

JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

Pengaruh Dinding Bata dengan Bukaan (Lobang) terhadap Ketahanan Lateral Struktur Rangka Beton Bertulang

Maidiawati

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Padang
Email: maidiawati@yahoo.com

Jafril Tanjung

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang
Email: jafriltanjung@ft.unand.ac.id

Hamdeni Medriosa

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Padang
Email: hamdeni.medriosa@gmail.com

Abstract

This paper presents the series of experimental tests of reinforced-concrete (R/C) frame structures infilled with solid brick wall and opening brick walls to evaluate contributions of brick infills with openings to lateral strength of RC frames. Four 1/4-scale single story and single bay RC frame specimens, one bare frame and three infilled frames, were tested by applying the static monotonic lateral load to the upper beam of specimens. During the testing, lateral displacements of infilled structure were monitored to control the incremental lateral loads. The cracks, crack propagation and major cracks were observed throughout the tests to identify the mechanism failure of specimens. As the results, failure of brick wall was prior to the failure of RC columns. The lateral strength and stiffness of infilled frames were always higher than those of bare frame. The solid brick infill significantly increases the lateral strength of overall RC frame more than two times. The brick infill with a center opening of size 40% and the brick infill with 2 (two) openings of size 25% increase the lateral strength of R/C frame by about 25% and 47%, respectively.

Keywords: Reinforced concrete frame, brick wall, opening, lateral strength.

Abstrak

Makalah ini menjelaskan serangkaian pengujian pada struktur rangka beton bertulang dengan dinding bata penuh dan dinding bata ada bukaan (lobang) untuk mengetahui kontribusi dinding bata ada bukaan terhadap kekuatan lateral struktur beton bertulang. Empat benda uji struktur rangka beton bertulang dan dinding bata dengan skala 1:4, yaitu satu benda uji struktur rangka tanpa dinding pengisi dan tiga struktur rangka dengan dinding bata, diuji dengan memberikan beban lateral (beban dorong) pada bagian atas balok struktur hingga benda uji mengalami keruntuhan (pushover). Besarnya perpindahan lateral direkam selama pengujian untuk mengontrol peningkatan beban lateral. Retak dan perkembangannya diobservasi selama pengujian untuk mengidentifikasi mekanisme keruntuhan benda uji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keruntuhan benda uji didahului dengan keruntuhan pada dinding bata sebelum keruntuhan struktur kolom. Kekuatan dan kekakuan lateral struktur rangka dengan dinding pengisi lebih besar daripada kekuatan dan kekakuan struktur rangka tanpa dinding pengisi. Struktur rangka dengan dinding bata penuh memiliki kekuatan lateral lebih dari dua kali kekuatan lateral struktur rangka tanpa dinding. Dinding bata dengan satu bukaan di tengah seluas 40% dan dinding bata dengan dua bukaan seluas 25% meningkatkan kekuatan lateral struktur rangka beton bertulang masing-masing sebesar 25% dan 47%.

Kata-kata Kunci: Struktur rangka beton bertulang, dinding bata, bukaan, kekuatan lateral.

1. Pendahuluan

Dinding bata dalam struktur rangka umum digunakan pada bangunan beton bertulang di negara berkembang termasuk daerah rawan bencana gempa bumi seperti Indonesia. Dalam dua dekade terakhir ini gempa bumi yang terjadi di Indonesia telah mengakibatkan kerusakan beberapa gedung beton bertulang termasuk kerusakan pada dinding bata. Investigasi kerusakan struktur gedung beton bertulang dan dinding bata dilakukan oleh penulis pasca gempa bumi Sumatra September

2007 yang mengobservasi dua struktur bangunan beton bertulang identik, satu struktur bangunan memiliki jumlah dinding bata penuh yang lebih banyak dari satu bangunan lain, di kota Padang. Hasil observasi menunjukkan bahwa struktur bangunan yang menggunakan jumlah dinding bata lebih banyak dapat bertahan selama gempa bumi, dimana struktur bangunan hanya mengalami kerusakan sedang. Sementara struktur bangunan yang memiliki sedikit jumlah dinding bata mengalami keruntuhan total. Hasil ini mengidentifikasi bahwa dinding bata dalam struktur rangka ikut berperan

