

Optimalisasi Desain *Scaffolding*: Studi Pengaruh *Scaffolding* dengan Penambahan *Outrigger*

Akhmad Yusuf Zuhdy^{1,*}, Ifarrel Rachmanda Hariyanto¹, Naura Firdausi¹

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, yuf_di@yahoo.com

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	19 November 2024	<i>Outriggers have long been introduced as an addition to scaffolding, but in the majority of construction implementations, outriggers are rarely used due to time and cost efficiency considerations. In this research is to conduct a strength analysis study of scaffolding with addition of outriggers using FEA. This approach will allow us to determine how outriggers influence scaffolding in strengthening the structure, thereby minimizing the possibility of work accidents. In this research, scaffolding will be modeled with several variations, namely one-story, two-story, and three-story variations, with two outrigger configurations: single-sided and double-sided. A pushover test will be conducted on the Finite Element Analysis with displacement control to determine the performance of the scaffolding. The use of outrigger reinforcement is expected to reduce deflection (Δ) of the scaffolding. Meanwhile, the application of this method in field is expected to extend the collapse time of the structure, allowing workers more time for evacuation.</i>
Diperbaiki	19 Januari 2025	
Disetujui	26 Februari 2025	

Keywords: construction, high-rise building, outrigger, scaffolding

Abstrak
Outrigger sendiri pada scaffolding sudah cukup lama diperkenalkan sebagai tambahan pada scaffolding, namun di mayoritas pelaksanaan pembangunan, outrigger ini jarang sekali untuk digunakan dikarenakan efisiensi waktu dan biaya, usulan pada penelitian ini yaitu untuk melakukan studi analisis kekuatan scaffolding ditambahkan dengan outrigger dengan menggunakan Finite Element Analysis (FEA), dengan demikian dapat diketahui bagaimana pengaruh outrigger dalam scaffolding untuk memperkuat struktur sehingga meminimalisir kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja. Di dalam proposal penelitian ini, scaffolding akan dilakukan pemodelan dengan beberapa variasi yaitu variasi satu lantai, dua lantai, dan tiga lantai dengan dua konfigurasi outrigger yaitu satu sisi dan dua sisi. Uji dorong (pushover test) akan dilakukan pada Finite Element Analysis dengan displacement controlled untuk mengetahui bagaimana performa scaffolding. Penggunaan perkuatan outrigger diharapkan dapat menurunkan defleksi (Δ) scaffolding. Sedangkan penerapan metode ini di lapangan diharapkan mampu memperpanjang waktu runtuh bangunan agar pekerja memiliki waktu lebih lama untuk melakukan evakuasi.

Kata kunci: gedung tinggi, konstruksi, outrigger, scaffolding

1. Pendahuluan

Scaffolding merupakan struktur sementara yang memainkan peran penting dalam industri konstruksi, menyediakan platform kerja yang aman dan efisien bagi pekerja di berbagai ketinggian [1]. Seiring dengan meningkatnya kompleksitas proyek konstruksi, kebutuhan akan *scaffolding* yang lebih stabil dan aman juga semakin mendesak. Dalam konteks ini, optimalisasi desain *scaffolding* menjadi aspek yang sangat penting untuk meningkatkan keselamatan pekerja dan efisiensi proyek [2].

Salah satu inovasi dalam desain *scaffolding* adalah penambahan *outrigger*, suatu elemen struktural yang telah lama dikenal dapat meningkatkan stabilitas bangunan tinggi. Meskipun *outrigger* telah diperkenalkan sebagai tambahan pada *scaffolding*, penggunaannya dalam praktik konstruksi sehari-hari masih terbatas, terutama karena pertimbangan

efisiensi waktu dan biaya [3]. Namun, potensi *outrigger* dalam meningkatkan kekuatan dan stabilitas *scaffolding* belum sepenuhnya dieksplorasi dan dioptimalkan.

