

STUDI ANALITIKAL PERILAKU DAN KINERJA STRUKTUR RANGKA DINDING PENGISI DENGAN BUKAAN SENTRIS

I Putu Agus Putra Wirawan^{1,*}, I Ketut Diartama Kubon Tubuh¹, I Gede Gegiranang Wiryadi¹

¹Teknik Sipil, Universitas Mahasaraswati, Denpasar, Bali

*Corresponding authors: agusputrawirawan2020@unmas.ac.id

Submitted: 1 December 2021, Revised: 9 February 2022, Accepted: 1 March 2022

ABSTRACT: This study aims to compare the open frame structure (OF) with the centric perforated infill wall frame structure (IF) with reinforcement around the opening. Validation of the model on the results of laboratory tests was carried out. Next, a simple frame model is made to make an equation for the width of the diagonal strut. Single-stage IF is also made with an aperture ratio of 10% to 60% at 10% intervals and diagonal strut angles of 33°, 39°, 45°, 51°. The infill wall is made by modeling the diagonal strut and shell elements. After obtaining the strut width formula, it continues with applying the formula in modeling a three-story frame structure with varying diagonal strut angles. The results obtained are IF modeling with shell and strut diagonal elements that can follow the results of laboratory tests. From the analysis of the width of the diagonal strut, the formula $W_{co} = (d/4\tan\theta) \cdot C_c$, where d is the length of the diagonal; C_c is the coefficient of stiffness of the wall ($C_c = 1.2022r^2 - 2.0953r + 1.045$); r is the opening wall ratio; θ is a diagonal angle. The application of the strut width formula shows the behavior of the strut model coincides with the shell element model. The strength of the structure increases 57%-86% after the addition of walls. The difference in drift ratio shows that the diagonal strut angle is inversely proportional to the strength of the structure that occurs.

KEYWORDS: diagonal strut; diagonal strut angle; perforated IF structure; shell element; strut width equation.

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh perbandingan struktur rangka terbuka (RT) dengan struktur rangka dinding pengisi (RDP) berlubang sentris dengan perkuatan di sekitar bukaan. Dilakukan validasi model terhadap hasil uji laboratorium. Selanjutnya dibuat model rangka sederhana untuk membuat persamaan lebar strat diagonal. RDP satu tingkat juga dibuat dengan rasio bukaan 10% hingga 60% dengan interval 10% dan sudut strat diagonal 33°, 39°, 45°, 51°. Dinding pengisi dibuat dengan memodel strat diagonal dan elemen shell. Setelah diperoleh rumus lebar strat, dilanjutkan dengan penerapan rumus pada pemodelan struktur rangka tiga tingkat dengan sudut strat diagonal bervariasi. Hasil yang diperoleh adalah pemodelan RDP dengan elemen shell dan strat diagonal dapat mengikuti hasil uji laboratorium. Dari analisa lebar strat diagonal dihasilkan rumus $W_{co} = (d/4\tan\theta) \cdot C_c$, dengan d merupakan panjang diagonal; C_c merupakan koefisien kekakuan pasangan dinding ($C_c = 1.2022r^2 - 2.0953r + 1.045$); r merupakan rasio lubang dinding; θ merupakan sudut diagonal. Penerapan rumus lebar strat memperlihatkan perilaku model strat berhimpitan dengan model elemen shell. Kekuatan struktur meningkat 57%-86% setelah dilakukan penambahan dinding. Selisih drift rasio memperlihatkan sudut strat diagonal berbanding terbalik dengan kekuatan struktur yang terjadi.

KATA KUNCI: strat diagonal; sudut strat diagonal; struktur RDP berlubang; elemen shell; persamaan lebar strat.

© The Author(s) 2020. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

1 PENDAHULUAN

Rangka dinding pengisi (RDP) berlubang sudah banyak diuji dan terbukti dapat memperkaku struktur. Salah satu penelitian tentang RDP berlubang dilakukan oleh (Kakaletsis & Karayannis, 2009). Hasil penelitian menunjukkan model RDP berlubang lebih kaku dibandingkan model rangka terbuka (RT) tetapi lebih lemah dibandingkan model RDP dinding penuh.

Specimen RDP berlubang selalu mengalami kehancuran pada sudut lubang seperti yang dilakukan (Sukrawa, 2015) menunjukkan bahwa pada sudut lubang terjadi tegangan yang besar sehingga perlu perkuatan berupa balok-kolom praktis di sekeliling lubang. Perkuatan di sekeliling lubang mampu memperkecil tegangan pada sudut lubang sampai 34%.

RDP berlubang dengan perkuatan lintel di sekeliling lubang juga sudah diuji di laboratorium oleh (Sigmund & Penava, 2012). Pada penelitian ini, penambahan balok-kolom praktis memberikan dampak terhadap pola kegagalan struktur, perilaku dan daktilitas struktur secara menyeluruh.

Pemodelan RDP pada software SAP2000 dilakukan dengan memodel struktur rangka sebagai elemen batang *frame element* dan dinding pengisi sebagai elemen *shell (shell element)* atau strat diagonal.

