

Analisis Respon Dinamis Core Wall dengan Belt Truss dan Core Wall dengan Belt Wall pada Struktur Gedung 40 Lantai

Faqih Adillah Majid¹, Relly Andayani², Sulardi³, Didiek Pramono⁴

^{1,2,3,4} *Departement of Civil Engineering, Gunadarma University, Depok, 16424, Indonesia*

Abstrak

Struktur Belt Truss dan Belt Wall berfungsi dalam meningkatkan kekakuan bangunan untuk mengurangi displacement lateral. Tujuan penelitian ini menganalisis respon dinamis pada struktur core wall, belt truss, dan belt wall. Penelitian ini menggunakan gedung berjumlah 40 lantai, dengan tinggi 118m. Proses analisis menggunakan struktur beton bertulang dengan metode sistem struktur yaitu sistem ganda (Dual System), pemodelan struktur terdapat 3 variasi yaitu struktur gedung dengan core wall, core wall dengan belt truss, dan core wall dengan belt wall. Hasil analisis menunjukkan bahwa lokasi optimum pemasangan belt truss dari beberapa ketinggian 0,25h, 0,5h, 0,75h dan cap truss, terletak di 0,5h belt truss mampu mereduksi simpangan 6,45% sumbu X dengan 5,99% sumbu Y. Model gedung dengan core wall digunakan sebagai acuan menghasilkan simpangan maksimum 203mm (arah X) dan 190mm (arah Y). Struktur gedung core wall+0,5h belt truss menghasilkan simpangan maksimum 189,9mm (arah X) dan 179mm (arah Y). Dan apabila struktur gedung core wall+0,5h belt wall menghasilkan simpangan maksimum 186,8mm (arah X) dan 176 mm (arah Y). Jadi model yang terbaik adalah gabungan antara core wall dengan belt wall mampu mereduksi simpangan 8,08% arah X dan 7,56% arah Y.

Kata Kunci: *Respon Dinamis, Core Wall, Belt Truss, Belt Wall.*

Abstract

The Belt Truss and Belt Wall structures serve to enhance the stiffness of a building to reduce lateral displacement. The objective of this research is to analyze the dynamic response of the core wall, belt truss, and belt wall structures. The study involves a 40-story building with a height of 118 meters. The analysis process employs a reinforced concrete structure with a structural system method, namely the dual system. The structural modeling includes three variations: a building structure with a core wall, a core wall with a belt truss, and a core wall with a belt wall. The analysis results indicate that the optimal location for installing the belt truss, among various heights such as 0,25h, 0,5h, 0,75h, and cap truss, is at 0,5h. The belt truss is able to reduce displacement by 6,45% in the X-axis and 5,99% in the Y-axis. The building model with the core wall is used as a reference, resulting in a maximum displacement of 203mm (in the X-axis) and 190mm (in the Y-axis). The structure of the building with a core wall and a 0.5h belt truss yields a maximum displacement of 189, 9mm (in the X-axis) and 179mm (in the Y-axis). If the building structure includes a core wall and a 0,5h belt wall, it results in a maximum displacement of 186,8mm (in the X-axis) and 176mm (in the Y-axis). Therefore, the best model is the combination of a core wall with a belt wall, which reduces displacement by 8,08% in the X-axis and 7,56% in the Y-axis.

Keywords: *Dynamic Response, Core Wall, Belt Truss, Belt Wall.*

Copyright (c) 2024 Faqih Adillah Majid

□ Corresponding author :

Email Address : faqihadillah@student.gunadarma.ac.id

PENDAHULUAN

Perencanaan sistem struktur gedung terus menerus berkembang, didalam merancang struktur gedung bertingkat mampu memikul beban gempa dan angin. Struktur bangunan gedung bertingkat dengan teknik-teknik perancangan bangunan yang digunakan dapat memaksimalkan kemampuan dari bahan-bahan yang digunakan. Perkembangan teknologi, sistem perancangan dan metode yang digunakan selalu dikembangkan untuk merancang bangunan gedung bertingkat tingkat, salah satunya adalah inovasi penerapan dan penggunaan sistem belt truss, belt wall, dan outrigger pada bangunan tingkat tinggi.

Penggunaan metode sistem belt truss pada struktur gedung bertingkat mampu meningkatkan kekakuan struktur sehingga biaya struktur lebih efisien akibat adanya pengaruh beban lateral/gempa. Pemodelan struktur bangunan gedung dengan menggunakan model denah struktur simetris sama sisi dan tinggi gedung 15 lantai dengan tinggi total 53,5 meter. Hasil analisa pada struktur bangunan gedung 15 lantai ini, menghasilkan bahwa model struktur gedung dengan rangka dinding geser dengan menggunakan satu belt truss mampu mereduksi simpangan lateral maksimum sebesar 18,5 %, dengan penempatan belt truss pada $\frac{3}{4}$ tinggi gedung. Sedangkan dengan menggunakan dua belt truss simpangan maksimum mampu direduksi sebesar 27,01 % ,yaitu belt truss ditempatkan pada lantai atas dan pada $\frac{1}{2}$ tinggi bangunan (Suku & Ndale, 2019).

Pemodelan struktur bangunan gedung dengan menggunakan material beton bertulang, bentuk denah bangunan persegi berukuran 49 m x 49 m, jumlah tingkat 40 lantai, dan tinggi setiap lantainya adalah 3 meter. Total tinggi bangunan secara keseluruhan 120 m. Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan adalah beban gempa dinamis menggunakan Respon Spektrum dan beban gempa statis ekuivalen (Equivalent Static Load). Struktur bangunan gedung dimodelkan 3 dimensi, dengan bantuan program aplikasi komputer software ETABS. Pemasangan Outrigger diletakkan pada $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ dari tinggi bangunan. Hasil penelitiannya, dengan adanya penambahan Outrigger mampu mereduksi simpangan sebesar 12,27% untuk gempa dinamis (Pesik et al., 2018).

