

EFEKTIVITAS USULAN MODEL DALAM ANALISIS DINDING BATA DENGAN BUKAAN TERHADAP KETAHANAN LATERAL STRUKTUR RANGKA

Hamdeni Medriosa^{1,2}, Zaidir^{1*}, Jafril Tanjung¹, Maidiawati²

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Jalan Limau Manis, Kecamatan Pauh Kota Padang, Sumatera Barat, 25163, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Jalan Gajah Mada Kandis Nanggalo, Kota Padang, Sumatera Barat, 25143, Indonesia

* E-mail : zaidir@eng.unand.ac.id

ABSTRAK

Dalam evaluasi kapasitas seismik gedung beton bertulang berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh Building Research Institute, Jepang, bahwa pengaruh dinding pasangan bata dengan bukaan diabaikan dengan asumsi dinding tersebut tidak memberikan kontribusi yang berarti terhadap struktur rangka. Namun sejumlah peneliti menyatakan bahwa dinding pasangan bata dengan bukaan mempunyai pengaruh terhadap kekuatan lateral struktur rangka, namun pengaruhnya bergantung pada perbandingan luas bukaan terhadap luas dinding. Perbedaan pendapat ini menggambarkan bahwa kontribusi pasangan bata dengan bukaan terhadap tahanan lateral struktur rangka belum diketahui dengan jelas. Oleh karena itu, sangat diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh dinding pasangan bata dengan variasi lebar bukaan terhadap ketahanan lateral struktur rangka. Dua model eksperimental diadopsi dalam analisis ini. Selanjutnya pasangan dinding bata diuji dengan luas bukaan 25% dan 40% dengan metoda strut diagonal. Didapatkan kekuatan lateral untuk dinding bukaan 25% adalah 42.84 kN dengan deviasi sebesar 16.76% dan untuk bukaan 40% kekuatan lateral adalah sebesar 39.04 kN dengan deviasi sebesar 4.32%. Hasilnya menunjukkan bahwa model yang diusulkan dalam analisis dinding pasangan bata dengan bukaan terhadap tahanan lateral struktur rangka menunjukkan kesesuaian yang baik. Dapat disimpulkan bahwa model yang dikembangkan dapat digunakan

Kata Kunci : *dinding bata, bukaan, kekuatan lateral, struktur rangka*

ABSTRACT

In evaluating the seismic capacity of a reinforced concrete building based on standards issued by the Building Research Institute, Japan, the effect of a masonry wall with openings is neglected assuming the wall does not make a significant contribution to the supporting frame structure. However, a number of researchers have stated that masonry walls with openings have an influence on the lateral strength of the frame structure, but the effect depends on the ratio of the opening area to the wall area. This difference of opinion illustrates that the contribution of masonry with openings to the lateral resistance of the frame structure is not clearly known. Therefore, further research is strongly needed regarding the effect of masonry walls with variations in the width of the openings on the lateral resistance of the frame structure. Two models of experimental were adopted in this analysis. Furthermore, masonry walls with 25 % and 40 % were tested with diagonal strut model. The maximum lateral strength of structures with walls having 25% opening is 42.84 kN with deviation is 16.76% and maximum lateral strength of structure with walls having 40% opening is 39.04 kN with deviation 4.32%. The results show that the proposed model in the analysis of the masonry walls with openings on the lateral resistance of the frame structure shows a good agreement. It can be concluded that the developed model can be used.

Keywords : masonry walls, opening, lateral resistanc, frame structure

PENDAHULUAN

Dinding bata di Indonesia banyak digunakan sebagai partisi dibagian luar maupun dalam bangunan pada struktur rangka beton bertulang, baik untuk bangunan rendah, menengah dan bangunan tingkat tinggi. Dengan banyaknya fungsi dinding bata, perlu dilakukan studi terhadap kontribusi dari dinding bata ini terhadap kapasitas lateral struktur beton bertulang. Mengingat dinding bata hanya dianggap sebagai komponen nonstructural yang tidak dapat menahan beban dalam prosedur perencanaan gedung beton bertulang. Faktanya, berdasarkan observasi yang dilakukan Maidiawati [1] terhadap gedung beton bertulang pasca gempa menunjukkan bahwa keberadaan dinding bata memiliki kontribusi kapasitas seismic gedung beton bertulang. Hasil pengujian laboratorium pun menunjukkan perilaku yang sama, dimana struktur dinding bata yang menggunakan tulangan mempunyai kapasitas seismic lebih baik dibandingkan dengan struktur tanpa dinding, Chiou [2], Tanjung[3].

