

Studi Eksperimental tentang Pengaruh Dinding Bata Merah Terhadap Ketahanan Lateral Struktur Beton Bertulang

Jafril Tanjung

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

Maidiawati

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

Abstrak

Bata merah umum digunakan sebagai dinding pada struktur bangunan beton bertulang di negara berkembang dan rawan bencana gempa bumi seperti Indonesia. Dalam proses perencanaan, dinding bata merah biasanya diperlakukan sebagai komponen non-struktur, dimana interaksi antara dinding dan struktur beton bertulang diabaikan. Fakta hasil observasi lapangan pasca bencana gempa bumi Sumatera Barat menunjukkan bahwa dinding bata merah dapat membantu mengurangi kerentanan struktur beton bertulang yang dikenai beban lateral. Dalam makalah ini, hasil serangkaian pengujian laboratorium struktur portal beton bertulang akan dibahas untuk menentukan pengaruh dinding bata merah terhadap ketahanan lateral struktur beton bertulang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dinding bata mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap ketahanan lateral struktur beton bertulang. Peningkatan ketahanan lateral juga diperoleh dengan penggunaan ukuran bata merah yang lebih besar dan penggunaan plesteran pada kedua sisi dinding.

Kata-kata Kunci: Rekayasa gempa, Beton bertulang, Dinding bata masonri, Ketahanan lateral.

Abstract

Reinforced-Concrete (R/C) frame structures with unreinforced clay brick masonry (URM) infill walls are commonly used in developing countries with regions of high seismicity. The walls are usually treated as non-structural components, and their interaction with the bounding frames is often ignored in designing process. Field evidences after West Sumatera earthquake have shown that URM infill walls can help reduce the vulnerability of the R/C frame structures against lateral load. In the present paper, it is an attempt to highlight the series laboratory experimental results of the R/C frame structures with URM infill walls. Results of the experimental studies which have indicated URM infill walls can have a significant influence on the lateral resistance of the R/C frame structures. Increasing the lateral resistance is also observed on the R/C frame structures uses larger size of the clay brick masonry and uses mortar on the infill walls' surfaces.

Keywords: Earthquake engineering, Reinforced-concrete, Clay brick masonry, Lateral resistance.

1. Pendahuluan

Bata merah umum digunakan digunakan sebagai dinding baik pada bangunan rumah sederhana maupun pada struktur bangunan beton bertulang di negara berkembang dan rawan bencana gempa bumi seperti Indonesia. Observasi pasca gempa bumi yang melanda bagian barat pulau Sumatera dalam dua dekade terakhir ini memberi gambaran tentang kekurangan dan kelebihan penggunaan bata merah sebagai dinding pengisi antar komponen struktur bangunan beton bertulang (Maidiawati dan Sanada, 2008). Beberapa pengaruh yang tidak diinginkan akibat adanya dinding antara lain adalah timbulnya efek kolom pendek, efek *soft story*, torsi dan keruntuhan dinding dalam arah *out of plane*. Akan tetapi, pada banyak kasus gempa dengan intensitas sedang, maksimum skala VIII MMI, adanya

dinding bata merah memberi kontribusi yang signifikan terhadap ketahanan struktur bangunan beton bertulang dalam menerima beban lateral seperti beban gempa, walaupun struktur bangunan tersebut tidak direncanakan dan didetilkkan untuk dapat menerima beban gempa (Maidiawati dkk, 2011, Murty dan Jain, 2000). Walaupun konstruksi dinding menyatu dengan struktur beton bertulang, akan tetapi dalam prosedur perencanaan yang umum digunakan saat ini, dinding umumnya diperlakukan sebagai komponen non-struktural (Badan Standarisasi Nasional, 2002, 2002.a; Imran dan Hendrik, 2009).

Dalam makalah ini akan dibahas hasil serangkaian pengujian laboratorium struktur portal tunggal beton bertulang yang diisi dinding bata merah serta dikenai beban lateral. Struktur portal yang diperkecil dengan skala 1:4 tanpa dinding digunakan sebagai acuan. Dua

tipe bata merah digunakan dalam studi ini, yakni bata merah dengan skala diperkecil 1:4 dan bata merah dengan skala diperkecil 1:2, untuk masing-masing 2 benda uji. Salah satu dari masing-masing benda uji tersebut dipelester pada kedua sisi-sisinya. Penggunaan bata dengan ukuran yang berbeda dan penggunaan plesteran pada permukaan dinding benda uji dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh ukuran bata merah dan plesteran terhadap ketahanan lateral struktur portal beton bertulang.

