

EVALUASI KEKUATAN LATERAL DINDING BATA DALAM STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DENGAN STUDI EKSPERIMEN DAN MODEL NUMERIK

Januarahmad Erva¹, Maidiawati², Jafril Tanjung³

¹Mahasiswa Teknik Sipil/Institut Teknologi Padang

²Dosen Teknik Sipil/Institut Teknologi Padang

³Dosen Teknik Sipil/Universitas Andalas

aokz156@gmail.com

ABSTRAK

Makalah ini memuat hasil pengujian struktur dan analisis numerik untuk struktur rangka beton bertulang yang diisi dengan dinding bata terhadap beban lateral. Dalam penelitian ini diuji struktur rangka beton bertulang tanpa dinding bata dan dengan dinding bata yang merupakan model struktur dengan skala kecil dari struktur rangka yang umum pada gedung beton bertulang. Pengujian dilakukan secara *push over* dengan memberikan beban lateral secara monotonik. Hasil pengujian mendapatkan bahwa dinding bata memberikan kontribusi yang cukup signifikan terhadap kekuatan lateral struktur rangka secara keseluruhan. Hasil pengujian struktur dibandingkan dengan hasil analisis numerik dengan pemodelan dinding. Dalam pemodelan, dinding bata dianalisis dengan model strut diagonal ekuivalen dimana kekuatan lateral dinding bata dievaluasi berdasarkan lebar strut diagonal yang dinyatakan dalam fungsi tinggi kontak antara kolom dan dinding. Tinggi kontak antara kolom dan dinding dianalisis berdasarkan tegangan tekan yang terjadi pada daerah kontak antara dinding dan kolom. Sebagai hasilnya didapatkan kekuatan lateral dan daktilitas dinding bata hasil model yang cukup mendekati hasil eksperimen.

Kata kunci: *dinding bata, kekuatan lateral, model strut diagonal ekuivalen, struktur rangka beton bertulang.*

1. PENDAHULUAN

Dinding bata dalam struktur rangka beton bertulang sangat umum digunakan pada bangunan gedung di negara berkembang termasuk Indonesia dengan alasan kemudahan dalam teknik pengerjaan dan juga dikarenakan biaya yang murah. Dalam perencanaan gedung, keberadaan dinding bata biasanya diabaikan dalam perhitungan beban gempa dengan hanya menganggap dinding bata sebagai pratisi atau pengisi dalam struktur rangka. Dinding bata hanya diperhitungkan dalam menghitung berat sendiri struktur.

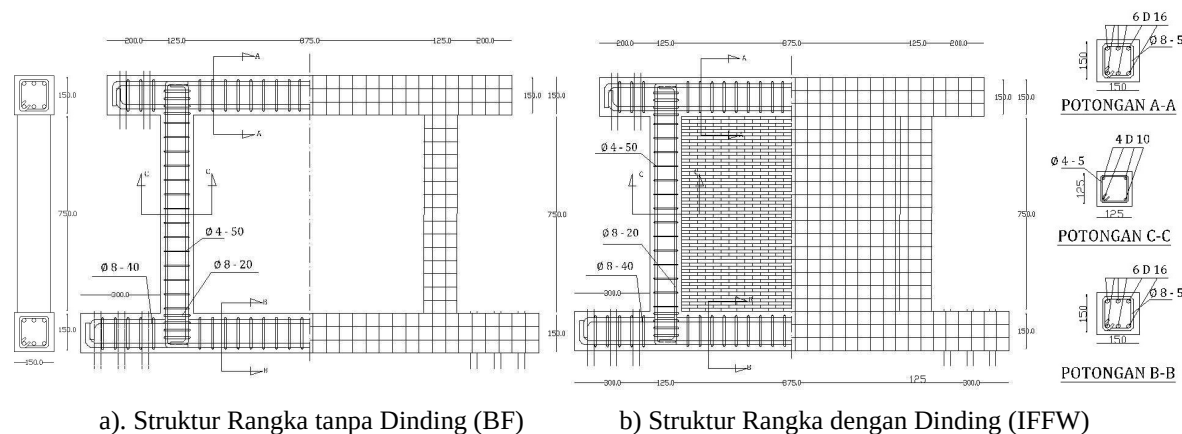
Berdasarkan pengalaman gempa yang terjadi di Indonesia mendapatkan bahwa beberapa gedung struktur rangka beton bertulang yang memiliki dinding bata sebagai pratisi menunjukkan performance yang lebih selama gempa dibandingkan dengan gedung yang tanpa/sedikit dinding bata dalam struktur rangkanya (Maidiawati et al, 2008). Beberapa peneliti sebelumnya telah mendapatkan bahwa dinding bata dalam struktur rangka dapat meningkatkan kekakuan lateral pada struktur rangka dan gedung beton bertulang (Chaker and Cherifati, 1999; Maidiawati, 2011.). Namun masih terdapat nilai kontribusi kekuatan dan daktilitas yang beragam dari hasil penelitian-penelitian tersebut terhadap struktur rangka beton bertulang. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian struktur dan analisis secara numerik terhadap struktur rangka beton bertulang dengan dinding bata. Pengujian dilakukan secara *push over* dengan memberikan beban lateral secara monotonik.

