



Analisa *Pushover* dan Eksperimen Struktur Portal dengan Dinding Batubata dengan Menggunakan Angkur pada Kolom dan Balok pada *Non Engineered Building*

*Marsaulina Hutajulu, Johannes Tarigan, Perwira Tarigan
Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan
*) marsaulinahutajulu1@gmail.com

Received: 14 Agustus 2018 Revised: 20 November 2018 Accepted: 23 November 2018

Abstract

Based on the findings in almost all earthquakes that hit Indonesia, buildings that were damaged and collapsed were simple non-engineered buildings. Where buildings are built based on practical experience without structural calculations. One form of damage to non-structural components and structures is the relationship between columns and brick walls, where cracks and separation between columns and walls occur due to lack of anchors (cuttings). To find out how much an earthquake load can make a test object that uses anchor has been destroyed, a pushover analysis is carried out numerically and experimentally. From the numerical results it is obtained a pushover of 7490 kg and a displacement of 16.7 mm, while the experimental results obtained a pushover 7,540 kg and 56.5 mm displacement. Numerical results and experiments are very close at 99.34%.

Keywords: Brick wall, pushover, anchor, simple house

Abstrak

Berdasarkan temuan di hampir semua gempa yang menimpa wilayah Indonesia, bangunan yang mengalami kerusakan dan roboh adalah rumah sederhana (non engineered building). Dimana bangunan dibangun berdasarkan pengalaman praktis tanpa perhitungan struktur. Salah satu bentuk kerusakan pada komponen non-struktur dan struktur adalah hubungan antara kolom dan dinding bata, dimana terjadi retak dan pemisahan antara kolom dan dinding akibat tidak ada angkur (stek). Untuk mengetahui berapa besar beban gempa yang dapat membuat benda uji yang menggunakan angkur mengalami keruntuhan maka di lakukan analisis pushover secara numerik dan eksperimen Dari hasil numerik diperoleh beban (pushover) 7490 kg dan displacement 16,7 mm, sedangkan dari hasil eksperimen diperoleh beban (pushover) 7.540 kg dan displacement 56,5 mm. Hasil numerik dan eksperimen sangat mendekati yaitu 99,34%.

Kata kunci: Dinding bata, pushover, angkur, rumah sederhana

Pendahuluan

Bangunan bertingkat rendah atau non engineered building umumnya terdiri dari kolom praktis, balok, dan dinding bata. Namun, fungsi dinding bata hanya sebagai komponen non struktural (SNI-03-1726, 2002) yang mengakibatkan pengaruh kekuatan dan kekakuan dinding bata sering tidak diperhitungkan dalam perencanaan suatu bangunan.

Pada kenyataannya, dinding bata tersusun oleh material batu bata dan mortar yang memiliki nilai kekuatan dan kekakuan tertentu. Penelitian

Tanjung & Mairiawati (2016) membuktikan bahwa struktur portal dengan dinding pengisi batu bata merah memberi peningkatan yang signifikan terhadap ketahanan lateral struktur beton, yakni dapat meningkatkan ketahanan lateral lebih dari 20% dan juga membuktikan adanya dinding pengisi berupa bata merah akan menunda keruntuhan yang terjadi pada struktur beton bertulang.

Dari hasil eksperimen Narafu *et al* (2012) ada beberapa desain yang terbukti baik digunakan untuk bangunan *non engineere* yaitu salah satunya dengan menggunakan angkur pada balok dan

kolom dimana angkur dipasang pada setiap 6 lapisan bata merah. Kerusakan yang terjadi pada bangunan dibedakan atas kerusakan struktural berupa kerusakan pada balok, kolom, pelat lantai, dan pondasi sedangkan kerusakan non-struktural berupa kerusakan dinding, plafond, pintu dan jendela. Salah satu kerusakan non-struktural adalah kerusakan pada dinding bangunan, kerusakan ini pada umumnya terjadi karena tidak adanya angkur antara kolom dan dinding (Ismail, 2010).

Badenpowell *et al* (2014) dalam penelitiannya dari hasil analisis *pushover*nya diperoleh kesimpulan bahwa rumah tinggal sederhana dengan dinding memberikan kontribusi kekakuan yang lebih besar daripada rumah tinggal sederhana tanpa dinding.

Konsep perencanaan struktur tahan gempa

Indonesia yang berada diantara empat lempeng benua merupakan salah satu negara di kawasan rawan gempa. Akibat gempa yang sering terjadi mengakibatkan struktur bangunan yang ada mengalami pergerakan secara vertikal maupun secara lateral sehingga dalam perencanaan perhitungan struktur bangunannya harus menggunakan faktor keamanan yang cukup aman untuk menahan gaya vertikal dari pada gaya gempa lateral (Prafanti, 2014). Gaya gempa lateral langsung bekerja pada bagian-bagian struktur yang tidak kuat sehingga menyebabkan keruntuhan elemen struktur.

