

Metoda Evaluasi Kapasitas Seismik Gedung Beton Bertulang Eksisting dengan Aplikasi Model Dinding Bata

Maidiawati

Jurusan teknik Sipil, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang
Kampus ITP, Padang 25000, E-mail: maidiawati@yahoo.com

Agus

Jurusan teknik Sipil, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang
Kampus ITP, Padang 25000, E-mail: mscagus@yahoo.co.id

Abstrak

Sebuah metoda dikembangkan untuk mengevaluasi kapasitas seismik gedung beton bertulang eksisting dengan mengaplikasikan sebuah model strut diagonal untuk memperhitungkan pengaruh dinding bata dalam struktur rangka. Dalam model ini lebar strut diagonal diberikan sebagai fungsi tinggi kontak antara dinding dan struktur rangka yang dapat diselesaikan dengan persamaan kesetimbangan tegangan tekan dan perpindahan lateral pada daerah kontak. Kekuatan dan kekakuan lateral dinding didapatkan berdasarkan lebar strut diagonal. Model strut diagonal telah diverifikasi dengan hasil pengujian struktur rangka dengan dinding bata. Didapatkan hasil yang sesuai antara pengujian struktur dan hasil analisis model untuk kekakuan dan kekuatan lateral serta duktilitas dinding bata. Oleh karena itu, model strut diagonal dapat diaplikasikan untuk mengevaluasi kapasitas seismik gedung beton bertulang eksisting di kota Padang. Dalam penelitian ini dievaluasi kapasitas seismik sebuah gedung beton bertulang 2 (dua) lantai untuk tanpa dan dengan memperhitungkan pengaruh dinding bata dengan mengaplikasikan model diagonal strut untuk dinding bata. Sedangkan kapasitas seismik gedung tanpa pengaruh dinding bata dievaluasi berdasarkan standar Jepang. Sebagai hasilnya didapat bahwa dinding bata dalam struktur rangka dapat meningkatkan kapasitas seismik gedung beton bertulang secara signifikan.

Kata-kata Kunci: Kapasitas seismik, Gedung beton bertulang, Model strut diagonal, Dinding bata.

Abstract

A method for evaluating the seismic capacity of existing reinforced concrete (R/C) building was developed by implementing a diagonal strut model for considering brick infill effects. In this model, the strut width is presented as a function of frame-infill contact length, which was evaluated by static equilibriums related to compression balance and lateral displacement compatibility at the frame-infill interfaces. The lateral strength and stiffness of infill were obtained based on the strut width. The strut model has been verified through comparison with experimental results of a brick masonry infilled R/C frame. Good agreements were observed between the experimental and analytical performance on the lateral strength and ductility of the infill. Consequently, the diagonal strut model can be an effective tool for precisely screening earthquake-vulnerable existing R/C buildings in Padang city. In this study, two calculations of seismic capacity of two stories existing R/C building, without and with considering brick infill effects, were conducted by applying the diagonal strut model. However, the seismic capacity of R/C building without infill effect was evaluated based on Japanese standard. Consequently, it reveals that the brick infill significantly affected the seismic resistances of the investigated building.

Keywords: Seismic capacity, R/C Building, Diagonal strut model, Brick infill.

1. Pendahuluan

Struktur rangka beton bertulang dengan dinding bata (*RC frame with brick masonry wall*) sangat banyak dan umum dipakai di Sumatra Barat, Indonesia, baik untuk bangunan tingkat tinggi, menengah dan bangunan tingkat rendah. Berdasarkan peristiwa gempa yang terjadi dalam 1 (satu) dekade terakhir di Sumatra Barat, banyak bangunan beton bertulang yang rusak dan

roboh (Maidiawati et. al, 2008 dan EERI, 2009). Penulis melakukan investigasi pada 2 (dua) gedung beton bertulang pasca gempa Sumatra September 2007. Dua gedung tersebut memiliki tipe struktur sama tetapi memiliki jumlah dinding dalam struktur rangka yang dinyatakan dalam rasio luas dinding terhadap luas lantai bangunan yang berbeda. Gedung yang memiliki rasio yang lebih tinggi yaitu sebesar 1.2 dapat bertahan selama gempa, sedangkan gedung dengan rasio 0.2

mengalami keruntuhan total (Maidiawati et.al, 2008). Hal ini memberikan gambaran bahwa dinding bata dalam struktur rangka ikut berkontribusi dalam menahan beban gempa. Namun dalam perencanaan struktur gedung beton bertulang terhadap beban gempa, pengaruh dinding bata dalam struktur rangka selalu diabaikan dengan hanya menganggap dinding bata sebagai komponen tanpa penahan beban (*non-structure*).

Beberapa peneliti sebelumnya telah mendapatkan bahwa dinding bata dalam struktur rangka dapat meningkatkan kekakuan lateral gedung beton bertulang (Chaker and Cherifati, 1999). Penulis juga telah melakukan pengujian struktur rangka beton bertulang tanpa dan dengan dinding bata, yang mendapatkan bahwa dinding bata dalam struktur rangka dapat meningkatkan kekuatan lateral struktur secara keseluruhan yaitu sebesar empat kali lebih besar daripada struktur rangka tanpa dinding, namun daktilitas struktur berkurang sekitar setengahnya (Maidiawati et. al, 2011). Penulis juga telah mengembangkan sebuah metoda analisis dinding bata dalam struktur rangka (Maidiawati et. al, 2012, 2013). Dalam model ini, dinding bata dalam struktur rangka diasumsikan sebagai sebuah strut diagonal yang memberikan gaya tekan diagonal terdistribusi sepanjang daerah kontak antara dinding dan kolom. Panjang daerah kontak antara dinding dan kolom dapat ditentukan dengan penyelesaian persamaan keseimbangan statik dari perpindahan lateral kompatibel yang terjadi antara dinding dan kolom. Gaya geser kolom dengan adanya gaya strut diagonal didapatkan berdasarkan kepada lebar strut diagonal yang dinyatakan dalam fungsi panjang kontak antara dinding dan kolom.