Banyak peneliti membuat persamaan lebar strat diagonal. Beberapa diantaranya adalah persamaan (Mainstone, 1971), (Liau & Kwan, 1984), (Smith & Coull, 1991), (Paulay & Priestley, 1992), dan (Anonim, 2000). Persamaan lebar strat tersebut hanya untuk

menghitung lebar strat RDP dinding penuh. (G. Asteris et al., 2012) mengusulkan faktor reduksi untuk menghitung persamaan lebar strat RDP berlubang tanpa perkuatan di sekeliling lubang. Faktor reduksi tersebut tidak berlaku untuk struktur RDP dengan bukaan dan penambahan pengekang di tepi bukaan. (Sigmund & Penava, 2014) juga membuat rumus lebar strat equivalent untuk struktur RDP dengan bukaan dan perkuatan di sekitar bukaan. Akan tetapi persamaan tersebut memperhitungkan *damage states* yang dihitung berdasarkan hasil tes di laboratorium. Persamaan tersebut tidak aplikatif pada proses perencanaan gedung karena harus menentukan *damage states* terlebih dahulu. (Sukrawa & Budiwati, 2019) membuat rumus lebar strat struktur RDP dengan bukaan dan perkuatan di sekitar bukaan. Persamaan tersebut lebih sederhana dan lebih aplikatif. Akan tetapi persamaan tersebut tidak memperhitungkan sudut diagonal, sehingga hanya berlaku pada sudut diagonal tertentu.

Terkait permasalahan tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mendapatkan persamaan lebar strat yang berlaku untuk beberapa sudut diagonal yang relevan pada struktur gedung. Sudut diagonal yang dimaksud adalah 33° - 51°. Persamaan lebar strat yang dicari adalah untuk keperluan *design*. Setelah didapatkan persamaan lebar strat selanjutnya dilakukan pengaplikasian persamaan pada struktur rangka beton bertulang 3 tingkat. Antara model elemen shell dan strat diagonal akan dilakukan perbandingan perilaku, kinerja dan *drift ratio* struktur.

2 METODOLOGI

2.1 Strat Diagonal

Dinding pengisi menerima gaya lateral yang diberikan oleh rangka di sekelilingnya, sehingga dinding mengalami tekanan. Dinding akan menahan beban secara diagonal. Analogi tersebut sebagai dasar pemodelan dinding pengisi sebagai strat diagonal. Beberapa persamaan pendekatan yang dipakai untuk menentukan lebar strat (Wds) RDP dinding penuh antara lain:

1. Smith and Carter (1969)

$$w_{ds} = 0.58 \cdot \left(\frac{1}{H}\right)^{-0.445} \cdot (\lambda H)^{0.335} d \left(\frac{1}{H}\right)^{0.064} \dots\dots (1)$$

2. Mainstone (1971)

$$w_{ds} = 0.175(\lambda H)^{-0.4} \cdot d \dots\dots\dots (2)$$

3. Liauw and Kwan (1984)

$$w_{ds} = \frac{(0.95H \cos\theta)}{\sqrt{\lambda H}} \dots\dots\dots (3)$$

4. Paulay and Priestley (1992)

$$w_{ds} = \frac{d}{4} \dots\dots\dots (4)$$

2.2 Elemen Shell

Pemodelan RDP elemen shell dilakukan dengan memodel struktur rangka sebagai elemen batang (*frame element*) dan dinding pengisi sebagai elemen shell (*shell element*). Dipertimbangkan hubungan antara dinding dengan rangka yang dimodel berupa elemen link/gap yang dibuat oleh (Dorji & Thambiratnam, 2009). Pada kajiannya dibuat rumus kekuatan gap sebagai berikut:

$$K_g = 0.0378E_i t + 347 \dots\dots\dots (5)$$

keterangan, K_g merupakan kekuatan gap (N/mm/mm³), E_i merupakan modulus elastisitas pasangan dinding (MPa), dan t merupakan tebal pasangan dinding (mm).

2.3 Karakteristik Material

Modulus elastisitas beton (E_c) berdasarkan (Anonim, 2019) SNI 2847-2019/SNI Beton untuk nilai W_c 1440 s.d. 2560 kg/m³ sebagai berikut:

$$E_c = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (6)$$

keterangan, E_c merupakan modulus elastisitas beton (MPa), w_c merupakan berat jenis beton (kg/m³), dan f'_c merupakan kuat tekan beton (MPa). Diagram tegangan-regangan beton dihitung berdasarkan rumus yang diusulkan oleh (Mander et al., 1988).

Modulus elastisitas pasangan dinding (*masonry*) dihitung menggunakan persamaan FEMA-356, yaitu:

$$E_m = 550f'_m \dots\dots\dots (7)$$

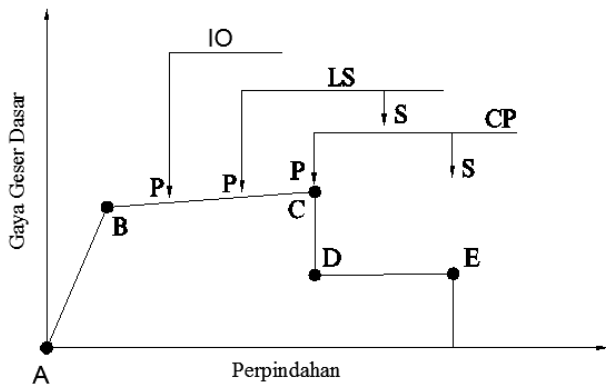
merupakan E_m merupakan modulus elastisitas pasangan dinding (MPa) serta f'_m merupakan kuat tekan dinding. (Kaushik et al., 2007) membuat tegangan-regangan pasangan dinding bata terdiri dari dua fase, yaitu bagian nonlinier (*parabolic variation*) dan bagian linier (*linear variation*).

2.4 Analisa Nonlinear Statik Pushover pada Aplikasi SAP2000

Analisa nonlinier statik *pushover* adalah prosedur analisis untuk memperoleh perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa (*pushover*).

Produk dari analisis *pushover* adalah kurva kapasitas yang memperlihatkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dengan perpindahan titik kontrol atau acuan pada atap ditunjukkan pada Gambar 1.

