

**ANALISIS KINERJA STRUKTUR RANGKA GEDUNG DENGAN PERKUATAN
DIAFRAGMA PELAT LANTAI PADA RSUD SURABAYA TIMUR**

Andra Putri Larasati^{1*}, Made Dharma Astawa¹, Wahyu Kartini¹

¹*Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik*

Universitas Pembangunan Nasional "VETERAN" Jawa Timur

Jl. Rungkut Madya No.1 Surabaya. Telp/fax: 0623-18706369

**email: andraputrilarasati011@gmail.com*

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang rawan mengalami gempa karena letak geografisnya yang terletak pada pertemuan 3 lempeng tektonik, oleh karena itu, dalam perencanaan suatu bangunan harus didesain tahan terhadap gempa. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan merencanakan struktur dengan perkuatan diafragma pelat lantai. Diafragma pelat lantai didesain untuk menerima beban lateral dan mentransfer gaya lateral tersebut ke elemen penahan gaya lateral seperti dinding geser dan kolom. Diafragma pelat lantai diharapkan mampu memberikan tahanan lateral kepada struktur dengan membuat struktur tersebut berperilaku duktail. Struktur yang duktail merupakan struktur yang dapat berdeformasi inelastis tanpa mengalami keruntuhan total dan mampu mengembangkan sendi-sendi plastis yang dapat menyerap beban yang diterima oleh struktur. Perilaku inelastis bangunan ditunjukkan dalam kapasitas duktilitas dan beban. Kapasitas dan beban ditunjukkan dari kurva yang didapat dari analisis pushover. Analisis *pushover* digunakan untuk menetapkan parameter kapasitas inelastis. Dari hasil analisis struktur, simpangan yang terjadi tidak melebihi simpangan izin, tidak terdapat ketidakberaturan horizontal dan vertikal, efek P-Delta telah memenuhi kriteria, dan level kinerja struktur adalah *Immediate Occupancy*. Namun, duktilitas struktur masih terbilang rendah.

Kata kunci: duktilitas, diafragma pelat lantai, beban lateral, analisis *pushover*

ABSTRACT

Indonesia is a country that is prone to earthquakes because of its geographical location where Indonesia is located at the confluence of 3 tectonic plates, therefore, building built there must be designed to resist earthquake. One of many ways to design a earthquake resistant building is to design a structure with slab diaphragm reinforcement. Slab diaphragms are designed to receive lateral loads and transfer these lateral forces to lateral force retaining elements, such as shear walls and columns. The floor slab diaphragm is expected to be able to provide lateral structural support by making the structure to be ductile. A ductile structure is a structure that can be inelastically deformed without experiencing total collapse and still able to develop plastic joints that can absorb the load received by the structure. The elastic behavior of a building is shown in the ductility and load capacities. The capacity and load carried from the curve obtained from the pushover analysis. Pushover analysis is used to get inelastic capacity parameters. From the result of the analysis, the story drift that occurs doesn't exceed the allowable drift, there is no horizontal and vertical irregularity, P-Delta effect has satisfied the criteria, and the structure performance level is Immediate Occupancy. However, the ductility of the structure is low.

Keywords: ductility, floor diaphragm, lateral force, pushover analysis

PENDAHULUAN

Rumah sakit merupakan salah satu fasilitas umum yang sangat krusial, oleh karena itu, perencanaannya harus diperhitungkan dengan teliti. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 47 Tahun 2021, rumah sakit dikategorikan dalam rumah sakit umum dan rumah sakit khusus. Rumah sakit khusus dan rumah sakit umum dibedakan berdasarkan kemampuan pelayanan, fasilitas kesehatan, sarana penunjang, dan sumber daya manusia. Namun, keduanya sama-sama harus direncanakan sebaik mungkin untuk dapat memberikan rasa aman dan nyaman kepada para penggunanya. Pembangunan rumah sakit harus memperhatikan beberapa aspek, yaitu keamanan, keselamatan, kesehatan, kenyamanan dan kemudahan.

Perencanaan rumah sakit berbeda dengan perencanaan gedung-gedung lain karena rumah sakit harus memiliki daktilitas serta mutu material yang baik agar tetap kokoh ketika terjadi bencana alam. Dalam perencanaannya, bangunan rumah sakit harus memenuhi kriteria standar bangunan tahan gempa. Oleh karena itu, digunakan sistem penahan gaya gempa berupa elemen horizontal yang berfungsi sebagai diafragma.

