

EFEK PONDASI *FRICION BASED* TERHADAP KINERJA SEISMIK RUMAH SEDERHANA DENGAN DINDING BATA PENGISI

Canserin, J.¹, Prasetyo, W.², Pudjisuryadi, P.³, Lumantarna, B.⁴

ABSTRAK: Gempa bumi telah menyebabkan banyak kerusakan khususnya pada rumah tinggal sederhana yang tidak didesain. Salah satu upaya untuk mengurangi kerusakan akibat gempa adalah dengan menerapkan *friction base isolation* yang memanfaatkan friksi pada dasar bangunan terhadap pondasi. Dinding bata memiliki kekuatan menerima gaya arah *In-Plane* (IP) dan *Out-Of-Plane* (OOP). Penelitian ini akan membandingkan kinerja bangunan rumah sederhana berdinding bata dengan perletakan sendi dan *friction isolator*. Bangunan sederhana tersebut dianalisa dengan gempa El Centro arah N-S dan E-W yang disesuaikan dengan SNI 03-1726-2012 untuk wilayah Palu dengan periode ulang $2/3 \times 2500$ dan 2500 tahun. Kemudian akan ditinjau pola kerusakan, *base shear*, dan *drift* dari bangunan sederhana. Didapatkan bahwa *friction isolator* efektif dalam mengurangi *base shear* dan *drift* yang terjadi pada bangunan sederhana. Disarankan melakukan penelitian lebih lanjut mengenai dinding bata dengan kemampuan menerima gaya IP dan gaya OOP setelah kapasitasnya tercapai. Diperlukan juga studi lebih lanjut mengenai kemampuan dan batasan dari program analisa struktur yang ada.

KATA KUNCI: *friction isolator*, dinding bata, *In-Plane*, *Out-Of-Plane*, *time history*, *base shear*, *drift*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia dengan potensi gempa bumi yang cukup tinggi. Hal ini sering mengakibatkan kerusakan pada bangunan salah satunya adalah *non-engineered building* seperti rumah tinggal sederhana. Untuk mengatasi permasalahan ini, Teddy Boen dan Rekan (2005) telah mengusulkan penggunaan rumah sederhana yang tahan gempa. Penggunaan *base isolation* pada dasarnya adalah memanfaatkan friksi pada dasar bangunan terhadap pondasi. *Base isolation* dipakai dalam perencanaan struktur agar struktur tersebut memberi respon yang lebih kecil terhadap beban gempa. Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Soetanto dan Hindrajaya (2011) tentang *base isolation* berupa *friction base* pada bangunan sederhana dengan dinding bata yang meninjau gaya hanya arah IP saja. Banyak penelitian mengenai dinding bata yang dimodelkan sebagai *equivalent strut* yang sayangnya hanya menerima gaya arah IP atau gaya arah OOP saja tanpa interaksi antara keduanya. Penelitian ini akan membandingkan rumah sederhana dengan model dinding bata yang menerima interaksi gaya arah IP dan gaya arah OOP yang menggunakan *base isolation* berupa *friction base* dan tanpa *friction base*.

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, jessica.canserin@gmail.com

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, setsunawilliam@ymail.com

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

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

2. STUDI LITERATUR

Dalam memodelkan kekakuan dan kekuatan dari dinding bata pengisi, perlu diketahui bahwa dinding bata pengisi dapat menerima gaya dari arah sejajar bidang (selanjutnya akan disebut dengan *In-Plane*) dan arah tegak lurus bidang (selanjutnya akan disebut dengan *Out-Of-Plane*) dimana kekuatan dinding bata dalam menerima gaya dari 2 arah tersebut berbeda.

