

PERBANDINGAN PERILAKU DAN KINERJA STRUKTUR BETON BERTULANG ANTARA ANALISIS DINDING PENGISI BATA MERAH, BATA RINGAN, DAN TANPA DINDING PENGISI (*OPEN FRAME*)

(Studi Kasus: Gedung Kantor dan Rumah Tinggal
Jl. Gatot Subroto Barat No 288B Denpasar – Bali)

I Komang Widiarsa dan I Nyoman Suta Widnyana
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hindu Indonesia

ABSTRAK

Analisis perilaku dan kinerja struktur beton bertulang sudah dilakukan dengan membuat empat model struktur dua model *open frame* dan dua model *infilled frame*. Model *open frame* pertama (OF1) dan kedua (OF2) ialah struktur beton bertulang dengan dinding pengisi sebagai beban. Sedangkan model *infilled frame* pertama (IF1) dan kedua (IF2) merupakan struktur beton bertulang dengan dinding pengisi sebagai *strut*. Perilaku struktur diamati dari hasil elastik linier berupa simpangan sedangkan kinerja struktur dievaluasi melalui analisis statik non linier *Pushover* menggunakan SAP2000.

Hasil analisis menunjukkan bahwa simpangan struktur masing-masing model berturut-turut sebesar 4 mm, 5 mm, 16 mm dan 19 mm untuk IF2, IF1, OF2 dan OF1 dari arah X. Sedangkan Untuk arah Y sebesar 5 mm, 6 mm, 16 mm dan 20 mm untuk IF2, IF1, OF2 dan OF1. Dari simpangan dilihat bahwa model IF2 lebih kaku dibandingkan dengan model IF1. Sedangkan kedua model IF lebih kaku di bandingkan dengan kedua model OF, hal tersebut karena pemodelan *strut* membuat perilaku struktur menjadi lebih kaku. Hasil analisis *pushover* menunjukkan bahwa model IF2 mampu menerima gaya geser paling besar 988 ton untuk arah X dan 1060 ton untuk arah Y dengan level kinerja O (*Operasional*). Model IF1 mampu menerima gaya geser dasar 922 ton untuk arah X dan 978 ton untuk arah Y dengan level kinerja O (*Operasional*), sedangkan OF2 dengan level kinerja IO (*Immediate Occupancy*) mampu menerima gaya geser dasar 365 ton pada arah X dan 382 ton pada arah Y, serta model OF1 memiliki kemampuan menerima gaya geser dasar 348 ton arah X dan 376 ton pada arah Y.

Kata kunci : dinding pengisi, *strut* diagonal, analisis *pushover*

1. PENDAHULUAN

Dinding pengisi merupakan salah satu komponen dari bangunan gedung yang berfungsi sebagai penyekat/pembatas ruangan. Dalam perencanaan suatu struktur gedung, struktur umumnya didesain sebagai

open frame dengan dinding pengisi yang dianggap hanya sebagai beban. Padahal, jika ditelaah lebih lanjut keberadaan dinding pengisi memiliki kecenderungan untuk berinteraksi dengan portal yang ditempatinya terutama apabila terdapat beban

vertikal maupun horizontal (akibat gempa) yang besar. Rangka yang terdapat dinding pengisi dibandingkan dengan rangka terbuka (*open frame*) jika dibebani dengan gaya gempa yang besar, perilaku berupa deformasi yang terjadi antara kedua model struktur akan berbeda karena dinding memberikan kontribusi berupa kekakuan untuk menahan beban gempa yang besar tersebut. (Dewobroto, 2005)

Struktur rangka dinding pengisi saat mengalami tingkat pembebanan yang relatif kecil, dinding pengisi berkontribusi terhadap kekakuan dan kekuatan struktur secara penuh. Pada kondisi tersebut, kekuatan dinding pengisi masih belum terlampaui dan belum terjadi kegagalan yang dapat menurunkan kekakuan struktur secara keseluruhan meskipun portalnya telah terjadi kerusakan. Namun apabila tingkat pembebanan yang terjadi lebih besar lagi dimana deformasi yang terjadi mengakibatkan kekuatan dinding pengisi terlampaui, akan timbul kerusakan pada dinding sebagai indikasi kegagalan dinding pengisi. Hal tersebut menyebabkan struktur portal dengan dinding pengisi mengalami penurunan kekakuan secara signifikan, sedangkan energi gempa yang sebelumnya diterima oleh struktur portal bersama dinding pengisi secara tiba-tiba diterima sepenuhnya hanya oleh portal yang akhirnya menyebabkan terjadinya kegagalan pada struktur portal. (Tjahjanto & Imran, 2009)

Pada penelitian ini akan menganalisis “Perbandingan Perilaku Dan Kinerja Struktur Beton Bertulang Antara Analisis Dinding Pengisi Bata Merah, Bata Ringan, Dan Tanpa Dinding Pengisi (*Open Frame*)”, evaluasi kinerja struktur dengan metode analisis *Pushover* sesuai

prosedur FEMA 356 dilakukan dengan menggunakan bantuan program SAP2000. Analisis dilakukan pada 4 model struktur dari bangunan berlantai 4 dengan fungsi kantor dan rumah tinggal yang berlokasi di Jl Gatot Subroto no.288B Denpasar, Bali. Dari keempat model tersebut dua model merupakan *open frame* dan dua model lainnya merupakan *infilled frame* dengan dinding bata merah dan bata ringan.

