

Gaya Lateral In-Plane Struktur Portal Dinding Pasangan Bata $\frac{1}{2}$ Batu Melalui Analisis Numerik

(In-Plane Lateral Force $\frac{1}{2}$ Stone Brick Masonry Wall Portal Structure Using Numerical Analysis)

HAKAS PRAYUDA

ABSTRACT

Building construction in Indonesia is categorized as two big classes; there are engineered building and non-engineered building. Non-engineered building is very susceptible to the lateral load such as an earthquake, either medium earthquake or massive earthquake that causing sudden collapse so that the research of mitigation building strength needs to be done which is rely on the strength of brick masonry (non-engineered building) that can be predicted through measuring micro vibration at the bottom and the top of the brick masonry wall surface. The aims of this research is to find out the effect of $\frac{1}{2}$ stone brick masonry in its contribution to the rigidity of simple portal structure by using loading in-plane lateral system. Loading analysis result at the plastic limit is 95, 524 kN or only 86,89% of the maximum load, meanwhile lateral deviation at the plastic limit is 7,506 cm or 27,51% of maximum lateral deviation. Besides, The rigidity of $\frac{1}{2}$ stone brick masonry wall is 12,72 kN/cm.

Keywords: Brick Masonry Wall, Lateral Force, In-Plane, Numerical Analysis.

PENDAHULUAN

Pengertian rumah sederhana (*non engineered building*) adalah bangunan rumah tinggal dan bangunan komersil sampai 2 lantai yang dibangun oleh pemilik, menggunakan tukang, bahan bangunan yang didapat setempat, tanpa bantuan arsitek maupun ahli struktur. Pengerjaan bangunan yang hanya melibatkan pekerja atau tukang setempat yang tidak kompeten atau pengerjaan yang hanya didasarkan pada perkiraan atau pengalaman membangun sebelumnya membuat kualitas pekerjaan yang dihasilkan rendah. (Soegihardjo dan Soedibjo, 1977).

Bangunan *non engineered building* yang terbuat dari pasangan bata pada kenyataannya merupakan bangunan dengan sistem dinding pemikul gaya horizontal maupun gravitasi, hal ini ditinjau dari runtuhnya dinding-dinding saat gempa bumi sebagai pemikul beban.

Dinding pengisi bata biasa digunakan pada struktur bangunan beton bertulang ataupun struktur bangunan baja. Dinding dapat menutupi tembok bangunan secara keseluruhan dan ada juga yang memiliki bukaan untuk pintu

dan jendela. Namun dalam perencanaan struktur bangunan, dinding pengisi hanya diperlakukan sebagai sekat atau partisi tanpa fungsi struktural. Padahal apabila terjadi gempa dinding pengisi dapat mempengaruhi kekakuan dan kekuatan struktur yang efeknya kadang tidak menguntungkan pada struktur tersebut sehingga dapat menimbulkan kerusakan (Dewobroto, 2005).

Umumnya dinding pengisi yang dipasang pada bangunan gedung berfungsi sebagai penutup luar ataupun sebagai partisi. Hal ini berkenaan dengan kebutuhan arsitektural maupun kepentingan estetika bangunan. Sudah menjadi anggapan umum bahwa dinding bata adalah elemen nonstruktural bangunan dan tidak berpengaruh terhadap kekuatan dari konstruksi itu sendiri. Sehingga dalam proses konstruksi, dinding pengisi dikerjakan setelah struktur utama selesai dan pemasangannya terpisah dari struktur utama. Oleh karena itu, dinding pengisi ini seringkali diabaikan dalam pemodelan struktur dan hanya dianggap sebagai beban, bukan pemikul beban. Adapun beberapa identifikasi masalah yang dapat dikemukakan adalah:

1. Dinding pasangan batu bata dianggap bukan merupakan elemen struktural bangunan sehingga pembuatan dinding biasanya dilakukan tanpa perkuatan.
2. Bila terkena beban gempa, elemen dinding seringkali merupakan bagian yang mengalami kerusakan paling parah, biasanya berwujud retak diagonal.
3. Kekuatan dinding seharusnya dapat meningkat dengan penggunaan *bracing* untuk menahan beban geser.

Pada renovasi bangunan paska gempa, dinding yang rusak tidak perlu dirobohkan, tetapi cukup dilakukan perbaikan pada daerah rawan retak.