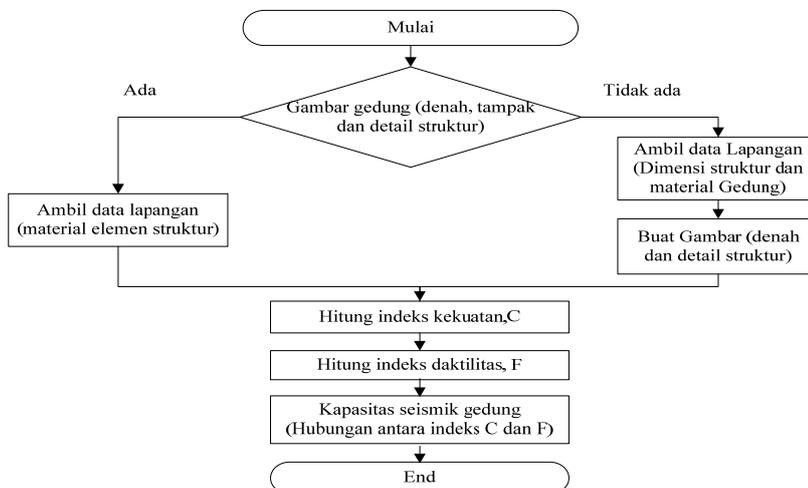
Berpengalaman kepada kerusakan bangunan beton bertulang akibat gempa, maka kapasitas seismik gedung beton bertulang eksisting di daerah rawan gempa seperti kota Padang sangat perlu dievaluasi dengan memperhitungkan pengaruh dinding bata. Sehingga kapasitas seismik bangunan-bangunan

tersebut dan asumsi kerusakan yang mungkin terjadi jika dibebani oleh gempa dapat diprediksi. Sampai saat ini belum ditetapkan suatu metoda atau panduan tata cara perhitungan kapasitas seismik gedung bertulang eksisting baik yang tanpa pengaruh dinding bata maupun dengan adanya pengaruh dinding bata. Dalam makalah ini dikembangkan sebuah metode untuk mengevaluasi kapasitas seismik gedung beton bertulang eksisting dengan mengaplikasikan model dinding bata dalam struktur rangka beton bertulang yang telah dikembangkan oleh penulis.

2. Metoda Evaluasi Kapasitas Seismik Gedung Tanpa Dinding Bata

Dikarenakan belum adanya standar nasional untuk evaluasi kapasitas seismik gedung beton bertulang eksisting maka evaluasi dilakukan dengan berdasarkan pada standar Jepang, *Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Building, 2001*, yang dipublikasikan oleh *The Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA, 2001)*. Dalam standar ini ada 3 (tiga) tipe prosedur skrining yaitu skrining level satu, level dua dan level tiga. Skrining level satu adalah metoda evaluasi yang paling sederhana sedangkan evaluasi skrining level dua dan tiga memerlukan data struktur yang lebih detail.

Dalam studi ini digunakan evaluasi skrining level dua untuk mengevaluasi kapasitas seismik struktur rangka gedung tanpa dinding, namun untuk dinding parsial, dinding yang tingginya hanya sebagian tinggi kolom, diperhitungkan untuk menentukan tinggi bersih kolom. Untuk struktur rangka dengan dinding bata penuh dihitung dengan mengaplikasikan model strut diagonal yang dijelaskan pada sub-bagian 3 dalam makalah ini. Kapasitas seismik gedung eksisting dinyatakan dalam bentuk hubungan antara rasio indeks kekuatan dan indeks daktilitas. Tahapan evaluasi kapasitas seismik bangunan eksisting ditunjukkan dalam bagan alir pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Bagan alir evaluasi kapasitas seismik bangunan beton bertulang eksisting

2.1 Data struktur gedung eksisting

Untuk perhitungan kapasitas seismik gedung beton bertulang diperlukan gambar detail dan data struktur gedung. Jika gambar dan data struktur tidak tersedia maka dilakukan inspeksi lapangan untuk mendapatkan ukuran elemen struktur, susunan dan dimensi tulangan dengan menggunakan ferro scan (*rebars scan*), dan data kuat tekan beton dari hasil *hammer test* atau *core drill*. Jika data material tulangan tidak bisa didapatkan dari uji maka nilai kuat leleh tulangan pokok (*main bar*) dan tulangan sengkang (*hoop*) diasumsikan berdasarkan Standar Jepang (JBDPA, 2001).

2.2 Indeks kekuatan kolom

Indeks kekuatan kumulatif gedung, C merupakan jumlah indeks kekuatan dari kolom-kolom pada daktilitas tertentu yang ditentukan dengan **Persamaan 1** (JBDPA, 2001).

$$C = \sum c_i + \alpha_j \sum c_j \quad (1)$$

$$c_i = \frac{Q_u}{W_b} \quad (2)$$

Dimana c_i adalah indeks kekuatan kolom yang memiliki indeks daktilitas yang sama yang dihitung dengan **Persamaan 2**, Q_u : $\text{Min} \{Q_{mu}, Q_{su}\}$, M_u : momen ultimit diberikan dalam **Persamaan 3**, Q_{mu} adalah gaya geser saat kuat lentur ultimit diberikan dalam **Persamaan 4**, Q_{su} adalah kuat geser ultimit dihitung dengan **Persamaan 5**, c_j adalah indeks kekuatan kelompok- j yaitu kelompok anggota vertikal memiliki indeks daktilitas yang lebih besar dari kelompok- i , α_j adalah faktor kekuatan efektif untuk group j (ditunjukkan dalam **Tabel 1**) yang dihitung berdasarkan pengaruh deformasi leleh kolom, W_b adalah berat bangunan yang diasumsikan sebesar 12 kN/m^2 setiap luas lantai (JBDPA, 2001).

Tabel 1. Faktor kekuatan efektif (α_j)

Jika Nilai F_1 untuk kelompok pertama = 0.8 ($R_1 = R_{500} = 1/500$)				
	F_1		$F_1 = 0.8$	
	R_1		$R_1 = R_{500}$	
Kelompok Kedua dan yang lebih tinggi	Geser ($R_{su} = R_{250}$)		α_s	
	Geser ($R_{su} < R_{250}$)		α_s	
	Lentur ($R_{my} = R_{250}$)		0.65	
	Lentur ($R_{250} < R_{my} < R_{150}$)		α_m	
	Lentur ($R_{my} = R_{150}$)		0.51	
	Dinding geser dan lentur		0.65	
Jika pada grup pertama nilai $F_1 \geq 1.0$ ($R_1 \geq R_{250} = 1/250$)				
	F_1	$F_1 = 1.0$	$1.0 < F_1 < 1.27$	$1.27 \leq F_1$
	R_1	R_{250}	$R_{250} < R_1 < R_{150}$	$R_{150} \leq R_1$
Kelompok Kedua dan yang lebih tinggi	Geser ($R_{su} = R_{250}$)	1.0	0.0	0
	Geser ($R_1 < R_{su}$)	α_s	α_s	0
	Lentur ($R_{my} < R_1$)	1.0	1.0	1.0
	Lentur ($R_1 < R_{my}$)	α_m	α_m	1.0
	Lentur ($R_{my} = R_{150}$)	0.72	α_m	1.0

Dimana: $\alpha_s = Q(F_1)/Q_{su} = \alpha_m Q_{mu}/Q_{su} \leq 1.0$

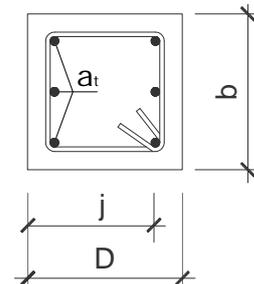
$\alpha_m = Q(F_1)/Q_{mu} = 0.3 + 0.7 \times R_1/R_{my}$

$$M_u = 0.8 a_t \sigma_y . D + 0.5 . N . D \left(1 - \frac{N}{b . D . f_c} \right) \quad (3)$$

$$Q_{mu} = \frac{2 M_u}{h_o} \quad (4)$$

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 P_t^{0.23} (18 + F_c)_t}{M / (Q . d) + 0.12} + 0.85 \sqrt{P_w \sigma_w} + 0.1 \sigma_o \right\} . b . j \quad (5)$$

