

ANALISA PORTAL YANG MEMPERHITUNGGAN KEKAKUAN DINDING BATA DARI BEBERAPA NEGARA PADA BANGUNAN BERTINGKAT DENGAN PUSHOVER

Sri Frapanti¹, Johannes Tarigan²

¹Staf Pengajar Fakultas Teknik Sipil, Uni versitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) Email: sri_prafanti@gmail.com

²Staf Pengajar, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Sumatera Utara, Email: johannes_tarigan@yahoo.com

ABSTRAK

Penerapan teknologi dan ilmu pengetahuan dalam bidang pembangunan konstruksi teknik sipil mengalami perkembangan yang pesat dengan berkembangnya zaman sehingga menuntut kita untuk lebih kreatif terutama dalam hal perancangan struktur. Di Indonesia, tantangan yang dihadapi dalam konstruksi gedung bertingkat adalah adanya resiko akibat gempa. Salah satu metode untuk menganalisis beban gempa adalah analisis pushover. Analisis pushover merupakan prosedur analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa. Penelitian dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kekakuan dan kekuatan dinding dengan melakukan eksperimen kuat tekan dari beberapa tipe batu bata yang diambil benda uji batu bata dari Lubuk Pakam dan dibandingkan dengan beberapa negara. Struktur bangunan dimodelkan sebagai portal 2 dimensi yang terdiri dari 2 variasi model dengan 1 bentang dan 3 bentang yaitu Portal terbuka, Portal berdinding. dengan menggunakan analisa Pushover dan bantuan Program ETABS. Hasil analisis dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kontribusi dinding pengisi yang terbuat dari dinding bata mempengaruhi kekakuan lateral struktur bangunan. Pada bangunan portal berdinding penuh memiliki nilai kekakuan lebih besar dibandingkan bangunan pada portal. Model portal berdinding memiliki kekakuan dinding elastis dan kekakuan pasca elastis yang terbesar sedangkan pada model portal terbuka memiliki nilai terkecil. Semakin tinggi nilai kuat tekan batu bata maka nilai kekakuan dan gaya geser bangunan akan semakin besar pula. Nilai kekakuan elastis pada model portal berdinding terbesar 25794,45 kN/m dan pada model portal terbuka nilai terbesarnya 18082,09 kN/m pada tipe batu bata 1. Untuk Kekakuan Pasca Elastis pada portal berdinding 19629,30 kN/m dan pada portal terbuka 15317,23 kN/m pada tipe batu bata 1. Secara keseluruhan model portal berdinding portal terbuka memiliki nilai kekuatan dan kekakuan lebih besar pada batu bata tipe 1 dibandingkan batu bata tipe 2 dan 3. Jadi dinding merupakan salah satu yang mempengaruhi kekakuan untuk perpindahan arah lateral terutama gaya gempa.

Kata kunci: Portal terbuka, Portal berdinding, tipe batu bata, analisis pushover, kekakuan elastis dan pasca elastis.

1. PENDAHULUAN

Dinding pengisi tersebut dipasang apabila struktur utama dikerjakan, jadi pelaksanaannya bersamaan dengan pelaksanaan finishing bangunan. Oleh sebab itu, dalam perencanaannya dianggap sebagai komponen non-struktur, bahkan keberadaannya tidak menjadi permasalahan dalam pemodelan struktur asalkan intensitas beban yang timbul sudah diantisipasi terlebih dahulu (misal, dianggap beban merata). Meskipun dikategorikan sebagai komponen non-struktur tetapi mempunyai kecenderungan berinteraksi dengan portal yang ditempatinya terutama bila ada beban horizontal (akibat gempa) yang besar.

Dalam beberapa kasus gempa, dapat diamati mekanisme keruntuhan *soft-story* tersebut menyebabkan pengaruh yang sangat berbahaya. Gempa memberikan beban lateral pada bangunan yang akan diterima oleh balok-kolom. Keruntuhan *soft-story* diakibatkan karena konfigurasi dinding pengisi yang berbeda antara lantai satu dengan lantai-lantai di atasnya. Bangunan yang mengalami keruntuhan seperti ini umumnya memiliki partisi dinding pengisi yang relatif lebih sedikit pada lantai satu dibandingkan dengan lantai-lantai di atasnya, misalnya pada bangunan dengan lobi atau aula pada lantai satu.

Tujuan untuk melakukan uji laboratorium terhadap beberapa batu bata dengan uji kuat tekan dan modulus elastisitas serta membandingkan dengan modulus elastisitas standar SNI dan modulus elastisitas batu bata dari negara lain. Dan mengetahui seberapa besar pengaruh kekakuan dinding bata, simpangan target, gaya geser

dasar dari beberapa tipe bata yang diuji dan batu bata dari negara lain berdasarkan hasil kurva kapasitas *pushover* serta membandingkan kinerja di setiap pemodelan antara portal ber dinding dan portal terbuka.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Perencanaan Portal

Portal yang merupakan permodelan suatu struktur terbagi dua yaitu portal terbuka dan portal isi. Dalam portal isi, dinding pengisi pada umumnya digunakan sebagai partisi atau penutup luar pada struktur portal beton bertulang. Pemasangannya akan dikerjakan setelah struktur utama selesai dikerjakan dan dianggap sebagai komponen non-struktur pada dasarnya, dinding pengisi merupakan komponen non-struktur yang dianggap tidak memberikan sumbangan yang berarti terhadap kekakuan dan kekuatan struktur, tetapi pada kenyataannya dinding pengisi memberikan pengaruh besar terhadap keruntuhan gedung sehingga perilakunya berbeda dengan portal terbuka. (Diptes Das dan CVR Murty, 2004)

