

Tinjauan Kinerja Struktur Dinding Bata Berdasarkan SNI 1726-2019 Untuk Bangunan Bertingkat Rendah Menggunakan Pendekatan Diagonal Tekan Ekuivalen

La Rahman^{1*}, Mardis Darwis¹, Anafi Minmahddun², Muh Handy Dwi Adityawan², Ezra Pasereng Rambak¹, Raja Agung H.S¹

¹Program Studi D3 Teknologi Sipil, Politeknik Tridaya Virtu Morosi

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo

Koresponden*, Email: oman.lambola@gmail.com

Info Artikel	Abstract
Diajukan : 12 Juli 2024 Diperbaiki : 20 Juli 2024 Disetujui : 4 Agustus 2024	<i>In structural analysis, the influence of masonry brick walls on seismic performance is always ignored. However, several studies have shown that the seismic performance of structures will increase due to the influence of masonry brick walls, especially reinforced masonry walls. Based on SNI 1726-2019, reinforced masonry walls can be an alternative structural system to displace the special moment resisting frame system (SRPMK) which has complicated details for low-rise buildings. This research aims to compare the performance of low-rise building structures using special moment-resisting frame systems and structural systems with reinforced masonry. The reinforced masonry walls are modeled as equivalent diagonal strut referring to the FEMA 356 and Holmes methods with the framing system detailed using the intermediate moment resisting frame (SRPMM) rules. The analysis results show that reinforced masonry wall structures have better seismic performance compared to the SRPMK structural system even though the reinforcement used refers to the SRPMM reinforcement rules. Thus, the low-rise building located in high seismic locations do not have to be designed using the SRPMK system, but can use the SRPMM system by including the influence of reinforced masonry walls in the analysis process.</i>

Keywords: Diagonal Strut, Low-Rise Building, Masonry Wall, Reinforced Masonry Wall

Abstrak

Dalam analisis struktur, pengaruh dinding bata dalam menentukan kinerja seismik struktur seringkali diabaikan. Namun, beberapa penelitian memperlihatkan bahwa kinerja seismik struktur akan meningkat akibat adanya dinding bata, khususnya untuk dinding bata yang menggunakan tulangan. Berdasarkan SNI 1726-2019, dinding bata bertulang dapat digunakan sebagai sistem struktur alternatif untuk menggantikan struktur dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) yang memiliki pendetailan yang rumit, khususnya untuk bangunan bertingkat rendah. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja bangunan bertingkat rendah yang menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus dengan sistem struktur dengan dinding bata. Dinding bata dimodelkan dengan menggunakan pendekatan diagonal tekan ekuivalen dari FEMA 356 dan metode Holmes dengan sistem rangkanya mengacu pada aturan penulangan sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM). Hasil analisis memperlihatkan bahwa meskipun menggunakan aturan penulangan SRPMM, sistem struktur dengan dinding bata memiliki kinerja seismik yang lebih baik dibandingkan dengan sistem struktur SRPMK. Sehingga, struktur bangunan bertingkat rendah yang berada pada lokasi seismik tinggi tidak mesti didesain menggunakan aturan SRPMK, tetapi dapat menggunakan aturan penulangan SRPMM dengan memasukkan pengaruh dinding bata pada proses analisis.

Kata kunci: Bangunan Bertingkat Rendah, Diagonal Tekan Ekuivalen, Dinding Bata, Dinding Bata Bertulang,

1. PENDAHULUAN

Meskipun sering diabaikan dalam analisa struktur, dinding bata nyatanya memiliki pengaruh terhadap kinerja struktur. Mempertimbangkan dinding bata dalam analisa struktur dapat meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur [1], meningkatkan kapasitas energi dissipasi pada struktur [2][3][4], meningkatkan kapasitas lateral struktur [5][6], serta meningkatkan gaya geser dasar pada struktur [7]. Akan tetapi, penggunaan dinding bata

dalam analisa struktur menyebabkan struktur memiliki perilaku yang *brittle* [1][3], dan mengalami keruntuhan *soft story* [8] serta menurunkan kinerja perpindahan pada struktur tersebut [2][9].

