

EFEK DINDING BATA PENGISI TERHADAP KINERJA SEISMIK RUMAH SEDERHANA

David Immanuel S¹, Jonathan Susanto², Pamuda Pudjisuryadi³, and Benjamin Lumantarna⁴

ABSTRAK: Pada dunia konstruksi, seringkali dinding bata pengisi hanya dianggap sebagai beban, namun pada kenyataannya memiliki kekakuan dan kekuatan yang dapat menahan beban lateral. Sebagai komponen struktur, dinding bata pengisi mempunyai kekuatan pada bidangnya atau *in-plane* (IP) maupun tegak lurus bidangnya atau *out-of-plane* (OOP). Dalam analisis *nonlinear time history*, tantangan yang dihadapi adalah membuang dinding bata yang mengalami kerusakan. Pada penelitian ini, difokuskan untuk meneliti permodelan dinding pada fase pasca elastis dengan menggunakan fitur *element removal* yang diimplementasikan pada program OpenSees. Penelitian dilakukan pada struktur rumah sederhana dengan beban gempa yang dianalisis menggunakan *time history nonlinear direct integration*. Perbandingan antara struktur tanpa dinding atau *bare frame* dan struktur dengan dinding bata pengisi atau *infill frame*, dilakukan untuk mengetahui pengaruh dinding bata pengisi terhadap kinerja seismik struktur rumah sederhana. Kedua struktur bangunan diberi beban gempa, dua arah (sejajar dan tegak lurus dinding). Hasil dari penelitian ini, momen yang terjadi pada balok dan kolom struktur *infill frame*, cenderung lebih kecil dibandingkan struktur *bare frame*. Selisih momen maksimum antara kedua struktur, yang terjadi pada setiap balok dan kolom saat dinding belum hancur, rata-rata 24.5%. Hal ini menyebabkan balok dan kolom struktur *infill frame* memiliki waktu gagal yang lebih lama dibandingkan struktur *bare frame*.

KATA KUNCI: dinding bata pengisi, fase pasca elastis, *element removal*

1. PENDAHULUAN

Pada saat melakukan perhitungan untuk mendesain bangunan, peran dinding bata pengisi tidak diperhitungkan dan hanya dianggap sebagai beban. Meskipun pada umumnya dianggap tidak memiliki kontribusi dalam menahan beban gravitasi, dinding bata pengisi memiliki kekakuan dan kekuatan yang dapat membantu struktur bangunan untuk menahan beban lateral seperti gaya gempa.

Kadysiewski dan Mosalam (2009) telah melakukan penelitian mengenai interaksi perilaku *in-plane* (IP) dan *out-of-plane* (OOP) pada pemodelan dinding bata. Pemodelan dilakukan menggunakan program OpenSees, dimana dinding bata dimodelkan sebagai strat diagonal. Setiap strat diagonal tersebut dimodelkan menggunakan *fiber element*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Kadysiewski dan Mosalam (2009) pemodelan dinding bata pada saat elastis berhasil dilakukan, termasuk interaksi IP dan OOP. Namun, penelitian tersebut belum berhasil memodelkan interaksi IP dan OOP pada tahapan *post-elastic* dikarenakan perhitungan pada OpenSees selalu berhenti ketika struktur dinding tersebut mengalami kerusakan. Kadysiewski dan Mosalam (2009) menyarankan untuk melanjutkan penelitian hingga tahapan *post-elastic* dengan menggunakan fitur *element removal*.

Canserin dan Prasetyo (2018) melakukan penelitian mengenai efek pondasi *friction based* terhadap kinerja seismik rumah sederhana dengan dinding bata pengisi. Pemodelan dan perhitungan analisa struktur pada penelitian tersebut menggunakan program SAP2000 v19.0.0. Kekakuan dan kekuatan dinding bata dimodelkan melalui elemen strat diagonal, kemudian ditinjau terhadap gaya IP dan OOP.

