

## STUDI PARAMETRIK PADA STRUKTUR RANGKA DINDING PENGISI BERLUBANG DENGAN DAN TANPA PENGEKANG DAN APLIKASINYA DALAM PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG

Putu Dyah Jasmine Pradnyantari<sup>1</sup>, Made Sukrawa<sup>2</sup>, Ida Ayu Made Budiwati<sup>3</sup>

<sup>123</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Udayana

[jasminedyah@yahoo.com](mailto:jasminedyah@yahoo.com)

### ABSTRAK

Dinding pengisi dalam analisis struktur dapat dimodel sebagai strat diagonal dengan lebar strat sebagai fungsi dari modulus elastisitas, material rangka (*frame*) ( $f_c$ ), material dinding ( $f_m$ ), momen inersia kolom, sudut diagonal, dan panjang diagonal. Struktur rangka dinding pengisi berlubang (RDPB) dapat juga dimodel menggunakan *shell element* dan elemen *frame*. Studi ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh parameter yaitu, sudut diagonal, kekakuan kolom, posisi dan rasio lubang (dengan dan tanpa pengekang),  $f_c$ , dan  $f_m$  terhadap perilaku RDPB pada struktur gedung 5 lantai akibat bebani gempa. Sebanyak 37 model dibuat dengan memvariasikan parameter tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter yang sensitif dan penting untuk diperhatikan dalam pemodelan RDPB adalah mutu dinding, rasio lubang dan sudut diagonal. Penambahan pengekang berupa balok dan kolom praktis juga merupakan parameter penting yang mempengaruhi perilaku RDPB karena menghasilkan struktur yang lebih kaku dan lebih kuat. Penurunan simpangan struktur dan tegangan pada dinding masing-masing sebesar 43% dan 14%. Penambahan pengekang juga menghasilkan penurunan gaya-gaya dalam dan kebutuhan tulangan pada balok dan kolom rangka. Posisi lubang sentris dan eksentris berpengaruh sangat kecil terhadap simpangan struktur dan tegangan pada dinding sehingga tidak penting untuk dibedakan dalam pemodelan. RDPB dengan lubang eksentris menghasilkan penurunan simpangan struktur dan tegangan dinding 1% dan 0,8% lebih kecil dibandingkan dengan simpangan struktur dan tegangan dinding pada struktur dengan lubang sentris.

*Kata kunci: kuat tekan dinding, perilaku seismik, rangka dinding pengisi berlubang, rasio lubang, sudut diagonal,*

## PARAMETRIC STUDY ON INFILLED FRAME WITH CONFINED AND UNCONFINED OPENING AND ITS APPLICATIONS ON BUILDING STRUCTURE DESIGN

### ABSTRACT

The infill wall in structural analysis can be modelled as a diagonal strut with the strut width as a function of elastic modulus, frame material (*frame*), wall material ( $f_m$ ), column moment of inertia, diagonal angle, and diagonal length. The infilled frame with the wall opening (RDPB) can also be modelled using shell and frame elements. This study aims to analyse the effect of parameters namely, diagonal angles, column stiffness, opening position and ratio (with and without confinement),  $f_c$ , and  $f_m$  on the RDPB behaviour of the 5-story building structure due to earthquake loads. A total of 37 models were created by varying these parameters. The results showed that the parameters that are sensitive and important to consider in RDPB modelling are wall quality, opening ratio and diagonal angles. The addition of confinements in the form of practical beams and columns is also an important parameter that affects the behaviour of the RDPB because it produces stiffer and stronger structure. The reduction in structural displacement and wall stresses was 43% and 14%, respectively. The addition of confinements also results in a decrease in internal forces and reinforcement requirements on beams and frame columns. The opening position whether centric or eccentric has very little effect on the structural displacement and stress on the wall so it is not important to be distinguished in modelling. RDPB with eccentric opening results in a 1% and 0.8% decrease in structural displacement and wall stress compared to those of centric opening structures.

**Keywords:** *compressive strength of wall, diagonal angle, infilled frame with opening, seismic behavior, opening ratio*

## 1. PENDAHULUAN

Pemodelan rangka dinding pengisi berlubang terkekang dapat dilakukan menggunakan strat diagonal atau dengan *shell element*. Pada metode strat diagonal parameter yang berpengaruh terhadap lebar strat berdasarkan rumus FEMA 356 adalah modulus elastisitas dari material *frame* dan material dinding, momen inersia kolom, panjang dan tinggi dinding, tebal dinding, panjang diagonal dinding, dan sudut diagonal. Penelitian awal tentang sensitivitas model rangka dinding pengisi berlubang dengan elemen shell oleh Pradnyantari et al (2016) telah dilakukan dengan memvariasikan modulus elastisitas beton ( $E_c$ ), modulus elastisitas dinding ( $E_m$ ), dan kekakuan gap ( $k_g$ ). Parameter yang paling sensitif terhadap perilaku struktur berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adalah mutu beton dan mutu dinding, sedangkan kekakuan gap tidak sensitif, jadi pada penelitian ini kekakuan gap tidak lagi ditinjau.

Pada penelitian ini dibuat model rangka dinding pengisi berlubang (RDPB) menggunakan *shell element* pada perangkat lunak/*software* SAP2000 dengan memperhatikan parameter yang memengaruhi rumus lebar strat seperti sudut diagonal, kekakuan kolom (dimensi kolom), mutu beton, mutu dinding, rasio lubang pada posisi lubang sentris dan eksentris dengan dan tanpa pengekang untuk diketahui parameter mana yang sensitif terhadap perilaku struktur. Parameter-parameter ini akan diuji untuk mengetahui perilaku yang paling sensitif dalam aplikasi rangka dinding pengisi berlubang struktur gedung 5 lantai.

Dalam penelitian ini dinding pengisi dimodel sebagai shell element dengan tujuan memudahkan pemodelan (tidak memerlukan rumus penentuan lebar strat) dan untuk mengetahui sensitivitas terhadap parameter – parameter yang akan diuji. Sebelum dilakukan pemodelan aplikasi (RDPB), dilakukan model validasi terhadap hasil eksperimen perilaku struktur rangka dengan dinding pengisi berlubang.