Hasil pengujian struktur dibandingkan dengan hasil simulasi pemodelan dinding. Dalam penelitian ini, dinding bata dalam struktur rangka dianalisis dengan metoda strut diagonal ekuivalen dikembangkan oleh Maidiawati et al (Maidiawati, 2013). Dalam model ini, kekuatan lateral dinding bata didapatkan berdasarkan lebar strut diagonal dan tinggi kontak antara kolom dan dinding yang dievaluasi berdasarkan tegangan tekan yang terjadi di daerah kontak tersebut.

2. STUDI EKSPERIMEN

Model struktur

Pengujian dilakukan pada 2 (dua) model struktur yaitu struktur rangka beton bertulang tanpa dinding (BF) dan struktur rangka dengan dinding bata (IFFW). Struktur rangka beton bertulang memiliki ukuran luas penampang balok 150x150 mm, tulangan utama dan tulangan sengkang balok adalah masing-masing 6D16 dan Ø8-5. Ukuran penampang kolom 125x125 mm dengan tulangan pokok dan sengkang masing-masing adalah 4D10 dan Ø4-5. Dinding terbuat dari bata dengan ukuran skala kecil sehingga tebal dinding menjadi 7 cm termasuk plester di kedua sisi dinding. Detail penampang struktur rangka dan tulangan ditunjukkan dalam Gambar 1.



a). Struktur Rangka tanpa Dinding (BF)

b). Struktur Rangka dengan Dinding (IFFW)

Gambar 1. Struktur Rangka Beton Bertulang Dengan dan Tanpa Dinding Bata

Material struktur

Data material yang digunakan dalam rangka beton bertulang didapatkan dari hasil pengujian pada setiap komponen material yang digunakan antara lain beton, baja tulangan, dinding bata. Mutu material beton didapatkan melalui uji kuat tekan sample silinder beton berumur 28 hari, kuat tekan dinding melalui uji tekan masonry prism dan uji tarik untuk mutu tulangan. Pengujian material dilakukan dengan menggunakan mesin Universal Testing Machine (UTM) di Laboratorium Material dan Struktur Teknik Sipil Universitas Andalas Padang, sedangkan untuk pengujian kuat tarik baja dilakukan di Labor Teknik Mesin Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Padang. Kedua model struktur memiliki material properties yang sama yang ditunjukkan dalam Tabel 1. Nilai Modulus elastisitas beton, E_c didapatkan dengan $E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$ berdasarkan SNI. 03 2847 2002 dan modulus elastisitas dinding bata didapat dengan asumsi $E_m = k f'_m$ dimana nilai k berkisar antara 500 ~ 600 (Drydale et al, 1993).