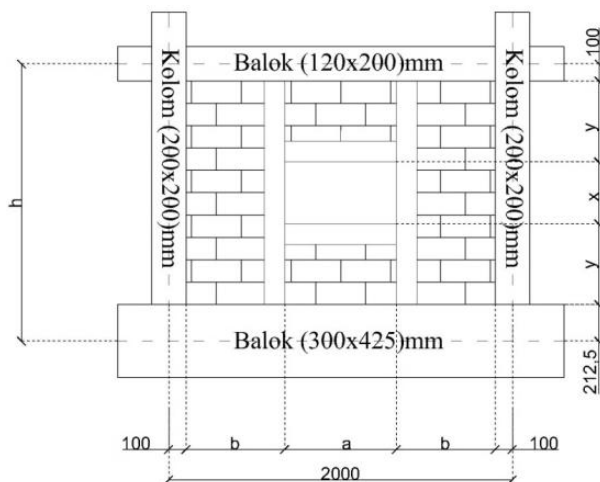
Penelitian dimulai dengan memodel validasi berdasarkan hasil uji laboratorium yang dilakukan (Sigmund & Penava, 2012). Dibuat tiga buah model, terdiri dari model RDP dinding penuh (MIFS), RDP bukaan pintu (MIFDO), dan RDP bukaan jendela (MIFWO). Data material model validasi sesuai dengan penelitian (Sigmund & Penava, 2012).



Gambar 1. Diagram Kapasitas Analisis *Pushover* (Sumber: Anonim, 1997)

Lebar strat pada pemodelan strat diagonal pada RDP berlubang dicari dengan metode *trial and error* hingga respon yang dihasilkan mendekati hasil *test* laboratorium. Sedangkan untuk RDP dinding penuh digunakan rumus pendekatan sesuai dengan penelitian (Sukrawa & Budiwati, 2019).

Jika respon model validasi sudah mendekati hasil uji laboratorium, dilanjutkan dengan membuat model rangka sederhana. Model tersebut berupa struktur RDP berlubang sentris dengan rasio bukaan 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% serta perkuatan di sekeliling lubang. Model RDP dibuat satu tingkat dengan sudut diagonal 33°, 39°, 45°, dan 51°. Bentang balok tetap (2000 mm) dan tinggi kolom bervariasi sesuai sudut diagonal yang ditinjau. Geometri model rangka sederhana dijelaskan pada Gambar 2 serta Tabel 1.



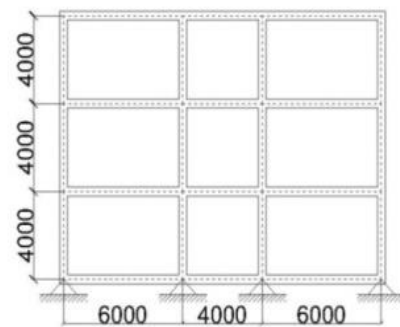
Gambar 2. Geometri Struktur Model Rangka Sederhana

Lebar strat diagonal masing-masing sudut diagonal didapatkan dengan cara coba-coba (*trial and error*). Analisis ini menggunakan analisis linear. Setelah lebar strat diagonal masing-masing model rangka sederhana didapat, dilanjutkan dengan mencari rumus lebar strat diagonal pada struktur RDP dengan bukaan sentris serta perkuatan di sekitar bukaan.

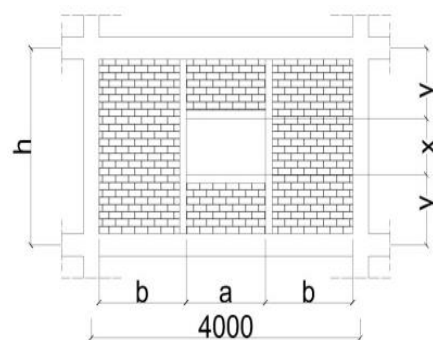
Tabel 1. Nilai h, a, b, x, dan y masing-masing Model Rangka Sederhana

Model	Geometri (mm)				
	h	a	b	x	y
MSh1033	1299	650	575	274.0	356.3
MSh2033	1299	720	540	493.3	246.6
MSh3033	1299	900	450	591.9	197.3
MSh4033	1299	720	540	986.5	
MSh5033	1299	900	450	986.5	
MSh6033	1299	1080	360	986.5	

Model rangka menggunakan bentang balok konstan dan tinggi kolom yang bervariasi sesuai sudut diagonal yang ditinjau (33°, 39°, 45°, dan 51°). Pada bentang tengah portal ditambahkan dinding pengisi. Dinding pengisi dimodelkan sebagai strat diagonal dan elemen shell dengan rasio bukaan 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60%. Geometri model rangka tiga tingkat dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 serta Tabel 2.



Gambar 3. Geometri Model Rangka 3



Gambar 4. Variasi Lubang pada Dinding Pengisi yang Dimodel pada Model Rangka (Portal)

Analisis yang dilakukan adalah dengan nilai modulus elastisitas dan inersia (EI) tetap, analisis dengan variasi inersia (I) dengan modifikasi Inersia pada SNI 2847-2019 dan analisis EI yang bervariasi, sesuai dengan tegangan-regangan. Dilakukan perbandingan perilaku, kinerja dan drift rasio struktur.