2.2 Bangunan *Soft Storey*

Salah satu definisi bangunan gedung tidak beraturan adalah adanya suatu tingkat yang lemah, yang kekakuannya jauh lebih kecil dari pada tingkat-tingkat yang lain (*soft storey*). Didalam SNI 03-2002, TCPKGUBG-2002 atau RSNI 03-1726 (2010) dijelaskan tentang bangunan gedung reguler itu adalah gedung yang sistem strukturnya memiliki kekakuan lateral yang beraturan tanpa adanya tingkat lunak (*soft storey*). Yang dimaksud dengan struktur tingkat lunak adalah suatu tingkat yang mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya.

2.3 Konsep Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Indonesia yang diantara 4 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. Gaya gempa lateral langsung bekerja pada bagian-bagian struktur yang tidak kuat sehingga menyebabkan keruntuhan elemen struktur.

2.4 Dinding Pengisi

Dinding pengisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dinding batu bata merah, karena sangat banyak digunakan hampir di seluruh bangunan-bangunan pada wilayah negara Indonesia. Hal ini dikarenakan bata merah memiliki sifat harga yang ekonomis, mudah didapat, dan tahan terhadap cuaca.

Bata merah (*clay brick*) adalah bahan bangunan yang digunakan untuk pembuatan konstruksi bangunan, dibuat dari tanah liat dengan atau tanpa campuran bahan-bahan lainnya yang dibentuk persegi panjang, dibakar pada suhu yang tinggi hingga tidak dapat hancur lagi bila direndam dalam air.

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.

2.5. Persyaratan yang 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 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 di ayak). 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 pengakuanya 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.
7. Standar kuat tekan batu bata yang disyaratkan oleh ASTM C 67-03 adalah sebesar 10,40 MPa. Mutu bata merah dapat diklasifikasikan menjadi 3 tingkat, yaitu:
 - a. Tingkat I mempunyai kuat tekan rata-rata > 100 kg/cm².
 - b. Tingkat II mempunyai kuat tekan antara 80 – 100 kg/cm².
 - c. Tingkat III mempunyai kuat tekan antara 60 – 80 kg/cm².

2.5.1 Nilai Modulus Elastisitas Batu Bata yang Standart dari Negara Lain

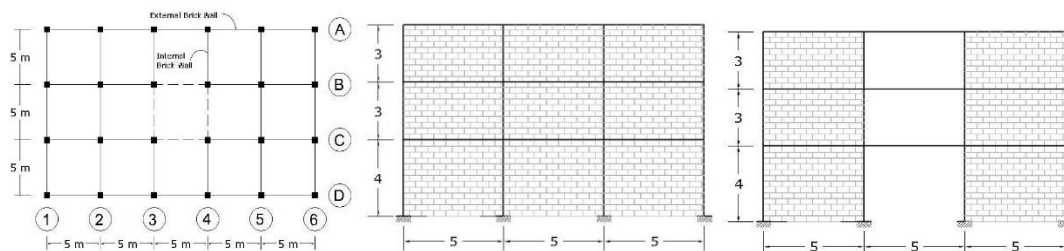
Dari informasi Jurnal penelitian “*Properties of Brick Masonry for FE modelling*” (Narayanan, Sirajudin) (2013), *American Journal of Enngineering Research (AJER)* , untuk nilai Modulus Elastisitas (E) Batu bata diperoleh yaitu :

Tabel 2.2 Nilai Modulus Elastisitas Batu Bata dari 3 Negara

No.	Nama Negara	Nilai Modulus Elastisitas Batu Bata (Mpa)
1	Australia	7000 – 12000
2	Eropa	3500 – 34000
3	India	300 – 16000

2.6 Diagonal Tekan Ekivalen (Equivalent Diagonal Strut) Berdasarkan Diftesh Das dan CVR Murty (2004)

Pada bentuk pemodelan yang dianalisa dalam jurnal ini yaitu memiliki denah 3 bentang dengan lebar bentang 5 m, jumlah lantai terdiri dari 3 lantai untuk lantai 1 tinggi lantainya 4 m dan lantai 2,3 dengan tinggi lantai 3 m. Ada 6 grid untuk grid 1, grid 2, grid 4, grid 6 adalah bentuk model portal berdinding (*fully infilled frame*) dan untuk grid 3 dan grid 4 adalah bentuk model portal terbuka (*open frame*), seperti yang ada dalam gambar denah dan tampak pada pemodelan portal berdinding dan portal terbuka seperti dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.2 Denah dan Tampak pada Pemodelan Portal Berdinding dan Terbuka Diftesh Das dan CVR Murty (2004)

2.7 Konsep Dasar Metoda Analisa Pushover

Metoda analisa statik tidak linear (*pushover analysis*) adalah metoda tidak linier yang sangat populer digunakan dalam perencanaan atau penilaian bangunan yang terletak di daerah rawan gempa. Seperti yang dijelaskan oleh Kunnath (2005), ide yang mendasari metoda ini adalah untuk menjelaskan keadaan beban gempa yang bekerja pada rangka struktur. Respon rangka struktur terhadap berbagai beban dinamis adalah sebuah kombinasi ragam getar dinamis dari sistem yang bergetar. Sehingga metode ini juga didasarkan kepada konsep dasar analisa ragam getar pada struktur. Penjelasan teori yang mendasari analisa statik tidak linear berikut ini adalah berdasarkan McGiure dkk. (1999).