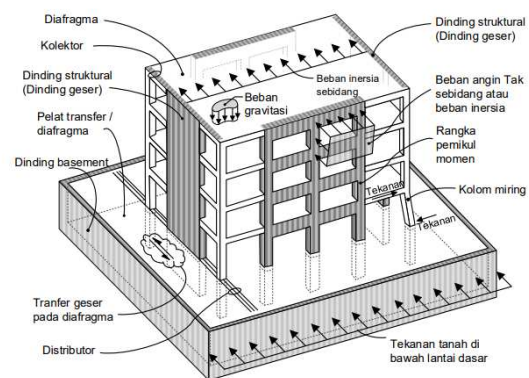
Diafragma adalah elemen struktur yang berfungsi untuk mendistribusikan gaya gempa ke elemen vertikal seperti kolom atau dinding geser (Alexander *et al.*, 2018) Diafragma mampu memberi tahanan lateral pada struktur dengan cara mentransfer gaya-gaya lateral ke elemen-elemen vertikal sistem pemikul gaya lateral. Diafragma meliputi sistem atap, pelat lantai, membran, atau bresing.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penulangan elemen kord dan kolektor, menganalisis kinerja dan daktilitas struktur dengan diafragma lantai yang dimodelkan sebagai diafragma kaku (*rigid diaphragm*).

Diafragma

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 12, diafragma adalah elemen horizontal struktur yang menyalurkan gaya yang bekerja ke elemen vertikal sistem penahan gaya gempa. Diafragma meliputi sistem atap, pelat lantai, membran, atau bresing.

Pada dasarnya diafragma berperilaku sebagai balok horizontal yang membentang antara elemen-elemen vertikal pada sistem pemikul gaya lateral. Tulangan diafragma menahan tarik akibat lentur pada ujung tarik tegak lurus dengan gaya yang dikenakan. Ujung tarik dan tekan diidentifikasi sebagai kord. Kord diasumsikan menahan semua tarik lentur dari momen lentur bidang diafragma akibat beban lateral. Potongan balok atau pelat yang menyalurkan geser diidentifikasi sebagai kolektor.



Gambar 1. Aksi Diafragma Tipikal
Sumber: SNI 2847:2019

Gaya Desain Diafragma

Gaya gempa desain diafragma didapatkan dari persamaan berikut:

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n W_i} W_{px} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- F_{px} = gaya desain diafragma
- F_i = gaya desain pada tingkat i
- W_i = berat tributari diafragma sampai tingkat i

F_x dihitung menggunakan rumus berikut:

$$F_x = C_{vx} V \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum w_i h_i^k} \dots\dots\dots (3)$$

F_{px} tidak boleh kurang dari persamaan berikut:

$$F_{px} \text{ min} = 0,2 S_{DS} I_e W_{pi} \dots\dots\dots (4)$$

Dan tidak boleh melebihi:

$$F_{px} \text{ max} = 0,4 S_{DS} I_e W_{pi}$$

Kord

Diafragma kaku (*rigid*) menyebabkan tidak terjadinya deformasi dan tidak ada tegangan yang terjadi pada arah bidang karena seluruh gaya yang diterima oleh pelat lantai langsung

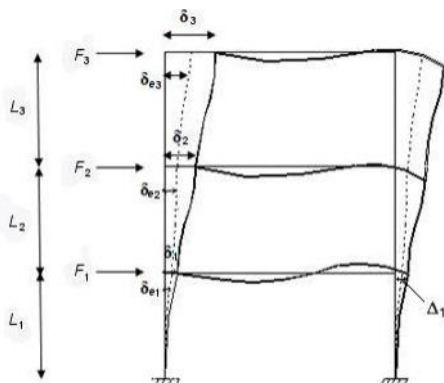
terbagi merata ke elemen vertikal, sehingga tidak didapatkan gaya dalam untuk menentukan tulangan kord. Namun, elemen kord tetap harus direncanakan dengan melakukan *section cut* pada dinding geser.

Kolektor

Berdasarkan NEHRP (*National Earthquake Hazards Reduction Program*) sub bab 6.1.3, ketika diafragma dimodelkan sebagai diafragma kaku, gaya yang ditransfer ke diafragma didapatkan dengan cara mengurangi gaya pada dinding geser di bagian atas dan bawah diafragma. Gaya dalam untuk elemen kolektor didapatkan dengan *section cut* dan menggunakan *output* F11 (geser) dari program bantu.

Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar tingkat diatur dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6, dimana simpangan antar tingkat harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau.