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, davidimmanuel santoso999@gmail.com

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, susantojonathan11@gmail.com

³Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, pamuda@petra.ac.id

⁴Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra bluman@petra.ac.id

Namun, masih terdapat beberapa kendala dalam penelitian yang dilakukan Canserin and Prasetyo (2018), salah satunya adalah analisa bangunan tidak sampai selesai. Dalam melakukan analisisnya, Canserin dan Prasetyo (2018) tidak menggunakan fitur *element removal* dikarenakan SAP2000 v19.0.0 tidak memiliki fitur tersebut. Sehingga ketika terdapat dinding yang rusak, dinding tersebut tetap ikut dianalisa. Hal ini mengakibatkan ketidakstabilan numerik sehingga analisa bangunan tidak sampai selesai. Oleh karena itu, Canserin dan Prasetyo (2018) menyarankan untuk mengaplikasikan *element removal* pada perhitungan analisa struktur.

Pangestu dan Polles (2019) telah melakukan penelitian mengenai efek *element removal* terhadap kinerja seismik rumah sederhana dengan dinding pengisi. Penelitian ini bertujuan untuk melanjutkan penelitian yang telah dilakukan oleh Canserin dan Prasetyo (2018), yaitu mengaplikasikan fitur *element removal* pada pemodelan struktur bangunan secara manual menggunakan program SAP2000 v20.0.0. Pada penelitian ini, Pangestu dan Polles (2019) masih belum dapat memodelkan *element removal* dengan benar dikarenakan SAP2000 v20.0.0 tidak menyediakan fitur *element removal*. *Element removal* yang dilakukan pada penelitian ini masih kurang tepat, dimana setelah dinding yang rusak dihilangkan, struktur lainnya kembali baru lagi (belum mengalami kerusakan) karena gaya-gaya dalam pada analisa sebelumnya tidak dapat dilanjutkan. Sehingga Pangestu dan Polles (2019) menyarankan untuk menggunakan program lain yang menyediakan fitur *element removal* agar dinding yang sudah rusak tidak lagi mempengaruhi struktur lainnya dan gaya-gaya dalam yang sudah terjadi masih bisa dilanjutkan.

Berdasarkan penelitian Kadysiewski dan Mosalam (2009), Canserin dan Prasetyo (2018) serta Pangestu dan Polles (2019), masalah yang timbul sama yaitu tidak dapat mengaplikasikan fitur *element removal* pada saat melakukan analisis bangunan tersebut. Dua penelitian pertama menyarankan untuk mengaplikasikan fitur *element removal* yang sudah dilakukan di penelitian terakhir. Namun, masalah tersebut belum terselesaikan dikarenakan program yang digunakan tidak memiliki fitur tersebut sehingga menyarankan untuk mencari program lain yang mampu melakukan *element removal*. Gunay dan Mosalam (2010) telah membuat *built-in* fitur *element removal* dan pemodelan *infill wall* untuk program OpenSees. Pada penelitian tersebut diberikan format *element removal* yang telah dibuat sehingga dapat dimodifikasi sesuai dengan bangunan yang akan dianalisa. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk melanjutkan penelitian yang telah dilakukan oleh Pangestu dan Polles (2019) menggunakan OpenSees dengan *built-in* fitur *element removal* dari Gunay dan Mosalam (2010) untuk menganalisa kinerja seismik rumah sederhana dengan dinding bata pengisi.

2. STUDI LITERATUR

Pada saat gempa, beban didistribusikan ke segala arah, baik arah sumbu kuat maupun arah sumbu lemah dinding. Gaya lateral yang bekerja sejajar sumbu kuat dinding disebut gaya *in-plane* (IP) sedangkan pada arah sumbu lemah dinding disebut *out-of-plane* (OOP).

