

## **ANALISIS PENGARUH *INFILL FRAME WITH CONFINED OPENINGS* (IFcO) PADA GAYA AKSIAL KOLOM**

*Putu Ryan Priyatna*<sup>1)</sup>, *I Putu Pandu Rusmana*<sup>2)</sup>, *I Gusti Agung Arie Krismayanti*<sup>3)</sup>,  
*Putu Ogi Suryadinata*<sup>4)</sup>, *Sagung Istri Pramitari Wima Devi*<sup>5)</sup>

E-mail : [ryanpriyatna@pnb.ac.id](mailto:ryanpriyatna@pnb.ac.id)<sup>1)</sup>, [pandurusmana@pnb.ac.id](mailto:pandurusmana@pnb.ac.id)<sup>2)</sup>, [ariekrismayanti@pnb.ac.id](mailto:ariekrismayanti@pnb.ac.id)<sup>3)</sup>,  
[ogisuryadinata@pnb.ac.id](mailto:ogisuryadinata@pnb.ac.id)<sup>4)</sup>, [pramiwima@pnb.ac.id](mailto:pramiwima@pnb.ac.id)<sup>5)</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> *Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bali, Jimbaran, Badung*

### **ABSTRAK**

Dalam perencanaan struktur, dinding non-struktural umumnya dianggap hanya berperan sebagai beban mati. Namun, saat terjadi gempa, dinding dapat berinteraksi dengan portal sehingga meningkatkan kekakuan bangunan. Bukaan pada dinding merupakan elemen yang umum diterapkan dalam perancangan bangunan. Sistem *Infill Frame with Confined Openings* (IFcO), yang menggunakan balok dan kolom beton bertulang sebagai elemen pembatas bukaan, berfungsi sebagai mekanisme pengekan untuk meningkatkan kinerja dan keandalan struktur, terutama pada wilayah yang memiliki tingkat kerawanan gempa tinggi. Dengan adanya pengekan, kolom dapat bekerja lebih optimal dan risiko terjadinya *overstress* selama guncangan kuat dapat dikurangi. Analisis yang dilakukan bertujuan untuk memperkuat bukti keberadaan IFcO dapat memperkecil gaya aksial pada kolom. Sehingga analisis secara *Open Frame* dinilai memberikan faktor keamanan yang lebih tinggi. Keberadaan IFcO memperpendek periode getar (T) dinamik dibandingkan T statis maksimum, sehingga struktur menjadi lebih kaku. Peningkatan kekakuan menyebabkan peningkatan nilai *base shear* yang harus dievaluasi agar memenuhi SNI 1726:2019, dan mungkin memerlukan pembesaran dimensi elemen atau penambahan tulangan. IFcO juga meningkatkan kinerja lateral secara signifikan dimana *drift* antar lantai menurun hingga 75%. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh strut penahan gempa tidak retak karena tegangan masih berada dalam batas yang diizinkan. Distribusi beban gempa yang lebih merata meningkatkan kekakuan portal dan mengurangi beban aksial pada kolom melalui penyaluran beban lebih besar ke dinding. Dengan kontribusi IFcO, penurunan beban aksial ini mungkin menjadikan model *Open Frame* sebagai opsi lebih baik untuk desain pondasi, selama faktor lain seperti gaya geser dan momen pondasi tetap diperhitungkan.

**Kata kunci:** *Infill Frame with Confined Openings* (IFcO), kekakuan struktur, *drift* antar lantai, gaya aksial.

### **ABSTRACT**

*In structural design, non-structural walls are typically considered contributors to dead load. During earthquakes, these walls interact with the surrounding frame and add to the overall stiffness of the building. Wall openings are common in building design. The Infill Frame with Confined Openings (IFcO) system, using reinforced concrete beams and columns as boundary elements, acts as a confinement mechanism to enhance structural performance and reliability, especially in earthquake-prone regions. With this confinement, columns perform more effectively, reducing the likelihood of overstress during severe ground shaking. Analysis aims to strengthen evidence that IFcO minimizes axial forces on columns. Consequently, an Open Frame analysis is considered to provide a higher safety factor. The presence of IFcO shortens the dynamic natural period compared to the maximum static period, resulting in a stiffer structural response. This increased stiffness leads to higher base shear demands, which must be evaluated for SNI 1726:2019 compliance and may necessitate larger member sizes or additional reinforcement. IFcO also significantly improves lateral performance where inter-story drift can be reduced up to 75%. Analysis shows that all seismic-resisting struts remain uncracked, as stress levels are within allowable limits. A more uniform seismic load distribution increases frame stiffness and reduces axial forces in columns by transferring more load to the walls. These reduced axial forces suggest that an Open Frame model may offer advantages for foundation design, provided that shear and moment demands are also accounted for.*

**Keywords:** *Infill Frame with Confined Openings (IFCO), structural stiffness, inter-story drift, axial force.*

## 1. PENDAHULUAN

Sistem struktur gedung secara umum dapat dibedakan menjadi sistem rangka terbuka (*open frame*) dan sistem rangka dinding pengisi (*infilled frame*). Sistem *infilled frame* merupakan sistem di mana dinding pengisi berperan dalam menahan beban lateral, sehingga tidak hanya dianggap sebagai elemen non-struktural yang berfungsi sebagai beban mati. Pada perencanaan konvensional, dinding biasanya diasumsikan hanya menambah berat mati pada struktur. Namun, pada kondisi gempa besar, interaksi antara dinding dan portal struktur dapat menurunkan momen dan perpindahan hingga 28,76% (Bastian, 2020) menunjukkan kontribusi signifikan dinding terhadap kinerja lateral.

