

## STUDI TENTANG DIAFRAGMA KAKU DAN SEMI - KAKU PADA STRUKTUR GEDUNG DENGAN KETIDAKBERATURAN VERTIKAL

Samsul A Rahman Sidik Hasibuan<sup>1✉</sup>, Yuan Anisa<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Medan Area, Indonesia

DOI: 10.26623/teknika.v17i2.5252

### Info Artikel

*Sejarah Artikel:*

Disubmit 27 Juni 2022

Direvisi 7 Agustus 2022

Disetujui 28 Oktober 2022

*Keywords:*

*rigid diaphragm ; semi-rigid diaphragms; irregular structures*

### Abstrak

Umumnya para insinyur cenderung menganggap bahwa diafragma struktur bangunan adalah kaku, tetapi arsitek sering merencanakan bangunan yang ramping menyebabkan analisis diafragma kaku tidak tepat digunakan. Diafragma kaku dan semi-kaku berperilaku berbeda. Fleksibilitas diafragma mempengaruhi distribusi gaya lateral ke komponen vertikal elemen penahan gaya lateral dalam suatu struktur, diafragma semi-kaku mendistribusikan gaya lateral berdasarkan kekakuan pelat. Bangunan beraturan tidak memiliki diskontinuitas massa, kekakuan atau kekuatan, secara horizontal atau vertikal yang signifikan. Sebaliknya, bangunan tidak beraturan memiliki diskontinuitas yang menyebabkan konsentrasi gaya dan deformasi di mana diskontinuitas terjadi. Tulisan ini bertujuan untuk mengamati pengaruh penggunaan diafragma kaku dan semi-kaku pada model struktur dengan ketidakberaturan vertikal. Model yang diusulkan dianalisis menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS Nonlinear melalui analisis beban dorong statik nonlinier. Selanjutnya, dalam tulisan ini diperoleh beberapa kesimpulan diantaranya nilai geser dasar maksimum untuk diafragma kaku struktur meningkat sebesar 115 kN untuk analisis beban dorong statik nonlinier disebabkan oleh peningkatan massa struktur dan diafragma kaku lebih efisien dalam mengurangi perpindahan dibandingkan diafragma semi-kaku, dimana perpindahan berkurang sebesar 8%. Bentuk deformasi struktur terlihat memiliki perbedaan dalam hal ini nilai periode 1 dan 2, namun tidak terlalu signifikan.

### Abstract

*In general, engineers tend to assume that the diaphragm of a building structure is rigid, but architects often plan lean buildings so that rigid diaphragm analysis is not appropriate. Rigid and semi-rigid diaphragms behave differently. The flexibility of the diaphragm affects the distribution of lateral forces to the vertical components of the lateral force resisting elements in a structure, semi-rigid diaphragms distribute lateral forces based on the stiffness of the slab. Ordinary buildings have no significant discontinuities in mass, stiffness, or strength, horizontally or vertically. On the other hand, irregular buildings have discontinuities that cause concentration of forces and deformations where the discontinuities occur. This paper aims to observe the effect of rigid and semi-rigid diaphragms on structural models with vertical irregularities. The proposed model was analyzed using ETABS Nonlinear software through nonlinear static pushover analysis. Furthermore, several conclusions are obtained: The maximum base shear value for rigid diaphragm structures increases by 115 kN for nonlinear static pushover analysis caused by the rise in the structure's mass. Rigid diaphragms are more efficient at reducing displacement than semi-rigid diaphragms, where the displacement is reduced by 8%. The deformed shape of the structure seems to have a difference, in this case, the value of periods 1 and 2, but it is not too significant.*

✉ Alamat Korespondensi:

## PENDAHULUAN

Diafragma adalah elemen struktur yang meneruskan beban lateral ke elemen penahan vertikal (seperti dinding geser, rangka). Diafragma biasanya horizontal, tetapi dapat dimiringkan seperti di atap pelana pada struktur kayu atau jalan beton di garasi parkir. Gaya diafragma cenderung ditransfer ke vertikal elemen penahan terutama melalui tegangan geser dalam bidang. Biasanya para insinyur cenderung berpendapat jika diafragma struktur bangunan merupakan kaku, namun arsitek kerap merancang bangunan yang ramping yang menimbulkan analisis diafragma kaku tidak pas digunakan. Diafragma kaku serta semi-kaku berperilaku berbeda. Dalam hal ini dapat menyebabkan kerusakan jika asumsi untuk desain tidak sesuai.