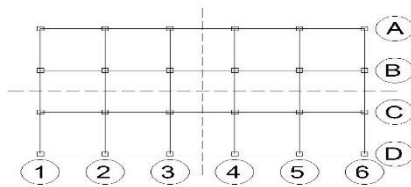
3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini Analisa yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang baik adalah Analisa *Pushover*. Metode yang digunakan adalah metode pendekatan numerik, yaitu menggunakan bantuan program numerik (ETABS). Tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya.

3.1 Pemodelan Struktur

Pada penelitian ini pada struktur bangunan yang dimodelkan sebagai portal 2 dimensi dan terdiri dari 6 grid model tapi yang dianalisa hanya pada 2 grid model yaitu pada model portal berdinding dan model portal terbuka , semua model struktur terdiri dari 3 lantai dan 3 bentang termasuk struktur portal berdinding, portal terbuka (Gambar 3.2). Tinggi pada lantai pertama 4 m untuk semua model, sedangkan pada lantai yang lain 3 m. Masing-masing panjang bentang 5 m. Perletakan diasumsikan jepit. Dinding bata memperhitungkan kuat tekan batu bata dan modulus elastisitas batu bata dengan 3 tipe batu bata.

Dari kondisi pemodelan pada Gambar 3.3 diatas untuk grid 1,2,5,6 adalah model portal berdinding (*fully-infilled wall frame*), untuk grid 3,4 adalah model portal terbuka (*open frame*) , karena kondisi pemodelan ada yang sama maka diambil salah satu sampel yaitu dari grid 1 dan grid 3 yang mewakili dari 6 grid jadi untuk grid adalah mewakili portal berdinding dan untuk grid 3 adalah mewakili portal terbuka, karena lebar dan tinggi bentang adalah sama maka sampel pemodelan struktur yang diambil adalah:



Gambar 3.2 Denah Struktur Bangunan Berdasarkan Grid Portal

3.2 Analisa Pengujian Propertis Batu Bata

Dalam studi ini digunakan bata merah sebagai material dinding pengisi. Karakteristik dinding bata yang akan digunakan dalam studi ini didasarkan pada karakteristik dinding bata hasil pengujian laboratorium di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Sipil USU dengan standart SNI 03-4164-2008 tentang cara uji modulus elastisitas batu bata dengan tekanan sumbu tunggal, benda uji batu bata menggunakan 10 sampel batu bata dari daerah Bakaran Batu, Deli Serdang, Sumatera Utara.

Langkah-langkah pengujian untuk uji kuat tekan batu bata sebagai berikut:

1. Pengukuran batu bata dengan jangka sorong untuk mengukur panjang dan lebar batu bata untuk memperoleh luasan ukuran batu bata.
2. Batu bata diletakkan didalam alat uji kuat tekan.
3. Plat baja diatur secara perlahan hingga menyentuh permukaan ujung bata uji secara merata.
4. Jarum penunjuk pada manometer pengukuran tekanan diatur dan dilakukan pembacaan awal.
5. Tekanan ditingkatkan sampai kondisi benda uji retak sampai pecah.
6. Hasil pembacaan manometer pada saat terjadi retakan bata uji dicatat dan dibuat sketsa bidang retak bata uji setelah mengalami retakan sampai pecah.

Dari Hasil Pengujian Eksperimen Kuat tekan Batu Bata diperoleh seperti di dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil Uji Kuat Tekan Batu Bata

DATA HASIL UJI KUAT TEKAN BATU BATA				
NO.BENDA UJI	UKURAN BATU BATA			BEBAN YANG DITERIMA (KN)
	P (cm)	L (cm)	A (cm ²)	
TIPE 1				
1	19.6	9.7	190.12	580
2	19.7	9.7	191.09	590
3	19.7	9.5	187.15	575
TIPE 2				
4	19.6	9.5	186.2	460
5	19.4	9.6	186.24	378
6	19.5	9.6	187.2	377
7	19.3	9.5	183.35	368
TIPE 3				
8	19.4	9.5	184.3	355
9	19.6	9.6	188.16	350
10	19.6	9.7	190.12	350

3.3 Tahapan Penelitian

Dalam menulis tesis ini, beberapa tahapan dilaksanakan sehingga tercapai maksud dan tujuan dari penelitian. Untuk mencapai tujuan tersebut maka dilakukan tahapan-tahapan yaitu:

1. Tahap pertama : Kegiatan yang dilakukan adalah memodelkan struktur dengan pemodelan sendiri dan menentukan data-data teknis yang digunakan dalam analisis.
2. Tahap kedua: Tahap ini dilakukan perhitungan pembebanan struktur terdiri dari beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) dan beban gempa. Beban gravitasi didapat berdasarkan PPPIUG 1987, sedangkan beban gempa berdasarkan SNI 03-1726-2002. Karakteristik dinding bata yang akan digunakan dalam studi ini didasarkan pada karakteristik dinding bata dari hasil pengujian laboratorium yang dilakukan penulis (2016). Berdasarkan eksperimen diperoleh data sebagai berikut:

