

ANALISIS PERILAKU SEISMIK PADA BANGUNAN TINGGI BETON BERTULANG DENGAN VARIASI POSISI *OUTRIGGER* DAN *BELT TRUSS*

Edison Leo^{1*}, Roby¹, dan Sunarjo Leman¹

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
edisonl@ft.untar.ac.id

Masuk: 09-06-2025, revisi: 11-07-2025, diterima untuk diterbitkan: 31-07-2025

ABSTRACT

The outrigger and belt truss systems serve as structural components that assist in resisting lateral loads. This study utilized MIDAS GEN software to evaluate the influence of outrigger and belt truss systems on the seismic performance of high-rise buildings. The results indicate that the inclusion of these systems consistently improves structural stiffness, as evidenced by the decrease in the building's natural vibration period—from 4,65 seconds without the outrigger and belt truss system to 4,01 seconds with a configuration of three outriggers and three belt trusses. This increase in stiffness also leads to a rise in base reaction, which is a critical factor in earthquake engineering design. In Model 2, the configuration that showed the best performance (i.e., the highest reduction in top displacement) was at a height of 48 meters, corresponding to $0,3n$ (where n is the total building height of 160 meters), resulting in a 15,65% reduction. In Model 3, with systems placed at 48 meters and 128 meters ($0,3n+0,8n$), a 24,73% reduction was achieved. Model 4, with outrigger and belt truss systems positioned at 32 meters, 48 meters, and 128 meters ($0,2n+0,3n+0,8n$) yielded the highest reduction of 31,8%. However, the effectiveness of these reductions demonstrates a diminishing return phenomenon, where adding more outrigger and belt truss systems beyond a certain point becomes less efficient in further reducing top displacement.

Keywords: Tall buildings; outrigger; belt truss; performance; seismic

ABSTRAK

Sistem *outrigger* dan *belt truss* bekerja sebagai sistem yang membantu dalam menahan gaya lateral. Penelitian ini dianalisis menggunakan software MIDAS GEN untuk mengetahui pengaruh sistem *outrigger* dan *belt truss* terhadap kinerja seismik pada bangunan tinggi. Hasil studi mengindikasikan bahwa penambahan sistem tersebut secara konsisten meningkatkan kekakuan struktural, yang terbukti dari penurunan periode getar bangunan dari 4,65 detik dengan tanpa menggunakan *outrigger* dan *belt truss* menjadi 4,01 detik dengan konfigurasi tiga *outrigger* dan tiga *belt truss*. Peningkatan kekakuan ini juga berimplikasi pada peningkatan *base reaction*, yang mana menjadi suatu pertimbangan krusial dalam desain rekayasa gempa. Pada model 2, konfigurasi yang menunjukkan kinerja terbaik (kinerja terbaik artinya yang terbesar dalam mereduksi nilai *top displacement*) adalah pada ketinggian 48 meter dengan posisi $0,3n$ (n adalah total ketinggian yaitu 160 meter) dan reduksi 15,65%. Pada model 3, dengan ketinggian 48 meter dan 128 meter ($0,3n+0,8n$), nilai reduksi *top displacement* sebesar 24,73%. Pada model 4 dengan ketinggian 32 meter, 48 meter dan 128 meter ($0,2n+0,3n+0,8n$), reduksi *top displacement* sebesar 31,8%. Efektivitas reduksi ini memperlihatkan fenomena *diminishing return*, dimana penambahan jumlah *outrigger* dan *belt truss* secara berlebihan tidak lagi efisien dalam memberikan peningkatan reduksi *top displacement*.

Kata kunci: Bangunan tinggi; *outrigger*; *belt truss*; kinerja; seismik

1. PENDAHULUAN

Secara geografis, Indonesia terletak di antara tiga lempeng tektonik dunia yaitu Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Pergerakan lempeng tektonik menghasilkan getaran yang mencapai permukaan, sehingga struktur bangunan mengalami gaya lateral karena struktur mempertahankan bentuknya. Bangunan tinggi membutuhkan sistem struktur yang tepat untuk menahan gaya lateral (Septianto et al., 2019). Gaya lateral menyebabkan simpangan antar tingkat, dimana definisi dari simpangan antar tingkat adalah perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau simpangan mendatar tiap tingkat bangunan yang diukur dari lantai di bawahnya (Ivan & Leo, 2019).