Frick dan Setiawan (2001) menjelaskan dinding dapat diartikan sebagai bagian struktur bangunan yang terbentuk bidang vertikal dan yang berguna untuk melingkupi, membagi, atau melindungi isi bangunan. Di daerah tropis khususnya Indonesia, dinding memenuhi berbagai fungsi berikut :

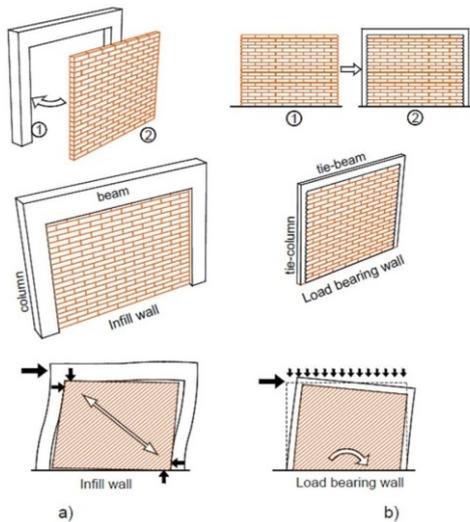
1. Membagi bangunan atas ruangan-ruangan yang ukurannya lebih nyaman.
2. Mencegah masuknya debu atau air hujan dan sekaligus memungkinkan pengudaraan ruang dalam.
3. Menyediakan tempat teduh, segar dan nyaman serta memberi kebebasan dan perlindungan bagi penghuni.

Selain memenuhi kebutuhan di atas, dinding juga dapat berfungsi menerima beban dari konstruksi lantai atas atau atap dan menyalurkan beban itu kepada pondasi. Dinding bagian luar ruangan juga selain dipengaruhi beban diatas juga akan terkena pula pengaruh lingkungan luar. Rumah berdinding batu tradisional menerapkan prinsip

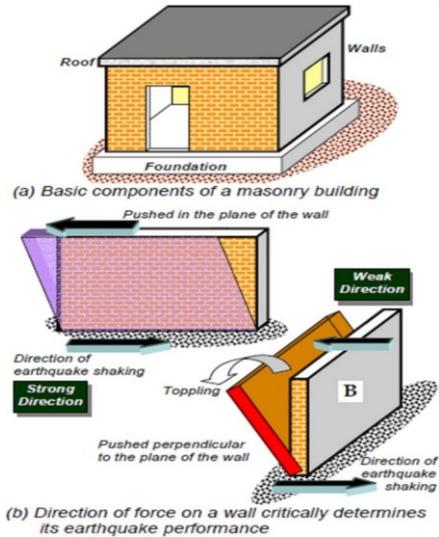
dinding sebagai bagian dari struktur rumah yang berperan menopang atap. Rumah berdinding batu bata saat ini sudah lazim menggunakan kolom dan balok beton sebagai pengikat dinding batu bata yang dikenal dengan dinding terkekang (*confined masonry*). Struktur demikian digunakan untuk meningkatkan kinerja panel dinding bata merah yang bersifat getas agar menjadi lebih daktail. Dinding batu bata berperan sebagai bagian dari konstruksi yang harus dibangun dengan material dengan mutu dan spesifikasi yang sepadan dengan perannya di dalam konstruksi bangunan. Teknik kerja yang memadai seperti metode dan bahan adukan pasangan, ketebalan adukan pasangan dan plesteran dinding berpengaruh terhadap kekuatan struktur dinding (Wisnumurti, 2013).

Di Indonesia terdapat dua jenis struktur dinding yaitu struktur dinding pengisi portal dan dinding terkekang. Perbedaan skematik terlihat dari cara pelaksanaannya yang kemudian dibedakan juga dari jenis keruntuhannya. Untuk metode pelaksanaannya dapat dilihat pada Gambar 1.