Outrigger merupakan elemen struktural yang secara signifikan meningkatkan kinerja *scaffolding* dengan cara meningkatkan momen inersia struktur. Peningkatan ini menghasilkan resistensi yang lebih besar terhadap gaya lateral, yang sangat penting dalam menjaga stabilitas *scaffolding* di lokasi konstruksi [4]. Penambahan *outrigger* pada *scaffolding* dapat meningkatkan kapasitas beban lateral hingga 40% dibandingkan dengan *scaffolding* konvensional [5].

Pemilihan konfigurasi *scaffolding* yang optimal merupakan proses kompleks yang melibatkan pertimbangan berbagai faktor. Ketinggian struktur menjadi salah satu faktor kritis, di mana *scaffolding* dengan *outrigger* menunjukkan

efektivitas yang lebih tinggi pada struktur yang lebih tinggi [6]. Beban yang diharapkan, baik beban statis maupun dinamis, juga mempengaruhi desain *scaffolding*, dengan *outrigger* memberikan distribusi beban yang lebih merata [7]. Kondisi lingkungan, seperti kecepatan angin dan potensi gempa, harus dipertimbangkan dalam pemilihan konfigurasi, mengingat *outrigger* dapat meningkatkan ketahanan terhadap beban lateral yang disebabkan oleh faktor-faktor ini [8]. Selain itu, batasan ruang di lokasi konstruksi sering kali menjadi faktor penentu dalam pemilihan desain *scaffolding*, di mana *outrigger* dapat menjadi solusi efektif untuk meningkatkan stabilitas tanpa memerlukan ruang horizontal yang berlebihan.

Outrigger secara efektif meningkatkan momen inersia struktur, sehingga meningkatkan resistensi terhadap gaya lateral. Pemilihan konfigurasi *scaffolding* yang tepat tergantung pada berbagai faktor seperti ketinggian struktur, beban yang diharapkan, kondisi lingkungan, dan batasan ruang di lokasi konstruksi. Analisis yang cermat terhadap kebutuhan proyek dan kondisi lapangan sangat penting untuk menentukan konfigurasi *scaffolding* yang paling sesuai, memastikan keselamatan pekerja dan efisiensi pekerjaan konstruksi.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi komprehensif tentang pengaruh penambahan *outrigger* pada kinerja struktural *scaffolding*. Dalam menggunakan pendekatan *Finite Element Analysis* (FEA), menggunakan model elemen hingga untuk mengevaluasi berbagai konfigurasi *scaffolding* dan mengidentifikasi desain yang menawarkan keseimbangan optimal antara kekuatan, stabilitas, dan efisiensi material [9]. penelitian ini akan menganalisis berbagai konfigurasi *scaffolding*, termasuk variasi jumlah lantai (satu, dua, dan tiga lantai) serta konfigurasi *outrigger* (satu sisi dan dua sisi). Melalui analisis *pushover* dengan metode *displacement-controlled*, penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan membandingkan performa *scaffolding* dalam berbagai skenario.

Fokus utama penelitian ini adalah pada pengurangan defleksi (Δ) *scaffolding* melalui penggunaan *outrigger*. Hipotesis yang diajukan adalah bahwa penambahan *outrigger* akan secara signifikan meningkatkan kekakuan struktur, sehingga mengurangi defleksi maksimum dan meningkatkan stabilitas keseluruhan. Lebih lanjut, penelitian ini juga bertujuan untuk mengeksplorasi bagaimana peningkatan stabilitas ini dapat diterjemahkan ke dalam konteks keselamatan kerja, khususnya dalam hal memberikan waktu evakuasi yang lebih lama bagi pekerja dalam situasi darurat.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi industri konstruksi melalui wawasan berharga yang dihasilkan. Penelitian ini fokus pada optimalisasi desain *scaffolding* menggunakan penambahan *outrigger*, studi ini bertujuan untuk memperkaya pemahaman tentang metode-metode peningkatan keamanan struktur sementara di lokasi konstruksi. Hasil-hasil yang diperoleh dari penelitian ini diproyeksikan dapat menjadi landasan dalam pengembangan standar keselamatan yang lebih komprehensif dan *up-to-date*. Hal ini pada gilirannya dapat mendorong peningkatan regulasi keselamatan kerja di sektor konstruksi, memastikan bahwa praktik-praktik terbaik dalam desain *scaffolding* dapat diadopsi secara luas.