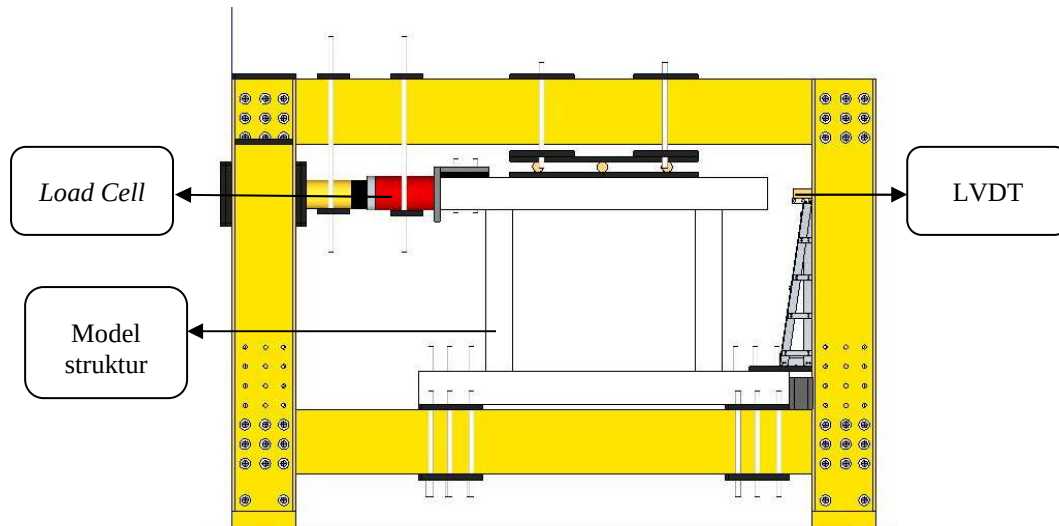
Tabel 1. Data Material

Beton		Tulangan			Dinding Bata	
f'_c (N/mm ²)	E (N/mm ²)	f_y (N/mm ²) D10	f_y (N/mm ²) Ø4	E_s (N/mm ²)	f'_m (N/mm ²)	E_m (N/mm ²)
19.82	20914	390	240	200000	4.6	1518

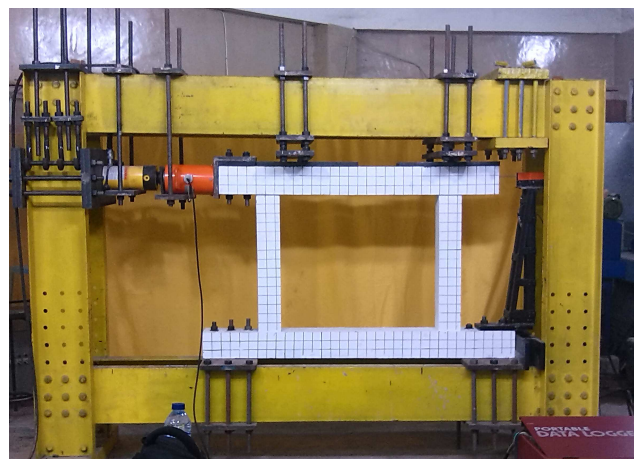
Metode pengujian

Model struktur ditempatkan pada frame pengujian dengan memberikan aktuator pengujian berupa *load cell* untuk memberikan beban lateral di balok atas struktur rangka disambungkan dengan *data logger* menggunakan kabel untuk pembacaan beban saat pengujian. LVDT dipasang pada ujung sisi balok atas yang berlawanan dengan sisi pemberian beban pengukuran *displacement* lateral saat pengujian. Ilustrasi setup pengujian lateral monolitik ditunjukkan dalam Gambar 2.

Beban lateral diberikan secara monotonik pada ke dua model struktur rangka dengan menggunakan *hydraulic jack* yang diberikan secara bertahap melalui *load cell* dengan mengontrol perpindahan lateral yang diukur dengan LVDT. Lebar retak pada struktur yang terjadi akibat pembebanan diukur dan digambarkan dalam sketsa. Beban akan terus ditingkatkan sampai perpindahan lateral maksimum namun pembebanan akan dihentikan jika struktur tidak sanggup lagi menahan beban. Gambar 3 menunjukkan struktur rangka beton bertulang tanpa dinding setelah diset pada frame pengujian.