Perhitungan kekuatan dan kekakuan dinding bata yang menerima gaya arah IP pada *equivalent strut* diidealisasikan dalam bentuk gaya aksial sebagai representasi perilaku arah IP. Kaushik, Rai, dan Jain (2007) mengusulkan nilai E_m (Modulus Young) dinding bata memiliki nilai yang bervariasi antara 250 sampai 1100 kali kekuatan tekannya, f'_m . Mengenai kuat tekan dari pasangan bata yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2.1 MPa berdasarkan *Guidelines for Earthquake Resistant Non-Engineered Construction* (Teddy Boen, 2013). Nilai ini berdasarkan kuat tekan pasangan bata merah yaitu 3.5 Mpa yang dicampur dengan mortar dengan komposisi 1:6 (1 semen dan 6 pasir). Adapun pada penelitian ini, digunakan modulus elastisitas berdasarkan FEMA 356 (2000) yaitu:

$$E_m = 550 f'_m \quad (1)$$

Dalam penelitian ini, peneliti tidak akan membahas tentang kerusakan tarik karena menurut Tabel 7-1 FEMA 356 (2000), kuat tekan sebesar 2.1 MPa (≈ 304.6 psi) dikategorikan sebagai dinding “*poor*” dan untuk kategori “*poor*” tidak ada kekuatan tarik untuk pasangan bata. Besarnya gaya tekan yang dapat diterima oleh sebuah dinding bata yang dimodelkan sebagai *equivalent strut*, P_n dapat dihitung dengan:

$$P_n = f'_m \times A_{strut} \quad (2)$$

Dimana f'_m merupakan kuat tekan bata yang didapatkan dari Teddy Boen dan Rekan (2013) dan A_{strut} merupakan luas penampang *equivalent strut* yang didapatkan berdasarkan FEMA 356 (2000).

Kekuatan dinding bata yang menerima gaya arah OOP pada *equivalent strut* diidealisasikan dalam bentuk momen arah tegak lurus dinding bata. Menurut Teddy Boen (2013), kapasitas dinding bata saat menerima momen arah OOP berasal dari beban yang dipikul dinding bata yang didukung dengan kekuatan tarik dari mortar. Namun karena kekuatan tarik mortar yang bervariasi dan sangat kecil kontribusinya, maka seringkali pengaruh mortar ini diabaikan. FEMA 356 (2000) mengusulkan kapasitas momen arah OOP dinding bata berasal dari *arching action* dinding bata. Adapun *arching action* dapat diperhitungkan hanya jika diberikan gaya aksial karena *arching action* tidak bisa terjadi tanpanya. Dari *arching action* dinding bata dapat dirumuskan kekuatan dinding bata menerima gaya arah OOP sebagai gaya per satuan luas, q_{in} sebesar:

$$q_{in} = \frac{0.7 \times f'_m \times \lambda_2}{\frac{h_{inf}}{t_{inf}}} \quad (3)$$

Dimana h_{inf} adalah tinggi bersih dari dinding bata, t_{inf} adalah tebal dari dinding bata, dan λ_2 didapatkan dari interpolasi pada tabel 7-11 FEMA 356 (2000). Dalam penelitian ini, peneliti akan menggunakan FEMA 356 (2000) untuk menghitung kapasitas dinding dalam menerima gaya OOP. Dengan rumus q_{in} dari FEMA 356 (2000), dapat dihitung besar gaya OOP yang dapat diterima oleh dinding bata, F yaitu sebesar:

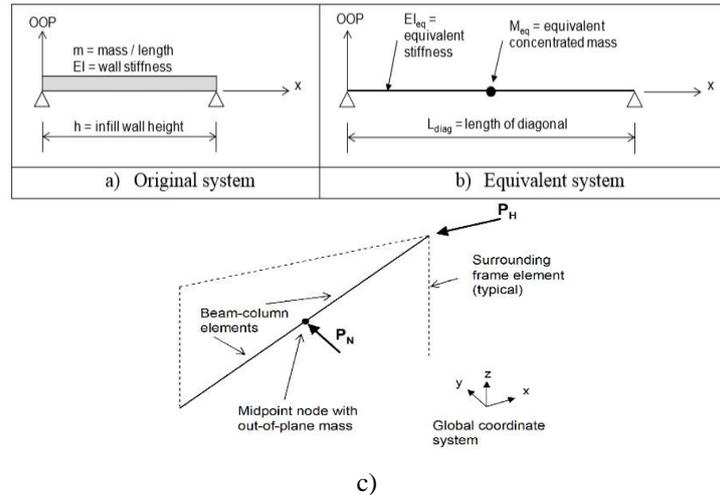
$$F = q_{in} \times L_{in} \times h_{in} \quad (4)$$