Bukaan pada dinding merupakan elemen umum dalam konstruksi gedung, tetapi bukaan ini dapat memengaruhi kekakuan dan kekuatan lateral struktur. Untuk itu, perkuatan bukaan menggunakan kolom dan balok beton bertulang dirancang sebagai pengekang, sehingga meningkatkan keandalan sistem struktur pada daerah rawan gempa. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa bahkan dengan rasio bukaan hingga 80%, model *Infill Frame with Confined Openings* (IFCO) tetap menunjukkan kekuatan dan kekakuan lebih besar dibandingkan *open frame* (Budiwati & Sukrawa, 2018).

Selain pengaruhnya terhadap momen dan perpindahan, interaksi dinding dengan portal juga memengaruhi distribusi gaya internal pada kolom. Dalam model IFCO, dinding yang diperkuat dengan kolom dan balok pengekang ikut menahan sebagian gaya lateral akibat gempa, sehingga kolom dapat bekerja lebih efisien dan risiko *overstress* akibat beban gempa dapat diminimalkan. Perilaku elastis struktur pada tahap awal juga penting, karena memberikan gambaran distribusi gaya awal, simpangan (*drift*) antar lantai, dan kekakuan lateral global sebelum struktur memasuki tahap plastis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi geometri dan konfigurasi bukaan IFCO terhadap gaya aksial dan distribusi momen pada kolom, baik dalam kondisi aksial murni maupun aksial-lentur serta memperkuat bukti bahwa keberadaan IFCO dapat memperkecil gaya aksial pada kolom. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan panduan dalam perancangan dinding pengisi yang aman dan efisien, khususnya untuk gedung bertingkat rendah hingga menengah di wilayah rawan gempa.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Konsep Sistem Rangka Berisi Dinding (*Infilled Frame System*)

Sistem rangka berisi dinding (*infilled frame system*) merupakan sistem struktural yang memadukan rangka beton bertulang dan dinding pengisi berupa pasangan bata atau beton ringan, yang berperan dan berinteraksi secara struktural. Dinding pengisi yang semula dianggap non-struktural ternyata memberikan kontribusi signifikan terhadap kekakuan dan kekuatan lateral bangunan, terutama pada kondisi elastis awal. Penelitian terdahulu menjelaskan bahwa perilaku interaksi antara dinding dan rangka dapat dimodelkan secara sederhana menggunakan elemen batang tekan diagonal ekuivalen (*equivalent diagonal strut*), di mana lebar efektif strut ditentukan oleh kekakuan relatif antara rangka dan dinding (Stafford, 1966; Mainstone, 1971). Model ini kemudian menjadi dasar banyak penelitian dan perangkat analisis struktur modern. Penelitian lain memperkenalkan model nonlinier yang memperhitungkan retak diagonal serta lepasnya dinding dari rangka (Kwan & Liauw, 1984), dan dikembangkan model makro dua-strut paralel yang lebih representatif terhadap perilaku aktual dinding bata (Crisafulli & Carr, 2007).

Di Indonesia, penelitian mengenai *Infilled Frame* menunjukkan bahwa dinding pengisi mampu meningkatkan kekakuan lateral dan mengurangi *drift* antar lantai pada bangunan bertingkat rendah (Medriosa et al., 2022). Namun, distribusi dinding yang tidak merata dapat menimbulkan mekanisme *soft story* pada lantai bawah. Dengan demikian, sistem rangka berisi dinding dapat dianggap sebagai sistem komposit yang berperilaku elastis pada tahap awal pembebanan, dan

penting untuk dimasukkan dalam analisis struktur agar hasil desain lebih akurat serta realistis terhadap kondisi lapangan.

## 2.2 Model Batang Diagonal Ekuivalen (*Equivalent Diagonal Strut Model*)

Model batang diagonal ekuivalen pertama kali diperkenalkan (Holmes, 1961) dan kemudian dikembangkan (Stafford Smith & Carter, 1969). Konsep dasar model ini adalah mengganti bidang dinding pengisi dengan satu batang tekan diagonal yang meniru perilaku kekakuan dinding tersebut terhadap rangka.