Dimana a_t adalah luas tulangan tarik, σ_y adalah tegangan leleh tulangan longitudinal, b adalah lebar kolom, D adalah tebal kolom, N adalah gaya aksial kolom, F_c adalah kuat tekan beton, A adalah luas lantai yang didukung oleh masing-masing kolom, P_t adalah rasio tulangan tarik ($= a_t / (b . D) . 100\%$), P_w adalah rasio tulangan geser ($= A_v / (b . s) . 100\%$) dimana A_v adalah luas tulangan geser, apabila nilai P_w lebih besar dari 0.012, maka nilai P_w yang digunakan adalah 0.012. σ_w adalah tegangan leleh tulangan geser. σ_o adalah tegangan aksial dari kolom ($= N / (b . D)$), jika nilai σ_o bernilai lebih besar dari 8 N/mm^2 , maka nilai σ_o yang digunakan adalah 8 N/mm^2 , j adalah jarak antara center tulangan ke arah luar selimut beton ($= 0.8 D$). Ilustrasi penampang kolom dan notasi dalam perhitungan ditunjukkan dalam **Gambar 2**.



Gambar 2. Ilustrasi penampang kolom dan notasi

2.3 Indeks daktilitas kolom

Indeks daktilitas, F merupakan indeks untuk kemampuan deformabilitas struktur kolom yang dihitung sesuai dengan spesifikasi struktural berdasarkan kekakuan, kekuatan, dimensi, bentuk keruntuhan dan lain-lain (JBDPA, 2001). Berdasarkan bentuk keruntuhan kolom dibedakan atas kolom geser dan kolom lentur. Kolom geser yaitu kolom yang memiliki rasio kuat geser terhadap kuat lentur kurang dari satu ($Q_{su}/Q_{mu} < 1$), dan kolom lentur didefinisikan sebagai kolom yang memiliki rasio kuat geser dan kuat lentur besar dari satu ($Q_{su}/Q_{mu} > 1$). Besarnya indeks daktilitas untuk kolom geser diberikan dalam **Persamaan 6** dan untuk kolom lentur ditentukan dengan **Persamaan 7** untuk kasus $R_{mn} < R_y$ dan dengan **Persamaan 8** untuk kasus $R_{mn} \geq R_y$ (JBDPA, 2001).

$$F = 1 + 0.27 \frac{R_{su} - R_{250}}{R_y - R_{250}} \quad (6)$$

$$F = 1 + 0.27 \frac{R_{mu} - R_{250}}{R_y - R_{250}} \quad (7)$$

$$F = \sqrt{\frac{2 R_{mu} / R_y - 1}{0.75 (1 + 0.05 R_{mu} / R_y)}} \leq 3.2 \quad (8)$$

dimana:

R_{su} = Drift kolom saat gaya geser ultimit. R_{su} dapat dihitung dengan $(Q_{su} / Q_{mu} - 0.3) / 0.7x$. $R_{my} \geq R_{250}$ untuk $\alpha \cdot Q_{mu} < Q_{su}$

α . = Factor kekuatan efekti kolom, $\alpha = 0.3 + 0.7 (R_{250} / R_{my})$

$R_{su} = R_{250}$ untuk $\alpha \cdot Q_{mu} \geq Q_{su}$

$R_{my} = (h_o/H_o) \cdot cR_{my} \geq R_{250}$, dimana $h_o/H_o \leq 1.0$

$cR_{my} = cR_{150}$ untuk $h_o/D \geq 3.0$

$cR_{my} = cR_{250}$ untuk $h_o/D \leq 2.0$

cR_{my} = Nilai interpolasi dari $2.0 < h_o/D < 3.0$

R_y = Deformasi leleh yang secara prinsip dapat diambil $R_y = 1/150$

R_{mu} = Drift kolom saat kekuatan lentur ultimit (h_o/H_o). $cR_{mu} \geq R_{250}$

$cR_{mu} = cR_{my} + cR_{mp} \leq cR_{30}$

$cR_{mp} = 10 (Q_{su} / Q_{mu} - q) \cdot cR_{my} \geq 0$

$q = 1.0$ untuk $S \leq 100$ mm, s : jarak tulangan sengkang.

$q = 1,1$ untuk $S > 100$ mm

h_o = Tinggi bersih dari kolom

H_o = Tinggi kolom yang dibatasi dari balok kolom atas dan plat lantai

D = Tebal kolom

cR_{150} = Nilai standar sudut deformasi kolom (diukur dari tinggi bersih kolom) yang bernilai 1/150

cR_{250} = Nilai standar sudut deformasi kolom (diukur dari tinggi bersih kolom) yang bernilai 1/250

R_{250} = Nilai standar sudut saat terjadi deformasi tiap lantai

cR_{my} = Nilai sudut leleh (*Yield drift angle*) kolom.

Nilai cR_{mu} dan cR_{my} tidak harus tidak lebih besar cR_{max} yaitu nilai batas atas drift kolom lentur yang diambil sebagai nilai $\min\{cR_{max(n)}, cR_{max(s)}, cR_{max(t)}, cR_{max(b)}, cR_{max(h)}\}$, dapat ditentukan sebagai berikut:

a. $cR_{max(n)}$ adalah batas atas drift kolom lentur yang ditentukan oleh gaya aksial

$$cR_{max(n)} = R_{250} \text{ untuk } \eta > \eta_H$$

$$cR_{max(n)} = cR_{30} (cR_{250}) / (cR_{30}) \eta' \leq cR_{30} \text{ untuk lainnya}$$

Dimana : $\eta = (\eta - \eta_L) (\eta_H - \eta_L)$

$$\eta = N_s / (b \cdot D \cdot F_c)$$

$$\eta_L = 0,25 \text{ dan } \eta_H = 0,5 \text{ untuk } S \leq 100 \text{ mm}$$

$$\eta_L = 0,2 \text{ dan } \eta_H = 0,4 \text{ untuk } S > 100 \text{ mm}$$

b. $cR_{max(s)}$ adalah batas atas drift kolom lentur yang ditentukan oleh gaya geser

$cR_{max(s)} = cR_{250}$ untuk $c\tau_u / Fc > 0,2$ dimana $c\tau_u$ = tegangan geser kolom yang diambil nilai min $\{cQ_{mu} / (b \cdot j), cQ_{su} / (b \cdot j)\}$

$cR_{max(s)} = cR_{30}$ untuk yang lainnya.

c. $cR_{max(t)}$ adalah batas atas drift kolom lentur yang ditentukan berdasarkan rasio tulangan tarik.