memberikan tahanan gempa bangunan beton bertulang (Maidiawati dan Sanada, 2008). Penulis juga telah melakukan pengujian beban statik siklik pada struktur rangka beton bertulang tanpa dan dengan dinding bata penuh, yang mendapatkan bahwa dinding bata penuh dapat meningkatkan secara signifikan kekuatan lateral struktur rangka beton bertulang, namun dapat mengurangi daktilitas struktur (Maidiawati, dkk., 2011; Tanjung J. dan Maidiawati, 2016). Hal ini membuktikan bahwa dinding bata penuh dalam struktur rangka berkontribusi dalam menahan beban lateral seperti beban gempa bumi. Akan tetapi dalam prosedur perencanaan gedung beton bertulang yang digunakan saat ini, dinding bata diperlakukan sebagai komponen non-struktural (Badan Standarisasi Nasional, 2002, 2002.a; Imran dan Hendrik, 2009).

Untuk analisis kontribusi dinding bata dalam struktur rangka, sebuah metoda telah dikembangkan oleh Maidiawati dan Sanada (2016) yang dapat diaplikasikan untuk mengevaluasi kekuatan lateral bangunan beton bertulang dengan memperhitungkan pengaruh dinding bata penuh tetapi dengan mengabaikan pengaruh dinding bata dengan bukaan.

Pada bangunan beton bertulang, struktur rangka tidak hanya diisi oleh dinding bata penuh tetapi juga dinding bata ada bukaan (lobang) yang berfungsi untuk jendela, pintu, ventilasi dan lain-lain. Dalam evaluasi kapasitas seismik gedung beton bertulang berdasarkan pada standar yang dikeluarkan oleh *Building Research Institute, Japan* (JBDPA, 2005), pengaruh dinding bata ada bukaan diabaikan dalam perhitungan (Maidiawati dkk, 2012, 2013, 2016), dengan asumsi dinding tersebut tidak memberikan kontribusi yang signifikan pada struktur rangka yang mengekangnya (Choi H, 2005). Namun sejumlah peneliti (Goutam M. and Sudhir K.J., 2008, Surendran S. and Kaushik H.B., 2012) menyatakan bahwa dinding bata dengan bukaan memberikan pengaruh terhadap kekuatan lateral struktur rangka akan tetapi besarnya tergantung pada rasio luas bukaan terhadap luas dinding. Perbedaan pendapat ini menggambarkan bahwa besarnya kontribusi dinding bata ada bukaan terhadap tahanan lateral struktur rangka belum diketahui dengan jelas. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut terkait pengaruh dinding bata dengan adanya variasi luas bukaan (lobang) terhadap tahanan lateral struktur rangka. Penelitian ini fokus pada pengujian struktur rangka beton bertulang yang diisi dengan dinding bata penuh dan dinding bata dengan variasi luas bukaan (lobang).

Dalam makalah ini dibahas hasil serangkaian pengujian beban lateral terhadap model struktur rangka beton bertulang yang dibuat dengan skala 1:4 diisi dengan dinding bata penuh dan dinding bata dengan bukaan seluas 25% dan 40%. Model struktur rangka tanpa dinding dan dengan dinding bata penuh digunakan sebagai acuan dalam evaluasi kekuatan lateral struktur rangka dengan dinding bata ada bukaan.