2.1. In-Plane (IP)

Kontribusi kekakuan dinding pengisi pada arah IP direpresentasikan sebagai ekuivalen strat diagonal. Dimana perhitungan lebar ekuivalen strat (w_s) menggunakan rumus berdasarkan FEMA 356 (2000) yaitu:

$$w_s = 0.175 \times r_{inf} \times (\lambda_h \times h_{inf})^{-0.4} \quad (1)$$

$$\lambda_h = \left[\frac{E_{inf} \times t_{inf} \times \sin 2\theta}{4 \times E_c \times I_{col} \times h_{inf}} \right]^{1/4} \quad (2)$$

dimana r_{inf} adalah panjang diagonal dinding pengisi, λ_h adalah koefisien untuk menentukan lebar diagonal strat, h_{inf} adalah tinggi dinding pengisi, E_{inf} adalah modulus elastisitas dinding pengisi ($E_{inf} = 550 f'_m$ pada FEMA 356 (2000), dimana f'_m adalah kuat tekan pasangan bata), t_{inf} adalah tebal dinding

pengisi, θ adalah sudut antara panjang diagonal dinding dan garis horizontal dinding, E_c adalah modulus elastisitas beton, dan I_{col} adalah momen inersia kolom.

Kekuatan strat diagonal (V_{inf}) untuk pembebanan pada bidang (IP) ditentukan dengan mentransformasi kekuatan dinding pengisi menggunakan rumus berdasarkan Kadysiewski and Mosalam (2009) yaitu:

$$V_{inf} = v_{me} \times A_n \quad (3)$$

dimana v_{me} adalah kekuatan bata ($v_{me} = f'_m$ pada FEMA 356 (2000)) dan A_n adalah luas penampang dinding pengisi strat ekuivalen ($A_n = w_s \times t_{inf}$).

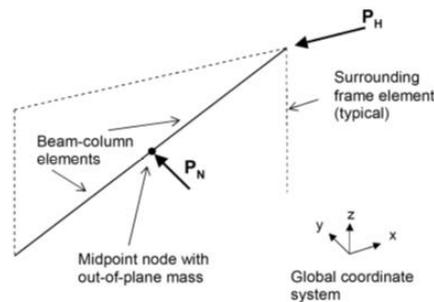
2.2. Out-of-Plane (OOP)

Dinding yang menerima gaya tegak lurus bidangnya (OOP) berupa momen akan mengalami *arching action*. Berdasarkan *arching action*, kekuatan tegak lurus bidang pada dinding pengisi (q_{in}) dihitung berdasarkan persamaan dari Kadysiewski and Mosalam (2009) yaitu:

$$q_{in} = \frac{0.7 \times f'_m \times \lambda_2}{\frac{h_{inf}}{t_{inf}}} \quad (4)$$

dimana λ_2 adalah parameter kelangsingan berdasarkan Tabel 7-11 FEMA 356 (2000). *Arching action* harus diperhitungkan jika memenuhi semua kondisi pada FEMA 356 (2000) pasal 7.5.3.1. Dinding pengisi dengan rasio h_{inf}/t_{inf} lebih kecil dari nilai pada Tabel 7-10 FEMA 356 (2000) maka tidak perlu dianalisa terhadap gaya gempa arah tegak lurus bidangnya.

Dalam pemodelan kekakuan dan kekuatan dinding pada tegak lurus bidang (OOP), dinding pengisi dimodelkan sebagai strat diagonal seperti **Gambar 1** dimana berat sendirinya dimodelkan sebagai *lumped mass* yang diletakkan di tengah bentang strat diagonal (Kadysiewski and Mosalam, 2009).



Gambar 1. Pemodelan Kekakuan dan Kekuatan Strat Diagonal

MEM, *modal effective mass*, merupakan massa ekuivalen arah OOP yang dipusatkan di tengah bentang strat diagonal. Besarnya MEM dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Kadysiewski and Mosalam, 2009):

$$MEM = 0.81 \times W_{inf} \quad (5)$$

dimana W_{inf} adalah berat sendiri dinding pengisi.