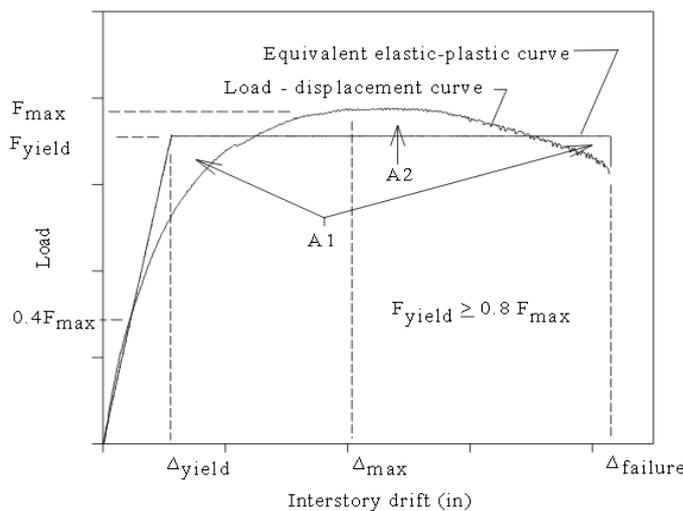
Getaran tanah yang terjadi pada saat gempa menyebabkan gaya inersia pada pusat massa struktur yang terdistribusi melalui atap, dinding dan fondasi bangunan. Dari ketiga komponen tersebut, dinding merupakan elemen yang paling mudah mengalami kerusakan yang disebabkan oleh beban horizontal pada saat terjadi gempa. Distribusi pembebanan yang terjadi pada saat gempa berlangsung ke segala arah sumbu kuat dinding maupun sumbu lemah dinding. Pembebanan yang berlangsung pada arah sumbu kuat dinding memberikan tahanan lateral yang lebih baik dibandingkan pembebanan yang terjadi pada sumbu lemah dinding (Murty, 2003).



GAMBAR 1. (a) Struktur dinding pengisi, (b) struktur dinding terkekang (Meli, 2011)



GAMBAR 2. Perilaku beban gempa pada pasangan dinding (Murty, 2003)



GAMBAR 3. Equivalent energy elastic plastic curve (Minjuan dkk, 2012)

PERILAKU DINDING AKIBAT GEMPA

Beban gempa yang terjadi pada arah sumbu kuat dinding dapat menyebabkan dinding mengalami perubahan geometri menjadi bentuk jajaran genjang (*parallelogram*). Perubahan geometri yang terjadi, selain dapat menimbulkan rusaknya elemen lain yang ada di dalam bidang dinding seperti jendela atau kaca, juga dapat menyebabkan kerusakan atau keruntuhan dinding bila defleksi akibat beban yang bekerja melebihi kapasitas dari dinding

tersebut. Sedangkan pembebanan pada arah sumbu lemah dinding dapat menyebabkan dinding menjadi runtuh atau terguling seperti pada Gambar 2 (Murty, 2003).

Gaya lateral *in plane* adalah gaya yang bekerja sejajar dinding terhadap sumbu kuat dinding, sehingga gaya ini memiliki kekuatan lebih dibandingkan dengan gaya lateral *out plane*, karena gaya lateral *outplane* adalah gaya yang bekerja sejajar dinding terhadap sumbu lemah dinding.

KEGAGALAN STRUKTUR PASANGAN DINDING

Kegagalan pada dinding bata terjadi karena dinding tersebut menerima gaya yang melebihi kapasitas pengisi dinding bata. Ada dua jenis kegagalan pada dinding bata yang berkaitan dengan arah gaya yang bekerja.

1. *Out-plane failure* diakibatkan oleh gaya yang bekerja tegak lurus bidang dinding. Dinding bata akan mengalami keruntuhan menyeluruh karena memiliki kemampuan sangat kecil untuk menahan gaya *out-plane*.
2. *In-plane failure* diakibatkan oleh gaya yang bekerja sejajar pada bidang dinding. Keruntuhan ini terjadi karena pada tingkat kekuatan gaya lateral yang relatif rendah, struktur portal dan dinding pengisi akan bekerja bersama sebagai struktur komposit. Ketika deformasi lateral meningkat, struktur akan mengalami perilaku yang kompleks dimana struktur portal akan mengalami deformasi dalam *flexural mode* sedangkan dinding pengisi mengalami deformasi *shear mode*. Akibat perilaku ini, maka akan terjadi pemisahan antara portal dan dinding pengisi pada ujung-ujung tarik dan perubahan pada *diagonal compression strut*.

KRITERIA KEADAAN STRUKTUR DINDING

Idealisasi kurva *elastic – plastic* merupakan suatu luasan pendekatan dari kurva beban simpangan ataupun kurva *envelope* yang asli yang dipengaruhi oleh simpangan ultimit dan simpangan pada sumbunya. Bagian dari kurva EEEP tersebut bisa terdiri dari kemiringan yang sama dengan kemiringan kurva asli berupa *elastic stiffness* (κ_e) sedangkan kondisi plastis ditunjukkan dengan garis horizontal dengan beban leleh (P_{yield}). Luasan kurva elastis plastis didapat dengan prinsip keseimbangan luasan kurva beban simpangan yang dihubungkan puncak puncaknya. Bagian dari kurva yang mempunyai garis dengan kemiringan sama berupa kekakuan geser elastis-plastis pada saat beban $0,4P_{peak}$ dan simpangan $\Delta 0,4P_{peak}$. Beban runtuh merupakan nilai $0,8P_{peak}$ sedangkan nilai *failure limit state* menyatakan titik dimana hubungan antara beban dan simpangan terhadap titik data terakhir dengan beban waktu sebesar atau lebih besar dari $0,8 P_{peak}$.

