

STUDI ANALISIS PENGARUH PROPERTI BETON DAN DINDING PASANGAN TERHADAP PERILAKU RDP BERLUBANG

Ida Ayu Made Budiwati, I Ketut Sudarsana, Made Sukrawa dan Nanda Dwi Wulan Sari

Program Studi Teknik Sipil Universitas Udayana
Email: idabudiwati@unud.ac.id

ABSTRAK

Perilaku rangka beton bertulang dengan dinding pengisi berlubang sentris (RDP) dipengaruhi oleh karakteristik material dan geometrinya. Analisis sensitivitas dilakukan pada model RDP menggunakan analisis numerik akibat variasi modulus elastisitas dinding (E_m), modulus elastisitas beton (E_c), dan lebar strat diagonal (w_{ds}) pada struktur RDP. Balok dan kolom dimodel sebagai elemen *frame* dan dinding pengisi berlubang dimodel sebagai strat diagonal. Hasil analisis sensitivitas model RDP kemudian dibandingkan dengan hasil eksperimen peneliti lain dan diaplikasikan pada gedung perkantoran 3 lantai. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas dinding (E_m), modulus elastisitas beton (E_c), dan Inersia balok (I_b) dan inersia kolom (I_k) perlu direduksi setelah 95% beban lateral dikerjakan pada struktur. Nilai reduksi pada beban 95% adalah sebesar 0,6 dan 0,8 masing-masing untuk modulus elastisitas dan inersia. Pada beban 100%, nilai modulus dan inersia dinding pengisi masing-masing direduksi sebesar 0,5 dan 0,7. Lebar strat diagonal (w_{ds}) yang digunakan dalam analisis yaitu Persamaan 1. Hasil analisis pada gedung menunjukkan bahwa peningkatan beban dari 95% ke 100% dan reduksi modulus elastisitas serta inersia, mengakibatkan peningkatan simpangan struktur, terjadi penurunan momen lapangan pada balok sebesar 4,74%-11,22%, dan penurunan momen tumpuan pada balok sebesar 12,84%-14,15%. Pada kolom, terjadi penurunan momen sebesar 1,24%-17,94%. Penurunan gaya geser pada balok terjadi sebesar 0,97%-1,63%, sedangkan pada kolom sebesar 1,67%-4,84%, namun terjadi peningkatan gaya aksial pada kolom sebesar 4,03%-5,36%.

Kata kunci: *dinding pengisi berlubang, lebar strat diagonal, modulus elastisitas, momen inersia, sensitivitas*

ANALYTICAL STUDY ON THE EFFECT OF CONCRETE AND MASONRY PROPERTIES ON THE BEHAVIOUR OF INFILLED FRAME WITH OPENING

ABSTRACT

Research on the sensitivity analysis of RC Infilled Frame structure using numerical analysis has been done by varying the modulus of elasticity of the wall (E_m), modulus of elasticity of the concrete (E_c), and diagonal strut width (w_{ds}). The frames were modeled using frame elements and the infill walls with opening were modeled using diagonal strut. The results of sensitivity analysis were then applied to 3-story office building models. The reinforced concrete building was of three-spans in which a perforated infill wall with an opening ratio of 10% - 60% was added in its middle span. A total of 42 models were created and loaded with a combination of vertical and seismic loads to compare its lateral displacements and internal forces. The results of the sensitivity analysis show that the value of the the modulus of elasticity of the wall (E_m), modulus of elasticity of the concrete (E_c), and the inertia of the beams and columns (I_b and I_k) need to be reduced when the load of 95% or higher were applied. The reduction factor applied at 95% load was 0.6 and 0.8 for the elastic modulus and inertia, respectively. At 100% load, the modulus value and inertia of the infill walls were 0.5 and 0.7, respectively. Diagonal strut width (w_{ds}) used in the analyses was Equation 1. The results of the analysis showed that increasing the loads from 95% to 100% load while reducing the modulus and inertia, resulted in a decrease of positive moment of the beam by 4.74%-11.22% and also a decrease of negative moment of the beam by 12.84%-14.15%. For the column, there was a decrease of moment ranged 1.24%-17.94%. The decrease of shear force on beam is 0.97%-1.63%, while in the column there is a decrease of shear force between 1.67% and 4.84%, in contrast, an increase in axial forces occur in the column by 4.03%-5.36%

Keywords: *infill wall with opening, diagonal strut width, modulus of elasticity, moment of inertia, sensitivity*

1 PENDAHULUAN

Dinding berfungsi sebagai pembentuk dari bangunan. Dinding diasumsikan sebagai komponen struktur sehingga disebut sebagai dinding pengisi (*infill wall*) dan struktur dengan dinding pengisi disebut Rangka Dinding Pengisi (RDP) atau *Infilled Frame*.

Dalam mendesain suatu struktur, dinding pada gedung bertingkat seringkali dianggap sebagai pemisah ruangan dan bukan bagian dari struktur. Dari sejumlah penelitian menunjukkan bahwa keberadaan dinding memengaruhi kekakuan dan kekuatan struktur bangunan (Budiwati dan Sukrawa, 2017). Perilaku portal dengan dinding pengisi akan berbeda bila dibandingkan dengan perilaku portal tanpa dinding, demikian pula pada RDP berlubang. Tegangan kritis terjadi pada pojok-pojok lubang di sekeliling lubang sehingga perlu ditambahkan kolom atau balok praktis di sekeliling lubang (Sukrawa, 2015).