Lebar efektif batang diagonal ditentukan berdasarkan parameter geometri dan sifat material, seperti kekuatan tekan dinding ( $f'_c$ ), ketebalan dinding ( $t$ ), tinggi bukaan ( $h$ ), panjang bukaan ( $L$ ), serta sudut diagonal ( $\theta$ ). Sejumlah penelitian lanjutan telah mengusulkan berbagai formulasi untuk menentukan lebar batang diagonal (Mainstone, 1971)(Kwan & Liauw, 1984).

Model ini kemudian berkembang menjadi model *infilled frame* dengan bukaan (*Infilled Frame with Openings* – IFwO) dan *infilled frame* dengan bukaan terkekang (*Infilled Frame with Confined Openings* – IFcO), yang mempertimbangkan pengaruh bukaan jendela atau pintu terhadap kekakuan sistem (Budiwati & Sukrawa, 2018).

(1)

(2)

(3)

(4)

## 2.3 Perilaku Elastis pada Struktur *Infilled Frame*

Pada tahap elastis, respons struktur *infilled frame* ditentukan oleh pembagian gaya antara rangka dan dinding pengisi. Penelitian terbaru mengonfirmasi bahwa dinding pengisi secara efektif memikul beban lateral awal dan mereduksi simpangan antar lantai, namun beban yang lebih besar memicu ketidakaturan interaksi rangka-dinding yang menyebabkan redistribusi gaya internal secara signifikan (Sattar & Liel, 2016).

Perilaku elastis ini sangat penting untuk memahami respons awal bangunan terhadap gempa ringan atau beban angin, di mana struktur belum mengalami retak signifikan. Analisis elastis juga menjadi dasar untuk menilai kekakuan lateral global, periode alami struktur ( $T$ ), serta distribusi gaya gempa pada setiap lantai.

## 2.4 Pengaruh Dinding Pengisi terhadap Respons Struktur

Dinding pengisi secara signifikan meningkatkan kekakuan lateral dibandingkan rangka terbuka (*bare frame*). Penelitian terbaru (Sattar & Liel, 2016) menunjukkan bahwa keberadaan dinding pengisi dapat memberikan pengaruh sebagai berikut:

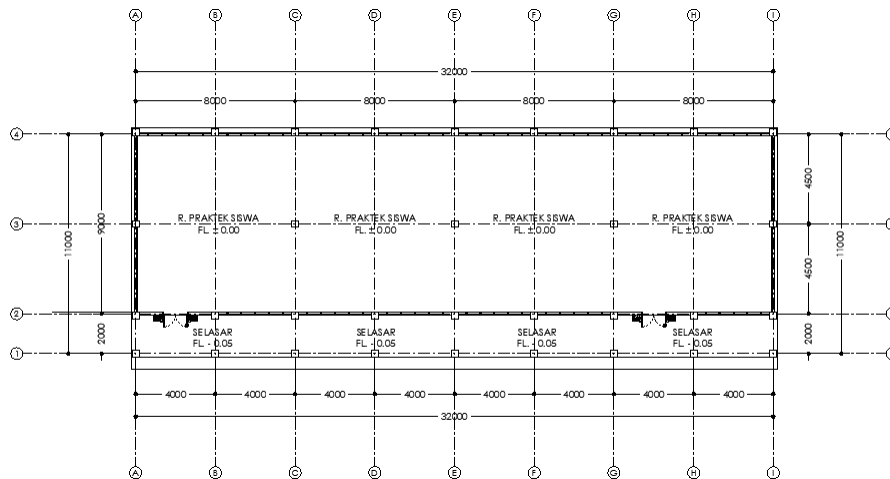
1. Mereduksi simpangan antar lantai (*interstory drift*) secara drastis melalui peningkatan kekakuan lateral awal struktur.
2. Meningkatkan frekuensi alami struktur, yang memperpendek periode getar fundamental sehingga mengubah respons dinamik terhadap beban gempa (Furtado et al., 2015).

3. Mengubah distribusi gaya geser antar lantai, di mana dinding menyerap sebagian besar gaya lateral pada tahap elastis sebelum terjadi retak (Asteris et al., 2012).
4. Menimbulkan risiko mekanisme lantai lunak (*soft story*) dan efek kolom pendek (*short column*) apabila konfigurasi dinding pengisi tidak merata secara vertikal atau terdapat bukaan yang tidak terkekang (Messaoudi et al., 2022).