Dibandingkan dengan struktur dengan sistem rangka, struktur yang dianalisis dengan memperhitungkan kekakuan dinding bata pada bangunan bertingkat rendah dapat memberikan hasil yang lebih ekonomis [10]. Namun, seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa dinding bata dapat mengubah mekanisme keruntuhan struktur yang tadinya bersifat *daktail* menjadi bersifat *brittle*. Kerusakan pada bangunan dengan dinding bata bergantung pada geometri dinding dan beban vertikal yang diterima struktur [11]. Bangunan dengan dinding bata *in-plane*, kerusakan terjadi pada daerah dengan tekanan geser tinggi yakni pada lantai bawah. Sedangkan pada bangunan dengan dinding *out-plane*, kerusakan terpusat pada lantai atas [12].

Untuk mengurangi kerusakan pada dinding bata, maka dilakukan penguatan menggunakan tulangan. Tulangan dapat dipasang pada dinding dengan arah vertikal dan/atau horizontal. Dinding bata yang tidak diperkuat cenderung memiliki kinerja dibawah kinerja struktur yang diinginkan oleh peraturan yang ada [13]. Selain itu, dinding bata yang tidak diperkuat akan memiliki kekakuan yang besar pada saat awal terjadi pembebanan, yang nilai kekakuan tersebut akan terus menurun seiring dengan penambahan beban lateral [14]. Penggunaan tulangan horizontal pada dinding dapat meningkatkan kekuatan geser, kuat lentur, *yield displacement*, daktilitas, dan dissipasi energi [15][16][17][18][19][20]. Adapun ketika digunakan tulangan vertikal sebagai penguatan pada struktur, maka dapat meningkatkan kinerja seismik struktur, kekuatan lateral struktur [21][22] dan regangan geser puncak [23].

Karena tulangan dapat meningkatkan kekuatan geser pada dinding, maka secara tidak langsung dinding tersebut akan bekerja sebagai dinding geser batu bata. Dalam melakukan analisa untuk bangunan sederhana bertingkat rendah, SNI 1726-2019 [24] memberikan pilihan sistem bangunan dengan dinding geser batu bata khusus sebagai alternatif dalam melakukan perencanaan. Hal ini karena penggunaan sistem struktur rangka pemikul momen khusus memiliki persyaratan detail yang lebih rumit [25] yang kerap membuat para perencana merasa bimbang khususnya ketika merencanakan bangunan sederhana seperti rumah tinggal.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dibuat untuk mengetahui perbandingan kinerja struktur yang menggunakan jenis struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan jenis struktur yang menggunakan Dinding Bata Bertulangan Khusus. Sistem rangka untuk struktur yang menggunakan dinding bata didesain dengan mengikuti persyaratan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah. Sedangkan dalam pemodelan dinding bata digunakan pendekatan *masonry infill frame* yang mana dinding bata dimodelkan sebagai diagonal tekan ekuivalen pada struktur. Dinding bata ketika dimodelkan menggunakan metode diagonal tekan ekuivalen terbukti dapat memberikan hasil yang konservatif [26].

2. METODE

Struktur yang dianalisis merupakan struktur yang diperuntukkan untuk rumah sederhana yang terdiri atas dua lantai dengan ketinggian masing-masing lantai 3,6 meter. Struktur diasumsikan berada pada wilayah Kota Kendari dengan jenis tanah sedang. Sehingga penentuan parameter untuk beban gempa yang bekerja ditentukan berdasarkan kondisi percepatan tanah dasar lokasi setempat yang didapatkan dari laman <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. Untuk desain awal digunakan dimensi kolom 450 x 450 mm, balok 250 x 450 mm, tebal plat lantai dan atap 120 mm. Adapun parameter lain yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Untuk lebih menyederhanakan proses analisis, maka struktur dibuat dalam bentuk sistem portal 2 dimensi yang hanya dipengaruhi oleh gaya pada arah x dan z. sehingga seluruh beban yang bekerja ditempatkan pada balok dengan menggunakan prinsip tributary area. Objek penelitian terdiri atas 3 model yakni Model 01 yang menggunakan sistem struktur SRPMK, Model 02 yang menggunakan sistem dinding penumpu berdasarkan