2. Pengaruh Dinding Terhadap Perilaku Struktur

Hingga saat ini telah banyak penelitian yang dilakukan dalam berbagai aspek, baik dengan observasi lapangan, studi eksperimental maupun studi analitik, berkenaan dengan pengaruh dinding terhadap perilaku struktur beton bertulang seperti yang didiskusikan dengan baik oleh Agrawal (2013), Bertero dan Brokken (1983), Decanin dkk (2004), Koutromanos (2011), Maidiawati dkk (2011, 2012, 2013), Meharbi dkk (2003), Murty dan Jain (2000), Pereira dkk (2011), Pujo dkk (2008), Satar (2013) dan Zovkic dkk (2012). Bagaimanapun, keberadaan dinding pengisi di antara komponen struktur beton bertulang akan mengubah perilaku transfer beban lateral pada struktur, yakni dari sistem transfer beban pada struktur portal menjadi sistem transfer beban pada struktur rangka batang. Adanya dinding pengisi di antara komponen struktur akan mengakibatkan meningkatnya kekakuan lateral struktur. Salah satu dari bagian diagonal dinding pengisi akan mengalami gaya tarik, sementara itu bagian diagonal lainnya akan mengalami gaya tekan. Akibatnya kolom akan mengalami peningkatan gaya aksial sekaligus mengalami penurunan momen lentur dan gaya geser.

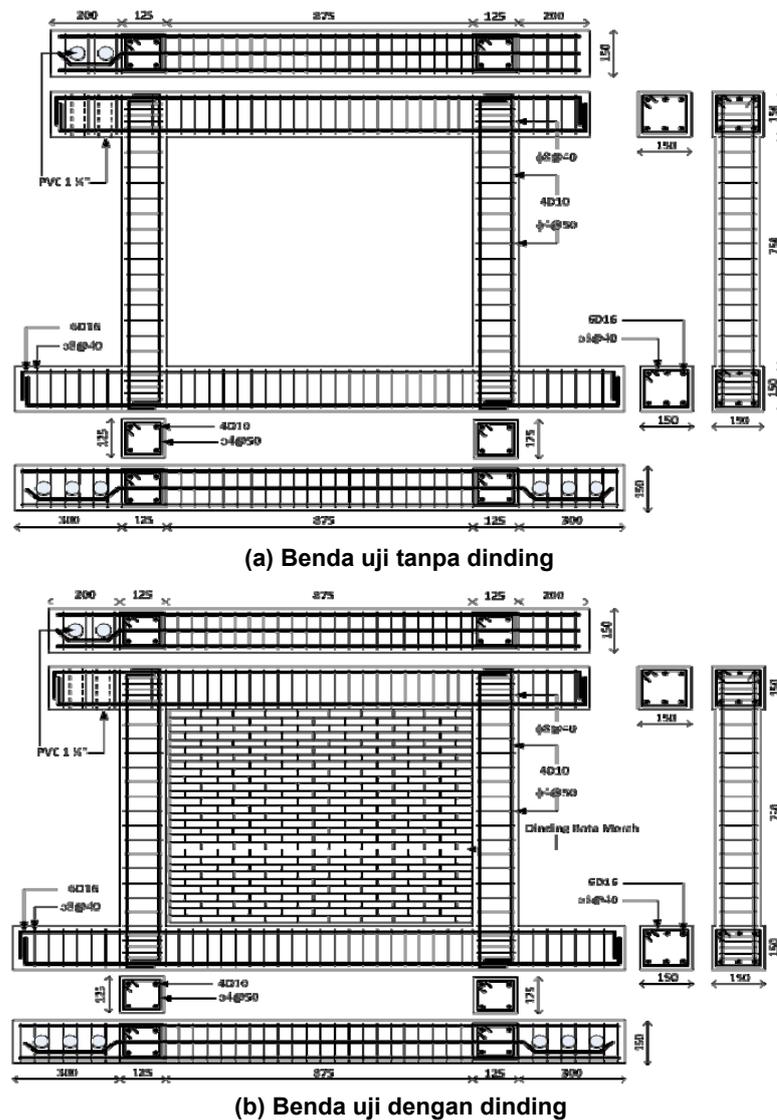
Fenomena *soft story*, fenomena kolom pendek dan fenomena torsi pada struktur beton bertulang, merupakan salah satu dampak negatif adanya dinding pengisi di antara komponen struktur. Tidak seragamnya dan/atau tidak meratanya dan/atau tidak simetrisnya penempatan dinding pengisi merupakan penyebab utama dampak negatif adanya dinding pengisi tersebut. Ketidak seragaman, ketidak merataan dan ketidak simetrisan ini akan mengakibatkan perubahan pola transfer beban, perubahan kekakuan dan perubahan daktilitas komponen struktur, yang akhirnya akan mengubah pola keruntuhan struktur bangunan. Fenomena *soft story* dapat terjadi jika dinding pengisi ditempatkan tidak seragam pada setiap elevasi lantai bangunan. Tambahan kekakuan lateral akan diberikan oleh dinding pengisi kepada kekakuan struktur pada elevasi dimana dinding itu ditempatkan. Sebagai akibatnya akan terdapat perbedaan kekakuan yang signifikan pada tiap elevasi lantai. Perubahan pola transfer beban lateral karena adanya dinding pengisi ini akan menyebabkan beban lateral