Analisa secara pemodelan dinding bata juga banyak dilakukan oleh para peneliti. dimana metoda yang telah dikembangkan oleh Maidiawati dkk [4] bisa diaplikasikan sebagai evaluasi kekuatan lateral struktur beton bertulang dengan menghitung pengaruh dinding bata penuh tapi mengabaikan pengaruh dinding bata dengan bukaan. Pada bangunan struktur rangka beton bertulang, juga ada dinding bata dengan bukaan (lobang) yang berfungsi sebagai ventilasi, pintu, jendela dan lain-lain. Dalam mengevaluasi kapasitas seismic struktur rangka beton bertulang didasarkan pada standar yang dibuat oleh Building Research Institute, Japan [5], dimana pengaruh struktur rangka dengan dinding bata ada bukaan selalu diabaikan dalam perhitungan Asteris dkk, Mondal G dkk [6,7]. Dalam asumsi dinding bata, tidak terlalu memberikan kontribusi yang sangat signifikan pada struktur rangka yang mengekangannya, Mohammadi dkk [8].

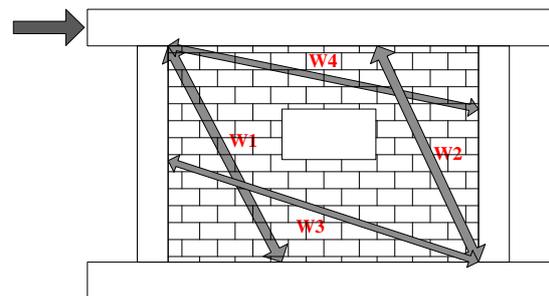
Beberapa peneliti seperti Surendran [10] dan Benabar dkk [9] menyatakan bahwa struktur dinding bata dengan adanya bukaan dapat memberikan pengaruh pada kekuatan lateral struktur rangka, tetapi nilainya tergantung pada rasio luas bukaan terhadap luas dinding. Terhadap perbedaan ini didapatkan bahwa nilai kontribusi dinding bata dengan adanya bukaan terhadap ketahanan lateral struktur rangka belum dapat diketahui dengan jelas. Karena hal itu, sangat dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai jenis pengaruh dinding bata terhadap jenis luas bukaan (lobang) terhadap tahanan lateral struktur rangka.

Dalam penelitian sebelumnya sudah dilaksanakan eksperimen dinding bata dengan luas bukaan 25% dan 40%. Kemudian dilaksanakan perhitungan analitikal bukaan dinding bata 25% dan 40% dengan pengembangan metoda strut diagonal. Setelah itu penulis membandingkan hasil antara pengembangan model dinding bata dengan bukaan dengan model perhitungan dinding bata yang dikembangkan oleh Tasmini.

BAHAN DAN METODE

a. Pemodelan 1

Adanya bukaan menyebabkan perubahan perilaku dari struktur, sehingga menimbulkan kompleksitas dan kesulitan dalam menganalisisnya. Untuk itu dilakukan pemodelan analitik dinding bata dengan bukaan satu bentang dan satu lantai. Adapun pemodelan yang digunakan adalah pemodelan analitikal yang dikembangkan oleh Tasmini dkk[11]. Dalam pemodelan strut diagonal dapat dilihat pada Gambar 1. Seperti yang terlihat, diagonal strut terjadi pada dinding bukaan dibagi menjadi empat bagian.