FEMA 356 [27] dan Model 03 yang menggunakan sistem dinding penumpu berdasarkan Holmes [28]. Metode Holmes merupakan metode yang memberikan hasil yang mendekati hasil yang didapatkan dari metode percobaan langsung [29]. Sistem rangka pada Model 02 dan Model 03 menggunakan sistem rangka SRPMM. Setelah ketiga model dipastikan mampu menahan gaya gempa yang terjadi, maka struktur kemudian dianalisis menggunakan metode *pushover* untuk mendapatkan kinerja struktur dan pola pembentukan sendi plastis.

Tabel 1 Parameter Struktur

Parameter	Nilai (Mpa)
f'_c	25
F_y	420
$f_{masonry}$	13,79
E_c	23.500
E_y	200.000
$E_{masonry}$	12.410,56

2.1 Struktur Bangunan Yang Disederhanakan (SNI 1726-2019)

Struktur bangunan yang menggunakan sistem rangka atau sistem dinding penumpu dibolehkan untuk menggunakan persyaratan desain bangunan yang disederhanakan sebagaimana terdapat dalam pasal 8 SNI 1726-2019 [24]. Namun, terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi diantaranya struktur yang didesain termasuk dalam Kategori Resiko I atau II yang tidak berada pada kelas situs SE atau SF serta tidak lebih dari 3 tingkat.

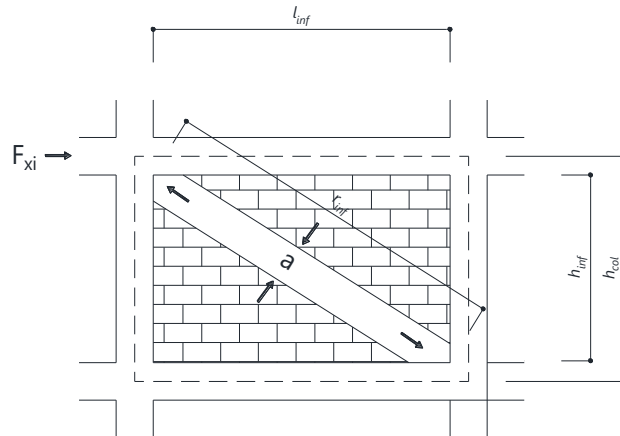
Gaya geser dasar seismik ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$V = \frac{F \cdot S_{DS}}{R} W \quad (1)$$

Dengan F merupakan koefisien pengali yang besarnya 1,0 untuk bangunan satu lantai; 1,1 untuk bangunan dua lantai dan 1,2 untuk bangunan tiga lantai. Simpangan antar tingkat pada struktur yang disederhanakan dibatasi sampai 1% tinggi bangunan.

2.2 *Equivalent Diagonal Strut*

Dalam analisa struktur, dinding pengisi seringkali diabaikan dan dianggap tidak memberikan kontribusi pada struktur yang dianalisis. Dinding pengisi dapat diasumsikan sebagai rangka bresing yang menambah kekakuan struktur rangka atau dikenal dengan konsep *diagonal strut equivalent*. Model diagonal tekan tersebut hanya mampu menahan gaya tekan. Sehingga ketika gaya gempa bekerja pada portal, beban lateral bolak-balik akan ditahan oleh *diagonal strut* yang terbentuk pada kedua sisinya.



Gambar 1 Analogi Diagonal Tekan Dinding Bata (FEMA 356)

Diagonal tekan ekuivalen merepresentasikan kekakuan elastis pada dinding pengisi yang besarnya menurut FEMA 356 [27] ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$a = 0.175(\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad (2)$$

Dengan:

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

Dan:

h_{col} = Tinggi kolom antar as balok (mm)

h_{inf} = Tinggi dinding pengisi (mm)

E_{fe} = Modulus elastisitas frame (MPa)

E_{me} = Modulus elastisitas dinding pengisi (MPa)

I_{col} = Momen inersia kolom (mm⁴)