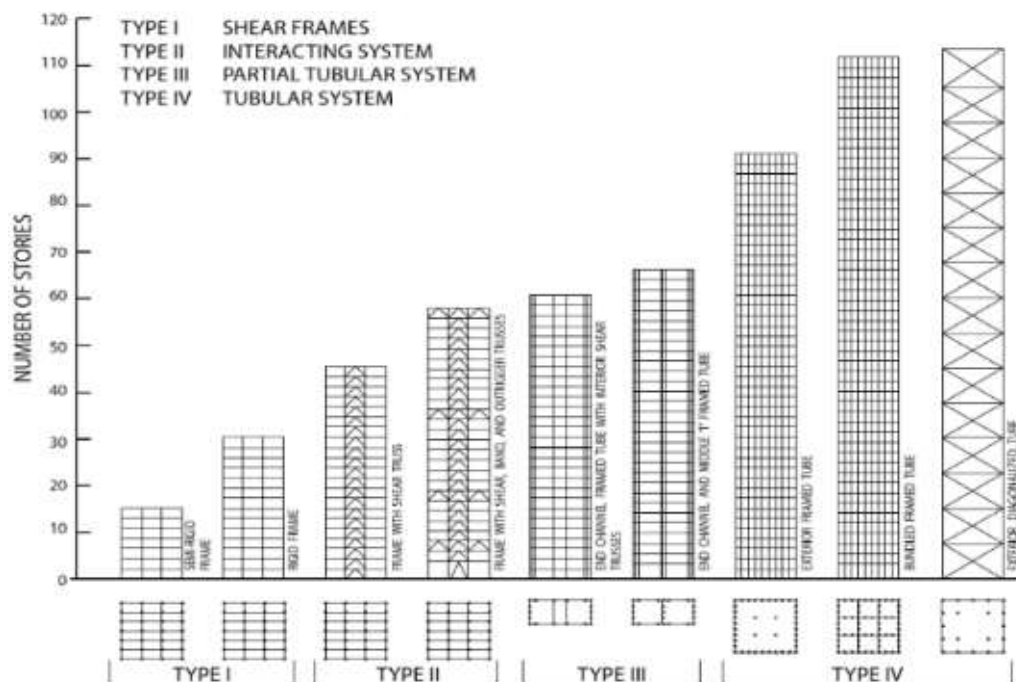
Dimana diperlukan sistem untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan mengurangi simpangan (Fernando & Saputra, 2022). Pengaruh gaya lateral berupa gaya gempa menjadi hal yang penting dalam desain suatu struktur karena kekakuan dan stabilitas bangunan dipengaruhi oleh gaya tersebut (Rohman & Leman, 2020). Cara yang umum digunakan untuk menahan gaya lateral, terutama gaya gempa pada struktur bertingkat tinggi adalah menggunakan

dinding geser (David & Supartono, 2023). Dinding geser adalah dinding struktur yang dipasang sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa yang juga berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur dan menyerap gaya geser yang dapat berfungsi sebagai *core wall* (Erazo et al., 2019). Sistem *outrigger* dinilai efektif karena dapat membantu menahan gaya lateral pada bangunan yang mana mencegah kerusakan struktural dan kerusakan non-struktural dari gaya gempa (Kavyashree et al., 2021).

Sistem *outrigger* dapat digunakan untuk memprediksi dan memitigasi dampak dari gaya gempa (Solanki et al., 2024). Selain *outrigger*, *belt truss system* pada struktur gedung bertingkat mampu meningkatkan kekakuan struktur sehingga biaya struktur lebih efisien (Majid et al., 2024). *Belt truss* menerima gaya horizontal dan akan merubah gaya horizontal ke gaya vertikal untuk diteruskan ke kolom (Morris, 2020). Ketika bangunan menerima gaya lateral, perlu peninjauan terhadap nilai *displacement* dan *base reaction*. Dalam bangunan tinggi, *displacement* digunakan untuk menilai deformasi dan kenyamanan struktur, terutama melalui *top displacement* dan *inter-story drift*. Nilainya dipengaruhi oleh kekakuan dan sistem penahan gaya lateral.

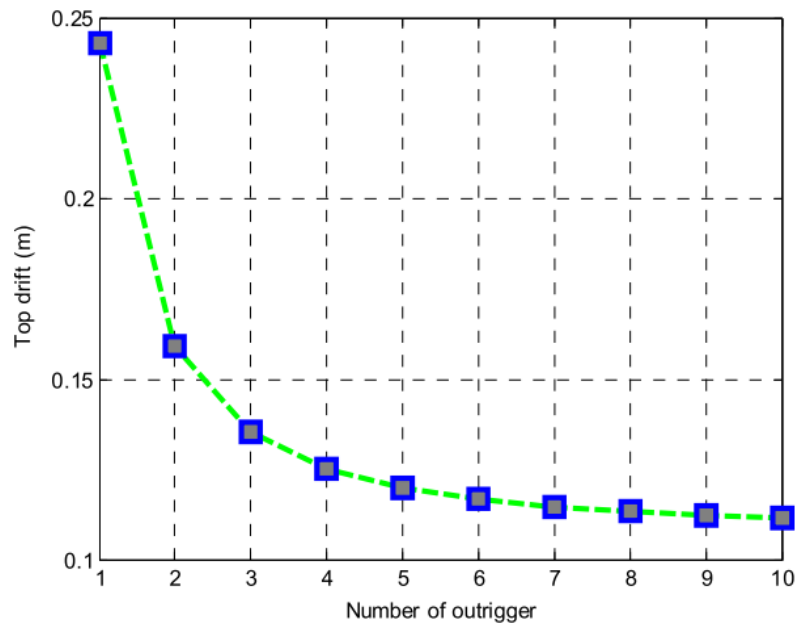
Base reaction adalah gaya geser total di dasar struktur akibat beban gempa, tergantung pada massa bangunan, respons spektrum, dan faktor struktur. Keduanya saling berkaitan, di mana struktur yang baik mampu mengontrol *displacement* dengan tetap menjaga *base shear* dalam batas aman sesuai standar seismik. Untuk mengurangi nilai *displacement*, diperlukan analisis yang tepat untuk mengetahui lokasi terbaik dari sistem *outrigger* dan *belt-truss* (Kamgar & Rahgozar, 2017). Topik pembahasan pada penelitian ini akan membahas mengenai analisis perilaku seismik dengan variasi posisi dan jumlah sistem *outrigger* serta *belt-truss* pada bangunan 40 lantai.