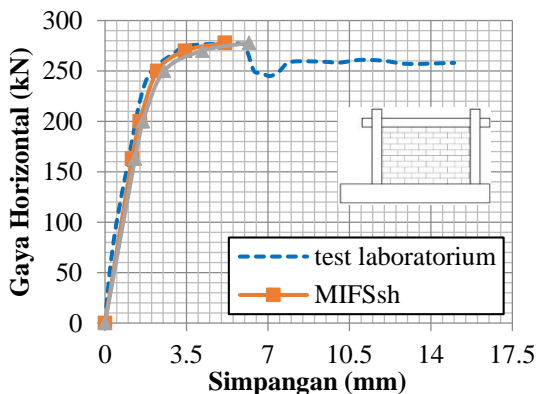
Tabel 2. Nilai h, a, b, x dan y masing-masing model rangka (Portal)

Model	Geometri (mm)				
	h	a	b	x	y
M3Sh1033	2598	1300	1150	609.0	794.5
M3Sh2033	2598	1440	1080	1099.0	549.5
M3Sh3033	2598	1800	900	1318.8	439.6
M3Sh4033	2598	1440	1080	2198.0	
M3Sh5033	2598	1800	900	2198.0	
M3Sh6033	2598	2160	720	2198.0	

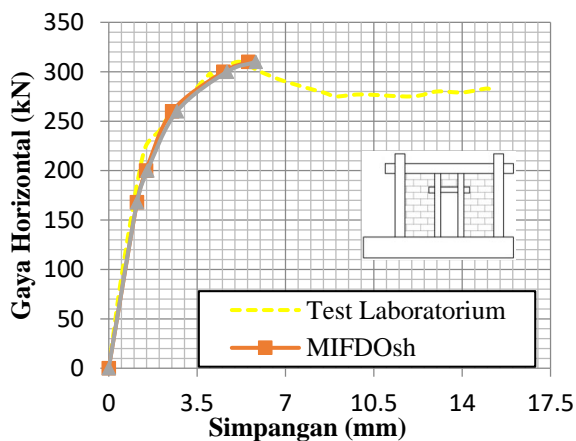
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Model Validasi

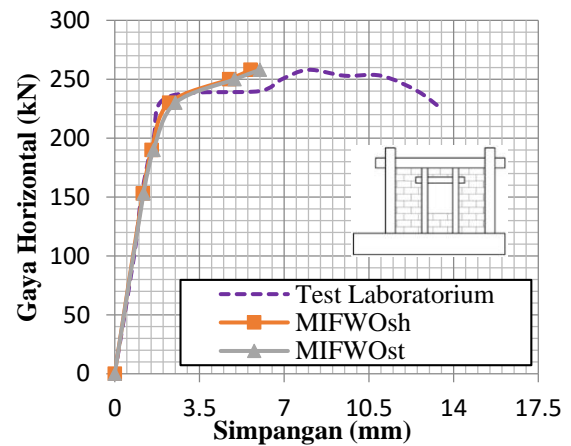
Perbandingan respon model validasi dengan hasil test laboratorium ditunjukkan pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7. Hasil validasi menunjukkan respon model elemen shell dan strat diagonal mampu menirukan respon hasil test laboratorium sampai beban horizontal maksimum masing-masing model. Tetapi simpangan model elemen shell dan strat diagonal yang dihasilkan lebih kecil dari simpangan hasil test laboratorium.



Gambar 5. Perbandingan Kurva Gaya Horizontal-Simpangan Antara Model Dinding Penuh



Gambar 6. Perbandingan Kurva Gaya Horizontal-Simpangan Antara Model Buka Pintu



Gambar 7. Perbandingan Kurva Gaya Horizontal-Simpangan Antara Model Buka Jendela

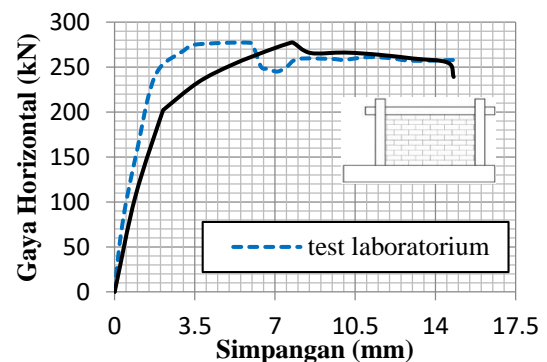
Rumus lebar strat struktur RDP dinding *solid* pada kajian ini sesuai dengan penelitian (Sukrawa & Budiwati, 2019). Persamaan lebar strat RDP dinding penuh tersebut adalah: $w_s = \frac{d}{4}$, w_s adalah lebar strat diagonal RDP dinding penuh, d adalah panjang strat diagonal. Persamaan tersebut diusulkan oleh (Paulay & Priestley, 1992). Pada Tabel 3 ditunjukkan lebar strat.

Tabel 3. Lebar Strat Diagonal Model Validasi

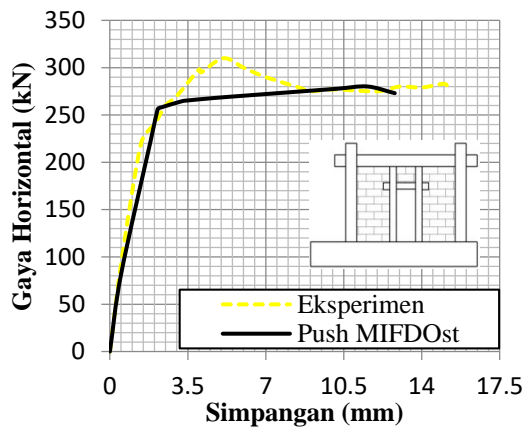
Model	Lebar Strat diagonal (mm)
MIFSst	642.27
MIFDOst	940*
MIFWOst	870*