Dalam merencanakan struktur bangunan beton yang harus diperhitungkan adalah kemampuan struktur bangunan tersebut untuk memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, seperti beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi adalah beban mati struktur sendiri dan beban hidup, sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban angin dan beban gempa. Mengacu kepada kode perencanaan bangunan tahan gempa (Armstrong, 2006) perencanaan desain struktur bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan pada setiap elemen struktur dan timbulnya korban jiwa (Titono, 2010).

Tiga kriteria yang harus dipenuhi adalah (1) ketika terjadi gempa kecil, tidak terjadi kerusakan sama sekali, (2) ketika terjadi gempa sedang, diperbolehkan terjadi kerusakan arsitektural tetapi bukan merupakan kerusakan struktural, (3) ketika terjadi gempa kuat, diperbolehkan terjadinya kerusakan struktural dan nonstruktural, namun kerusakan yang terjadi tidak sampai menyebabkan bangunan runtuh.

Jadi, dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa harus diperhitungkan efek dari gaya lateral

yang bersifat siklus (bolak-balik) yang dialami oleh elemen struktur selama terjadinya gempa bumi. Agar struktur dapat memikul gaya lateral yang terjadi, maka diperlukan beberapa kriteria seperti daktilitas yang memadai di daerah *joint* dan penggunaan elemen struktur yang tahan gempa.

Oleh karenanya didalam merencanakan suatu struktur dapat dilakukan dengan mengetahui skenario keruntuhan dari struktur tersebut dalam memikul beban-beban ekstrim yang bekerja. Pelaksanaan konsep desain kapasitas struktur adalah memperkirakan urutan kejadian dari kegagalan suatu struktur berdasarkan beban maksimum yang dialami struktur. Sehingga kita merencanakan bangunan dengan elemen-elemen struktur tidak dibuat sama kuat terhadap gaya yang direncanakan, tetapi ada elemen-elemen struktur atau titik pada struktur yang dibuat lebih lemah dibandingkan dengan yang lain dengan harapan di elemen atau titik itulah kegagalan struktur terjadi pada saat beban gempa maksimum bekerja

Dinding pengisi

Dinding pengisi yang digunakan dalam penelitian ini berupa dinding bata merah, (Wisnumurtia *et al.*, 2014) hal ini dikarenakan bata merah memiliki harga yang ekonomis, mudah didapat dan tahan terhadap cuaca serta banyak digunakan pada bangunan-bangunan di wilayah Negara Indonesia (Sitompul, 2017). 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 diperlukan 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. (Titono, 2010)

Persyaratan standart untuk batu bata:

1. Batu bata merah dibuat dari tanah liat yang dicetak, kemudian dibakar. Tidak semua tanah liat bisa digunakan. Hanya yang terdiri dari kandungan pasir (*silica*) tertentu.
2. Umumnya memiliki ukuran: panjang 17-23 cm, lebar 7-11 cm, tebal 3-5 cm.
3. Berat rata-rata 3 kg/biji (tergantung merek dan daerah asal pembuatannya).
4. Bahan baku yang dibutuhkan untuk pasangan dinding bata merah adalah semen dan pasir ayakan. Untuk dinding kedap air diperlukan campuran 1:2 atau 1:3 (artinya, 1 takaran semen dipadu dengan 3 takaran pasir yang

sudah diayak). Untuk dinding yang tidak harus kedap air, dapat digunakan perbandingan 1:4 hingga 1:6.

5. Kelebihan dinding bata merah: Kedap air sehingga jarang terjadi rembesan pada tembok akibat air hujan, Keretakan relatif jarang terjadi, Kuat dan tahan lama, Penggunaan rangka beton pengakunya lebih luas, antara 9-12 m².
6. Kekurangan dinding bata merah: Waktu pemasangan lebih lama dibandingkan batako dan bahan dinding lainnya, biaya lebih tinggi jika dibandingkan dengan batako. Rumus uji kuat tekan bata:
$$F = \frac{P}{A} \quad (1)$$
Dengan F merupakan Kuat tekan (kg/cm²), P merupakan Beban yang diterima (kg) dan A merupakan luas penampang (cm²)
7. Standar kuat tekan batu bata yang disyaratkan oleh (ASTM C67-03, 2001) adalah sebesar 10,40MPa. Mutu bata merah dapat diklasifikasikan menjadi tiga tingkat, yaitu: (1). tingkat I mempunyai kuat tekan rata-rata > 100 kg/cm, (2) tingkat II mempunyai kuat tekan antara 80 – 100 kg/cm, (3) tingkat III mempunyai kuat tekan antara 60 – 80 kg/cm.
8. Persyaratan batu bata atau bata merah menurut PUBLI-1982 dan SII-0021-78 adalah bentuk standar bata ialah prisma segi empat panjang, bersudut siku siku dan tajam, permukaan rata dan tidak retak-retak. Dan ukuran standar menurut SII-0021-78 adalah modul M-5a : 190 x 90 x 65 mm, modul M-5b : 190 x 140 x 65 mm, Modul M-6 : 230 x 110 x 55 mm
9. Menurut NI-10-1978: Panjang 240 mm, lebar 115 mm, Tebal 52 mm
10. Penyimpangan ukuran yang diperbolehkan menurut NI-10-1978 Panjang maksimal 3%, lebar maksimal 4%, tebal maksimal 5%