Gambar 1 merupakan sistem-sistem struktur yang dibedakan menjadi beberapa tipe, tergantung dengan jumlah lantai. Penggunaan *outrigger* dan *belt truss* masuk ke tipe yang kedua yaitu *interacting system* dengan jumlah lantai 40 hingga 60. Sistem struktur yang tepat dengan integrasi *core wall*, *outrigger* dan *perimeter* menambah kekuatan serta kekakuan struktur dalam menahan gaya lateral.



Gambar 1. Sistem struktur berdasarkan jumlah lantai (Choi et al., 2017)

Gambar 2 merupakan grafik pengurangan nilai *top drift* berdasarkan pertambahan jumlah *outrigger*. Hukum *diminishing return* berlaku pada penambahan jumlah *outrigger* karena semakin banyak jumlahnya, efisiensi *outrigger* dalam mengurangi nilai *top drift* semakin berkurang.



Gambar 2. Pengurangan *top drift* berdasarkan jumlah *outrigger* (Chen & Zhang, 2018)

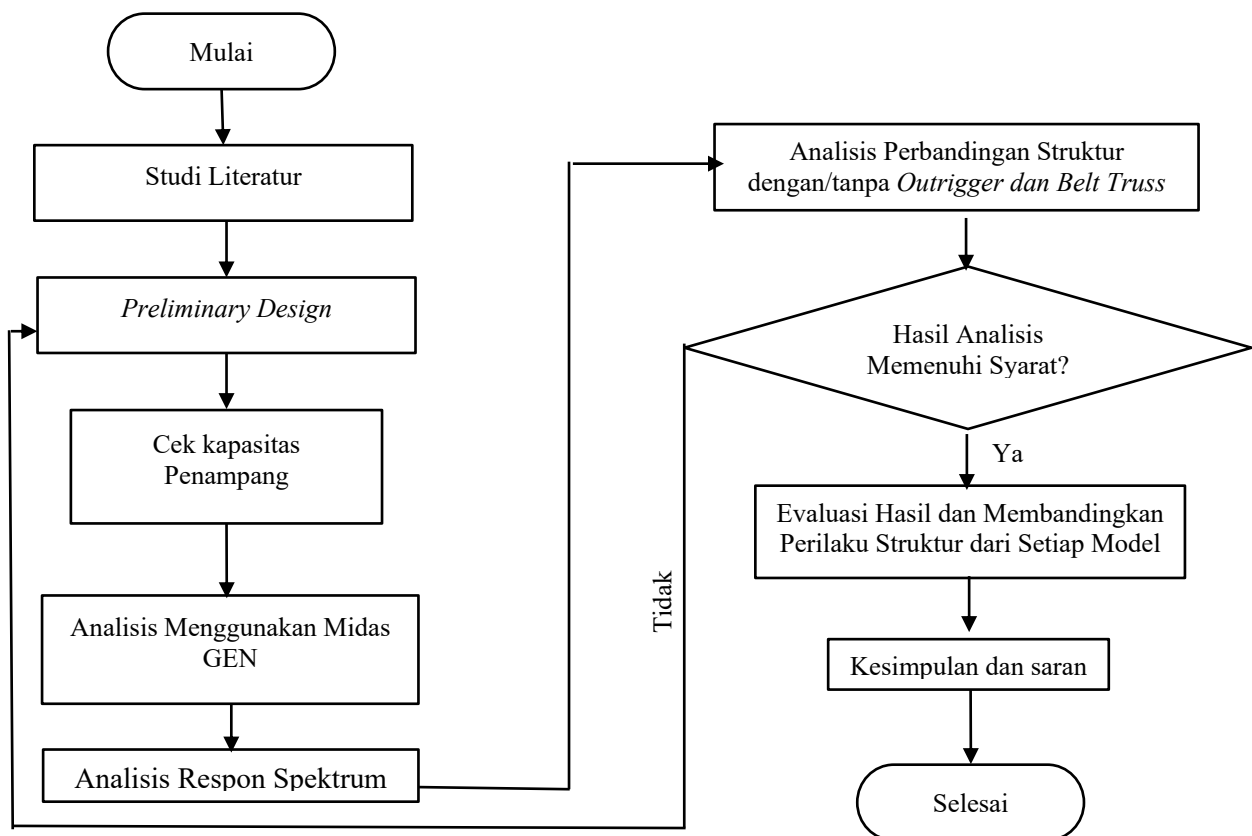
2. METODE PENELITIAN

Balok dan kolom menggunakan mutu beton 50 Mpa dan gedung berfungsi sebagai tempat perkantoran yang berlokasi di Jakarta dengan tipe tanah lunak. Bahan *outrigger* dan *belt truss* adalah baja mutu fe500 dengan profil rangka *hollow*. Pengolahan data penelitian ini menggunakan bantuan *software* perangkat lunak MIDAS GEN. Dilakukan analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik respon spektra untuk mengetahui periode bangunan dan nilai *displacement*. Pada penelitian ini, sistem ganda yaitu dinding geser beton bertulang khusus dipilih untuk parameter R , C_d , Ω_0 karena *outrigger* dan *belt truss* berperan sebagai sistem pelengkap atau sistem tambahan pengaku lateral yang bekerja secara interaktif dengan sistem struktur utama, seperti dinding geser dan rangka pemikul momen. Keberadaan *outrigger* dan *belt truss* tidak berdiri sendiri sebagai sistem utama, melainkan dirancang untuk meningkatkan kekakuan lateral, menurunkan simpangan antar tingkat, serta meningkatkan performa seismik bangunan secara keseluruhan. Faktor modifikasi respon (R) bernilai 7, faktor pembesaran defleksi (C_d) bernilai 5,5 dan faktor kuat lebih struktur (Ω_0) bernilai 2,5. Diagram alir menunjukkan proses pengumpulan dan pengambilan data serta penyajian data. Tabel 1 memperlihatkan properti dalam pemodelan dan Gambar 3 memperlihatkan langkah penelitian.