## 2. RANGKA DINDING PENGISI

Dinding yang diasumsikan sebagai komponen struktur disebut sebagai dinding pengisi (*infilled wall*) sedangkan struktur dengan dinding pengisi disebut rangka dinding pengisi (*infilled frame*). Karena struktur rangka dinding pengisi memiliki inersia yang besar, maka struktur rangka dinding pengisi ini mempunyai perilaku yang berbeda dengan rangka terbuka (*open frame*), sehingga diperlukan metode analisis yang mampu memperhitungkan interaksi antara dinding pengisi dengan struktur rangka. Dinding biasanya berlubang untuk jendela maupun pintu yang terkekang maupun tanpa pengekang di sekeliling lubang. Pemodelan dinding pengisi dapat menggunakan elemen shell ataupun strat diagonal. Struktur rangka dengan dinding pengisi adalah struktur yang memperhitungkan kontribusi kekakuan dan kekuatan dinding pengisi untuk ikut memikul beban lateral akibat gempa.

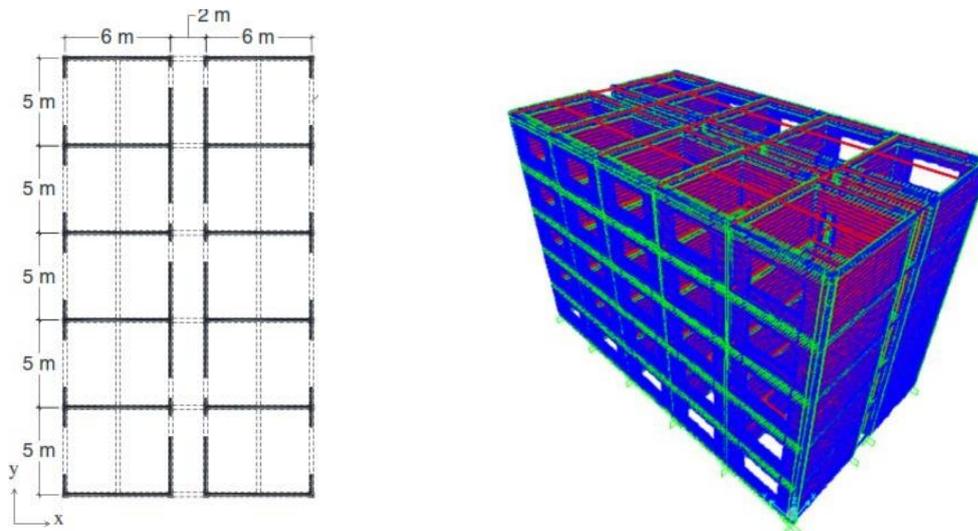
Kegagalan struktur rangka dinding pengisi sering terjadi kegagalan tekan pada pojok atas dinding dan kegagalan tarik terjadi pada kolom struktur bagian bawah. Keruntuhan pada struktur rangka terjadi akibat gaya tekan dan tarik yang disebabkan gaya horizontal yang diberikan sedangkan pada dinding pengisi 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 tersebut mampu menambah kekakuan dan kekuatan struktur rangka yang ditempatinya sehingga dapat mengurangi deformasi yang terjadi pada struktur. Interaksi antara dinding pengisi dan rangka juga berpengaruh terhadap kinerja struktur. Penelitian terkait dinding pengisi telah banyak dilakukan. Asteris (2012) mengusulkan persamaan analitis faktor reduksi, yang dinyatakan sebagai rasio lebar efektif diagonal strut *infilled frame* dengan bukaan tanpa pengekang agar bisa untuk menghitung kekakuan lateral rangka beton bertulang (RC) dengan dinding pengisi yang memiliki bukaan tanpa pengekang. Budiwati dan Sukrawa (2017) melakukan penelitian membandingkan perilaku dan kinerja struktur RDP dengan berbagai tipe dan pengekang lubang. Model yang dibuat adalah struktur rangka beton bertulang 3, 4, 5 lantai dengan dinding pengisi berlubang sentris dengan dan tanpa perkuatan disekitar lubang (lintel) dengan variasi lubang 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Penelitian eksperimen Imran dan Aryanto (2009) bertujuan untuk mengetahui kinerja dan perilaku struktur rangka dinding pengisi yang dikenai beban lateral yang dilakukan pada dinding pengisi bata ringan AAC dan bata konvensional. Hasil pengujian oleh Kakaletsis dan Karayannis (2012) dan Sigmund & Penava (2012) dijadikan acuan dalam model validasi.

## 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini didahulukan dengan melakukan validasi yang bertujuan untuk mendapatkan model yang sesuai dengan hasil eksperimen. Model yang divalidasi pada penelitian ini mengacu penelitian Sigmund & Penava (2013). Pada penelitian Sigmund dan Penava digunakan model tipe (I/2) sebagai benda uji dengan dinding berlubang sentrik tanpa perkuatan kolom dan balok praktis disekitar bukaan jendela, Model tipe (II/2) sebagai benda uji dengan dinding berlubang sentrik dengan perkuatan kolom dan balok praktis di sekitar bukaan jendela, dan Model tipe (II/4) sebagai benda uji dengan dinding berlubang eksentrik dengan perkuatan kolom

*Studi Parametrik Pada Struktur Rangka Dinding Pengisi Berlubang Dengan dan Tanpa Pengekang dan Aplikasinya Dalam Perencanaan Struktur Gedung*

dan balok praktis di sekitar bukaan jendela. Setelah dilakukan model validasi dan hasil sudah sesuai dilanjutkan dengan aplikasi terhadap gedung 5 lantai dengan dimensi yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Denah dan model struktur gedung