Beban lateral yang paling umum untuk menahan dari aksi angin dan gempa, tetapi beban lateral lainnya seperti tekanan tanah lateral atau tekanan hidrostatis juga dapat ditahan oleh aksi diafragma. Diafragma suatu struktur sering berfungsi ganda sebagai sistem lantai atau sistem atap pada bangunan, atau dek jembatan, yang secara bersamaan mendukung beban gravitasi. Diafragma biasanya dibuat dari kayu lapis atau papan di dek logam konstruksi kayu atau logam komposit dalam konstruksi baja atau pelat beton dalam konstruksi beton. Diafragma kaku mentransfer beban ke rangka atau dinding geser tergantung pada fleksibilitas dan lokasinya dalam struktur. Fleksibilitas diafragma mempengaruhi distribusi gaya lateral ke komponen vertikal elemen penahan gaya lateral dalam suatu struktur, diafragma semi-kaku mendistribusikan gaya lateral berdasarkan kekakuan pelat (Najjia & Vahini, 2018). Gaya dalam pada diafragma dihitung menggunakan pendekatan yang berkisar dari idealisasi sederhana hingga analisis komputer yang kompleks. Analisis hanya perlu serumit yang diperlukan untuk menggambarkan bagaimana gaya lateral mengalir melalui bangunan, termasuk diafragma.

Untuk bangunan biasa yang terdiri dari balok, kolom, pelat di mana hambatan lateral disediakan oleh yang serupa: elemen vertikal didistribusikan di seluruh denah lantai, model sederhana seringkali cukup untuk menentukan kekuatan diafragma. Untuk bangunan dengan ketidakberaturan atau dengan elemen vertikal yang berbeda, transfer gaya yang signifikan dapat terjadi di antara elemen vertikal pada berbagai tingkat, membutuhkan model yang lebih kompleks untuk menentukan kekuatan desain diafragma (Jadhav dkk, 2021). Pemodelan elemen hingga diafragma dapat berguna untuk menilai transfer gaya di antara elemen vertikal, menangani transfer gaya di sekitar bukaan besar, menilai dampak landai di garasi parkir, dan merancang diafragma berbentuk tidak beraturan. Ketidakberaturan dalam denah berkaitan dengan massa, kekakuan dan distribusi kekuatan yang asimetris, yang menyebabkan peningkatan substansial dari efek puntir ketika struktur dikenai gaya lateral, sebaliknya ketidakberaturan elevasi melibatkan variasi geometri dan struktur.

Properti di sepanjang ketinggian bangunan, umumnya menyebabkan peningkatan permintaan seismik di lantai tertentu (Kadid & Boumrkik, 2008; Jereen et al, 2016). Dimana ketidakberaturan vertikal terjadi pada elemen vertikal dari sistem penahan gaya gempa, model diafragma kaku mungkin menghasilkan kekuatan pukulan yang tidak realistis dan sulit untuk dirancang. Dengan memodelkan fleksibilitas diafragma pada level ketidakberaturan dan lantai yang berdekatan, transfer yang lebih realistis distribusi dapat diperoleh. Dalam kasus struktur dengan ketidakberaturan, pusat massa tidak bertepatan dengan pusat kekakuan, akan menimbulkan eksentrisitas pada bangunan (Ahmed et al., 2016; Patil et al., 2017; Ravikumar et al., 2012; Sarkar et al., 2010). Eksentrisitas terjadi pada suatu bangunan karena bentuknya yang tidak beraturan konfigurasi menghasilkan torsi pada bangunan.

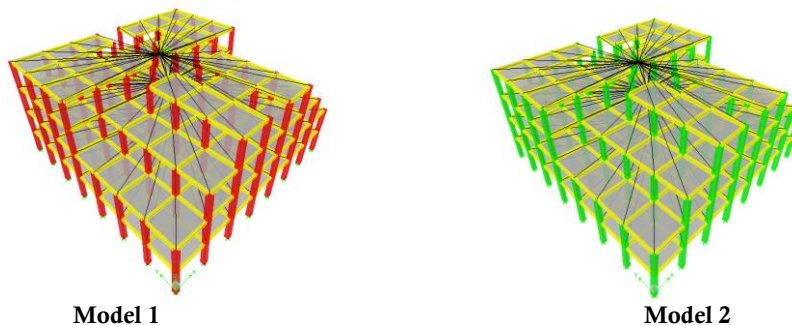
Lokasi, ukuran dan orientasi elemen struktur memiliki pengaruh yang signifikan terhadap torsi yang menyebabkan sebuah bangunan menjadi rusak (Amitesh & Rakesh, 2015; Anwar et al., 2016; Chourasiya & Sakalle, 2015; Savnik et al., 2018; Zabihullah et al, 2020). Bangunan beraturan tidak