$cR_{max(t)} = cR_{250}$ untuk $P_t > 1\%$

$cR_{max(t)} = cR_{30}$ untuk yang lainnya

d. $cR_{max(b)}$ adalah batas atas drift kolom lentur yang ditentukan berdasarkan jarak tulangan sengkang.

$cR_{max(b)} = cR_{50}$ untuk $S/d_b > 8$

$cR_{max(b)} = cR_{30}$ untuk kasus lainnya

e. $cR_{max(h)}$ adalah batas atas drift kolom lentur yang ditentukan berdasarkan tinggi bersih kolom

$cR_{max(h)} = cR_{250}$ untuk $h_o / D \leq 2$

$cR_{max(h)} = cR_{30}$ untuk lainnya

3. Struktur Rangka dengan Dinding Bata

3.1 Pemodelan dinding

Sebuah model dinding bata dalam struktur rangka dikembangkan untuk menganalisis kapasitas seismik struktur rangka dengan pengaruh dinding bata. Dalam model ini, keberadaan dinding bata dalam struktur rangka digantikan oleh strut diagonal ekuivalen yang mempunyai ketebalan dan material yang sama dengan panel dinding. Tegangan tekan disepanjang tinggi kontak antara dinding dan frame dianalisa sebagai blok segiempat ekuivalen seperti ditunjukkan dalam **Gambar 3(b)**, dimana rata-rata kuat tekan dinding, f_m' , didapatkan dengan mengalikan kuat tekan dinding, f_m dengan faktor reduksi, α . Gaya tekan diagonal, C_s' yang bekerja pada bagian bawah dan atas ujung kolom tekan (*compressive column*) dan kolom tarik (*tensile column*) seperti ditunjukkan dalam **Gambar 3(c)**. Sehingga total gaya diagonal, C_s seperti ditunjukkan dalam **Gambar 3(d)** diberikan dalam **Persamaan 9**.

Kemudian gaya C_s ditetapkan menjadi gaya horizontal dan vertical yang bekerja merata sepanjang kontak kolom-dinding sebagaimana ditunjukkan dalam **Gambar 3(e)**, masing-masing diberikan dengan **Persamaan 10** dan **11**.

$$C_s = W t f_m' \quad (9)$$

$$c_h = t f_m' \cos^2 \theta \quad (10)$$

$$c_v = t f_m' \sin \theta \cos \theta \quad (11)$$

Dengan mengasumsikan momen lentur ultimit terjadi di dasar kolom tekan, maka distribusi momen sepanjang kolom, ${}_cM(y)$, didapatkan dengan **Persamaan 12** dan **13**. Yang mana momen lentur ultimit dihitung dengan **Persamaan 14** dan **15** berdasarkan pada standar Jepang (JBDPA, 2001).

untuk $0 \leq y \leq h_s$

$${}_cM(y) = {}_{y=0}M_u - Q_u y + 1/2 C_h y^2 \quad (12)$$

untuk $h_s \leq y \leq L$

$${}_cM(y) = {}_{y=0}M_u - Q_u y + C_h h_s y - 1/2 C_h h_s^2 \quad (13)$$

dimana h_s adalah tinggi kontak antara dinding dan

kolom, L adalah tinggi bersih kolom seperti ditunjukkan dalam **Gambar 2(e)**, M_u adalah kekuatan lentur ultimit kolom dihitung dengan **Persamaan 3** dengan N adalah gaya aksial di dasar kolom yang merupakan gaya aksial berasal dari berat struktur atas, N_a , gaya aksial akibat gaya geser di balok, N_b , dan gaya aksial akibat gaya vertikal strut, $C_v h_s$, seperti ditunjukkan dalam **Gambar 4**. Gaya geser, Q_u adalah gaya geser ultimit di dasar kolom dengan adanya gaya strut dihitung dengan **Persamaan 16**.

Perpindahan lateral sepanjang tinggi kolom, ${}_c\delta(y)$, didapatkan dengan **Persamaan 14** dan **15** yang diturunkan berdasarkan metoda *double integration* dari **Persamaan 12** dan **13/EI**.

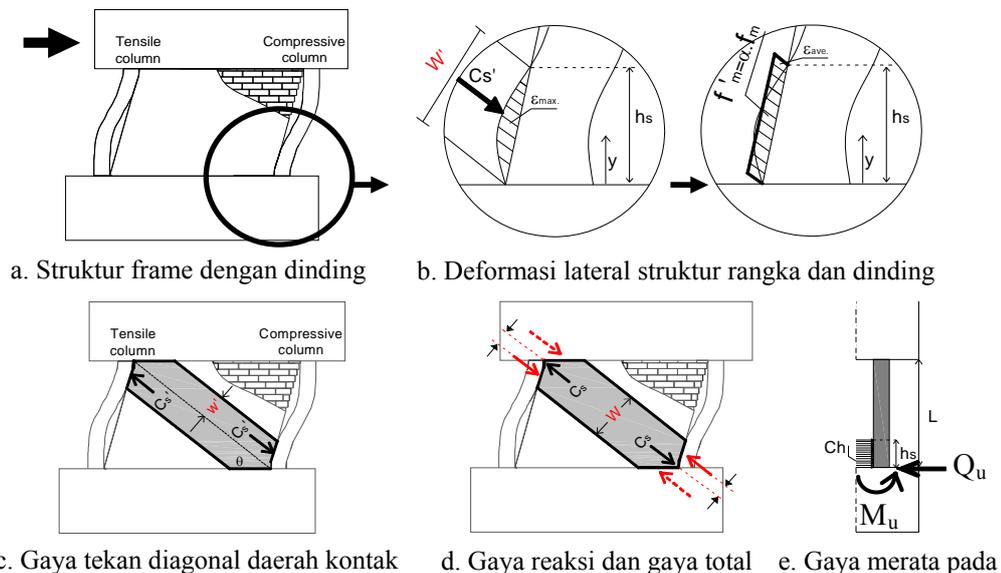
untuk $0 \leq y \leq h_s$

$${}_c\delta(y) = \frac{1}{EI} (1/24 C_h y^4 - 1/6 Q_u y^3 + 1/2 M_u y^2) \quad (14)$$