Pada diagram alir, hasil analisis memenuhi syarat maksudnya tidak melebihi batas simpangan antar tingkat. Untuk batas simpangan antar tingkat didapat dari simpangan antar lantai izin dibagi reduksi.

Tabel 1. Properti dalam pemodelan yang bersifat tetap

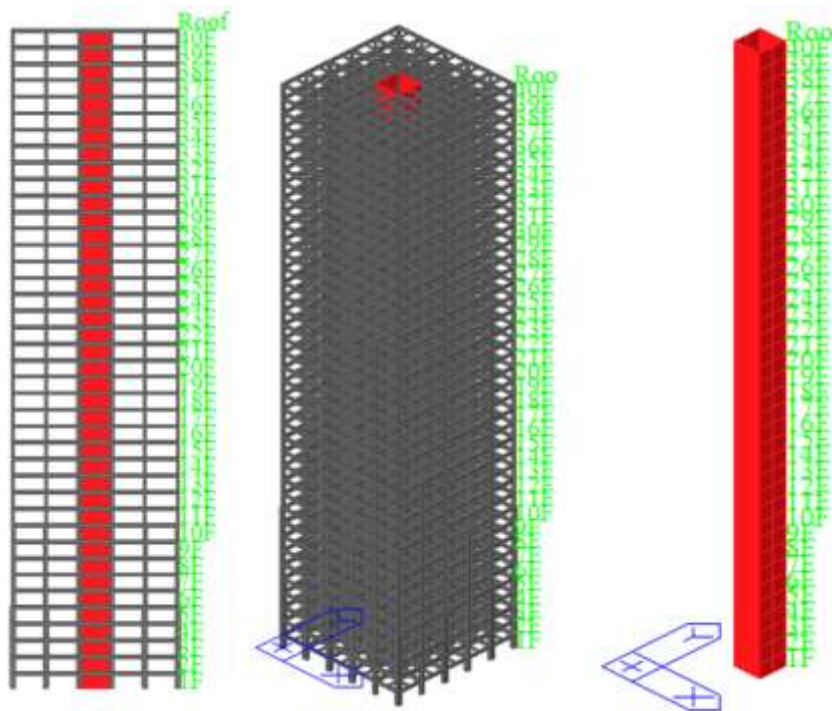
Properti Bangunan					
Tinggi antar lantai	4 m	Ukuran kolom lantai 1-5	110x110 cm	Core wall	450 mm
Ukuran Balok lantai 1-15	40x90 cm	Ukuran kolom lantai 6-10	90x90 cm	Mutu baja	fe500
Ukuran Balok lantai 16-40	40x80 cm	Ukuran kolom lantai 11-15	80x80 cm	Mutu beton	50 MPa
Ukuran balok anak	25x50 cm	Ukuran kolom lantai 16-25	70x70 cm	Beban hidup	4,79 kN/m ² ; 2,4 kN/m ² ; 0,96 kN/m ²
Ukuran <i>Outrigger</i> dan <i>Belt Truss</i>	250x250x16 mm	Ukuran kolom lantai 25-40	60x60 cm	Beban dinding	2,5 kN/m ²



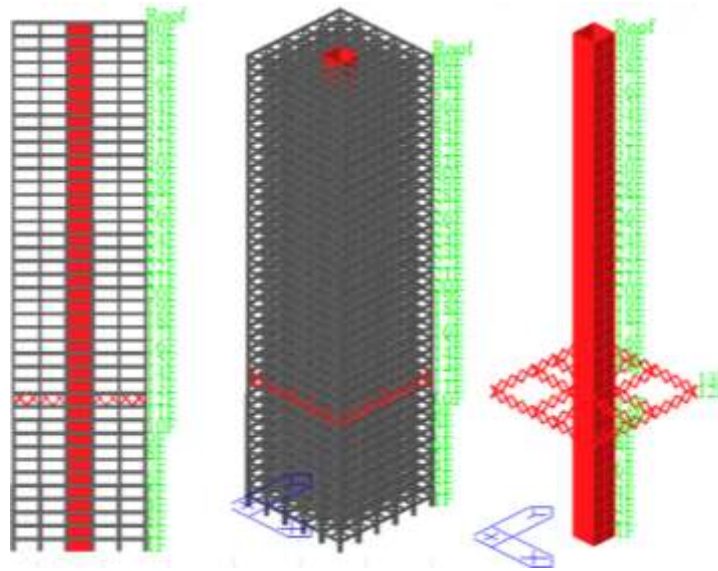
Gambar 3. Diagram alir penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