Struktur gedung bangunan tinggi yang lebih dari atau sama dengan 60 lantai sudah menggunakan inovasi penambahan belt truss. Tujuan dengan adanya pemasangan Belt Truss pada struktur bangunan gedung adalah untuk mereduksi simpangan gedung akibat adanya kombinasi beban kerja. Material Struktur Belt Truss yang biasa digunakan adalah struktur beton bertulang dan struktur baja. Inovasi struktur Belt Truss merupakan inovasi pada perancangan struktur gedung, sehingga parameter yang digergunakan pada beban gempa tidak tercantum pada Standar Peraturan Perancangan Bangunan gedung yang berlaku. Standar peraturan perancangan struktur bangunan gedung tahan gempa yang digunakan adalah parameter Faktor Modifikasi Respon (R), Faktor Kuat Lebih (Ω_0), dan Pembesaran lendutan (Cd) untuk menentukan beban gempa. Metode yang dipergunakan adalah metode studi literatur dengan menggunakan analisa Beban Dorong (Pushover Analysis) yang sesuai ATC - 40 dan FEMA 356. Dengan hasil penelitian faktor reduksi respon struktur (R) bernilai antara 4,5 sampai 5, factor pembesaran defleksi (Cd) yang bernilai 5,0 sampai 6,0 dan factor kuat lebih struktur (Ω_0) yang bernilai 3,0 sampai 4,0 (Utomo & Soegiarso, 2021).

Untuk memberikan kestabilan pada struktur gedung bangunan tinggi ketika dinding geser tidak cukup didalam menahan beban lateral, maka penambahan sistem struktur belt wall adalah salah satu inovasi yang baik untuk meningkatkan kestabilan bangunan tinggi. Belt wall dipasang menghubungkan kolom dengan kolom pada kolom bagian terluar dan dipasang pada lantai dengan ketinggian lantai tertentu yang berguna untuk meningkatkan kestabilan struktur gedung. Penelitian yang dilakukan merekomendasikan bahwa untuk bangunan tinggi sebaiknya menggunakan belt wall direnakan terbukti meningkatkan kestabilan struktur bangunan tinggi (Upadhyay & Jamle, 2020).

Penelitian tentang "Position of Outrigger System for High-Rise Reinforced Concrete Buildings Under Wind And Earthquake Loadings". Outrigger System pada umumnya merupakan salah satu inovasi dalam rangka untuk mereduksi simpangan pada struktur bangunan tinggi akibat beban gempa dan angin. Kerusakan non structural dan structural akibat beban angin dan gempa dapat diminimalisir. Hasil dari penelitiannya menunjukan bahwa dengan adanya pemasangan 2 Outrigger yang dipasang di lantai setengah tinggi gedung dan lantai bagian atas dapat mereduksi simpangan 23% apabila dibandingkan dengan truktur dengan menggunakan shear wall tanpa Outrigger (Nanduri et al., 2013).

Penelitian tentang "Research and Optimization of the Belt Truss Location in High-Rise RCC Structure" menunjukan bahwa, Dengan menggunakan belt truss di lokasi ideal, defleksi lateral secara keseluruhan berkurang sebesar 22%. Dan lokasi ideal ini ditemukan ketika belt truss diterapkan pada lantai ke-13 & 14 secara bersamaan. Dari lokasi belt truss ini, kita dapat menyimpulkan bahwa defleksi lateral pada struktur tinggi dapat dikurangi dengan menerapkan belt truss di lantai tengah (Mantri et al., 2019).

Berdasarkan latar belakang, penelitian sebelumnya meneliti tentang outrigger dengan belt truss dan outrigger dengan belt wall belum terlihat adanya penelitian yang membahas tentang perbandingan antara belt wall dan belt truss. Sehingga perlu adanya penelitian lanjutan tentang analisis perbandingan struktur gedung dengan menggunakan core wall yang digabung dengan belt wall dan core wall yang digabung dengan belt truss.