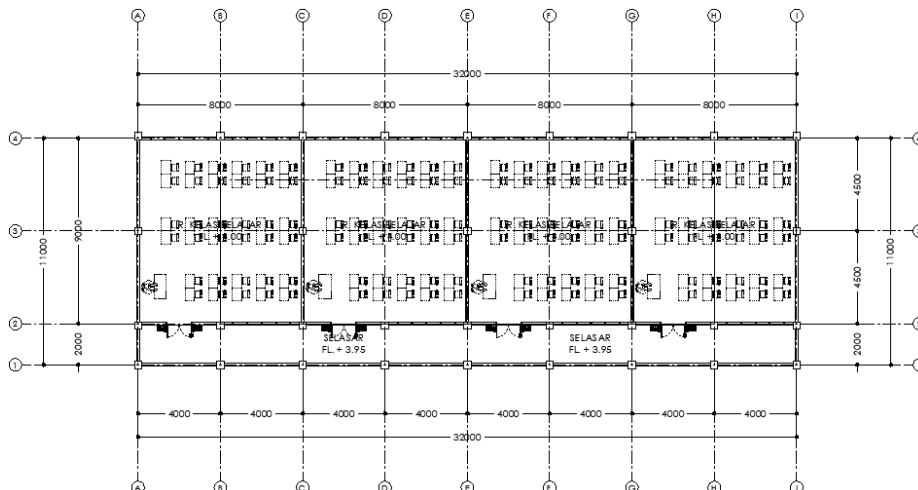
Oleh karena itu, keberadaan dinding pengisi harus dipertimbangkan dalam analisis struktur, khususnya pada perencanaan gedung bertingkat rendah hingga menengah, seperti gedung 3 lantai.

### 3. METODE

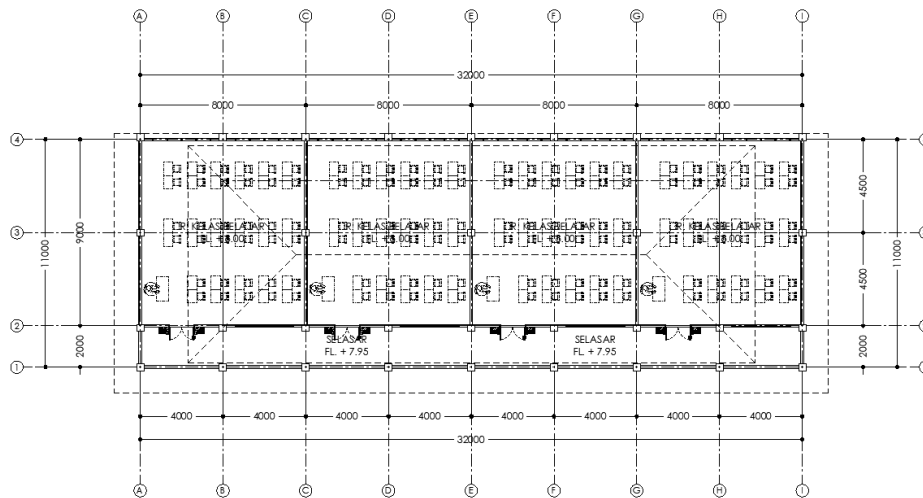
Analisis yang dilakukan adalah dengan menggunakan perangkat lunak analisis struktur berbasis elemen hingga. Studi kasus menggunakan gambar Perencanaan Gedung Ruang Kelas SMK Pratama Widya Mandala yang berada di Kabupaten Badung, Provinsi Bali. Properti material baja dan beton masing-masing mengacu pada nilai pada Tabel 1 dan Tabel 2. Elemen pelat dimodelkan sebagai *shell element*, balok dimodelkan dengan *frame element* dengan desain tulangan pada balok (*reinforcement to be designed*) dan kolom dimodelkan sebagai *frame element* dengan verifikasi tulangan pada kolom (*reinforcement to be checked*). Pembebanan struktur mengikuti kondisi gedung aktual sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1–3 serta mengacu pada standar (Badan Standarisasi Nasional, 2020; Badan Standarisasi Nasional, 2019). Strut dimodelkan sebagai elemen batang tekan dengan harapan dapat menerima tekan dan tidak menerima tarik. Material strut dimodelkan mengikuti model pada Tabel 3 (Sukrawa & Budiwati, 2019) dengan lebar yang bervariasi sesuai dengan rasio lubang yang ada pada dinding (Budiwati & Sukrawa, 2018).



Gambar 1. Tata letak ruangan lantai 1



Gambar 2. Tata letak ruangan lantai 2



Gambar 3. Tata letak ruangan lantai 3

Tabel 1. Data properties beton

Jenis Beton	Berat jenis (kg/m <sup>3</sup> )	f'c (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)
Beton Normal	2400	25	4700√(f'c)

Tabel 2. Data properties baja tulangan

Jenis Tulangan	Berat jenis (kg/m <sup>3</sup> )	fy (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)
Tulangan Lentur	7850	420	200.000
Tulangan Geser	7850	280	200.000

Tabel 3. Data properties strut

Jenis Tulangan	Berat jenis (kg/m <sup>3</sup> )	fy (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)
Strut	0	3	3.000

Tabel 4. Data lebar strut

Tipe Strut	d' (m)	θ	Rasio Lubang/Dinding (r)	C
Strut 1	5,19	38,75	0%	1,10
Strut 2	5,19	38,75	20%	0,70
Strut 3	5,19	38,75	26%	0,60

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis, model *Open Frame* menghasilkan periode getar (T) dinamik sebesar 0,719 (arah X) dan 0,676 (arah Y). Dari hasil yang didapat keduanya melebihi T statik maksimum sebesar 0,55. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur bersifat lebih elastis karena kolom berperan sebagai elemen utama penahan gempa tanpa dukungan pengaku.