Modifikasi momen inersia perlu dilakukan untuk menghasilkan model dengan frekuensi natural yang sama dengan dinding bata yang sebenarnya. Ekuivalen momen inersia strat diagonal (I_{eqinf}) dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Kadysiewski and Mosalam, 2009):

$$I_{eqinf} = \frac{k_{eq} \times L_{diag}^3}{48 \times E_{inf}} \quad (6)$$

dimana L_{diag} adalah panjang diagonal dinding pengisi dan k_{eq} merupakan ekuivalen kekakuan OOP yang dihitung sebagai berikut:

$$k_{eq} = (2 \times \pi \times f_{ss})^2 \times MEM \quad (7)$$

dimana f_{ss} merupakan frekuensi natural dinding bata dengan kedua ujungnya *simply supported*. f_{ss} dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$f_{ss} = \frac{\pi \times \sqrt{\frac{E_{inf} \times I_{inf} \times crack \times g}{w_{inf}}}}{2 \times h_{inf}^2} \quad (8)$$

dimana $I_{inf} \times crack$ adalah besar momen inersia dinding bata saat terjadi *crack*, yang besarnya 50% dari momen inersia dinding bata normal.

M_y , kapasitas dinding bata dalam menahan momen arah tegak lurus (OOP) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$M_y = 1/4 \times q_{in} \times L_{inf} \times h_{inf} \times L_{diag} \quad (9)$$

dimana L_{inf} adalah lebar dinding pengisi.

3. METODOLOGI PENELITIAN

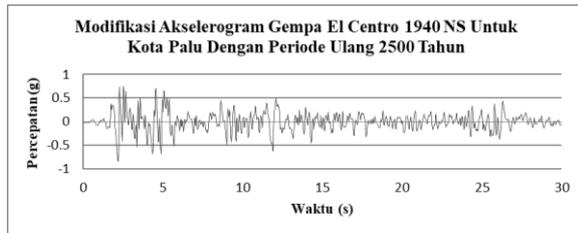
Kadysiewski and Mosalam (2009) belum berhasil memodelkan interaksi IP dan OOP pada tahapan *post-elastic*. Selain itu, pada penelitian Canserin and Prasetyo (2018) terjadi ketidakstabilan numerik karena dinding yang rusak ikut teranalisa. Lalu, pada penelitian Polles dan Pangestu (2019) berusaha melakukan *element removal* secara manual dikarenakan SAP2000 v20.0.0 tidak menyediakan fitur tersebut. Namun, pengaplikasian *element removal* yang dilakukan masih tidak sesuai yang diharapkan. Oleh karena itu, dibutuhkan software yang memiliki fitur *element removal* yang tepat. Pada penelitian ini digunakan software OpenSees dengan menggunakan fitur *element removal* yang tertera pada penelitian Gunay dan Mosalam (2010).

3.1. Pemodelan Bangunan pada Program OpenSees

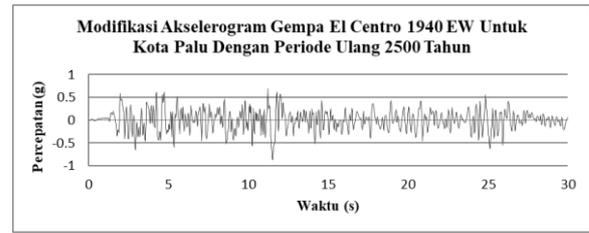
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton dan baja. Pada program OpenSees terdapat beberapa jenis material dan elemen *built-in* yang disediakan. Sehingga pada saat pemodelan, data yang perlu dimasukkan hanya data properti dari material atau elemen yang dibutuhkan. Pada penelitian ini material beton yang digunakan adalah *uniaxial material*, dimana model beton yang memiliki *damage modulus*. Sedangkan baja adalah *uniaxial Giuffre-Menegotto-Pinto steel material with isotropic strain hardening*. Sedangkan untuk setiap elemen balok dan kolom, digunakan elemen jenis *nonlinear beam column* yang didasarkan pada *non-iterative (or iterative) force formulation* dan diasumsi plastisitas pada sepanjang bagian elemen.