Struktur mampu menahan deformasi yang besar dan sebagian besar mengalami kehilangan energi selama terjadi gempa. Karena ketidakpastian asumsi yang digunakan dalam model matematika, pengujian eksperimental memberikan hasil yang paling akurat dan realistis untuk memprediksi perilaku *hysteretic*. Jumlah kehilangan energi dari struktur diambil langsung dari kurva beban – perpindahan. Kehilangan energi dari hasil tes monotonik adalah luas area dibawah kurva diukur dari perpindahan awal sampai pada perpindahan pada saat dinding mengalami kerusakan.

Kekakuan elastik didefinisikan sebagai kemiringan kurva beban – simpangan atau kurva *envelope* pada beban pada saat $0,4P_{peak}$. kemiringan garis digunakan untuk menentukan bagian elastis kurva. Hal ini juga digunakan untuk menemukan parameter seperti P_{yield} , Δ_{yield} dan daktilitas. Kekakuan elastik didapat dengan menggunakan persamaan berikut :

$$K_e = \frac{0,4 P_{peak}}{\Delta 0,4 P_{peak}} \quad (1)$$

dengan K_e = Kekakuan Elastik (Kn/mm), $0,4 P_{peak}$ = beban pada saat $0,4 P_{peak}$ dan $\Delta 0,4 P_{peak}$ = Simpangan.

Besarnya kuat geser yang terjadi pada dinding merupakan besarnya beban ultimit terhadap satuan bentang panjang dinding dan dapat dihitung dengan Persamaan :

$$S_u = \frac{P_u}{b} \quad (2)$$

dengan S_u = Kuat Geser, P_u = Beban Geser Ultimit dan b = lebar dinding yang dikenai beban.

Beban pada saat kondisi leleh (P_{yield}) dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$P_{yield} = \Delta u - \sqrt{\Delta u^2 - \frac{2A}{K_e}} \quad (3)$$

dengan P_{yield} = Beban pada kondisi leleh, A = Luas dan K_e = *Elastic shear stiffness* (Kn/mm)

Setelah menentukan P_{yield} maka simpangan leleh dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta_{yield} = \frac{P_{yield}}{K_e} \quad (4)$$

dengan Δ_{yield} = Simpangan leleh (mm), K_e = Kekakuan Elastik (Kn/mm) dan P_{yield} = Beban leleh (Kn).

Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur atau komponen struktur untuk melakukan deformasi melampaui batas elastisitasnya yang dinyatakan dengan leleh pertama kali (*first yield*) tanpa adanya penurunan kekuatan dan kekakuan yang berlebihan. Daktilitas merupakan perbandingan antara simpangan ultimit dengan simpangan leleh dari grafik hubungan antara beban dengan simpangan yang dihitung dengan persamaan :

$$\mu_s = \frac{\Delta u}{\Delta y_{ield}} \quad (5)$$

dengan Δy_{ield} : Simpangan leleh (mm), Δu = Simpangan (mm) dan μ_s = Daktilitas.

MATERIAL PROPERTIES

Hasil pengujian pendahuluan digunakan untuk menganalisis prediksi beban menggunakan pendekatan numerik. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1 berupa hasil uji tarik baja,

uji bata merah, uji mortar dan uji kuat tekan beton.

PROSEDUR PEMODELAN

Analisis numerik pada penelitian ini menggunakan *push over structure analysis program* 2000 versi 14. Dari analisis numerik ini diharapkan memberikan hasil yang mendekati dari analisis pengujian langsung di laboratorium. Dari analisis numerik ini diperoleh displacement lateral, beban maksimal dan frekuensi yang terjadi pada benda uji. Adapun langkah langkah pemodelan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Input material yang akan digunakan dalam pemodelan seperti baja, beton, mortar, batu bata. Adapun spesifikasi material digunakan seperti terlihat pada Gambar 4 sampai Gambar 7.