Yang diimplementasikan sebagai momen arah tegak lurus dinding bata, M_n dengan rumus:

$$M_n = \frac{1}{4} \times F \times L_{diag} \quad (5)$$

Dimana L_{diag} adalah panjang diagonal *equivalent strut* yang ditinjau. Kemudian Kadysiewski dan Mosalam (2009) melakukan penelitian tentang permodelan dinding bata yang memperhitungkan interaksi gaya IP dan gaya OOP.

Kadysiewski dan Mosalam (2009) memodelkan dinding bata sebagai *strut* yang berat sendirinya dimodelkan sebagai *lumped mass* yang dipusatkan di tengah bentang untuk memodelkan dinding bata dengan interaksi antara gaya IP dan OOP seperti ditunjukkan pada **Gambar 1b** dan **Gambar 1c**.



Gambar 1. Permodelan Dinding Bata yang Menerima Gaya Arah IP dan Arah OOP yang Diusulkan (A)Dinding Bata Biasa, (B)Model Dinding Bata Tampak Datar, (C)Model Dinding Bata Tampak 3 Dimensi.

Dengan ukuran *equivalent strut* berdasarkan FEMA 356 (2000), dilakukan modifikasi dari momen inersia dari *strut* dinding bata sedemikian sehingga model yang diusulkan memiliki frekuensi natural yang sama dengan dinding bata yang sebenarnya. Frekuensi natural dinding bata sebenarnya (f_{ss}) dihitung dengan persamaan oleh Blevins (1979) dengan asumsi sistem *simple supported* dan menggunakan *mode* pertama.

$$f_{ss} = \frac{\pi \times \sqrt{\frac{E_m \times I_{infracrck} \times g}{w_{inf}}}}{2 \times h_{inf}^2} \quad (6)$$

Dimana $I_{infracrck}$ adalah besar momen inersia dinding bata saat terjadi *crack*, yang besarnya 50% dari momen inersia dinding bata normal. w_{inf} adalah besar beban yang diterima dinding bata secara merata. Kemudian besarnya kekakuan modifikasi, k_{eq} dihitung dengan persamaan frekuensi natural sistem *single degree of freedom*.

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

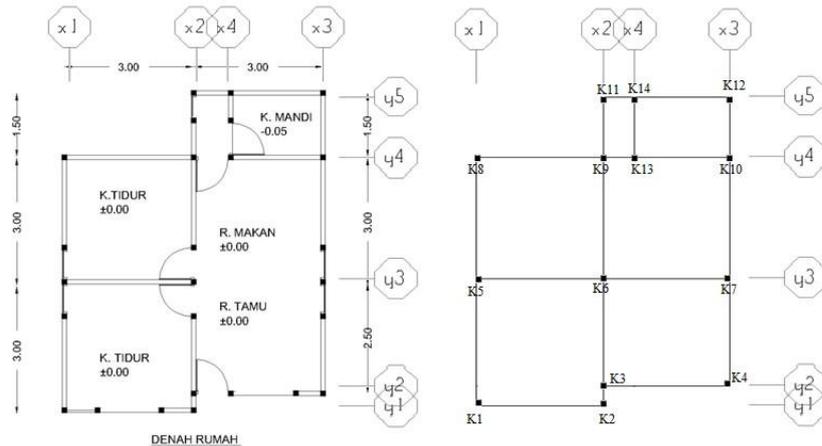
Setelah itu, momen inersia modifikasi, I_{eq} dapat dihitung dengan asumsi sistem *simple supported*.