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, permasalahan yang dirumuskan pada studi analisis ini adalah:

1. Bagaimana perilaku struktur beton bertulang yang dimodel dengan dinding pengisi bata merah, dinding pengisi bata ringan dan tanpa dinding pengisi (*open frame*) yang ditinjau dari simpangan yang terjadi?.
2. Bagaimana kinerja struktur beton bertulang dengan dinding pengisi bata merah, dinding pengisi bata ringan dan tanpa dinding pengisi (*open frame*)?.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulisan ini adalah :

1. Untuk mengetahui perilaku struktur dengan tinjauan simpangan yang terjadi pada struktur!
2. Untuk mengetahui kinerja struktur dengan dinding pengisi bata merah, dinding pengisi bata ringan dan tanpa dinding pengisi (*open frame*)!

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari dilakukannya studi analisis ini adalah sebagai berikut

1. Mendapatkan informasi tentang perilaku yang diberikan oleh dinding pengisi terhadap struktur dan mengetahui kinerja struktur dengan dinding pengisi dan tanpa dinding pengisi. Perilaku dan kinerja struktur tersebut akan memberikan gambaran tentang kapasitas lateral struktur beton bertulang dengan dinding pengisi bata dan dinding pengisi bata ringan di perencanaan.
2. Bagi pembaca adalah untuk bahan referensi untuk lebih memperdalam ilmu dalam memodel suatu bangunan yang menggunakan dinding pengisi bata maupun bata ringan.

1.4 Batasan Masalah

Masalah pada analisis ini dibatasi pada :

1. Pemodelan yang dianalisis menggunakan *static pushover* adalah model struktur dengan dinding pengisi sebagai strut (*strut diagonal*).
2. Penelitian tidak meninjau adanya bukaan (pintu, jendela dan bukaan lainnya) pada dinding.
3. Pembebanan pada analisis ini hanya menggunakan beban mati, beban hidup dan beban gempa.
4. Analisis kinerja struktur berupa grafik perbandingan gaya geser dan perpindahan dibuat menggunakan analisis statik nonlinier *pushover* yang terdapat pada program SAP2000.
5. Perilaku struktur yang ditinjau hanya simpangan struktur akibat beban gempa.
6. Waktu getar struktur hanya ditinjau pada model OF1 sebagai acuan untuk memodel struktur lainnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dinding Pengisi

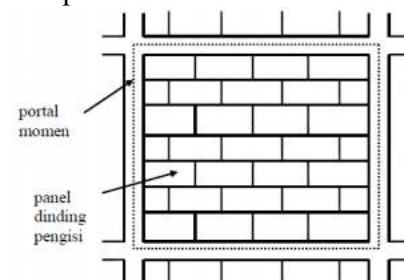
Dinding pengisi adalah bagian dari bangunan nonstruktural yang umumnya difungsikan sebagai penyekat ruangan, penutup bangunan dan bangunan exterior untuk keperluan estetika (memperindah) ruangan. Dinding pengisi memiliki banyak variasi pada elemen penyusunnya diantaranya bata merah, bata ringan dan lain-lain. Dalam kenyataan dilapangan umumnya dinding pengisi berguna untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan pada struktur beton bertulang.

2.2 Karakteristik Bata

Bata merah memiliki berat normal 2000 kg/m³ dengan kuat tekan sebesar 3,91 MPa. Modulus elastisitas bata merah 1633,5 MPa dengan poisson ratio 0,15 dan regangan ultimate 0,0044 dan bata ringan memiliki berat normal 650 kg/m³ dengan kuat tekan sebesar 2,97 MPa. Modulus elastisitas bata ringan 1750 MPa dengan poisson ratio 0,25 dan regangan ultimate 0,0066 (Tjahjanto dan Imran, 2009).

2.3 Rangka Dinding Pengisi (*Infilled Frame*)

Rangka dengan dinding pengisi (*infilled frame*) merupakan struktur yang terdiri dari kolom dan balok berbahan baja atau beton bertulang dimana terdapat dinding pengisi bata ataupun batako.



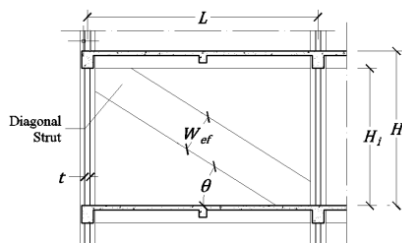
Gambar 1. Rangka dengan dinding

pengisi

Sumber: Agarwal & Shrikhande, 2006

Struktur rangka dinding pengisi yang kekuatan dan kekakuan dindingnya diabaikan dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan pada bangunan bertingkat. Penyebab utama dari keruntuhan tersebut adalah adanya kekakuan dinding pengisi yang menimbulkan pola keruntuhan yang tersendiri.