- a. Parameter individu bata:
- 1) Kuat tekan unit tipe 1 bata 3,07 Mpa
 - 2) Kuat tekan unit tipe 2 bata 2,13 Mpa
 - 3) Kuat tekan unit tipe 3 bata 1,88 Mpa
- b. Parameter dinding pengisi (pasangan bata):
- 1) Kuat tekan rata-rata pasangan bata (f'_m) 1,65 Mpa
 - 2) Modulus elastisitas dinding pengisi tipe 1 bata 1556,75 Mpa
 - 3) Modulus elastisitas dinding pengisi tipe 2 bata 1140,97 Mpa
 - 4) Modulus elastisitas dinding pengisi tipe 1 bata 1024,54 Mpa

Tabel 3.2 dan Gambar 3.6 menunjukkan propertis fisik bata yang digunakan.

Propertis	Bata Merah	Satuan
Panjang	195.23	Mm
Tinggi	52.28	Mm
Tebal	95.29	Mm
Berat Jenis	1373.55	kg/m ³

3. Tahap ketiga : Tahap ini dilakukan untuk menentukan beban horizontal akibat gempa diperlukan waktu getar bangunan. Berdasarkan SNI 03-1726-2002 Pasal 5.6, pembatasan maksimum waktu getar alami fundamental : $T < \zeta n$; dimana n = jumlah tingkat dan $\zeta = 0.17$ untuk zona 3.
4. Tahap keempat : Tahap ini dilakukan untuk menentukan terjadinya sendi plastis pada balok, kolom dan dinding bata. Pada model ini kerusakan struktur dianggap masih dapat dibatasi (PR) pada kondisi rotasi leleh θ_y , kondisi rusak berat (RB) berada di $0.75 \theta_u$, kondisi hampir rubuh (HR) berada di θ_u , dan rubuh total berada di $3 \theta_u$.
5. Tahap kelima : Pada tahap ini melakukan prosedur perhitungan analisa *pushover* telah dijelaskan pada bab 2. Penelitian ini menggunakan program komputer ETABS sebagai alat perhitungan numerik yang disarankan untuk menganalisa struktur yang dimodelkan.
6. Tahap keenam : Pada tahap ini didapat hasil keluaran analisa *pushover* yaitu kurva kapasitas yang menunjukkan hubungan gaya geser dasar terhadap simpangan, yang memperlihatkan perubahan perilaku struktur dari linier menjadi nonlinier, berupa penurunan kekakuan yang diindikasikan dengan penurunan kemiringan kurva terbentuknya sendi plastis pada kolom dan balok. Selanjutnya diatas kurva *pushover* dapat digambarkan secara kualitatif kondisi kerusakan yang terjadi pada level kinerja yang ditetapkan agar mempunyai bayangan seberapa besar kerusakan itu terjadi.

4. HASIL PERHITUNGAN

Pada penelitian ini pemodelan struktur yang dimaksud adalah pemodelan struktur gedung beton bertulang 3 dimensi sebagai perbandingan dengan gedung yang sudah ada (aktual) dan dengan model desain berdasarkan SNI 2012, kedua struktur gedung dengan efek *soft storey*.

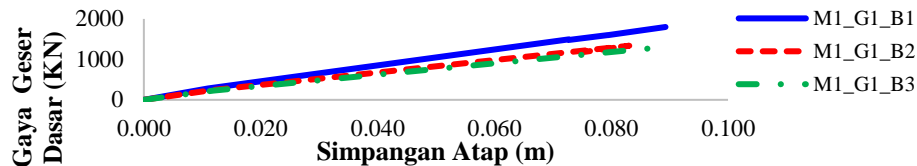
Setelah selesai dilakukan *run analysis*, maka tahap selanjutnya mengontrol dari hasil analisis, yaitu periode getar alami, gaya geser (*base shear*) dan perpindahan. Setelah didapatkan hasil analisis linear struktur bangunan gedung masih aman, maka dilanjutkan analisis *pushover*. Analisa beban statik non-linear akan dilaksanakan mengikuti petunjuk FEMA 356 dan menggunakan program ETABS. Adapun langkah-langkah dalam menganalisis *pushover*, yaitu:

4.1 Analisa Statik Non Linier Pushover

Analisis *pushover* dilakukan untuk melihat seberapa besar kapasitas dan kekakuan, simpangan target, gaya geser dasar. Ada 2 model yang akan dibandingkan pada studi ini dengan 3 tipe batu bata yang ada di Lubuk Pakam dan batu bata dari Negara lain yaitu Australia, Eropa dan India. Tipe analisis *pushover* yang digunakan dalam studi ini adalah kontrol *displacement* dimana struktur didorong sampai mencapai *displacement* yang diinginkan dan atau sampai struktur yang ditinjau runtuh. Selanjutnya hasil analisis *pushover* untuk masing-masing model dapat dilihat urainnya di bawah ini.