Gambar 2. Simpangan Antar Lantai
Sumber: SNI 1726:2019

Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan struktur berdeformasi inelastik ketika menerima beban gempa berulang kali dan bolak-balik tanpa mengalami keruntuhan total, tetapi sambil mengembangkan sendi-sendi plastis untuk menyerap energi beban semaksimal mungkin tanpa kehilangan kestabilannya. Sendi-sendi plastis ini berfungsi untuk menyerap energi beban dan menahan beban gempa yang besar.

Analisis Pushover

Analisis *pushover* atau beban dorong adalah analisis nonlinier statik dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan dianggap sebagai beban statik pada pusat massa masing-masing lantai. Analisis *pushover* bertujuan untuk mengetahui perpindahan dari struktur yang direncanakan.

Hasil akhir yang didapatkan dari analisis ini adalah nilai dalam bentuk kurva yang berisikan kapasitas dan dibandingkan dengan spektrum *demand* yang menghasilkan titik kinerja (*performance point*). Spektrum *demand* atau spektrum beban ini merupakan representasi dari gerakan tanah yang diakibatkan oleh gempa bumi. Melalui *performance point* atau titik kinerja dapat diketahui tingkat kerusakan struktur berdasarkan perpindahan lateralnya (*drift*).

METODE PENELITIAN

Mutu beton dan mutu baja tulangan ditentukan dengan mengacu pada peraturan dan standar yang berlaku di Indonesia. Metode perencanaan yang digunakan adalah metode berbasis kinerja (*performance-based design*). Penggunaan metode ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kerusakan struktur berdasarkan perpindahan lateralnya serta untuk mengetahui kapasitas struktur ketika terjadi gempa.

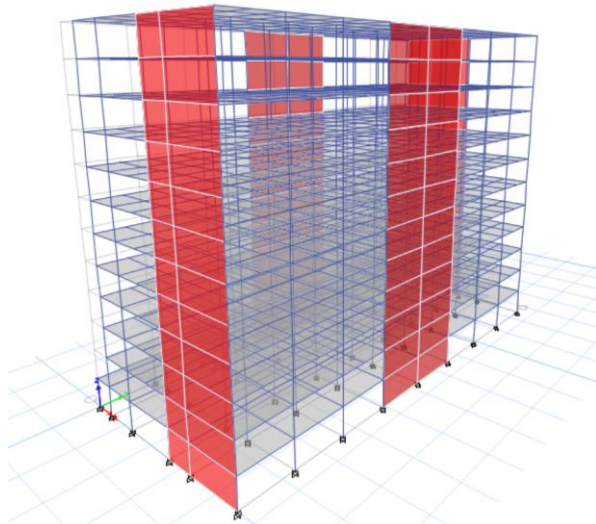
Data-data yang diperlukan diperoleh dengan cara *library research*, dimana data-data dan referensi yang ada dalam laporan ini didapatkan dari buku, dokumen perencanaan struktur, studi terdahulu, dan referensi lain yang berkaitan dengan pokok pembahasan. Metode analisis struktur dengan pelat lantai sebagai diafragma pada RSUD Surabaya Timur menggunakan program bantu ETABS V.19.0.0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Perencanaan

Struktur yang direncanakan merupakan RSUD Surabaya Timur yang berlokasi di Kota Surabaya dengan modifikasi penambahan 3 lantai menjadi 12 lantai. Tinggi total struktur adalah 44 m. Pada perencanaan ini, mutu beton yang digunakan adalah 35 MPa dan mutu baja tulangan BjTS 42 dan BjTP 28. Pemodelan

struktur dengan program bantu ETABS ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3. Pemodelan Tiga Dimensi

Kontrol Desain

Analisis struktur meliputi kontrol partisipasi massa, pengaruh P-Delta, dan eksentrisitas. Dari hasil pengolahan data dengan program bantu, partisipasi massa mencapai lebih dari 90% pada mode ke 7, pengaruh P-Delta memenuhi ketentuan, dan eksentrisitas tiap lantai baik arah X maupun arah Y tidak lebih dari 15%. Selain itu, tidak ada ketidakberaturan horizontal dan vertikal pada struktur yang direncanakan, sehingga diafragma dapat dimodelkan sebagai diafragma kaku.

Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan Tabel 20 pada SNI 1726:2019 pasal 7.12.1, simpangan antar tingkat izin untuk sistem pemikul gaya seismik yang hanya terdiri dari rangka momen dan didesain untuk KDS D, E, atau F, simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi Δ_a / ρ untuk semua tingkat. Besarnya nilai ρ ditentukan sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.3.4.2. Simpangan antar lantai dilihat di Tabel 1 dan 2.