Equivalent Diagonal Strut adalah metode untuk analisis inelastis portal dinding pengisi yang diajukan oleh Saneinejad – Hobbs (1995). Pengaruh beban lateral bolak-balik akibat gempa dapat diatasi dengan terbentuknya *strut* pada arah lain yang juga mengalami tekan. Apabila properti mekanik berupa dimensi dan modulus elastis dari *strut* diketahui, maka portal dinding pengisi dapat dianalisis sebagai portal terbuka (*open frame*) dengan dinding pengisi yang diwakili oleh *strut*. Sifat mekanis yang dicari dengan metode tersebut didasarkan atas kondisi keruntuhan yang bersifat non-linier dan sekaligus diperoleh juga resistensi atau kuat nominal dari *strut*. (Dewobroto, 2005)



Gambar 2. Parameter perhitungan lebar *equivalent diagonal strut*

Sumber: Agarwal & Shrikhande, 2006

$$\lambda h = \sqrt[4]{\frac{Ei \cdot t \cdot \sin 2\theta}{4 \cdot Ec \cdot Ic \cdot Hi}}$$

$W_{ef} = 0,175 \cdot (\lambda h \cdot H)^{-0,4} \cdot \sqrt{H^2 + L^2}$
 H adalah tinggi dari kolom terhitung dari as ke as tingkat, Ec dan

Ei merupakan modulus elastisitas kolom dan modulus elastisitas pasangan dinding pengisi. Sedangkan Hi dan t adalah tinggi dan tebal dari dinding pengisi dan θ sudut yang dibentuk antara *strut* dengan balok, diperhitungkan dalam satuan radian.

2.4 Simpangan Batas

SNI 1726:2012 pasal 7.8.6 mengatur simpangan antar lantai tingkat akibat gempa desain (Δ) harus sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Simpangan antar lantai desain (Δ), tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_{α}) seperti didapatkan dari Tabel 16 pada SNI 1726:2012.

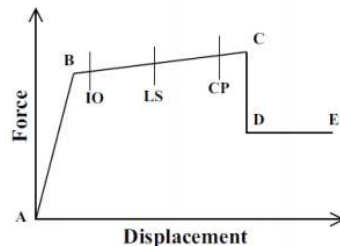
2.5 Analisis Statik Non Linier Pushover

Analisis statik non linier *Pushover* menurut ATC-40 (California Seismic Safety Commission, 1996) adalah suatu analisis statik non linier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statis yang bekerja pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca elastis yang besar sampai mencapai kondisi plastis. Analisis dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statis pada struktur, yang kemudian ditingkatkan secara bertahap sampai suatu perpindahan target, kemudian menghasilkan kurva *Pushover*. (Utomo, Susanto, Tujono, & Wibowo, 2012)

2.6 Sendi Plastis Balok dan Kolom

Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan struktur dalam menahan gaya dalam. Pemodelan sendi digunakan untuk mendefinisikan perilaku non linier gaya-perpindahan atau momen-rotasi yang dapat ditempatkan pada beberapa tempat berbeda di sepanjang bentang balok atau kolom. Pemodelan sendi adalah rigid dan tidak memiliki efek pada perilaku linier.

Pada elemen kolom menggunakan tipe sendi *default* P-M2-M3, dengan pertimbangan bahwa elemen kolom terdapat hubungan gaya aksial dengan momen (diagram interaksi P-M). Sedangkan untuk elemen balok menggunakan *default* V2 dan *default* M3, dengan pertimbangan bahwa balok efektif menahan gaya geser pada sumbu lemah dan momen terhadap arah sumbu kuat, sehingga diharapkan sendi plastis terjadi pada balok. Sendi diasumsikan terletak pada masing-masing ujung pada elemen balok dan kolom. (Wibowo, Purwanto, & Yanto, 2010)



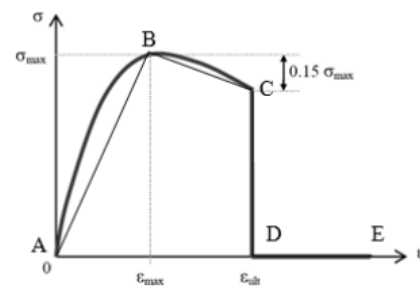
Gambar 3. Model sendi plastis untuk balok dan kolom
Sumber: CSI, 2007

2.7 Sendi Plastis Strut

Dinding pengisi dimodelkan sebagai *strut* yang hanya berkontribusi terhadap kekakuan struktur jika mengalami gaya tekan saja. Dalam program SAP2000, *strut* tersebut dimodel sebagai *truss* dengan *input*

luas penampang dan hubungan tegangan-regangan material.

Untuk membatasi deformasi pasca puncak, diberikan kondisi *ultimate* pada hubungan tegangan-regangan material yaitu tercapainya regangan pada saat tegangan mengalami penurunan sebesar 15% terhadap tegangan maksimum. Setelah mencapai regangan ultimit, element *truss* dianggap tidak berkontribusi terhadap kekakuan struktur. Untuk mengakomodasi asumsi tersebut, dilakukan perpanjangan kurva tegangan regangan yaitu untuk regangan yang lebih besar dari regangan ultimit nilai tegangan adalah nol, ditunjukkan pada Gambar 4. (Tjahjanto & Imran, 2009)



Gambar 4. Hubungan tegangan-regangan tipikal material dinding pengisi

Sumber: Tjahjanto & Imran, 2009

Pada program SAP2000 nilai dari A, B, C, D, dan E dimasukkan dengan mendefinisikan *hinges properties* berupa hubungan tegangan-regangan dengan memasukkan nilai tersebut sesuai dengan tegangan dan regangan material. Posisi dari sendi plastis dianggap terjadi pada tengah bentang *strut*.