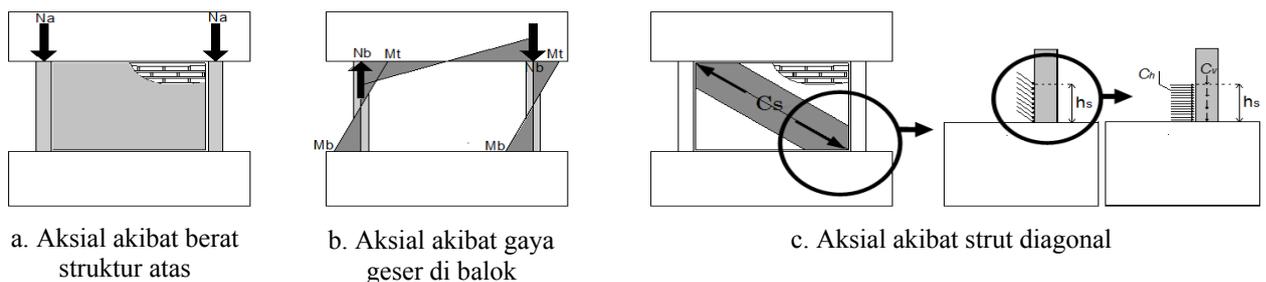
untuk $h_s \leq y \leq L$

$${}_c\delta(y) = \frac{1}{EI} \left((1/6 C_h h_s - 1/6 Q_u) y^3 + (1/2 M_u - 1/4 C_h h_s^2) y^2 + 1/6 C_h h_s^3 y - 1/24 C_h h_s^4 \right) \quad (15)$$

Yang mana EI adalah kekakuan lentur kolom.



Gambar 3. Model struktur rangka dengan dinding pengisi



Gambar 4. Gaya aksial pada kolom

Untuk **Persamaan 12 s.d 15**, Q_u diberikan dengan **Persamaan 16** dengan diasumsikan tidak ada terjadi rotasi di puncak kolom.

$$Q_u = \frac{2M_u}{L} + C_h h_s - \frac{C_h h_s^2}{L} + \frac{C_h h_s^3}{3L^2} \quad (16)$$

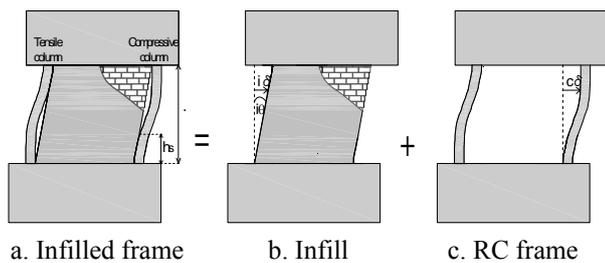
Sedangkan perpindahan lateral dinding, $\delta(y)$, dinyatakan dengan **Persamaan 17** dengan mengasumsikan regangan geser θ adalah seragam. Oleh karena itu, tinggi perpotongan antara perpindahan lateral kolom dan dinding dapat dievaluasi dengan **Persamaan 18** seperti ditunjukkan dalam **Gambar 5**.

$${}_i\delta(y) = {}_i\theta y = \frac{{}_e\delta(y=L)}{L} y \quad (17)$$

$${}_e\delta(y) = {}_i\delta(y) = \frac{{}_e\delta(y=L)}{L} y \quad (18)$$

Sebagai hasilnya, lebar strut diagonal, W , dinyatakan dalam fungsi tinggi kontak antara dinding dan kolom diberikan dalam **Persamaan 19**. Dimana nilai h_s adalah nilai kontak terkecil antara dinding-kolom tekan bawah dan dinding-kolom tarik atas.

$$W = 2h_s \cos \theta \quad (19)$$



Gambar 5. Perpindahan lateral struktur rangka dan dinding



a. Struktur rangka tanpa dinding



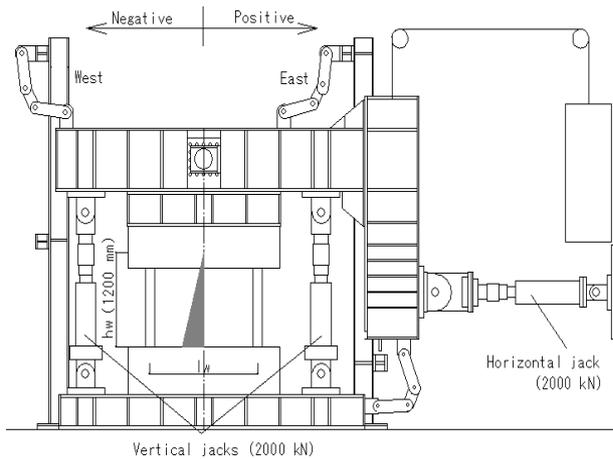
b. Struktur rangka dengan dinding bata

Gambar 6. Model benda uji

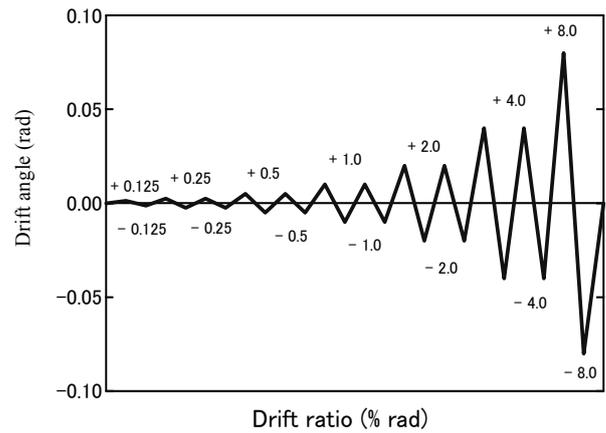
3.2 Pengujian struktur untuk verifikasi model dinding

Pemodelan dinding bata diverifikasi dengan hasil pengujian model struktur rangka beton bertulang tanpa dinding (*bare frame*) dan struktur rangka diisi dengan dinding bata (*infilled frame*) yang dilakukan oleh penulis (Maidiawati et al. 2011). Model struktur rangka dan dinding bata, seperti ditunjukkan dalam **Gambar 6** mewakili bentuk struktur bangunan Indonesia, diuji dengan beban siklik statik seperti ditunjukkan pada skema pengujian dalam **Gambar 7**. **Gambar 8** menunjukkan history pembebanan lateral yang diterapkan pada pengujian struktur.

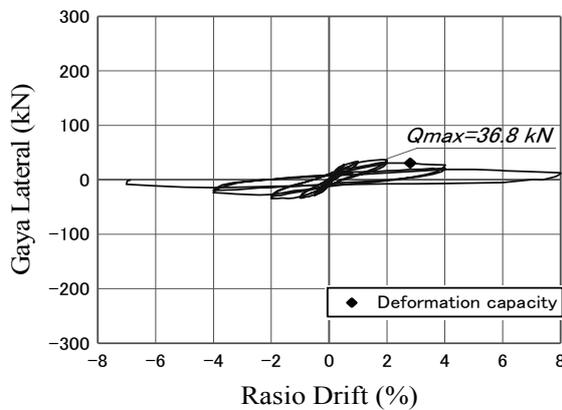
Hasil pengujian struktur dinyatakan dalam hubungan antara gaya lateral dan rasio drift seperti ditunjukkan **Gambar 9**. Hasil ini menunjukkan bahwa struktur rangka dengan dinding pengisi bata memiliki kekuatan dan kekakuan lateral yang lebih tinggi daripada struktur rangka tanpa dinding, namun memiliki daktilitas yang lebih kecil seperti ditunjukkan pada **Gambar 9**. Kapasitas deformasi struktur yang didefinisikan sebagai rasio drift pada saat gaya lateral turun menjadi 80% setelah gaya lateral maksimum didapatkan pada drift sebesar 2,8% untuk struktur rangka tanpa dinding dan 1,6% untuk struktur rangka dengan dinding. Hasil ini menunjukkan bahwa dinding bata dapat mengurangi kapasitas deformasi struktur rangka yang melingkupinya. Kekuatan lateral dinding bata ditunjukkan dalam **Gambar 10** yang didapatkan dengan mengurangi gaya lateral struktur rangka dengan dinding dengan gaya lateral struktur rangka tanpa dinding pada drift yang sama.