Penelitian ini memiliki potensi untuk menciptakan dampak positif yang lebih luas dalam industri konstruksi. Melalui pengoptimalan desain *scaffolding* melalui integrasi *outrigger*, studi ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan keselamatan pekerja konstruksi, tetapi juga untuk meningkatkan efisiensi proyek secara keseluruhan. Peningkatan stabilitas dan keamanan *scaffolding* dapat mengurangi risiko kecelakaan kerja, yang pada akhirnya dapat meminimalkan keterlambatan proyek dan biaya yang terkait dengan insiden keselamatan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan produktivitas dan keberlanjutan dalam industri konstruksi, sambil tetap memprioritaskan aspek keselamatan pekerja sebagai fokus utama.

2. Metode

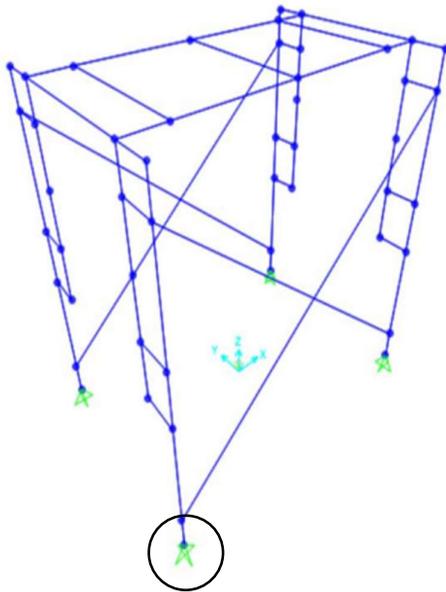
a. Variabel penelitian

Penelitian ini mengkaji dua jenis variabel: variabel terkontrol dan variabel terikat. Variabel terkontrol dalam studi ini terdiri dari dua elemen utama, yaitu ketinggian struktur *scaffolding* dan metode pengujian *scaffolding* [10]. Kedua variabel ini dimanipulasi dan dikendalikan oleh peneliti untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap kinerja *scaffolding*. Sementara itu, variabel terikat yang menjadi fokus pengamatan meliputi data gaya geser maksimum dan perpindahan maksimum. Kedua variabel terikat ini merupakan hasil atau efek yang diukur sebagai respons terhadap perubahan pada variabel terkontrol. Melalui struktur variabel penelitian yang demikian, studi ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana perubahan dalam ketinggian struktur *scaffolding* dan metode pengujiannya berdampak pada gaya geser maksimum yang dapat ditahan oleh *scaffolding* serta perpindahan maksimum yang terjadi pada struktur tersebut. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi secara sistematis kinerja dan keamanan *scaffolding* dalam berbagai kondisi.

b. Tahapan penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang sistematis. Tahap awal dimulai dengan studi literatur untuk membangun landasan teoritis yang kuat. Selanjutnya, dilakukan *preliminary design* untuk merumuskan konsep awal dan kerangka kerja penelitian. Tahap inti dari penelitian ini adalah analisis menggunakan *Finite Element Method* (FEM), yang merupakan metode numerik untuk menyelesaikan permasalahan dalam bidang rekayasa dan matematika fisik. Setelah analisis FEM, dilakukan tahap analisis data untuk mengolah dan menginterpretasikan hasil yang diperoleh. Evaluasi kinerja kemudian dilaksanakan untuk menilai efektivitas dan efisiensi dari metode atau sistem yang diteliti. Akhirnya, penelitian diakhiri dengan penarikan kesimpulan dan penyusunan rekomendasi berdasarkan temuan-temuan yang diperoleh. Melalui rangkaian tahapan ini, penelitian bertujuan untuk menghasilkan pemahaman yang komprehensif dan solusi yang aplikatif terhadap permasalahan yang dikaji.