Beban mati yang ditentukan adalah 1,598 kN/m<sup>2</sup> atau 163 kg/m<sup>2</sup> dan untuk beban mati pada pelat atap adalah 1,2356 kN/m<sup>2</sup> atau 126 kg/m<sup>2</sup>. Beban hidup ditentukan untuk lantai adalah 1,92 kN/m<sup>2</sup> atau 200 kg/m<sup>2</sup> dan untuk atap adalah 0,96 kN/m<sup>2</sup> atau 100 kg/m<sup>2</sup>. Beban gempa digunakan analisis statik ekuivalen dengan asumsi lokasi gedung berada di Denpasar dengan nilai S<sub>s</sub>, S<sub>1</sub>, F<sub>a</sub>, dan F<sub>v</sub> diperoleh dari web Puskim dengan kategori desain seismik D (KDS D). Hasil analisis yang ditinjau berdasarkan kombinasi D+L+Q. Pada penelitian ini akan ditetapkan data yang akan digunakan sebagai model acuan yaitu presentase lubang yang digunakan adalah 40% centris terkekang, sudut yang digunakan adalah 30<sup>0</sup> dengan panjang 6 m dan tinggi 3,5 m, mutu beton adalah 25 MPa, mutu dinding adalah 3 MPa, dimensi balok adalah 250/400 mm, dimensi kolom 300/400 mm, dimensi pintu adalah 90/210, dimensi pengekang adalah 150/150 mm dengan mutu pengekang 15 MPa dan tebal dinding 150 mm.. Parameter yang divariasikan yaitu seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Model Variasi

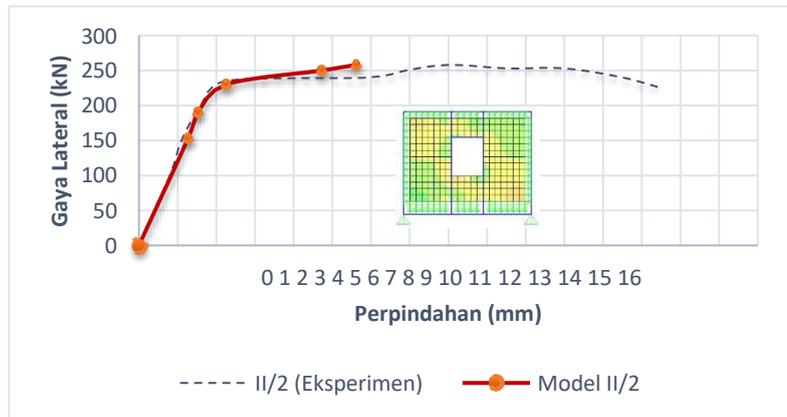
No	Model	Panjang (m)	Sudut Diagonal	Dimensi Kolom	f <sub>c</sub>	E <sub>c</sub>	f <sub>m</sub>	E <sub>m</sub>	Pengekangan
1	MVK250	6	30	300/250	25	23500	3	1650	Terkekang
2	MVK300	6	30	300/300	25	23500	3	1650	Terkekang
3	MVK350	6	30	300/350	25	23500	3	1650	Terkekang
4	MVK400	6	30	300/400	25	23500	3	1650	Terkekang
5	MVK450	6	30	300/450	25	23500	3	1650	Terkekang
6	MVK500	6	30	300/500	25	23500	3	1650	Terkekang
<b>Model</b>									
7	MVfc17,5	6	30	300/400	17,5	19661,51	3	1650	Terkekang
8	MVfc20	6	30	300/400	20	21090,40	3	1650	Terkekang
9	MVfc22,5	6	30	300/400	22,5	22294,06	3	1650	Terkekang
10	MVfc25	6	30	300/400	25	23500,00	3	1650	Terkekang
11	MVfc27,5	6	30	300/400	27,5	24647,01	3	1650	Terkekang
12	MVfc30	6	30	300/400	30	25742,96	3	1650	Terkekang
13	MVfc32,5	6	30	300/400	32,5	26794,12	3	1650	Terkekang
14	MVfc35	6	30	300/400	35	27805,57	3	1650	Terkekang
<b>Model</b>									
15	MVfm2,4	6	30	300/400	25	23500	2,4	1320	Terkekang
16	MVfm2,7	6	30	300/400	25	23500	2,7	1485	Terkekang
17	MVfm3	6	30	300/400	25	23500	3,0	1650	Terkekang
18	MVfm3,3	6	30	300/400	25	23500	3,3	1815	Terkekang
19	MVfm3,9	6	30	300/400	25	23500	3,9	2145	Terkekang
20	MVfm4,5	6	30	300/400	25	23500	4,5	2475	Terkekang
<b>Model</b>									
21	MVS28	6,5	28	300/400	25	23500	3	1650	Terkekang
22	MVS30	6,0	30	300/400	25	23500	3	1650	Terkekang
23	MVS32	5,5	32	300/400	25	23500	3	1650	Terkekang
24	MVS35	5,0	35	300/400	25	23500	3	1650	Terkekang
<b>Model</b>									

25	MOF	6	30	300/400	25	23500	3	1650	
26	MVO20C	6	30	300/400	25	23500	3	1650	Terkekang
27	MVO40C	6	30	300/400	25	23500	3	1650	Terkekang
28	MVO60C	6	30	300/400	25	23500	3	1650	Terkekang
29	MVO20E	6	30	300/400	25	23500	3	1650	Terkekang
30	MVO40E	6	30	300/400	25	23500	3	1650	Terkekang
31	MVO60E	6	30	300/400	25	23500	3	1650	Terkekang
	<b>Model</b>								
32	MVO20C	6	30	300/400	25	23500	3	1650	Tidak Terkekang
33	MVO40C	6	30	300/400	25	23500	3	1650	Tidak Terkekang
34	MVO60C	6	30	300/400	25	23500	3	1650	Tidak Terkekang
35	MVO20E	6	30	300/400	25	23500	3	1650	Tidak Terkekang
36	MVO40E	6	30	300/400	25	23500	3	1650	Tidak Terkekang
37	MVO60E	6	30	300/400	25	23500	3	1650	Tidak Terkekang