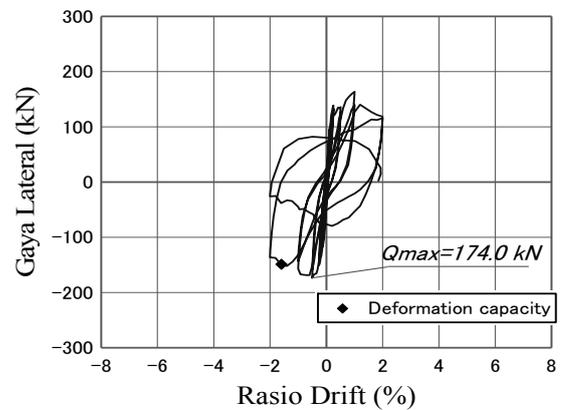
Gambar 7. Skema pengujian struktur



Gambar 8. History pembebanan lateral



a. Struktur rangka tanpa dinding



b. Struktur rangka dengan dinding

Gambar 9. Kapasitas seismik struktur rangka beton bertulang dengan dan tanpa dinding

3.3 Kekuatan lateral dinding dan verifikasi model

Kurva kapasitas seismik dinding bata disimulasikan dengan model bi-liner dengan titik leleh ($iV_y, i\delta_y$). Kuat leleh diestimasi dengan Persamaan 20 dan drift saat leleh didapatkan dengan Persamaan 21.

$$iV_y = C_s \cos \theta = W t f'_m \cos \theta \tag{20}$$

$$i\delta_y = \frac{iV_y}{iK_y} = \frac{iV_y}{E_m W t \cos^2 \theta / d} \tag{21}$$

dimana iK_y adalah kekakuan dinding, dan E_m adalah modulus elastisitas dinding.

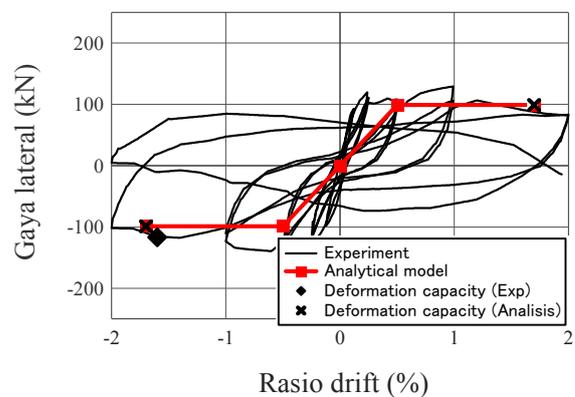
Benda uji struktur rangka dengan dinding bata dianalisis dengan model yang dijelaskan di atas dan sebagai hasilnya didapatkan tinggi kontak antara dinding dengan kolom, h_s , adalah 271.9 mm. Lebar strut didapatkan dengan Persamaan 19. Kekuatan lateral, V_m , dan kekakuan lateral, K , dinding didapatkan berdasarkan lebar strut diagonal yang masing-masing dengan Persamaan 22 dan 23.

$$V_m = C_s \cos \theta = W t f'_m \cos \theta \tag{22}$$

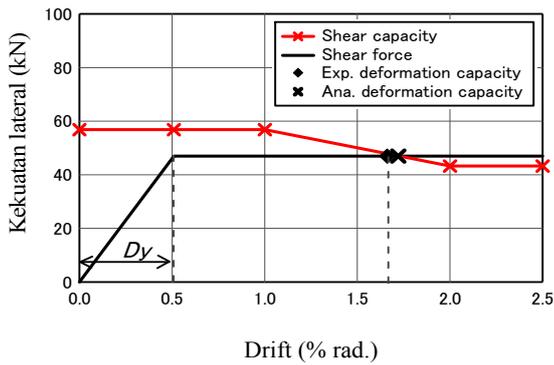
$$K = \frac{E_m W t}{d_m} \cos^2 \theta \tag{23}$$

Yang mana, d_m adalah panjang diagonal dinding.

Sebagai hasilnya, Gambar 10 menunjukkan perbandingan antara kekuatan lateral dinding bata hasil model dengan hasil eksperimen.



Gambar 10: Hubungan antara gaya lateral dan drift rasio dinding bata



Gambar 11. Kapasitas daktilitas kolom dengan adanya dinding bata

3.4 Kapasitas deformasi kolom

Kapasitas deformasi kolom dengan adanya pengaruh dinding dievaluasi dengan membandingkan antara gaya geser berdasarkan kapasitas lentur (*flexural capacity*) dan kapasitas geser (*shear capacity*) kolom. Kapasitas geser kolom disimulasikan sebagai kurva bi-linier dengan drift saat leleh didapatkan dengan **Persamaan 24** dan gaya geser maksimum kolom adalah nilai rata-rata gaya geser $cQ_{(y)}$ (= diferensial pertama dari **Persamaan 12 dan 13** kolom untuk jarak y dari bawah kolom sama dengan penampang efektif, D , dikarenakan kerusakan kolom terjadi pada bagian ini. Dengan berdasarkan pada kesamaan perpindahan lateral yang terjadi antara kolom dan dinding. Sedangkan kapasitas geser kolom dihitung dengan **Persamaan 25** (Priestley et al. 1994), dengan gaya aksial pada kolom, P dihitung dengan memperhitungkan pengaruh strut diagonal. Kapasitas deformasi kolom didefinisikan sebagai drift saat kapasitas lentur memotong kapasitas geser seperti ditunjukkan dalam **Gambar 11**. Nilai drift ini merupakan drift kolom dengan pengaruh dinding bata,

R_{su} , yaitu didapatkan drift sebesar 0.017 rad. dan hasil simulasi ini mendekati hasil pengujian struktur.

$$D_y = V_m / (K . L) \tag{24}$$

$$V_n = k \sqrt{F_c} (0.8 A_g) + \frac{A_v f_y D'}{s} \cot 30^\circ + \frac{D - c}{2a} P \tag{25}$$

dimana, k adalah penurunan kekuatan beton yaitu 0.29 MPa untuk drift sampai 0.01 dan 0.1 MPa untuk drift 0.02, A_g adalah luas penampang kolom, A_v adalah luas penampang tulangan sengkang, f_y adalah tegangan leleh tulangan sengkang, D' adalah jarak antara pusat ke pusat dalam satu tulangan sengkang, s adalah jarak tulangan sengkang sepanjang kolom, c adalah jarak sumbu netral, P adalah gaya aksial, a adalah panjang bentang geser.