menyerang bagian struktur dengan kekakuan yang lebih kecil, yakni bagian yang tidak mempunyai dinding pengisi atau bagian dinding pengisi terkecil. Fenomena kolom pendek dapat terjadi pada kolom dengan dinding pengisi yang tidak penuh sepanjang ketinggian kolom. Kekakuan antara sebagian kolom yang mempunyai dinding pengisi menjadi jauh lebih besar dibandingkan dengan kekakuan sebagian kolom tanpa dinding pengisi. Dengan demikian, hanya kolom yang tidak ditempati oleh dinding pengisi ini yang berperilaku kolom murni. Fenomena torsi muncul akibat penempatan dinding yang tidak simetris pada bidang elevasi tertentu dalam bangunan. Sebagai konsekuensinya, transfer beban lateral ke komponen struktur pada elevasi tersebut juga akan menjadi tidak simetris.

Hasil observasi lapangan pasca gempa Sumatera Barat 2007 yang dilakukan oleh Maidiawati dan Sanada (2008) memperlihatkan keunggulan penggunaan bata merah sebagai dinding pengisi struktur bangunan beton bertulang. Observasi terhadap dua struktur bangunan beton bertulang identik di kota Padang, provinsi Sumatera Barat, menunjukkan bahwa struktur bangunan yang menggunakan dinding bata merah dapat bertahan melawan beban gempa. Struktur bangunan hanya mengalami kerusakan, sementara struktur bangunan yang tidak menggunakan dinding bata merah mengalami keruntuhan. Observasi tersebut dilakukan dengan mengacu kepada standar yang disusun oleh *Building Research Institute, Japan (The Japan Building Disaster Prevention Association, 2005)*. Fakta hasil observasi ini mengindikasikan bahwa dinding bata merah mempunyai peranan dalam ketahanan lateral struktur bangunan beton bertulang.

3. Model Uji dan Rancangan Pengujian

Gambar 1 memperlihatkan sketsa tipikal struktur benda uji berupa portal tunggal beton bertulang dengan dua kolom yang masing-masing mempunyai dimensi 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. Mutu beton (f_c') yang digunakan adalah 23.1 MPa. Mutu baja (f_y) tulangan D16 adalah 488 MPa, D10 adalah 417 MPa, $\phi 8$ adalah 333 MPa dan untuk $\phi 4$ adalah 235 MPa. Penggunaan dimensi penampang dan rasio tulangan yang lebih besar pada balok ditujukan untuk memberi kekakuan yang lebih besar pada balok dibandingkan dengan kekakuan kolom. Selama masa pengujian, balok direncanakan untuk tidak mengalami kerusakan. Dengan demikian, perilaku kolom dapat diamati dengan baik dari awal pengujian hingga mengalami keruntuhan.

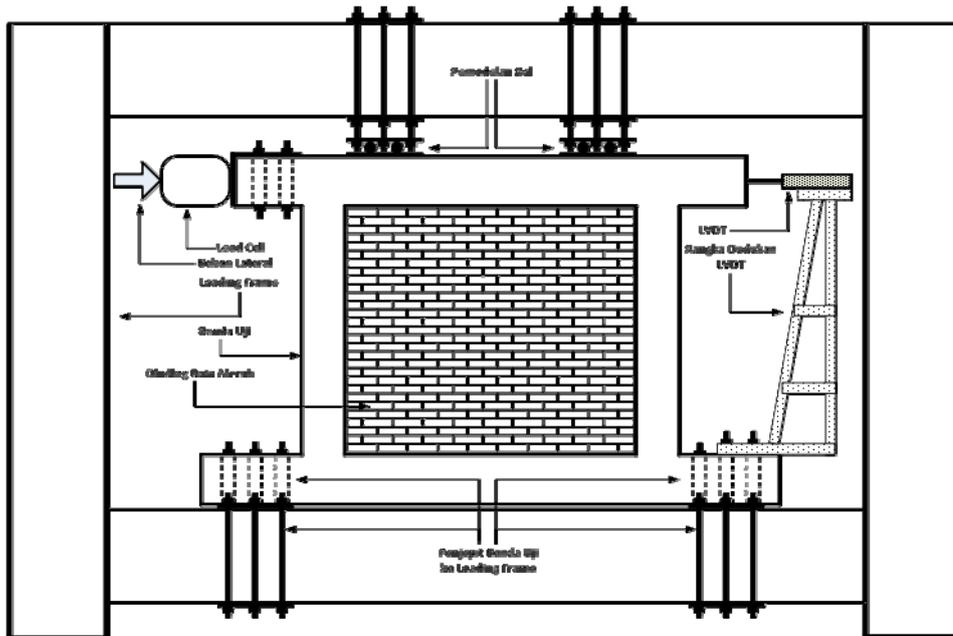


Gambar 1. Detail penulangan struktur portal benda uji

Mengingat bahwa dimensi alat uji (*loading frame*) hanya dapat menguji benda uji dengan ketinggian maksimum 1100 mm, maka dimensi semua benda uji diperkecil dengan skala 1:4 dari dimensi komponen struktur bangunan bertingkat tiga hingga empat yang umum digunakan di wilayah kota Padang dan sekitarnya. Struktur bangunan tersebut pada umumnya menggunakan kolom beton bertulang dengan dimensi tipikal 500 mm x 500 mm. Untuk ketinggian kolom untuk benda uji 750 mm dan tinggi balok 150 mm, maka ketinggian antara lantai struktur bangunan sesungguhnya adalah 3600 mm.