Polyakov (1956) merupakan orang pertama yang melakukan penelitian analitis terhadap dinding berdasarkan pada teori elastis, yang menguji pengaruh dari jenis dinding, mortar, bahan tambahan, tipe beban (monotonik atau siklik) dan lubang pada dinding (Agarwal and Shrikhande, 2006). Dari penelitiannya yang dilengkapi dengan percobaan pada dinding yang diberi beban tekan secara diagonal, disarankan bahwa pengaruh dari panel dinding pada rangka dinding pengisi yang dikenakan beban lateral dapat di-ekivalen-kan menjadi sebuah strat diagonal. Kemudian, Holmes (1963) mengambil ide ini dan mengusulkan bahwa strat sebaiknya mempunyai lebar sama dengan sepertiga dari strat diagonal. Pendekatan ini kemudian diteliti kembali lebih lanjut oleh banyak peneliti lain seperti Smith and Carter (1969), Mainstone (1971), Liauw and Kwan (1984), Hendry (1998), Paulay and Priestley (1992) untuk mendapatkan lebar strut yang lebih tepat (Agarwal and Shrikhande, 2006). Budiwati dan Sukrawa (2018) mengusulkan lebar strat untuk RDP berlubang sentris. Hingga saat ini, model strut diterima secara luas sebagai sebuah cara yang sederhana dan rasional untuk menggambarkan pengaruh dari panel dinding pada rangka dinding pengisi.

Pada umumnya mutu bahan dinding pasangan khususnya mutu bata sangat tergantung pada mutu material pembentuknya. Nilai modulus elastisitasnya pun sesuai referensi yang ada memiliki yang variasi cukup besar. Dalam analisis struktur RDP, dinding yang dimodel sebagai strat diagonal memerlukan nilai lebar strat sebagai input geometri penampang. Lebar strat sesuai literatur yang ada tergantung dari kuat tekan dinding, modulus elastisitas dinding, dan modulus elastisitas beton. Pada penelitian ini dilakukan analisis perilaku struktur RDP berlubang akibat perbedaan nilai modulus elastisitas dinding, modulus elastisitas beton, dan lebar strat menggunakan program SAP 2000. Analisis sensitivitas masing-masing variabel tersebut dilakukan untuk kemudian diaplikasikan pada gedung kantor tiga tingkat.

2 MATERIAL DAN GEOMETRI PROPERTI RANGKA DINDING PENGISI

Dinding pengisi diasumsikan tidak dapat menahan gaya tarik tetapi hanya dapat menahan gaya tekan yang disalurkan melalui strat diagonal. Pada saat beban lateral kembali bekerja setelah dinding pengisi dibebani beban lateral yang melampaui kapasitasnya, maka terjadi penurunan kekakuan lateral secara drastis yang disumbangkan oleh dinding pengisi. Adanya kontak antara dinding dan struktur yang mengelilinginya dan perilaku struktur ketika mendapat beban lateral mengakibatkan dinding pengisi mengalami pola keruntuhan tertentu. Keruntuhan yang terjadi pada dinding salah satunya terjadi pada bagian sudut-sudutnya, dimana struktur rangka akan menekan dinding bagian ujung, sementara dinding akan menahan gaya tersebut. Konsep inilah yang menjadi dasar untuk memodelkan dinding pengisi sebagai sebuah strat diagonal.

Dinding pengisi dimodelkan sebagai strat diagonal, sebagai batang tekan diagonal pada portal. Ujung-ujung strat yang berhubungan langsung dengan balok kolom bersifat sendi agar strat tersebut mendekati perilaku dinding pengisi yang sebenarnya. Lebar strat diagonal (w_{ds}) yang digunakan didapat dari beberapa referensi yang ada, antara lain oleh Budiwati dan Sukrawa (2018). Lebar strat yang diusulkan yaitu:

$$w_{ds} = \frac{d}{4}c \quad (1)$$

dengan d adalah panjang diagonal dari dinding pengisi, c adalah koefisien kekakuan pasangan dinding dengan lintel ($c = 1.0565r^2 - 2.281r + 1.3764$, $r =$ rasio lubang).

Asteris *et al.* (2012) mengusulkan adanya faktor reduksi terhadap lebar strat diagonal, λ , akibat adanya lubang, yaitu:

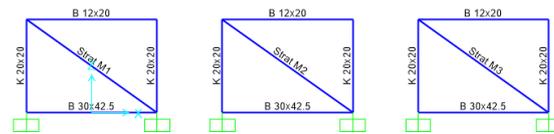
$$\lambda = 1 - 2\alpha_w^{0,54} + \alpha_w^{1,14} \quad (2)$$

dengan α_w adalah perbandingan luas lubang terhadap luas area dinding.

Modulus elastisitas dinding pengisi berdasarkan penelitian Sigmund and Penava (2009) yaitu E_m sebesar 3900 MPa. Modulus elastisitas beton diambil dari SNI 2847:2013 untuk beton dengan berat volume 1440-2560 kg/m^3 .

3 METODE

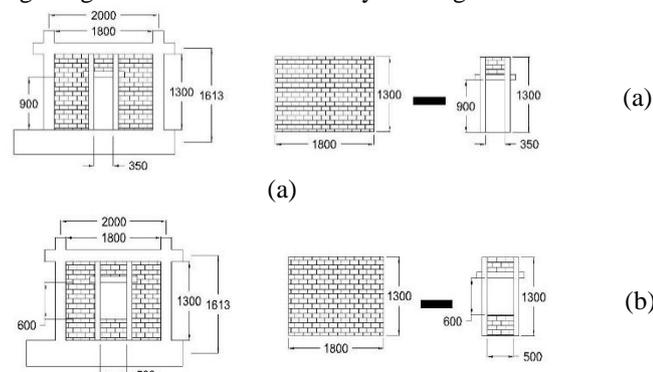
Model yang digunakan pada penelitian ini berupa struktur rangka beton bertulang satu tingkat dengan dinding pengisi penuh (MP), dinding pengisi dengan bukaan pintu (MD), dan dinding pengisi dengan bukaan jendela (MJ) yang diperkuat balok dan kolom praktis di sekitar lubang dinding. Pada setiap model dikerjakan beban aksial pada kolom sebesar 365 kN. Sementara untuk beban lateral diberi gaya dengan peningkatan setiap *interval* 10 kN. Model yang dianalisis mengacu kepada penelitian Sigmund & Penava (2012). Tipikal model analisis ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Struktur Rangka dengan Strat Diagonal