4. Kapasitas Seismik Gedung Beton Bertulang Eksisting

Dalam penelitian ini dilakukan evaluasi kapasitas seismik gedung SD Negeri 15 Padang yang berlokasi di Jalan Juanda Padang Sumatra Barat. Gedung ini merupakan bangunan beton bertulang dua lantai seperti ditunjukkan dalam **Gambar 12** yang dibangun setelah gempa tahun 2009. Dinding bata digunakan sebagai dinding pengisi dalam struktur rangka seperti ditunjukkan dalam denah lantai 1 **Gambar 13**. Data geometri dan material struktur didapatkan dari inspeksi lapangan seperti ditunjukkan dalam **Gambar 14**. Bentuk penampang dan detail tulangan kolom lantai 1 (satu) ditunjukkan dalam **Tabel 1**. Kuat tekan beton untuk kolom K1, K2, K3 dan K4 berturut-turut adalah 29,0 MPa, 23,7 Mpa, 26,7 MPa, dan 32,3 MPa. Tegangan leleh tulanga utama dan tulangan sengkang masing-masing adalah 343,0 MPa dan 294,0 MPa. Kuat tekan dinding bata didapatkan sebesar 12 MPa.

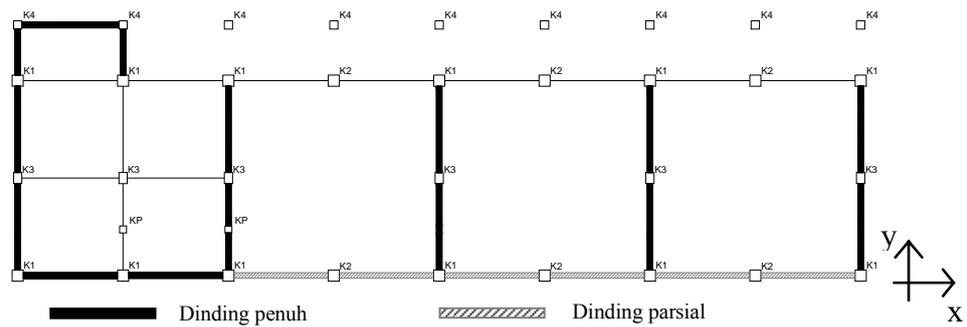


a. Tampak depan



b. Tampak samping

Gambar 12. Gedung SD Negeri 15 Padang



Gambar 13. Denah lantai satu dan tipe kolom gedung SD Negeri 15 Padang



a. Pengukuran struktur b. Scan tulangan c. Tes hammer

Gambar 14. Pengambilan data gedung SD Negeri 15 Padang

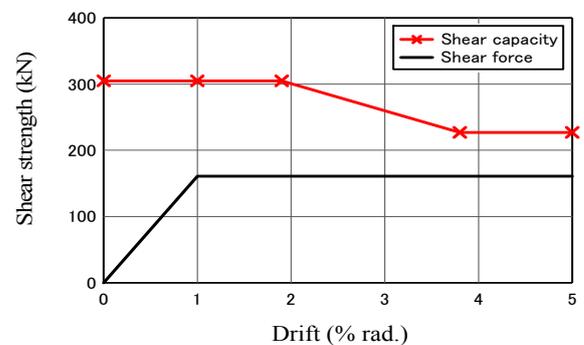
Tabel 1. Penampang kolom lantai 1

Simbol	K1	K2	K3	K4
Penampang dan dimensi				
Tulangan utama	8-D19	8-D19	8-D19	4-D19
Sengkang	D10-100	D10-100	D10-100	D10-100

Kapasitas seismik gedung SD Negeri 15 Padang dievaluasi hanya lantai satu dimana lantai yang memikul gaya geser paling besar. Perhitungan dilakukan dalam 2 (dua) arah, arah melintang (arah x) dan arah memanjang (arah y). Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kapasitas seismik gedung tanpa pengaruh dinding bata dan dengan memperhitungkan pengaruh dinding bata. Untuk kasus tanpa pengaruh dinding bata kapasitas geser kolom dihitung berdasarkan Standar Jepang seperti yang dijelaskan dalam sub-bagian 2. Sedangkan untuk mengevaluasi pengaruh dinding bata terhadap kapasitas geser kolom dengan mengaplikasikan model dinding yang dijelaskan di bagian 3. Dinding bata yang diperhitungkan dalam analisis ini hanya dinding penuh, sedangkan dinding yang tingginya sebagian tinggi kolom (dinding parsial) diperhitungkan hanya untuk menentukan tinggi bersih kolom. Untuk dinding dengan adanya lobang (bukaan) diabaikan dalam perhitungan dengan asumsi bahwa dinding tersebut tidak memberikan kontribusi yang signifikan pada kekuatan lateral struktur rangka (Choi et al, 2005). Untuk gedung SD Negeri 15 Padang, ukuran tinggi bersih kolom dan kolom dengan

dinding parsial sesuai dengan denah dalam **Gambar 13** masing-masing adalah 3,6 m dan 1,3 m.

Kapasitas deformasi kolom dievaluasi dengan cara yang dijelaskan dalam bagian 3.4, dan didapatkan semua kolom gedung SD Negeri 15 Padang memiliki tipe keruntuhan lentur (*flexural failure*) dimana gaya geser kolom lebih kecil daripada kapasitas geser kolom seperti ditunjukkan dalam **Gambar 15**.



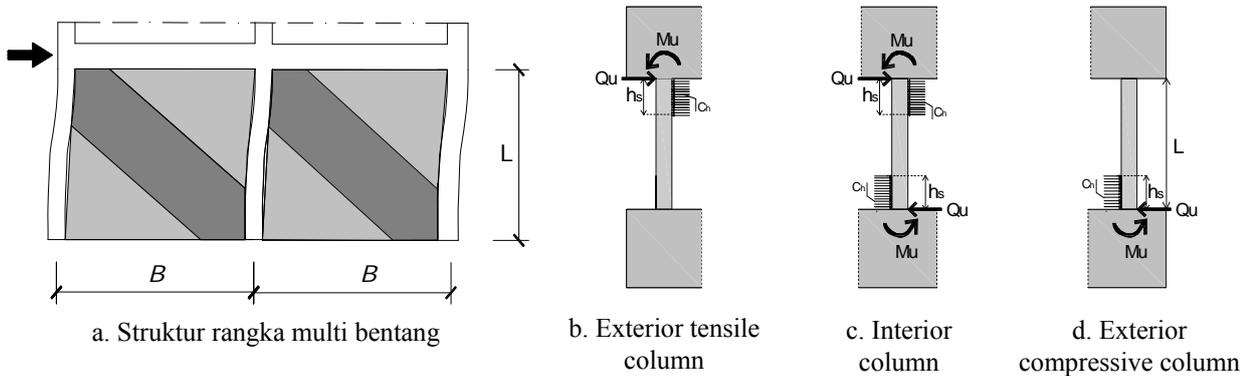
Gambar 15. Kapasitas daktilitas salah satu kolom gedung SD Negeri 15 Padang

Untuk struktur rangka dengan dinding bata multi bentang (*multi-span infilled frames*), kolom-kolom diklasifikasikan sebagai kolom luar tarik (*exterior tensile column*), kolom bagian dalam (*interior column*) dan kolom luar tekan (*exterior compressive column*) seperti ditunjukkan berturut-turut dalam **Gambar 16 (a), 16(b) dan 16 (c)**.