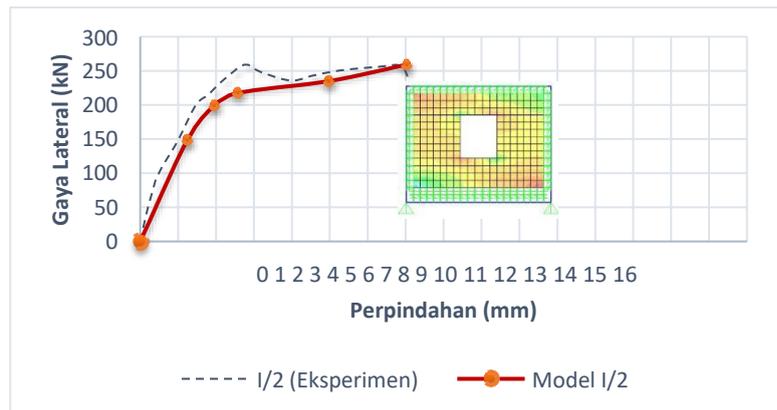
#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Model Validasi

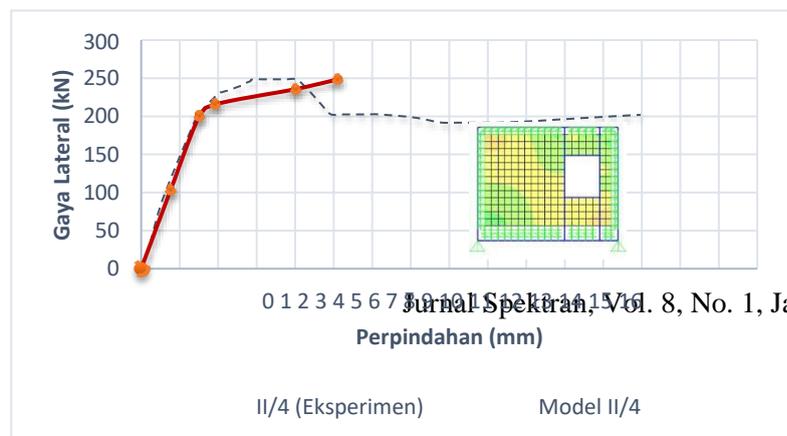
Hasil validasi pada Gambar 2 menunjukkan bahwa trend pada kurva eksperimen maupun Model II/2 hampir mirip walaupun hasil eksperimen lebih lemah. Pada Gambar 3 ditunjukkan bahwa trend pada kurva eksperimen maupun Model I/2 hampir mirip walaupun Model I/2 lebih kecil. Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa trend pada kurva eksperimen maupun Model II/4 hampir mirip walaupun Model II/4 lebih lemah.



Gambar 2. Kurva Gaya Perpindahan Validasi II/2



Gambar 3. Kurva Gaya Perpindahan Validasi I/2



-----  
  
 Gambar 4. Kurva Gaya Perpindahan Validasi II/4

4.2 Hasil Simpangan

Hasil simpangan seluruh model dengan variasi parameter disajikan pada Gambar 5-9. Pada Gambar 5 ditunjukkan bahwa semakin besar dimensi kolomnya maka simpangannya mengecil. Jika dimensi kolom mengecil maka simpangan membesar 2% dari model acuan sedangkan jika dimensi kolom diperbesar maka simpangan turun 1% dari model acuan. Perubahan hasil simpangan ini relatif kecil dan hasil berhimpit.

Pada Gambar 6 ditunjukkan bahwa semakin tinggi mutu betonnya maka simpangannya mengecil. Jika mutu beton diturunkan simpangan membesar 2% dari model acuan dan sebaliknya jika mutu beton dibiarkan maka simpangan turun 2% dari model acuan, dimana variasi mutu beton lebih kecil dibandingkan variasi mutu dinding. Hal ini disebabkan karena dinding yang lebih dominan pada pemodelan ini.

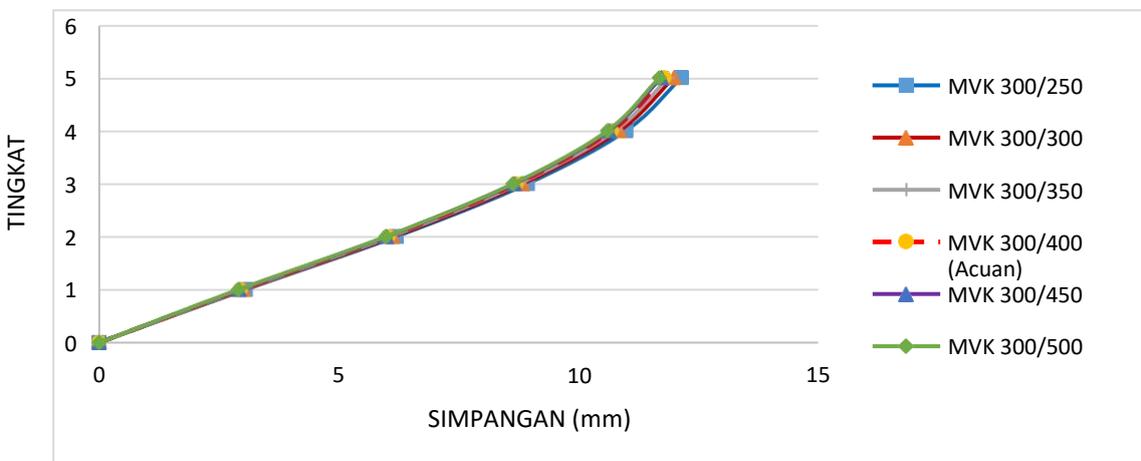
Pada Gambar 7 ditunjukkan semakin tinggi variasi mutu dindingnya maka simpangannya juga mengecil. Jika mutu dinding dikalikan maka simpangan naik 16% dari model acuan dan sebaliknya jika mutu dinding dibiarkan maka simpangan turun 16% dari model acuan.