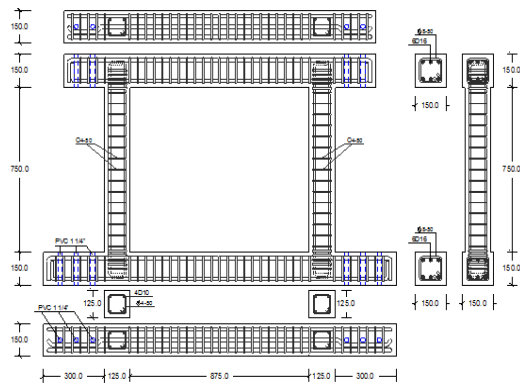
2. Pengujian Struktur

2.1 Model struktur

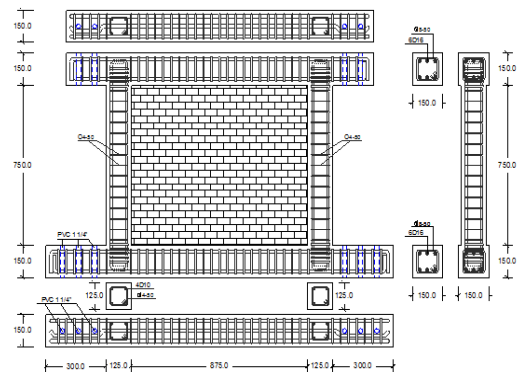
Untuk mengevaluasi kontribusi pengisi bata ada bukaan (lobang) terhadap kekuatan lateral struktur rangka beton bertulang, dibuat 4 (empat) benda uji struktur dengan material yang sama yaitu struktur rangka beton bertulang tanpa dinding (BF), struktur rangka dengan dinding bata penuh (IF_{SW}), struktur rangka dengan dinding bata ada lobang di tengah seluas 40% (IF_{OW-1}), dan struktur rangka dengan dinding bata 2 (dua) lobang seluas 25% dari luas dinding (IF_{OW-2}). Dikarenakan keterbatasan ukuran alat uji (*loading frame*) benda uji dibuat dengan ketinggian maksimum 1100 mm, dan dimensi semua benda uji diperkecil dengan skala 1:4 berdasarkan dimensi komponen struktur dan dinding bata pada bangunan yang umum digunakan di wilayah kota Padang dan sekitarnya. Maka ke 4 (empat) benda uji memiliki dimensi penampang kolom 125 mm x 125 mm, menggunakan baja tulangan longitudinal 4D10 mm ($\rho = 0.022$) dan baja tulangan geser $\phi 4$ mm @ 50 mm. Dimensi balok bawah dan balok atas dibuat lebih besar dari dimensi kolom, yakni 150 mm x 150 mm, menggunakan baja tulangan longitudinal 6D16 mm ($\rho = 0.058$) dan baja tulangan geser $\phi 8$ mm @ 40 mm. Elemen balok pada benda uji menggunakan dimensi penampang dan rasio tulangan yang lebih besar dengan tujuan untuk memberi kekakuan yang lebih besar pada balok dibandingkan dengan kekakuan kolom. Dinding bata penuh dan dinding bata ada bukaan terbuat dari batu bata dengan skala 1: 4 sehingga memiliki ukuran 55 mm x 28 mm x 13 mm. Dinding bata dilapisi plaster dari mortar setebal 5 mm pada ke dua sisi permukaan dinding. Resume parameter dan variabel benda uji ditunjukkan dalam **Tabel 1. Gambar 1** memperlihatkan sketsa tipikal struktur benda uji berupa struktur rangka tunggal beton bertulang tanpa dinding pengisi. Sketsa struktur benda uji struktur rangka dengan dinding bata penuh, dinding bata dengan satu bukaan di tengah dan dinding bata dengan 2 (dua) bukaan ditunjukkan dalam **Gambar 2, 3 dan 4** secara berturut-turut.

Tabel 1. Parameter model struktur

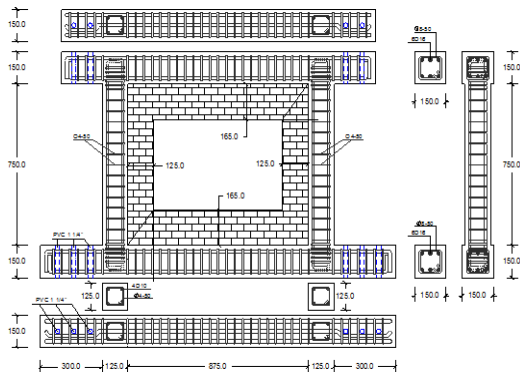
Benda Uji	Kolom	Balok	Dinding Pengisi
BF			-
IF _{FW}	125x125 mm	150x150 mm	dinding bata penuh
IF _{OW-1}	4D10 (tul. longitudinal) Ø4-50 (tul. geser)	6D16 (tul. longitudinal) Ø8-50 (tul. Geser)	dinding bata dengan 1 (satu) bukaan di tengah
IF _{OW-2}			dinding bata dengan 2 (dua) bukaan



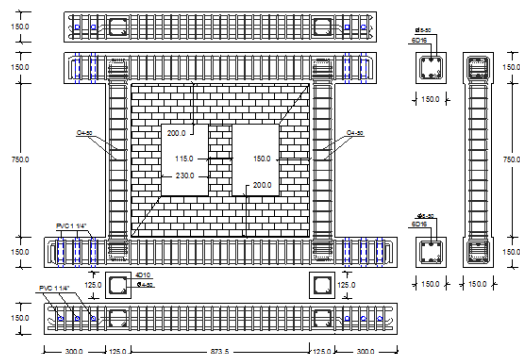
Gambar 1. Detail penulangan struktur rangka beton bertulang