METODOLOGI

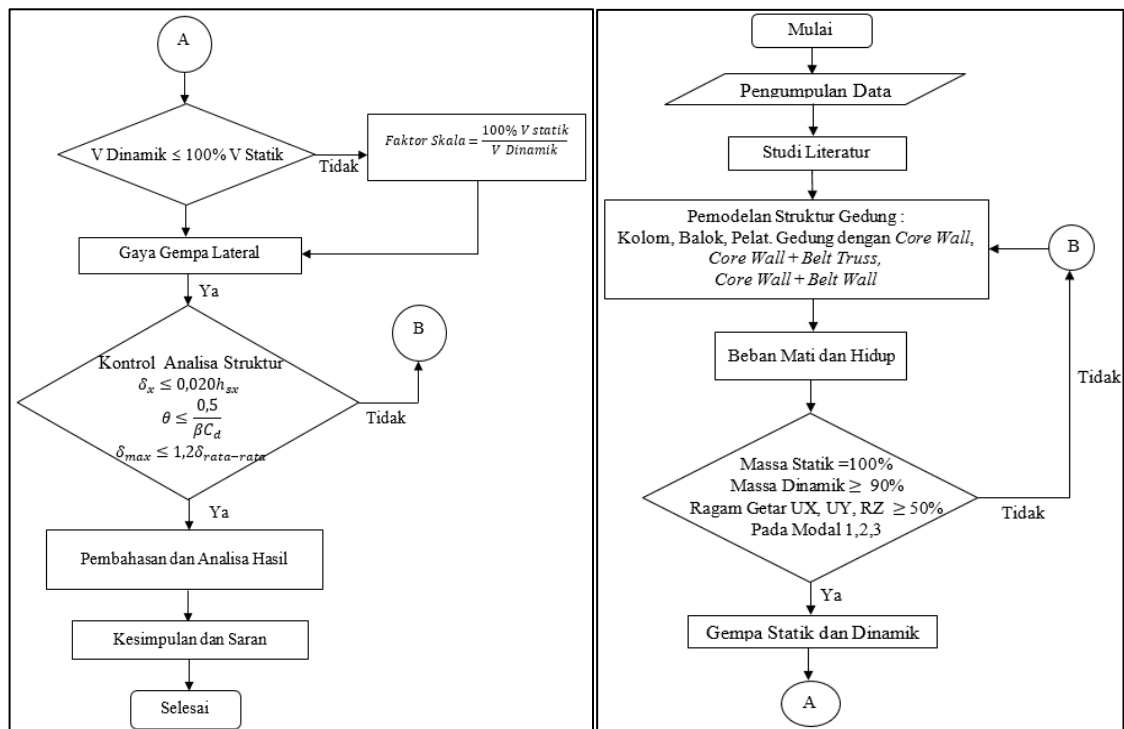
Objek Analisis Penelitian Dan Data

Penelitian ini membuat perancangan struktur gedung tahan gempa, dengan fungsi gedung perkantoran jumlah lantai 40 lantai, dan tinggi total bangunan 118 m. Bangunan gedung dibangun berlokasi di kota Depok, Jawa Barat. Konsisi tanah tempat bangunan akan didirikan adalah jenis tanah sedang. Struktur gedung menggunakan sistem core wall, core wall+0,5h belt truss, core wall+0,5h Belt Wall.

Cara Pengolahan Data

Pengolahan data penelitian ini dengan bantuan program software perangkat lunak etabs. Dalam penelitian ini dilakukan juga analisis statik ekivalen dan analisis dinamik respon spektra sebagai tahapan yang harus dilewati dalam mengetahui displacement dan gaya dalam pada struktur ini. Berikut ini diagram alir langkah-

langkah penelitian :



Gambar 1. Langkah-langkah Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Struktur

Gedung yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa struktur gedung tahan gempa dengan material struktur beton bertulang dengan konfigurasi sistem struktur gedung adalah sistem ganda (*dual system*). Struktur gedung di model model sebagai portal 3 dimensi. Ada 3 tipe pemodelan gedung yaitu hanya *core wall* yang sebagai acuan, *core wall* ditambah dengan *Belt Wall*, dan *Belt Truss*.

Penempatan Lokasi Optimum Struktur *Belt Truss* Simpangan (*Displacement*)



Gambar 2. Simpangan Maksimum Arah X

Gambar 2. Merupakan Simpangan gedung arah sumbu X hasil dari ke-lima model. Simpangan pada bagian lantai ke-40 sebagai simpangan acuan. Gambar 10. bisa dilihat model *Core Wall + 0,5 h Belt Truss* memiliki simpangan paling kecil yaitu sebesar 189 mm (untuk arah-X). Simpangan terkecil kedua yaitu ada pada model *Core Wall+ 0,25h Belt truss* yang memiliki simpangan sebesar 191,8 mm. Simpangan terkecil ketiga yaitu ada pada model *Core Wall+0,75h Belt truss* yang memiliki simpangan sebesar 193,8 mm. Simpangan keempat yaitu ada pada model *Core Wall+Cap Truss* yang memiliki simpangan sebesar 199,7 mm. Simpangan terbesar yaitu ada pada model hanya *Core Wall* yang memiliki simpangan sebesar 203 mm.



Gambar 3. Simpangan Maksimum Arah Y

Gambar 3. dapat ditinjau model *core wall + 0,5 h belt truss* memiliki simpangan paling kecil yaitu sebesar 179 mm (untuk arah-Y). Simpangan terkecil kedua yaitu ada pada model *core wall+0,25 h belt truss* yang memiliki simpangan sebesar 180,5 mm. Simpangan terkecil ketiga yaitu ada pada model *core wall+0,75h belt truss* yang memiliki simpangan sebesar 182,5 mm. Simpangan keempat yaitu ada pada model *core wall+cap truss* yang memiliki simpangan sebesar 187,7 mm. Simpangan terbesar yaitu ada pada model hanya *core wall* yang memiliki simpangan sebesar 190,4 mm.

Tabel 1. Persentase Lokasi Optimum Masing-masing Gedung Arah X

Model	Δ Max (mm)	Δ' Max Core Wall (mm)	Reduksi Δ (%)
Core Wall	203	203	0,00%
CW + 0,25 Belt Truss	191,3	203	5,76%
CW + 0,5 Belt Truss	189,9	203	6,45%
CW + 0,75 Belt Truss	193,8	203	4,53%
CW + Cap Truss	199,7	203	1,36%

Tabel 2. Persentase Lokasi Optimum Masing-masing Gedung Arah Y

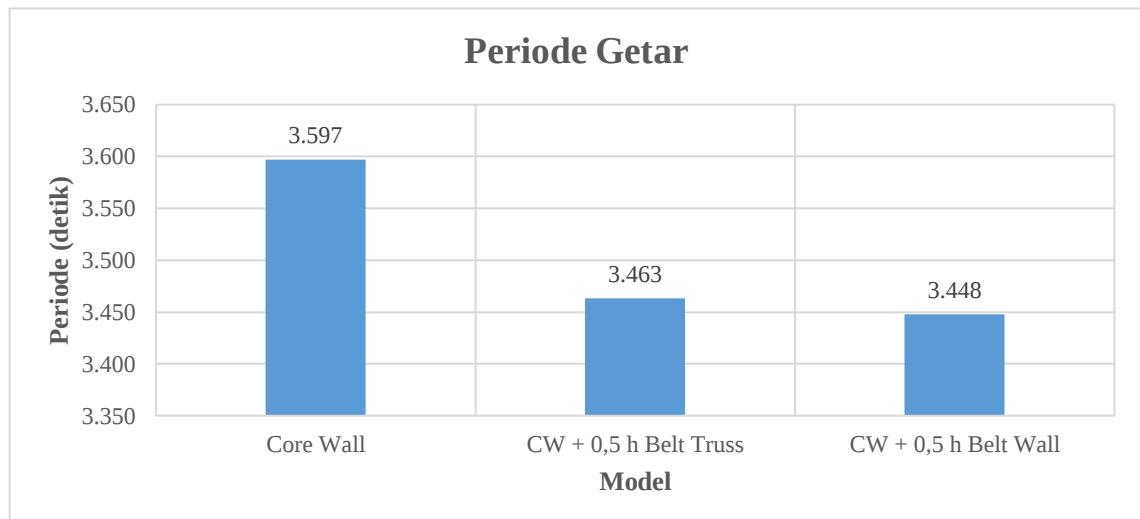
Model	Δ Max (mm)	Δ' Max Core Wall (mm)	Reduksi Δ (%)
Core Wall	190,4	190,4	0,00%