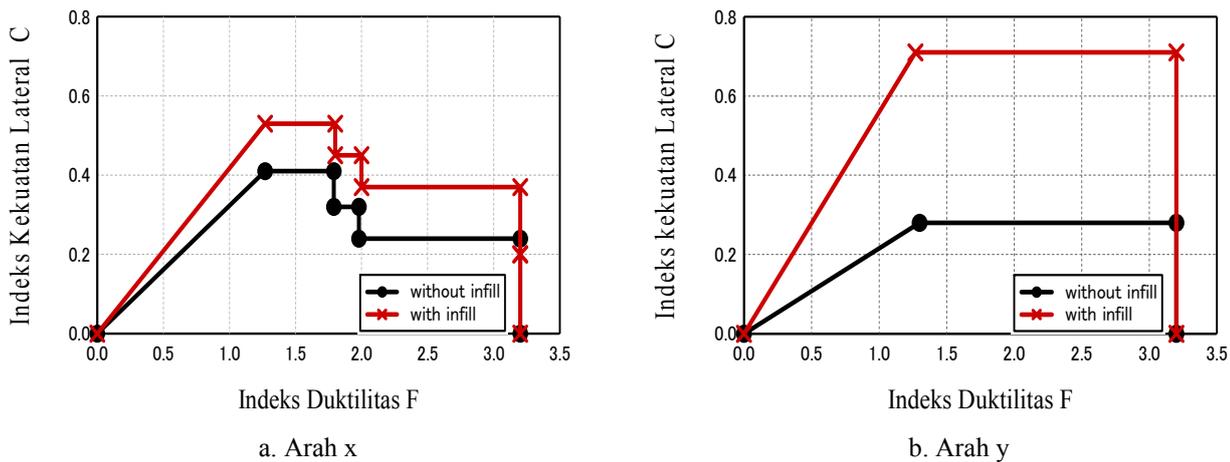
Khusus untuk *interior column*, distribusi gaya strut diaplikasikan secara antisimetrisal di bagian bawah dan atas kolom seperti ditunjukkan dalam **Gambar 16 (b)**. Oleh karena itu, gaya geser kolom interior ditentukan dengan **Persamaan 26** menggantikan **Persamaan 16** dimana h_s adalah panjang kontak terkecil antara *column* dan dinding pada kedua ujung strut.

$$Q_u = \frac{2_{y=0} M_u}{L} + c_h h_s - \frac{c_h h_s^2}{L} \quad (26)$$

Hasil analisis ditunjukkan dalam **Gambar 17** yang mendapatkan perbedaan signifikan pada indek kekuatan lateral gedung antara tanpa memperhitungkan pengaruh dinding bata dan dengan pengaruh dinding bata. Dalam **Gambar 17** pada arah x kekuatan lateral turun sebelum drift ultimit dikarenakan adanya beberapa kolom pendek, yaitu kolom dengan dinding parsial, yang runtuh terlebih dahulu. Kekuatan lateral gedung tanpa pengaruh dinding bata dalam arah y lebih kecil daripada kekuatan lateral dalam arah x , namun dengan adanya dinding bata kekuatan lateral gedung dalam arah y meningkat menjadi lebih besar daripada kekuatan lateral dalam arah x seperti ditunjukkan dalam **Gambar 17**. Hal ini dikarenakan jumlah dinding dalam arah y lebih besar daripada arah x dimana rasio luas dinding terhadap luas lantai dalam arah x dan y masing-masing adalah 0,6% dan 2,2%. Hasil ini menunjukkan bahwa dinding bata dalam struktur rangka berkontribusi dalam meningkatkan kapasitas seismik gedung beton bertulang secara signifikan.



Gambar 16. Struktur rangka dan dinding multi bentang



Gambar 17. Kapasitas seismik gedung SD Negeri 15 Padang

5. Kesimpulan

Evaluasi kapasitas seismik gedung SD Negeri 15 Padang dengan memperhitungkan pengaruh dinding bata dapat disimpulkan sebagai berikut,

1. Dinding bata sebagai pengisi dalam struktur rangka berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan dan kekakuan lateral gedung beton bertulang secara signifikan.
2. Pengaruh dinding bata terhadap kapasitas seismik gedung beton bertulang eksisting dapat dievaluasi dengan model strut diagonal ekuivalen. Kekuatan lateral dinding bata dinyatakan dalam fungsi lebar strut diagonal.
3. Dengan adanya dinding bata dalam struktur rangka maka gedung SD Negeri 15 Padang diasumsikan memiliki kapasitas seismik yang cukup dalam menahan beban gempa.

Daftar Pustaka

- Chaker A.A. dan Cherifati A., 1999, Influence of Masonry Infill Panels on The Vibration and Stiffness Characteristics of R/C Frame Buildings, *Earthquake Engineering Structure Dynamic*. Vol. 28. No. 9. pp. 1061-1065.
- Choi H., Nakano Y., dan Sanada Y., 2005, *Seismic Performance and Crack Pattern of Concrete Block Infilled Frame*, Bulletin of ERS, No. 38.
- Earthquake Engineering Research Institute, 2009, *Learning from Earthquakes The Mw 7.6 Western Sumatra Earthquake of September 30*, EERI Special Earthquake Report.
- Maidiawati and Sanada Y., 2008, Investigation and Analysis of Buildings Damaged During the September 2007 Sumatra, Indonesia Earthquake, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Vol. 7. No. 2. pp. 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*, Vol. 10 . No. 1. pp. 203-210.
- Maidiawati, Thandar Oo, dan Y., Sanada, 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, and Y Sanada, 2013, *Modeling of Brick Masonry Infill and Application to Analyses of Indonesian R/C Frame Buildings In: International Conference EASEC-13*, Sapporo, Japan.
- Priestley MJN, Verma R and Xiao Y, 1994, Seismic Shear Strength of Reinforced Concrete Columns, *Journal of Structural Engineering*. Vol. 120, No.8, pp. 2310-2329.
- The Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA), 2005, English Version, 1st, *Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001*.