Pada Gambar 8 ditunjukkan bahwa semakin besar sudut diagonal maka simpangannya juga meningkat. Perbandingan antara sudut 28 dengan sudut 30 adalah 4% dan sudut 30 dengan sudut 32 adalah 2% sedangkan antara sudut 30 dengan sudut 35 perbandingan simpangannya adalah 9%.

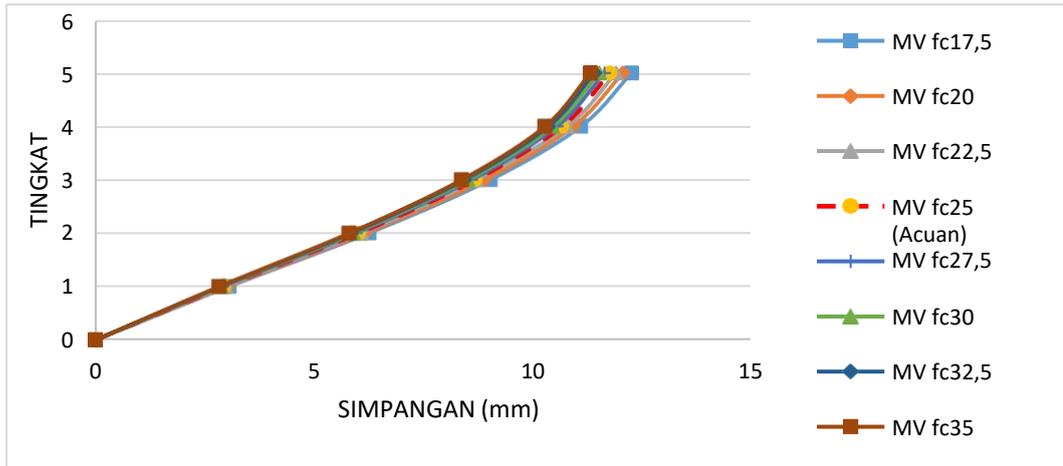
Pada Gambar 9 ditunjukkan bahwa semakin besar rasio lubang maka simpangan tersebut juga meningkat baik untuk lubang sentris maupun eksentris. Perbandingan rasio lubang jika rasio lubang dikalikan maka simpangan turun 8% dari model acuan dan jika rasio lubang dibiarkan simpangan membesar 26% dari model acuan.

Lubang eksentris dengan pengekan menghasilkan simpangan lebih kecil 1,21% dibandingkan lubang sentris dengan pengekan. Lubang eksentris tanpa pengekan menghasilkan simpangan lebih kecil 1,71% dibandingkan lubang sentris tanpa pengekan. Efek rasio lubang dengan pengekan antara lubang sentris dan eksentris tidak jauh berbeda sedangkan lubang tanpa pengekan antara lubang sentris dan eksentris lebih terlihat perbedaan dimana lubang sentris lebih lemah dibandingkan lubang eksentris. Maka posisi lubang pada RDPB menjadi tidak penting pada perencanaan jika disekitar lubang terdapat pengekan sesuai dengan hasil penelitian Sukrawa dan Budiwati (2019).

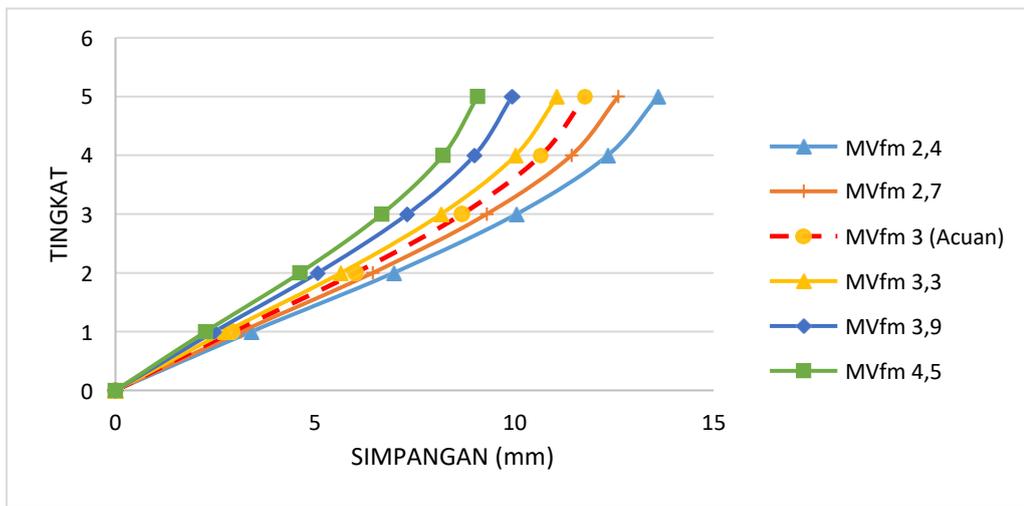
Variasi rasio lubang tanpa pengekan memiliki simpangan lebih besar dibandingkan variasi rasio lubang dengan pengekan. Hal ini menunjukkan bahwa variasi rasio lubang dengan pengekan lebih kaku dibandingkan lubang tanpa pengekan. Perbandingan simpangan lubang dengan pengekan dan tanpa pengekan adalah 41% pada rasio lubang 20% begitu pula rasio lubang 40% dan 60%.