$$I_{eq} = \frac{eq \times r_{inf}^3}{48 \times E_m} \quad (8)$$

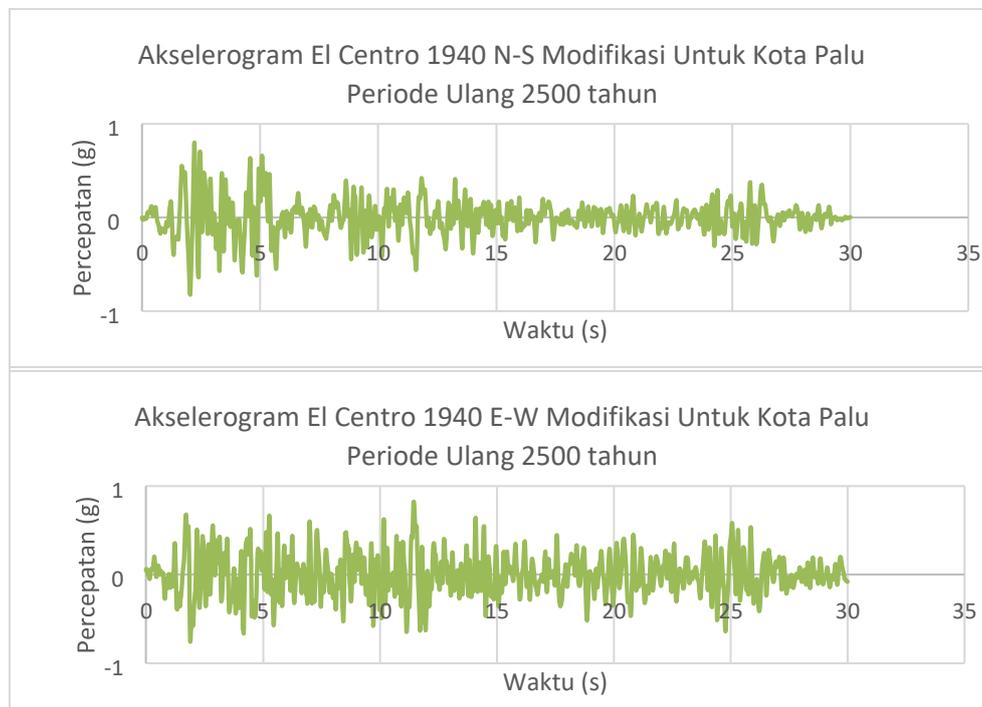
3. METODOLOGI PENELITIAN

Struktur yang dipakai dalam penelitian ini adalah bangunan rumah tinggal sederhana berdasarkan Teddy Boen dan Rekan (2005) dimana denah rumah sederhana dapat dilihat pada **Gambar 3**. Rumah sederhana akan dimodelkan dalam 3 permodelan, yaitu rumah sederhana lengkap dengan dinding bata dengan kekuatan gaya arah IP dan arah OOP yang akan disebut Rumah Sederhana IP+OOP, lalu rumah sederhana dengan dinding bata dengan kekuatan IP saja yang akan disebut Rumah Sederhana IPONLY. Penelitian diawali dengan permodelan pada SAP2000v19.0.0 dengan memasukan *properties* penampang, massa arah OOP, *properties* sendi plastis, dan beban-beban yang bekerja. Permodelan dinding menggunakan metode *three strut with mass* yang disesuaikan dengan denah rumah sederhana pada **Gambar 3**. *Frame properties*, pembagian lebar *three strut*, lokasi penempatan *three strut* yang digunakan pada dinding ini didasarkan pada penelitian dari Kaushik, Rai, & Jain (2008) dan