Bata dibagi menjadi enam kelas kekuatan yang diketahui dari besar kekuatan tekan yaitu: kelas 25, kelas 50, kelas 100, kelas 150, kelas 200 dan kelas 250.

Kerusakan yang terjadi pada bangunan dibedakan atas kerusakan struktural berupa kerusakan pada balok, kolom, pelat lantai, dan pondasi sedangkan kerusakan non-struktural berupa kerusakan dinding, plafond, pintu dan jendela. Salah satu kerusakan non-struktural adalah kerusakan pada dinding bangunan, kerusakan ini pada umumnya terjadi karena tidak adanya angkur antara kolom dan dinding.

Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian terhadap struktur portal dengan dinding batubata dengan

menggunakan angkur pada kolom dan balok pada *Non Engineered Building* sehingga didapatkan bagaimana sebenarnya pengaruh angkur pada bangunan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku dinding bangunan yang menggunakan angkur (*stek*) sebagai salah satu perkuatan hubungan antara dinding dengan kolom yang bekerja sebagai satu kesatuan dalam menahan beban.

Metode Penelitian

Ada dua metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode pendekatan numerik dan kemudian dibandingkan dengan metode eksperimental.

Analisa numerik

Analisa numerik menggunakan program SAP 2000 (Oktopianto & Andayani, 2013). Terdapat 2 tipe benda uji yang akan dimodelkan pada SAP 2000, yaitu portal 2D dengan dinding bata dan tanpa dinding bata sebagai salah satu komponen struktural yang ikut bekerja bersama portal (*bracing* tekan).

Benda uji akan diberi pembebanan lateral yang bertujuan untuk (Aisyah & Megantara, 2011) menentukan dan menghitung gaya *pushover* dan *displacement* (Leksono, 2012). Di mana dimensi elemen-elemen struktur diasumsikan (Pranata & Karta, 2008).

Konfigurasi dari struktur adalah sebagai berikut:

Jenis struktur	: Portal beton bertulang
Jumlah lantai	: 1 lantai
Tinggi portal	: 3 m
Lebar portal	: 4 m
Dimensi kolom	: 15 cm x 15 cm
Dimensi balok	: 15 cm x 15 cm
Lokasi	: Medan
Jenis tanah	: Keras
Mutu beton	: 15 MPa (K175)
Modulus elastisitas beton	: 18.203MPa
Tegangan leleh tulangan utama	: 240 MPa
Berat jenis bata	: 250 kg/m ²

Untuk pembebanan akibat beban bata pada SAP2000 diambil setengah dari tinggi bata. Jadi beban akibat bata = 3(250) (0,5) = 375 kg/m. Parameter-parameter yang akan *diinput* kedalam SAP 2000 (Manalip *et al.*, 2014) direkapitulasi pada Tabel 1. Pada penelitian ini, dinding bata dimodelkan sebagai *bracing* tekan diagonal. (Sitompul, 2017).

Tabel 1. Rekapitulasi data material pada benda uji

Material	Parameter	Simbol	Nilai
Beton	Kuat tekan	f'_c	K175(14,5 MPa)
	Modulus elastisitas	E_c	17897 MPa
	<i>Poisson ratio</i>	ν_c	0,2
Tulangan Baja	Tegangan leleh	f_y	240 MPa
	Modulus elastisitas	E_s	2×10^5 MPa
	<i>Poisson ratio</i>	ν_s	0,3
Dinding	Kuat tekan	f'_m	10 MPa
	Kuat Tekan Batu bata	f'_{bc}	3,5 MPa
	Modulus elastisitas	E_b	1.557 MPa
	<i>Poisson ratio</i>	ν_b	0,15

Analisa eksperimental

Bahan-bahan yang digunakan dalam eksperiment ini antara lain pasir (agregat halus), kerikil (agregat kasar), semen, besi/baja tulangan, batu bata.