L_{inf} = Panjang dinding pengisi (mm)

r_{inf} = Panjang diagonal dinding pengisi (mm)

t_{inf} = Tebal dinding pengisi dan diagonal strut (mm)

θ = Sudut antara rasio tinggi dan panjang dinding pengisi (rad)

λ_1 = Koefisien yang digunakan untuk menentukan lebar ekuivalen

Lebar dinding diagonal strut dapat pula ditentukan menggunakan metode Holmes [28] yakni:

$$w = \frac{1}{3} d_{inf} \quad (4)$$

w = Lebar diagonal strut (mm)

d_{inf} = Panjang diagonal strut (mm)

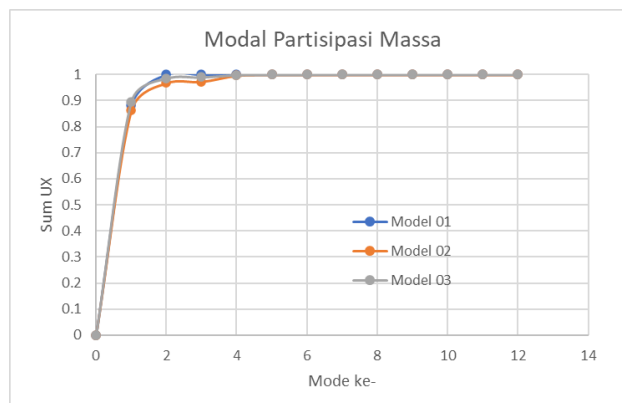
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Partisipasi Massa Struktur

Ketika struktur menerima beban dinamik, maka terjadi getaran yang sifatnya bolak-balik (*osilasi*) pada struktur tersebut. Getaran tersebut akan membentuk pola deformasi atau perpindahan pada struktur yang sering disebut dengan modus getar (*mode shape*). SNI 1726-2019 [24] mensyaratkan bahwa partisipasi massa akibat kombinasi ragam pada struktur harus mencapai 100% dari massa struktur.

Dari hasil analisis didapatkan bahwa masing-masing model telah mencapai lebih dari 100% partisipasi massa pada mode ke 12. Adapun model 01 yakni model yang menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus, partisipasi massa sebesar 100% terjadi pada mode kedua dengan partisipasi mode awal yakni sebesar 88,09%. Pada model 02 yakni model yang menggunakan sistem rangka infill frame model FEMA 356 mencapai partisipasi massa 100% pada mode keempat dengan model awal sebesar 86,30%. Sedangkan pada model 03 yakni model yang menggunakan sistem rangka *infill frame* model Holmes mencapai 100% partisipasi massa pada mode keempat dengan mode awal 89,65%.

Partisipasi massa awal pada model 03 yang didapatkan lebih besar dari model 02. Meskipun model 02 dan model 03 memiliki jenis sistem struktur yang sama, tetapi dimensi struktur yang dimiliki khususnya dimensi diagonal strut memiliki ukuran yang berbeda. Pada model 02, lebar diagonal strut mengikuti tebal dinding yakni sebesar 20 cm, sedangkan panjang tinggi diagonal strut ditentukan berdasarkan persamaan yang ada. Adapun pada model 03, lebar diagonal strut ditentukan berdasarkan persamaan dari Holmes, sedangkan tinggi penampang diagonal strut sebesar 2 kali lebar penampangnya.

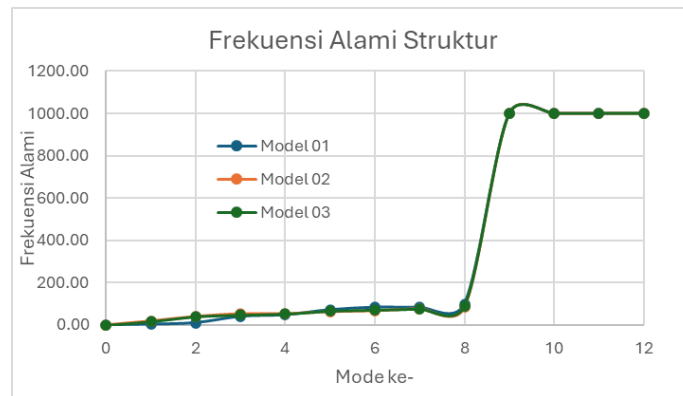


Gambar 2 Modal Partisipasi Massa Pada Struktur (*Sumber: Hasil Penelitian*)