memiliki diskontinuitas massa, kekakuan atau kekuatan, secara horizontal atau vertikal yang signifikan. Sebaliknya, bangunan tidak beraturan memiliki diskontinuitas yang menyebabkan konsentrasi gaya dan deformasi di mana diskontinuitas terjadi. Hal ini dapat mengakibatkan kegagalan elemen struktur dan keruntuhan bangunan (Habibi, 2013; Hirde & Aher, 2016; Mohod, 2016; Shelke, 2017). Tulisan ini bertujuan untuk mengamati pengaruh penggunaan diafragma kaku dan semi-kaku pada model struktur dengan ketidakberaturan vertikal. Model yang diusulkan dianalisis menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS Nonlinear v9.6.0 (Computer and Structures Inc, 2003; Prakash. S., 2009) melalui analisis beban dorong statik nonlinier.

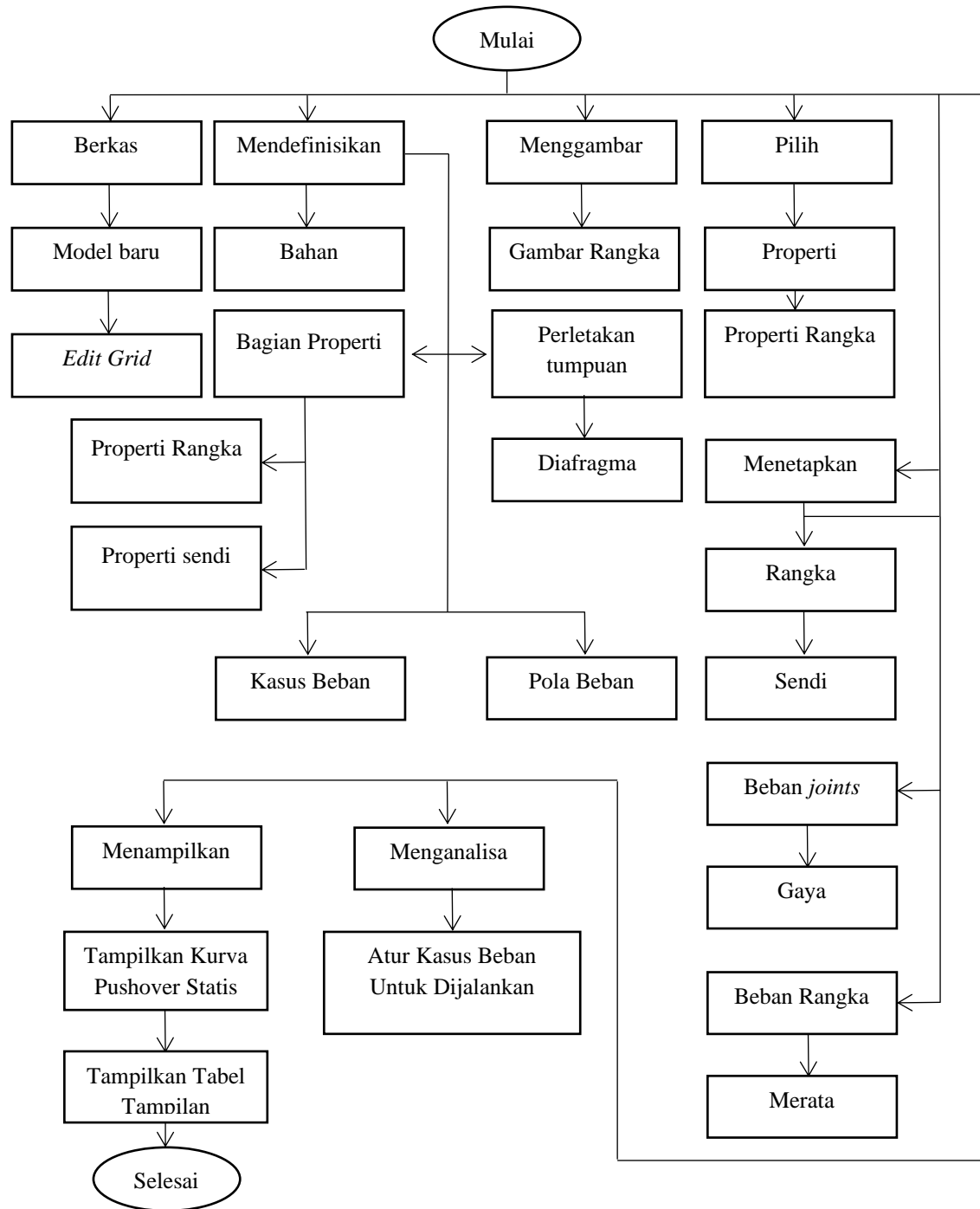
## METODE

Dalam tulisan ini model struktur 4 tingkat dengan ketidakberaturan vertikal diusulkan. Model 1 adalah struktur dengan ketidakberaturan vertikal yang dimodelkan menggunakan diafragma kaku (*rigid diaphragm*) dan model 2 adalah struktur dengan ketidakberaturan vertikal yang dimodelkan menggunakan diafragma semi-kaku (*semi-rigid diaphragm*) disajikan pada Gambar 1. Pemodelan dan analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ETABS Nonlinear v9.6.0. ETABS Nonlinear v9.6.0 memfasilitasi sifat sendi plastis yang dijelaskan dalam ATC-40 (ATC-40, 1996; Federal Emergency Management Agency, 2000). Metode analisis beban dorong statik nonlinier digunakan dalam tulisan ini. Properti sendi plastis otomatis seperti *force-moment-moment* (PMM) ditetapkan pada ujung kolom dan sendi plastis *moment* (M3) ditetapkan pada ujung balok. Analisis beban dorong dilakukan dengan mempertimbangkan analisis perpindahan terkontrol. Langkah-langkah pemodelan dan analisis disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 2. Selanjutnya data-data yang digunakan untuk pemodelan adalah sebagai berikut:

1. Jumlah tingkat : 4;
2. Tinggi antar tingkat : 3,5 m;
3. Mutu beton : K-300;
4. Mutu baja : Bj-37;
5. Ukuran kolom : 0,5 m x 0,5 m;
6. Penulangan kolom : 8 D25 mm, selimut beton 40 mm;
7. Ukuran balok : 0,4 m x 0,2 m;
8. Tebal pelat : 120 mm;
9. SDL : 10 kN/m;
10. LL : 20 kN/m;
11. Beban lateral: 2000 kN/m.



**Gambar 1.** Model 1 struktur dengan ketidakberaturan vertikal menggunakan diafragma kaku (*rigid diaphragm*) dan model 2 struktur dengan ketidakberaturan vertikal menggunakan diafragma semi-kaku (*semi-rigid diaphragm*)