*diperoleh dengan cara *trial and error*

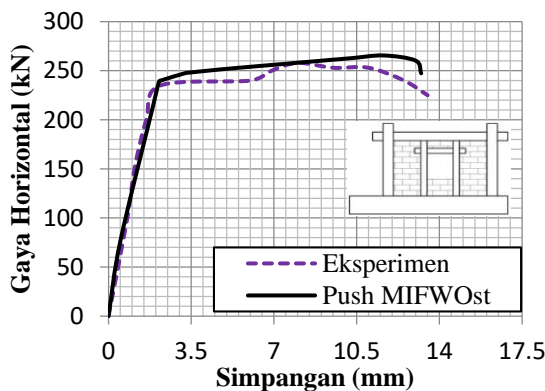
Hasil analisis nonlinear *statik pushover* pada model validasi strat diagonal ditunjukkan pada Gambar 8 sampai dengan Gambar 10. Simpangan hasil analisis *pushover* lebih kecil dibandingkan hasil *test* laboratorium. Pada model validasi RDP dinding penuh simpangan hasil analisis *pushover* lebih kecil 44.7% sampai dengan 54.92%. Sedangkan pada model pada model validasi RDP berlubang terjadi perbedaan simpangan rata-rata 7.3%.



Gambar 8. Perbandingan Kurva Gaya Horizontal-Simpangan Antara Model MIFSst Analisis *Pushover* dengan Hasil Test Laboratorium



Gambar 9. Perbandingan Kurva Gaya Horizontal-Simpangan Antara Model MIFDOst Analisis *Pushover* dengan Hasil Test Laboratorium



Gambar 10. Perbandingan Kurva Gaya Horizontal-Simpangan Antara Model MIFWOst Analisis *Pushover* dengan Hasil Test Laboratorium

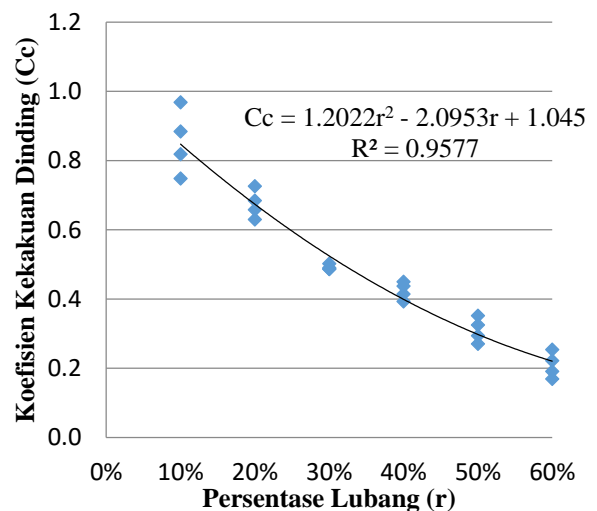
3.2 Analisa Lebar Strat Diagonal pada Struktur Model Rangka Sederhana

Lebar strat diagonal RDP bukaan dicari dengan metode *trial and error* hingga rasio simpangan model elemen shell dan strat diagonal mendekati satu. Sedangkan lebar strat RDP dinding penuh menggunakan persamaan (Paulay & Priestley, 1992) sesuai penelitian (Sukrawa & Budiwati, 2019). Lebar strat model rangka sederhana dapat disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Lebar Strat Diagonal Model Validasi

r	Lebar Strat (mm)			
	sudut 33°	sudut 39°	sudut 45°	sudut 51°
0%	596.21	642.27	707.11	794.55
10%	687	649	625	623
20%	578	522	484	467
30%	450	386	344	323
40%	413	347	293	253
50%	323	258	208	174
60%	233	176	135	109

Lebar strat diagonal yang didapat dari analisis model rangka sederhana digunakan untuk menghitung persamaan koefisien kekakuan dinding (C_c). Untuk memasukan pengaruh sudut diagonal pada persamaan koefisien kekakuan dinding (C_c), lebar strat tersebut dikalikan dengan tangen masing-masing sudut diagonal yang ditinjau. Setelah dikalikan tangen masing-masing sudut diagonal, selanjutnya dibagi dengan lebar strat RDP dinding penuh masing-masing sudut diagonal. Seluruh koefisien kekakuan dinding (C_c) yang didapat kemudian di plot pada *microsoft excel* dengan sumbu y merupakan nilai C_c dan sumbu x merupakan nilai persentase lubang (r). Titik-titik koordinat nilai C_c tersebut, dicari persamaan yang mewakili dengan analisis regresi sederhana. Hal tersebut dilakukan untuk mencari hubungan antara nilai C_c dengan nilai r . Grafik hubungan nilai C_c dan r dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hubungan antara koefisien kekakuan dinding (C_c) dengan persentase lubang (r)

Persamaan lebar strat didapat dengan mengembalikan bentuk C_c ke bentuk semula, yaitu dibagi dengan tangen sudut dan dikalikan dengan lebar strat RDP dinding penuh. Persamaan lebar strat menjadi:

$$W_{CO} = \frac{d}{4 \tan \theta} \times C_c \dots \dots \dots (8)$$

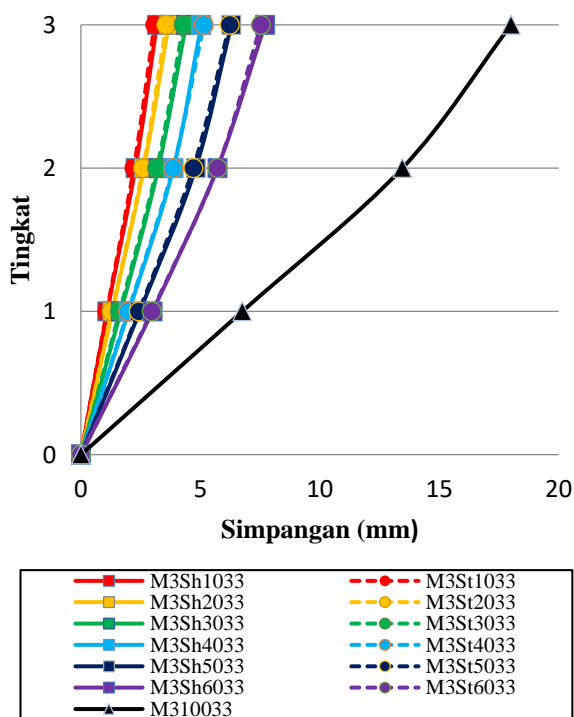
W_{CO} merupakan lebar strat, d merupakan panjang strat, C_c merupakan koefisien kekuatan dinding ($C_c = 1.2022r^2 - 2.0953r + 1.045$), r merupakan persentase lubang, θ merupakan sudut strat diagonal ($\tan \theta = \frac{H}{L}$), H merupakan tinggi kolom, L merupakan panjang bentang balok. Rumus ini hanya berlaku untuk struktur RDP dengan bukaan sentris serta perkuatan di sekitar bukaan. Persamaan ini juga dibatasi hanya pada persentase lubang 10% sampai dengan 60% dan sudut diagonal 33° sampai dengan 51°.

3.3 Penerapan Persamaan Lebar Strat Diagonal pada Struktur Rangka 3 Tingkat

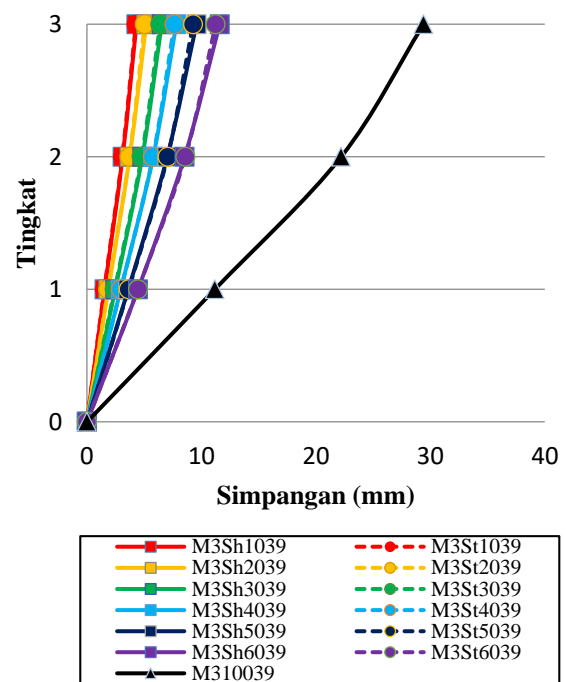
Pengaplikasian persamaan lebar strat dilakukan untuk membandingkan perilaku antara model strat diagonal dan elemen shell. Perbandingan simpangan tiap lantai antara model elemen shell dan strat diagonal hampir sama. Pada analisis dengan EI tetap terjadi selisih deformasi antara model strat diagonal dan elemen shell sebesar 0.15% sampai dengan 4.06%. Pada analisis dengan I bervariasi terjadi perbedaan simpangan sebesar 0.35% sampai dengan 11.11%. Sedangkan pada analisis dengan variasi EI terjadi perbedaan simpangan sebesar 0.44% sampai dengan 11.11%. Penambahan dinding pengisi pada bentang tengah portal 3 tingkat dapat mengurangi simpangan sebesar 57% sampai dengan 84%. Perbandingan simpangan tiap tingkat pada analisis dengan EI tetap disajikan pada Gambar 12 hingga dengan Gambar 14.

Tabel 5. Lebar Strat Diagonal Model Rangka 3 Tingkat

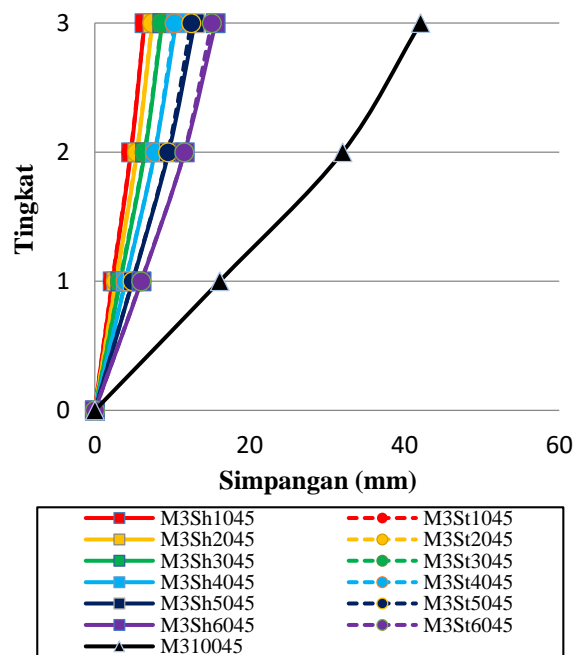
r	Lebar Strat Model Rangka 3 Tingkat (mm)			
	$\varnothing = 33^\circ$	$\varnothing = 39^\circ$	$\varnothing = 45^\circ$	$\varnothing = 51^\circ$
10%	1556	1347	1199	1091
20%	1238	1071	953	867
30%	963	834	742	675
40%	733	634	565	514
50%	547	473	421	383
60%	405	351	312	284



Gambar 11. Perbandingan Simpangan Model Rangka 3 Tingkat dengan Sudut Diagonal 33°