3.2 Periode dan Frekuensi

Struktur ketika didesain umumnya harus mempertimbangkan kondisi periode dan frekuensi alaminya. Pada saat menerima beban dari luar, struktur akan beresonansi yang besaran resonansinya bergantung pada periode atau frekuensinya. Jika resonansi struktur mendekati resonansi dari beban dinamis yang bekerja maka dapat menyebabkan kerusakan yang lebih besar pada struktur tersebut. Untuk itu SNI 1726-2019 [24] mengatur terkait batasan periode dasar struktur yakni tidak boleh melebihi periode struktur pendekatan.

Dari hasil analisis memperlihatkan bahwa struktur Model 01 memiliki nilai frekuensi alami yang lebih kecil jika dibandingkan dengan Model 02 dan Model 03. Pada mode pertama, Model 01 memiliki frekuensi alami sebesar 3,28 Hz. Sedangkan untuk Model 02 dan Model 03 memiliki nilai frekuensi alami pada mode pertama sebesar 18,52 Hz dan 16,95 Hz.



Gambar 3 Frekuensi Alami Struktur (*Sumber: Hasil Penelitian*)

3.3 Gaya Geser Dasar

Pada saat struktur mengalami gaya lateral seperti gaya gempa, terjadi gaya geser dasar yang nilainya perlu ditinjau untuk memastikan bahwa struktur memiliki kapasitas yang memadai dalam menahan gaya tersebut sehingga kegagalan struktur dapat dihindari. Dari hasil analisis didapatkan bahwa gaya geser dasar yang terjadi pada struktur Model 02 lebih besar dibandingkan Model 03 dan Model 01. Pada Model 01, didapatkan gaya geser dasar sebesar 14,357 kN, Model 02 sebesar 43,860 kN dan Model 03 sebesar 36,086 kN. Nilai gaya geser dari masing-masing model tersebut sejalan dengan kekakuan struktur yang mana model 01 yang memiliki kekakuan struktur lebih kecil, juga memiliki gaya geser dasar yang lebih kecil pula.

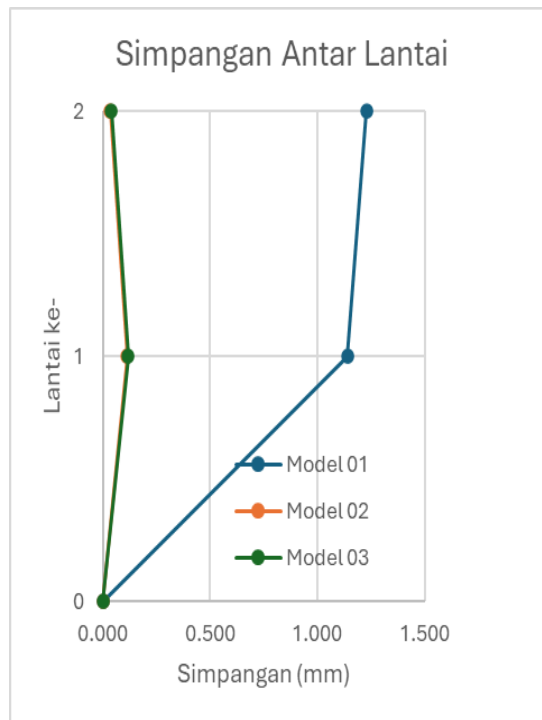
3.4 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai merupakan rasio perpindahan lateral yang terjadi antara dua lantai pada suatu bangunan. SNI 1726-2019[24] mensyaratkan bahwa simpangan antar lantai yang terjadi untuk struktur yang berada pada kategori desain seismik IV tidak boleh melebihi $0,010h_x$ atau sebesar 1% dari ketinggian struktur. Simpangan antar lantai pada masing-masing arah ditampilkan dalam Gambar 4.