4.1.1 Portal Berdinding (*Fully Infilled Wall Frame*)

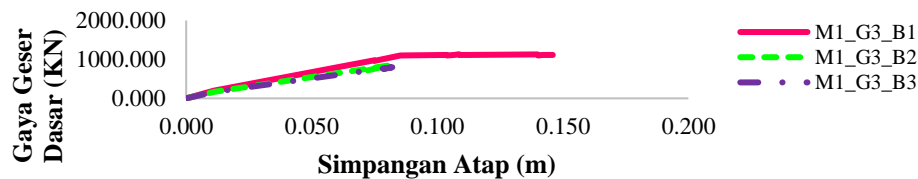
Dari Gambar 4.1 menunjukkan dan membandingkan bahwa dari ketiga model Portal Berdinding (*Fully Infilled Wall Frame*) pada Grid 1 untuk beberapa tipe batu bata, Portal Berdinding, dari Gambar 4.4 menunjukkan nilai gaya geser dasar dan simpangan atap yang memiliki kapasitas terbesar dalam menerima beban gempa atau gaya lateral ada pada batu bata tipe 1 (M1-G1-B1).



Gambar 4.1 Perbandingan Kurva Kapasitas pada Grid 1 dengan Gabungan Beberapa Tipe Batu Bata (Tipe 1, 2, 3)

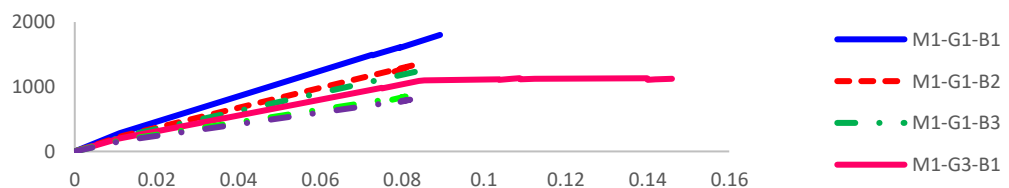
4.1.2. Portal Terbuka pada Dinding Bentang Tengah (*Open Frame*)

Berikut ini akan diuraikan beberapa kurva kapasitas dari hubungan antara struktur berdinding penuh dari beberapa tipe batu bata yaitu tipe 1, tipe 2 dan tipe 3 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.2 Kurva Kapasitas pada Grid 3 dengan Gabungan Beberapa Tipe Batu Bata (Tipe 1, 2, 3)

Dari Gambar 4.2 menunjukkan bahwa dari ketiga model portal terbuka (*open frame*) pada Grid 3 (G3) untuk beberapa tipe batu bata yang memiliki kapasitas terbesar dalam menerima beban gempa atau gaya lateral ada pada portal terbuka batu bata tipe 1 (M1-G1-B1). Perbandingan kurva kapasitas untuk portal berdinding dibandingkan dengan portal terbuka seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Perbandingan Kurva Kapasitas untuk Portal Berdinding dengan Portal Terbuka pada Batu Bata untuk Tipe 1,2,3

4.3 Perbandingan Batu Bata dengan Analisa Pushover dari Beberapa Negara

Dari nilai Modulus Elastisitas (E) Batu bata diperoleh yaitu:

Eropa adalah 3500 – 34000 Mpa
 Australia adalah 7000 – 12000 Mpa
 India adalah 300 – 16000 Mpa

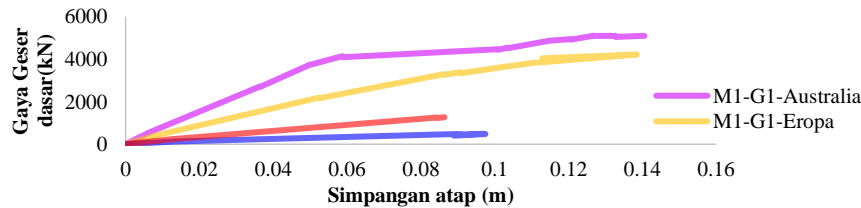
Dalam penulisan ini diambil nilai modulus elastisitas terendah jadi:

Eropa adalah 3500 Mpa
 Australia adalah 7000 Mpa
 India adalah 300 Mpa

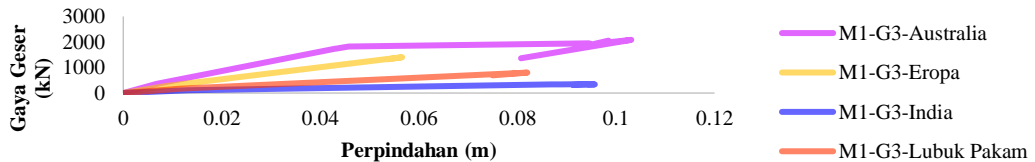
Lubuk Pakam adalah 1024.54 Mpa (batu bata tipe 3)

Sifat komponen batu bata yang penting dalam analisis struktur batu. Pekerjaan ini meneliti literatur tentang kemampuan sifat dari batu bata dari beberapa negara seperti negara Australia, Eropa dan India untuk mendapatkan persamaan dari nilai-nilai kekuatan yang tersedia. Batu bata merah (*masonry*) salah satu bahan bangunan tertua, batu bata menggunakan mortar telah terbukti sebagai teknik *successful* karena kesederhanaan dan daya tahan konstruksi. Struktur tersebut sangat lemah dalam lentur dan geser akibat beban lateral. Kerusakan akibat gempa dan meningkat. Penguatan struktur batu bata sangat penting jadi dalam penulisan ini

dianalisis dengan kurva *pushover* dan membandingkan dengan penelitian yang dilakukan penulis dan bisa dilihat dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Kurva Kapasitas pada batu bata dari 4 Negara yaitu (Australia, Eropa, India dan Indonesia khususnya Lubuk Pakam) pada Grid 1 portal berdinding penuh (M1-G1)