Kadysiewski dan Mosalam (2009), sedangkan lebar total dari *strut* menggunakan perhitungan dari FEMA 356 (2000) yang kemudian nilai momen inersianya disesuaikan dengan Kadysiewski dan Mosalam (2009). Besar massa arah OOP dihitung menurut Kadysiewski dan Mosalam (2009). Pemberian *plastic hinge* pada tiap elemen struktur, seperti balok, kolom, dan dinding bata yang dihitung menurut Teddy Boen dan Rekan (2013), FEMA 356 (2000), yang kemudian diinteraksi menurut Kadysiewski dan Mosalam (2009). Beban yang bekerja pada struktur antara lain adalah beban atap, berat sendiri struktur, dan beban gempa El-Centro komponen N-S dan E-W berupa *time history* yang telah dimodifikasi berdasarkan SNI 03-1726-2012 respon spektrum di kota Palu dengan periode ulang $2/3 \times 2500$ dan 2500 tahun (**Gambar 4**). Proses modifikasi dilakukan dengan bantuan program ETABSv16.1.00.



Gambar 3. Denah Rumah Sederhana



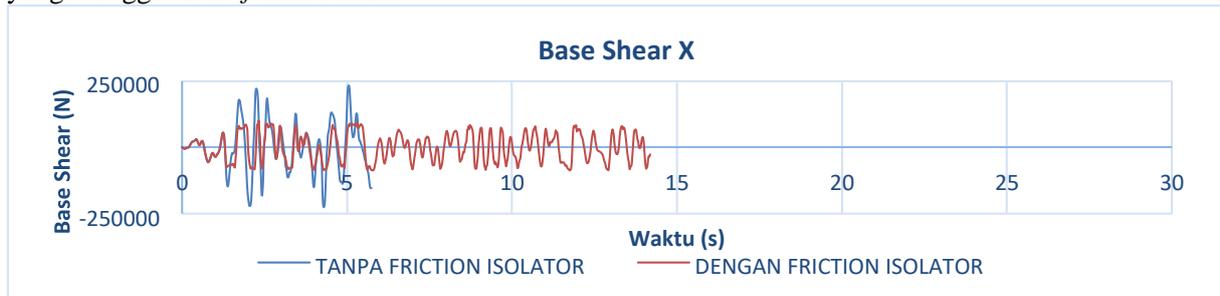
Gambar 4. Gempa *El-Centro* Modifikasi 2500 Tahun di Kota Palu Berdasarkan Respon Spektrum SNI 03-1726-2012

Setelah semua beban dimasukkan, dilakukan analisa *non-linear time history* untuk mengetahui *base shear*, pola kerusakan dan *drift* yang terjadi pada rumah sederhana.

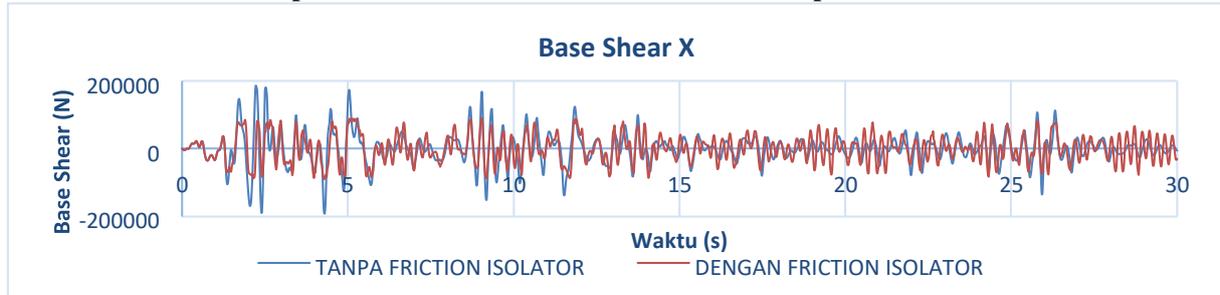
4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Base Shear pada Rumah Sederhana

Hasil penelitian ditunjukkan pada **Gambar 5**, **Gambar 6**, dan **Tabel 1** mengenai nilai *base shear* yang terjadi. *Base shear* pada Rumah Sederhana IP+OOP dan IPONLY yang menggunakan *friction base* memiliki nilai lebih kecil dibandingkan *base-shear* pada Rumah Sederhana IP+OOP dan IPONLY tanpa menggunakan *friction base*. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penyerapan energi gempa pada rumah yang menggunakan *friction base*.