Gambar 2. Skematik Bentuk Pengujian



Gambar 3. Test Set up Pengujian

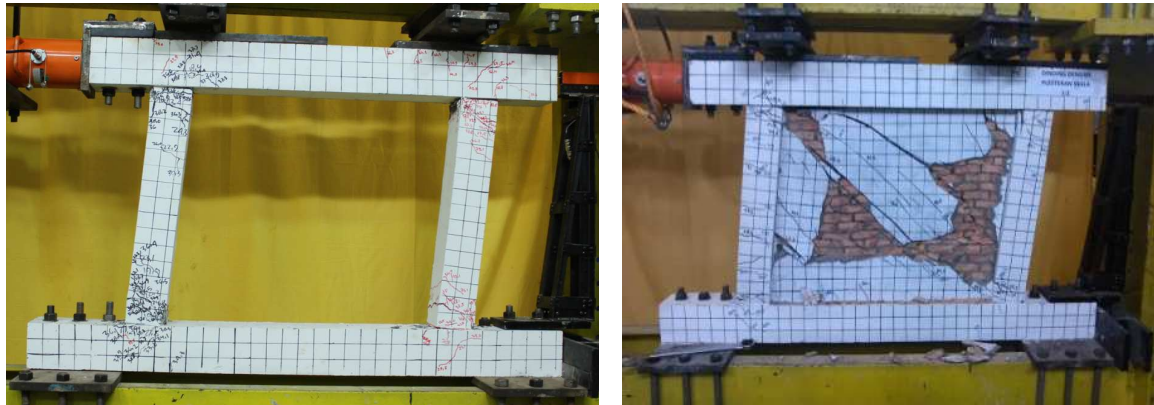
Hasil pengujian

Retak dan keruntuhan struktur rangka tanpa dinding

Pada struktur rangka tanpa dinding bata kerusakan pertama kali terjadi pada kolom kiri bawah dengan beban sebesar 10,7 kN, kemudian kerusakan terjadi pada kolom sebelah kanan bagian bawah dengan beban sebesar 12,5 kN. Seterusnya beban ditambah secara konstan hingga pada saat beban 35,8 kN terjadi retak pada kolom sebelah kiri dan kemudian diikuti keretakan yang lainnya pada kolom dan balok terutama pada bagian *joint* antara balok dan kolom. Struktur BF mencapai kapasitas lateral maksimum sebesar 39,8 kN dan selanjutnya kekuatan lateral kolom menurun seperti ditunjukkan dalam Gambar 5(a). Pola retak dan bentuk keruntuhan struktur rangka tanpa dinding bata ditunjukkan dalam Gambar 4(a).

Retak dan keruntuhan struktur rangka dengan dinding bata

Retak pertama pada struktur IFFW terjadi pada kolom kiri bagian atas saat beban 29,4 kN dan dilanjutkan retak-retak pada bagian ini saat beban ditingkatkan menjadi 30 kN. Retak pada kolom kanan bagian bawah terjadi saat beban 32 kN. Retak geser pertama pada dinding terjadi di bagian kiri bawah saat beban 46,6 kN. Selanjutnya retak pada dinding bagian kanan atas terjadi saat beban 56,6 kN. Retak lentur pada kolom muncul dan retak pada dinding terus berkembang dengan meningkatnya beban lateral pada struktur. Retak diagonal di tengah panel dinding muncul saat beban 58,8 kN. Pada saat beban 98,7 kN, plester pada dinding mulai terkelupas dan terus membesar sehingga hampir sebagian luas permukaan dinding seperti ditunjukkan dalam Gambar 4(b). Retak diagonal ini terus memanjang dan membesar pada saat beban sebesar 101,1 kN. Pada saat beban maksimum yaitu sebesar 101,5 kN dinding mengalami keruntuhan yang ditandai dengan retak diagonal makin melebar (Gambar 4b) dan kemampuan struktur menahan beban lateral menurun seperti ditunjukkan dalam Gambar 5(b).