Gaya Desain Diafragma

Data-data yang digunakan untuk menentukan gaya desain diafragma didapat dari *section cut* pada ETABS dan mengambil nilai F1 untuk gempa arah X dan F2 untuk gempa arah Y, sedangkan berat tingkat (W_i) didapat

dari F3 dengan kombinasi beban mati dan beban mati tambahan dan W_{px} merupakan berat sendiri diafragma pelat lantai tanpa kolom dan balok. Data-data tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 1. Simpangan Antar Lantai Arah X

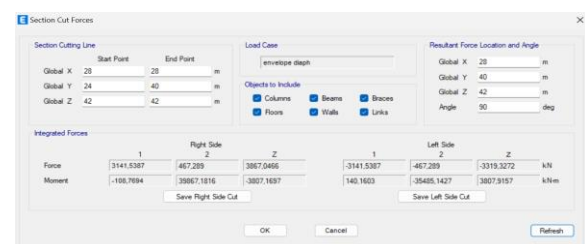
δ_e (mm)	δ_{xe} (mm)	δ_x (mm)	δ_a (mm)
65,19	6,35	23,28	30,77
58,84	6,62	24,28	30,77
52,217	6,74	24,71	30,77
45,479	6,77	24,82	30,77
38,711	6,70	24,57	30,77
32,011	6,50	23,83	30,77
25,512	6,15	22,54	30,77
19,364	5,65	20,70	30,77
13,719	4,98	18,26	30,77
8,739	4,12	15,12	30,77
4,615	3,06	11,21	30,77
1,559	1,56	5,72	30,77

Tabel 2. Simpangan Antar Lantai Arah Y

δ_e (mm)	δ_{xe} (mm)	δ_x (mm)	δ_a (mm)
41,581	3,95	14,49	30,77
37,629	4,12	15,11	30,77
33,507	4,21	15,44	30,77
29,295	4,26	15,61	30,77
25,039	4,23	15,51	30,77
20,81	4,12	15,10	30,77
16,691	3,92	14,37	30,77
12,772	3,62	13,28	30,77
9,15	3,22	11,79	30,77
5,934	2,70	9,89	30,77
3,238	2,08	7,62	30,77
1,161	1,16	4,26	30,77

Perhitungan Elemen Kord

Gaya dalam yang digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan kord didapatkan dari melakukan *section cut* pada dinding geser pada lantai yang ditinjau, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil *section cut* dinding geser.

Tabel 3. Rekapitulasi Berat Sendiri Diafragma

Story	Fpx min	Fpx max	Fpx pakai
SCut11	2551,21	3401,61	2551,21
SCut10	2551,21	5102,42	2551,21
SCut9	2625,85	5251,71	2625,85
SCut8	2625,69	5251,38	2625,69
SCut7	2567,92	5135,84	2567,92
SCut6	2602,89	5205,77	2602,89
SCut5	2587,59	5175,17	2587,59
SCut4	2551,21	5102,42	2551,21
SCut3	2551,21	5102,42	2551,21
SCut2	2617,88	5235,77	2617,88
SCut1	2664,26	5328,52	2664,26

Sumber: Analisis Data

Perhitungan dan rekapitulasi tulangan kord ditunjukkan pada Tabel 4,5,6,7.

Tabel 4. Rekapitulasi Tulangan Kord Arah Memanjang

Momen		Mz (kN.m)	Tu (N)	As perlu
Kanan	Kiri			
2275,61	2275,61	2275,61	142225,63	376,26
3958,35	3958,4	3958,38	247398,44	654,49
3525,65	3525,72	3525,69	220355,31	582,95
4202,22	4202,29	4202,26	262640,94	694,82
4333,34	4333,42	4333,38	270836,25	716,50
3940,84	3940,94	3940,89	246305,63	651,60
4107,05	4107,19	4107,12	256695,00	679,09
4210,81	4.211,18	4211,00	263187,19	696,26
4333,28	4333,8	4333,54	270846,25	716,52
3807,17	3807,92	3807,55	237971,56	629,55
6651,68	6652,66	6652,17	415760,63	1099,90