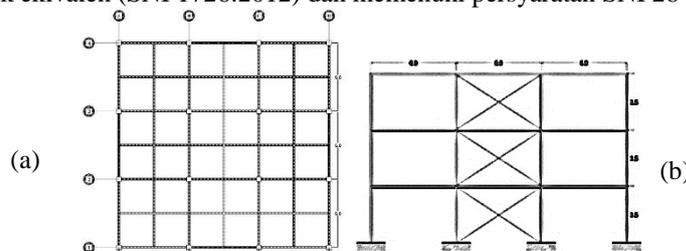
Model dianalisis dengan memperhitungkan tiga variable yaitu E_m , E_c , dan w_{ds} . Sebagai nilai awal di-input besar E_w adalah 3900 MPa, E_c sebesar 24303 MPa, dan w_{ds} sebesar $d/3$ dengan faktor reduksi akibat adanya lubang dari Asteris *et al.* (2009). Untuk menganalisis sensitivitas dilakukan dengan cara memperbesar atau menurunkan nilai dari lebar strat diagonal (w_{ds}), modulus elastisitas beton (E_c) dan modulus elastisitas dinding pengisi (E_m). Hasil dari analisis sensitivitas tersebut berupa kurva beban dan perpindahan lateral.

Untuk variasi lebar strat selain menggunakan rumus Budiwati dan Sukrawa (2018) juga digunakan Modifikasi rumus Holmes (1961) dan faktor reduksi akibat adanya lubang dari Asteris *et al.* (2009). Cara perhitungannya yaitu lebar dinding pengisi penuh dikurangi faktor reduksi dari bukaan dinding yang dibatasi dengan adanya balok kolom praktis, dengan syarat tinggi maksimum mengikuti tinggi dinding pengisi. Pada Gambar 2 ditampilkan ilustrasi pengurangan lebar strat akibat adanya lubang.



Gambar 2. Gambaran Faktor Reduksi Modifikasi Holmes; (a) Dinding Pengisi dengan Bukaan Pintu, (b) Dinding Pengisi dengan Bukaan Jendela.

Model struktur gedung 3 tingkat dianalisis menggunakan SAP2000 v.19. Gambar denah dan portal gedung dapat dilihat pada Gambar 3. Dinding pengisi berlubang berada pada bentang tengah portal terluar dengan variasi bukaan 10%, 20%, 30% 40%, 50%, dan 60% dan tinggi tiap tingkat 3,5 meter. Struktur gedung dianalisis dengan beban gempa statik ekuivalen (SNI 1726:2012) dan memenuhi persyaratan SNI 2847:2013.



Gambar 3. Geometri Struktur Gedung; (a) Denah, (b) Portal Gedung 3 Tingkat

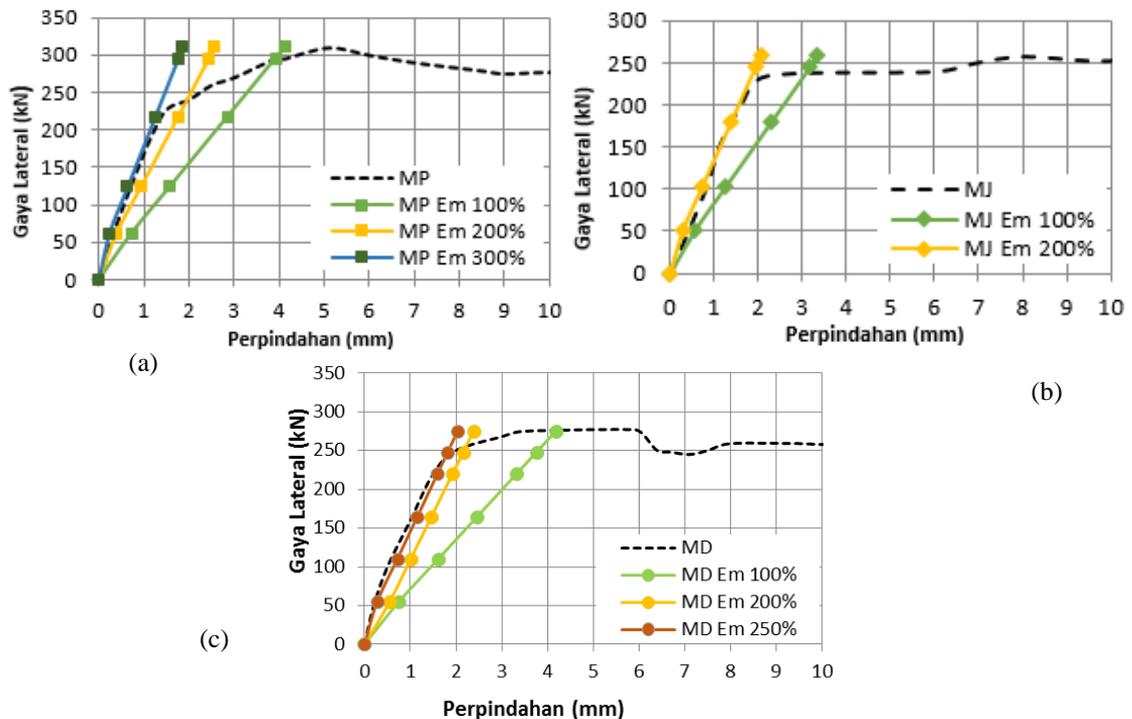
4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Model Sensitivitas

Model pada tahap awal dianalisis tanpa memperhitungkan penampang retak maupun material *non-linier*. Tahap berikutnya dilakukan analisis dengan memperhitungkan penampang retak dan material *non-linier*. Hasil yang ditinjau dari analisis ini adalah perilaku struktur berupa kurva gaya-perpindahan yang dibandingkan dengan hasil eksperimen Sigmund and Penava (2012).

