

Studi Perbandingan Performa Ketidakberaturan Horizontal Bangunan Terhadap Beban Gempa

Andra Akmal Maulidani^{1✉}, Dzul Fikri Muhammad², Muhammad Abdul Rahman³, Edi Santoso⁴

^{1, 2, 3, 4} Teknik Sipil, Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 06-03-2024

Direvisi : 15-03-2024

Diterima : 16-03-2024

ABSTRAK

Indonesia terletak pada 3 lempeng besar tektonik mengakibatkan wilayah Indonesia rentan terhadap gempa. Untuk menanggulangi hal tersebut perlu adanya perencanaan bangunan yang tahan terhadap gempa. Pertumbuhan penduduk yang tinggi mengakibatkan banyaknya model bangunan tinggi yang beragam. Model bangunan yang beragam ini menyebabkan munculnya desain bangunan yang tidak beraturan baik itu tidak beratur secara horizontal maupun vertikal. Ketidakberaturan ini dapat mempengaruhi hasil analisis struktur terhadap beban gempa. Pada penelitian ini membahas pengaruh ketidakberaturan horizontal pada bangunan terhadap beban gempa dengan hasil penelitian bangunan yang beratur memiliki sifat kekakuan struktur yang relatif lebih kaku dibanding bangunan tidak beratur. Selain itu ketidakberaturan juga berakibat kepada nilai simpangan antar lantai yang lebih kecil pada arah X dan lebih besar pada arah Y jika dibandingkan dengan bangunan tidak beratur.

Kata Kunci:

Ketidakteraturan
Horizontal; Penyimpangan
Tingkat; Perpindahan;
Respon.

Keywords :

*Horizontal Irregularity,
Level Deviation,
Displacement, Response.*

ABSTRACT

Indonesia is located on 3 large tectonic plates, making the Indonesian region vulnerable to earthquakes. To overcome this, it is necessary to plan buildings that are earthquake resistant. High population growth has resulted in many different models of tall buildings. These diverse building models have led to the emergence of irregular building designs, both horizontally and vertically. This irregularity can affect the results of structural analysis of earthquake loads. This research discusses the effect of horizontal irregularities in buildings on earthquake loads with the results of research that regular buildings have structural stiffness properties that are relatively stiffer than irregular buildings. In addition, irregularities also result in smaller deviation values between floors in the X direction and larger in the Y direction when compared to irregular.

Corresponding Author :

Andra Akmal Maulidani

Teknik Sipil, Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia

Jl. Cakrawala No.5, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145, Indonesia

Email: andra.akmal.2105236@students.um.ac.id

PENDAHULUAN

Letak geologis Indonesia yang terhimpit oleh tiga lempeng besar tektonik menyebabkan beberapa daerah di Indonesia menjadi rawan gempa (Erita & Mahendra, 2019). Kondisi ini tentu saja menjadi permasalahan karena dampak dari gempa bumi bersifat global dan menyeluruh dalam segala aspek. Sesuai data yang dilaporkan Badan Nasional Penanggulangan Bencana pada tahun 2021, kerugian total negara diakibatkan bencana alam mencapai 11,06 Triliun. Salah satu

gempa dengan dampak terparah terjadi di Yogyakarta pada bulan Mei 2006 silam, menyebabkan 71.763 rumah rusak dan memakan 5.782 korban jiwa (Putri, 2021).

Pertumbuhan penduduk pada abad 21 yang semakin tinggi mengakibatkan adanya keterbatasan lahan, khususnya di negara Indonesia (Akhirul et al., 2020). Menurut (Pison, 2017) Indonesia termasuk dalam 7 negara dengan populasi tertinggi di dunia dengan total penduduk melebihi setengah populasi dunia. Keadaan ini merupakan faktor pendorong terjadinya tren pembangunan gedung tinggi. Tren bangunan tinggi meliputi beberapa aspek, termasuk fungsi dan kegunaan, serta desain arsitektur yang unik (Tenau, 2023). Arsitektur unik ini tentunya akan berdampak kepada desain kesimetrisan gedung, dengan banyak munculnya gedung asimetris atau gedung dengan bentuk tidak beratur.