Gambar 2. Detail penulangan struktur rangka dengan dinding bata penuh



Gambar 3. Detail penulangan struktur rangka dengan dinding bata dengan bukaan di tengah



Gambar 4. Detail penulangan struktur rangka dengan dinding bata dengan dua bukaan

2.2 Data material

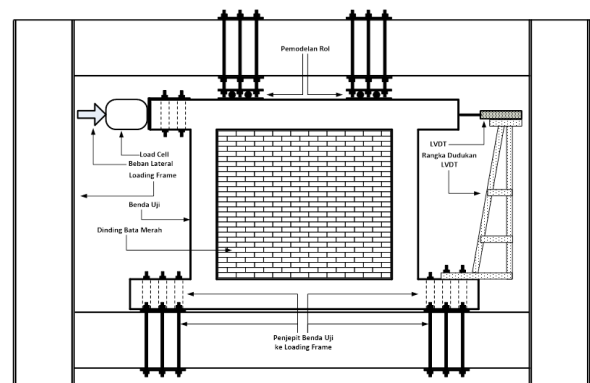
Tabel 2 merupakan data material kuat tekan beton yang didapatkan dari uji tekan benda uji silinder beton, tegangan leleh tulangan berdasarkan hasil uji tarik tulangan baja, dan kuat tekan dinding bata dari hasil uji tekan benda uji pasangan bata merah dengan spesi mortar.

Tabel 2. Data material

Benda uji	Kuat tekan beton, f'_c (MPa)	Tegangan leleh tulangan, f_y (MPa)	Kuat tekan dinding bata, f_m (MPa)
BF			-
IF _{FW}	27.3	488 (tul. D16)	4,3
IF _{OW-1}		366 (tul. D10)	
		386 (tul. Ø8)	
IF _{OW-2}		235 (tul. Ø4)	

2.3 Metoda pengujian struktur

Pengujian dilakukan di Laboratorium Material dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang dengan skematik pengujian diperlihatkan dalam **Gambar 5**. Benda uji ditempatkan pada *loading frame* dimana balok bawah pada benda uji dijepitkan ke *loading frame* menggunakan mur dan baut. Beban berupa gaya lateral diberikan pada permukaan sisi kiri balok atas. Pada permukaan bagian atas balok atas ditempatkan pelat baja dan batangan baja bulat untuk memodelkan perilaku *rol* pada permukaan atas balok atas tersebut ketika dibebani secara lateral. Balok atas direncanakan hanya dapat bergerak secara lateral searah dengan arah beban lateral yang diberikan. Perangkat LVDT ditempatkan pada kedudukan rangka baja sederhana pada ujung kiri benda uji. Dudukan LVDT ini dibuat untuk menjamin bahwa perpindahan lateral yang diukur oleh LVDT merupakan perpindahan lateral balok atas relatif terhadap balok bawah. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban lateral hingga benda uji mengalami keruntuhan (*pushover*). Besarnya beban lateral yang diberikan, besarnya perpindahan lateral yang terjadi serta adanya retak dan pola keruntuhan yang terjadi, direkam dan diamati selama pengujian berlangsung.



Gambar 5. Skematik pengujian

3. Hasil Pengujian dan Pembahasan

3.1 Bentuk keruntuhan struktur

a. Struktur BF

Pengamatan selama pengujian terhadap benda uji tanpa dinding (BF), menunjukkan bahwa transfer beban lateral pada struktur benda uji mengikuti pola transfer struktur rangka. Seperti yang direncanakan, balok atas hanya berdeformasi secara lateral sesuai dengan arah pembebanan yang diberikan. Karena kekakuan balok relatif lebih besar dibandingkan kolom, maka pada awal pembebanan kolom akan didominasi oleh momen lentur. Sementara balok didominasi oleh gaya aksial. Dominasi momen lentur pada kolom ini ditandai dengan munculnya retak lentur pertama pada bagian bawah dan atas ke dua kolom pada deformasi lateral 3,9 mm. Penambahan beban lateral lebih lanjut pada akhirnya akan mengakibatkan munculnya retak geser pertama pada ujung bawah kolom tarik pada perpindahan lateral 9,8 mm. Selanjutnya dengan menambahkan beban lateral terjadi retak geser pada ujung-ujung ke dua kolom. Retak geser diujung-ujung kolom ini terus membesar seiring dengan penambahan beban lateral yang mengindikasikan bahwa dominasi gaya geser terjadi pada daerah tersebut. Bentuk pola retak kolom pada struktur rangka tanpa dinding pada akhir pengujian ditunjukkan dalam **Gambar 6a**.