Gambar 5. Base Shear pada Rumah Sederhana IP+OOP untuk Gempa El-Centro 2500 Tahun Skema 1



Gambar 6. Base Shear pada Rumah Sederhana IPONLY untuk Gempa El-Centro 2500 Tahun Skema1

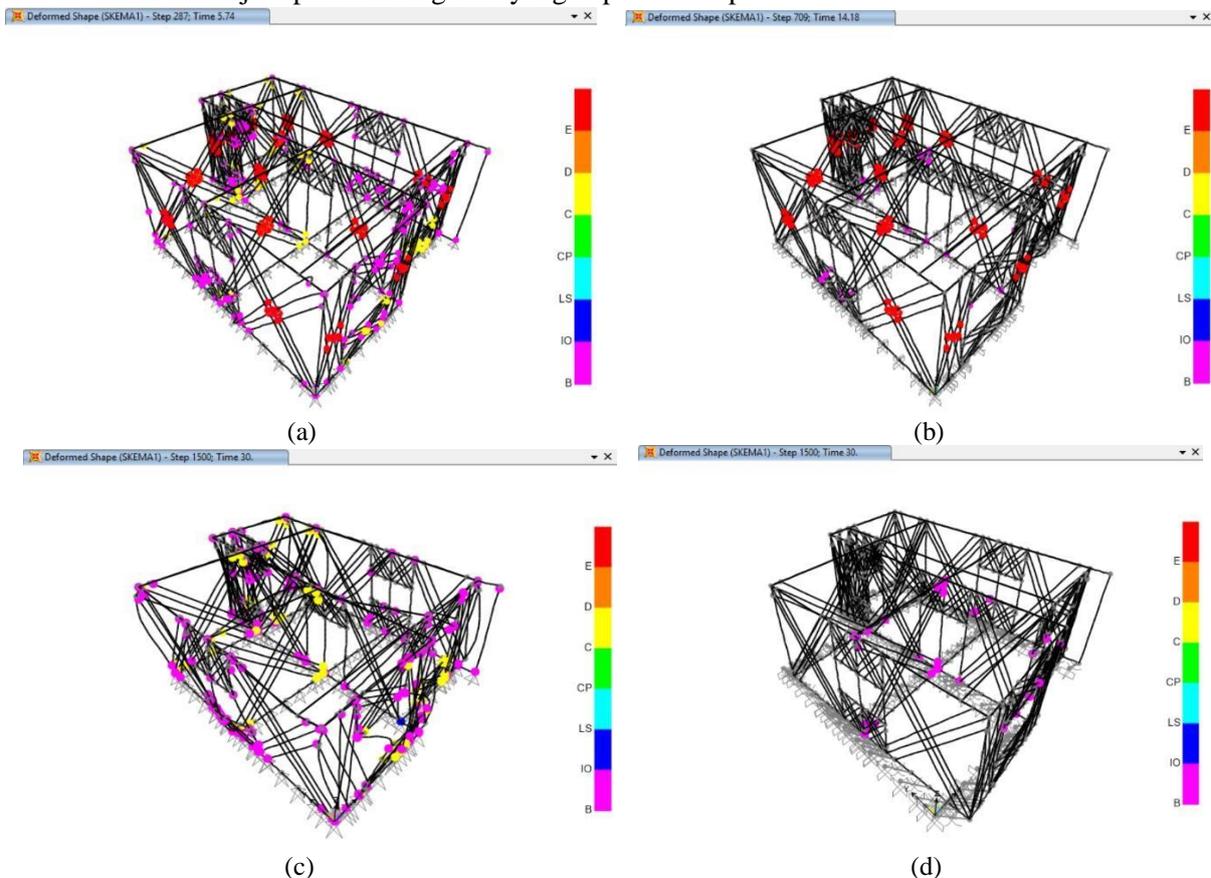
Tabel 1. Base-Shear Maksimum Gempa Arah X Rumah Sederhana Normal