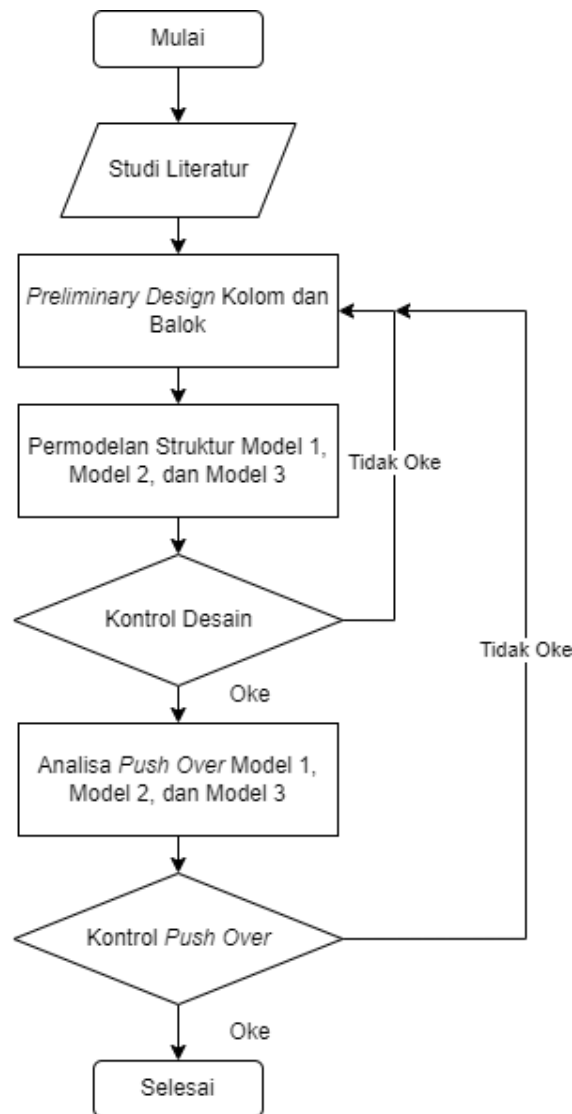
Ketidakberaturan gedung merupakan kondisi dimana tata letak maupun elevasi bangunan tidak tersebar secara merata dan teratur (Hidayati & Riqi, 2023). Ketidakberaturan pada bangunan ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal, dengan didasarkan pada ketidakmerataan tata letak terhadap sumbu xy bangunan dan ketidakmerataan elevasi bangunan pada sumbu xz atau yz (Purba, H. L, 2014). Menurut SNI 1726-2019 ketidakberaturan horizontal sudut dalam terjadi jika persentase proyeksi sudut dalam lokasi sudut lebih besar 15% dari dimensi denah struktur yang ditinjau. Ketidakberaturan struktur bangunan dapat merujuk pada keadaan dimana struktur bangunan tidak memenuhi kriteria yang diperlukan untuk mengurangi dampak gempa walau dengan beban yang sama jika dibandingkan dengan bangunan beraturan (Simamora et al., 2020).

Penelitian yang dilakukan oleh Simamora, et all (2020) berfokus pada dampak ketidakberaturan horizontal pada bangunan yang difokuskan kepada kontrol perpindahan, rasio simpangan, gaya geser, perfroma bangunan, dan perbedaan berat tulangan. Penelitian ini membuktikan bahwa *displacement* terbesar untuk arah-x pada gedung tidakberaturan memiliki selisih 0,49 m dibanding gedung beraturan, dengan beban gravitasi dan beban gempa sebagai kontrol permodelan. Padahal pada bangunan yang tidak beraturan diperlukan kontrol permodelan yang lebih rinci untuk memastikan keamanan dan ketahanannya.

Didasarkan konteks yang telah disebutkan, penulis tertarik untuk melakukan Studi Perbandingan Ketidakberaturan Horizontal Bangunan Terhadap Beban Gempa sesuai dengan SNI 1726-2019 dengan 4 jenis kontrol permodelan diantaranya, kontrol partisipasi massa, kontrol beban gempa, kontrol periode bangunan, dan kontrol deformasi antar lantai. Studi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh gempa terhadap bangunan tidak beratur secara horizontal, ditinjau dari kontrol partisipasi massa, kontrol beban gempa, kontrol periode bangunan, dan kontrol deformasi antar lantai.