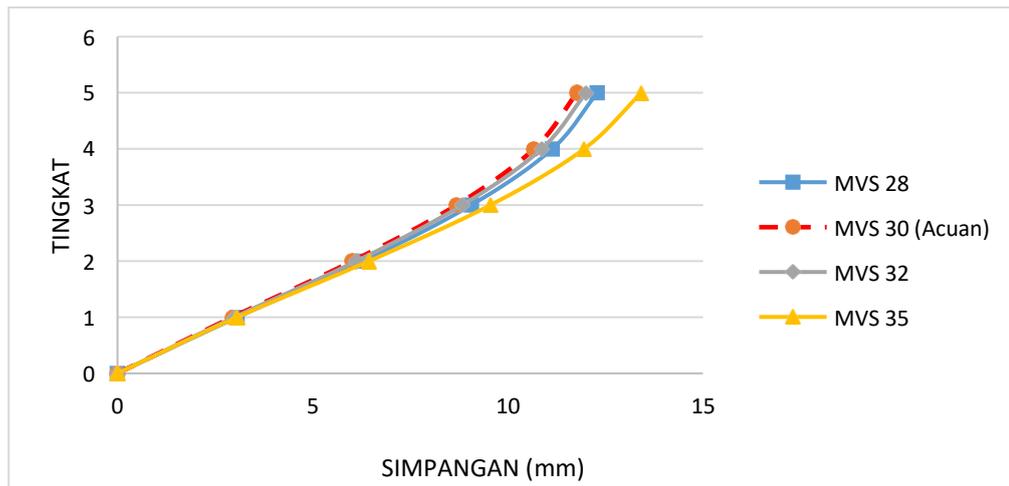
Gambar 5. Efek Variasi Dimensi Kolom Terhadap Simpangan



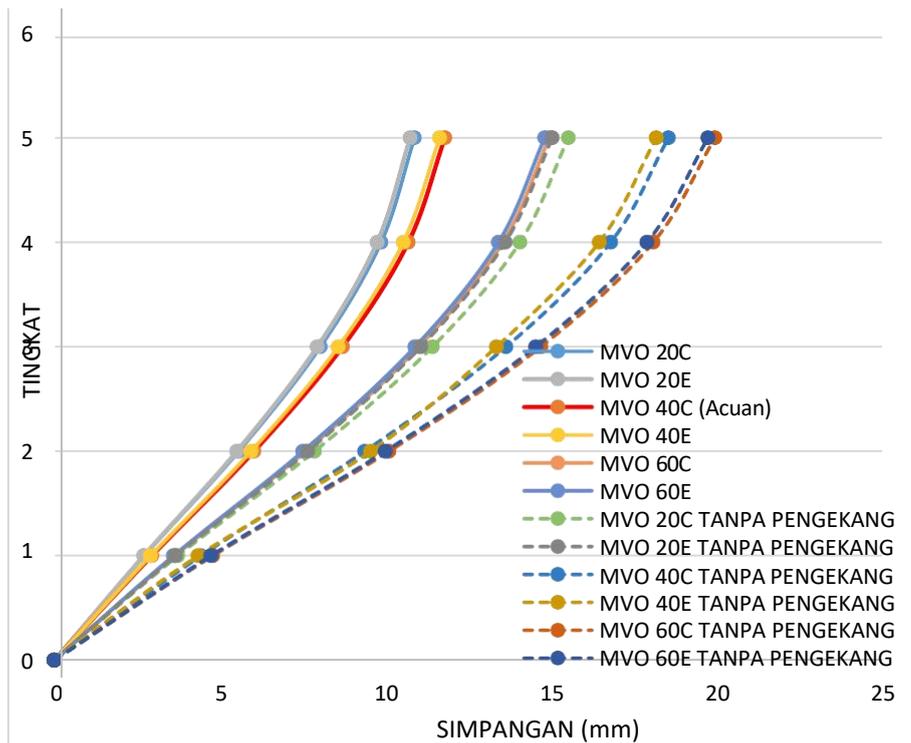
Gambar 6. Efek Variasi Mutu Beton Terhadap Simpangan



Gambar 7. Efek Variasi Mutu Dinding Terhadap Simpangan



Gambar 8. Efek Variasi Sudut Diagonal Terhadap Simpangan



Gambar 9. Efek Variasi Rasio Lubang dengan dan tanpa pengekang Terhadap Simpangan

#### 4.3 Hasil Gaya – Gaya Dalam

##### a. Model Variasi Dimensi Kolom

Semakin besar variasi dimensi kolomnya maka momen pada balok mengecil pada lantai 1, lantai 2 – 4 momen membesar dan pada lantai 5 mengecil. Aksial pada kolom mengecil dan momen pada kolom membesar. Hasil ini sesuai dengan hasil simpangan yang telah didapat dimana perubahan terhadap variasi dimensi kolom relatif kecil. Jika dimensi kolom mengecil momen balok turun 2% dari model acuan, jika dimensi kolom membesar momen balok naik 3% dari model acuan. Jika dimensi kolom mengecil aksial kolom turun 3% dari model acuan, jika dimensi kolom membesar aksial kolom naik 2% dari model acuan. Jika dimensi kolom mengecil momen kolom turun 2% dari model acuan dan sebaliknya jika dimensi kolom membesar momen kolom naik 5% dari model acuan.

##### b. Model Variasi Mutu Beton

Semakin tinggi mutu beton maka momen pada balok mengecil pada lantai 1, lantai 2 – 4 momen membesar dan pada lantai 5 mengecil. Aksial pada kolom mengecil dan momen pada kolom membesar. Perbandingan rata – rata ini relatif lebih besar dibandingkan variasi dimensi kolom. Jika mutu beton mengecil momen balok turun 1% dari model acuan dan sebaliknya. Jika mutu beton mengecil aksial kolom turun 3% dari model acuan, jika mutu beton membesar aksial kolom naik 2% dari model acuan. Jika mutu beton mengecil momen kolom turun 5% dari model acuan dan sebaliknya.

##### c. Model Variasi Mutu Dinding

Semakin tinggi mutu dinding maka momen pada balok mengecil pada lantai 1 – 4 dan membesar pada lantai 5. Aksial pada kolom mengecil dan momen pada kolom mengecil. Jika mutu dinding mengecil momen balok naik 2% dari model acuan dan sebaliknya. Jika mutu dinding mengecil aksial kolom naik 3% dari model acuan, jika mutu dinding tinggi aksial kolom turun 5% dari model acuan. Jika mutu dinding mengecil momen kolom naik 10% dari model acuan, jika mutu dinding membesar momen kolom turun 11% dari model acuan.