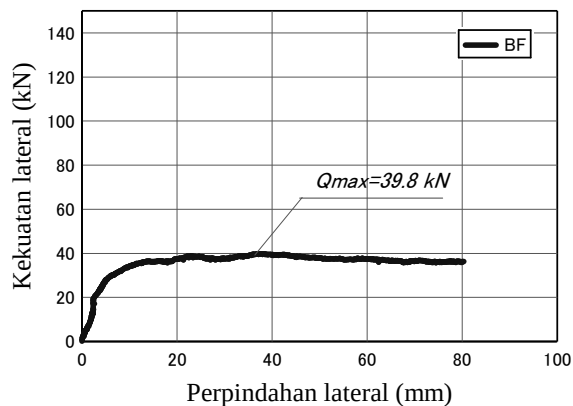
a). Struktur Rangka tanpa Dinding (BF)

b) Struktur Rangka dengan Dinding (IFFW)

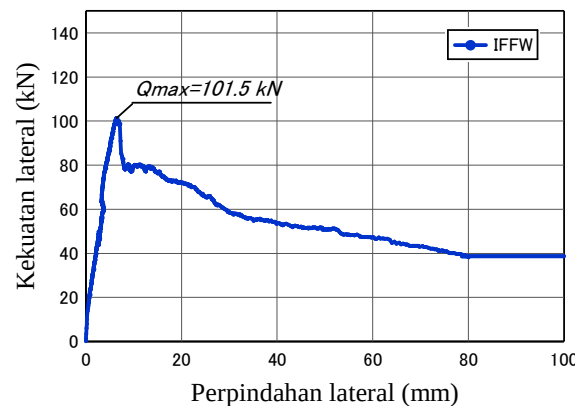
Gambar 4. Pola Retak dan Keruntuhan Struktur Rangka Tanpa dan Dengan Dinding Bata

Hubungan kekuatan dan displacement lateral

Kapasitas seismik struktur rangka tanpa dinding dan dengan dinding dinyatakan dalam hubungan kekuatan lateral dan perpindahan lateral seperti ditunjukkan dalam Gambar 5. Dari Gambar 5 diketahui bahwa struktur rangka beton bertulang dengan dinding bata memiliki kekuatan lateral hampir dua setengah kali lebih besar dari pada struktur rangka tanpa dinding. Namun daktilitas struktur rangka dengan dinding bata turun sebesar 75% dari daktilitas struktur rangka tanpa dinding. Hal ini ditunjukkan dengan perpindahan lateral pada kekuatan lateral maksimum struktur rangka dengan dinding jauh lebih kecil dibandingkan dengan struktur rangka tanpa dinding.



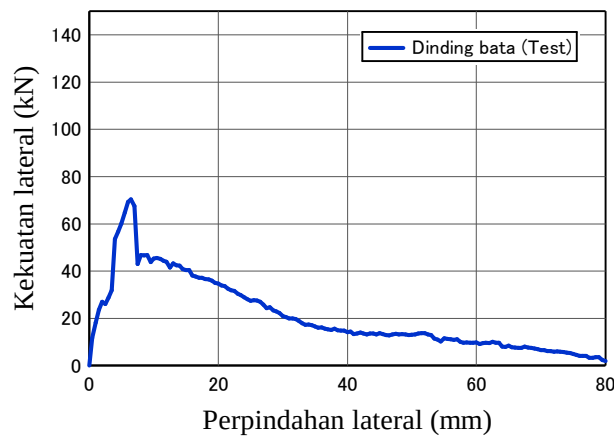
(a) Struktur Rangka tanpa Dinding (BF)



(b) Struktur Rangka dengan Dinding Bata (IFFW)