Tabel 5. Rekapitulasi Tulangan Kord Arah Melintang

Momen		Mz (kN.m)	Tu (N)	As perlu
Kanan	Kiri			
1343,6	1343,51	1343,56	111962,92	296,20
2631,12	2630,98	2631,05	219254,17	580,04
2852,63	2852,4	2852,52	237709,58	628,86
2794,06	2794,79	2794,43	232868,75	616,05
2868,15	2867,84	2868,00	238999,58	632,27
3048,77	3048,42	3048,60	254049,58	672,09
3043,32	3042,96	3043,14	253595,00	670,89
3081,36	3080,81	3081,09	256757,08	679,25
3224,9	3224,37	3224,64	268719,58	710,90
2992,51	2992,03	2992,27	249355,83	659,67
4425,87	4425,42	4425,65	368803,75	975,67

Tabel 6. Rekapitulasi Tulangan Kolektor Arah Melintang

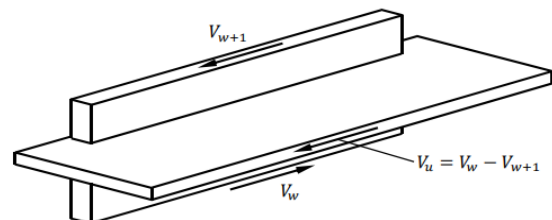
Fu wall	V dinding	V pelat	Vdin - Vpelat	As perlu
0	0,000	0,000	0,000	0,000
4234,1	352,845	169,3	183,47	7168,914
4519,6	376,637	180,78	195,85	6217,494
4361,1	363,433	174,44	188,98	5999,521
4433,5	369,465	177,34	192,12	6099,105
4410,7	367,565	176,43	191,13	6067,740
4250,9	354,247	170,03	184,20	5847,881
4221,4	351,783	168,85	182,92	5807,217
4159,5	346,629	166,38	180,24	5722,132
4011,7	334,311	160,46	173,84	5518,782
3647,9	303,993	145,91	158,07	5018,289

Tabel 7. Rekapitulasi Tulangan Kolektor Arah Memanjang

Fu wall	V dinding	V pelat	Vdin - Vpelat	As perlu
0	0,000	0,000	0,000	0,000
4463,6	278,979	69,74	209,235	4428,24
4290,9	268,185	67,04	201,139	4256,90
4428,6	276,789	69,19	207,592	4393,47
4562,4	285,154	71,28	213,865	4526,25
4665,5	291,595	72,89	218,696	4628,49
4606,0	287,878	71,96	215,908	4569,48
4697,7	293,606	73,40	220,205	4660,41
4737,9	296,119	74,03	222,090	4700,30
4622,4	288,901	72,22	216,675	4585,72
4718,2	294,889	73,72	221,167	4680,78

Perhitungan Elemen Kolektor

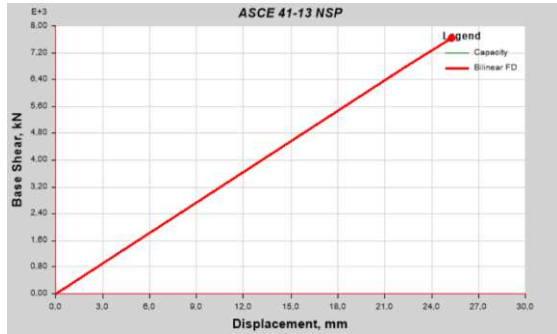
Perhitungan elemen kolektor dilakukan menggunakan gaya dalam pada dinding geser pada lantai yang ditinjau dan pada 1 lantai di bawah lantai yang tertera pada Gambar 5.



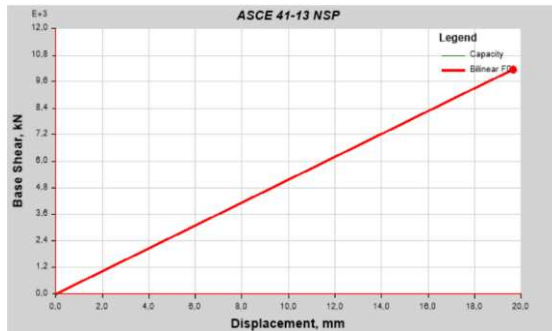
Gambar 5. Gaya Diafragma Untuk Perhitungan Elemen Kolektor
Sumber: Design Guide for Reinforced Concrete Diaphragms

Analisis Pushover

Melalui analisis *pushover* dengan program bantu, didapatkan *performance point* seperti pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Kurva Kapasitas Arah X



Gambar 7. Kurva Kapasitas Arah Y

Selain kurva kapasitas, didapatkan juga nilai *displacement* pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai *Displacement*