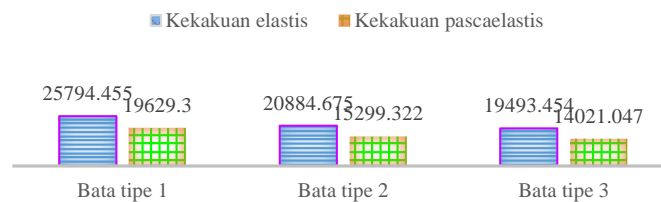
Gambar 4.5 Kurva Pushover pada Batu Bata dari 4 Negara yaitu (Australia, Eropa, India dan Indonesia Khususnya Lubuk Pakam) pada Grid 3 (portal terbuka)

Pada gambar 4.5 kurva *pushover* ini dapat dilihat bahwa *Pushover* pada Negara Australia lebih tinggi dibandingkan Negara Eropa dan India, dan untuk Indonesia khususnya data batu bata di Lubuk Pakam lebih tinggi nilai *pushover* dibandingkan batu bata dari India untuk modulus elastisitas terendah.

4.4 Kekakuan

4.4.1 Kekakuan Portal Berdinding Batu Bata pada Tipe 1,2,3

Berikut ini grafik perbandingan kekakuan elastis, kekakuan pasca elastis. Kekakuan elastis dihitung berdasarkan gaya geser dasar yang menyebabkan leleh pertama pada elemen struktur dengan perpindahan atap saat terjadi leleh pertama pada elemen struktur.



Gambar 4.6 Kekakuan Elastis dan Kekakuan Pasca Elastis pada Portal berdinding (grid 1)

4.4.2 Kekakuan Portal Terbuka untuk Batu Bata pada Tipe 1,2,3

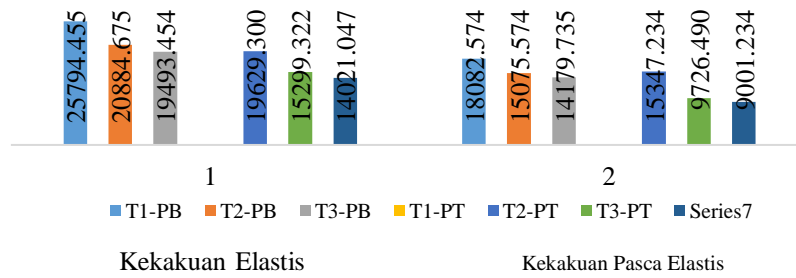
Pada Gambar 4.2 memperlihatkan perbandingan kekakuan elastic dan kekakuan pasca elastic untuk batu bata tipe 1, tipe 2 dan tipe 3. Berikut ini grafik perbandingan kekakuan elastis, kekakuan pasca elastis. Kekakuan elastis dihitung berdasarkan gaya geser dasar yang menyebabkan leleh pertama pada elemen struktur dengan perpindahan atap saat terjadi leleh pertama pada elemen struktur pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Kekakuan Elastis dan Kekakuan Pasca Elastis pada Portal Terbuka (Grid 3).

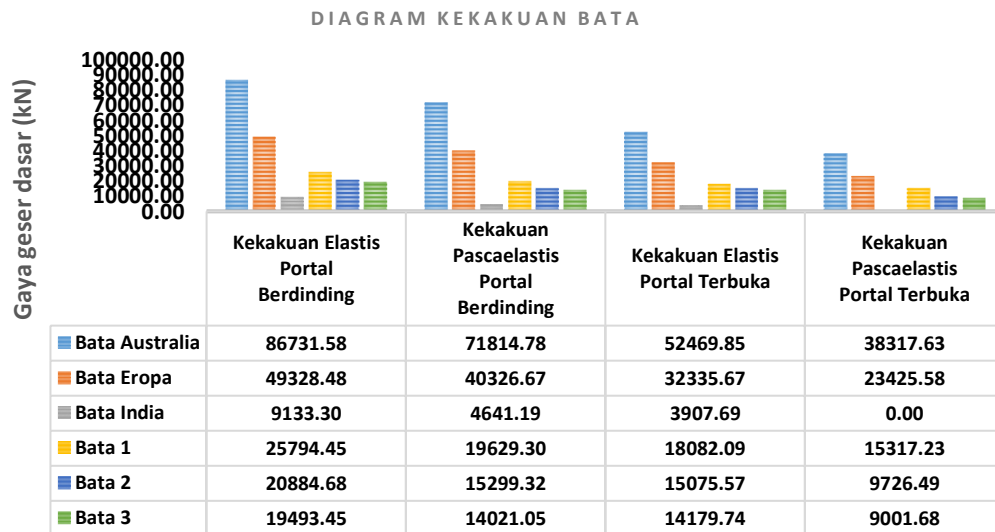
Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dianalisis bahwa:

Pada Portal berdinding batu bata pada tipe 1 memiliki kekakuan elastis lebih besar dibandingkan pada batu bata tipe 2 dan batu bata tipe 3.



Gambar 4.8 Perbandingan Diagram Kekakuan Elastis dan Kekakuan Pasca Elastis pada Portal Berdinding dan Portal Terbuka dengan Beberapa Tipe Batu Bata.