Dinding bata dimodelkan sebagai 1 dobel strat dimana pada arah OOP dinding bata diberi massa pada tengah bentang setiap strat. Lebar 1 strat dihitung berdasarkan rumusan dari FEMA 356 (2000). Besar massa yang diberikan dihitung berdasarkan Kadysiewski and Mosalam (2009) dan modifikasi momen inersia pada penampang strat dilakukan agar periode natural dari strat sama dengan periode natural dari dinding bata sebenarnya yang dimodelkan dengan *pinned connection* sederhana.

Pada penelitian ini, beban gempa yang digunakan merupakan gempa dari El Centro pada tahun 1940. Gempa El Centro ini kemudian dimodifikasi untuk disesuaikan dengan respons spektrum berdasarkan SNI 1726-2012. Peneliti menggunakan program ETABS v16.2.0 untuk memodifikasi gempa El Centro tersebut. Gempa El Centro yang digunakan adalah *time history* El Centro komponen *North-South* (NS) dan *time history* El Centro komponen *East-West* (EW) tahun 1940. Hasil modifikasi akselerogram gempa El Centro 1940 terhadap respons spektrum Kota Palu dengan periode ulang 2500 dapat dilihat pada **Gambar 2a dan 2b**. Dimana akselerogram tersebut yang digunakan sebagai beban gempa untuk pemodelan rumah sederhana pada program OpenSees.



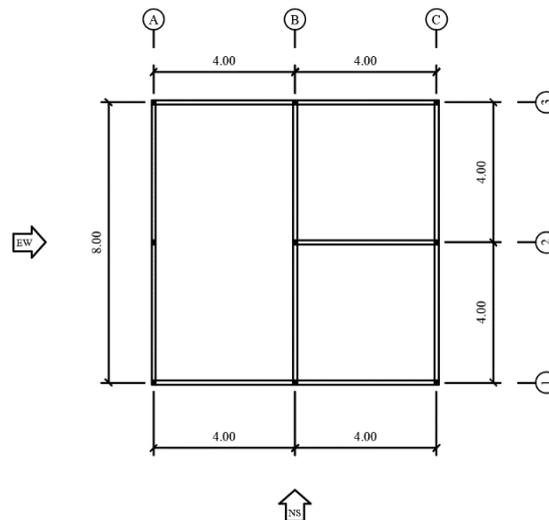
(a)



(b)

Gambar 2. (a) Modifikasi Akselerogram Gempa El Centro 1940 untuk Kota Palu dengan Periode Ulang 2500 tahun komponen North-South (NS) dan (b) East-West (EW)

Skema gempa yang diaplikasikan pada struktur bangunan yaitu gempa EW yang dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Skema Gempa EW dan NS

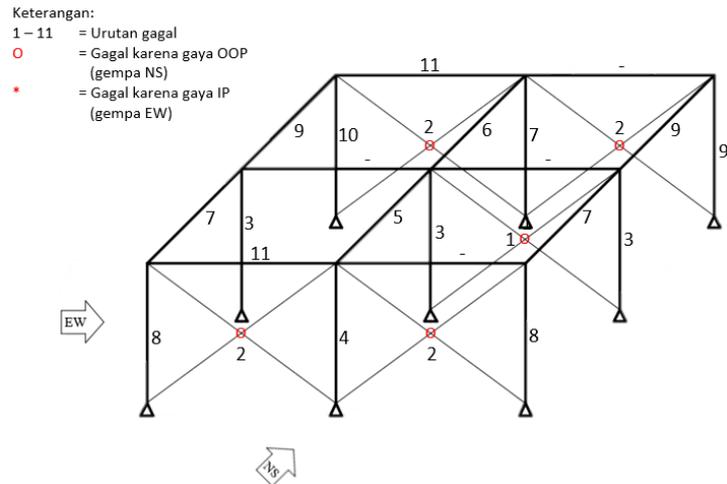
3.2. Implementasi dari *Infill Wall Removal* pada Program OpenSees