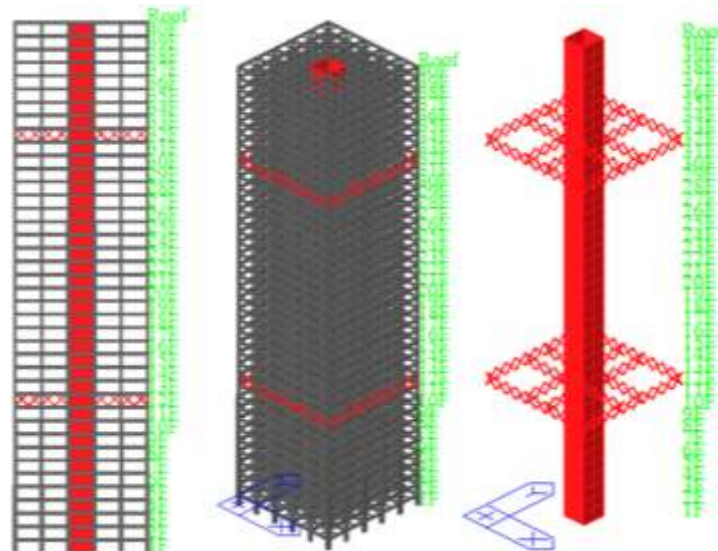
Model pertama adalah pemodelan tanpa menggunakan *outrigger* dan *belt truss*. Gambar 4-7 merupakan tampak perspektif model.



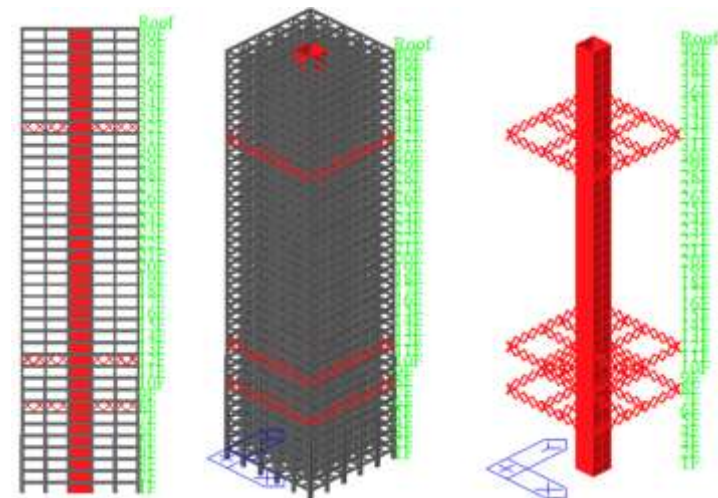
Gambar 4. Tampak perspektif model pertama



Gambar 5. Tampak perspektif penggunaan 1 *outrigger* dan 1 *belt truss* di $0,3n$



Gambar 6. Tampak perspektif penggunaan 2 *outrigger* dan 2 *belt truss* di $0,3n + 0,8n$



Gambar 7. Tampak perspektif penggunaan 3 *outrigger* dan 3 *belt truss* di $0,2n + 0,3n + 0,8n$

Untuk model kedua hingga keempat diatur dengan konfigurasi yang ada pada Tabel 2-4.

Tabel 2. Model kedua

n (total ketinggian bangunan)	ketinggian bangunan (meter)	lantai	MODEL DENGAN POSISI 1 <i>OUTRIGGER</i> DAN 1 <i>BELT TRUSS</i>									
			Model Kedua									
			M2.1	M2.2	M2.3	M2.4	M2.5	M2.6	M2.7	M2.8	M2.9	M2.10
top(1n)	160	40										x
0,9n	144	36									x	
0,8n	128	32								x		
0,7n	112	28							x			
0,6n	96	24						x				
0,5n	80	20					x					
0,4n	64	16				x						
0,3n	48	12			x							
0,2n	32	8		x								
0,1n	16	4	x									

Tabel 3. Model ketiga

n (total ketinggian bangunan)	ketinggian bangunan (meter)	lantai	MODEL DENGAN POSISI 2 <i>OUTRIGGER</i> DAN 2 <i>BELT TRUSS</i>								
			Model Ketiga								
			M3.1	M3.2	M3.3	M3.4	M3.5	M3.6	M3.7	M3.8	M3.9
top(1n)	160	40									x
0,9n	144	36								x	
0,8n	128	32							x		
0,7n	112	28						x			
0,6n	96	24					x				
0,5n	80	20				x					
0,4n	64	16			x						
0,3n	48	12	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0,2n	32	8		x							
0,1n	16	4	x								

Tabel 4. Model keempat

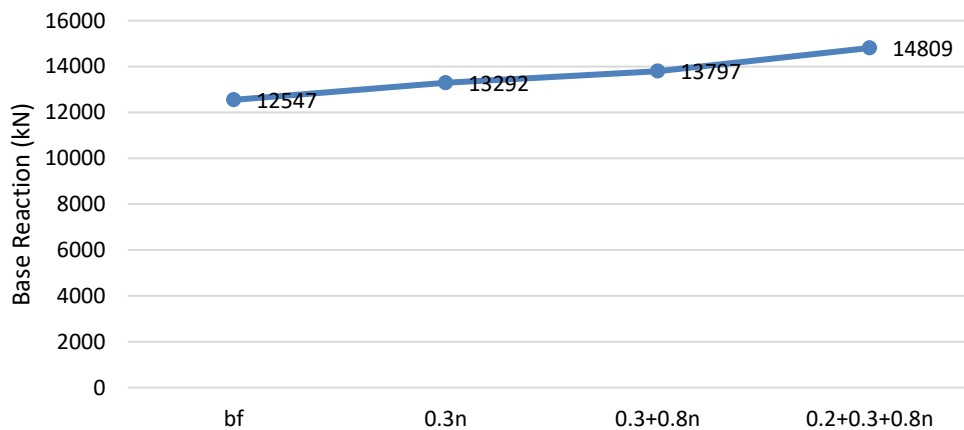
n (total ketinggian bangunan)	ketinggian bangunan (meter)	lantai	MODEL DENGAN POSISI 3 <i>OUTRIGGER</i> DAN 3 <i>BELT TRUSS</i>							
			Model Keempat							
			M4.1	M4.2	M4.3	M4.4	M4.5	M4.6	M4.7	M4.8
top(1n)	160	40								x
0,9n	144	36							x	
0,8n	128	32	x	x	x	x	x	x	x	x
0,7n	112	28						x		
0,6n	96	24					x			
0,5n	80	20				x				
0,4n	64	16			x					
0,3n	48	12	x	x	x	x	x	x	x	x
0,2n	32	8		x						
0,1n	16	4	x							