Gambar 1. Pemodelan bukaan dinding bata dengan struktur beton bertulang (model Tasmini)

Namun secara konsep diagonal strut yang digunakan pada perhitungan adalah bagian yang terbesar. Sedangkan bagian yang terkecil diabaikan. Dalam pemodelan ini, kekuatan lateral dinding bata dengan bukaan direduksi menggunakan factor reduksi R_F dihitung dengan persamaan (1).

$$R_F = 1.49 \left(\frac{A_0}{A_i} \right)^2 - 2.238 \left(\frac{A_0}{A_i} \right) + 1 \quad \text{untuk } A_0 < 0,4 A_i \quad (1)$$

Dimana A_0 dan A_i adalah luas bukaan dan luas dindingnya. Untuk $A_0 > 0,4A_i$, maka nilai R_F dianggap nol karna tidak lagi memberikan kontribusi terhadap kekuatan lateral struktur. Selanjutnya kekuatan lateral struktur (V_u) dihitung dengan menggunakan persamaan (2).

$$V_u = V_w + 2S \quad (2)$$

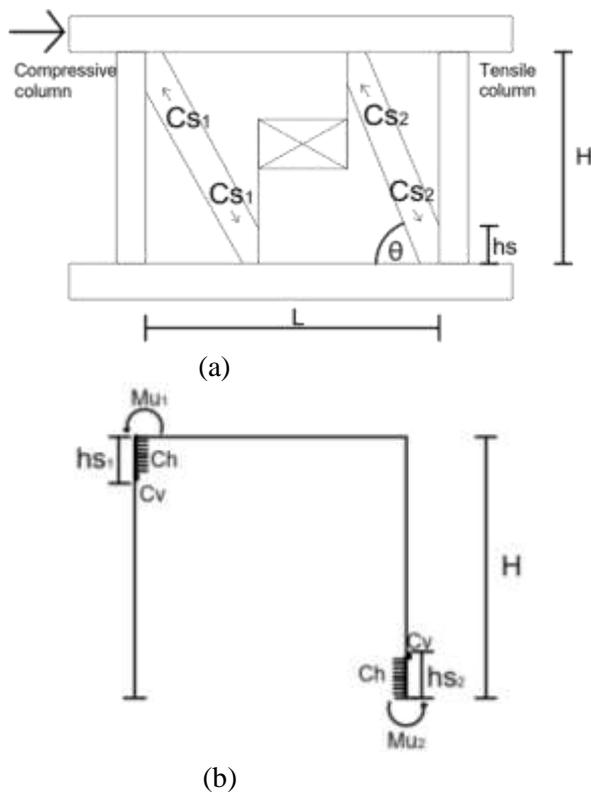
Vw adalah gaya tekanan diagonal yang terjadi pada sudut kiri dan kanan rangka dinding. S adalah momen gaya statis pada kolom yang dihitung dengan persamaan (3).

$$S = \frac{2Mpc}{h} \quad (3)$$

Dimana Mpc adalah momen penahan plastis kolom dan h merupakan tinggi dinding.

b. Pemodelan 2

Pemodelan selanjutnya merupakan pemodelan yang dikembangkan Hamdeni dkk [12]. Pada pemodelan ini diagonal strut terjadi pada sisi kanan dan kiri bukaan dinding seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan struktur beton bertulang dengan dinding bukaan (Model Hamdeni) (a) Deformasi lateral akibat beban (P) (b) Distribusi gaya tekan diagonal

Diagonal strut akan memberikan gaya tekan diagonal bekerja pada ujung bawah kolom tekan dan ujung atas kolom tarik sepanjang daerah kontak antara dinding dan kolom. Lebar strut diagonal W didapatkan berdasarkan fungsi tinggi kontak. Gaya tekan diagonal Cs1 dan Cs2 terjadi pada masing-masing strut seperti ditunjukkan pada Gambar 2a. Gaya diagonal Cs1 bekerja pada bagian atas kolom tarik dan pada dinding di bawah bukaan ditentukan dengan persamaan (4). Gaya diagonal Cs2 bekerja pada bagian bawah kolom tekan dan pada dinding

di atas bukaan ditentukan dengan persamaan (5). Gaya tekan diagonal ditentukan oleh lebar strut W dengan tebal (t) dan kuat tekan dinding masonry (f_m') yang didapat dari perkalian kuat tekan dinding masonry dengan faktor reduksi. Gaya Cs1 dan Cs2 masing-masing diuraikan menjadi gaya distribusi horizontal (Ch) dan vertical (Cv) seperti ditunjukkan dalam Gambar 2b diberikan dengan persamaan (6) dan (7).