b. Struktur IF_{sw}

Pada benda uji struktur rangka dengan dinding bata penuh (IF_{sw}), perilaku transfer beban lateral yang terjadi berbeda dari pola transfer pada struktur rangka menjadi pola transfer beban pada struktur rangka batang. Retak pertama terjadi pada bagian kanan bawah dinding berupa retak geser saat beban lateral 12 kN pada deformasi lateral 0,74 mm. Dengan penambahan beban lateral mengakibatkan beberapa retak geser muncul pada daerah tengah dinding sehingga terbentuk strut diagonal yang menunjukkan adanya gaya tekan diagonal pada dinding. Retak geser pada dinding bertambah besar dan akhirnya dinding mengalami keruntuhan geser yang ditandai dengan kekuatan lateral struktur mulai menurun setelah beban maksimum seperti ditunjukkan dalam grafik **Gambar 7b**. Retak lentur pertama pada kolom terjadi pada bagian tengah kolom tekan pada saat deformasi lateral 6 mm. Pada deformasi yang sama juga terjadi retak geser pertama pada bagian atas kolom tekan. Dengan penambahan beban dan deformasi lateral maka retak geser pada bagian atas kolom tekan dan bagian bawah kolom tarik bertambah

besar. Akhirnya keruntuhan geser terjadi pada bagian atas kolom tekan seperti ditunjukkan dalam **Gambar 6b**.

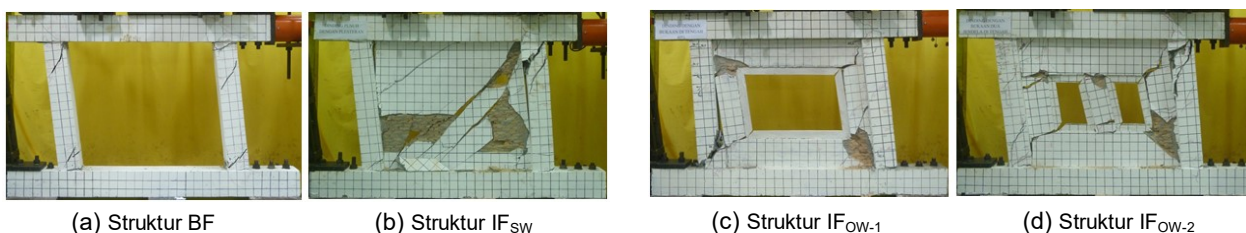
c. Struktur IF_{ow-1}

Benda uji struktur rangka dengan dinding ada bukaan ditengah seluas 40% (IF_{ow-1}), retak geser pertama terjadi di sudut daerah bukaan dinding dengan beban lateral 4,3 kN pada deformasi lateral 0,5 mm. Retak geser terus berkembang pada dinding terutama disudut-sudut bukaan. Retak lentur pertama pada kolom terjadi pada kolom tarik pada saat perpindahan lateral 3,6 mm dengan beban lateral 28,3 kN. Sedangkan retak geser pertama terjadi pada bagian bawah kolom tekan pada perpindahan lateral 6,0 mm dengan beban lateral 39,1 kN. Retak geser pada dinding di sekitar sudut-sudut bukaan bertambah banyak seiring dengan penambahan beban lateral yang diberikan sehingga membentuk strut diagonal yang menekan kolom tarik. Demikian juga halnya dengan retak lentur dan retak geser pada ke dua kolom. Dinding mengalami keruntuhan geser dengan hancurnya pasangan bata di sudut bukaan dinding seperti ditunjukkan dalam **Gambar 6c**. Kolom mengalami keruntuhan geser ditandai dengan putusnya tulangan geser pada bagian bawah kolom tekan karena adanya gaya tekan diagonal dari dinding. **Gambar 6c** menunjukkan bentuk retak benda uji pada kondisi akhir pembebanan.