Gambar 5. Hubungan Kekuatan Lateral dan Perpindahan Lateral Struktur

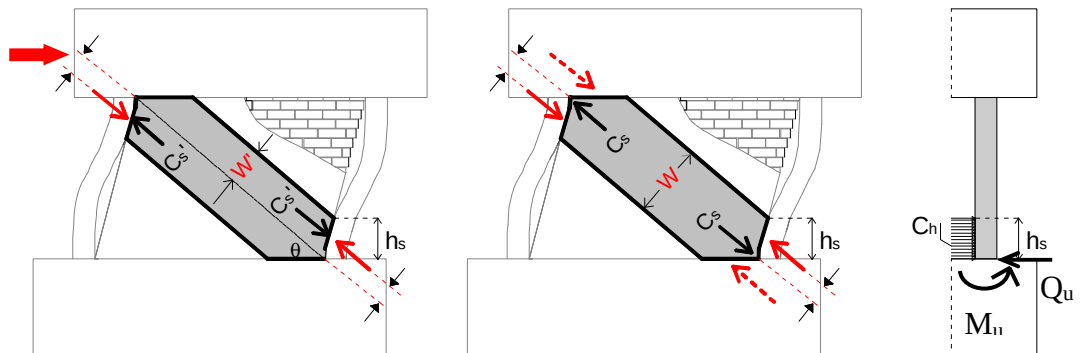
Kekuatan lateral dinding secara eksperimen dapat evaluasi dengan mengekstrak kekuatan lateral struktur rangka dengan dinding terhadap kekuatan lateral struktur rangka tanpa dinding pada saat perpindahan lateral yang sama. Sebagai hasilnya, kekuatan lateral dinding bata ditunjukkan dalam Gambar 6. Hasil ini menjelaskan bahwa dinding bata mempunyai kekuatan lateral yang cukup besar sehingga dinding bata dalam struktur rangka berkontribusi dalam menahan beban gempa.



Gambar 6. Hubungan Kekuatan Lateral dan Perpindahan Dinding Bata

3. PEMODELAN DINDING BATA

Kapasitas seismik dinding bata secara numerik dievaluasi dengan menggunakan metode strut diagonal ekuivalen (*diagonal strut equivalent*) yang dikembangkan oleh Maidiawati *et al.* (Maidiawati, 2013). 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 dimana rata-rata kuat tekan dinding, f_m' , didapatkan dengan mengalikan kuat tekan dinding, f_m dengan faktor reduksi, α . Gaya tekan diagonal pada dinding bata, C_s dianalisis berdasarkan lebar strut, W yang didapatkan berdasarkan tinggi kontak yang terjadi antara dinding dan kolom, h_s saat pembebanan lateral seperti ditunjukkan dalam Gambar 7(a). Besarnya gaya C_s diberikan dalam persamaan (1) Gaya tekan terdistribusi secara merata sepanjang tinggi kontak dinding-kolom yang ditetapkan menjadi gaya distribusi horizontal, C_h dan gaya vertikal, C_v seperti ditunjukkan dalam Gambar 7(b) dan ditentukan masing-masing dengan persamaan (2) dan (3).



(a) Strut Diagonal pada Dinding (b) Gaya Strut pada Kolom

Gambar 7. Model Strut Diagonal Dinding

$$C_s = W t f_m' \quad (1)$$

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

$$C_v = t f_m' \sin \theta \cos \theta \quad (3)$$

dengan:

t : tebal dinding (mm)

f_m' : kuat tekan dinding masonry (N/mm²)

θ : Sudut kemiringan strut dinding seperti ditunjukkan dalam Gambar 7(a)

Berdasarkan pada Gambar 7(b), gaya distribusi momen yang terjadi setinggi kolom $cM(y)$, didapat dengan rumus (4) dan (5).