$$C_{s1} = W_1 \cdot t \cdot f_m' \quad (4)$$

$$C_{s2} = W_2 \cdot t \cdot f_m' \quad (5)$$

$$C_h = t \cdot f_m' \cdot \cos^2 \theta \quad (6)$$

$$C_v = t \cdot f_m' \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \quad (7)$$

Lebar strut diagonal W1 dan W2 diturunkan dengan mengasumsikan kolom leleh pada kondisi lentur sehingga displacement kolom dapat diturunkan dari persamaan distribusi momen. Menentukan lebar W2, persamaan distribusi momen dari ujung kolom tekan diberikan dengan persamaan 8 dan 9.

$$W_1 = 2 \cdot h_{s2} \cdot \cos \theta_2 \quad (8)$$

$$W_2 = 2 \cdot h_{s2} \cdot \cos \theta_2 \quad (9)$$

Selanjutnya nilai kekuatan lateral maksimum dinding dengan bukaan di tengah didapatkan dengan persamaan (10).

$$Q_{ui} = C_{s1} \cos \theta_1 + C_{s2} \cos \theta_2 \quad (10)$$

Pengujian pada penelitian ini akan menggunakan metode displacement control yaitu pembebanan yang diberikan pada tiap siklus sesuai dengan displacement yang diinginkan. Beban siklik yang diaplikasikan pada pengujian mengacu pada rekomendasi FEMA 461. Siklus pengujian dimulai dari drift angle $R=1/800$ dikali tinggi kolom $L=750$ cm yaitu 0,94 mm. Jadi untuk siklus pertama displacement yang direncanakan adalah 0,94 mm. Pada siklus ini Hydraulic Jack akan menekan benda uji kekanan (diasumsikan positif) sejauh 0,94 mm dengan kapasitas beban dorong yang diberikan Hydraulic Jack akan tercatat pada load cell dan tersimpan pada data logger dalam hitungan perdetik. Setelah beban terdorong kemudian pembebanan pada benda uji akan diposisikan seperti

semula (unloading) dan pengujian akan dilanjutkan berlawanan arah (diasumsikan negatif), Hydraulic Jack akan menarik benda uji sesuai dengan displacement yang sama. Pada siklus ini hanya dilakukan satu kali putaran pembenan lateral bolak balik.

Analisis dilakukan pada struktur rangka beton bertulang dengan dinding bata bukaan di tengah. Analisis ini dilakukan terhadap bukaan ditengah dengan persentase bukaan 25% dan 40%, dengan dasar penelitian awal. Untuk penelitian selanjutnya akan dilakukan eksperimen dengan bukaan 10%, 20%, 30% dan 35%. Adapun material dan penampang yang digunakan dalam analisis dapat dilihat dalam Tabel 1 dan 2. (Hamdeni, 2024)

Tabel 1. Kuat Tekan

Parameter	Frame	Frame + full brick walls	Frame + opening
f_c Concrete (MPa)	49.9	49.9	49.9
f_c Brick (MPa)	-	10.9	10.9
f_c Brick walls (MPa)	-	13.0	13.0

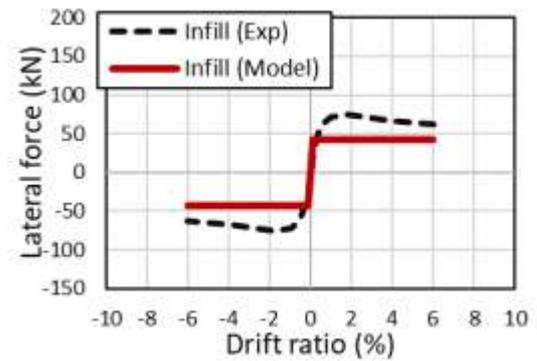
Tabel 2. Kuat Tarik

Reinforcement diameters	Yield stress, f_y (MPa)
Ø 4	390.200
Ø 6	345.800
D10	449.500
D13	399.000