2.8 Perpindahan Target Pushover

Gaya dan deformasi setiap komponen dihitung terhadap perpindahan tertentu yang disebut

sebagai perpindahan target dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang mungkin dialami saat bangunan mengalami beban gempa rencana. (Dewobroto, 2005).

Pada metode *Coefficient Method* FEMA 356, perhitungan dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier sistem struktur SDOF ekuivalen dengan faktor modifikasi C_0 , C_1 , C_2 dan C_3 sehingga diperoleh perpindahan global maksimum (elastis dan inelastis) yang disebut perpindahan target.

Proses dimulai dengan menetapkan dahulu waktu getar efektif (T_e) yang memperhitungkan kondisi inelastis bangunan. Waktu getar efektif dapat diperoleh dengan kurva idealisasi hasil analisis *Pushover*. Waktu getar alami efektif mencerminkan kekakuan linier dari sistem SDOF ekuivalen. Jika di-plot pada spektrum respon elastis akan menunjukkan percepatan gerakan tanah pada saat gempa yaitu akselerasi puncak (S_a) versus waktu getar (T) dengan redaman sebesar 5%. Puncak perpindahan spektra elastis (S_d) dapat dihitung dengan persamaan dibawah.

$$S_d = S_a \left(\frac{T_e}{2 \cdot \pi} \right)^2$$

Selanjutnya perpindahan target ditentukan dari rumus berikut.

$$\delta_T = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \left(\frac{T_e}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot g$$

Keterangan:

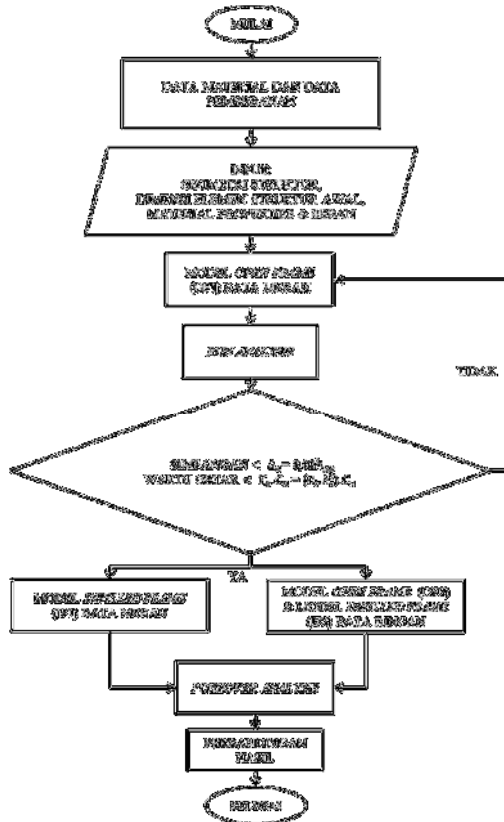
- δ_T = perpindahan target.
- T_e = waktu getar alami efektif.
- S_a = adalah akselerasi spektrum respons pada waktu getar alami fundamental efektif dan rasio redaman pada arah yang ditinjau.
- V_y = adalah gaya geser dasar pada saat struktur leleh.
- W = adalah berat efektif seismik.
- C_m = faktor massa efektif,

- α = adalah rasio kekakuan pasca leleh dengan kekakuan elastik efektif, dimana hubungan gaya peralihan non-linier diidealisasikan sebagai kurva bilinear.
- T_s = waktu getar karakteristik respons spektrum.
- g = percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Analisis

Analisis data ini menggunakan alat bantu *software* SAP2000 dengan *static pushover analysis*. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan 4 pemodelan struktur yaitu, Model pertama OF1 struktur beton bertulang dengan dinding pengisi bata merah sebagai beban. Model kedua IF1 struktur beton bertulang dengan rangka dinding pengisi bata merah sebagai *strut*. Model ketiga OF2 struktur beton bertulang dengan dinding pengisi bata ringan sebagai beban. Model keempat IF2 struktur beton bertulang dengan rangka dinding pengisi bata ringan sebagai *strut*.



Gambar 5. Diagram alir analisis

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Dimensi Elemen Struktur dan Lebar *Strut*

Dimensi elemen struktur awal pada model bata merah OF1 selanjutnya didesain dengan bantuan *software* SAP2000. Dimensi elemen-elemen struktur hasil desain berdasarkan SNI 1726:2012 ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi elemen struktur

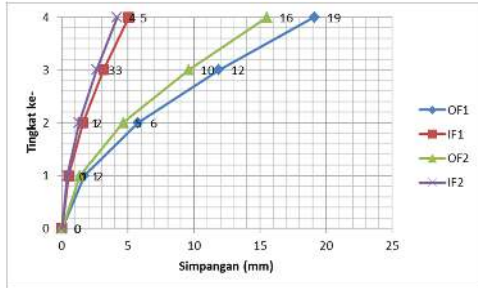
Lt	Kolom (mm)	Balok Induk Portal X-Z (mm)	Balok Anak (mm)	Pelat (mm)
4	400X400	300x400	150x300	120
3	400X400	300x400	150x300	120
2	400X400	300x400	150x300	120
1	400X400	300x400	150x300	120