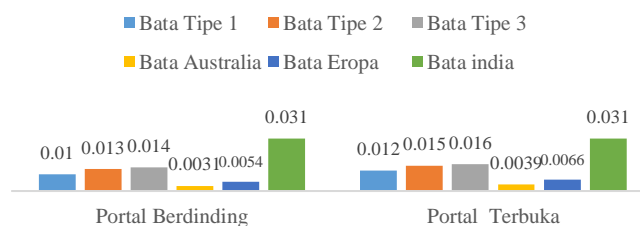
Dalam Gambar 4.8 menunjukkan hasil nilai perbandingan kekakuan elastis dan kekakuan pasca elastis pada portal berdinding dan portal terbuka dengan beberapa tipe batu bata dapat diambil kesimpulan: Struktur portal berdinding memiliki kekakuan elastis lebih besar dibandingkan rangka terbuka. Struktur portal berdinding memiliki kekakuan pasca elastis lebih besar dibandingkan pada portal terbuka (*open frame*) seperti pada Gambar 4.8. Persentase terbesar perbedaan kekakuan pasca elastis struktur lebih besar terhadap portal berdinding.



Gambar 4.9 Diagram Perbandingan Kekakuan Bata dari Kekakuan Pasca Elastis pada Portal Berdinding dan Portal Terbuka dengan Beberapa Tipe Batu Bata yang Diuji dan Bata dari Negara Australia, Eropa dan India.

4.5 Simpangan Target

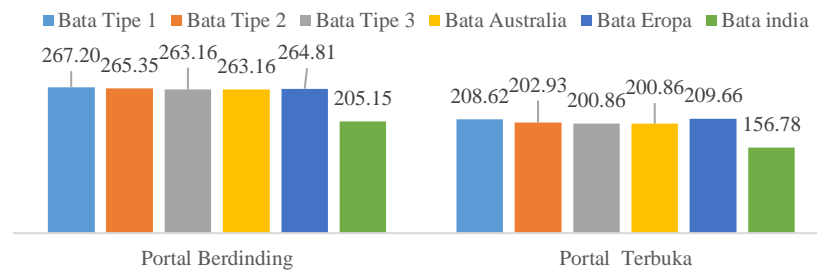
Simpangan target atau titik kinerja merupakan nilai yang diperoleh dari hasil kurva *pushover* yang dipengaruhi akibat adanya pembebanan yang bekerja secara lateral. Secara keseluruhan pada gempa zona 3 (sedang) model portal berdinding (*fully infilled wall frame*), nilai simpangan target lebih kecil dari model portal terbuka (*open frame*). Hal ini menunjukkan bahwa portal terbuka (*open frame*) dapat berdeformasi lebih baik dari pada struktur dengan dinding bata maupun struktur dengan tingkat lunak, seperti terlihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Perbandingan Simpangan Target dengan Beberapa Pemodelan.

4.6 Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar (*Base Force*) pada portal dengan dinding (*fully infilled wall frame*) batu bata mampu menerima gaya geser dasar (*Base Force*) lebih baik daripada portal terbuka (*open frame*). Hal ini ditunjukkan dengan besarnya nilai gaya geser dasar (*Base Force*) pada portal berdinding (*fully infilled wall frame*), seperti terlihat pada Gambar 4.11.

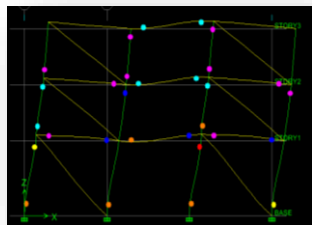


Gambar 4.11 Perbandingan Gaya Geser Dasar Target dengan Beberapa Pemodelan.

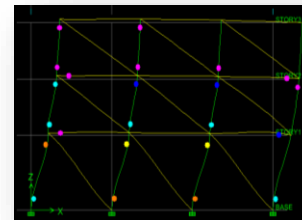
Dari hasil Gambar 4.11 dapat dilihat persentase perubahan gaya geser dasar antara model portal berdinding dan portal terbuka dengan dinding bata beberapa tipe.

4.7 Deformasi dari Pushover pada program ETABS

Bentuk perpindahan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan 4.19 untuk portal berdinding dan terbuka. Tanda bulat berwarna memberitahukan bahwa elemen sudah mengalami leleh.



Gambar 4.12 Batas-Batas Deformasi dengan pushover pada portal berdinding



Gambar 4.13 Batas-Batas Deformasi Pushover pada Portal dengan Bentang Tengah terbuka

Dari Gambar 4.12 menunjukkan warna-warna pada batas-batas deformasi *pushover*, pada gambar 4.12 terlihat untuk deformasi pada portal berdinding (*fully infilled wall frame*) masih pada batas warna kuning maksudnya dalam kondisi aman yang berarti belum hancur.