Performance Point	Arah	
	X	Y
V (kN)	7643,35	10141,43
Dy (m)	0,0223	0,0176
D (m)	0,0253	0,0197
Teff	1,065	0,854

Level kinerja struktur berdasarkan target perpindahan sebagai berikut:

1. Simpangan total maksimum X =

$$\frac{Dt}{H\ total} = \frac{0,0253}{44} = 0,00058$$

Karena simpangan total maksimum $0,00058 < 0,01$, sehingga level kinerja bangunan adalah $SP=1$ *Immediate Occupancy (IO)*

Tabel 9. Jumlah Sendi Plastis yang Terjadi

Step	Monitored Displ	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP
	mm	kN								
0	0	0	8660	0	0	0	0	8660	0	0
1	22,32	6777,1722	8658	2	0	0	0	8660	0	0
2	25,287	7643,3538	8652	8	0	0	0	8660	0	0

2. Simpangan total maksimum Y =

$$\frac{Dt}{H\ total} = \frac{0,0197}{44} = 0,00045$$

Karena simpangan total maksimum $0,00045 < 0,01$, sehingga level kinerja bangunan adalah $SP=1$ *Immediate Occupancy (IO)*

Tabel 10. Jumlah Sendi Plastis yang Terjadi

Step	Monitored Displ	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP
	mm	kN								
0	0	0	8660	0	0	0	0	8660	0	0
1	17,565	9077,4943	8656	4	0	0	0	8660	0	0
2	19,654	10141,4371	8652	8	0	0	0	8660	0	0

Daktilitas Struktur

Hasil dari analisis *pushover* didapatkan simpangan maksimum arah X dan arah Y yang digunakan untuk perhitungan daktilitas sebagai berikut:

1. Daktilitas arah X (μ_x) = $\frac{0,0253}{0,0223} = 1,14$
2. Daktilitas arah Y (μ_y) = $\frac{0,0197}{0,0176} = 1,12$

KESIMPULAN

1. Simpangan yang terjadi tidak melebihi simpangan izin.
2. Struktur tidak memiliki ketidakberaturan horizontal maupun vertikal.
3. Level kinerja struktur termasuk *Immediate Occupancy*.
4. Ditinjau dari jumlah sendi plastis yang terjadi, daktilitas struktur masih kurang baik.

DAFTAR PUSTAKA

Alexander, Christanto, D., & Pranata, H. (2018). Analisis Pengaruh Fleksibilitas Diafragma Terhadap Distribusi Horizontal Gaya Gempa.

- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta.
- Concrete Reinforcing Steel Institute. (2019). *Design Guide for Reinforced Concrete Diaphragms*. Concrete Reinforcing Steel Institute.
- Habibi, I. (2019). *Analisa Pushover Pada Bangunan Gedung Telkomsel di Kota Pematang Siantar*. Medan.
- Honarto, R. J., Handono, B. D., & Pandaleke, R. (2019). *Perencanaan Bangunan Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Kota Manado*.
- Karima, F. A., Isneini, M., Sebayang, S., & Bayzoni. (2021). *Analisis Struktur Gedung Bertingkat Rendah Akibat Pengaruh Beban Gempa Dengan Metode Riwayat Waktu*.
- Karisoh, P. H., Pandaleke, R., & Dapas, S. O. (2018). *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus*.
- Madutujuh, N. (2021, Oktober 26). *Bimbingan Teknis SNI 2847:2019: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.
- Moehle, J. P., Hooper, D. J., Kelly, D. J., & Meyer, T. R. (2010). *Seismic Design of Cast in Place Concrete Diaphragms, Chords, and Collectors*. Gaithersburg: NIST GCR 10-917-4.
- Moehle, J. P., Hooper, J. D., & Lubke, C. D. (2008). *Seismic Design of Reinforced Concrete Special Moment*. Gaithersburg: NIST GCR 8-917-1.
- Potalangi, J. G., Manalip, H., & Wallah, S. E. (2020). *Analisis Keruntuhan Gedung Bertingkat Akibat Beban Gempa dan Beban Angin Dengan Metode Pushover*.
- Pribadi, A., Herbudiman, B., & Sudrajat, R. (2022). *Analisis Perbandingan Variasi Tata Letak Dinding Geser dengan Metode Pushover*.
- Saputra, M. R., Alami, F., & Widyawati, R. (2020). *Studi Kinerja Gedung Empat Tingkat Terhadap Beban Gempa dengan Metode Statik Pushover*.