Base Shear X (N)				Perbedaan (%)
Model Rumah Sederhana		Tanpa friction isolator	Dengan friction isolator	
IP+OOP	Max (+)	231659.636	101082.085	56.366
	Min(-)	-224869.400	-87209.030	61.218
IPONLY	Max (+)	186503.069	90384.028	51.538
	Min(-)	-191787.180	-90145.330	52.997

4.2 Pola Kerusakan pada Rumah Sederhana

Kerusakan pada rumah sederhana akibat Gempa El-Centro terjadi pada rumah sederhana tanpa *friction isolator* dimana analisa terhenti pada $time = 2.48s$ dan $time = 2.22s$ untuk periode ulang $2/3 \times 2500$ tahun dan $time = 2.06s$ dan $time = 2.24s$ untuk periode ulang 2500 tahun dimana beban gempa diberikan selama $time = 30s$. Untuk bangunan sederhana dengan *friction isolator* bangunan sederhana

dapat bertahan dari gempa dimana analisa berjalan sampai akhir. Sendi plastis yang terjadi pada rumah sederhana terjadi pada dinding bata yang dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Pola Kerusakan Bangunan Sederhana IP+OOP dengan Gempa Skema 1 (a) Tanpa Friction Isolator Periode Ulang 2500 Tahun (b) Dengan Friction Isolator Periode Ulang 2500 Tahun dan Pola Kerusakan Bangunan Sederhana IPONLY dengan Gempa Skema 1 (c) Tanpa Friction Isolator Periode Ulang 2500 Tahun (d) Dengan Friction Isolator Periode Ulang 2500 Tahun

4.3. Drift pada Struktur Rumah Sederhana

Perbandingan nilai *drift* arah X yang terjadi pada kolom rumah sederhana IP+OOP dan IPONLY tanpa *friction base* (NFI) dan dengan *friction base* (WFI) untuk gempa arah X dengan periode ulang gempa 2500 tahun dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Perbandingan Besarnya Nilai Drift Arah X untuk Gempa Skema 1 pada Rumah Sederhana

KOLOM	IP+OOP			IPONLY		
	NFI (%)	WFI (%)	DIFF (%)	NFI (%)	WFI (%)	DIFF (%)
K1	0.954	0.130	86.373	1.021	0.170	83.377
K2	0.953	0.130	86.399	1.020	0.170	83.366
K3	0.945	0.134	85.780	1.001	0.177	82.284
K4	0.944	0.134	85.775	1.001	0.178	82.245
K5	0.899	0.162	81.936	0.902	0.221	75.490

K6	0.899	0.163	81.899	0.902	0.221	75.453
K7	0.899	0.163	81.906	0.902	0.222	75.388
K8	0.844	0.096	88.582	0.783	0.138	82.325
K9	0.843	0.097	88.493	0.782	0.138	82.353
K10	0.843	0.097	88.449	0.781	0.139	82.253
K11	0.843	0.097	88.493	0.782	0.138	82.310
K12	0.825	0.093	88.732	0.721	0.133	81.608
K13	0.825	0.093	88.727	0.721	0.133	81.507
K14	0.825	0.093	88.691	0.722	0.133	81.617

Dari hasil *drift* pada **Tabel 2** dapat disimpulkan bahwa nilai *drift* dari kolom pada rumah sederhana dengan perletakan *friction isolator* rata-rata nilainya lebih kecil daripada perletakan sendi. Adapun rasio penurunan *drift* pada tiap kolom tidak sama rata oleh karena perbedaan kekakuan kolom yang dipengaruhi oleh dinding bata di sekitarnya.