Tabel 2. Lebar *strut*

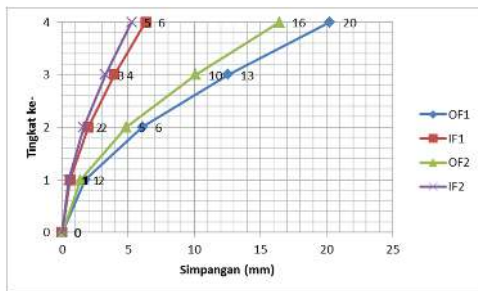
BATA MERAH						BATA RINGAN					
X			Y			X			Y		
<i>Wef</i> (mm)	$1/2Wef$ (mm)	$1/4Wef$ (mm)	<i>Wef</i> (mm)	$1/2Wef$ (mm)	$1/4Wef$ (mm)	<i>Wef</i> (mm)	$1/2Wef$ (mm)	$1/4Wef$ (mm)	<i>Wef</i> (mm)	$1/2Wef$ (mm)	$1/4Wef$ (mm)
744	372	186	647	324	162	739	370	185	643	321	161
744	372	186	647	324	162	739	370	185	643	321	161
744	372	186	647	324	162	739	370	185	643	321	161
744	372	186	647	324	162	739	370	185	643	321	161

4.2 Simpangan Antar Tingkat

Simpangan yang diperoleh dari hasil analisis struktur dengan program SAP2000 akibat kombinasi beban mati, hidup, dan gempa (D+L+E) ditampilkan pada Gambar 6 untuk simpangan arah X dan Gambar 7 untuk simpangan arah Y.



Gambar 6. Simpangan struktur arah X pada portal 2 akibat D+L+Ex



Gambar 7. Simpangan struktur arah Y pada portal B akibat D+L+Ey

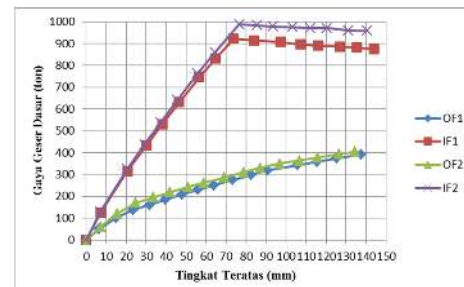
Gambar 6. menunjukkan simpangan atap pada arah X model OF1 merupakan yang terbesar dari model lainnya yaitu 19 mm. Pada model IF1 simpangan pada atap yang terjadi sebesar 5 mm, hanya 26,38% dari simpangan OF1. Sedangkan OF2 simpangan pada atap yang terjadi sebesar 3.18 kali dari model IF1 yaitu sebesar 16 mm. Pada IF2 simpangan yang terjadi sebesar 4 mm, hanya 26,88% dari simpangan OF2. Untuk simpangan arah Y yang ditampilkan pada Gambar 7. memperlihatkan. model OF1 merupakan yang terbesar dari model lainnya yaitu 20 mm. Pada model IF1 simpangan pada atap yang terjadi sebesar 6 mm, hanya 31,20% dari simpangan OF1. Sedangkan OF2 simpangan pada atap yang terjadi sebesar 2.54 kali dari model IF1 yaitu sebesar 16 mm. Pada IF2 simpangan yang terjadi

sebesar 5 mm, hanya 32,03% dari simpangan OF2

Dari hasil simpangan diatas bisa dilihat bahwan struktur dengan dinding pengisi bata ringan lebih kaku di bandingkan dengan struktur dengan dinding pengisi bata merah. Hal tersebut di karenakan berat volume bata merah jauh lebih besar yaitu 2000 kg/m^3 sedangkan berat volume bata ringan sebesar 32,5% dari berat volume bata merah yaitu 650 kg/m^3 . Serta modulus elastisitas kedua bata tersebut tidak jauh beda yaitu $1633,5 \text{ MPa}$ untuk bata merah dan 1750 MPa untuk bata ringan sekitar 6.65% perbedaan modulus elastisitas kedua bata tersebut.

4.3 Kurva Pushover

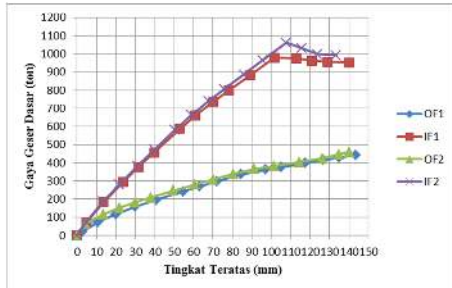
Hasil dari analisis statik non linier berupa kurva Pushover, menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan atap. Kurva Pushover akibat PUSH X untuk model OF1, IF1, OF2 dan IF2 ditampilkan pada Gambar 8 dan akibat PUSH Y untuk keempat model tersebut ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 8. Kurva Pushover model OF1, IF1, OF2 dan IF2 akibat PUSH X