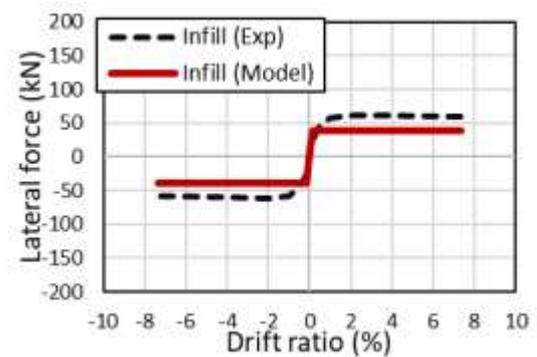
HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses yang dilakukan adalah hasil eksperimental diverifikasi dengan hasil analitikal dengan pengembangan model diagonal strut yang sudah dilakukan. Data hasil analitikal diverifikasi lagi dengan eksperimental yang dilakukan oleh Tasmini dkk. Dimana hasil dari verifikasi tersebut digunakan sebagai acuan untuk menentukan beberapa model untuk mencari kekuatan lateral dinding bata. Kekuatan lateral maksimum struktur dinding bukaan 25% dan dinding dengan bukaan 40% adalah 74.7 kN dan 61.5 kN. *Lateral force* dan *displacement* untuk 2 benda uji struktur yaitu struktur portal dengan dinding memiliki bukaan seluas 25% dan struktur portal dengan bukaan 40% (Maidiawati, 2019).

Hasil dari eksperimen didapatkan kekuatan lateral dinding masonry dengan bukaan ditengah diverifikasi dengan hasil studi eksperimen pada struktur portal beton bertulang dengan dinding bata ada bukaan ditengah dengan beban static lateral bolak balik dengan hasil pengujian telah dijelaskan dalam referensi.



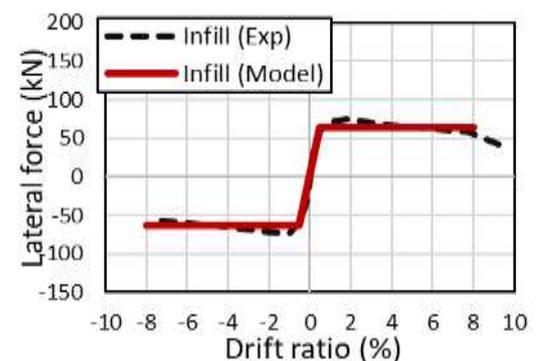
(a)

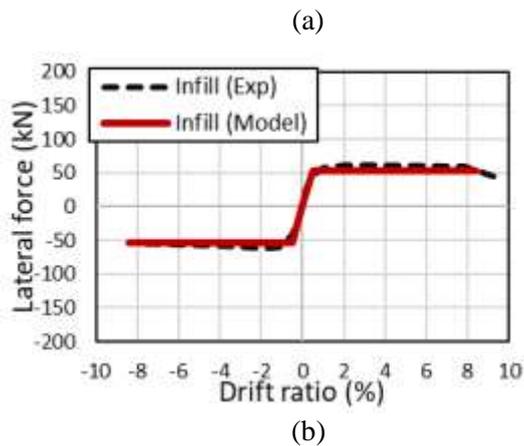


(b)