c. Pemodelan skema *scaffolding*

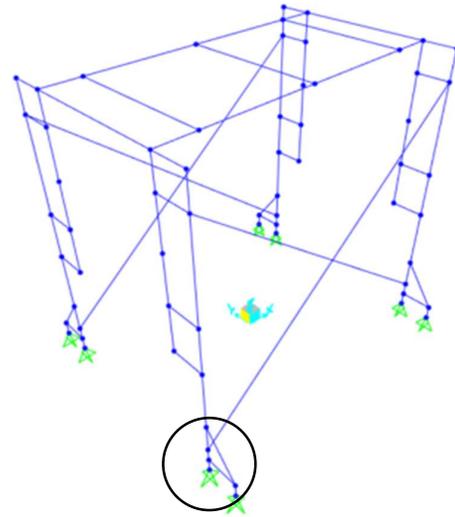


Gambar 2. *Scaffolding* 1 lantai tanpa *outrigger*

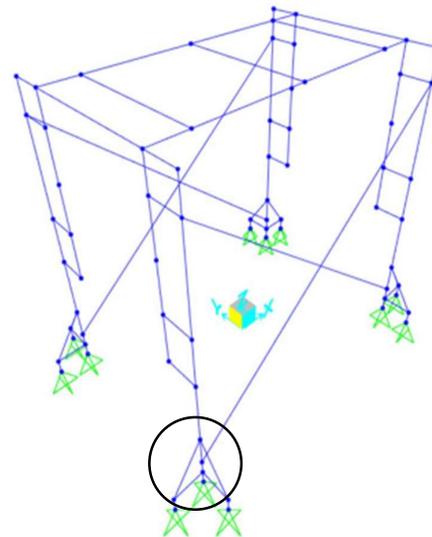
Scaffolding tanpa *outrigger* adalah konfigurasi dasar di mana struktur perancah berdiri sendiri tanpa dukungan tambahan di sisinya, seperti yang tergambar pada **Gambar 2**. Memiliki *footprint* yang lebih kecil, ideal untuk area kerja yang terbatas [2].

Konfigurasi ini melibatkan penambahan *outrigger* pada satu sisi bawah *scaffolding*, seperti yang tergambar pada

Gambar 3. Stabilitas asimetris, yang dapat mempengaruhi distribusi beban [7].



Gambar 3. *Scaffolding* 1 lantai dengan *outrigger* 1 sisi



Gambar 4. *Scaffolding* 1 lantai dengan *outrigger* 2 sisi

Konfigurasi ini melibatkan penambahan *outrigger* pada kedua sisi bawah *scaffolding*. Ideal untuk pekerjaan pada ketinggian yang signifikan atau dalam kondisi beban yang berat [11], seperti yang tergambar pada **Gambar 4**.

d. Penampang dan Skema *Scaffolding*

Dalam mendesain untuk kebutuhan dari analisis *scaffolding* tersebut dibutuhkan spesifikasi dari penampang *scaffolding* untuk memudahkan dalam melakukan analisis. Penampang yang digunakan untuk analisis *scaffolding* didetailkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Penampang *Scaffolding*