Bahan-bahan yang diperlukan dalam pembuatan benda uji berupa pasir, batu kerikil berasal dari *Quary* Binjai karena kualitasnya lebih bagus dari *Quary* lain. Batu bata merah diambil dari pembakaran Lubuk Pakam sesuai dengan batu bata penelitian (Prafanti, 2014) dengan kuat tekan (f'_m) 3,5MPa sedangkan untuk tulangan utama dan sengkang digunakan mutu U24 polos dengan diameter 10 mm dan diameter 8 mm dan sudah dilakukan *test* uji Tarik. Untuk memudahkan dalam pekerjaan. kita menggunakan perancah besi dan pengaduk beton menggunakan molen dengan kapasitas $0,5 \text{ m}^3$ atau dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Material yang digunakan untuk benda uji

No	Material	Keterangan
1	Pasir	<i>Quary</i> Binjai
2	Batu kerikil	<i>Quary</i> Binjai
3	Batu bata	Lubuk Pakam
4	Semen	Semen Padang
5	Beton	K175
6	Tulangan utama	$4\phi 10\text{mm}$
7	Sengkang	$\phi 8\text{-}200\text{mm}$
8	Angkur	

Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah:

1. *Hydroulik jack* yang memiliki kapasitas pembebanan 6000 Psi, melakukan gerakan mendorong yang bertujuan sebagai pemberi beban pada sampel. Alat ini diperlihatkan seperti pada Gambar 1.
2. *Dial indicator*, dengan ketelitian 0,01 mm dan akan digunakan untuk mengukur *displacement* pada benda uji. Alat ini diperlihatkan seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. *Hydroulik jack*



Gambar 2. *Dial indicator*

3. Alat penyiku. Alat ini didesain dengan arahan tukang agar *dial indicator* dapat ditempatkan dalam posisi yang stabil dan hasil pembacaan *dial indicator* menjadi akurat. Alat ini seperti diperlihatkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Alat penyiku



Gambar 4. Cara pemasangan dial indicator dan penyiku

Cara menempatkan *dial indicator* dengan penyiku dirancang sedemikian agar jarum dari *dial indicator* terbaca, seperti diperlihatkan dalam Gambar 4.

4. Baja Profil H , Alat ini berguna sebagai dudukan alat *jack hydroulic* agar panjang *jack hydroulic* memenuhi kebutuhan (Gambar 5).



Gambar 5. Profil baja H



Gambar 6. Cara pemasangan penyiku dan dial indicator

Jarak antara dinding eksisting dengan benda uji 120 cm, sedangkan *hydrolic jack* panjangnya kira-kira 30 cm. Maka untuk membantu *hydrolic jack* sampai ke benda uji diperlukan alat bantu berupa beam H dengan panjang 90 cm di rakit sedemikian, sehingga beban dapat mendorong benda uji dan pembacaan dial lebih akurat.

Pembacaan *dial indicator* dilakukan setiap pembenanan 100Psi, maka pemasangan *jack hydroulic* dan *dial indicator* harus *perfect*. Pemasangan alat-alat ini dapat dilihat pada Gambar 6.

Hasil dan Pembahasan

Kajian numerik

Perancangan eksperimen diawali dengan perhitungan teoritis. Dalam perancangan eksperimen ini diharapkan pondasi tidak terangkat agar waktu pengujian tidak mengalami kegagalan, maka untuk mencapainya dilakukan analisis *pushover* dengan menggunakan program (CSI & Computers and Structures INC, 2016). Dalam kajian numerik ada 2 benda uji yang dimedulkan yaitu:

1. Portal tanpa dinding bata

Dengan memasukkan semua parameter yang sudah dibahas pada bab sebelumnya pada program (CSI & Computers and Structures INC, 2016) maka, di peroleh hasil *pushover* untuk dinding tanpa bata. Hasil *pushover* untuk dinding tanpa bata dapat di lihat pada Tabel 3.

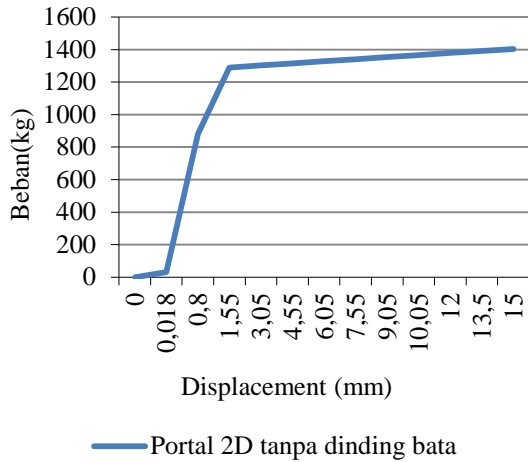
Tabel 3. Pushover untuk portal tanpa dinding bata