Untuk $0 \leq y \leq h_s$

$$cM(y) = {}_{y=0}M_u - Q_u y + \frac{1}{2} c_h y^2 \quad (4a)$$

Jika $h_s \leq y \leq H$

$$cM(y) = {}_{y=0}M_u - Q_u y + c_h h_s y - \frac{1}{2} c_h h_s^2 \quad (4b)$$

$$M_u = 0.8 a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5 N \cdot D \cdot \left(1 - \frac{N}{b \cdot D \cdot F_c} \right) \quad (5)$$

dengan :

M_u : momen ultimit (N/mm²)

Q_u : gaya geser ultimate kolom (N/mm²)

h_s : tinggi kontak (mm)

y : tinggi kolom setinggi yang ditinjau (mm)

H : tinggi kolom (mm)

a_t : luas tulangan tarik pada kolom (mm²)

σ_y : tegangan leleh tulangan (N/mm²)

D : panjang penampang kolom (mm)

N : gaya axial (N/mm²)

b : lebar penampang kolom (mm)

Untuk menentukan perpindahan lateral yang terjadi setinggi kolom $c\delta(y)$ dengan mengintegalkan dua kali persamaan (4)/EI maka didapatkan persamaan (6).

Untuk $0 \leq y \leq h_s$

$$c\delta(y) = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{24} c_h y^4 - \frac{1}{6} Q_u y^3 + \frac{1}{2} {}_{y=0}M_u y^2 \right) \quad (6a)$$

Jika $h_s \leq y \leq H$

$$c\delta(y) = \frac{1}{EI} \left(\left(\frac{1}{6} c_h h_s - \frac{1}{6} Q_u \right) y^3 + \left(\frac{1}{2} {}_{y=0}M_u - \frac{1}{4} c_h h_s^2 \right) y^2 + \frac{1}{6} c_h h_s^3 y - \frac{1}{24} c_h h_s^4 \right) \quad (6b)$$

dengan :

$c\delta$: perpindahan kolom (mm)

E : modulus elastisitas beton (N/mm²)

I : inersia kolom (mm⁴)

Dengan asumsi putaran sudut setinggi kolom adalah 0, maka besarnya gaya lateral didasar kolom didapat dengan persamaan (7).

dengan :

$$Q_u = \frac{2 {}_{y=0}M_u}{H} + c_h h_s - \frac{c_h h_s^2}{H} + \frac{c_h h_s^3}{3H^2} \quad (7)$$

Perpindahan lateral kolom di puncak, $c\delta_{y=h}$ sama dengan perindahan dinding $i\delta_{y=h}$, maka besarnya perpindahan dinding sepanjang tingginya dinyatakan dengan persamaan (8).

$$i\delta(y) = \frac{c\delta(y=H)}{H} y \quad (8)$$

Titik potong pertemuan antara perindahan lateral kolom dan perindahan lateral dinding ditentukan dengan persamaan (9), nilai ini dapat terpenuhi dengan dilakukan iterasi dengan metode newton-rhapson.

$$c\delta(y_i) = i\delta(y_i) \quad (9)$$

Tinggi kontak (h_s) antara dinding dan kolom (Gambar 7a) ditentukan dengan mengasumsikan suatu nilai awal h_s terlebih dahulu (misalkan $h_s=H/2$), kemudian hitung titik potong perpindahan lateral kolom dan dinding, y_i dihitung dengan cara dijelaskan di atas. Jika terpenuhi kondisi $y_i = h_s$, maka h_s adalah tinggi kontak dinding-kolom, namun jika $y_i \neq h_s$ maka lakukan iterasi dengan mengurangi nilai h_s sampai terpenuhi $y_i = h_s$. Lebar strut dinding dinyatakan dalam fungsi nilai h_s yang diberikan dalam persamaan (10)

$$W = 2h_s \cos \theta \quad (10)$$

Kekakuan dinding, iK_y yaitu nilai kekakuan pada saat *yield* ditentukan dengan pada persamaan (11) dan perpindahan dinding saat *yield* ditentukan dengan persamaan (12).