Variasi Modulus Elastisitas Dinding (E_m)

Kurva hubungan beban lendutan pada ketiga model RDP berlubang dengan variasi nilai E_m ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai E_m dinaikkan hingga kurva simpangan model mendekati hasil eksperimen (linier pada tahap awal). Dengan meningkatkan nilai modulus sebesar 200%, 250% dan 300% berturut-turut pada model MJ, MD dan MP menghasilkan kurva daerah elastis yang mendekati hasil eksperimen. Kenaikan modulus elastisitas ini tidak seimbang antara model yang satu dengan model lainnya dan nilai modulus yang dipakai jauh melampaui nilai material dinding pada umumnya. Namun hal ini membuktikan bahwa modulus elastisitas dinding (E_m) cukup sensitif terhadap perilaku struktur.



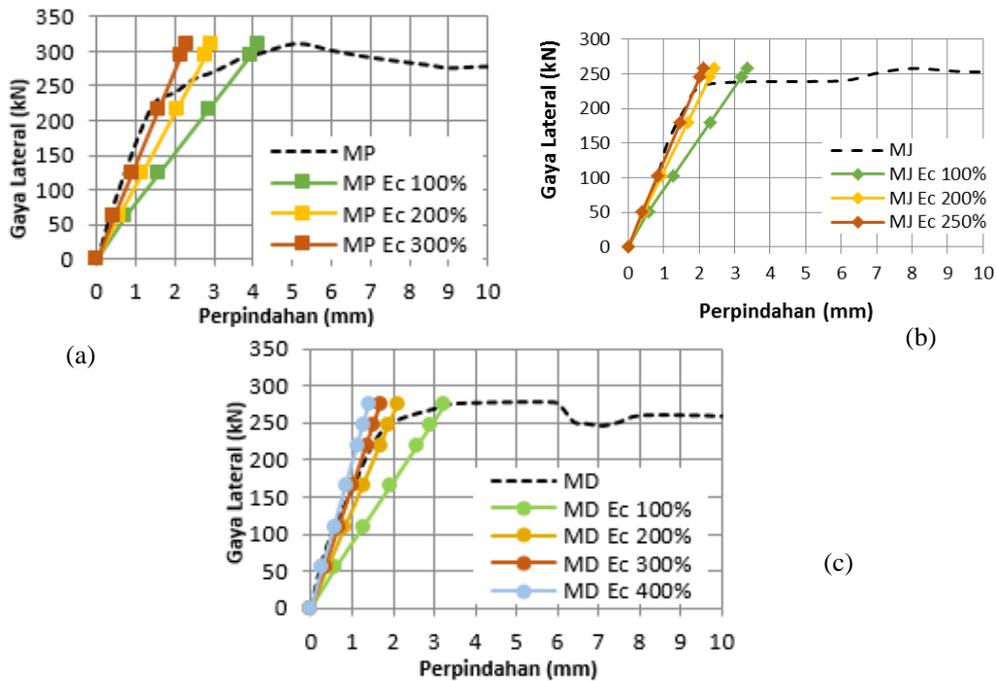
Gambar 4. Grafik Gaya dan Perpindahan Model RDP Berlubang dengan Variasi Modulus Elastisitas Dinding (a) MP (b) MJ, (c) MD.

Variasi Modulus Elastisitas Beton (E_c)

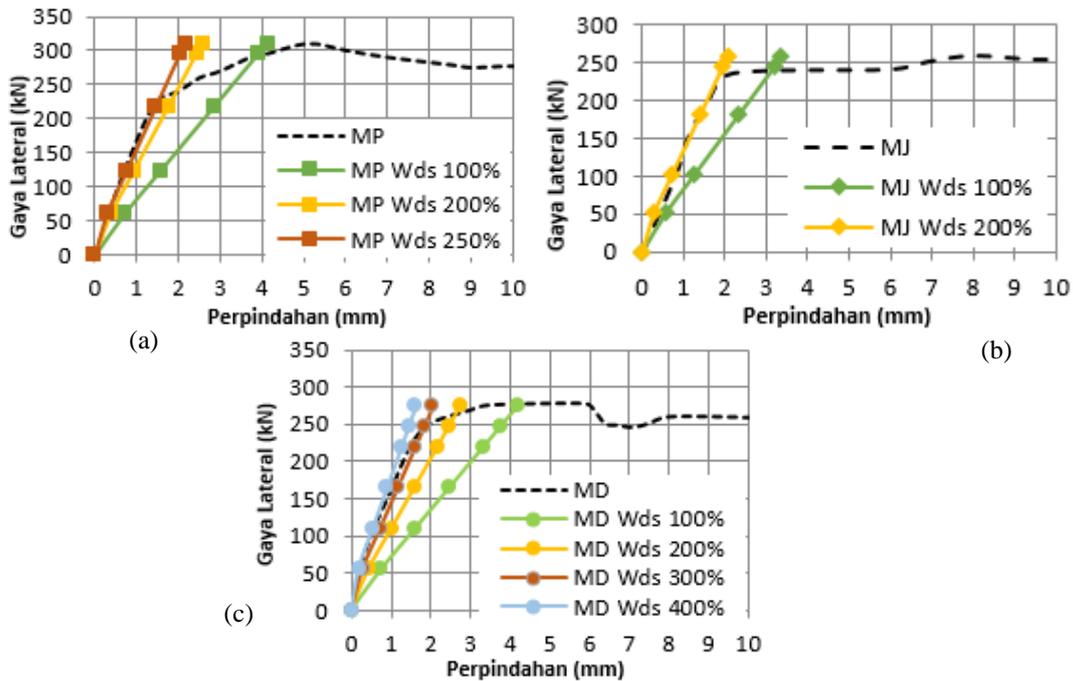
Properti material selanjutnya yang dikaji yaitu modulus elastisitas material beton (E_c). Hal yang dilakukan pun sama dengan cara pertama yakni menaikkan nilai E_c . Gambar 5 menampilkan hubungan beban simpangan pada ketiga model. Terlihat bahwa perbedaan modulus elastisitas beton berpengaruh cukup besar terhadap perilaku RDP berlubang. Dengan meningkatkan nilai E_c sebesar 250%, 300%, dan 400% berturut-turut pada model MJ, MP, dan MD menghasilkan kurva daerah elastis yang paling mendekati hasil eksperimen. Namun nilai E_c tersebut terlalu besar (tidak realistis) sehingga tidak layak dipakai.