4.4. Diskusi

Hal menarik terjadi dimana kerusakan yang terjadi pada bangunan sederhana semuanya hanya merupakan kerusakan dinding bata dimana elemen struktur lain seperti balok dan kolom masih belum terdeteksi sendi plastis. Percobaan dengan beban gempa 1 arah dengan model dinding bata yang hanya memiliki kekuatan gaya arah IP saja membuat bangunan dapat bertahan sampai analisa selesai. Hal ini mengindikasikan bahwa bangunan dengan *strut* dinding bata yang menerima gaya IP dan gaya OOP, saat kapasitas gaya OOPnya tercapai, SAP2000v19.0.0 mendeteksi terjadinya ketidakstabilan lokal pada dinding bata tersebut, sehingga analisa berhenti.

Untuk mengatasi hal tersebut, Kadysiewski dan Mosalam (2009) mengusulkan untuk memberi fitur *element removal* pada *strut* dinding bata dimana ketika mencapai fase *post-elastic*, *strut* akan dipisahkan dari struktur bangunan sehingga tidak mengganggu kestabilan bangunan secara keseluruhan. Terdapat kendala dimana program yang digunakan adalah SAP2000v19.0.0 yang tidak memiliki fitur *element removal* seperti yang disarankan oleh Kadysiewski dan Mosalam (2009), dimana mereka menggunakan program *OpenSees* memiliki fleksibilitas lebih tinggi dalam memprogramkan struktur dengan lebih kompleks.

5. KESIMPULAN

Berbagai penelitian yang meninjau dinding bata sebagai elemen struktur hanya memodelkan *equivalent strut* dinding bata dalam menerima gaya IP atau gaya OOP secara terpisah. Peneliti mengusulkan model *three equivalent strut with mass* dimana akan digunakan *three equivalent strut* dengan beberapa penyesuaian untuk memodelkan dinding bata dengan efek kontak terhadap struktur didekatnya dan menerima interaksi gaya IP dan OOP. Dengan permodelan yang ada, didapatkan bahwa kapasitas gaya OOP pada dinding bata penting untuk diperhatikan dalam analisa dinding bata sebagai elemen struktur karena lebih lemahnya dinding bata dalam menerima gaya arah OOP. Penggunaan *friction isolator* terbukti dapat mengurangi kerusakan yang terjadi pada rumah sederhana dimana nilai *base shear*, *drift* lebih kecil dibanding dengan bangunan yang tidak menggunakan *friction isolator*. Disarankan untuk memodelkan *element removal*, agar kerusakan dinding bata tidak mempengaruhi kestabilan struktur secara keseluruhan agar analisa pada bangunan dapat terus berjalan hingga munculnya sendi plastis pada kolom dan balok. Penggunaan program analisa struktur harus diteliti lagi untuk mengetahui kemampuan dan batasan yang ada.

6. DAFTAR REFERENSI

- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 03-1726-2012*, Indonesia.
- Blevins, R.D. (1979), *Formulas for Natural Frequency and Mode Shape*, Van Nostrand Reinhold Company, Inc.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) 356. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C.
- 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.
- Kaushik, H. B., Rai, D. C., and Jain S. K. (2008). "A Rational Approach to Analytical Modeling of Masonry Infills in Reinforced Concrete Frame Buildings". *The 14th World Conference on Earthquake Engineering 2008*, Beijing, China.
- Soetanto, R. M. dan Hindrajaya, G. G. (2011). *Penggunaan Base Isolation pada Rumah Sederhana*. Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Teddy Boen dan Rekan. (2005). *Membangun Rumah Tembokan Tahan Gempa*. Jakarta, Indonesia.
- Teddy Boen dan Rekan. (2013). *Guidelines For Earthquake Resistant Non-Engineered Construction*. United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization, France.