Beban (<i>pushover</i>) (kg)	<i>Displacment</i> (mm)
0,00	0,000
54,51	0,020
176,12	0,092
932,61	0,786
1.334,14	1,522
1.347,25	3,022
1.360,36	4,522
1.373,46	6,022
1.386,57	7,522
1.399,67	9,022
1.412,78	10,522
1.425,89	12,022
1.438,99	13,522
1.451,91	15,000

Tabel 2 menggambarkan bahwa untuk portal 2D tanpa dinding bata leleh pertama pada *step 2* dengan gaya geser dasar 54,51 kg dan target perpindahan 0,02 mm. Analisis berhenti pada *step 14*, gaya geser dasar maksimum adalah 1451,91 kg dan target perpindahan 15 mm terlihat bahwa step kinerja yang diperlihatkan struktur tidak ada yang

melewati batas LS (*life safety*) sehingga kinerja secara keseluruhan baik.

Dengan menggunakan program *Microsoft Excel* 2010 (Katz, 2010) dari Tabel 3 diperoleh grafik seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva pushover untuk portal tanpa dinding

2. Portal dengan dinding bata

Dengan cara yang sama seperti diatas diperoleh hasil *pushover* untuk portal 2D dengan dinding bata yang hasilnya dapat di lihat pada Tabel 4.

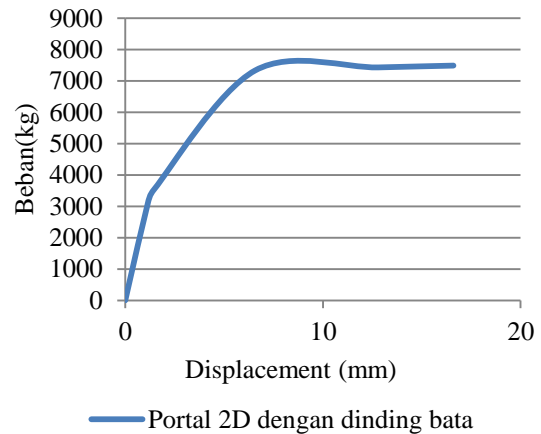
Tabel 4. Pushover untuk portal 2D dengan dinding bata

No	Beban (<i>pushover</i>) (kg)	Displacement (mm)
1	0,00	-0,000153
2	3.076,91	1,133000
3	3.541,91	1,456000
4	7.335,52	6,572000
5	7.433,02	12,842000
6	7.490,93	16,585000

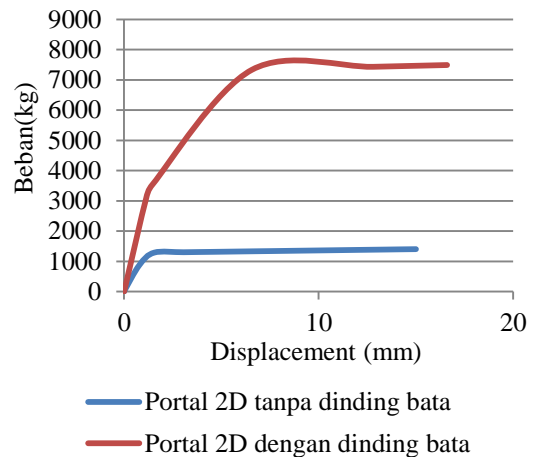
Tabel 4 menggambarkan bahwa untuk portal 2D dengan dinding bata leleh pertama pada *step* 2 dengan gaya geser dasar 3076,91kg dan target perpindahan 1,133 mm. Analisis berhenti pada *step* 6, gaya geser dasar (*pushover*) maksimum adalah 7490,93 kg dan target perpindahan 16,59 mm terlihat bahwa *step* kinerja yang diperlihatkan struktur runtuh dan segera diperbaiki.

Dengan menggunakan *Microsoft Excel* 2010, dari Tabel 3 di peroleh grafik seperti pada Gambar 8. Perbandingan beban dari portal tanpa dinding bata dengan portal dengan dinding bata dapat dilihat

pada Gambar 9. Untuk pradesain beban (*pushover*) digunakan beban yang maksimum yaitu 7490.93kg



Gambar 8. Kurva pushover untuk portal dengan dinding

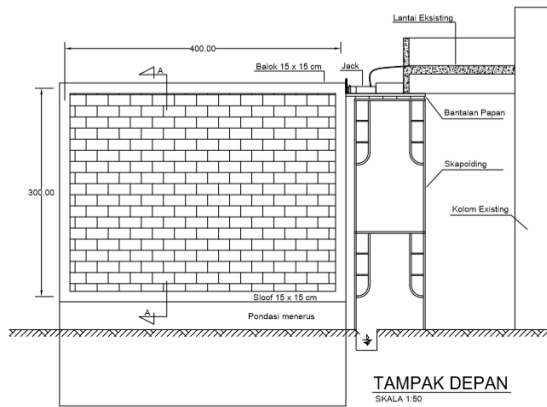


Gambar 9. Kurva pushover untuk portal tanpa dinding dan portal dengan dinding

Kajian eksperimental

Pengujian benda uji struktur portal yang menggunakan angkur dengan mutu beton K-175 dan mutu baja U_{24} diberi kenaikan gaya lateral sebesar 100 Psi untuk setiap bacaan *displacement*. Balok dan kolom diberi tulangan 4 ϕ 10 mm dan tulangan sengkang ϕ 8-200 mm. (Yoresta, 2018).