Variasi Lebar Strat Diagonal (w_{ds})

Properti strat diagonal terakhir yang dikaji yaitu lebar strat diagonal. Nilai lebar strat yang dipakai yaitu menggunakan persamaan Holmes (1961). Hasil dan gambar dari masing-masing respon simpangan akibat variasi lebar strat diagonal dapat dilihat pada Gambar 6. Pada Gambar di atas terlihat bahwa lebar strat diagonal sangat mempengaruhi perilaku rangka dinding pengisi berlubang, namun masih perlu peninjauan ulang dengan memperhatikan reduksi akibat adanya lubang pada dinding pengisi tersebut. Dengan meningkatkan nilai w_{ds} sebesar 200%, 250%, dan 400% berturut-turut pada model MJ, MP, dan MD menghasilkan kurva daerah elastis yang paling mendekati hasil eksperimen.



Gambar 5. Grafik Gaya dan Perpindahan Model RDP Berlubang dengan Variasi Modulus Elastisitas Beton (a) MP, (b) MJ, (c) MD.



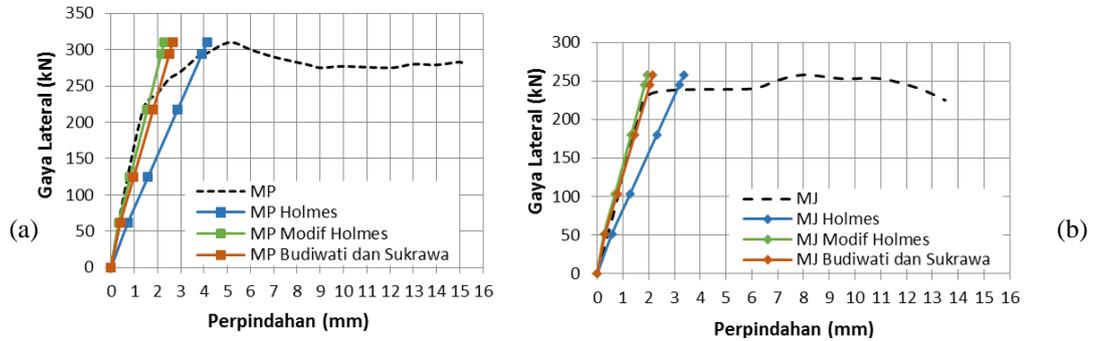
Gambar 6. Grafik Gaya dan Perpindahan Model RDP Berlubang dengan Variasi Lebar Strat Diagonal (a), MP, (b) MJ, (c) MD.

Lebar strat modifikasi Holmes (1961) dan Budiwati dan Sukrawa (2018)

Analisis sensitivitas yang dilakukan yakni akibat adanya lubang pada dinding pengisi. Pada modifikasi Holmes, dinding pengisi dengan bukaan yang diperkuat dengan balok kolom praktis memakai rumus lebar strat yang sama yakni Holmes (1961) dengan faktor reduksi akibat adanya lubang dari Asteris *et al.* (2009). Perhitungannya yaitu lebar dinding pengisi penuh dikurangi faktor reduksi dari bukaan dinding yang dibatasi dengan adanya balok kolom praktis, dengan syarat tinggi maksimum mengikuti tinggi dinding pengisi.

Adapun hasil lebar strat dinding pengisi Holmes (1961) akibat bukaan pintu (MP) sebesar 732 mm dan akibat bukaan jendela (MJ) sebesar 695 mm. Sementara hasil lebar strat Budiwati dan Sukrawa (2018) sebesar

555 mm untuk dinding pengisi penuh (MD), sebesar 604 mm dinding pengisi akibat bukaan pintu (MP) dengan reduksi (c) sebesar 1.088, dan akibat bukaan jendela (MJ) sebesar 611 mm dengan reduksi (c) sebesar 1.101. Gambar 7 menunjukkan hasil prediksi Modif Holmes dan Budiwati dan Sukrawa yang sama-sama mendekati simpangan hasil eksperimen, dimana nilai prediksi keduanya masih lebih kecil dari prediksi Holmes.