TABEL 1. Hasil pengujian pendahuluan

NO	ITEM PENGUJIAN	HASIL
1	Uji Tarik Baja Ø8	
	Fy (MPa)	454.3377
2	Fu (MPa)	559.4938
	Uji Tarik Baja Ø6	
3	Fy (MPa)	393.8061
	Fu (MPa)	560.617
3	Uji Batu Mata Merah	
	Dimensi :	
	Panjang (mm)	202,933
	Lebar (mm)	103,433
	Tinggi (mm)	43,2
	Kuat Tekan (MPa)	2,63
	Kuat Geser (MPa)	0,189
	Berat Jenis (Kg/m ³)	1474,98
4	Uji Mortar	
	Kuat Tekan (MPa)	1,577
	Kuat Tarik (MPa)	0,223
	UjiKelecekan (%)	107,9
	Berat Jenis (Kg/m ³)	1709,2
5	Uji Beton	
	Kuat Tekan (MPa)	15.6142
	Berat Jenis (Kg/m ³)	2181

Material Property Data

General Data
 Material Name and Display Color: BAJA D8
 Material Type: Rebar
 Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass
 Weight per Unit Volume: 7.697E-05
 Mass per Unit Volume: 7.849E-09
 Units: N, mm, C

Isotropic Property Data
 Modulus of Elasticity, E: 199947.98
 Poisson's Ratio, U: 0.3
 Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05
 Shear Modulus, G: 76903.07

Other Properties for Rebar Materials
 Minimum Yield Stress, Fy: 454
 Minimum Tensile Stress, Fu: 559
 Expected Yield Stress, Fye: 454
 Expected Tensile Stress, Fue: 559

GAMBAR 4. Input data material baja

Material Property Data

General Data
 Material Name and Display Color: MORTAR
 Material Type: Other
 Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass
 Weight per Unit Volume: 1.764E-05
 Mass per Unit Volume: 1.799E-09
 Units: N, mm, C

Isotropic Property Data
 Modulus of Elasticity, E: 1182.75
 Poisson's Ratio, U: 0.15
 Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05
 Shear Modulus, G: 514.2391

GAMBAR 5. Input data material mortar

Material Property Data

General Data
 Material Name and Display Color: BATA
 Material Type: Other
 Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass
 Weight per Unit Volume: 1.464E-05
 Mass per Unit Volume: 1.493E-09
 Units: N, mm, C

Isotropic Property Data
 Modulus of Elasticity, E: 1972.5
 Poisson's Ratio, U: 0.15
 Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05
 Shear Modulus, G: 857.6087

GAMBAR 6. Input data material bata

Material Property Data

General Data
 Material Name and Display Color: BETON
 Material Type: Concrete
 Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass
 Weight per Unit Volume: 2.139E-05
 Mass per Unit Volume: 2.181E-09
 Units: N, mm, C

Isotropic Property Data
 Modulus of Elasticity, E: 18203.022
 Poisson's Ratio, U: 0.2
 Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05
 Shear Modulus, G: 7584.5924

Other Properties for Concrete Materials
 Specified Concrete Compressive Strength, f_c: 15
 Lightweight Concrete
 Shear Strength Reduction Factor: []

GAMBAR 7. Input data material beton

Reinforcement Data

Rebar Material
 Longitudinal Bars: BAJA D8
 Confinement Bars (Ties): BAJA D6

Design Type
 Column (P-M2-M3 Design)
 Beam (M3 Design Only)

Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center
 Top: 20
 Bottom: 20

Reinforcement Overrides for Ductile Beams
 Left: Top: 0, Bottom: 0
 Right: Top: 0, Bottom: 0

Reinforcement Data

Rebar Material
 Longitudinal Bars: BAJA D8
 Confinement Bars (Ties): BAJA D6

Design Type
 Column (P-M2-M3 Design)
 Beam (M3 Design Only)

Reinforcement Configuration
 Rectangular
 Circular
 Spiral

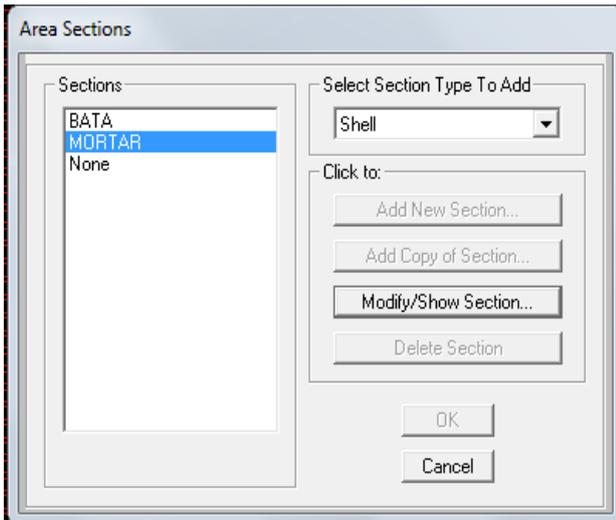
Longitudinal Bars - Rectangular Configuration
 Clear Cover for Confinement Bars: 20
 Number of Long Bars Along 3-dir Face: 2
 Number of Long Bars Along 2-dir Face: 2
 Longitudinal Bar Size: 8d