Dalam studi ini, lima benda uji telah dipersiapkan dan diuji di Laboratorium Material dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang, yakni benda uji berupa portal beton bertulang tanpa dinding (BF), portal beton bertulang dengan dinding bata merah skala 1:4 (S14), portal beton bertulang dengan dinding bata merah skala 1:2 (S12), portal beton bertulang dengan dinding merah bata skala

1:4 dan diplester pada kedua sisi dinding (S14P) serta portal beton bertulang dengan dinding bata merah skala 1:2 dan diplester pada kedua sisi dinding (S12P). Dimensi bata merah dengan skala 1: 4 adalah 45 mm x 22.5 mm x 12.5 mm, sedangkan untuk skala 1: 2 mempunyai dimensi 90 mm x 45 mm x 25 mm. Semua benda uji-benda uji tersebut menggunakan struktur beton bertulang tipikal seperti diperlihatkan dalam **Gambar 1**. Bata merah yang digunakan merupakan bata merah ex-Lubuk Alung, Kabupaten Padang-Pariaman, Sumatera Barat dengan kuat tekan hancur 4.1 MPa. Kuat tekan hancur pasangan bata merah skala 1:4 tanpa plesteran 1.63 MPa, pasangan bata merah skala 1:2 tanpa plesteran 1.87 MPa, pasangan bata merah skala 1:4 dengan plesteran 1.71 MPa dan pasangan bata merah skala 1:2 dengan plesteran 2.17 MPa. Nilai kuat tekan hancur bata merah disebutkan di atas merupakan nilai rata-rata dari hasil pengujian masing-masing 3 benda uji. Benda uji pasangan bata merah merupakan pasangan tiga lapis bata merah yang dilekatkan dengan spesi mortar.



Gambar 2. Skematik pengujian

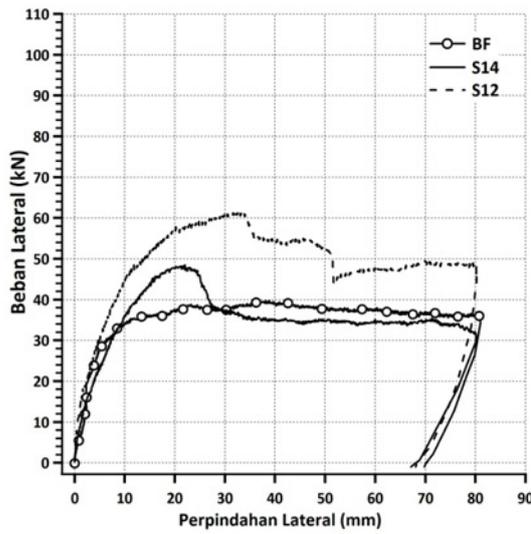
Skematik rencana pengujian diperlihatkan dalam **Gambar 2**. Benda uji ditempatkan pada *loading frame* dimana balok bawah pada benda uji dijepitkan ke *loading frame* menggunakan mur dan baut. Beban berupa gaya lateral diberikan pada permukaan sisi kiri balok atas. Pada permukaan bagian atas balok atas 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 kanan 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.

4. Hasil Pengujian dan Pembahasan

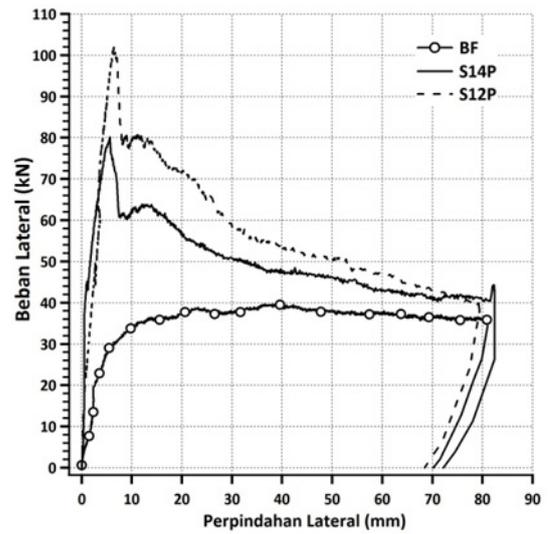
Gambar 3 memperlihatkan hasil pengujian berupa besarnya perpindahan lateral yang terjadi akibat pemberian beban lateral. Dalam pembahasan ini, hasil pengujian untuk benda uji portal beton bertulang tanpa dinding (BF) diambil sebagai acuan. **Gambar 3.a.** merupakan grafik hasil pengujian benda uji struktur portal beton bertulang yang menggunakan dinding bata merah tanpa plesteran, sedangkan **Gambar 3.b.** untuk struktur portal beton bertulang yang menggunakan dinding bata merah yang diplester pada kedua sisi-sisinya. Peningkatan ketahanan lateral yang signifikan