Untuk melakukan pengujian diperlukan beberapa orang untuk membaca *Dial Indicator* dan *Hydraulic Jack*. Setiap pembacaan beban 100 Psi dibaca perpindahan dari benda uji. Beban (*pushover*) diberi secara bertahap dan *displacement*nya dibaca. Jack dipompa sampai benda uji hancur atau retak di sambungan antara ring balok dengan kolom dan sambungan kolom dengan sloof. Pelaksanaan pengujian terhadap benda uji diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Gambar benda uji lengkap dengan alat pengujian

Hasil pengujian yang dilakukan di lapangan dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5 dibuat grafik beban vs *displacement* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11.

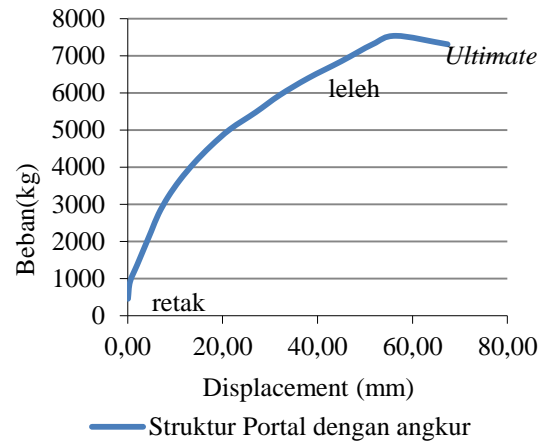
Tabel 5. Pushover untuk portal 2D dengan eksperimen

Beban (kg)	Displacement (mm)
0,000	0,000
456,950	0,080
913,900	0,500
1.370,850	2,000
1.827,800	3,500
2.284,750	5,000
2.741,700	6,500
3.198,650	8,500
3.655,600	11,000
4.112,550	14,000
4.569,500	17,500
5.026,450	21,600
5.483,400	27,000
5.940,350	32,000
6.397,300	38,000
6.854,250	45,000
7.311,200	51,600
7.539,675	56,500
7.311,200	67,400

Beban (*pushover*) maksimum diperoleh pada pembacaan dial 1.650 Psi atau 7.540 kg dengan perpindahan 56,5 mm, kemudian *dial* kembali ke angka 1.600 Psi, saat itu benda uji hancur (retak di ujung pertemuan balok dan kolom). Pola retak yang terjadi akibat pembebanan lateral pada benda uji struktur portal diperlihatkan pada Gambar 12.

Benda uji yang menggunakan angkur (*stek*) menghasilkan pola retak diagonal tetapi tidak mengakibatkan terpisahnya dinding bata dengan kolom. Pemasangan angkur (*stek*) dari kolom ke

dinding dapat meningkatkan kekuatan hubungan antara dinding bata dengan kolom. Pemasangan angkur (*stek*) dari dinding bata ke kolom juga berfungsi untuk mendukung aksi komposit satu sama lain dalam hal menahan beban gempa.



Gambar 11. Kurva pushover untuk portal dengan dinding dan angkur



Gambar 12. Pola retak pada benda uji setelah pengujian

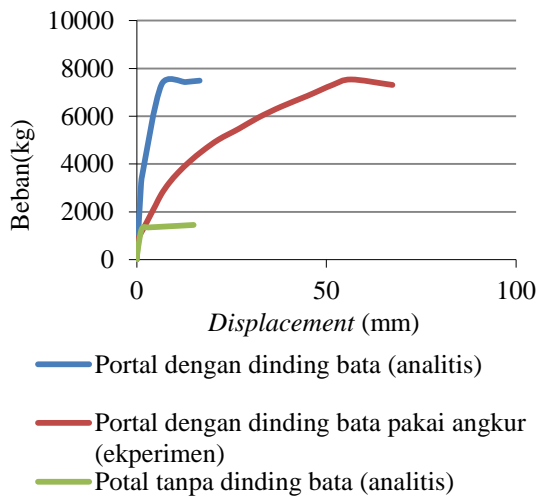
Hubungan antara kolom pengaku dinding dengan dinding tembok menggunakan angkur Ø 10mm panjang 30 cm setiap 6 lapis bata atau 3 lapis batako. Prinsip utama bangunan tahan gempa adalah adanya kesatuan dari struktur bangunan, semua unsur bekerja bersama-sama sebagai kesatuan, jadi tidak bekerja secara terpisah. (Ismail, 2010). Hasil beban maksimum dari eksperimen dengan analitis dapat dilihat pada Tabel 6.