d. Struktur IF_{ow-2}

Pada struktur rangka dengan 2 (dua) bukaan pada dinding (IF_{ow-2}), retak geser pertama terjadi pada bagian dinding diantara ke dua bukaan ketika beban lateral 7,9 kN disaat perpindahan lateral 0,6 mm. Selanjutnya dengan penambahan beban muncul retak geser di setiap sudut daerah bukaan dinding. Retak lentur pada kolom tarik muncul ketika beban lateral 35,3 kN dan perpindahan lateral 4,8 mm. Retak ini kemudian berkembang menjadi retak geser. Retak geser pertama pada kolom tarik terjadi pada saat perpindahan lateral 5,8 mm. Keruntuhan geser pada dinding terjadi dengan melebarnya retak geser dan hancurnya dinding bata disudut-sudut bukaan. Keruntuhan geser kolom terjadi pada bagian atas kolom tarik dan bagian bawah kolom tekan. Pola retak pada kondisi akhir pembebanan benda uji ditunjukkan dalam **Gambar 6d**.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa keberadaan dinding bata, baik dinding penuh maupun dinding ada bukaan akan merubah mekanisme keruntuhan struktur



Gambar 6. Bentuk keruntuhan struktur benda uji pada akhir pengujian

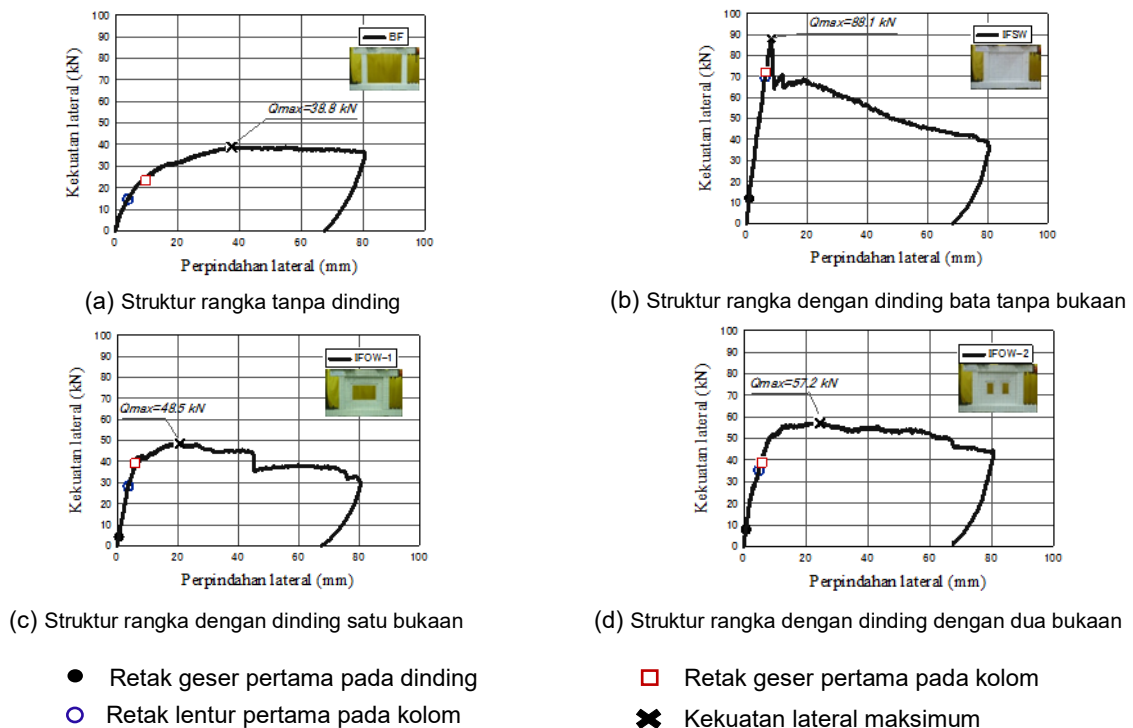
seperti ditunjukkan dalam **Gambar 7**. Pada struktur rangka dengan dinding penuh dan dinding ada bukaan, keruntuhan diawali dengan keruntuhan geser dinding dan selanjutnya keruntuhan geser pada kolom. Pada kondisi dimana struktur beton bertulang jauh lebih kuat dibandingkan dengan dinding pengisi, maka retak horizontal yang diakibatkan oleh gaya geser, akan terjadi pada dinding pengisi.