Fitur *element removal* pada penelitian ini menggunakan *built-in* khusus untuk OpenSees pada penelitian Gunay dan Mosalam (2010). Algoritma ini dikembangkan menggunakan *element removal* berdasarkan *dynamics equilibrium* dan hasil perubahan sementara dalam sistem kinematika. Algoritma keruntuhan progresif diimplementasikan untuk menghilangkan elemen yang runtuh secara otomatis selama simulasi yang sedang berlangsung. Hal utama yang perlu dibuat adalah kriteria untuk *removal* pada balok maupun kolom. Kriteria yang dibuat berdasarkan dari hubungan antara *displacement* IP-OOP. Setelah kriteria ditentukan, hasil analisa ketika terjadi kerusakan akan dibandingkan dengan kriteria tersebut lalu akan dihilangkan (*removed*).

4. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Analisis Kerusakan Struktur Bangunan

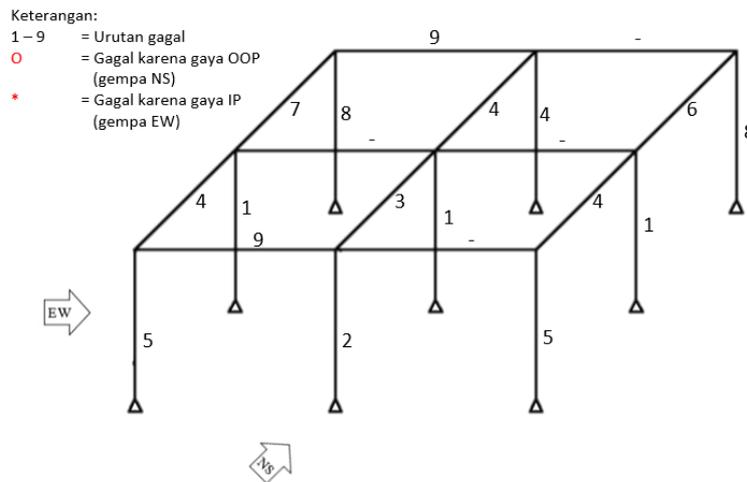
Analisis bangunan dilakukan dengan cara membandingkan waktu gagal balok dan kolom pada struktur *infill frame* dan *bare frame*. Pada **Gambar 4 dan 5**, terdapat gambar struktur bangunan yang ditampilkan secara tiga dimensi dan disertai dengan urutan gagal tiap komponen strukturnya. Sedangkan pada **Tabel 1 dan 2**, merupakan keterangan dari **Gambar 4 dan 5**, berisi waktu gagal dan keterangan komponen strukturnya.



Gambar 4. Struktur *Infill Frame* dengan Gempa EW dan NS beserta dengan Urutan Gagal Komponen Strukturnya

Tabel 1. Waktu Gagal Komponen Struktur *Infill Frame* Akibat Gempa EW dan NS

Nomor	Waktu Gagal (s)	Komponen Struktur
1	2.31	Dinding
2	2.32	Dinding
3	2.35	Kolom
4	2.40	Kolom
5	2.72	Balok
6	2.73	Balok
7	2.74	Balok atau Kolom
8	2.75	Kolom
9	3.87	Balok atau Kolom
10	4.60	Kolom
11	11.83	Balok



Gambar 5. Struktur *Bare Frame* dengan Gempa EW dan NS beserta dengan Urutan Gagal Komponen Strukturnya

Tabel 2. Waktu Gagal Komponen Struktur *Bare Frame* Akibat Gempa EW dan NS

Nomor	Waktu Gagal (s)	Komponen Struktur
1	2.35	Kolom
2	2.39	Kolom
3	2.72	Balok
4	2.74	Balok atau Kolom
5	2.75	Kolom
6	3.42	Balok
7	3.64	Balok
8	3.87	Kolom
9	11.83	Balok

4.2. Analisis Hasil

Berdasarkan **Tabel 1 dan 2** dapat dilihat bahwa struktur *infill frame* memiliki waktu gagal yang lebih lama dibandingkan dengan struktur *bare frame*. Semua balok dan kolom pada *infill frame* memiliki waktu gagal yang lebih lama dibandingkan dengan *bare frame*.