No	Jenis	Dimensi
1	Rangka utama	<ul style="list-style-type: none"> Pipa 1¼ Inchi (\varnothing 42,5 mm) / tebal 1,8 mm. Pipa ¾ Inchi (\varnothing 25 mm) tebal 1,7 mm, untuk palang lengkung. Pipa ½ Inchi (\varnothing 21 mm), untuk jari-jari palangan.
2	Join pin	Pipa ¾ Inchi (\varnothing 25 mm), tebal 1,7 mm.
3	Catwalk	<ul style="list-style-type: none"> CNP75 tebal 1,5 mm (pijakan kaki). Kancing Plat 4 mm (pengait catok <i>catwalk</i>). Paku keling diameter 5 mm, panjang 1,5 cm (catok <i>catwalk</i>). Pipa Galvanis Q1 1¼ Inchi (\varnothing 42 mm), tebal 1,8 mm (untuk <i>frame</i> samping). Pipa Galvanis Q1 1¼ Inchi, tebal 1,8 mm (untuk tengah kanan kiri). Pipa Galvanis Q1 1½ Inchi (untuk <i>frame</i> tengah).
4	Pipa support	<ul style="list-style-type: none"> Inner Pipa Galvanis Q1 1½ Inchi. Outer Pipa Galvanis Q1 2 Inchi.

Berdasarkan bahan-bahan dan spesifikasi yang telah disebutkan pada **Tabel 1** di atas dibuatkan beberapa skema untuk pemodelan *scaffolding* tersebut terlampir pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Skema pemodelan *scaffolding*

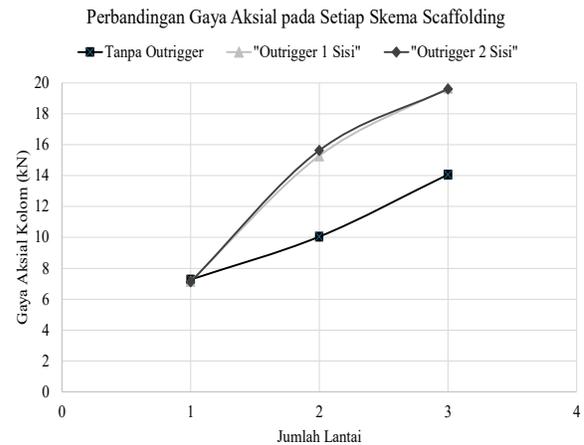
No	Tingkat <i>Scaffolding</i>	Keterangan <i>Outrigger</i>
1	1 tingkat	Tanpa <i>outrigger</i> (a1) <i>Outrigger</i> 1 sisi (a2) <i>Outrigger</i> 2 sisi (a3)
2	2 tingkat	Tanpa <i>outrigger</i> (b1) <i>Outrigger</i> 1 sisi (b2) <i>Outrigger</i> 2 sisi (b3)
3	3 tingkat	Tanpa <i>outrigger</i> (c1) <i>Outrigger</i> 1 sisi (c2) <i>Outrigger</i> 2 sisi (c3)

e. Pembebanan

Pembebanan *Scaffolding* yang terjadi menggunakan beban terpusat 500 kg pada ujung *scaffolding* untuk beban struktur di atasnya, sedangkan beban yang bekerja pada pelat pekerja adalah 100 kg/m² untuk beban hidup, dan 50 kg/m² untuk beban peralatan. Disamping itu, untuk memberikan beban horizontal yang kemungkinan terjadi, ditambahkan beban sebesar 1,11 kN sesuai dengan ketentuan SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain pada salah satu ujung pelat [13].

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis pemodelan dilakukan menggunakan program bantu SAP2000. Pemodelan yang telah dilakukan serta penambahan beban yang telah direncanakan. Dari hasil yang didapatkan pada analisis pemodelan *scaffolding* dengan beberapa skema pemodelan, didapatkan beberapa gaya yang bekerja dan dapat menahan gaya aksial, gaya geser, dan momen yang ditahan oleh *scaffolding* tersebut, berikut adalah rekapitulasi dari hasil analisis pada **Tabel 2**:

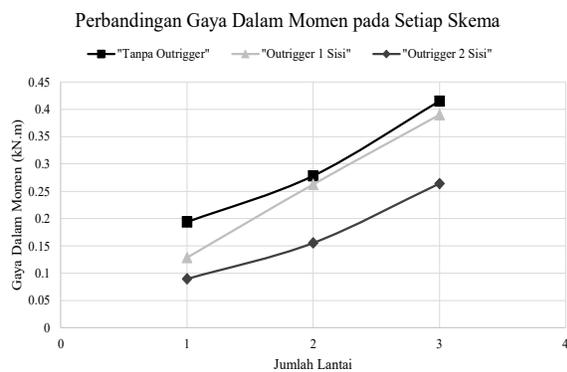
**Gambar 5.** Perbandingan gaya aksial pada setiap skema *scaffolding*

Pada **Gambar 5** terlihat perbandingan gaya aksial pada setiap skema *scaffolding* dengan ada 3 skema. 3 skema terdiri dari tanpa *outrigger*, *outrigger* 1 sisi, dan *outrigger* 2 sisi. **Gambar 5** menunjukkan hasil dengan *Scaffolding* 2 sisi *Outrigger* dengan susunan 3 lantai memiliki gaya aksial tertinggi senilai 19,603 kN.

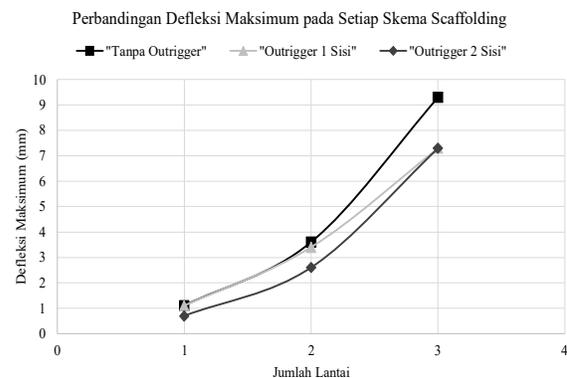
Pada **Gambar 6** menunjukkan hasil dengan *Scaffolding* 2 sisi *Outrigger* dengan susunan 1 lantai memiliki momen terkecil senilai 0,0896 kN.m.

Tabel 2. Rekapitulasi analisis pada *scaffolding*

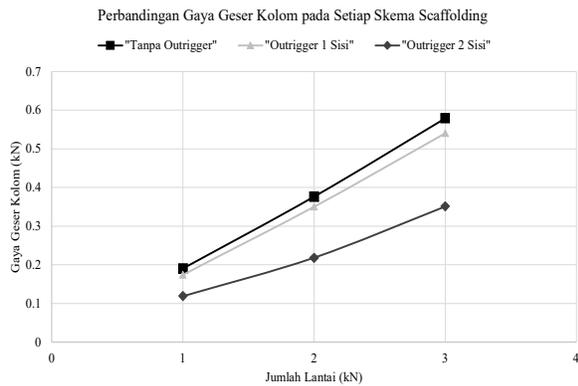
Keterangan	No.	Aksial (kN)	Geser (kN)	Momen (kN.m)	Defleksi Maks. (mm)
<i>Scaffolding</i> Tanpa <i>Outrigger</i>	a1	7,278	0,19	0,1938	1,1
	b1	10,055	0,376	0,2783	3,6
	c1	14,062	0,579	0,4151	9,3
<i>Scaffolding</i> 1 <i>Outrigger</i>	a2	7,166	0,174	0,1285	1,1
	b2	15,278	0,35	0,2627	3,4
	c2	19,665	0,54	0,3902	7,3
<i>Scaffolding</i> 2 <i>Outrigger</i>	a3	7,122	0,119	0,0896	0,7
	b3	15,634	0,218	0,1554	2,6
	c3	19,603	0,351	0,264	7,3



Gambar 6. Perbandingan gaya dalam momen pada setiap skema



Gambar 8. Perbandingan defleksi maksimum pada setiap skema *scaffolding*



Gambar 7. Perbandingan gaya geser kolom pada setiap skema *scaffolding*

Pada **Gambar 7** menunjukkan hasil dengan *Scaffolding* 2 sisi *Outrigger* dengan susunan 1 lantai memiliki gaya geser pada kolom terkecil senilai 0.119 kN.