Model	Δ Max (mm)	Δ' Max Core Wall (mm)	Reduksi Δ (%)
CW + 0,25 Belt Truss	180,5	190,4	5,20%
CW + 0,5 Belt Truss	179	190,4	5,99%
CW + 0,75 Belt Truss	182,5	190,4	4,15%
CW + Cap Truss	187,7	190,4	1,42%

Dari Gambar 2 dan 3, Tabel 1 dan 2, membuktikan dengan penambahan struktur *belt truss* pada masing-masing ketinggian yaitu : 0,25h, 0,5h, 0,75h dan *cap truss* yang terbaik adalah lokasi letak belt truss 0,5h baik arah X maupun arah Y. Dengan reduksi simpangan 6,45% arah X dan 5,99% arah Y.

Pembahasan Setiap Elemen Struktur Periode Getar Gedung

Periode getar struktur gedung didapatkan dari analisa struktur gedung dengan menggunakan *software* program Etabs. Periode getar gedung untuk ketiga model ditunjukkan pada gambar 4.

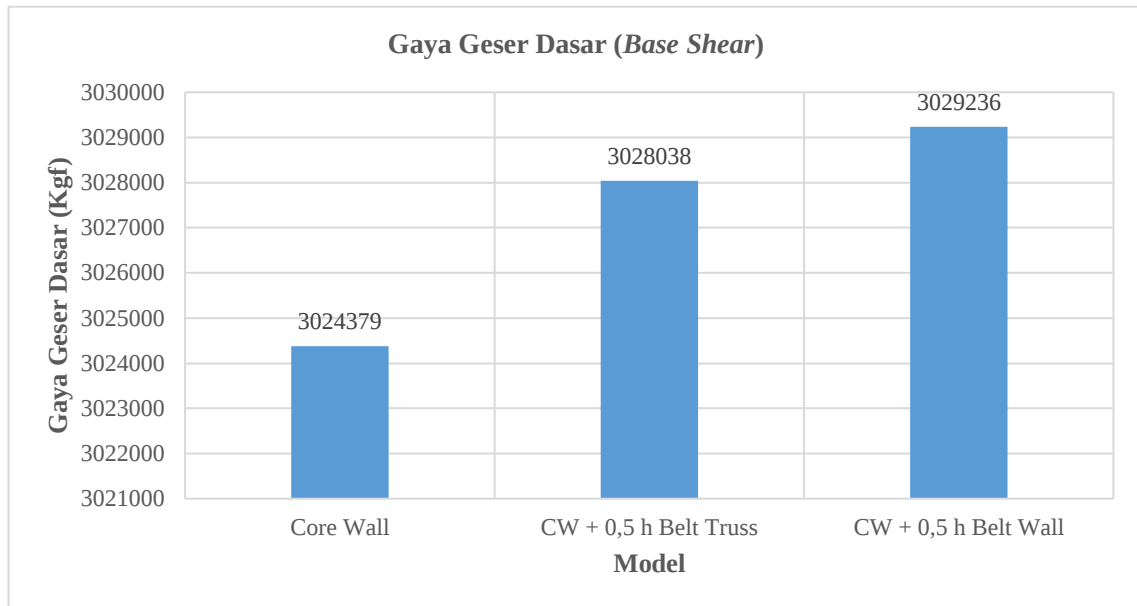


Gambar 4. Grafik Periode Getar

Dari Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa model atau bangunan dengan *core wall*+0,5h *belt wall* memiliki periode terkecil yaitu sebesar 3,448 detik. Sedangkan periode terbesar adalah model dengan hanya *core wall* yang sebagai acuan dengan nilai 3,597 detik. Semakin kecil periode getar semakin kecil pula simpangan maksimum yang dihasilkan.

Gaya Geser Dasar (*Base Shear*) Gedung

Gaya Geser pada dasar gedung dipengaruhi oleh berat struktur bangunan. sebab itu dengan hanya *core wall* mempunyai gaya geser dasar gedung lebih kecil dari pada bangunan yang ditambah *belt wall* atau *belt truss*, karena bangunan dengan *belt wall* atau *belt truss* memiliki berat tambahan akibat adanya tambahan *belt wall* dan *belt truss*. Hasil perhitungan gaya geser dasar antara struktur bangunan dengan *core wall*, *core wall*+0,5h *belt truss*, *core wall*+ 0,5h *belt wall* yaitu sebagai berikut.