3.2 Ketahanan lateral struktur rangka dengan dinding bata

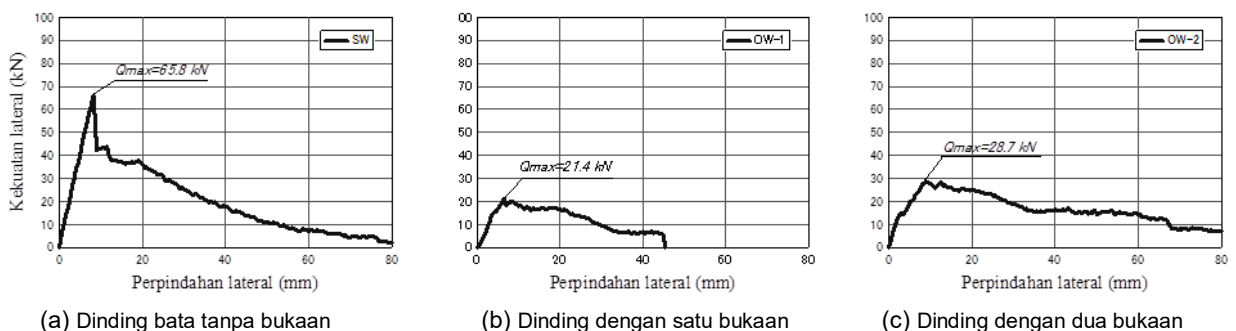
Gambar 7 memperlihatkan hasil pengujian berupa hubungan antara besarnya beban lateral yang diberikan sampai ketahanan batas struktur dan perpindahan lateral yang terjadi. Ketahanan lateral maksimum struktur rangka tanpa dinding (BF) sebesar 38,8 kN terjadi pada perpindahan lateral 37,5 mm seperti ditunjukkan dalam **Gambar 7a**. Dalam pembahasan ini, hasil pengujian struktur rangka ini diambil sebagai acuan untuk benda uji lain. Peningkatan ketahanan lateral yang signifikan diperoleh pada benda uji yang menggunakan dinding bata penuh (IF_{SW}) seperti ditunjukkan dalam

Gambar 7b. Dari gambar terlihat bahwa ketahanan lateral struktur IF_{SW} meningkat sangat signifikan yaitu mencapai 2,3 kali lebih besar dari struktur BF. Untuk kasus struktur dengan dinding bata dengan bukaan ditengah seluas 40% (IF_{OW-1}) ketahanan lateral meningkat 25% dari struktur BF seperti ditunjukkan dalam **Gambar 7c**. Sedangkan untuk kasus benda uji struktur rangka dengan dinding bata dengan 2 (dua) bukaan (IF_{OW-2}) ketahanan lateral meningkat 47% dari struktur BF seperti ditunjukkan pada **Gambar 7d**. Ketahanan lateral IF_{OW-2} lebih besar dari IF_{OW-1} dikarenakan luas total bukaan pada dinding struktur IF_{OW-2} adalah lebih kecil dari bukaan pada struktur IF_{OW-1}.

Hasil pengujian struktur dengan dinding bata penuh dan dinding bata ada bukaan juga memperlihatkan fenomena yang hampir sama, yakni pada awal pembebanan hingga mencapai ketahanan lateral maksimumnya, transfer beban lateral sebagian besar diterima oleh struktur rangka dan dinding pengisi secara bersama-sama. Setelah keruntuhan dinding terjadi, maka ketahanan lateral akan berkurang dan terus menurun ketika plesteran mulai terkelupas. Pada saat tersebut, sebagian



Gambar 7. Ketahanan dan perpindahan lateral struktur rangka dengan dinding bata



Gambar 8. Ketahanan dan perpindahan lateral dinding bata

besar beban lateral diterima oleh struktur rangka beton bertulang. Hasil serangkaian pengujian ini memberi gambaran yang jelas tentang bagaimana dinding pengisi baik dinding penuh maupun dinding ada bukaan berkontribusi terhadap ketahanan lateral struktur beton bertulang.