Gaya geser dasar (*base shear*) statik (Vs) ditentukan berdasarkan T statik sebagai nilai terkecil dan diperoleh sebesar 1.143.142,57 N, dengan mempertimbangkan beberapa faktor seperti modifikasi respons (R), keutamaan gempa (I), serta massa bangunan. Sementara itu, hasil dari analisis dinamik (Vt) menunjukkan nilai *base shear* yang terjadi sebesar 1.203.387,00 N pada arah

X dan 1.286.114,00 N pada arah Y. Nilai tersebut telah memenuhi ketentuan SNI 1726:2019, yang mensyaratkan  $V_t$  tidak lebih kecil dari  $V_s$ .

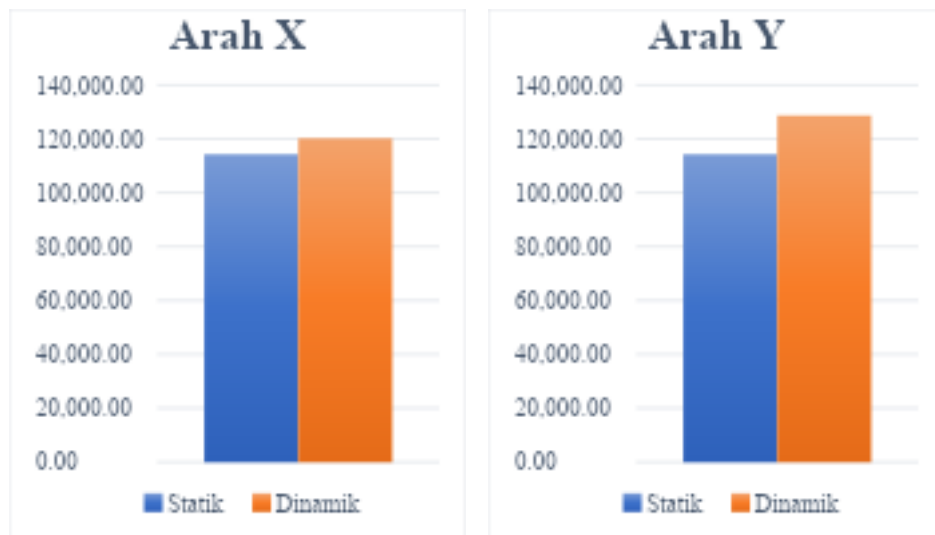
*Interstory drift* ( $\Delta$ ) ditentukan dari selisih perpindahan pusat massa antara lantai yang ditinjau. Batas simpangan ditetapkan berdasarkan tingkat risiko dan tinggi lantai bangunan.

Tabel 5. Nilai  $V_s$  dan  $V_t$  pada model *Open Frame*

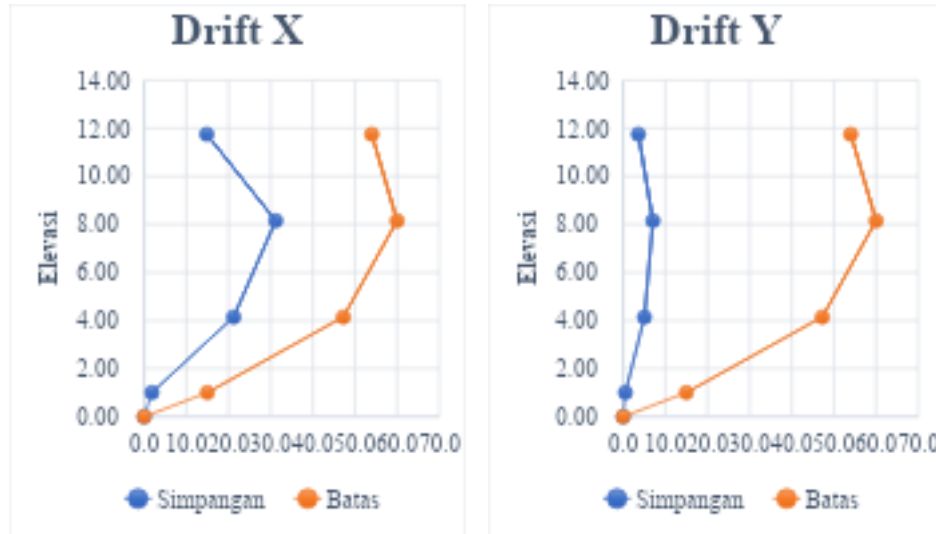
Dinamik (N)	Statik (N)	Rasio
1.203.387,00	1.143.142,57	0,950
1.286.114,00	1.143.142,57	0,889

Tabel 6. Perpindahan & *drift* pada model *Open Frame*

Lantai	Elevation (m)	Perpindahan		Drift	
		X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
Atap	11,75	18,9	4,4	14,8	3,6
Lantai 3	8,15	14,8	3,4	31,2	7,1
Lantai 2	4,15	6,3	1,5	21,2	5,0
Lantai 1	1,00	0,5	0,1	1,8	0,5
Pondasi	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0



Gambar 4. Nilai  $V_s$  dan  $V_t$  pada model *Open Frame*



Gambar 5. Interstory drift pada model Open Frame

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, model IFcO menghasilkan T dinamik X sebesar 0,309 dan Y sebesar 0,243 dimana hasilnya lebih kecil dari T statik maksimum yaitu sebesar 0,55. Struktur menjadi lebih kaku karena adanya kontribusi dinding pengisi IFcO dalam menahan gempa.