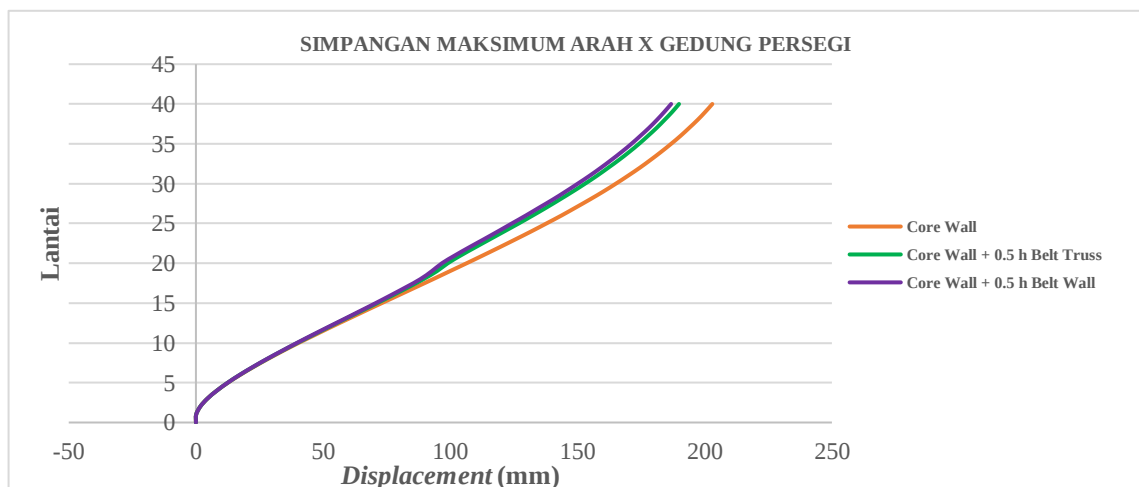


Gambar 5. Grafik Gaya Geser Dasar

Dari Gambar 5 tersebut dapat disimpulkan bahwa model *core wall* yang sebagai acuan memiliki gaya geser dasar terkecil yaitu 3024379 kgf. Untuk model gaya geser dasar gedung terbesar yaitu model atau bangunan gedung ditambahkan *core wall+0,5h belt wall* dengan gaya geser 3029236 kgf.

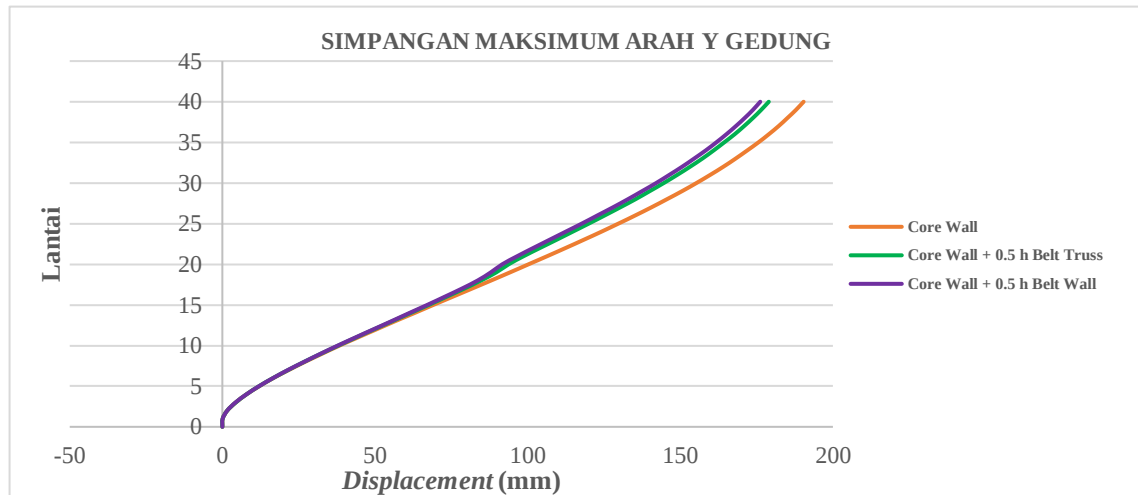
Simpangan (*Displacement*) Gedung

Simpangan gedung merupakan salah satu yang harus dikontrol terhadap kinerja dari struktur bangunan gedung. Simpangan gedung yang dihasilkan dari beberapa model struktur gedung ditunjukkan dalam gambar 14 (untuk arah sumbu-X) dan gambar 15 (untuk arah sumbu-Y). Simpangan gedung pada 0,5 dari ketinggian gedung menjadi acuan utama yang akan dibandingkan.



Gambar 6. Perbandingan Simpangan Maksimum Arah X

Dari Gambar 6 dapat ditinjau model *Core Wall*+0,5 h *Belt Wall* memiliki simpangan paling kecil yaitu sebesar 186,6 mm (untuk arah-X). Simpangan terkecil kedua yaitu ada pada model *Core Wall*+0,5 h *Belt truss* yang memiliki simpangan sebesar 189,9 mm. Simpangan terbesar yaitu ada pada model hanya *Core Wall* yang memiliki simpangan sebesar 203 mm.



Gambar 7. Perbandingan Simpangan Maksimum Arah Y

Dari Gambar 7 dapat ditinjau model *Core Wall*+0,5 h *Belt Wall* memiliki simpangan paling kecil yaitu sebesar 176 mm (untuk arah-Y). Simpangan terkecil kedua yaitu ada pada model *Core Wall*+0,5 h *Belt truss* yang memiliki simpangan sebesar 179 mm. Simpangan terbesar yaitu ada pada model hanya *Core Wall* yang memiliki simpangan sebesar 190 mm.

Tabel 3. Persentase Lokasi Optimum Masing-masing Gedung Arah X

Model	Δ Max (mm)	Δ' Max (mm)	Pengurangan Δ (mm)
<i>Core Wall</i>	203	203	0,00%
<i>CW + 0,5 Belt Truss</i>	189,9	203	6,45%
<i>CW + 0,5 Belt Wall</i>	186,6	203	8,08%

Tabel 4. Persentase Lokasi Optimum Masing-masing Gedung Arah Y

Model	Δ Max (mm)	Δ' Max (mm)	Pengurangan Δ (mm)
<i>Core Wall</i>	190,4	190,4	0,00%
<i>CW + 0,5 Belt Truss</i>	179	190,4	5,99%
<i>CW + 0,5 Belt Wall</i>	176	190,4	7,56%

Jadi model yang terbaik adalah gabungan antara *core wall* dengan *belt wall* yang mampu mereduksi simpangan sebesar 8,08% arah X dan 7,56% arah Y.