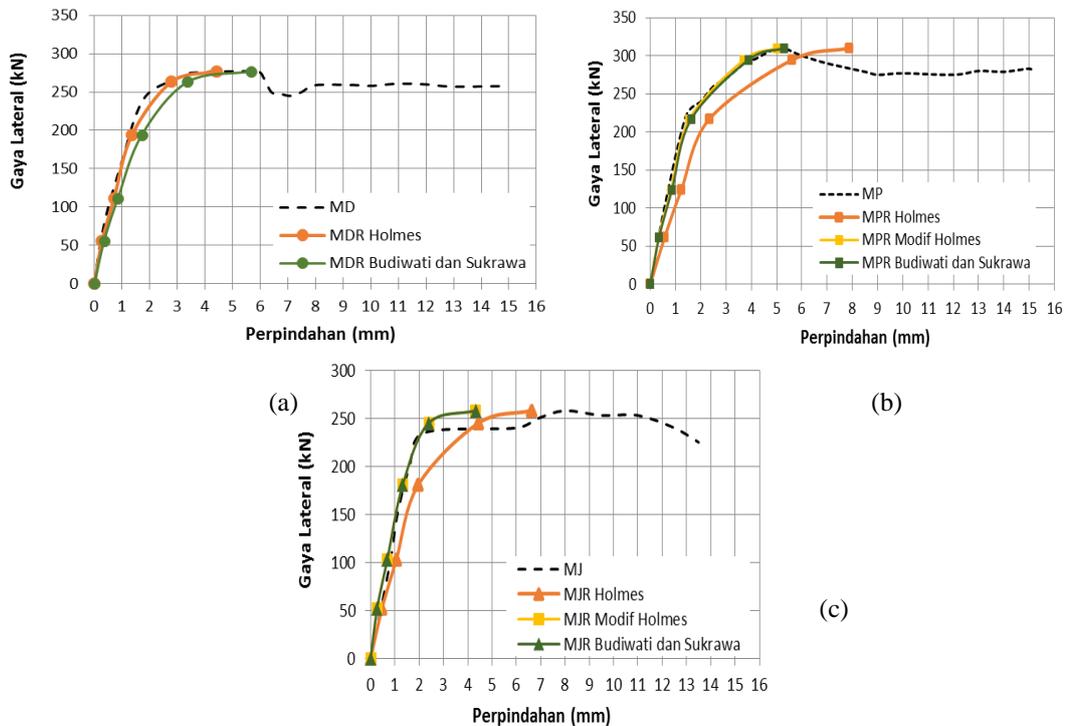
Gambar 7. Grafik Gaya dan Perpindahan Model RDP Berlubang dengan Variasi Lebar Strat Diagonal Akibat Adanya Lubang Modifikasi Holmes dan Budiwati dan Sukrawa (a), MP (b) MJ

Reduksi Properti Material (E) dan Geometri Penampang (I)

Reduksi nilai properti E_m , E_c , dan momen inersia (I) kolom maupun balok yang dilakukan pada ketiga model yakni model Holmes, model Modif Holmes dan model Budiwati dan Sukrawa, dicantumkan pada Tabel 1. Reduksi EI dilakukan untuk mempertimbangkan sifat *non-linier* material dan penampang retak. Besar beban maksimum masing-masing model sesuai hasil eksperimen yaitu 310 kN, 258 kN, dan 277 kN berturut-turut untuk model MP, MJ, dan MD. Hasil dan gambar dari masing-masing respon simpangan akibat reduksi nilai properti tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 1. Faktor reduksi EI pada persentase Beban 95% dan 100%

Persentase Beban	95%	100%
Faktor reduksi E_c	0,6	0,5
Faktor reduksi E_m	0,6	0,5
Faktor reduksi I_{balok}	0,6	0,4
Faktor reduksi I_{kolom}	0,8	0,7



Gambar 8. Grafik Gaya dan Perpindahan Model RDP Berlubang dengan Variasi Hasil Reduksi dari Ketiga Cara untuk Model (a), MD (b) MP, (c) MJ.

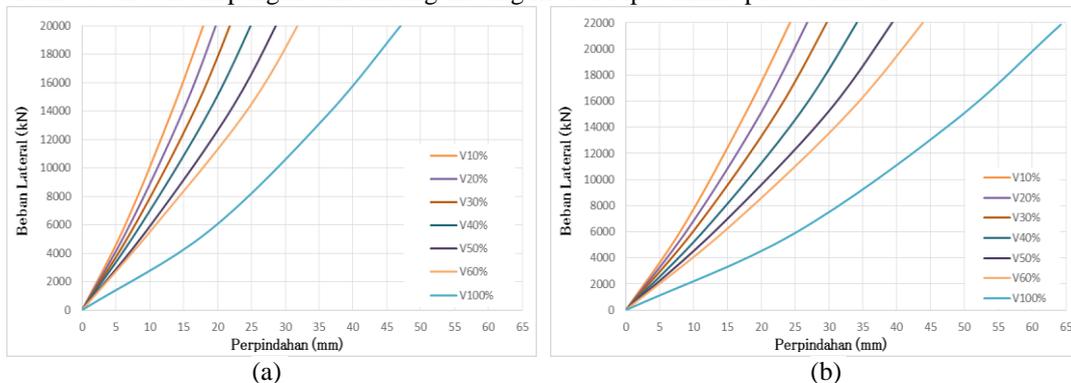
Kurva gaya-perpindahan yang dihasilkan mengikuti sifat ke-*nonlinier*-an material. Model yang mendekati hasil eksperimen yaitu Modif Holmes, namun perhitungan ini memiliki dua kelemahan yaitu pertama, jika tinggi bukaan dinding akibat adanya lubang melebihi atau maksimal sama dengan dinding panel maka dinding pengisi berlubang tersebut tidak berpengaruh sehingga menjadi *open frame*, meskipun di kanan dan kiri lubang masih terdapat dinding pengisi. Kelemahan yang kedua, yaitu pada perhitungan lebar strat dengan faktor reduksi dinding tidak sesuai dengan urutan variasi bukaan dinding, dimana seharusnya semakin besar bukaan dinding maka semakin kecil lebar strat yang didapatkan akan tetapi pada perhitungan modif Holmes ini sebaliknya. Lebar strat menurut usulan Budiwati dan Sukrawa (2018) adalah yang paling mendekati hasil eksperimen sehingga dipakai untuk memodel dinding pengisi sebagai strat diagonal pada gedung tiga lantai.

4.2 Aplikasi Model Gedung Tiga Lantai

Analisis terhadap hasil pemodelan gedung tiga lantai dilakukan berdasarkan kombinasi beban $D + L + E$ statik ekuivalen. Rangka yang ditinjau adalah rangka pada Grid 1, dimana rangka ini merupakan rangka yang mewakili adanya dinding pengisi.