**Gambar 3. Perbandingan kekuatan lateral hasil eksperimen dan analitik model Tasmini
(a) Bukaan 25% (b) Bukaan 40%**

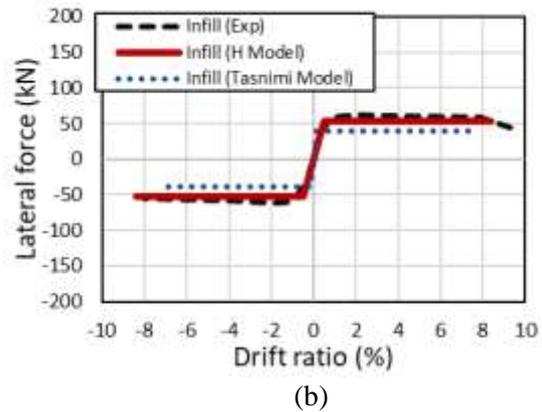
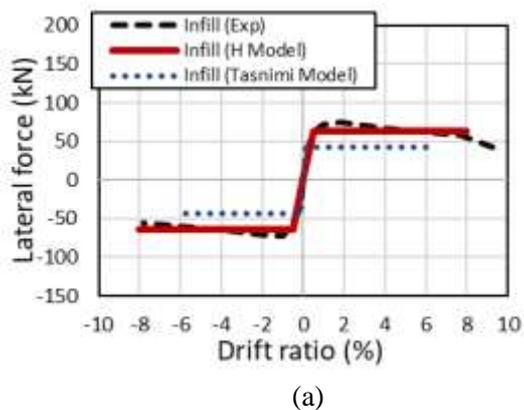
Pada gambar 3 diatas berdasarkan hasil model Tasmini diatas didapatkan kekuatan lateral untuk dinding bukaan 25% adalah 42.84 kN dengan deviasi sebesar 16.76% dan untuk bukaan 40% kekuatan lateral adalah sebesar 39.04 kN dengan deviasi sebesar 4.32%.





Gambar 4. Perbandingan kekuatan lateral hasil eksperimen dan analitik model Hamdeni (a) Bukaan 25% (b) Bukaan 40%

Pada gambar 4 diatas untuk struktur rangka dengan dinding bata bukaan 25% didapatkan tinggi kontak antara dinding dan kolom $h_{s1}=h_{s2}=345,9\text{mm}$, dan lebar strut diagonal dinding $W1=W2 = 178.25 \text{ mm}$. Gaya tekan diagonal pada dinding $CS1=CS2 = 63.2 \text{ kN}$. Dengan $\theta_1 = 0.26$ dan $\theta_2 = 0.97$ dengan menggunakan persamaan (7), nilai maksimum kekuatan dinding bata $Q_{ui}= 32.5\text{kN}$ pada displacement 5.48 mm. Ditunjukkan pada tabel 3. Displacement didapatkan dari hasil kekakuan dinding bata dibagi dengan kekuatan dinding bata. Dinding bata bukaan 40%, tinggi kontak antara dinding dan kolom $h_{s1}=h_{s2}=365.4 \text{ mm}$, lebar strut diagonal dinding $W1=W2 = 119.85 \text{ mm}$, gaya tekan diagonal pada dinding $CS1=CS2 = 42.46 \text{ kN}$. Dengan $\theta_1 = 0.16$ dan $\theta_2 = 0.99$ nilai maksimum kekuatan lateral dinding bata dengan bukaan 40% adalah $Q_{ui} = 13.96 \text{ kN}$. Ditunjukkan pada tabel 4. Kapasitas seismik dinding bata dinyatakan dalam bentuk bilinear hubungan gaya lateral dengan displacement. Perbandingan kekuatan lateral hasil eksperimen dan analitik Tasnimi dan Hamdeni ditunjukkan pada gambar 5



Gambar 5. Perbandingan kekuatan lateral hasil eksperimen dan analitik model Tasnimi dan Hamdeni (a) Bukaan 25% (b) Bukaan 40%

Tabel 3. Bukaan 25%

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Hs1	345.9	mm
2	Hs2	345.9	mm
3	W1	178.25	mm
4	W2	178.25	mm
5	CS1	63.2	kN
6	CS2	63.2	kN
7	θ_1	0.26	
8	θ_2	0.97	
9	Q_{ui}	32.5	kN

Tabel 4. Bukaan 40%

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Hs1	365.4	mm
2	Hs2	365.4	mm
3	W1	119.85	mm
4	W2	119.85	mm
5	CS1	42.46	kN
6	CS2	42.46	kN
7	θ_1	0.16	
8	θ_2	0.99	
9	Q_{ui}	13.96	kN

KESIMPULAN

Dari hasil analitik dinding bukaan ditengah bentang disimpulkan :

1. Hasil model Tasnimi didapatkan kekuatan lateral untuk dinding bukaan 25% adalah 42.84 kN dengan deviasi sebesar 16.76% dan untuk bukaan 40% kekuatan lateral adalah sebesar 39.04 kN dengan deviasi sebesar 4.32%.