diperoleh pada benda uji yang menggunakan bata merah sebagai dinding pengisi struktur beton bertulang. Untuk kasus struktur dengan dinding tanpa plesteran, penggunaan bata merah dengan skala 1:4 (S14) meningkatkan ketahanan lateral benda uji sekitar 20%. Sementara itu, untuk kasus benda uji yang menggunakan bata skala 1:2 (S12), meningkatkan ketahanan lateral struktur hingga 52.5%. Peningkatan yang sangat signifikan juga diperoleh dengan penambahan plesteran pada kedua sisi dinding benda uji. Ketahanan lateral benda uji S14P meningkat hampir sebesar 100% sedangkan untuk benda uji S12P meningkat hingga 155%. Disamping meningkatkan ketahanan lateral, penggunaan plesteran pada kedua sisi dinding benda uji juga meningkatkan kekakuan benda uji, yakni meningkat sekitar 150% untuk benda uji S14P dan sekitar 230% untuk benda uji S12P.

Pengamatan selama pengujian terhadap benda uji tanpa dinding (BF), menunjukkan bahwa transfer beban lateral pada struktur benda uji mengikuti pola transfer struktur portal. 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 pada kolom. Penambahan beban lateral lebih lanjut pada akhirnya akan mengakibatkan munculnya retak pada ujung bawah kolom kanan yang mengindikasikan dominasi gaya geser terjadi pada daerah tersebut, dan pada akhirnya akan mengakibatkan keruntuhan geser pada struktur. Retak lentur pada kolom terjadi pertama kali ketika balok atas berdeformasi secara lateral sekitar 8