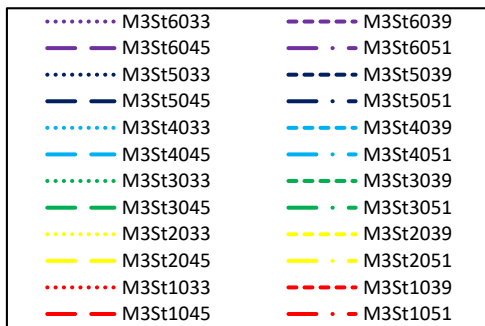
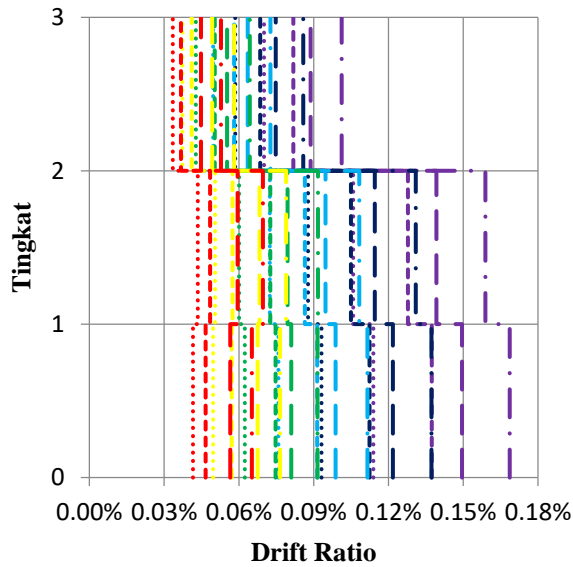
Gambar 12. Perbandingan Simpangan Model Rangka 3 Tingkat dengan Sudut Diagonal 39°



Gambar 13. Perbandingan Simpangan Model Rangka 3 Tingkat dengan Sudut Diagonal 45°

3.4 Perbandingan *Drift Ratio* pada Model Rangka 3 Tingkat

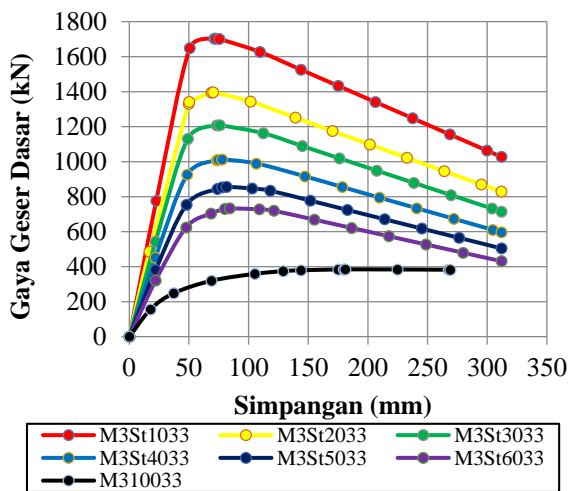
Perbedaan *drift ratio* menunjukkan sudut strat diagonal berbanding terbalik dengan kekuatan struktur. Semakin kecil sudut diagonal, *drift ratio* yang dihasilkan semakin kecil sehingga struktur semakin kaku. Semakin besar sudut diagonal, *drift ratio* yang dihasilkan semakin besar sehingga struktur semakin lemah. Perbandingan *drift ratio* dapat dilihat pada **Gambar 14**.



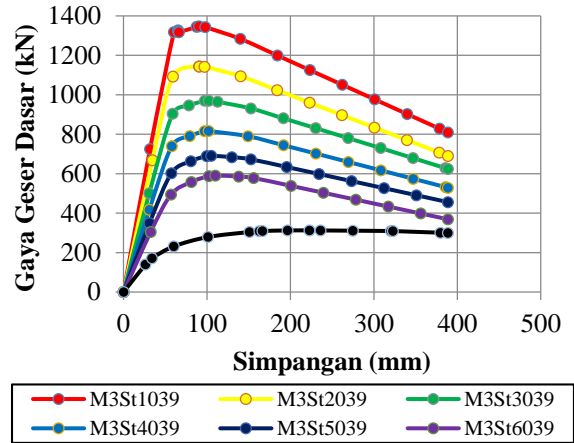
Gambar 14. Perbandingan Drift Ratio

3.5 Hasil Analisis Nonlinear *Statik Pushover* pada Model Rangka 3 Tingkat

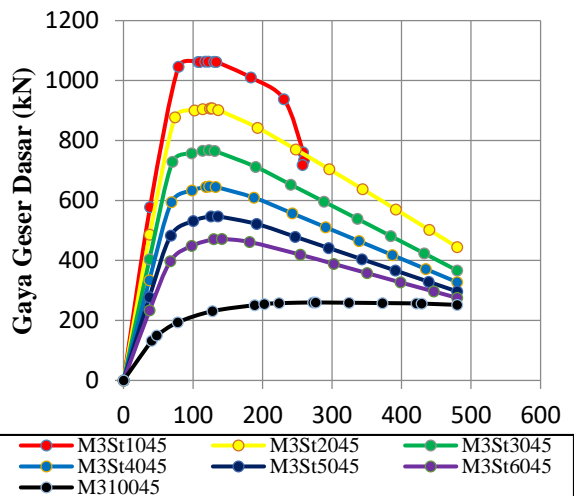
Hasil analisis nonlinear *statik pushover* berupa kurva gaya geser dasar-simpangan (disajikan pada Gambar 16 hingga dengan Gambar 19).