2. Hasil model Hamdeni didapatkan kekuatan lateral untuk dinding bukaan 25% adalah 32.52 kN dengan deviasi sebesar 15.13% dan untuk bukaan 40% kekuatan lateral adalah sebesar 13.96 kN dengan deviasi sebesar 13.66%.

Hasil perbandingan antara eksperimental dan model analitik dinding bata bukaan 25% dan 40% menunjukkan hasil yang bagus. Sehingga analitik yang dikembangkan bisa digunakan

DAFTAR PUSTAKA

- Asteris PG, Kakaletsis DJ, Chrysostomou CZ, Smyrou EE. (2011). Failure Modes of In-filled Frames. *Electronic Journal of Structural Engineering*. 11(1): 11-20.
- Benabar A, Elouali T, Cherradi T. (2017). Masonry Infill Panels with Openings, Modeling, Effect on Seismic Response of Concrete Frame and Example Study According the Provisions in Morocco. *MOJ Civil Engineering*. 2(3): 113-117.
- Chiou TC, Hwang SJ, Hsiao FP. (2012). Experiments on Reinforced Concrete Frames with Brick Infill. 2012 NZSEE Conference. Paper No. 085.
- Maidiawati, Sanada Y, Konishi D, Tanjung J. (2011). Seismic Performance of Nonstructural Brick Walls Used in Indonesian R/C Buildings. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering JAABE*. 10(1): 203-210.
- Maidiawati, Sanada Y. (2013). Modeling of Brick Masonry Infill and Application to Analysis of Indonesian R/C Frame Buildings. The Thirteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-13). Sapporo. 13: I-1-5.
- Medriosa H, Maidiawati, Tanjung J, Zaidir. (2022). Analytical Study on Effect of Central Opening of Masonry Infill to the Lateral Strength of RC Frame Structure. *Journal of Applied Engineering Science*. 20(3): 745-753.
- Mohammadi M, Nikfar F. (2013). Strength and Stiffness of Masonry-Infilled Frames with Central Openings Based on Experimental Results. *Journal of Structural Engineering*. 139: 974-984.
- Mondal G, Jain SK. (2008). Lateral Stiffness of Masonry Infilled Reinforced Concrete (RC) Frames with Central Opening. *Earthquake Spectr., Earthquake Engineering Research Institute (EERI)*. 24(3): 701-723.
- Tanjung J, Maidiawati. (2016). Studi Eksperimental tentang Pengaruh Dinding Bata Merah Terhadap Ketahanan Lateral Struktur Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil ITB*. 23(2): 99-106.
- Tasnimi A, Mohebkhah. (2011). Investigation on the Behavior of Brick-Infilled Steel Frames with Openings, Experimental and Analytical Approaches, *Engineering Structures*. 33: 968–980.
- The Japan Building Disaster Prevention Association [JBDPA]. (2005). English Version 1st, Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001.
- Surendran S, Kaushik HB. (2012). Masonry Infill RC Frames with Openings: Review of In-plane Lateral Load Behaviour and Modeling Approach. *The Open Construction and Building Technology Journal*. 1(9): 126-155.
- Maidiawati, Tanjung J, Hayati Y, Agus, Medriosa H, (2019) Experimental Investigation of Seismic Performance of Reinforced Brick Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames With A Central Opening, *International Journal of Geomate*. Vol.16.Issue 57, pp 35-41
- Maidiawati, Tanjung J, Medriosa H, Hayati Y (2018). Effects of Single and Multi Openings in Brick infills on the Seismic Response of Infilled RC Frames, *MATEC Web of Conferences* pp1-7
- Maidiawati. Tanjung J. Hayati Y. Medriosa H. 2019. Behaviour of Reinforce Concrete Frames with Central Opening Masonry Infill Under Lateral Reversed Cycling Loading, *Matec Web Of Conferences* pp 1-6
- Medriosa H. Zaidir. Tanjung J. Maidiawati 2024. An Analytical model of walls with openings variation using the diagonal strut method, *Civil and Environmental Engineering*. Vol 12, Issue 1, 137-147.