$$iK_y = E_m \cdot W \cdot t \frac{\cos^2 \theta}{d} \quad (11)$$

$$i\delta_y = \frac{C_s \cdot \cos \theta}{i k_y} \quad (12)$$

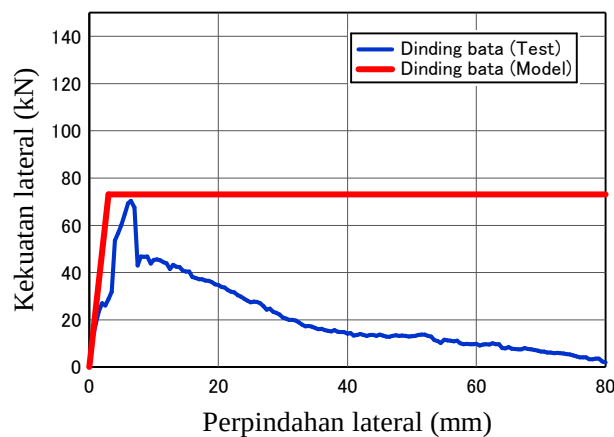
dengan :

d : panjang diagonal dinding (mm)

Kapasitas seismik dinding bata hasil

Berdasarkan model yang dijelaskan di atas, untuk struktur rangka dengan dinding bata dalam penelitian ini didapatkan tinggi kontak antara dinding dan kolom untuk struktur rangka dengan dinding bata didapat $h_s=298 \text{ mm}$, maka lebar strut diagonal dinding $W = 452,5 \text{ mm}$, gaya tekan diagonal pada dinding $C_s=96,2 \text{ kN}$ dan kekuatan lateral ultimate dinding bata dapat ditentukan sebagai $Q_u = C_s \cos \theta$. Sebagai hasilnya kapasitas seismik dinding bata dinyatakan dalam bentuk bilinear seperti ditunjukkan dalam Gambar 9.

Dalam Gambar 9 menunjukkan nilai kekuatan lateral ultimate dinding hasil simulasi dengan model strut cukup dekat antara hasil pengujian struktur. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan dan perpindahan lateral dinding dapat dianalisis secara numerik dengan model strut diagonal.



Gambar 9. Perbandingan Kapasitas Seismik Dinding Bata Hasil Eksperimen dan Analisis Pemodelan.

4. KESIMPULAN

Evaluasi kekuatan lateral dinding bata dalam struktur rangka beton bertulang dilakukan dengan cara pengujian model struktur dilaboratoirum dengan beban satu arah (monotonik) dan dengan analisis numerik berdasarkan model strut diagonal ekivalen yang menyimpulkan sebagai berikut:

- Pengujian dilakukan pada model struktur rangka tanpa dinding bata dan struktur rangka dengan dinding bata, yang mendapatkan kekuatan lateral struktur rangka dengan dinding bata dua setengah kali lebih tinggi dari struktur rangka tanpa dinding.

- b. Kekuatan lateral dinding bata dievaluasi hasil pengujian struktur didapatkan dinding bata mempunyai kekuatan lateral yang cukup besar sehingga diasumsikan dinding bata dalam struktur rangka berkontribusi dalam menahan beban gempa
- c. Nilai kekuatan lateral ultimate dinding bata hasil simulasi dengan model strut diagonal cukup dekat antara hasil pengujian struktur. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan dan perpindahan lateral dinding dapat dianalisis secara numerik dengan model strut diagonal.

DAFTAR PUSTAKA

- Chaker AA, Cherifati A. (1999). Influence of masonry infill panels on the vibration and stiffness characteristics of R/C frame buildings. *Earthquake Engineering Struct. Dyn.* Vol. 28. No. 9. pp. 1061-1065
- Drysdale, R. G., Hamid, A. A., and Baker, R. L. (1993). *Masonry structures: behavior and design*, prentice hall Inc., Upper Saddle River, NJ.
- Maidiawati and Yasushi SANADA. (2008). Investigation and analysis of buildings damaged during the september 2007 Sumatra, Indonesia Earthquakes. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Vol. 7 (2), 371-378.
- Maidiawati, Sanada Y, Konishi D, and Tanjung J., (2011). Seismic performance of nonstructural brick walls used in Indonesian R/C buildings. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Vol. 10 (1), 203-210.
- Maidiawati, and Y Sanada. (2013). Modeling of brick masonry infill and application to analyses of Indonesian R/C frame buildings In: *Prociding of International Conference EASEC-13*, Sapporo, Japan
- SNI 03 – 2847 – 2002. Tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung, .