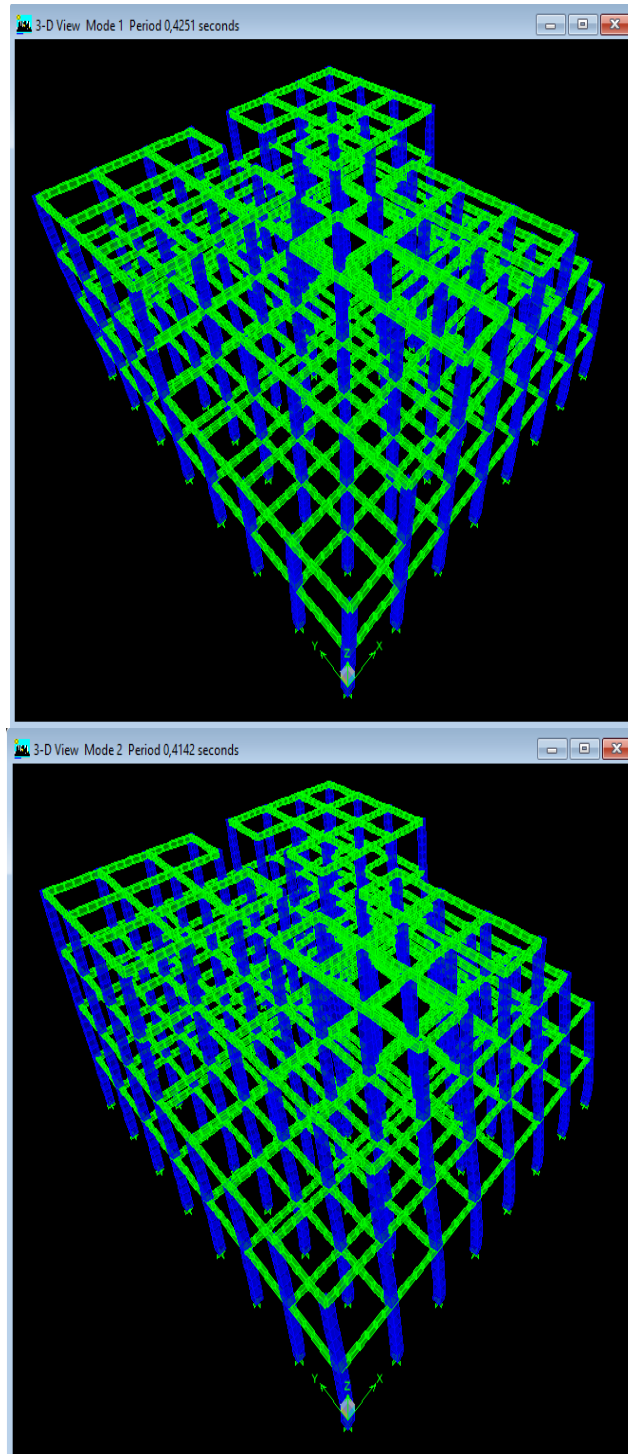


Gambar 2. Diagram alir

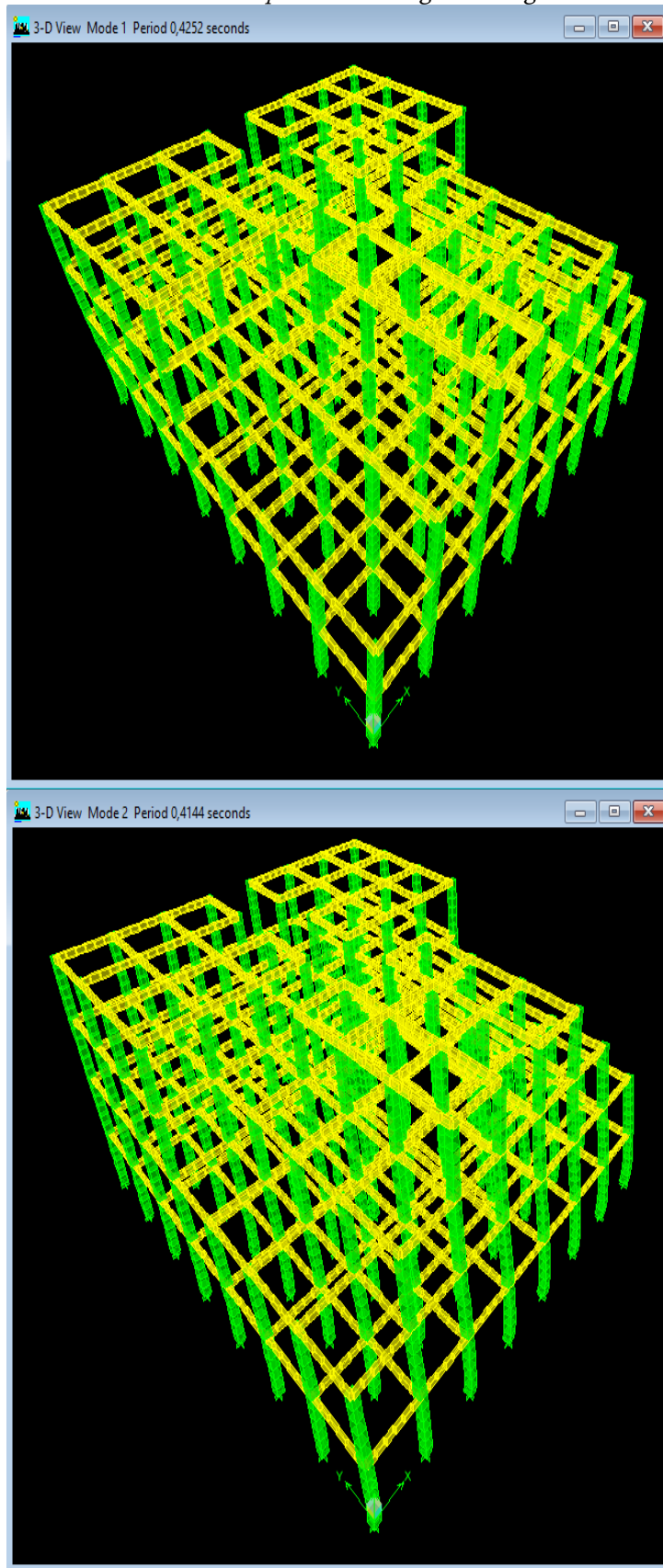
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan dan analisis nonlinier struktur dengan ketidakberaturan vertikal menggunakan perangkat lunak ETABS Nonlinear v9.6.0 telah diperoleh. Gambar 3 menampilkan *mode* 1 sebesar 0,4251 detik dan *mode* 2 sebesar 0,4142 detik untuk struktur dengan diafragma kaku. Gambar 4 menampilkan *mode* 1 sebesar 0,4252 dan *mode* 2 sebesar 0,4144 untuk struktur dengan diafragma semi-kaku. Gambar 5 menampilkan hasil analisis berupa level kinerja dan deformasi maksimum yang