3.3 Ketahanan lateral dinding bata

Ketahanan lateral dinding bata penuh dan dinding bata ada bukaan (lobang) dievaluasi dengan cara mengurangi kekuatan lateral struktur rangka dengan dinding terhadap kekuatan lateral struktur rangka tanpa dinding pada perpindahan lateral yang sama. Sebagai hasilnya, **Gambar 8** menunjukkan besarnya kontribusi kekuatan lateral dinding bata pada struktur rangka beton bertulang. Walaupun bukaan pada dinding akan mengurangi kekuatan dan kekakuan lateral, namun kekuatan dan kekakuan lateral struktur rangka dengan dinding bata ada bukaan lebih besar dari struktur rangka tanpa dinding.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil serangkaian pengujian laboratorium pada struktur rangka beton bertulang dengan dinding bata penuh, dinding bata ada bukaan di tengah seluas 40%, dan dinding bata dengan dua bukaan seluas 25%, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Keruntuhan pada struktur rangka dengan dinding bata penuh dan dinding bata ada bukaan didahului dengan keruntuhan pada dinding bata sebelum keruntuhan struktur kolom. Hal ini menjelaskan bahwa dengan adanya dinding pengisi baik dinding bata penuh maupun dinding bata ada bukaan akan menunda keruntuhan yang terjadi pada struktur rangka beton bertulang .
2. Penggunaan dinding bata penuh sebagai dinding pengisi pada struktur rangka beton bertulang memberikan peningkatan kekuatan lateral struktur rangka lebih dari dua kali lipat kekuatan lateral struktur rangka.
3. Dinding bata dengan 2 (dua) bukaan seluas 25% berkontribusi meningkatkan kekuatan lateral struktur rangka beton bertulang sebesar 47%. Sedangkan, dinding bata dengan satu bukaan di tengah seluas 40% berkontribusi meningkatkan kekuatan lateral struktur rangka beton bertulang sebesar 25%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin luas bukaan pada dinding maka makin kecil kontribusi dinding terhadap kekuatan lateral struktur beton bertulang .

5. Ucapan Terima Kasih

Studi ini dibiayai oleh Penelitian Fundamental Batch I Tahun Anggaran 2016 LPPM-Institut Teknologi Padang dengan Nomor Kontrak 11/H.16/FUNDAMENTAL/LPPM/2015.

Daftar Pustaka

- Badan Standarisasi Nasional, 2002, SNI 03-1726-2002, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002.a, SNI 03-2847-2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Jakarta.
- Choi, H., Yoshiaki, Nakano., and Sanada, Y., 2005, *Seismic Performance and Crack Pattern of Concrete Block Infilled Frames*. Bulletin of ERS, No. 38.
- Goutam, Mondal., and Sudhir, K., Jain, M., 2008, *Lateral Stiffness of Masonry Infilled Reinforced Concrete (RC) Frames with Central Opening*, Earthquake Spectra Earthquake Engineering Research Institute (EERI)a, Vol. 24, No. 3, 701-723. DOI: 10.1193/1.2942.376.
- Imran, I., Hendrik, F., 2009, *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*, Penerbit ITB, Bandung.
- The Japan Building Disaster Prevention Association [JBDPA], 2005, English Version 1st, *Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings*. Building Research Institute, Japan.
- Maidiawati, Sanada, Y., 2008, *Investigation and Analysis of Buildings Damaged during the September 2007 Sumatra Indonesia Earthquakes*, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 7 (2), 371-378.
- Maidiawati, Sanada, Y., Konishi, D., and Tanjung, J., 2011, *Seismic Performance of Nonstructural Brick Walls Used in Indonesian R/C Buildings*, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 10 (1), 203-210.
- Maidiawati, Oo, T., Sanada, Y., 2012, *A Simple Approach for Determining Contact Length between Frame and Infill of Brick Masonry Infilled R/C Frames*, 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa, Portugal.
- Maidiawati, Sanada, Y., 2013, *Modeling of brick masonry infill and application to analyses of Indonesian R/C frame buildings*, The Thirteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-13), Sapporo, Japan. <http://hdl.handle.net/2115/54474>
- Maidiawati, Sanada, Y., 2016, *R/C Frame-infill interaction model and its application to Indonesian buildings*, Journal of Earthquake Engineering & Structural Dynamics. Doi: 10.1002/eqe.2787.

- Surendran, S., and Kausihk, H.B., 2012, *Masonry Infill RC frame with openings: Review of in-plane lateral load behaviour and modeling approaches*, The Opening Construction and Building Technology Journal, Vol. 6, (Supl 1-M9), 126–154.
- Tanjung, J., Maidiawati, 2016, *Studi Eksperimen Tentang Pengaruh Dinding Bata Merah Terhadap Ketahanan Lateral Struktur Beton Bertulang*, Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol. 23 No.2, 99-106.