Pada **Gambar 8** menunjukkan hasil dengan *Scaffolding* 2 sisi *Outrigger* dengan susunan 1 lantai memiliki defleksi maksimal terkecil senilai 0,7 mm

Dari **Gambar 5**, menunjukkan variasi gaya aksial kolom terhadap jumlah lantai untuk tiga skema *scaffolding*. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan *outrigger* secara signifikan mengurangi gaya aksial pada kolom, terutama untuk jumlah lantai yang lebih tinggi. Skema *outrigger* 2 sisi memberikan performa terbaik dalam mengurangi gaya aksial dibandingkan dengan *outrigger* 1 sisi dan tanpa *outrigger*.

Sedangkan dari **Gambar 6** menggambarkan pengaruh jumlah lantai terhadap gaya dalam momen kolom pada berbagai skema *scaffolding*. Tanpa *outrigger* menghasilkan momen tertinggi, sedangkan skema *outrigger* 2 sisi menunjukkan pengurangan momen yang paling signifikan, terutama pada lantai yang lebih tinggi. Ini menunjukkan bahwa *outrigger* efektif dalam mengurangi gaya dalam momen akibat beban pada sistem *scaffolding*.

Gambar 7 menganalisis gaya geser kolom sebagai fungsi jumlah lantai untuk ketiga skema. Tanpa *outrigger*, gaya geser meningkat lebih tajam seiring dengan peningkatan jumlah lantai, sementara *outrigger* 1 sisi dan *outrigger* 2 sisi membantu mengurangi gaya geser secara bertahap.

Efektivitas outrigger 2 sisi terlihat lebih baik dibandingkan outrigger 1 sisi dalam mengurangi gaya geser.

Sedangkan **Gambar 8** menunjukkan defleksi maksimum scaffolding terhadap jumlah lantai. Defleksi tanpa outrigger adalah yang tertinggi, meningkat drastis seiring jumlah lantai bertambah. Skema outrigger, khususnya outrigger 2 sisi, secara signifikan mengurangi defleksi maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa outrigger dapat meningkatkan stabilitas lateral struktur scaffolding dengan efektif. Keempat grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan outrigger memiliki fungsi untuk mengurangi defleksi, dan juga mengurangi momen yang terjadi pada kolom sehingga kolom menjadi lebih kuat untuk diberikan beban lebih. Hal ini terjadi karena gaya yang dipikul oleh kolom terbagi rata ke outrigger sehingga menjadi lebih kaku baik untuk defleksi horizontal dan tahanan momen yang lebih baik.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, terlihat bahwa penambahan *outrigger* pada *scaffolding* memberikan dampak signifikan terhadap penurunan nilai defleksi yang dihasilkan. Dari ketiga konfigurasi yang diteliti, skema *scaffolding* dengan 2 *outrigger* menunjukkan performa terbaik dengan menghasilkan defleksi maksimum terkecil. Dari hasil penelitian menunjukkan defleksi horizontal penggunaan outrigger yang hanya sebesar 7,3 mm dari defleksi tanpa penggunaan outrigger sebesar 9,3 mm yaitu pengurangan sebesar 21,5%. Selain itu, gaya dalam yang terjadi juga lebih kecil dari yang awalnya 0.4151 kN-m menjadi 0.264 kN-m yaitu sebesar 36,4%. Sedangkan untuk gaya geser, outrigger 2 menunjukkan hasil paling kecil dibandingkan tanpa outrigger dan outrigger 2 yaitu sebesar 0,351 kN atau sebesar 39,3% jika dibandingkan dengan tanpa outrigger, dan sebesar 35% terhadap outrigger 1.