Confinement Bars
 Confinement Bar Size: 6d
 Longitudinal Spacing of Confinement Bars: 200
 Number of Confinement Bars in 3-dir: 2
 Number of Confinement Bars in 2-dir: 2

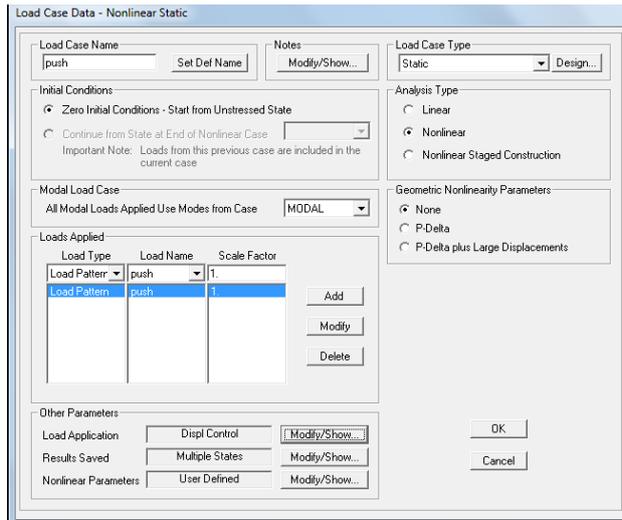
Check/Design
 Reinforcement to be Checked
 Reinforcement to be Designed