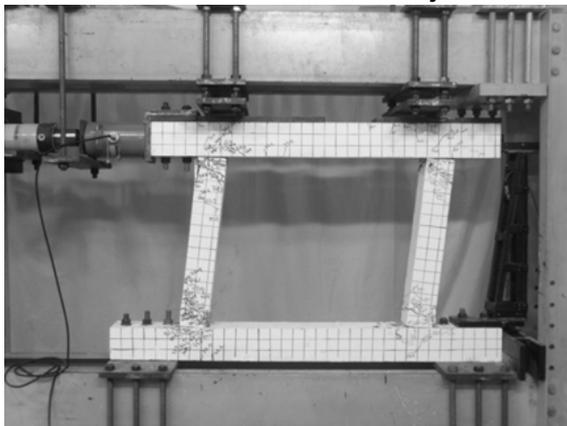


(a) Dinding tanpa plesteran

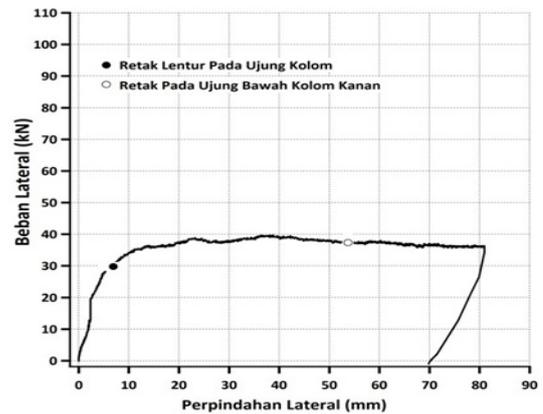


(b) Dinding dengan plesteran

Gambar 3. Hasil uji ketahanan dan perpindahan lateral benda uji

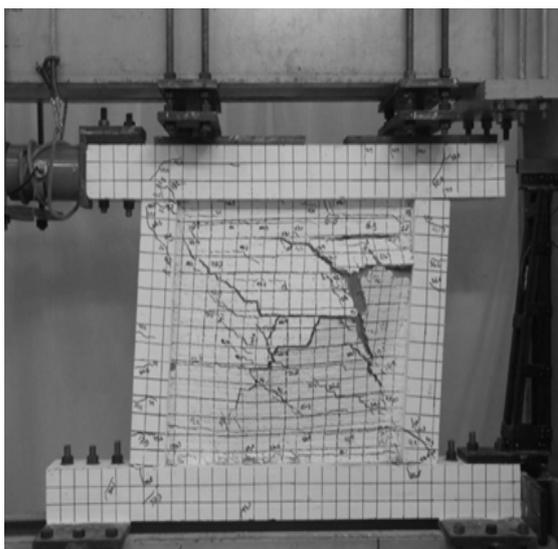


(a) Kondisi akhir pengujian

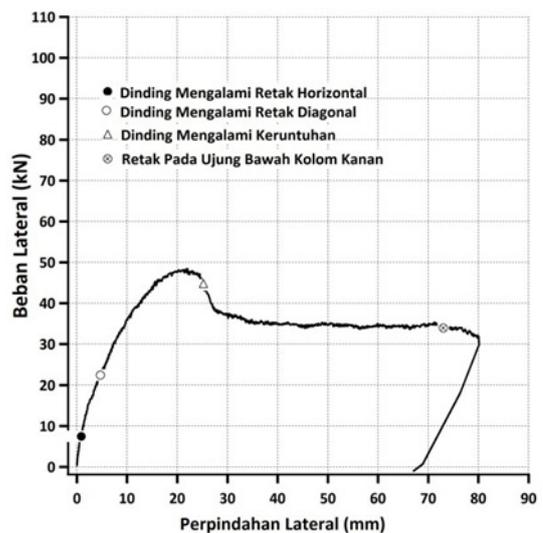


(b) Riwayat perpindahan lateral

Gambar 4. Pengujian benda uji portal tanpa dinding



(a) Kondisi akhir pengujian



(b) Riwayat perpindahan lateral

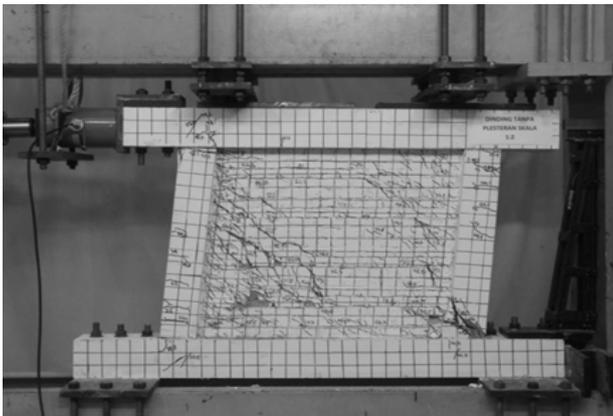
Gambar 5. Pengujian benda uji portal dengan dinding bata merah Skala 1:4

mm dan retak pada ujung kolom kanan terjadi pada deformasi lateral sekitar 54 mm. Riwayat perilaku struktur ini diperlihatkan dalam grafik hubungan antara beban dan perpindahan lateral dalam **Gambar 4.b**. Kondisi benda uji BF pada akhir pengujian diperlihatkan dalam **Gambar 4.a**.

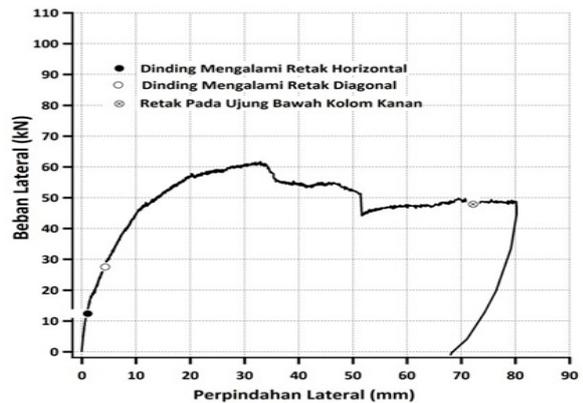
Untuk benda uji yang menggunakan bata merah sebagai dinding pengisi struktur, perilaku transfer beban lateral yang terjadi berubah dari pola transfer pada struktur portal menjadi pola transfer beban pada struktur rangka batang. Pada awal-awal pemberian beban lateral, retak horizontal diamati terjadi pada dinding bata merah tanpa plesteran. Fenomena tersebut terjadi baik pada dinding yang menggunakan bata merah skala 1:4 (S14) maupun pada dinding yang menggunakan bata merah skala (S12). Hasil pengujian untuk struktur dengan bata merah skala 1:4 sebagai dinding pengisi, diperlihatkan dalam **Gambar 5**; sedangkan untuk struktur dengan bata merah skala 1:2 sebagai dinding pengisi diperlihatkan dalam **Gambar 6**.