Hal ini mengindikasikan bahwa desain *scaffolding* dengan 2 *outrigger* merupakan konfigurasi optimal dalam pemodelan *scaffolding*, memberikan tingkat stabilitas tertinggi di antara ketiga konfigurasi yang diuji. Dari hasil penelitian menunjukkan defleksi horizontal penggunaan outrigger yang hanya sebesar 7,3 mm dari defleksi tanpa penggunaan outrigger sebesar 9,3 mm yaitu pengurangan sebesar 21,5%. Selain itu, gaya dalam yang terjadi juga lebih kecil dari yang awalnya 0.4151 kN-m menjadi 0.264 kN-m yaitu sebesar 36,4%.

Temuan ini memiliki implikasi penting dalam konteks keselamatan kerja di industri konstruksi. Mengingat tingginya frekuensi penggunaan *scaffolding* dalam proyek-proyek konstruksi dan risiko kecelakaan kerja yang menyertainya, optimalisasi desain *scaffolding* menjadi aspek

krusial yang perlu diperhatikan. Dengan mengadopsi konfigurasi *scaffolding 2 outrigger*, para praktisi konstruksi dapat meningkatkan keamanan dan stabilitas struktur pendukung sementara ini, sehingga meminimalkan risiko kecelakaan kerja dan meningkatkan efisiensi operasional di lapangan.

Daftar Pustaka

- [1] Nadhim, E. A., Hon, C., Xia, B., Stewart, I., dan Fang, D. "Falls from height in the construction industry: A critical review of the scientific literature. International" *Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 13, no. 7, p. 638, 2016, doi: 10.3390/ijerph13070638.
- [2] Peng, J. L., Pan, A. D. E., Chen, W. F., Yen, T., dan Chan, S. L., "Experimental and numerical studies of practical system scaffolds", *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 91, p. 64-75, 2013, doi: 10.1016/j.jcsr.2013.07.028.
- [3] Rubio-Romero, J. C., Gámez, M. C. R., dan Carrillo-Castrillo, J. A., "Analysis of the safety conditions of scaffolding on construction sites", *Safety Science*, vol 55, p.160-164. 2013, doi: 10.1016/j.ssci.2013.01.006
- [4] Wu, J. R., dan Li, Q. S., "Structural performance of multi-outrigger-braced tall buildings", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 12, no. 2, p. 155-176, 2003. doi: 10.1002/tal.219.
- [5] Kim, H., Lim, J., Lee, J., Kang, Y. J., dan Kim, S., "Experimental Investigations on Ultimate Behavior of Fabricated Mobile Scaffolds", *Metals*, vol. 11, no. 6, p. 851, 2021, doi: 10.3390/met11060851.
- [6] Lili, X., Paolo, G., Ying, Z., dan Peng, Z., "Optimization of outrigger locations in tall buildings considering wind-induced responses". *Journal of Building Engineering*, vol 76, doi: /10.1016/j.jobe.2023.107209
- [7] Aryo dan Suangga, M., "Performance evaluation of outrigger location on the seismic load distribution of high-rise building structure". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020. doi: 10.1088/1755-1315/426/1/012063
- [8] Zhou, Y. dan Cuiqiang, Z., "Seismic performance of a damping outrigger system for tall buildings", *Structural Control and Health Monitoring*, vol. 24, no.14, 2016, doi: 10.1002/stc.1864
- [9] Cimellaro, G. P. Dan Marco Domaneschi, M., "Stability analysis of different types of steel scaffolds", *Engineering Structures*, vol. 152, p. 535-

- 548, 2017, doi: 10.1016/j.engstruct.2017.07.091
- [10] André, J., Beale, R., dan Baptista, A. M., “A survey of failures in temporary structures”, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Forensic Engineering*, vol. 169, no.2, p.63-71, 2016, doi: 10.1680/feng.12.00012
- [11] Chandrangsung, T., dan Rasmussen, K. J. R., “Investigation of geometric imperfections and joint stiffness of support scaffold systems”, *Journal of Constructional Steel Research*, vol 67, no. 4, p. 576-584, 2011, doi: 10.1016/j.jcsr.2010.12.004
- [12] Badan Standardisasi Nasional. SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. 2020.

Halaman ini sengaja dikosongkan