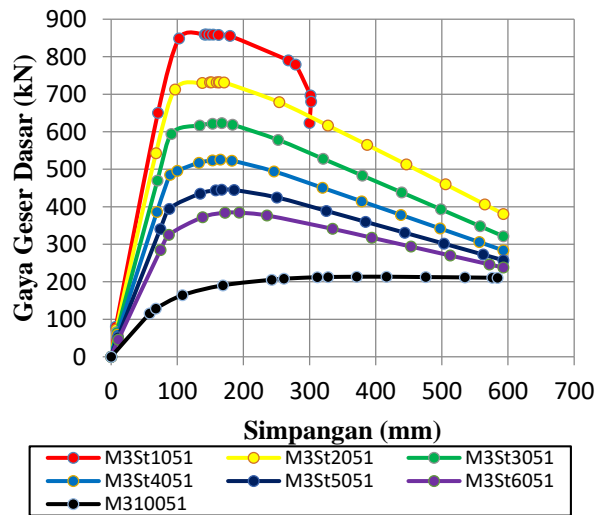
Gambar 15. Perbandingan Kurva Kapasitas Model Rangka 3 Tingkat dengan Sudut Diagonal 33°



Gambar 16. Perbandingan Kurva Kapasitas Model Rangka 3 Tingkat dengan Sudut Diagonal 39°



Gambar 17. Perbandingan Kurva Kapasitas Model Rangka 3 Tingkat dengan Sudut Diagonal 45°



Gambar 18. Perbandingan Kurva Kapasitas Model Rangka 3 Tingkat dengan Sudut Diagonal 51°

Level kinerja struktur rangka terbuka rata-rata mencapai kondisi LS (keselamatan penghuni terjamin). Setelah kontribusi dinding pengisi berlubang dengan perkuatan diperhitungkan gaya geser dasar maksimum yang dihasilkan meningkat 44.47% sampai dengan 77.43%. Level kinerja berubah setelah kontribusi dinding pengisi berlubang dengan perkuatan diperhitungkan, yaitu mencapai level IO (segera dapat dibangun) pada rangka dan mencapai kondisi plastis pada dinding.

4 KESIMPULAN

Dari semua analisis dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Didapat persamaan lebar strat sebagai berikut:

$$W_{CO} = \frac{d}{4 \tan \emptyset} \times (1.2022r^2 - 2.0953r + 1.045)$$
 keterangan:
 d merupakan panjang strat diagonal (as balok dan kolom); \emptyset merupakan sudut diagonal; $\tan \emptyset = H/L$; H merupakan tinggi kolom (diukur dari as ke as balok); L adalah bentang balok; r merupakan rasio lubang dinding.
2. Penerapan rumus lebar strat diagonal tersebut pada model rangka tiga tingkat diperlihatkan bahwa pemodelan strat diagonal dan elemen shell memiliki perilaku yang sama baik di analisis menggunakan analisis dengan EI tetap, variasi I, maupun variasi EI. Selisih *drift ratio* menunjukkan sudut diagonal berbanding terbalik dengan kekuatan struktur. Semakin kecil sudut strat diagonal, semakin besar kekuatan struktur yang dihasilkan, begitu juga sebaliknya.
3. Setelah kontribusi dinding pengisi diperhitungkan, gaya geser dasar maksimum meningkat 44.47%-77.43%. Kinerja model rangka terbuka 3 tingkat rata-rata mencapai level LS (keselamatan penghuni dapat terjamin). Setelah kontribusi dinding pengisi diperhitungkan, level kinerja model RDP 3 tingkat mencapai level IO (segera dapat dipakai) pada rangka. Sedangkan pada strat mencapai kondisi plastis.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (1997). *NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings: FEMA 273*. Washington D.C: Federal Emergency Management Agency.
- Anonim. (2000). *FEMA 356 Prestandard*. Washington D.C: Federal Emergency Management Agency.
- Anonim. (2019). *SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Dorji, J., & Thambiratnam, D. P. (2009). Modelling and Analysis of Infilled Frame Structures Under Seismic Loads. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 3(2), 119–126. <https://doi.org/10.2174/1874836800903020119>
- G. Asteris, P., Giannopoulos, I. P., & Chrysostomou, C. Z. (2012). Modeling of Infilled Frames With Openings. *The*

- Open Construction and Building Technology Journal*, 6 (Suppl 1), pp 81-91. <https://doi.org/10.2174/1874836801206010081>
- Kakaletsis, D. J., & Karayannis, C. G. (2009). Experimental investigation of infilled reinforced concrete frames with openings. *ACI Structural Journal*, 106(2), 132–141. <https://doi.org/10.14359/56351>
- Kaushik, H. B., Rai, D. C., & Jain, S. K. (2007). Stress-strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression. *Journal of Materials in Civil Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:9\(728\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:9(728))
- Liauw, T. C., & Kwan, K. H. (1984). Nonlinear behaviour of nonintegral infilled frames. " *Comput. Struct*, 18, 551–560.
- Mainstone, R. (1971). The Influence of Bounding Frame on the Racking Stiffness and Strength of Brick Walls. *Proceedings of the 2nd International Brick Masonry Conference*.
- Mander, J. B., Priestley, M. J., & Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering (United States)*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1988\)114:8\(1804\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804))
- Paulay, T., & Priestley, M. J. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. John Wiley and Sons, Inc.
- Sigmund, V., & Penava, D. (2012). Experimental Study of Masonry Infilled R/C Frames with Opening. *Proceeding at 15 WCEE*.
- Sigmund, V., & Penava, D. (2014). Influence of openings, with and without confinement, on cyclic response of infilled R-C frames - An experimental study. *Journal of Earthquake Engineering*, 18(1), 113–146. <https://doi.org/10.1080/13632469.2013.817362>
- Smith, B. S., & Coull, A. (1991). *Tall Building Structures - Analysis & Design*. John Wiley & Sons Inc.
- Sukrawa, M. (2015). Earthquake response of RC infilled frame with wall openings in low-rise hotel buildings. *Procedia Engineering*, 125, 933-939. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.118>
- Sukrawa, M., & Budiwati, I. A. M. (2019). Analysis and design methods for infilled frames with confined openings. *International Journal of Technology*, 126–136. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i2.2467>