##### d. Model Variasi Sudut Diagonal

Semakin besar sudut diagonal maka momen pada balok mengecil pada lantai 1 – 3 dan membesar pada lantai 4 - 5. Aksial pada kolom mengecil dan momen pada kolom mengecil. Perbandingan ini paling besar dibandingkan parameter lainnya sehingga parameter ini sensitif terhadap perilaku gaya – gaya dalam. Sudut diagonal mengecil maka momen balok turun 2% dari model acuan, sudut diagonal membesar momen balok naik 0,27% dari model acuan. Sudut diagonal mengecil aksial kolom naik 1% dari model acuan, sudut diagonal membesar aksial kolom turun 11% dari model acuan. Sudut diagonal mengecil momen kolom naik 10% dari model acuan, sudut diagonal membesar momen kolom turun 13% dari model acuan.

e. Model Variasi Rasio Lubang (Opening)

Semakin besar rasio lubang maka momen pada balok membesar pada lantai 1 dan mengecil pada lantai 2 – 5. Baik dengan posisi lubang sentris maupun eksentris menunjukkan trend yang mirip terhadap hasil gaya – gaya dalam. Hasil ini sama dengan hasil simpangan dimana posisi lubang sentris maupun eksentris menunjukkan hasil yang berhimpit. Perbandingan gaya – gaya dalam lubang tanpa pengekang lebih besar dibandingkan dengan lubang dengan pengekang. Perbandingan rata – rata – rata gaya – gaya dalam dengan adanya pengekang dan tanpa pengekang adalah 2%.

4.4 Hasil Luas Tulangan (A's Perlu)

a. Model Variasi Dimensi Kolom

Semakin besar dimensi kolom maka luas tulangan (A's perlu) pada balok juga membesar pada lantai 1 – 3 dan hampir setara pada lantai 4 dan 5. Jika dimensi kolom mengecil luas tulangan balok turun 3% dari model acuan dan sebaliknya jika dimensi kolom membesar luas tulangan balok naik 2% dari model acuan.

b. Model Variasi Mutu Beton

Semakin tinggi mutu beton maka luas tulangan (A's perlu) pada balok juga membesar pada lantai 1 – 5. Perbandingan luas tulangan balok jika mutu beton dikecilkan dan dibesarkan adalah 1% dari model acuan, dimana perbandingan ini lebih kecil dibandingkan variasi dimensi kolom, sehingga parameter dimensi kolom lebih sensitif dibandingkan mutu beton.

c. Model Variasi Mutu Dinding

Semakin tinggi mutu dinding maka luas tulangan (A's perlu) pada balok mengecil pada lantai 1 – 4 dan setara pada lantai 5. Jika mutu dinding dikecilkan maka luas tulangan balok membesar 5% dari model acuan dan sebaliknya jika mutu dinding dibesarkan maka luas tulangan balok mengecil 5% dari model acuan.

d. Model Variasi Sudut Diagonal

Semakin besar sudut diagonal maka luas tulangan (A's perlu) pada balok mengecil pada lantai 1 – 4 dan setara pada lantai 5. Jika sudut diagonal dikecilkan luas tulangan balok naik 1% dan jika sudut diagonal dibesarkan maka luas tulangan balok turun 6%.

e. Model Variasi Rasio Lubang (Opening)

Semakin besar rasio lubangnya maka luas tulangan (A's perlu) balok membesar pada lantai 1 dan 2, mengecil pada lantai 3 – 4 dan sejajar pada lantai 5. Begitupun hasil luas tulangan (A's perlu) pada rasio lubang tanpa pengekang menunjukkan trend yang sama dengan hasil luas tulangan (A's perlu) pada rasio lubang dengan pengekang. Jika dibandingkan lubang tanpa pengekang dan dengan pengekang menunjukkan bahwa luas tulangan (A's perlu) pada balok lubang tanpa pengekang lebih besar dibandingkan dengan lubang menggunakan pengekang.

4.5 Hasil Tegangan Dinding

a. Model Variasi Dimensi Kolom

Semakin besar dimensi kolomnya maka tegangan S11 dan S12 mengecil pada lantai 1, hampir setara pada lantai 2 – 4 dan membesar pada lantai 5. Tegangan tarik yang didapat lebih besar dibandingkan kuat tarik yang diijinkan. Sedangkan tegangan tekan lebih kecil dibandingkan kuat tekan yang diijinkan. Kontur tegangan pada lubang jendela terhadap variasi dimensi kolom menunjukkan bahwa tegangan tarik dan tekan lebih kecil dibandingkan kuat tekan dan tarik yang diijinkan.

b. Model Variasi Mutu Beton

Semakin tinggi mutu beton maka tegangan S11 dan S12 mengecil. Tegangan tarik yang didapat lebih besar dibandingkan kuat tarik yang diijinkan. Sedangkan tegangan tekan lebih kecil dibandingkan kuat tekan yang diijinkan. Dari kontur tegangan pada lubang jendela terhadap variasi mutu beton menunjukkan bahwa tegangan tarik dan tekan lebih kecil dibandingkan kuat tekan dan tarik yang diijinkan.

c. Model Variasi Mutu Dinding

Semakin tinggi mutu dinding maka tegangan S11 dan S12 juga membesar dimana tegangan ini lebih besar dibandingkan variasi mutu beton sehingga mutu dinding lebih sensitif dibandingkan mutu beton. Tegangan tarik yang didapat lebih besar dibandingkan kuat tarik yang diijinkan. Sedangkan tegangan tekan lebih kecil dibandingkan kuat tekan yang diijinkan. Kontur tegangan pada lubang jendela terhadap variasi mutu dinding menunjukkan tegangan tarik dan tekan lebih kecil dibandingkan kuat tekan dan tarik yang diijinkan.

d. Model Variasi Sudut Diagonal

Semakin besar sudut diagonalnya maka tegangan S11 dan S12 juga membesar. Tegangan tarik yang didapat lebih besar dibandingkan kuat tarik yang diijinkan. Sedangkan tegangan tekan lebih kecil dibandingkan kuat tekan yang diijinkan. Kontur tegangan pada lubang jendela terhadap variasi sudut diagonal menunjukkan tegangan tarik dan tekan lebih kecil dibandingkan kuat tekan dan tarik yang diijinkan.