Simpangan Antar Tingkat

Model gedung 3 lantai dengan masing-masing variasi bukaan dinding 10%-60% (V10%-V60%) dibuat berdasarkan persentase beban 95% (B95%) dan 100% (B100%), dengan reduksi modulus dan penampang seperti Tabel 1. Grafik beban dan simpangan dari masing-masing model dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil Beban Simpangan pada Masing-Masing Model dengan Variasi Bukaan Dinding Pengisi (a) Beban 95% (b) Beban 100%.

Terlihat pada Gambar 9, model dengan bukaan dinding 10% memiliki simpangan terkecil dibandingkan dengan model variasi bukaan lainnya. Pada Gambar 9(b) model V100%-B100%-E05-I07 (model rangka terbuka dengan beban 100%) memiliki nilai simpangan yang paling besar diantara model dengan variasi bukaan dinding. Dengan adanya bukaan pada dinding simpangan struktur mengecil, namun meningkatnya persentase bukaan pada dinding mengakibatkan meningkatnya simpangan struktur.

Pada model gedung 3 lantai dengan beban 95%, reduksi dari nilai modulus elastisitasnya yaitu sebesar 0,6 dan reduksi dari nilai inersianya sebesar 0,8. Sedangkan model gedung 3 lantai dengan beban 100%, reduksi dari nilai modulus elastisitasnya yaitu sebesar 0,5 dan reduksi dari nilai inersianya sebesar 0,7. Gambar 9(a) menunjukkan model gedung 3 lantai dengan bukaan variasi dinding pengisi sebesar 100% pada beban 95%, yaitu model V100%-B95%-E06-I08 memiliki nilai simpangan paling besar dengan nilai sebesar 48,35 mm dibandingkan model variasi bukaan dinding pengisi lainnya. Sedangkan model gedung 3 lantai bukaan variasi dinding pengisi sebesar 100% dengan beban 100%, yaitu model V100%-B100%-E05-I07 pada Gambar 9(b) memiliki nilai simpangan paling besar yaitu 64,22 mm, dibandingkan model variasi bukaan dinding pengisi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa kontribusi reduksi modulus dan inersia dan peningkatan beban dari 95% menjadi 100% menyebabkan perubahan simpangan yang berarti.

Momen pada Struktur

Hasil momen maksimum pada model gedung dengan beban 95% dan 100% dapat dilihat pada Tabel 2. Momen maksimum untuk daerah lapangan balok dan daerah tumpuan balok terjadi pada Model V10-B95-E06-I08 sedangkan momen maksimum kolom didapat pada model V60-B95-E06-I08. Pada tabel tersebut terlihat bahwa akibat dari mereduksi modulus elastisitas dan inersia dapat memperkecil momen lapangan dan momen tumpuan balok serta momen kolom meskipun beban yang diterima sudah mencapai 100%. Penurunan momen adalah sebesar 8,2% sampai 17,94%. Terjadi penurunan momen terbesar pada model V60-B95-E06-I08 dibandingkan dengan model V60-B100-E05-I07, dimana momen lapangan pada balok menurun sebesar 8,44% sampai 4,74%, sedangkan penurunan momen tumpuan pada balok sebesar 14,15% sampai 13,97%. Pada kolom

terjadi penurunan momen sebesar 1,24% sampai 17,94%. Penurunan nilai momen terjadi pada semua model dengan variasi bukaan 10%-60%.

Tabel 2. Momen Maksimum pada Balok dan Kolom Gedung 3 Lantai

Penamaan Model	Momen Lapangan (kNm)		Momen Tumpuan (kNm)		Momen Kolom (kNm)	
	B200/300	B250/450	B200/300	B250/450	K400/400	K450/450
V10-B95-E06-I08	98,75	93,22	112,86	133,08	82,98	100,78
V10-B100-E05-I07	90,62	83,47	98,37	115,49	77,22	98,37
V20-B95-E06-I08	93,73	82,99	108,78	129,52	84,37	108,14
V20-B100-E05-I07	83,21	74,63	94,61	112,19	80,46	104,22
V30-B95-E06-I08	84,56	72,27	105,17	126,47	86,68	116,68
V30-B100-E05-I07	75,35	65,35	91,24	109,36	82,73	112,93
V40-B95-E06-I08	70,63	56,27	99,88	121,86	90,26	128,88
V40-B100-E05-I07	63,36	51,45	86,31	105,11	86,32	125,55
V50-B95-E06-I08	58,32	42,18	97,86	120,57	96,99	143,08
V50-B100-E05-I07	52,79	39,18	84,26	103,84	93,14	140,42
V60-B95-E06-I08	46,57	29,12	95,38	118,42	120,42	154,45
V60-B100-E05-I07	42,64	27,74	81,88	101,88	98,82	152,53

Gaya Geser dan Gaya Aksial pada Struktur

Hasil maksimum gaya geser pada balok didapat pada model V10-B95-E06-I08, sedangkan hasil maksimum gaya geser pada kolom didapat pada model V60-B95-E06-I08. Adapun hasil gaya geser maksimum tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Gaya Geser dan Gaya Aksial Maksimum pada Balok dan Kolom Gedung 3 Lantai