Gambar 13 menunjukkan grafik dari ketiga benda uji baik secara numerik dan eksperimen. Gambar 14 dan 15 memperlihatkan seberapa besar perbandingan antara analitis dengan eksperimen untuk beban dan *displacement*. Analisis *pushover* untuk *eksperimen* 7540 kg sedangkan dengan analitis 7490,93 kg. Hasil *eksperimen* dengan analitis sangat mendekati yaitu 99,34% diperoleh dari hasil analitis dibandingkan dengan

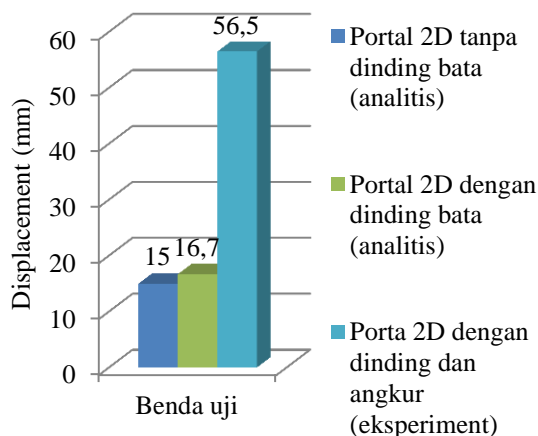
eksp^{eriment} sedangkan untuk *displacement* jauh lebih besar *eksperimen* hal ini disebabkan banyak kemungkinan sehingga nilai *displacement* keduanya tidak bisa dibandingkan.

Tabel 6. Pushover maksimum untuk portal 2D dengan eksperimen dan analitis

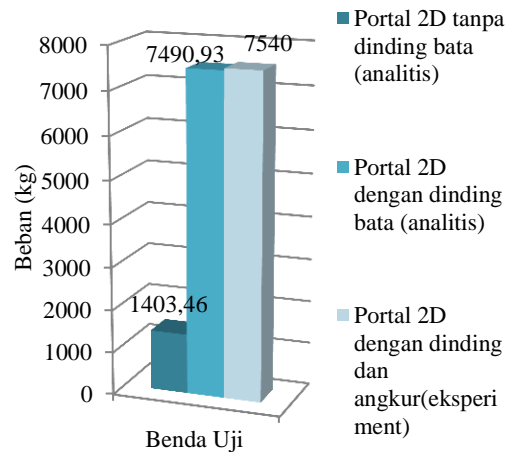
Struktur Portal	Beban (<i>pushover</i>) maksimum (kg)	<i>Displacement</i> (mm)
Portal tanpa dinding bata (analitis).	1.403,46	15,00
Portal dengan dinding bata (analitis).	7.490,93	16,70
Portal dengan dinding bata, menggunakan angkur (<i>eksperimen</i>).	7.540,00	56,50



Gambar 13. Kurva *pushover* dari ketiga benda uji



Gambar 14. *Displacement* maksimum analitis dan eksperimen



Gambar 15. Nilai *pushover* maksimum analitis dan eksperimen

Kesimpulan

Dari hasil penelitian secara analitis dan eksperimen, maka dapat disimpulkan bahwa hasil studi menunjukkan *pushover* pada portal ber dinding jauh lebih besar dari *pushover* yang dihasilkan oleh portal tanpa dinding. Nilai perbandingan keduanya sebesar 533,7%.

Untuk merancang dinding sebagai salah satu struktural dalam perhitungan, dinding bata sangat cocok dimodelkan sebagai *bracing* tekan, terbukti dari hasil eksperimen dan numerik sangat mendekati. Nilai perbandingannya 99,34 %. Maka, prinsip utama bangunan tahan gempa adalah adanya kesatuan dari struktur bangunan, semua unsur bekerja bersama-sama sebagai satu kesatuan, tidak bekerja secara terpisah.