e. Model Variasi Rasio Lubang (Opening)

Semakin besar rasio lubangnya maka tegangan S11 dan S12 membesar. Begitupun hasil tegangan pada rasio lubang tanpa pengekang menunjukkan trend yang sama dengan hasil tegangan pada rasio lubang dengan

pengekang. Jika dibandingkan lubang tanpa pengekang dan lubang dengan pengekang menunjukkan bahwa tegangan pada lubang tanpa pengekang lebih besar dibandingkan lubang dengan pengekang. Kontur tegangan pada lubang jendela terhadap variasi rasio lubang dengan pengekang dimana tegangan tarik pada rasio lubang 20% - 60% tanpa pengekang sudah melampaui kuat yang diijinkan.

#### 4.6 Penilaian Urutan Sensitivitas Parameter

Untuk menentukan urutan terhadap sensitivitas parameter maka perlu diberikan penilaian terhadap parameter – parameter yang dibuat. Parameter yang paling sensitif (memperoleh perubahan perilaku struktur yang besar) diberikan nilai 5 sedangkan parameter yang menyebabkan perubahan perilaku struktur yang kecil diberikan nilai 1. Berdasarkan rangkuman dapat dibuatkan tabel 2. Dari tabel 2 dapat disimpulkan bahwa parameter mutu dinding, rasio lubang dan sudut diagonal yang sensitif terhadap perilaku struktur dan menjadi penting untuk diperhatikan terhadap perencanaan.

Tabel 2. Penilaian Urutan Sensitivitas Parameter

Parameter	Simpangan	Gaya – Gaya Dalam	Luas Tulangan (A's perlu)	Tegangan Dinding	Jumlah
Dimensi Kolom	1	2	2	1	6
Mutu Beton	2	3	1	2	8
Mutu Dinding	4	4	4	4	16
Sudut Diagonal	3	5	3	3	14
Rasio Lubang	5	1	5	5	16

## 5. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Studi parametrik pada Rangka Dinding Pengisi Berlubang (RDPB) dengan dan tanpa pengekang telah dilakukan dengan memodel dinding sebagai shell element pada bangunan gedung 5 lantai. Validasi juga dilakukan untuk dibandingkan dengan hasil uji laboratorium yang dilakukan peneliti lain. Dari hasil analisis dapat ditarik kesimpulan:

1. Model validasi menggunakan elemen shell dengan variasi modulus elastisitas ( $E_c$ ) sesuai dengan besarnya beban menghasilkan grafik beban – simpangan sesuai dengan hasil uji laboratorium.
2. Parameter yang sensitif dan penting untuk diperhatikan dalam pemodelan RDPB adalah mutu dinding, rasio lubang dan sudut diagonal.
3. Penambahan pengekang berupa balok dan kolom praktis juga penting dalam pemodelan struktur RDPB karena menghasilkan struktur yang lebih kaku dan lebih kuat. Penurunan simpangan struktur dan tegangan pada dinding masing – masing 43% dan 14%. Disamping itu penambahan pengekang juga menghasilkan penurunan gaya – gaya dalam dan luas tulangan pada balok.
4. Posisi lubang sentris dan eksentris tidak berpengaruh besar terhadap simpangan struktur dan tegangan pada dinding sehingga tidak penting untuk dibedakan dalam pemodelan. RDPB dengan lubang eksentris menghasilkan penurunan simpangan struktur dan tegangan dinding 1% dan 0,8% lebih kecil dibandingkan dengan simpangan dan tegangan pada struktur dengan lubang sentris.

### 5.2 Saran

Untuk perencanaan struktur RDPB, perlu ditambahkan pengekang di sekitar lubang. Disamping itu, penggunaan mutu dinding yang lebih baik sangat diperlukan. Penelitian lebih lanjut terkait peningkatan kuat tekan dan kuat tarik dinding perlu dilakukan. Untuk menyederhanakan proses perencanaan RDPB, maka lubang sentris maupun eksentris tidak perlu untuk dibedakan dalam pemodelannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asteris, P.G., Giannopoulos, I.P., and Chrysostomou, C.Z. 2012. Modeling of Infilled Frames with Openings. *The Open Construction and Building Technology Journal* 2012, pp. 81-91.
- Budiwati, Sukrawa. 2017. *Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Penambahan Dinding Pengisi Berlubang sebagai Perkuatan Seismik*. Jurnal Teknik Sipil.
- Computer and Structures Inc. 2007. *CSI Analysis Reference For SAP 2000, ETABS and SAFE*. Barkeley, USA.
- Dorji, J. and Thambiratnam, D.P. 2009. Modeling and Analysis of Infilled Frame Structures Under Seismic Loads. *The Open Construction and Building Technology Journal* 2009, pp. 119-126.

- Federal Emergency management Agency. 2000. *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-356*. Washington D.C.
- Imran, I. dan Aryanto, A. 2009. Behaviour of Reinforced Concrete Frames In- Filled with Lightweight Materials Under Seismic Loads. *Civil Engineering Dimension*, Vol 11, No. 2, September 2009, 69-77.
- Kakaletsis, D.J. and Karayannis, C.G. 2009. Experimental Investigation of Infilled Reinforced Concrete Frames with Openings. *ACI Structural Journal*. Title no. 106-S14, April 2009.
- Sigmund, V. and Penava, D. 2012. Influence of Openings, With and Without Confinement, on Cyclic Response of Infilled R.C. Frames – An Experimental Study *Journal of Earthquake Engineering*, 18:113-146, 2014.
- Smith, B. S., & Coull, A. 1991. *Tall Building Structures-Analysis and Design*. John Wiley & Sons, Inc
- Sukrawa, M. 2015. *Earthquake response of RC infilled frames with wall openings in medium-rise hotel buildings*, *Procedia Engineering* 125 (2015) 933 - 939.