Model kedua merupakan model dengan penggunaan 1 *outrigger* dan 1 *belt truss*. Dimana posisi yang dicoba adalah kelipatan 0,1 dengan n merupakan ketinggian puncak. Hasil analisis menunjukkan pengurangan *top displacement* terbesar ada pada posisi 0,3n atau pada ketinggian 48 meter.

Model ketiga merupakan model dengan penggunaan 2 *outrigger* dan 2 *belt truss*. Dimana posisi 0,3n dikunci karena memiliki reduksi *top displacement* terbesar, lalu untuk posisi 1 *outrigger* dan 1 *belt truss* lainnya diuji tetap pada kelipatan 0,1 dengan n merupakan ketinggian puncak. Untuk model ketiga, posisi dengan reduksi *top displacement* terbesar ada di 0,3n+0,8n (ketinggian 48 meter dan 128 meter).

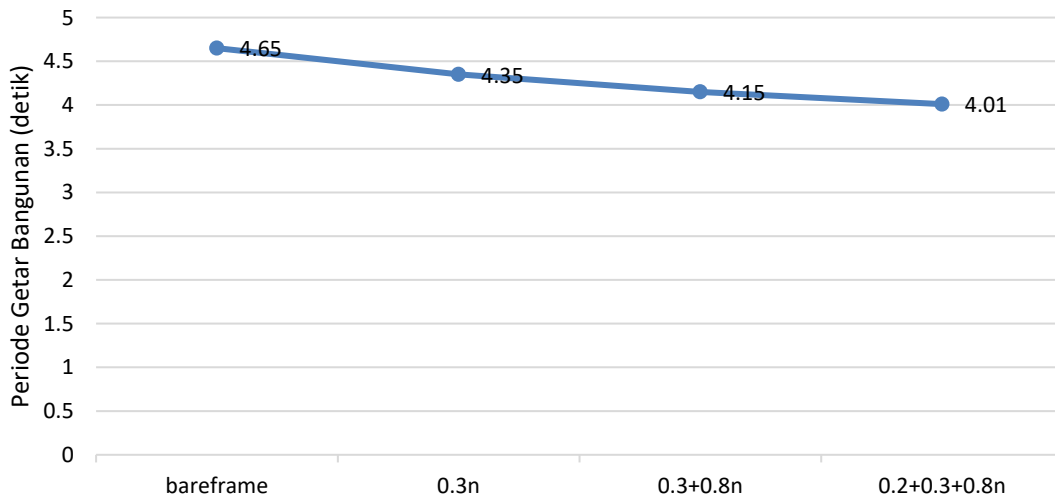
Model keempat merupakan model dengan penggunaan 3 *outrigger* dan 3 *belt truss*. Dimana posisi $0,3n+0,8n$ dikunci karena memiliki reduksi *top displacement* terbesar, lalu untuk posisi 1 *outrigger* dan 1 *belt truss* lainnya diuji tetap pada kelipatan 0,1 dengan n merupakan ketinggian puncak. Untuk model keempat, posisi dengan reduksi *top displacement* terbesar ada di $0,2n+0,3n+0,8n$ (ketinggian 32 meter, 48 meter dan 128 meter).

Gambar 8 merupakan nilai *base shear* pada setiap lokasi pemodelan yang optimal (optimal pada penelitian ini adalah yang terbesar dalam mereduksi nilai *top displacement*). Semakin banyak jumlah *outrigger* dan *belt truss* maka nilai *base shear* semakin besar. Dimana hal tersebut dapat menjadi pertimbangan untuk menambah jumlah *outrigger* dan *belt truss* karena semakin besar gaya geser dasar nilai gempa yang diterima oleh bangunan semakin besar.



Gambar 8. Nilai *base reaction* dengan atau tanpa *outrigger* dan *belt truss*

Gambar 9 merupakan periode bangunan dengan atau tanpa menggunakan *outrigger* dan *belt truss*. Jumlah *outrigger* dan *belt truss* yang bertambah menyebabkan periode bangunan semakin kecil, yang berarti *outrigger* dan *belt truss* tidak hanya membantu menahan gaya lateral namun juga meningkatkan kekakuan struktur.