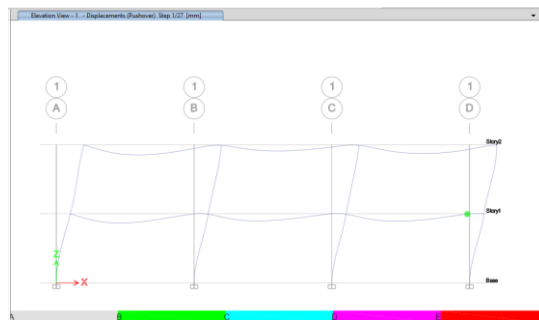
Hasil analisis memperlihatkan bahwa simpangan antar lantai maksimum yang terjadi pada model 01 sebesar 1,228 mm. Adapun yang terjadi pada model 02 sebesar 0,111 mm dan model 03 sebesar 0,118 mm. Simpangan antar tingkat yang terjadi pada seluruh model lebih kecil dari simpangan antar tingkat izin yakni sebesar 72 mm. Simpangan antar tingkat terbesar terjadi pada model 01, kemudian model 03 dan yang terkecil terjadi pada model 02. Hal ini memperlihatkan bahwa semakin besar kekakuan struktur, maka simpangan antar tingkat yang terjadi semakin kecil atau kekakuan struktur berbanding terbalik dengan simpangan yang terjadi.

3.5 Pembentukan Sendi Plastis

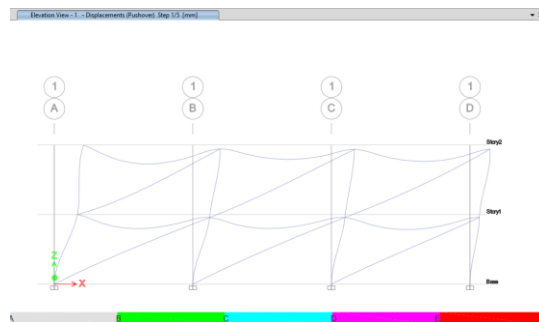
Pengecekan sendi plastis pada struktur dimaksudkan untuk melihat pola deformasi plastis pada elemen-elemen struktur ketika terjadi gempa. Elemen yang mengalami deformasi plastis menunjukkan bahwa beban yang diterima oleh elemen tersebut telah melebihi kapasitasnya. Umumnya struktur akan direncanakan mengalami *deformasi plastis* pada elemen balok demi menjamin prinsip *strong column weak beam* dapat terjadi. Pola pembentukan sendi plastis pada masing-masing model diperlihatkan pada Gambar 5 - Gambar 7.



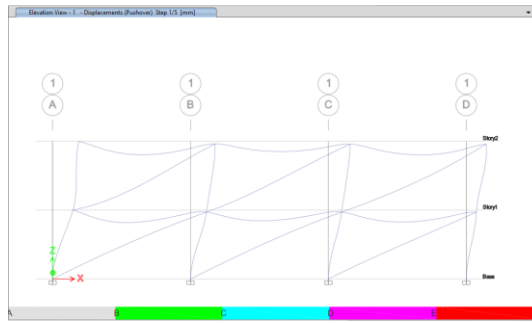
Gambar 4 Simpangan Antar Lantai Pada Struktur (*Sumber: Hasil Penelitian*)



Gambar 5 Pembentukan Sendi Plastis Pada Model 01 (*Sumber : Hasil Penelitian*)



Gambar 6 Pembentukan Sendi Plastis Pada Model 02 (*Sumber : Hasil Penelitian*)



Gambar 7 Pembentukan Sendi Plastis Pada Model 03 (Sumber : Hasil Penelitian)

Dari hasil analisis menggunakan metode pushover, didapatkan hasil bahwa pada model 01 sendi plastis pertama kali terjadi pada elemen balok. Sedangkan pada model 02 dan 03, sendi plastis pertama kali terjadi pada ujung kolom. Hal ini menandakan bahwa penambahan *bracing* sebagai representasi dinding bata dapat membuat struktur menjadi lebih *brittle* yang mana dibuktikan dengan terjadinya keruntuhan yang bersifat *soft story*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, maka kesimpulan yang didapatkan yakni sebagai berikut:

1. Meskipun partisipasi pada mode awalnya lebih besar, struktur yang menggunakan diagonal tekan ekuivalen akan mencapai 100% partisipasi massa lebih lama dibandingkan pada struktur yang rangka biasa. Model 02 dan model 03 mencapai partisipasi massa 100% pada mode ke-4, sedangkan Model 01 mencapai 100% partisipasi massa pada mode ke-2.
2. Karena kekakuan struktur meningkat dengan adanya diagonal tekan ekuivalen, maka frekuensi alami struktur juga meningkat. Model 01, Model 02 dan Model 03 memiliki frekuensi alami sebesar 3,28 Hz; 18,52 Hz dan 16,95 Hz.
3. Penggunaan dinding bata yang dimodelkan dengan diagonal tekan ekuivalen dapat menurunkan simpangan antar lantai maksimum yang terjadi. Dari analisis data didapatkan simpangan antar lantai maksimum pada model 01 sebesar 1,228 mm, model 02 sebesar 0,111 mm dan model 03 sebesar 0,118 mm.

Daftar Pustaka

- [1] S. Saengyuan and P. Latcharote, "Investigation of Seismic Performance for Low-Rise RC Buildings with Different Patterns of Infill Walls," *Buildings*, vol. 12, no. 9, Sep. 2022, doi: 10.3390/buildings12091351.
- [2] F. Wang, K. Zhao, J. Zhang, and K. Yan, "Influence of different types of infill walls on the hysteretic performance of reinforced concrete frames," *Buildings*, vol. 11, no. 7, Jul. 2021, doi: 10.3390/buildings11070310.
- [3] F. Wang, K. Zhao, J. Zhang, and K. Yan, "Influence of different types of infill walls on the hysteretic performance of reinforced concrete frames," *Buildings*, vol. 11, no. 7, Jul. 2021, doi: 10.3390/buildings11070310.
- [4] S. Frapanti and J. Tarigan, "Analisa Portal Yang Memperhitungkan Kekakuan Dinding Bata Dari Beberapa Negara Pada Bangunan Bertingkat Dengan Pushover," in *Prosiding Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS)*, 2017.