Simpangan Antar Lantai (Story Drift) Gedung

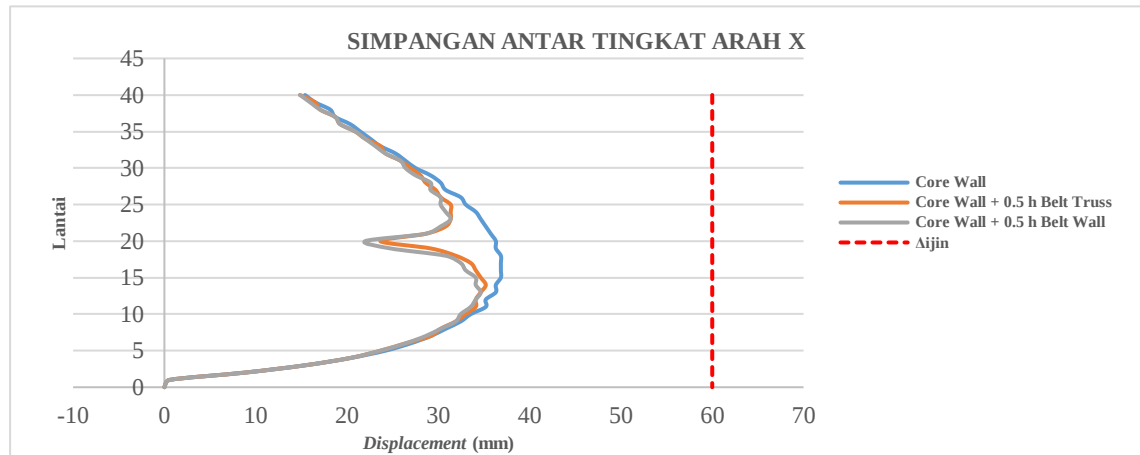
Simpangan antar lantai (*story drift*) gedung merupakan selisih simpangan antar lantai atau antar tingkat gedung. *Story drift* ini harus dikoreksi berdasarkan peraturan gempa (SNI 1726:2019, 2019). Nilai *story drift* yang telah dikoreksi tidak boleh melebihi syarat yang diizinkan. Untuk jenis struktur lainnya dan berada pada kategori resiko

gempa II, batas simpangan antar lantai ijin adalah $0,020 h_{sx}$, dimana h_{sx} merupakan tinggi antar tingkat. Dari perhitungan di atas didapat :

$$\Delta_{ijin} = 0,020 \times h_{sx} \quad (1)$$

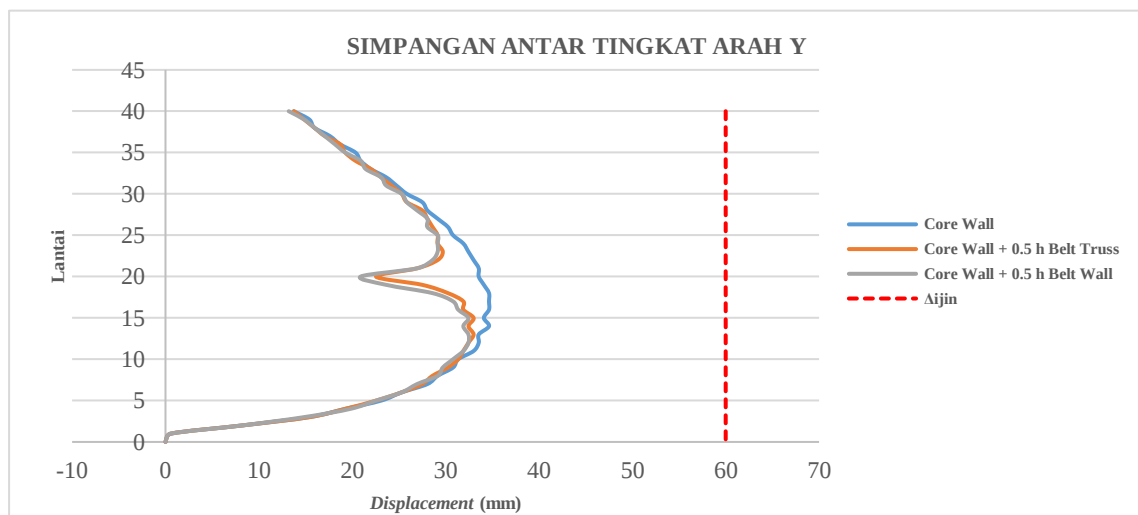
$$\Delta_{ijin} = 0,020 \times 3000 \quad (2)$$

$$\Delta_{ijin} = 60 \quad (3)$$



Gambar 8. Simpangan Antar Tingkat Arah X Masing - Masing Model

Dari Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa model gedung *core wall*+0,5 h *belt wall* memiliki simpangan antar tingkat di lantai 20 paling kecil yaitu sebesar 22,0 mm untuk arah X. Kemudian dilanjutkan dengan model gedung *core wall*+0,5 h *belt truss* dengan simpangan di lantai 20 sebesar 23,6 untuk arah X. Simpangan dengan hanya menggunakan struktur *core wall* memiliki simpangan paling besar yaitu 36,3 mm untuk arah X.