terjadi pada struktur. Gambar 6 menampilkan kurva beban dorong berupa geser dasar dan perpindahan. Model 1 memperlihatkan bahwa sendi plastis pada kolom berada dalam batas *collapse prevention* (CP), namun salah satu balok telah melewati batas *collapse prevention* (CP), sehingga balok akan mengalami keruntuhan. Model 2 memperlihatkan bahwa sendi plastis pada keseluruhan kolom berada dalam batas *collapse prevention* (CP), namun salah satu balok telah melewati batas *collapse prevention* (CP), sehingga balok akan mengalami keruntuhan.

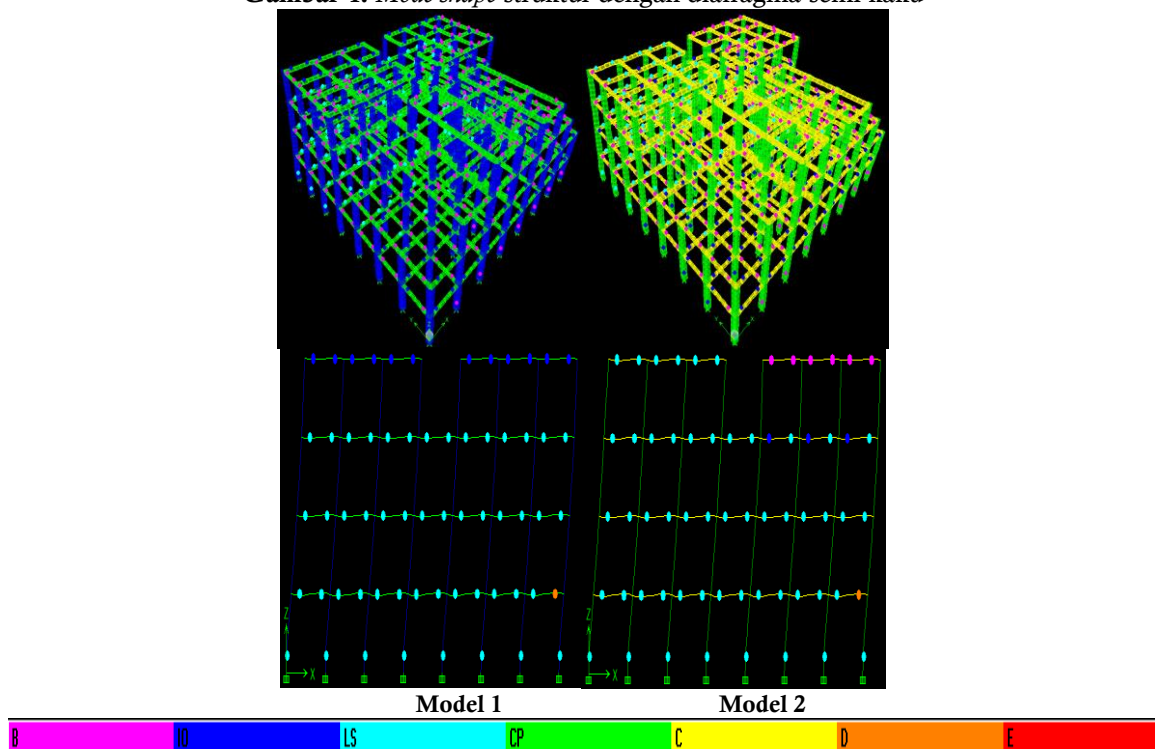


**Gambar 3.** *Mode shape* struktur dengan diafragma kaku

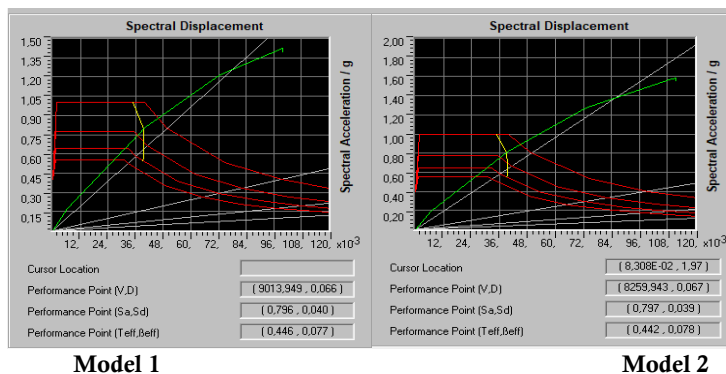




Gambar 4. Mode shape struktur dengan diafragma semi-kaku



Gambar 5. Level kinerja dan sendi plastis



Gambar 6. Kurva beban dorong

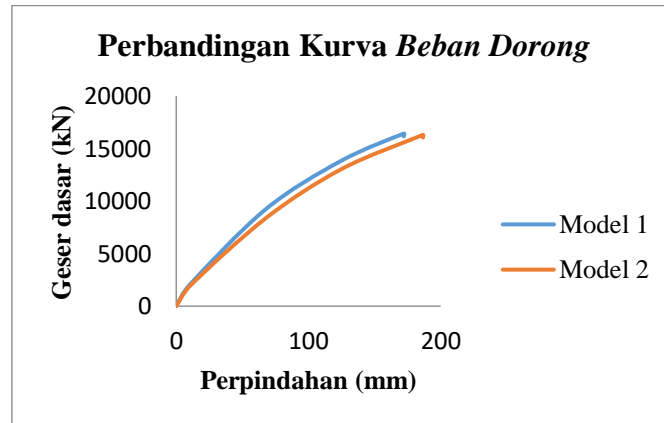
Pada Tabel 1 dan Tabel 2 berturut-turut disajikan *step by step* nilai hasil analisis berupa geser dasar, perpindahan, serta terbentuknya sendi plastis pada masing-masing