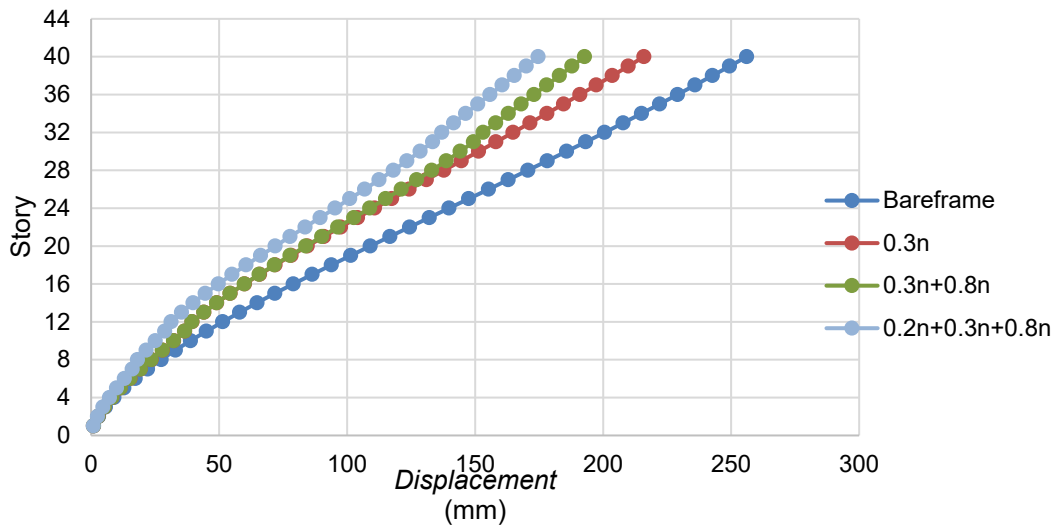


Gambar 9. Periode getar bangunan

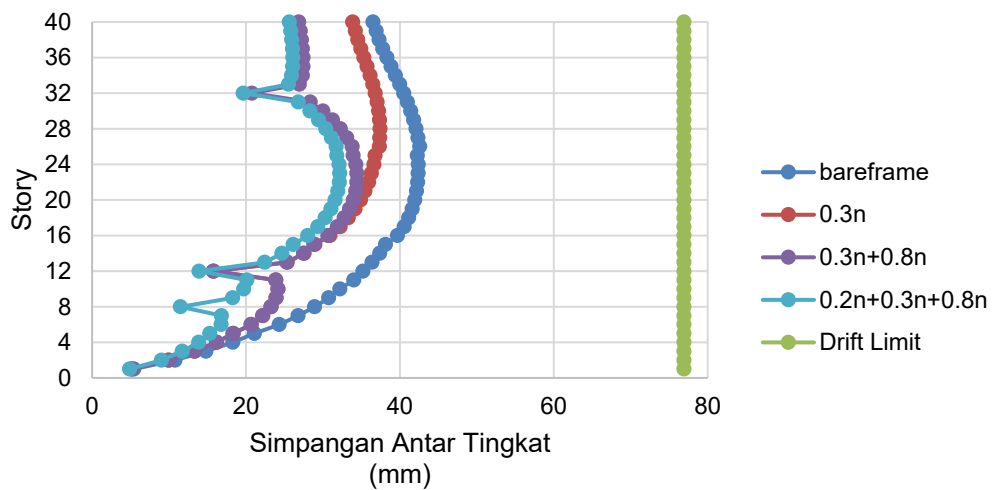
Gambar 10 merupakan nilai *displacement* pada pemodelan dengan atau tanpa *outrigger* dan *belt truss*. Dimana, nilai *top displacement* mengalami reduksi yang terbesar. Melalui grafik $0,3n+0,8n$ yang ada pada Gambar 8, nilai *displacement* secara keseluruhan tidak berubah terlalu signifikan apabila posisi *outrigger* dan *belt truss* berada di atas.

Gambar 11 merupakan nilai simpangan antar tingkat pada pemodelan dengan atau tanpa *outrigger* dan *belt truss*. Grafik pada Gambar 9 menunjukkan bahwa efektivitas penggunaan *outrigger* dan *belt truss* semakin berkurang apabila jumlah *outrigger* dan *belt truss* bertambah.

Tabel 5 memperlihatkan distribusi gaya SRPMK untuk semua model.



Gambar 10. Nilai *displacement* dengan atau tanpa *outrigger* dan *belt truss*



Gambar 11. Nilai simpangan antar tingkat dengan atau tanpa *outrigger* dan *belt truss*

Tabel 5. Distribusi gaya SRPMK

	Distribusi Gaya Fx (Respon spektrum arah x)			Syarat >25%
	Shear Wall (kN)	Total (kN)	SRPMK (%)	
model 1	14531,4008	19868,1149	26,8607	OKE
model 2.1	14682,0277	19873,2286	26,1216	OKE
model 2.2	14662,8319	19862,3694	26,1778	OKE
model 2.3	14600,0131	19859,4466	26,4833	OKE
model 2.4	14568,6490	19869,8995	26,6798	OKE
model 2.5	14558,2957	19882,7630	26,7793	OKE
model 2.6	14565,6592	19893,4872	26,7818	OKE
model 2.7	14566,9343	19896,6213	26,7869	OKE
model 2.8	14562,0062	19895,0728	26,8060	OKE
model 2.9	14557,2262	19895,4328	26,8313	OKE
model 2.10	14561,3860	19900,7695	26,8300	OKE
model 3.1	14743,0691	19880,8594	25,8429	OKE
model 3.2	14711,8685	19875,9348	25,9815	OKE
model 3.3	14631,9079	19882,3320	26,4075	OKE