GAMBAR 8. Frame section balok

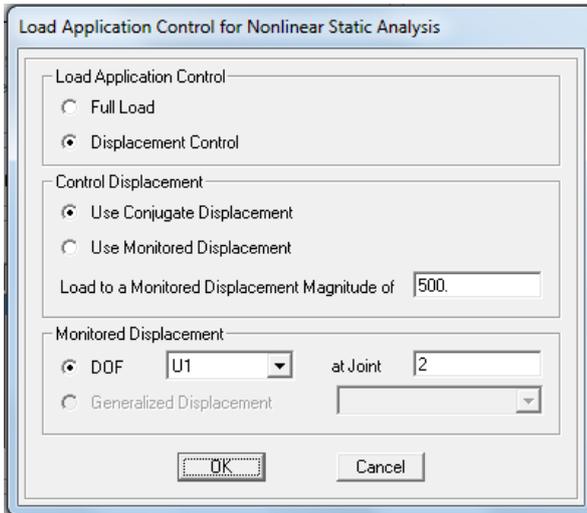
GAMBAR 9. Frame Section Kolom



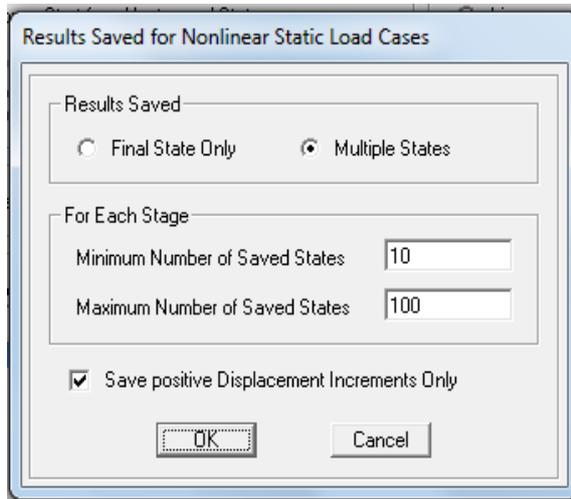
GAMBAR 10. Area Section yang digunakan



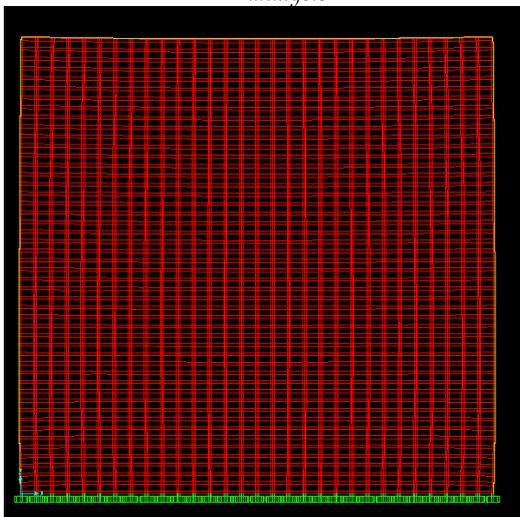
GAMBAR 11. Load Case data



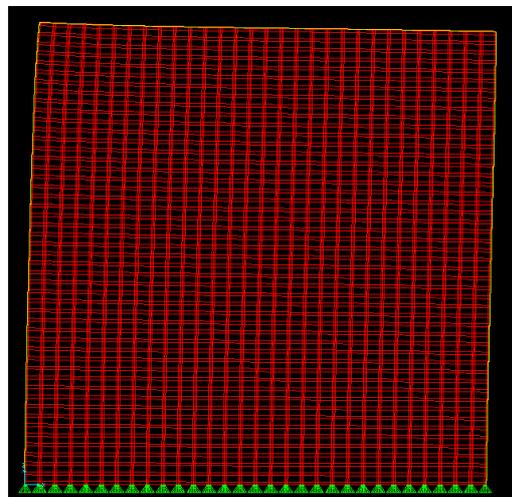
GAMBAR 12. Load Application control nonlinear static analysis



GAMBAR 13. Result saved for nonlinear static load cases



GAMBAR 14. Model dinding push over dengan SAP 2000



GAMBAR 15. Hasil mode 1 analisis push over

TABEL 2. Hasil Frekuensi

Mode	Periode	Frekuensi
	Detik	Hz
1	0,023959	41,738
2	0,010596	94,376
3	0,008444	118,42
4	0,006139	162,89
5	0,006099	163,97
6	0,004967	201,34
7	0,004514	221,51
8	0,00421	237,52
9	0,00388	257,73
10	0,00383	261,06
11	0,003368	296,87
12	0,003318	301,37

Setelah material diisi di buat *frame section* dan *area section* masing masing material yang digunakan. Untuk masing-masing material yang digunakan dapat dilihat seperti pada gambar 8 sampai gambar 10.

Pemilihan *load cases* data untuk *push over*, *setting load application*, *results saved* dan *nonlinear parameters* dapat dilihat pada gambar 11 sedangkan, pada Gambar 12 untuk memerintahkan SAP 2000 menggunakan kontrol lendutan lateral agar sesuai dengan konsep penelitian ini.

Selanjutnya buat *frame*, *area* dinding dan tumpuan yang digunakan sesuai perencanaan dan sedekat mungkin dengan yang terjadi dilapangan. Hasil akan terlihat seperti pada gambar 14. Pada gambar tersebut dapat dilihat sebuah model portal sederhana balok kolom beserta dinding pasangan bata $\frac{1}{2}$ batu menggunakan SAP 2000.

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil yang diperoleh melalui analisis ini adalah Frekuensi alami, simpangan lateral dan beban yang dapat diterima oleh benda uji. Mode shape dari analisis numerik ditampilkan pada Gambar 15.

Dari hasil analisis numerik diperoleh frekuensi sebesar 41,738 Hz untuk dinding pasangan bata $\frac{1}{2}$ baru. Sistem pembebanan mode ke 1 yang

sudah sesuai dengan harapan sehingga frekuensi pada mode 1 ini bisa digunakan yaitu sebesar 41,738 Hz. Semakin berkurang kekakuan dinding, maka akan semakin berkurang juga frekuensi alami pada dinding sehingga berkurang juga kekuatan dinding dalam menahan beban lateral, namu nilai redaman semakin meningkat.

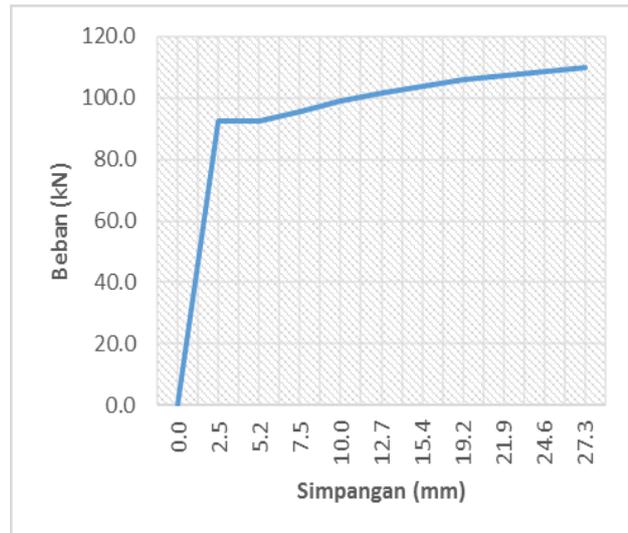
Setelah mendapatkan nilai frekuensi, dilakukan analisis berupa mencari nilai simpangan lateral dan beban yang bisa diterima oleh benda uji dinding secara numerik. Analisis ini diharapkan dapat memprediksi beban maksimal beserta simpangan lateral yang terjadi di rumah sederhana akibat beban statik lateral. Adapun hasil beban dan simpangan diperoleh seperti pada tabel 3