model. Setiap elemen balok dan kolom ditetapkan sendi plastis di kedua ujung. Sehingga 1 elemen balok mewakili 2 sendi plastis, contoh pembacaan pada Tabel 1 untuk *step* 5 terlihat sebanyak 1 elemen balok mengalami keruntuhan. Selanjutnya pada Gambar 7 disajikan perbandingan kurva beban dorong untuk masing-masing model.

Tabel 1. Step by step analisis beban dorong model 1

Step	Perpindahan (m)	Geser dasar (kN)	B	IO	LS	CP	C	D	E	BeyondE
0	0,000	0	1239	1	0	0	0	0	0	0
1	0,010	2048	830	353	57	0	0	0	0	0
2	0,067	9184	615	352	215	58	0	0	0	0
3	0,124	13788	567	293	204	175	0	1	0	0
4	0,172	16417	567	293	201	178	0	0	1	0
5	0,172	16153	567	293	201	178	0	0	1	0

**Tabel 2.** Step by step analisis beban dorong model 2

Step	Perpindahan (m)	Geser dasar (kN)	B	IO	LS	CP	C	D	E	BeyondE
0	0,000	0	1239	1	0	0	0	0	0	0
1	0,012	2063	873	335	32	0	0	0	0	0
2	0,069	8455	692	299	204	45	0	0	0	0
3	0,125	13047	596	295	160	189	0	0	0	0
4	0,182	16064	587	295	158	199	0	1	0	0
5	0,187	16301	587	295	155	202	0	0	1	0
6	0,187	16047	587	294	156	202	0	0	1	0