- [5] M. M. Abdelaziz, M. S. Gomma, and H. El-Ghazaly, "Seismic evaluation of reinforced concrete structures infilled with masonry infill walls," *Asian Journal of Civil Engineering*, vol. 20, no. 7, pp. 961–981, Nov. 2019, doi: 10.1007/s42107-019-00158-6.
- [6] Maidiawati, J. Tanjung, F. Mohamed Nazri, Y. Hayati, and Masrilayanti, "A Simple Strengthening Method for Preventing Collapsed of Vulnerable Masonry Infills," *Buildings*, vol. 12, no. 10, Oct. 2022, doi: 10.3390/buildings12101496.
- [7] S. Dwi Wahyuni, A. Khamid, and Y. Feriska, "Evaluasi Kinerja Struktur Dinding Bata dengan Metode Analisis Pushover pada Bangunan Sederhana Performance Evaluation of Brick Wall Structure with Pushover Analysis Method in Simple Buildings," 2021.
- [8] M. M. Abdelaziz, M. S. Gomaa, and H. El-Ghazaly, "Effect of Unreinforced Masonry Infill Walls on Seismic Performance of Reinforced Concrete Framed Structures," *The Open Civil Engineering Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 919–931, Nov. 2017, doi: 10.2174/1874149501711010919.
- [9] R. S. Leksono, D. Iranata, and H. Kristijanto, "Studi Pengaruh Kekuatan dan Kekakuan Dinding Bata Pada Bangunan Bertingkat," *Jurnal Teknik ITS*, vol. Vol 1, no. No 1, pp. 30–33, 2012.
- [10] J. Barros and H. Santa-Maria, "Seismic design of low-rise buildings based on frequent earthquake response spectrum," *Journal of Building Engineering*, vol. 21, pp. 366–372, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.jobbe.2018.11.005.
- [11] M. K. Howlader, M. J. Masia, and M. C. Griffith, "In-Plane Response of Perforated Unreinforced Masonry Walls under Cyclic Loading: Experimental Study," *Journal of Structural Engineering*, vol. 146, no. 6, Jun. 2020, doi: 10.1061/(asce)st.1943-541x.0002657.
- [12] J. K. Bothara, R. P. Dhakal, and J. B. Mander, "Seismic performance of an unreinforced masonry building: An experimental investigation," *Earthq Eng Struct Dyn*, vol. 39, no. 1, pp. 45–68, 2010, doi: 10.1002/eqe.932.
- [13] J. Park, P. Towashiraporn, J. I. Craig, and B. J. Goodno, "Seismic fragility analysis of low-rise unreinforced masonry structures," *Eng Struct*, vol. 31, no. 1, pp. 125–137, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.engstruct.2008.07.021.
- [14] T. Yi, F. L. Moon, R. T. Leon, and L. F. Kahn, "Analyses of a Two-Story Unreinforced Masonry Building," doi: 10.1061/ASCE0733-94452006132:5653.
- [15] S. M. Nolph, M. A. Elgawady, and M. Asce, "Static Cyclic Response of Partially Grouted Masonry Shear Walls," 2012, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.
- [16] Y. Zhao and F. Wang, "Experimental studies on behavior of fully grouted reinforced-concrete masonry shear walls," *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, vol. 14, no. 4, pp. 743–757, Dec. 2015, doi: 10.1007/s11803-015-0030-5.
- [17] N. Mendes, P. B. Lourenço, and A. Campos-Costa, "Shaking table testing of an existing masonry building: Assessment and improvement of the seismic performance," *Earthq Eng Struct Dyn*, vol. 43, no. 2, pp. 247–266, 2014, doi: 10.1002/eqe.2342.
- [18] K. C. Voon and J. M. Ingham, "Experimental In-Plane Shear Strength Investigation of Reinforced Concrete Masonry Walls," doi: 10.1061/ASCE0733-94452006132:3400.
- [19] C. B. Bachroni, "Influence of Horizontal Steel Reinforcement Addition to the Confined Red Brick Masonry Wall," *Jurnal Permukiman*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, 2013.

- [20] L. Avila, G. Vasconcelos, and P. B. Lourenço, “Experimental seismic performance assessment of asymmetric masonry buildings,” *Eng Struct*, vol. 155, pp. 298–314, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.engstruct.2017.10.059.
- [21] G. Xie, X. Zhang, H. Hao, and J. Thomas, “Parametric study of reinforced interlocking brick wall under cyclic loading,” *Journal of Building Engineering*, vol. 83, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.job.2023.108415.
- [22] P. B. Lourenço, L. Avila, G. Vasconcelos, J. P. P. Alves, N. Mendes, and A. C. Costa, “Experimental investigation on the seismic performance of masonry buildings using shaking table testing,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 11, no. 4, pp. 1157–1190, Aug. 2013, doi: 10.1007/s10518-012-9410-7.
- [23] A. Mahrous, B. AbdelRahman, and K. Galal, “Experimental investigation of the effects of different reinforcement configurations on the shear strength of reinforced concrete block masonry,” *Eng Struct*, vol. 322, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.engstruct.2024.118925.
- [24] BSN, *SNI 1726 Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*. 2019.
- [25] BSN, *SNI 2847 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. 2019.
- [26] W. Dewobroto, “Analisa Inelastis Portal-Dinding Pengisi dengan ‘Equivalent Diagonal Strut’ Jurnal Teknik Sipil,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. Vol. 12, no. No 4, pp. 229–240, 2005.
- [27] ASCE, *FEMA 356 - Prestandard and Commentary Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C, 2000.
- [28] M. Holmes, “Steel Frames With Brickwork And Concrete Infilling,” in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 1961, pp. 473–478.
- [29] A. R. Amalia and D. Iranata, “Comparative study on diagonal equivalent methods of masonry infill panel,” in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Jun. 2017. doi: 10.1063/1.4985481.