Pada awal pembebanan, dinding mengalami gaya geser sedemikian sehingga sebagian dinding mengalami retak horizontal. Akan tetapi, seiring dengan

meningkatnya beban lateral, pola transfer beban berubah menjadi pola transfer struktur rangka batang. Salah satu bagian diagonal dinding mengalami gaya tarik, sementara diagonal lainnya mengalami gaya tekan. Gaya aksial tarik akan meningkat pada kolom sebelah kiri dan gaya aksial tekan akan meningkat pada kolom sebelah kanan. Pada saat yang bersamaan, momen lentur dan gaya geser akan berkurang pada kedua kolom tersebut. Peningkatan gaya tarik pada salah satu diagonal dinding ditandai dengan timbulnya retak pada daerah tersebut. Akibat dari peningkatan gaya tekan pada diagonal dinding jelas terlihat pada benda uji yang menggunakan bata merah skala 1:4 sebagai dinding pengisi. Akibat kekakuan yang relatif rendah, dinding yang menggunakan bata merah skala 1:4 mengalami keruntuhan dengan perpindahan dinding ke luar dari bidang pembebanan (*out of plane*) seperti diperlihatkan dalam **Gambar 5.a**. Untuk kekakuan yang relatif lebih besar, yakni untuk benda uji yang menggunakan bata merah skala 1:2, perilaku *out of plane* ini tidak terjadi. Akan tetapi, kekakuan yang relatif lebih besar ini juga mengakibatkan peningkatan yang relatif besar pada gaya aksial tekan pada kolom kanan. Kondisi ini terlihat dari kerusakan yang terjadi pada ujung bawah kolom kanan seperti diperlihatkan dalam **Gambar 6.a**. Membandingkan hasil pengujian

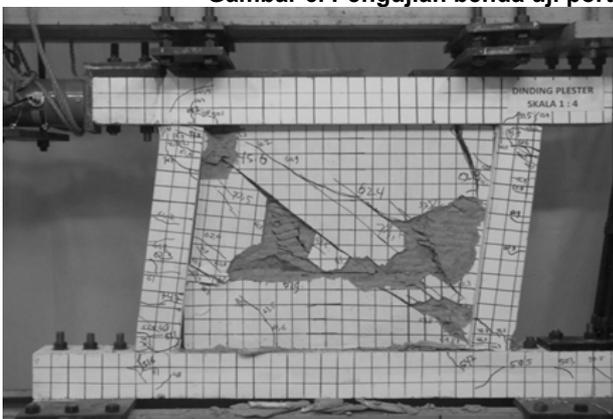


(a) Kondisi akhir pengujian

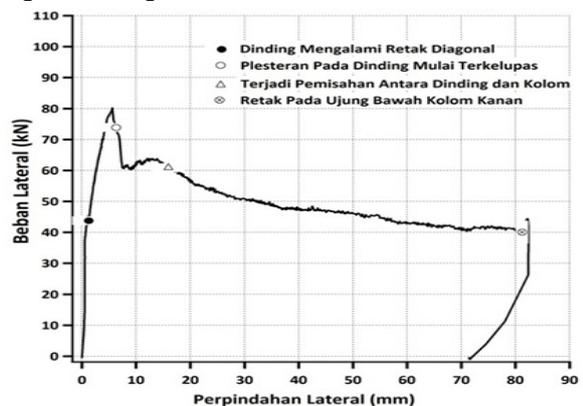


(b) Riwayat perpindahan lateral

Gambar 6. Pengujian benda uji portal dengan dinding bata merah Skala 1:2



(a) Kondisi akhir pengujian



(b) Riwayat perpindahan lateral

Gambar 7. Pengujian benda uji portal dengan dinding bata merah skala 1:4 dengan plesteran

benda uji yang menggunakan bata merah sebagai dinding pengisi dengan benda uji tanpa dinding, terlihat dengan jelas bahwa adanya dinding pengisi akan menunda terjadinya retak pada ujung-ujung kolom. Retak pada ujung kolom terjadi pada deformasi lateral yang lebih besar pada benda uji yang menggunakan bata merah sebagai dinding pengisi struktur. Hasil pengujian ini mengindikasikan bahwa keruntuhan struktur beton bertulang yang menggunakan bata merah sebagai dinding akan terjadi pada deformasi lateral yang lebih besar dibandingkan dengan struktur beton bertulang tanpa bata merah sebagai dinding pengisi.

Hasil pengujian untuk benda uji S14P dan S12P, yakni benda uji dengan dinding bata merah dan diplester pada kedua sisi permukaannya, diperlihatkan dalam **Gambar 7.** dan **Gambar 8.** Seperti yang juga telah diperlihatkan dalam grafik dalam **Gambar 3.b.**, ketahanan lateral kedua benda uji meningkat secara signifikan dibandingkan baik dengan benda uji tanpa dinding maupun benda uji dengan dinding bata merah tanpa plesteran. Hal ini dapat difahami mengingat adanya plesteran pada dinding akan memberi kontribusi kekakuan yang relatif besar kepada kekakuan struktur. Hasil pengujian kedua benda uji juga memperlihatkan fenomena yang hampir sama, yakni pada awal pembebanan hingga mencapai ketahanan lateral maksimumnya, transfer beban lateral sebagian besar diterima oleh struktur bersama-sama dengan dinding pengisi. Ketahanan lateral akan berkurang ketika dinding sudah mengalami retak dan terus menurun ketika plesteran mulai terkelupas. Pada saat tersebut, sebagian besar beban lateral diterima oleh struktur portal beton bertulang.