**Gambar 7.** Perbandingan kurva beban dorong

## SIMPULAN

Hasil analisis struktur menggunakan diafragma kaku dan semi-kaku pada gedung dengan ketidakberaturan vertikal telah diperoleh dan telah dibahas. Dalam tulisan ini diperoleh beberapa kesimpulan yaitu: Nilai geser dasar maksimum untuk diafragma kaku struktur meningkat sebesar 115 kN untuk analisis beban dorong statis nonlinier disebabkan oleh peningkatan massa struktur, lalu diafragma kaku lebih efisien dalam mengurangi perpindahan dibandingkan diafragma semi-kaku, dimana perpindahan berkurang sebesar 8%. Bentuk deformasi struktur terlihat memiliki perbedaan dalam hal ini nilai periode 1 dan 2, namun tidak terlalu signifikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Kadid And A. Boumrkik. (2008). Pushover Analysis Of Reinforced Concrete Frame Structures. *Asian Journal Of Civil Engineering (Building And Housing)*, 9(1), 75–83.
- Ahmed, M. M. M., Raheem, S. E. A., Ahmed, M. M., & Abdel-Shafy, A. G. A. (2016). Irregularity Effects On The Seismic Performance Of L-Shaped Multi - Story Buildings. *Journal Of Engineering Sciences Assiut University Faculty Of Engineering*, 44(5), 513–536.
- Amitesh, D., Rakesh, P. (2015). Influence Of Diaphragm On The Seismic Analysis Of Regular And Irregular Frame Structures. *International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology*, 5(1), 337–355.
- Anwar, N., Aung, T. H., & Norachan, P. (2016). Case Study: Performance-Based Seismic Design Of Reinforced Concrete Dual System Building. *Asia Conference On Earthquake Engineering (6acee)*, September, 22–24.
- Atc-40. (1996). *Seismic Evaluation And Retrofit Of Concrete Buildings*. Applied Technology Council.
- Chourasiya, R., & Sakalle, R. (2015). Seismic Evaluation Of Multi-Storey Rc Structure Using Different Floor Diaphragms. *International Research Journal Of Engineering And Technology (Ijret)*, 2(09), 641–648.
- Computer And Structures Inc. (2003). *Etabs*. Usa.
- Federal Emergency Management Agency, F.-356. (2000). *Prestandard And Commentary For Seismic Rehabilitation Of Buildings*.
- Habibi, A., Asadi, K. (2013). Seismic Performance Of Rc Frames Irregular In Elevation Designed Based On



- Iranian Seismic Code. *Journal Of Rehabilitation In Civil Engineering*, 1(2), 40–55. <https://doi.org/10.22075/Jrce.2013.13>
- Hirde, S.K. & Aher, R.A. (2016). Seismic Evaluation Of Irregular Structures. *International Journal Of Current Engineering And Technology*, 6(5), 1665–1672.
- Jadhav, A. P., Karale, S. A., Ansari, U. S. (2021). Analysis Of Floor Diaphragm In Multi – Storied Reinforced Concrete Building. *International Advanced Research Journal In Science, Engineering And Technology*, 4(3), 126–131. <https://doi.org/10.17148/Iarjset.2017.4324>
- Jereen, A. T., Anand, S., & Issac, B. M. (2016). Seismic Evaluation Of Buildings With Plan Irregularity. *Applied Mechanics And Materials*, 225–230. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.857.225>
- Mohod, P. M. V. (2016). Pushover Analysis Of Structures With Plan Irregularity. *Osr Journal Of Mechanical And Civil Engineering (Iosr-Jmce)*, 12(4), 46–55. <https://doi.org/10.9790/1684-12474655>
- Najiya, B. M. & Vahini, M. (2018). Study On Rigid And Semi Rigid Diaphragm In Multistoried Structure Using E-Tabs. *International Research Journal Of Engineering And Technology (Irjet)*, 05(08), 1216–1222.
- Patil, S. S., Mujawar, A., Ashta, T., Ashta, T., & Ashta, T. (2017). A Study Of Torsional Effect On Multi-Storied Building With Plan- Issn : 2320-5407 A Study Of Torsional Effect On Multi-Storied Building With Plan-. *International Journal Of Advanced Research (Ijar)*, 5(2), 1625–1632. <https://doi.org/10.21474/Ijar01/2928>
- Prakash, S., S. T. P. V. P. (2009). *Learning Of Etabs Software*. Eterdcs-Nirma Uni.
- Ravikumar, C.M., Babu, N.K.S., Sujith, B.V., & Venkat, R.D. (2012). Effect Of Irregular Configurations On Seismic Vulnerability Of Rc Buildings. *Architecture Research*, 3(2), 20–26. <https://doi.org/10.5923/J.Arch.20120203.01>
- Sarkar, P., Prasad, A. M., & Menon, D. (2010). Vertical Geometric Irregularity In Stepped Building Frames. *Engineering Structures*, August, 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.Engstruct.2010.03.020>
- Savnik, N., Jones, R., Amador, S., & Ventura, C. (2018). Influence Of Diaphragm Modelling On The Dynamic Performance Of A Reinforced Concrete High-Rise Building. *Proceedings Of Isma2018 And Usd2018, November*, 1491–1504.
- Shelke, R. N. (2017). Seismic Analysis Of Vertically Irregular. *International Journal Of Civil Engineering And Technology (Ijciet)*, 8(1), 155–169.
- Zabihullah, Priyanka, S. And Mohammad, Z. A. (2020). Effect Of (Vertical & Horizontal) Geometric Irregularities On The Seismic Response Of Rc Structures. *Et International Journal On Emerging Technologies*, 11(3), 965–974.