Dari hasil analisis pada Tabel 3 diperoleh beban maksimal yang mampu diterima oleh dinding sebesar 109,931 kN dengan simpangan lateral maksimal sebesar 27,276 mm. Semakin bertambahnya beban, akan bertambah pula simpangan lateral. Pada setiap tahap bebannya, benda uji mengalami masa elastis, plastis, leleh kemudian runtuh.

Gambar 16 memperlihatkan bahwa dinding pasangan bata $\frac{1}{2}$ batu ini akan terus bertambah bebannya hingga sampai batas simpangan maksimal, akan tetapi ketika beban masih berada pada wilayah elastis, dinding akan kembali ke bentuk semula, begitu seterusnya hingga mencapai beban maksimal.

TABEL 3. Hasil beban maksimal dan simpangan

U1 (cm)	P (kN)
0	0,000
2,463	92,307
5,168	92,368
7,506	95,524
9,997	99,151
12,700	101,820
15,405	103,745
19,167	105,980
21,873	107,455
24,578	108,779
27,276	109,931



GAMBAR 16. Hubungan antara beban dengan simpangan pada dinding pasangan bata ½ bat

Dapat disimpulkan bahwa dinding ini hanya aman digunakan pada saat masih kondisi elastis hingga ke plastis, yaitu berada pada simpangan lateral sebesar 7,506 cm atau hanya sebesar 27, 51 % dari simpangan lateral maksimal yang diperoleh. Beban maksimal pada saat kondisi plastis diperoleh sebesar 95,524 kN atau hanya sebesar 86,89 % dari beban maksimal yang mampu di terima oleh dinding pasangan bata ½ batu. Adapun kekakuan dinding pasangan bata ½ baru adalah sebesar 12,72 kN/cm.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dapat disimpulkan beberapa hal yaitu sebagai berikut:

- Frekuensi alami struktur dinding pasangan bata ½ batu adalah sebesar 41,378 Hz yaitu terjadi pada mode 1.
- Beban maksimal yang mampu diterima oleh dinding pasangan bata ½ batu adalah sebesar 109,931 kN dengan simpangan lateral maksimal sebesar 27,276 cm.
- Beban pada saat batas plastis adalah sebesar 95,524 kN atau hanya sebesar 86,89 % dari beban maksimal, sedangkan simpangan lateral pada batas plastis sebesar 7,506 cm atau sebesar 27,51% dari simpangan lateral maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewobroto, Wiryanto. (2005). *Analisa Inelastis Portal – Dinding Pengisi dengan “Equivalent Diagonal Strut”*. Jurnal Teknik Sipil Vol 12 No 4. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Frick, H. Dan Setiawan. P. L. (2001). *Ilmu Konstruksi Struktur Bangunan*. Penerbit Kanisus. Universitas Soegijapranata. Semarang.
- Meli, Roberto. (2011). *Seismic Design Guide for Low – Rise Confined Masonry Buildings*. Earthquake Engineering Research Institute. California.
- Minjuan, He. Zeng Li. (2012). *Evaluation of Lateral Performance of Timber-Stell Hybrid Lateral Resistant System Through Experimental Approach*. Journal of Timber Engineering. Auckland.
- Murty, C.V.R. (2003). *IITK – BMTPC Earthquake Tips Learning Earthquake Design and Constuction*. National Information Center Earthquake Engineering. Indian Institute technology Kanpur. New Delhi.
- Soegihardjo, R ., Soedibjo, Pr. (1977). *Ilmu Bangunan Gedung 1*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan. Jakarta.

Wisnumurti. (2013). *Disertasi : Struktur Dinding Pasangan Bata Merah Lokal dengan Perkuatan Bilah Bambu di Daerah Rawan Gempa*. Program Doktor Teknik Sipil Minat Struktur. Universitas Brawijaya. Malang.

PENULIS:

Hakas Prayuda

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Jalan
Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul,
Yogyakarta, 55183.

Email: hakas.prayuda@ft.umy.ac.id