Gambar 9. Simpangan Antar Tingkat Arah X Masing - Masing Model

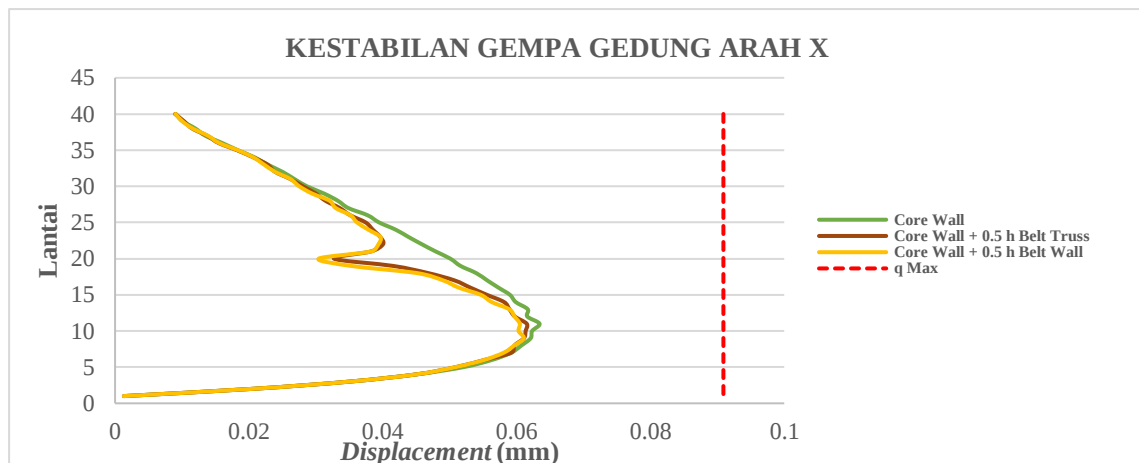
Dari Gambar 9 dapat disimpulkan bahwa model gedung *core wall*+0,5 h *belt wall* memiliki simpangan antar tingkat di lantai 20 paling kecil yaitu sebesar 20,9 untuk arah Y. Kemudian dilanjutkan dengan model gedung *core wall*+0,5 h *belt truss* dengan simpangan di lantai 20 sebesar 22,55 untuk arah Y. Simpangan dengan hanya menggunakan struktur *core wall* memiliki simpangan paling besar yaitu 33,5 mm untuk arah Y. Pada gambar grafik di atas terlihat pada lantai 20 terjadi reduksi

simpangan yang cukup tajam, kejadian ini karena pada lantai 20 dipasang struktur *belt wall* dan *belt truss* yang akan menambah kekakuan.

Kestabilan Gempa

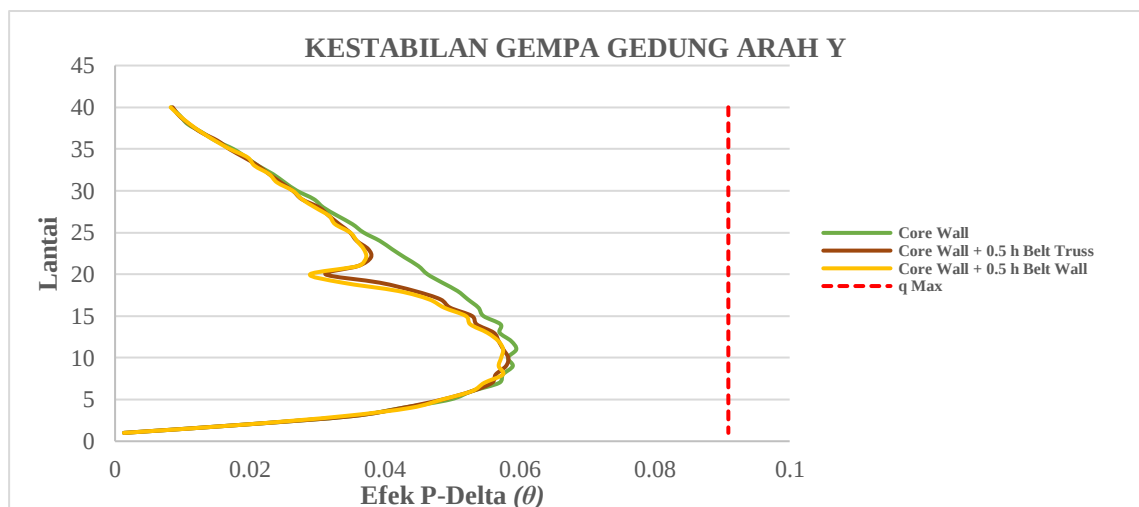
Pada analisis kontrol selanjutnya yaitu pengecekan terhadap kestabilan struktur bangunan (efek P-Delta), diperlukan jumlah beban grafitasi untuk masing-masing lantai dengan factor beban tidak boleh lebih dari 1,0. Diambil kombinasi pembebanan untuk mengontrol P-Delta, sebagai berikut:

$$\text{Comb } P\text{-Delta} = 1,0 \text{ DL} + 0,3 \text{ LL} \quad (4)$$



Gambar 10. Kestabilan Gempa Arah X Masing-Masing Gedung

Dari Gambar 10 dapat disimpulkan bahwa model gedung *core wall*+0,5h *belt wall* memiliki kestabilan gedung di lantai 20 paling kecil yaitu sebesar 0,030433 mm untuk arah X. Kemudian dilanjutkan dengan model gedung *core wall*+0,5h *belt truss* dengan kestabilan gedung akibat gempa di lantai 20 sebesar 0,032709 mm untuk arah X. Gedung dengan hanya menggunakan struktur *core wall* memiliki kestabilan gempa yang paling besar yaitu 0,050106 mm untuk arah X.



Gambar 11. Kestabilan Gempa Arah Y Masing-Masing Gedung

Dari **Gambar 11** dapat disimpulkan bahwa model gedung *core wall+0,5h belt wall* memiliki kestabilan gedung di lantai 20 paling kecil yaitu sebesar 0,028912 untuk arah Y. Kemudian dilanjutkan dengan model gedung *core wall+0,5h belt truss* dengan kestabilan gedung akibat gempa di lantai 20 sebesar 0,031188 mm untuk arah Y. Gedung dengan hanya menggunakan struktur *core wall* memiliki kestabilan gempa yang paling besar yaitu 0,04631 mm untuk arah Y.