Dari Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 menunjukkan warna-warna pada batas-batas deformasi *pushover*, pada gambar 4.12 terlihat untuk deformasi pada portal berdinding masih pada batas warna kuning maksudnya dalam kondisi yang belum hancur, sementara pada gambar 4.13 terlihat gerakan deformasi sudah berada pada batas warna oranye dan merah maksudnya dalam kondisi sudah lemah mengalami leleh.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan sesuai dengan permasalahan yang telah dikemukakan terhadap model Portal dinding penuh (*fully infilled wall frame*), portal terbuka (*open frame*), maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji laboratorium diperoleh nilai kuat tekan batu bata tipe 1 yaitu 3,07 Mpa, memiliki nilai besar daripada batu bata tipe 2 yaitu 2,13 Mpa dan batu bata tipe 3 yaitu 1,88 Mpa dan nilai modulus elastisitas batu bata tipe 1 yaitu 1556,75 Mpa, memiliki lebih besar daripada batu bata tipe 2 yaitu 1140,97 Mpa dan batu bata tipe 2 lebih besar daripada batu bata 3 yaitu 1024,54 Mpa. Untuk standar modulus elastisitas berdasarkan SNI bahwa batu bata adalah 2237 Mpa maka pada penelitian batu bata dari Lubuk Pakam ini belum memenuhi standar SNI.

2. Hasil studi menunjukkan bahwa kekakuan dinding batu bata.
 - a. Kekakuan elastis.
Dari hasil analisis kekakuan elastis maka dapat disimpulkan nilai kekakuan elastis yang lebih besar adalah pada model portal berdinding dibandingkan dengan portal terbuka dan batu bata tipe 1 lebih besar dari tipe 2 dan tipe 3 tetapi terbesar adalah bata Australia.
 - b. Kekakuan pasca elastis.
Dari hasil analisis kekakuan pasca elastis maka dapat disimpulkan nilai kekakuan elastis yang lebih besar adalah pada model portal berdinding dibandingkan dengan portal terbuka dan batu bata tipe 1 lebih besar dari tipe 2 dan tipe 3 tetapi terbesar adalah bata Australia.
3. Dari hasil analisis perbandingan pada simpangan target untuk portal berdinding persentase perubahan simpangan target sama besarnya terjadi pada semua model struktur mencapai 4 % lebih besar dan lebih kecil terhadap portal berdinding, dibandingkan dengan portal terbuka, persentase perubahan simpangan target terbesar terjadi pada dinding bata tipe 1.
4. Dari hasil analisis perbandingan pada gaya geser dasar untuk portal berdinding persentase perubahan gaya geser dasar terbesar terjadi pada portal berdinding bata untuk tipe 1.
5. Dari hasil kurva *pushover* bahwa *pushover* pada Negara Australia lebih tinggi dibandingkan Negara Eropa dan India dan untuk Indonesia khususnya data batu bata di Lubuk Pakam lebih tinggi nilai *pushover* dibandingkan dari India.

DAFTAR PUSTAKA

- Antonius dan Widhianto, A. (2013). *Soft Storey pada Respon Dinamik Struktur Gedung Beton Bertulang Tingkat Tinggi (199S)*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- ATC-40 (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Report SSC 96-01, California Seismic Safety Commission, Penerbit: Applied Technology Council, Redwood City.
- ATC-58 (1997). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Report SSC 96-01, California Seismic Safety Commission, Penerbit: Applied Technology Council, Redwood City.
- Badan Standarisasi Nasional. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002.)*
- Badan Standarisasi Nasional. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung tentang cara uji modulus elastisitas batu bata dengan sumbu tunggal (SNI 03-4164-2008.)*
- BSSC, FEMA 222, (1995). *NEHRP Recommended provision for seismic regulations for new building*. Washington, D.C.
- Chopra, A. (2001). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Penerbit: Prentice Hall, New York.
- Dewobroto, W. (2005). *Analisa Inelastis Portal-Dinding Pengisi dengan "Equivalent Diagonal Strut"*. Jurnal Teknik Sipil, Vo;. 12.
- Diptesh Das, C.V.R Murty, (2000). *Brick masonry infills in seismic design of RC frame buildings*, Civil Engineering IIT Kanpur, India, Part 2.
- Islam Saiful, (2011). *Non Linear time domain analysis of base isolated multi story building under site specific bi-directional seismic loading*. Automation in construction
- Mehrabi, A.B., Shing, P.B., Schuller, M.P., Noland, J.L. (1996). *Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames*. Journal of Structural Engineering, ASCE, 122(3), 228-237.
- McGuire, W., Ziemian, R. D., & Gallagher, R. H. (1999), *Matrix structural analysis*, with MASTAN2, Penerbit: John Wiley & Sons, New York.
- Muhammad H.Jinya, V.R. Patel, (2014), *Analysis of RC frame with and without masonry infill wall with different stiffness with outer central openg*, International Journal of Research in Enngineering and Technology.
- Narayanan SP, Sirajuddin M, (2013) *Properties of Brick Masonry for FE modelling*, American Journal of Engineering Research (AJER)
- Park, Y. J., Ang, A. H-S., and Wen, Y.K. (1987), *Damage-Limiting Aseismic Design of Buildings, Earthquake Spectra*, 3(1), hal.: 1-26.
- Paulay, T. dan Priestley, M.J.N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, Penerbit: ohn Wiley and Sons, New York.
- Saneinejad, A. dan Hobbs, B. (1995). *Inelastic design of infilled frames*. Journal of Structural Engineering, ASCE, 121(4), 634-650.
- Wisnumurti, Sri Murni Dewi, (2014) *Strength reduction factor (R) and displacement amplification factor (Cd) of confined masonry wall with local brick in Indonesia*, Civil Engineering, Universitas Brawijaya Malang, Indonesia, Procedia 95, 172-177.