Tabel 5 (lanjutan). Distribusi gaya SRPMK

	Distribusi Gaya Fx (Respon spektrum arah x)			
	<i>Shear Wall</i> (kN)	Total (kN)	SRPMK (%)	Syarat >25%
model 3.4	14619,5929	19881,7268	26,4672	OKE
model 3.5	14630,1873	19893,0508	26,4558	OKE
model 3.6	14633,0732	19899,1506	26,4638	OKE
model 3.7	14632,8395	19897,8343	26,4601	OKE
model 3.8	14627,1305	19890,4004	26,4614	OKE
model 3.9	14632,7327	19897,0403	26,4577	OKE
model 4.1	14768,8278	19909,1155	25,8188	OKE
model 4.2	14735,9171	19906,6533	25,9749	OKE
model 4.3	14660,9814	19915,5966	26,3844	OKE
model 4.4	14646,0926	19913,0197	26,4497	OKE
model 4.5	14650,0264	19922,1371	26,4636	OKE
model 4.6	14650,9825	19924,2238	26,4665	OKE
model 4.7	14651,2130	19922,2092	26,4579	OKE
model 4.8	14648,4550	19918,5507	26,4582	OKE

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kekakuan struktur semakin meningkat setiap penambahan *outrigger* dan *belt truss*. Periode getar pada bangunan yang semakin lama semakin berkurang dari bare frame dengan periode 4,65 detik, 1 *outrigger* dan 1 *belt truss* (di 0,3n) dengan periode 4,35 detik, 2 *outrigger* dan 2 *belt truss* (di 0,3n+0,8n) dengan periode 4,15 detik, 3 *outrigger* dan 3 *belt truss* (di 0,2n+0,3n+0,8n) dengan periode 4,01 detik. Nilai *base reaction* semakin meningkat seiring dengan peningkatan kekakuan bangunan.

Untuk pemodelan yang paling optimal (optimal pada penelitian ini maksudnya adalah optimal dalam mereduksi nilai *top displacement*) pada model 2 adalah model 2.3(0,3n) dengan total reduksi 15,65%, pada model 3 adalah model 3.7(0,3n+0,8n) dengan reduksi 24,73%, pada model 4 adalah model 4.2(0,2n+0,3n+0,8n) dengan reduksi 31,8%. Reduksi *top displacement* semakin kurang optimal apabila jumlah *outrigger* dan *belt truss* semakin banyak.

Untuk studi lebih lanjut, dapat dilakukan analisis pada bangunan yang bervariasi ketinggian dengan penguncian di parameter fleksibilitas *outrigger* ataupun penguncian di persentase reduksi maksimal pada *inter-story drift*.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, Y., & Zhang, Z. (2018). Analysis of outrigger numbers and locations in outrigger braced structures using a multiobjective genetic algorithm. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 27(1). <https://doi.org/10.1002/tal.1408>
- Choi, Y. H., Lee, H. C., & Kim, J. K. (2017). Seismic performance assessment of a modular system with composite section. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 21(2), 69-77. <https://doi.org/10.11112/jksmi.2017.21.2.069>
- David, W., & Supartono, F. (2023). Analisis pengaruh konstruksi stage terhadap deformasi dan gaya dalam struktur gedung bertingkat dengan dinding geser. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(1), 109-122. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i1.17043>
- Erazo, K., Moaveni, B., & Nagarajaiah, S. (2019). Bayesian seismic strong-motion response and damage estimation with application to a full-scale seven story shear wall structure. *Engineering Structures*, 186, 146-160. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.02.017>
- Fernando, F., & Saputra, A. J. (2022). Analysis of the effect of shear walls on building structural deviations in high-rise buildings monde city tower m2 batam city. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 3(2), 146-160. <https://doi.org/10.37253/jcep.v3i2.7434>
- Ivan, L., & Leo, D. E. (2019). Analisis dinamik perilaku gedung dengan ketidakberaturan massa pada masing-masing tingkat terhadap beban gempa. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), 245-254.
- Kamgar, R., & Rahgozar, R. (2017). Determination of optimum location for flexible outrigger systems in tall buildings with constant cross section consisting of framed tube, shear core, belt truss and outrigger system using energy method. *International Journal of Steel Structures*, 17(1), 1-8. <https://doi.org/10.1007/s13296-014-0172-8>
- Kavyashree, B. G., Patil, S., & Rao, V. S. (2021). Evolution of outrigger structural system: A state-of-the-art review. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(11), 10313-10331. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-06074-9>

- Majid, F. A., Andayani, R., Sulardi, & Pramono, D. (2024). Analisis respon dinamis core wall dengan belt truss dan core wall dengan belt wall pada struktur gedung 40 lantai. *SEIKO: Journal of Management & Business*, 7(1), 1060-1071. <https://doi.org/10.37531/sejaman.v7i1.6568>
- Morris, D. (2020). Effects of outrigger & belt truss system on high-rise building structure performance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1007(1), 012189. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1007/1/012189>
- Rohman, F., & Leman, S. (2020). Effects of opening dimension in shear wall on the behavior of high-rise building structure due to earthquake load. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1007(1), 012055. DOI: 10.1088/1757-899X/1007/1/012055
- Septianto, B., Christianto, D., & Pranata, D. H. (2019). Evaluasi struktur sistem rangka gedung dengan dinding geser berbasis kinerja. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(2), 105-114.
- Solanki, M. M., Nirmal S. M., Butala, A. M., & Shah, V. S. (2024). Optimum Location of Outrigger Structural System in Tall Vertical Irregular RC Building Subjected to Lateral Loads. *International Research Journal on Advanced Engineering Hub (IRJAEH)*, 2(08), 2173-2178. <https://doi.org/10.47392/irjaeh.2024.0295>