Dari Gambar 8. dapat dilihat IF2 mampu menerima beban lateral maksimum sampai dengan 988 ton dengan perpindahan atap sebesar 77 mm. Model IF1, mampu menerima beban lateral maksimum sampai dengan 922 ton dengan perpindahan atap sebesar 74 mm. Dapat diamati beban maksimum yang mampu diterima IF1 tidak sebesar yang dicapai IF2 karena berat dinding bata merah jauh lebih berat dari pada bata ringan. Model OF2, mampu menerima beban lateral sebesar 406 ton

dengan perpindahan atap sebesar 134 mm Model OF1, kekakuannya merupakan yang terlemah dari ketiga model lainnya ditunjukkan dari kemiringan kurva yang paling landai yaitu mampu menerima beban 392 ton dengan perpindahan atap 138 mm



Gambar 9. Kurva Pushover model OF1, IF1, OF2 dan IF2 akibat PUSH Y

Dari Gambar 9. dapat dilihat IF2 mampu menerima beban lateral maksimum sampai dengan 1060 ton dengan perpindahan atap sebesar 108 mm. Model IF1, mampu menerima beban lateral maksimum sampai dengan 978 ton dengan perpindahan atap sebesar 102 mm. Dapat diamati beban maksimum yang mampu diterima IF1 tidak sebesar yang dicapai IF2 karena berat dinding bata merah jauh lebih berat dari pada bata ringan. Model OF2, mampu menerima beban lateral sebesar 459 ton dengan perpindahan atap sebesar 140 mm Model OF1, kekakuannya merupakan yang terlemah dari ketiga model lainnya ditunjukkan dari kemiringan kurva yang paling landai yaitu mampu menerima beban 443 ton dengan perpindahan atap 140 mm.

4.4 Evaluasi Kinerja Struktur

Hasil evaluasi kinerja struktur berupa level kinerja yang ditentukan saat struktur mencapai perpindahan targetnya ditampilkan pada Tabel 3 untuk arah X dan Tabel 4 untuk arah Y.

Tabel 3. Perbandingan hasil evaluasi kinerja struktur akibat PUSH X

	PUSH X			
	BATA MERAH		BATA RINGAN	
	OF1	IF1	OF2	IF2
δ_T (mm)	119	53	101	45
V_T (ton)	364	700	356	639
Jumlah Sendi Plastis	236 B-IO 88 IO-LS	160 B-IO	276 B-IO 16 IO-LS	100 B-IO
Level Kinerja	IO	0	IO	0

Tabel 3. menunjukkan kinerja struktur masing-masing model akibat beban Pushover arah X. Model OF1 pada perpindahan atap mencapai 119 mm dengan beban yang mampu diterima sebesar 364 ton. Terdapat 88 sendi plastis yang mencapai level kinerja IO.

Model IF1 mencapai kinerjanya pada perpindahan atap mencapai 53 mm dengan beban yang diterima sebesar 700 ton. Terjadi 160 sendi plastis dalam kondisi B-IO.

Model OF2 mencapai kinerjanya saat perpindahan atap mencapai 101 mm, dengan beban yang diterima sebesar 356 ton. Terdapat 16 sendi plastis yang mencapai level kinerja IO.

Model M3, saat mencapai kinerjanya perpindahan atap mencapai 45 mm, lebih kecil dari IF1, dengan gaya geser dasar sebesar 639 ton, Terjadi 100 sendi plastis dalam kondisi B-IO.

Tabel 4. Perbandingan hasil evaluasi kinerja struktur akibat PUSH Y

	PUSH Y			
	BATA MERAH		BATA RINGAN	
	OF1	IF1	OF2	IF2
δ_T (mm)	133	65	115	55
V_T (ton)	425	693	404	626
Jumlah Sendi Plastis	210 B-IO 60 IO-LS	246 B-IO	252 B-IO 28 IO-LS	208 B-IO
Level Kinerja	IO	0	IO	0

Tabel 4. menunjukkan kinerja struktur masing-masing model akibat beban Pushover arah Y. Model OF1 pada perpindahan atap mencapai 133 mm dengan beban yang mampu diterima sebesar 425

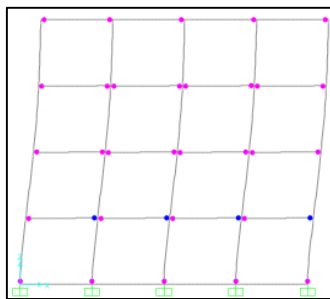
ton. Terdapat 60 sendi plastis yang mencapai level kinerja IO.

Model IF1 mencapai kinerjanya pada perpindahan atap mencapai 65 mm dengan beban yang diterima sebesar 693 ton. Terjadi 246 sendi plastis dalam kondisi B-IO.

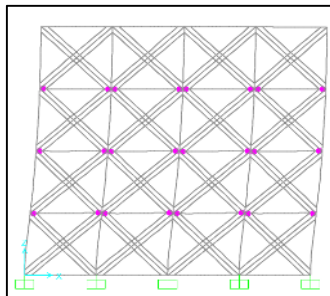
Model OF2 mencapai kinerjanya saat perpindahan atap mencapai 115 mm, dengan beban yang diterima sebesar 404 ton. Terdapat 28 sendi plastis yang mencapai level kinerja IO.

Model M3, saat mencapai kinerjanya perpindahan atap mencapai 55 mm, dengan gaya geser dasar sebesar 626 ton, Terjadi 208 sendi plastis dalam kondisi B-IO.