Nilai  $V_s$  dihitung berdasarkan T terkecil dan menghasilkan nilai sebesar 2.046.084,14 N pada arah X dan 2.601.810,70 N pada arah Y. Peningkatan kekakuan struktur berkontribusi terhadap naiknya *base shear*. Sementara itu, hasil analisis dinamik menunjukkan  $V_t$  sebesar 2.218.201,00 N pada arah X dan 2.406.659,00 N pada arah Y. Nilai pada arah Y dikalikan dengan faktor skala  $\frac{V_s}{V_t}$  untuk memenuhi ketentuan SNI 1726 2019, yang mensyaratkan  $V_t \geq V_s$ . Peningkatan skala gempa berdampak pada kebutuhan peningkatan kapasitas struktur, baik dari segi dimensi elemen maupun tulangan.

*Drift* ( $\Delta$ ) ditentukan dari selisih perpindahan pusat massa antara lantai, dengan batas ijin ( $\Delta_{ijin}$ ) mengacu pada tinggi lantai dan tingkat risiko bangunan. Kontribusi sistem IFcO dalam menahan beban gempa terbukti mampu menurunkan *interstory drift* hingga mencapai 75%.

Tegangan yang terjadi pada strut tidak boleh melebihi tegangan ijin untuk dapat mempertahankan dinding pengisi dari keretakan struktural akibat beban gempa. Dari hasil analisis didapatkan seluruh strut yang menerima beban gempa berada dalam kondisi tidak mengalami keretakan.

Dengan mempertimbangkan IFcO pada struktur bangunan, nilai gaya aksial pada kolom menurun. Baik pada kolom dengan kondisi mendekati dominan aksial maupun kombinasi aksial bending. Pada model Open Frame, kolom dengan kondisi mendekati aksial yang menerima gaya sebesar 838.435 N menurun menjadi 736.503 N. Kolom dengan kondisi kombinasi aksial-lentur yang menerima gaya sebesar 823.038 N menurun menjadi 763.989 N. Pengaruh analisis dengan mempertimbangkan IFcO pada kolom dengan kondisi aksial menurunkan gaya aksial sebesar 87,84%. Sedangkan pada kolom dengan kondisi aksial-lentur, analisis dengan mempertimbangkan IFcO menurunkan gaya aksial sebesar 92,83%. Dinding menambah kekakuan portal sehingga beban gempa tersalurkan lebih banyak ke dinding yang membuat kolom menerima gaya aksial lebih kecil. Dalam melakukan desain pondasi, pemilihan tipe pemodelan struktur secara *Open Frame* dapat dipergunakan karena menunjukkan aksial yang lebih besar yang akan meningkatkan faktor keamanan dalam desain. Namun hal lain terkait parameter desain pondasi seperti gaya geser ( $V$ ) dan momen ( $M$ ) yang terjadi harus tetap dipertimbangkan.

Tabel 7. Nilai  $V_s$  pada masing-masing model

Model	Arah X (N)	Arah Y (N)
-------	---------------	---------------

Open Frame	1.143.142,57	2.046.084,14
IFcO	1.143.142,57	2.601.810,70

Tabel 8. Nilai Vs dan Vt pada model IFcO

Dinamik (N)	Statik (N)	Rasio
2.218.201,00	2.046.084,14	0,922
2.406.659,00	2.601.810,70	1,081