Hasil serangkaian pengujian ini juga memberi gambaran yang jelas tentang bagaimana dinding pengisi mempengaruhi ketahanan lateral struktur beton bertulang. 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. Selanjutnya sudut-sudut dinding akan mengalami retak dan hancur. Retak akan timbul pada sambungan balok dan kolom jika tidak direncanakan dengan baik. Sebaliknya, jika dinding pengisi relatif kuat, dinding akan mengalami retak diagonal dan sendi plastis dapat saja terjadi pada kolom.

5. Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian hasil pengujian laboratorium yang telah dijelaskan sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut,

1) Penggunaan bata merah sebagai dinding pengisi pada struktur beton bertulang memberi peningkatan yang signifikan terhadap ketahanan lateral struktur

beton, yakni dapat meningkatkan ketahanan lateral lebih dari 20%.

- 2) Ukuran bata merah yang lebih besar memberi peningkatan ketahanan lateral yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran bata merah yang lebih kecil. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan kekuatan lateral sekitar 52.5% untuk bata merah skala 1:2 dan 20% untuk bata merah skala 1:4, berturut-turut.
- 3) Ketahanan lateral struktur beton bertulang akan semakin meningkat jika permukaan kedua sisi dinding pengisi diplester menggunakan mortar, yakni meningkat hampir 100% untuk dinding dengan bata merah skala 1:4 dan sekitar 155% untuk dinding dengan bata merah skala 1:2. Penggunaan plesteran pada benda uji S14 juga dapat mengantisipasi terjadinya keruntuhan dinding dalam arah *out of plane*.
- 4) Adanya dinding pengisi berupa bata merah akan menunda keruntuhan yang terjadi pada struktur beton bertulang.

Ucapan Terimakasih

Studi ini dibiayai oleh Penelitian Fundamental Batch I Tahun Anggaran 2015 LPPM-Universitas Andalas dengan Nomor Kontrak 11/H.16/FUNDAMENTAL/LPPM/2015.

Daftar Pustaka

- Agrawal, N., Kulkarni, P.B., Raut, P., 2013, Analysis of Masonry Infilled R.C.Frame with and without Opening Including Soft Storey by using Equivalent Diagonal Strut Method, *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 3, Issue 9.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, SNI 03-1726-2002, Jakarta: *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002.a, SNI 03-2847-2002, Jakarta: *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.
- Bertero, V.V., and Brokken S.T., 1983, Infills in Seismic Resistant Building, *J. Struct. Eng.*, 109 (6), 1337-1361.
- Decanin, L., Mollaioli, F., Mura, A., Saragoni, R., 2004, *Seismic Performance of Masonry Infilled R/C Frames*, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada.

- Imran, I., Hendrik, F., 2009, *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*, Bandung: Penerbit ITB.
- Japanese Standard: The Japan Building Disaster Prevention Association, 2005, English Version 1st, *Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings*. Japan: Building Research Institute.
- Koutromanos, I., 2011, *Numerical Analysis of Masonry-Infilled Reinforced Concrete Frames Subjected to Seismic Loads and Experimental Evaluation of Retrofit Techniques*, PhD Dissertation, University of California.
- 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*, Lisboa, Portugal: 15th World Conference on Earthquake Engineering.
- Maidiawati, Sanada, Y., 2013, *Modeling of Brick Masonry Infill and Application to Analyses of Indonesian R/C Frame Buildings*, Sapporo, Japan: The Thirteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-13).
- Meharbi, A.B., Shing, P.B., 2003, Seismic Analysis of Masonry-Infilled Reinforced Concrete Frames, *TMS Journal*.
- Murty, C.V., Jain, S.K., 2000, *Beneficial Influence of Masonry Infill Walls on Seismic Performance of RC Frame Buildings*, Auckland, New Zealand: 12th World Conference on Earthquake Engineering.
- Pereira, M.F.P., Pereira, M.F.N., Pereira, J.E.D., Lourenco, P.B., 2011, *Behavior of Masonry Infill Panels in RC Frames Subjected to In Plane and Out of Plane Loads*, 7th International Conference AMCM.
- Pujo, S., Climent, A.B., Rodriguez, M.E., Pardo, J.P.S., 2008, *Masonry Infill Walls: An Effective Alternative for Seismic Strengthening of Low-Rise Reinforced Concrete Building Structures*, Beijing, China: 14th World Conference on Earthquake Engineering.
- Satar, S., 2013, *Influence of Masonry Infill Walls and Other Building Characteristics on Seismic Collapse of Concrete Frame Buildings*, PhD Dissertation, University of Colorado.
- Zovkic, J., Sigmund, V., Gulkas, I., 2012, *Cyclic Testing of a Single Bay Reinforced Concrete Frames with Various Types of Masonry Infill*, Earthquake Engng. Struct. Dyn. 2012; DOI:10.1002/eqe.2263.