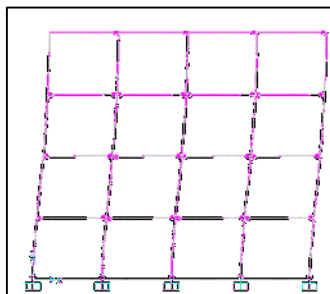
Kelelehan struktur saat mencapai perpindahan target hasil analisis Pushover dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



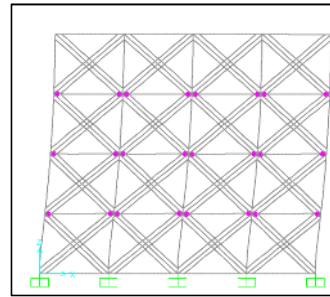
(a)



(b)



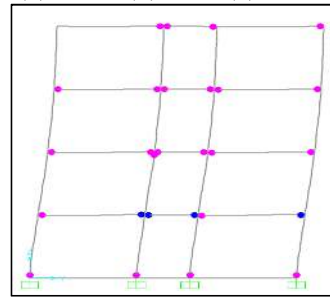
(c)



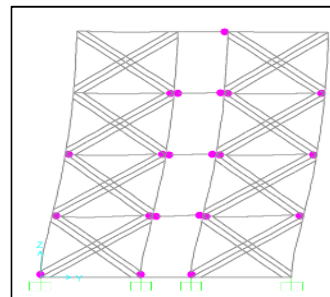
(d)

Gambar 10. Kelelehan struktur pada portal 2 saat mencapai perpindahan target akibat PUSH X

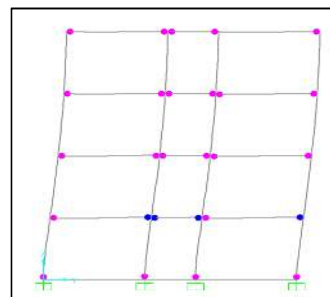
(a) OF1, (b) IF1, (c) OF2, (d) IF2



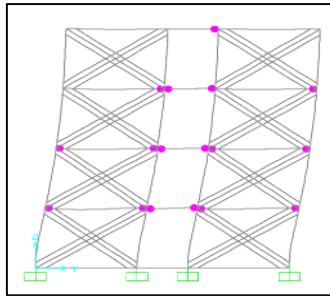
(d)



(d)



(d)



(d)

Gambar 11. Kelelehan struktur pada portal B saat mencapai perpindahan target akibat PUSH Y

(a) OF1, (b) IF1, (c) OF2, (d) IF2

5. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Analisis Perilaku Dan Kinerja Struktur Beton Bertulang Antara Analisis Dinding Pengisi Bata Merah, Bata Ringan, Dan Tanpa Dinding Pengisi (*Open Frame*) telah dilakukan dengan membuat 4 model struktur. Dari hasil analisis keempat model tersebut diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Perilaku Struktur

- a. Dari simpangan arah X, model OF1 merupakan yang terbesar dari model lainnya yaitu 19 mm. Pada model IF1 simpangan pada atap yang terjadi sebesar 5 mm, hanya 26,38% dari simpangan OF1. Sedangkan OF2 simpangan pada atap yang terjadi sebesar 3.18 kali dari model IF1 yaitu sebesar 16 mm. Pada IF2 simpangan yang terjadi sebesar 4 mm, hanya 26,88% dari simpangan OF2.
- b. Untuk simpangan arah Y, model OF1 memiliki simpangan maksimum sebesar 20 mm. Pada model IF1 simpangan pada atap yang terjadi sebesar 6 mm, hanya 31,20% dari simpangan OF1. Sedangkan OF2 simpangan pada atap yang terjadi sebesar 2.54 kali dari model IF1 yaitu sebesar 16 mm. Pada IF2 simpangan yang terjadi sebesar 5 mm, hanya 32,03% dari simpangan OF2.
- c. Dari simpangan dilihat bahwa model IF2 lebih kaku dibandingkan dengan model IF1. Hal tersebut dikarenakan berat

volume bata merah jauh lebih besar yaitu 2000 kg/m^3 sedangkan berat volume bata ringan sebesar 32,5% dari berat volume bata merah yaitu 650 kg/m^3 . Serta modulus elastisitas kedua bata tersebut tidak jauh beda yaitu 1633,5 MPa untuk bata merah dan 1750 MPa untuk bata ringan, sekitar 6.65% perbedaan modulus elastisitas kedua bata tersebut. Sedangkan kedua model IF lebih kaku di bandingkan dengan kedua model OF, hal tersebut karena pemodelan *strut* membuat perilaku struktur menjadi lebih kaku.

