ($f'm$) = 5 Mpa

Tegangan geser ijin = $0.41 - 4.69 \text{ N/mm}^2$

Tegangan tarik ijin = $0.34 - 3.4 \text{ N/mm}^2$ (Agarwal, et al, 2006)

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa tegangan tarik yang terjadi telah melampaui tegangan ijin, yang berarti dalam keadaan batas, dinding sudah retak. Tegangan tekan yang terjadi masih lebih kecil dari kuat tekan dinding, hal ini berarti bahwa perencanaan dengan ekivalen diagonal strut

masih relevan. Untuk struktur 10 lantai dapat dilihat bahwa kuat tekan dinding sudah melebihi kuat tekan dinding pengisi yang direncanakan, hal ini berarti bahwa untuk struktur 10 lantai diperlukan dinding pengisi yang lebih tebal atau dengan kuat tekan yang lebih besar dari 5 Mpa.

5. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Analisis terhadap struktur bangunan yang dimodel sebagai open frame (OF) dan rangka dengan dinding pengisi (RDP) dengan variasi jumlah tingkat dan penempatan dinding pengisi pada lantai dasar telah dilakukan menggunakan SAP 2000. Struktur RDP 7 lantai dimodel menggunakan strut diagonal tunggal, ganda dan tiga strut sedangkan struktur RDP 4 dan 10 lantai dimodel menggunakan tiga strut. Dimensi rangka pada bangunan 4, 7, dan 10 lantai disesuaikan antara model OF dan RDP tiga strut untuk mendapatkan rasio tulangan yang sebanding. Pada lantai dasar dilakukan variasi penempatan dinding pengisi dengan menghilangkannya dari 9 dinding menjadi 8, 4, 3, dan 0 dinding. Sejumlah 16 model kemudian dianalisis dengan pembebanan vertikal dan lateral berupa gempa respon spektrum. Dari hasil analisis masing-masing model struktur ini dilihat simpangan, gaya-gaya dalam, luas penampang rangka, simpangan antar tingkat, dan tegangan pada dinding dan diperoleh kesimpulan berikut.

1. Model struktur RDP lebih kaku dan lebih kuat dari model struktur OF dimana simpangan lateral dan gaya-gaya dalamnya lebih kecil. Dengan demikian, pemodelan dinding pengisi sebagai bagian dari struktur tidak hanya menghasilkan model yang lebih mewakili, tetapi juga lebih efisien. Disamping itu, bahaya soft story juga teramati pada variasi penempatan dinding dalam model RDP.
2. Pada model 7 lantai, struktur RDP dengan satu, dua, dan tiga strut memiliki kekakuan lateral yang sebanding dan cenderung semakin kaku dengan bertambahnya jumlah strut. Dibandingkan dengan OF, struktur RDP memiliki deformasi lateral yang lebih kecil dengan rasio masing-masing sebesar 0,655, 0,636, dan 0,612 untuk model dengan satu, dua, dan tiga strut. Gaya-gaya dalam berupa momen lentur, geser, dan aksial pada rangka dalam RDP juga lebih kecil dibandingkan dengan gaya-gaya dalam pada rangka OF dengan rasio berkisar antara 0,223–0,916. Dengan demikian luas penampang rangka pada RDP rata-rata 40,14% lebih kecil dibandingkan dengan luas penampang rangka pada OF. Model RDP dengan 3 strut lebih baik dibandingkan dengan strut tunggal karena pengaruh dinding terhadap distribusi gaya-gaya dalam pada balok dan kolom termodelkan.
3. Pada variasi jumlah tingkat 4, 7 dan 10, rasio deformasi lateral pada RDP dan OF masing-masing

0,547, 0,612 dan 0,581 pada struktur tingkat 4, tingkat 7 dan tingkat 10, dengan luas penampang balok dan kolom berkurang sampai 40,41%.

4. Variasi penempatan dinding pada model RDP7S3 menghasilkan deformasi lateral yang cenderung meningkat sesuai dengan jumlah dinding yang dihilangkan pada lantai dasar. Pada variasi dengan menghilangkan semua dinding pada lantai dasar menghasilkan simpangan antar tingkat sangat besar dengan rasio 4:1 pada tingkat 1 dan tingkat 2. Hal ini merupakan fenomena soft storey.
5. Pada struktur 7 lantai, dinding 200mm dengan kekuatan tekan 5 MPa masih mampu memikul beban gempa rencana, walaupun pada bagian tarik dinding sudah retak. Pada struktur 10 lantai, kuat tekan dinding pada lantai bawah (lantai 1) sudah terlampaui, sehingga diperlukan dinding yang lebih tebal atau dinding dengan kuat tekan yang lebih besar (lebih kuat).

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk pemodelan dinding pengisi dengan berbagai variasi penempatan dinding pengisi selain pada lantai dasar serta memperhitungkan semua dinding yang ada (dinding arah memanjang dan dinding berlubang)

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, P. and Shrinkande, M. 2006. *Earthquake Resistant Design of Structure*. PHI Learning Pvt.Ltd.
- Bell, D.K. and Davidson, B.J. 2001. *Evaluation of Earthquake Risk Building with Masonry Infill Panels*. NZSEE 2001 Conference.
- Budiwati, I.A.M. 2009. *Experimental Compressive Strength and Modulus of Elasticity of Masonry*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Volume 13, Nomor 1, Januari 2009.
- Das.D. and Murty, C.V.R. 2004. *Brick Masonry Infill in Seismic Design of RC Frame Buildings : Part I – Cost Implication*. The Indian Concrete Journal. Juli 2004
- Demir, F. and Sivry, M. 2002. *Earthquake Responds of Masonry Infilled Frames*. ECAS 2002 International Symposium on Structural and Earthquake Engineering, October 14, 2002, Middle East Technical University Ankara, Turkey.
- Dewobroto, W. 2005. *Analisis Inelastis Portal Dinding Pengisi Dengan Equivalent Diagonal Strut*. Jurnal Teknik Sipil ITB, Edisi Vol. 12/4, Oktober 2005.
- Gunawan, K.M. 2011. *Analisis Konstruksi Bertahap pada Struktur Rangka dengan Dinding Pengisi*. Tugas Akhir pada Program Magister Program Studi

Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Udayana.

- Kermani, AM., Goldsworthy, HM., and Gad, E. 2008. *The Behaviour of RC Frames with Masonry Infill in Wechuan Earthquake*.
- Kaushik. 2006. *Code Approaches to Seismic Design of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames: A State of The Art Review*. Earthquake Spectra Volume 22, No.4, 961-983, 2006.
- Mahmud, et.al. 2010. *Study The Reinforced Concrete Frame with Brick Masonry Infill Due to Lateral Loads*. International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEE-IJENS Vol. 10, No.4
- Mondal, G. and Jain, S.K. 2008. *Lateral Stiffness of Masonry Infilled Reinforced Concrete (RC) Frames with Central Opening*. Earthquake Spectra Volume 24, No.3, Pages 701-723, August 2008, Earthquake Engineering Research Institute.
- Saneinejad, A., Hobbs, B. 1995. *Inelastic Design of Infilled Frames*. J.Struct.Engrg.,ASCE, 121(4), 634-650.
- Smith, B.S., and Coull, A. 1991. *Tall Building Structures ; Analysis and Design*. John Wiley and Sons, Inc.
- Sukrawa, M. 2010. *Penyertaan Dinding Pengisi dalam Pemodelan Rangka Beton Bertulang dan Pengaruhnya Terhadap Hasil Perencanaan Struktur*. Paper dalam Konteks 4 di Sanur-Bali, 2-3 Juni 2010.