Benda uji yang menggunakan angkur (*stek*) menghasilkan pola retak diagonal tetapi tidak mengakibatkan terpisahnya dinding bata dengan kolom. Hal ini dibuktikan dari hasil eksperimen Pemasangan angkur (*stek*) dari kolom ke dinding dapat meningkatkan perkuatan hubungan antara dinding bata dengan kolom. Pemasangan angkur (*stek*) dari dinding bata ke kolom juga berfungsi untuk mendukung aksi komposit satu sama lain dalam hal menahan beban gempa. Hubungan antara kolom pengaku dinding dengan dinding tembok menggunakan angkur diameter 8 mm dengan panjang 30 cm setiap enam lapis bata atau tiga lapis batako.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih sebesar-besarnya kepada Bapak Ir. Korest Sirait, MT yang telah banyak membantu pembuatan benda uji dan seluruh dosen staf pada Program Magister Teknik Sipil USU

Daftar Pustaka

- , (1982). *Peraturan umum untuk bahan bangunan di Indonesia (PUBI-1982)*. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Aisyah, N. S., & Megantara, Y. (2011). Pemodelan Struktur Bangunan Gedung Bertingkat Beton Bertulang Rangka Terbuka Simetris di Daerah Rawan Gempa dengan Metode Analisis Pushover. In *Prosiding Seminar Nasional AVoER ke (Vol. 3)*.
- Armstrong, B. P. (2006). 1997 Uniform Building Code to 2006 International Building Code Cross Reference Table Chapter 1 : Administration, 1–44.
- ASTM C67-03. (2001). Standard Test Method for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile.
- Badenpowell, R., Turang, E., & Marthin D. J. Sumajouw, R. S. W. (2014). Analisa Portal Dengan Dinding Tembok Pada Rumah Tinggal Sederhana Akibat Gempa. *Jurnal Sipil Statik*, 2(6), 310–319.
- CSI, & Computers and Structures INC. (2016). SAP2000. Analysis Reference Manual. *CSI: Berkeley (CA, USA): Computers and Structures INC.*
- Departemen Pekerjaan Umum. (1978). *Mutu dan Uji Bata Merah Pejal (SII-0021-78)*. Bandung : Yayasan Lembaga Pendidikan Masalah Bangunan
- Departemen Pekerjaan Umum. (1984). *Bata merah sebagai bahan bangunan NI-10*. Bandung: Yayasan Dana Normalisasi.
- Ismail, F. A. (2010). Studi Pengaruh Pemasangan Angkur Dari Kolom ke Dinding Bata Pada Rumah Sederhana Akibat Beban Gempa. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 6(1), 37–44.
- Katz, A. (2010). Microsoft Excel 2010. *Style (DeKalb, IL)*.
- Leksono, R. S. (2012.). Studi Pengaruh Kekuatan Dan Kekakuan Dinding Bata Pada Bangunan Bertingkat, *Skripsi*, Surabaya: Institute Teknologi Surabaya.
- Manalip, H., Reky S. Windah, S. O. D. (2014). Analisis Pushover pada Struktur Gedung Bertingkat. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4), 201–213.
- Narafu, T., Imai, H., Ishiyama, Y., Kusumastuti, D., Wuryanti, W., Shirakawa, K., & Kinoshita, M. (2012). Experimental Study of Confined Brick Masonry in Indonesia. In *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering*, 1–10.
- Oktopianto, Y., & Andayani, R. (2013, Oktober). *Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis*. dipresentasikan pada Proceeding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur & Teknik Sipil) (Vol. 5, hal. 8–9). Bandung.
- Prafanti, S. (2014). Analisa Portal Yang Memperhitungkan Kekakuan Dinding Bata Dari Beberapa Negara pada Bangunan Bertingkat Dengan Pushover, *Tesis*, Medan, Sumatera Utara, Indonesia: Universitas Sumatera Utara.
- Pranata, Y. A., & Wijaya, P. K. (2009). Kajian Daktilitas Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Analisis Riwayat Waktu dan Analisis Beban Dorong. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 8(3), 250-263.
- Sitompul, M. (2017). Evaluasi Daktilitas Struktur Beton Bertulang Akibat Pengaruh Dinding Pengisi Bata Merah. *Jurnal Educational Building Educational Building*, 3(2), 12–16.
- SNI-03-1726. (2002). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Tanjung, J., & Maidiawati. (2016). Studi Eksperimental tentang Pengaruh Dinding Bata Merah terhadap Ketahanan Lateral Struktur Beton Bertulang. *Jurnal Sipil Statik*, 23(2), 99–106.
- Titono, M. (2010). Analisa Ketahanan Gempa Dalam Rangka Konservasi Bangunan Bersejarah, Studi Kasus: Gedung X, *Tesis*, Indonesia: Universitas Indonesia.
- Wisnumurtia, Sri Murni Dewia, A. S. (2014). Strength reduction factor (R) and displacement amplification factor (Cd) of confined masonry wall with local brick in Indonesia. *Procedia Engineering*, 95 (Scscsm), 172–177. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.176>
- Yoresta, F. S. (2018). Analisis Ketahanan Gempa Rumah Tembokan Beton Bertulang di Perumahan Graha Arradea. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 24(1), 54–61.