Tabel 9. Perpindahan & drift pada model IFcO

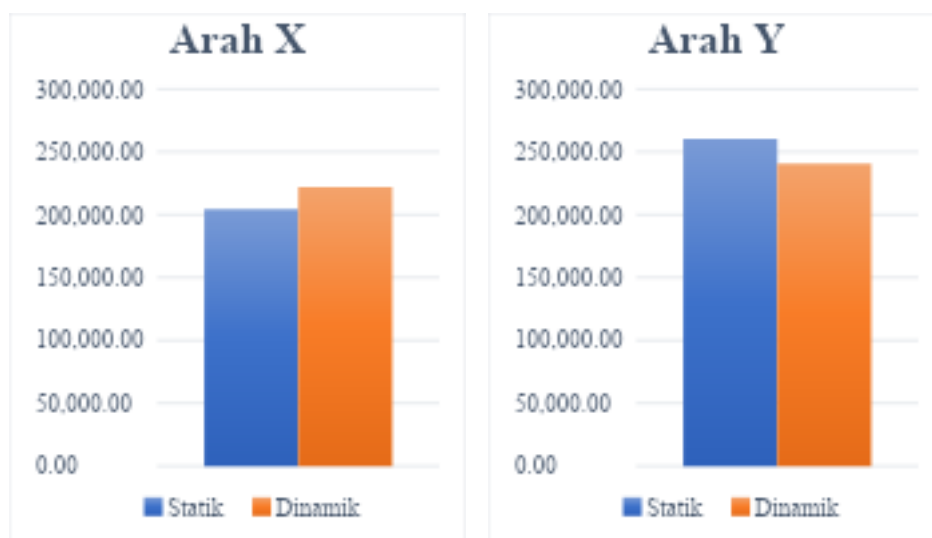
Lantai	Elevation (m)	Perpindahan		Drift	
		X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
Atap	11,75	3,7	1,5	-3,7	-1,9
Lantai 3	8,15	3,1	1,2	-3,1	-1,5
Lantai 2	4,15	1,7	0,8	-1,7	-0,8
Lantai 1	1,00	0,4	0,2	-0,4	-0,2
Pondasi	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabel 10. Tegangan & kondisi strut

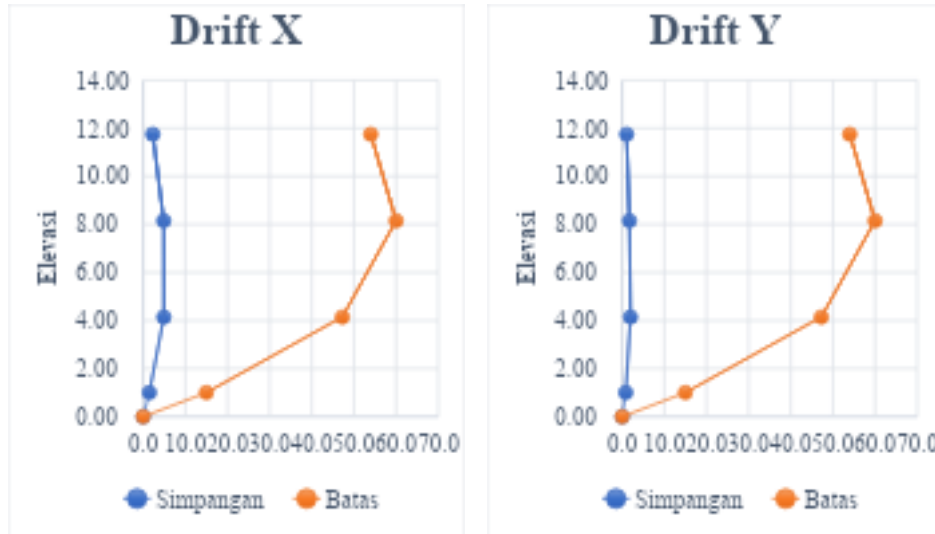
Tipe Strut	Luas Strut mm <sup>2</sup>	Aksial Tekan Strut (N)	Tegangan pada Strut (N/mm <sup>2</sup> )	Kondisi Strut
Strut 1	266.225	288.588	1,084	Tidak Hancur
Strut 2	169.559	132.654	0,782	Tidak Hancur
Strut 3	145.207	116.963	0,805	Tidak Hancur

Tabel 11. Aksial pada kolom

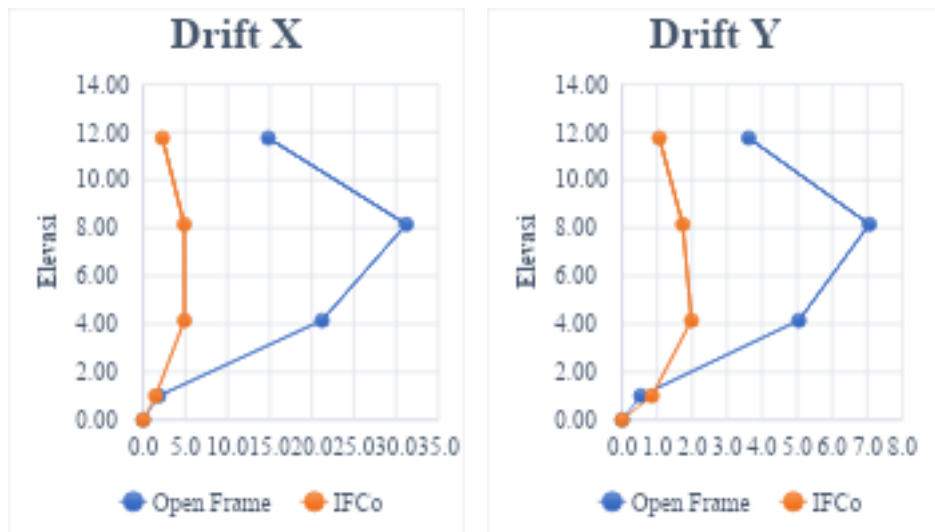
Kondisi	Open Frame (N)	IFcO (N)	Persentase
K1 (Aksial-lentur)	823.038	763.989	92,83%
K2 (Aksial)	838.435	736.503	87,84%