Penamaan Model	Gaya Geser Maksimum (kN)				Gaya Aksial (kN)	
	B200/300	B250/450	K400/400	K450/450	K400/400	K450/450
V10-B95-E06-I08	183,44	193,67	39,50	48,68	832,95	1555,51
V10-B100-E05-I07	180,48	191,13	37,59	47,07	866,48	1621,85
V20-B95-E06-I08	173,72	184,28	40,14	51,4	812,67	1506,65
V20-B100-E05-I07	170,91	181,87	38,24	49,48	846,36	1574,11
V30-B95-E06-I08	164,23	175,14	41,22	54,61	789,54	1452,74
V30-B100-E05-I07	161,56	172,92	39,25	52,78	823,65	1520,17
V40-B95-E06-I08	149,95	161,30	42,94	59,11	753,29	1369,43
V40-B100-E05-I07	147,51	159,35	40,96	57,48	787,09	1435,34
V50-B95-E06-I08	140,38	152,23	46,21	64,64	716,95	1288,21
V50-B100-E05-I07	138,13	150,52	44,25	63,31	750,53	1352,91
V60-B95-E06-I08	130,54	142,62	48,89	68,93	681,78	1211,45
V60-B100-E05-I07	128,51	141,23	47,01	67,78	714,87	1276,38

Pada Tabel 3 terlihat bahwa dengan adanya reduksi dari modulus elastisitas dan inersia dapat memperkecil gaya geser pada balok serta gaya geser yang terjadi pada kolom meskipun beban yang diterima sudah mencapai 100%. Seluruh model dengan bukaan yang bervariasi mengalami penurunan gaya geser pada saat beban ditingkatkan dari 95% menjadi 100%. Pada model V10-B95-E06-I08 apabila dibandingkan dengan model V10-B100-E05-I07 terjadi penurunan gaya geser yang paling besar, dimana gaya geser pada balok turun sebesar 1,31% sampai 1,63%, sedangkan pada kolom, terjadi penurunan gaya geser sebesar 3,74% sampai 4,84%. Hasil maksimum gaya geser pada kolom didapat pada model V60-B95-E06-I08.

Gaya aksial maksimum yang terjadi pada kolom dapat dilihat pada Tabel 3. Terlihat bahwa dengan adanya reduksi dari modulus elastisitas dan inersia tetapi beban meningkat dari 95% menjadi 100% dapat meningkatkan gaya aksial yang terjadi pada kolom. Pada model V60-B95-E06-I08 apabila dibandingkan dengan model V60-B100-E05-I07 terjadi peningkatan gaya aksial yang paling besar yaitu 4,85 % sampai 5,36%.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis numerik dan pembahasan dinding pengisi berlubang dengan balok-kolom praktis di sekeliling lubang yang dimodel sebagai strat diagonal, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas beton (E_c), modulus elastisitas dinding (E_m), dan Inersia dari balok dan kolom (I_b dan I_k) perlu direduksi pada saat persentase beban 95% dan 100% terhadap beban lateral yang bekerja. Lebar strat yang digunakan seperti yang diusulkan oleh Budiwati dan Sukrawa (2018).

2. Hasil analisis pada gedung 3 lantai dapat disimpulkan bahwa peningkatan beban dari 95% ke 100%, mengakibatkan terjadinya penurunan gaya-gaya dalam kecuali gaya aksial. Terkait dengan momen, penurunan momen lapangan pada balok adalah sebesar 4,74% sampai 11,22%, sedangkan penurunan momen tumpuan pada balok sebesar 12,84% sampai 14,15%. Pada kolom, terjadi penurunan momen sebesar 1,24% sampai 17,94%. Terkait dengan gaya geser, penurunan gaya geser pada balok sebesar 0,97% sampai 1,63%, penurunan gaya geser pada kolom sebesar 1,67% sampai 4,84%. Terjadi peningkatan gaya aksial pada kolom yaitu sebesar 4,63% sampai 5,09%. Tipikal hasil gaya dalam ditunjukkan oleh variasi bukaan dinding lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, P. and Shrikhande, M. 2006. *Earthquake Resistant Design of Structure*. PHI Learning Pvt. Ltd. India.
- 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, 6, pp.81-91.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung-SNI 1726:2012*
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung-SNI 2847:2013*.
- Budiwati, I. A. M. and Sukrawa, M. 2017. Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Penambahan Dinding Pengisi Berlubang sebagai Perkuatan Seismik. *Jurnal Teknik Sipil ITB*. Vol. 24 No. 1, April 2017, pp. 43-50.
- Budiwati, I. A. M. and Sukrawa, M. 2018. Development of diagonal strut width formula for infill wall with reinforced opening in modeling seismic behavior of RC infilled frame structures. *AIP Conference Proceedings*. Vol. 1977, 020062.
- Computers and Structures Inc. 2013. *Analysis Reference Manual SAP 2000*. California, USA.
- Hendry, A.W. 1998. *Structural Masonry*. 2nd Edition. Macmillan Press, London
- Holmes, M. 1963. Combined Loading on Infilled Frames. *Proc. Instn. Civ. Engrs.* Vol. 25, 31-38.
- Liauw, T.C., and Kwan, K.H. 1984. Nonlinear Behaviour of Non-Integral Infilled Frames. *Comp. Struct.*, vol. 18, pp. 551-560.
- Mainstone, R.J. 1971. On the Stiffnesses and Strengths of Infilled Frames. *Proc. Inst. Civ. Engrs.*, Supp. (iv), pp. 57-90.
- Paulay, T., and Priestley, M. J. N. 1992. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY
- Polyakov, S. V. 1956. *Masonry in Framed Buildings*, Gosudalst-Vennoe' stvo Literature po Straitel stuv i Arkitecture, Moskva, Trans. G.L. Cairns. Building Research Station, Watford, Herts.
- Sigmund, V, and Penava, D, 2012, Experimental Study of Masonry Infilled R/C Frames with Opening, *Proceeding at 15 WCEE*. Lisboa.
- Sukrawa, M. 2015. Earthquake Response of RC Infilled Frame with Wall Openings in Medium-Rise Hotel Buildings. *Procedia Engineering 125 (2015) 933 – 939*.
- Smith, B.S. and Carter C. 1969. A Method of Analysis for Infilled Frames", *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, vol. 44, pp. 31-48.