2. Kinerja Struktur

- a. Kurva kapasitas untuk arah X keempat model menunjukkan bahwa IF2 memiliki kemampuan menerima beban lateral yang paling besar yaitu mencapai 988 ton. Kemudian disusul dengan IF1 dengan kemampuan menerima beban lateral mencapai 922 ton, dan OF2 hanya sebesar 365 ton pada simpangan atap 100 mm. OF1 memiliki kemampuan menerima beban lateral hampir sama dengan OF2 yaitu 343 ton pada simpangan atap 100 mm.
- b. Untuk arah Y, struktur IF2 memiliki kemampuan menerima beban lateral 1060 ton. IF1 mampu menerima beban 978 ton, sedangkan OF2 menerima beban lateral 382 ton, pada simpangan atap 100 mm dan OF1 mampu menerima beban 376 ton pada simpangan atap 100 mm, hamper sama dengan OF2.
- c. Dari perbandingan hasil evaluasi kinerja struktur arah X dan arah Y, berdasarkan jumlah sendi plastis yang terjadi pada perpindahan targetnya, IF1 dan IF2 memiliki level kinerja yang sama yaitu O (*Operasional*). Sedangkan OF1 dan OF2 masing-masing mencapai level kinerja IO (*Immediate Occupancy*).

5.2 Saran

Adapun saran pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang perbandingan perilaku dan kinerja struktur dengan pemodelan dinding pengisi berlubang karna pada

kenyataan struktur bangunan terdapat pintu dan jendela yang merupakan bukaan pada dinding pengisi.

2. Kedepannya perlu dilakukan analisis perilaku dan kinerja struktur beton bertulang dengan meninjau gaya-gaya dalam serta membandingkan waktu getar struktur. Karena dalam analisis ini perilaku struktur yang ditinjau hanya simpangan struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, P., & Shrikhande, M. (2006). *Earthquake Resistance Design of Structure*. New Delhi: Prentice-Hall, of India Limited.
- American Society of Civil Engineers. (2006). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Reston: ASCE.
- American Society of Civil Engineers. (2000). *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356)*. Washington D.C.: FEMA.
- Asteris, P. G. (2008). *Finite Element Modelling of Infilled Frames*. *Electronic Journal of Civil Engineering*.
- ATC-58 Structural Performance Products Team. (2004). *Engineering Demand Parameters for Structural Framing Systems (ATC-58)*. Redwood City: ATC.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (SNI 1727:2013)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Bell, D. K., & Davidson, B. J. (2001). *Evaluation of Earthquake Risk Building with Masonry Infill Panels*. *NZSEE 2001 Conference*. Auckland.
- Building Seismic Safety Council. (1997). *NEHRP Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 273)*. Washington D.C.: FEMA.
- Buonopane, S. G., & White, R. N. (1999). *Pseudodynamic Testing of masonry Infilled Reinforced Concrete Frame*. *Jurnal of Structural engineering* 125 (6), 578-589, 1999.
- California Seismic Safety Commission. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC-40)*. Redwood City: ATC.
- Computers and Structures, Inc. (2011). *Automated Lateral Loads Manual*. Berkeley: CSI, Inc.
- Darma Giri, I. B. (2016). *Perilaku dan Kinerja Struktur Rangka Baja dengan Dinding Pengisi dan Tanpa Dinding Pengisi*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)*. Bandung: Puskim.
- Dewobroto, W. (2005). *Analisa Inelastis Portal - Dinding Pengisi dengan "Equivalent Diagonal Strut"*. *Jurnal Teknik Sipil ITB*. 83
- Dewobroto, W. (2005). *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*. *Civil Engineering National Conference, 17-18 Juni 2005*. Semarang: Unika Soegijapranata.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Ikhsansaleh, D. (2010, December 10). *Review Kegagalan Struktur Beton Akibat Gempa*. Console Talk FT UI: Terbaik 1. Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia: Teknika FT UI.
- International Code Council. (2006). *International Building Code 2006*. U.S.A.: ICC, Inc

- Murty, C., Brzev, S., Faison, H., Comartin, C. D., & Irfanoglu, A. (2006). *Perilaku Bangunan Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Dinding Pengisi dari Bata Terhadap Gempa*. Oakland: EERI.
- Smith, B. S., & Coull, A. (1991). *Tall Building Structures: Analysis and Design*. John Wiley & Son, Inc.
- Sukrawa, M., & Suastika, N. (2013). *Design Aspect of Including Infill Wall in Reinforced Concrete Frame Design. The 4th International Conference of EACEF, June, 26-28 2013*. Singapore: National University of Singapore.
- Tjahjanto, H. H., & Imran, I. (2009). *Kajian Performance Struktur Portal Beton Bertulang dengan Dinding Pengisi. Seminar dan Pameran HAKI*. HAKI.
- Tubuh, I. K. (2014). *Analisis Perilaku dan Kinerja Struktur Rangka Dinding Pengisi dengan Variasi Penempatan Dinding Pada Lantai Dasar*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Utomo, C., Susanto, R. I., Tujono, S., & Wibowo, H. (2012). *Evaluasi Struktur dengan Pushover Analysis pada Gedung Kalibata Residences Jakarta*. Jurnal Karya Teknik Sipil .
- Vaseva, E. (2009). *Seismic Analysis of Infilled R/C Frame with Implementation of A Masonry Panel Models. 11th National Congress on Theoretical and Applied Mechanism*. Borovets
- Wibowo, Purwanto, E., & Yanto, D. (2010). *Menentukan Level Kinerja Struktur Beton Bertulang Pasca Gempa*. Media Teknik Sipil , 49-54.
- Wiranata, I. M. (2015). *Analisis Sistem Dinding Bata Sebagai Strut Dengan Sistem Open Frame*. Denpasar: Universitas Warmadewa.