Analisis Jumlah Tulangan Kolom dan Core Wall

Dengan penggunaan struktur tambahan *belt truss* atau *belt wall* pada lokasi tinggi bangunan yang tepat, sehingga bisa mereduksi simpangan yang efektif. Menggunakan struktur tambahan *belt truss*, diperoleh bahwa lokasi yang paling efektif untuk mengurangi simpangan yaitu 0,5h. Kemudian struktur tambahan yang paling baik antara *belt truss* dan *belt wall* berdasarkan simpangan dengan penambahan di 0,5h tinggi gedung yaitu pemodelan struktur *belt wall*.

Tabel 5. Jumlah Tulangan Masing - Masing Model

	CW	CW + 0,5 H Belt Truss	CW + 0,5 H Belt Wall
Kolom 120x120	2032637	2025382	2020187
Core Wall	686640	674627	672455
Jumlah	2719277	2700009	2692642
Presentase	0%	0,71%	0,98%

Jadi semakin kecil simpangan yang dihasilkan semakin sedikit juga jumlah tulangan yang diperoleh. Berdasarkan tabel di atas, model struktur *core wall + 0,5 belt wall* memiliki jumlah tulangan paling sedikit yaitu sebesar 2692642 dan memiliki presentase yang paling baik yaitu sebesar 0,98%. Sedangkan model struktur *core wall + 0,5 belt truss* memiliki jumlah tulangan sebesar 2700009 dan presentase yang dihasilkan sebesar 0,71%.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa lokasi optimum dari belt truss dari masing - masing ketinggian yaitu: 0,25h, 0,5h, 0,75h dan cap truss, lokasi yang optimum adalah lokasi letak belt truss 0,5h mampu mereduksi simpangan 6,45% arah sumbu X dan 5,99% arah sumbu Y.
2. Untuk struktur bangunan gedung dengan core wall dihasilkan simpangan maksimum 203 mm untuk arah sumbu X dan 190,4 mm untuk arah sumbu Y. Struktur gedung *core wall+0,5h belt truss* menghasilkan simpangan maksimum sebesar 189,9 mm untuk arah sumbu X dan 179 mm untuk arah sumbu Y. Dan apabila struktur gedung *core wall+0,5 h belt wall* menghasilkan simpangan maksimum 186,8 mm untuk arah sumbu X dan 176 mm untuk arah sumbu Y. Jadi model yang terbaik adalah gabungan antara core wall dengan belt wall yang mampu mereduksi simpangan sebesar 8,08 % arah sumbu X dan 7,56% arah sumbu Y.

Referensi :

- Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain, 196. www.bsn.go.id
- Hidayat, R., & Prasetya, D. (2018). Analisis H Asil Belajar Efektif Dari Penerapan. 01(01), 31–37.
- Lestari, P. D., Apriyatno, H., Sipil, J. T., Teknik, F., Semarang, U. N., Unnes, K., Gunungpati, S., Tengah, J., & Truss, B. (2021). Sistem Struktur Outrigger Dan Belt Truss Sebagai.
- Mantri, S. V., Hiwase, P., & Dahale, P. P. (2019). Research and optimization of the belt truss location in high-rise RCC structure. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2 Special Issue 3), 481–486. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B1085.0782S319>
- Nanduri, P. . M. B. R. K., Suresh, B., & Hussain, I. (2013). Optimum position of outrigger system for high-rise reinforced concrete buildings under wind and earthquake loadings. *American Journal of Engineering Research*, 02(08), 76–89. [http://www.ajer.org/papers/v2\(8\)/J0287689.pdf](http://www.ajer.org/papers/v2(8)/J0287689.pdf)
- Pesik, E. R., Wallah, S. E., & Handono, B. D. (2018). Respon Dinamis Bangunan Bertingkat Banyak dengan Variasi Tata Letak Outrigger. *Sipil Statik*, 6(3), 163–174.
- Pudjisuryadi, P., Lumantarna, B., Dewi, D. K., & Susanto, A. (2006). Studi Tentang Daktilitas Struktur pada Sistem Shearwall Frame dengan Belt Truss. *Civil Engineering Dimension*, 8(1), 41–46. <http://puslit.petra.ac.id/journals/civil>
- Sni 1726:2019. (2019). Sni 1726:2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung, 8, 254.
- Spektra, D. (2021). Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia. PuSGeN, DBTPP, Ditjen Cipta Karya, Kementerian PUPR. <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>
- Suku, Y. L., & Ndale, F. X. (2019). Analisis Tingkat Kekakuan Struktur Rangka - Dinding Geser Tanpa Dan Dengan Belt Truss Pada Bangunan Tinggi Beton Bertulang Akibat Beban Lateral. *Teknosiar*, 13(1), 26–35. <https://doi.org/10.37478/teknosiar.v13i1.229>
- Syahriar, Y., & M. Faishal, M. (2012). Analisis Perbandingan Efektifitas Struktur Gedung dengan Menggunakan Shearwall dan kombinasi antara Shearwall-Outrigger. *Jurnal Teknik POMITS*, 1(1), 1–6.
- Tapubhai, V. R., & Solanki, H. (2022). Parametric Study of G + 15 Building Model With Plus , L , T-Shape Have Different Position of Belt Wall. 03, 45–58.
- Upadhyay, D. K., & Jamle, S. (2020). A Review on Stability Improvement with wall belt Supported dual Structural System using different Grades of Concrete. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 7(3), 293–296. <https://doi.org/10.22161/ijaers.73.43>
- Utomo, D. P., & Soegiarso, R. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Dual System Dengan Belt Truss bagaimana Kinerja Struktur Dual System dengan Belt Truss dan nilai parameter – parameter perencanaan struktur tahan gempa meliputi Faktor Modifikasi Respon (R), Faktor Perbesaran Defleksi (Cd), d. 5(2), 289–296.