Gambar 6. Base shear pada model IFcO



Gambar 7. *Interstory drift* pada model IFcO



Gambar 7. *Interstory drift* pada model *Open Frame* & IFcO

## 5. KESIMPULAN

Strut diagonal tekan yang digunakan pada model IFcO menunjukkan performa yang baik dalam menerima distribusi gaya gempa. Tegangan yang terjadi pada strut diagonal tidak melebihi tegangan ijin sehingga seluruh dinding dapat diasumsikan tidak mengalami retak struktural. IFcO menyumbang kekakuan yang signifikan pada struktur bangunan gedung yang mengakibatkan T dinamik yang dialami gedung menjadi lebih kecil hingga di bawah T statik. Penurunan T mengakibatkan pembesaran nilai *base shear* pada gedung yang menyebabkan model IFcO perlu mempertimbangkan adanya pembesaran kapasitas elemen struktur. Dengan peningkatan kekakuan yang terjadi, perpindahan lateral antar lantai dapat diperkecil sehingga *interstory drift* juga dapat diperkecil hingga mencapai 75%. Terdistribusinya beban gempa dengan baik dapat menambah kekakuan portal sehingga beban gempa tersalurkan lebih banyak ke dinding yang membuat kolom menerima gaya aksial lebih kecil. Penurunan beban aksial pada kolom akibat mempertimbangkan keberadaan IFcO membuat model Open Frame mungkin menjadi pilihan yang lebih aman dalam melakukan desain pondasi dengan tetap mempertimbangkan parameter lain seperti adanya gaya geser dan gaya momen pada pondasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asteris, P. G., Giannopoulos, I. P., & Chrysostomou, C. Z. (2012). *Send Orders of Reprints at reprints@benthamscience.org The Open Construction and Building Technology Journal* (Vol. 6).
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung (SNI 1726 2019)*. (Jakarta).
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727 2020)*. (Jakarta).
- Bastian, E. (2020). *Analisis Pengaruh Infilled Frame Terhadap Displacement Struktur Rangka*.
- Budiwati, I. A. M., & Sukrawa, M. (2018). Development of diagonal strut width formula for infill wall with reinforced opening in modeling seismic behavior of RC infilled frame structures. *AIP Conference Proceedings, 1977*. <https://doi.org/10.1063/1.5042918>
- Crisafulli, F. J., & Carr, A. J. (2007). Proposed macro-model for the analysis of infilled frame structures. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 40(2)*, 69–77. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.40.2.69-77>
- Furtado, A., Rodrigues, H., & Arêde, A. (2015). Modelling of masonry infill walls participation in the seismic behaviour of RC buildings using OpenSees. *International Journal of Advanced Structural Engineering (IJASE), 7(2)*, 117–127. <https://doi.org/10.1007/s40091-015-0086-5>
- Holmes, M. (1961). Steel Frames with Brickwork and Concrete Infilling. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 19(4)*, 473–478. <https://doi.org/10.1680/iicep.1961.11305>
- Kwan, K.-H., & Liauw, T.-C. (1984). Nonlinear analysis of integral infilled frames. *Engineering Structures, 6(3)*, 223–231. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0141-0296\(84\)90049-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0141-0296(84)90049-X)
- Mainstone, R. J. (1971). Summary of Paper 7360. on The Stiffness and Strengths of Infilled Frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 49(2)*, 230. <https://doi.org/10.1680/iicep.1971.6267>
- Medriosa, H., Maidiawati, Tanjung, J., & Zaidir. (2022). Analytical Study on Effect of Central Opening of Masonry Infill to The Lateral Strength of RC Frame Structure. *Journal of Applied Engineering Science, 20(3)*, 745–753. <https://doi.org/10.5937/jaes0-35912>
- Messaoudi, A., Chebili, R., Mohamed, H., & Rodrigues, H. (2022). Influence of Masonry Infill Wall Position and Openings in the Seismic Response of Reinforced Concrete Frames. *Applied Sciences, 12(19)*. <https://doi.org/10.3390/app12199477>
- Sattar, S., & Liel, A. B. (2016). Seismic performance of nonductile reinforced concrete frames with masonry infill walls - II: Collapse assessment. *Earthquake Spectra, 32(2)*, 819–842. <https://doi.org/10.1193/091514EQS141M>
- Stafford, S. B. (1966). Behavior of Square Infilled Frames. *Journal of the Structural Division, 92(1)*, 381–404. <https://doi.org/10.1061/JSDEAG.0001387>
- Stafford Smith, B., & Carter, C. (1969). A Method of Analisis for Infilled Frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 44(1)*, 31–48. <https://doi.org/10.1680/iicep.1969.7290>
- Sukrawa, M., & Budiwati, I. A. M. (2019). Analysis and design methods for infilled frames with confined openings. *International Journal of Technology, 10(2)*, 394–404. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i2.2467>