Sebagian besar dari gaya momen yang terjadi pada balok maupun kolom struktur *infill frame*, memiliki angka yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan struktur *bare frame*, terutama pada saat dinding belum hancur. Selisih momen maksimum antara *bare frame* dan *infill frame* yang terjadi pada setiap balok yang sejajar dengan dinding, saat dinding belum hancur, 25.3%. Sedangkan, selisih momen maksimum antara *bare frame* dan *infill frame* yang terjadi pada setiap kolom, saat dinding belum hancur, rata-rata 23.7%. Sehingga, selisih momen maksimum antara *bare frame* dan *infill frame* yang terjadi pada setiap balok dan kolom, saat dinding belum hancur, rata-rata 24.5%.

4.3. Diskusi Hasil

Metode dalam penelitian ini (pemodelan dengan *element removal* menggunakan program OpenSees) memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode pada penelitian sebelumnya (pemodelan *element removal* secara manual menggunakan program SAP2000). Penelitian ini dapat menganalisis struktur bangunan dengan tepat, karena analisis struktur tetap berjalan meskipun terjadi kerusakan pada dinding terlebih dahulu. Sehingga gaya yang terjadi pada balok dan kolom tetap dapat ditinjau sampai semua beban selesai.

Kekurangan dalam metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penggunaan strat yang masih 1 buah saja. Akibat dari kekurangan ini, balok dan kolom tidak ditinjau gagal berdasarkan gaya geser yang terjadi. Sehingga analisis pada balok dan kolom masih kurang tepat.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa sebagian besar dari gaya momen yang terjadi pada balok maupun kolom struktur *infill frame* memiliki angka yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan struktur *bare frame*. Terutama saat dinding belum hancur, momen maksimum yang terjadi pada balok dan kolom struktur *infill frame* lebih kecil dibandingkan dengan struktur *bare frame*. Selisih momen maksimum antara *bare frame* dan *infill frame* yang terjadi pada setiap balok dan kolom, saat dinding belum hancur, rata-rata 24.5%. Hal ini menyebabkan balok dan kolom struktur *infill frame* memiliki waktu gagal yang lebih lama dibandingkan struktur *bare frame*.

Berdasarkan analisis yang dilakukan dapat dilihat bahwa dalam perhitungan struktur, dinding bata pengisi memiliki peran lain selain beban. Dinding bata pengisi mampu membantu struktur bangunan untuk menahan beban lateral yang terjadi seperti beban gempa.

6. DAFTAR REFERENSI

- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta, Indonesia.
- Canserin, J. and Prasetyo, W. A. (2018). *Efek Pondasi Friction Based Terhadap Kinerja Seismik Rumah Sederhana dengan Dinding Bata Pengisi*. Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) 356. (2000). *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C.
- Gunay, M. S., & Mosalam, K. M. (2010). *Infill Wall Model and Element Removal*. Berkeley: University of California.
- Kadysiewski, S. and Mosalam, K. M. (2009). *Modeling of Unreinforced Masonry Infill Walls Considering In-Plane and Out-of-Plane Interaction*. University of California, Berkeley.
- Pangestu, S. A. and Polles, L. J. (2019). *Efek Element Removal terhadap Kinerja Seismik Rumah Sederhana dengan Dinding Bata Pengisi*. Universitas Kristen Petra, Surabaya.