METODE PENELITIAN

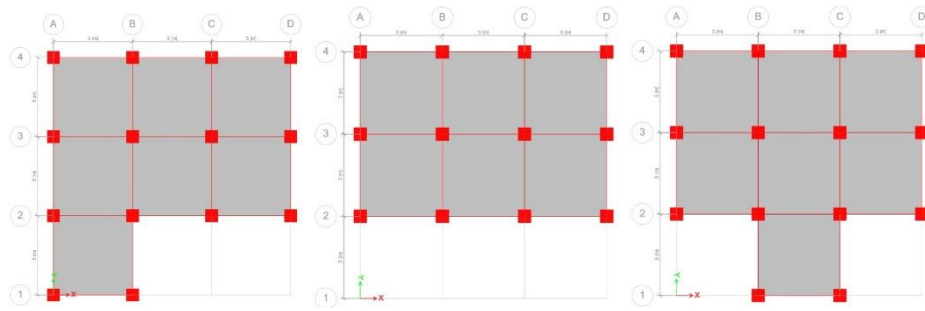
Pada penelitian Studi Perbandingan Performa Ketidakberaturan Horizontal Bangunan Terhadap Beban Gempa ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan mengumpulkan data penelitian yang dapat diukur (Ramdhan, 2021). Teknik penelitian yang digunakan adalah eksperimen bertujuan untuk menemukan pengaruh dari perlakuan tertentu, dimana pada penelitian ini perlakuan berupa denah 3 model bangunan bangunan yang berbeda-beda untuk mencari dampak ketidakberaturan bangunan horizontal dibandingkan dengan bangunan beratur (Daniel & Harland, 2017). Berikut merupakan diagram alir metode penelitian Studi Perbandingan Performa Ketidakberaturan Horizontal Bangunan Terhadap Beban Gempa.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Sumber: (Penulis, 2024)

Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur terhadap topik yang hendak dibahas. pada penelitian Studi Perbandingan Performa Ketidakberaturan Horizontal Bangunan Terhadap Beban Gempa, literatur difokuskan terhadap penelitian terkait ketidakberaturan horizontal, kontrol struktur terhadap pembebanan gempa, dan literatur lain yang bersangkutan. Kemudian penelitian dilanjutkan dengan tahap *preliminary design* atau desain awal. Penelitian ini dilakukan membandingkan 3 model gedung tipikal atau memiliki denah yang sama untuk tiap lantainya dengan total 10 lantai. 3 model gedung bahan perbandingan terdiri dari dua model gedung tidak beraturan yaitu Model 1 dan Model 3, serta satu model gedung beraturan yaitu gedung Model 2 sebagai kontrol. Denah gedung yang digunakan ditunjukkan pada gambar dibawah ini dengan lebar bentang balok 5 meter dan tinggi kolom pada masing-masing lantai adalah 3,5 meter dengan tinggi total bangunan 35 meter. Kolom yang digunakan berdimensi 80 x 80 cm, Balok berdimensi 30 x 60 cm, dan tebal Plat lantai dan Atap 15 cm. Mutu beton yang digunakan untuk komponen kolom, balok, dan plat gedung model adalah Beton mutu $f_c = 30$ MPa. Digunakan tulangan BJ Ts 420 untuk tulangan utama dengan nilai $f_y = 420$ MPa dan $f_u = 370$ MPa. Tulangan sengkang menggunakan BJ Tp 240 dengan nilai $f_y = 240$ MPa dan $f_u = 370$ MPa. (Badan Standardisasi Nasional, 2017).



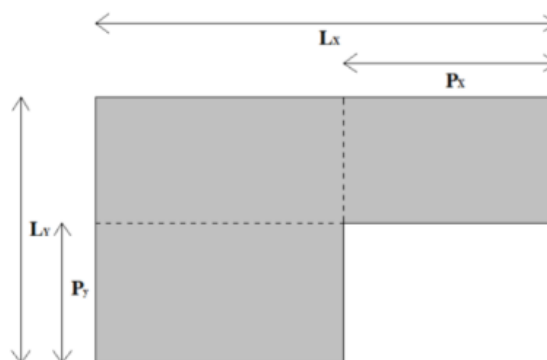
Gambar 2. dari kiri ke kanan Denah Model 1; Denah Model 2; Denah Model 3

Sumber: (Penulis,2024)

Tahapan berikutnya merupakan permodelan struktur dengan aplikasi ETABS 20 dengan menambahkan beban mati tambahan sebesar 175 kg/m^2 dan beban hidup 250 kg/m^2 (Badan Standardisasi Indonesia, 2020). Input beban gempa yang direncanakan merupakan beban gempa Respon Spektrum Yogyakarta dengan kelas situs D. Setelah permodelan dilanjutkan dengan kontrol desain yang terdiri dari kontrol permodelan, kontrol ketidakberaturan sudut dalam, kontrol concrete design check, dan kontrol pushover.

Kontrol permodelan terdiri dari berbagai jenis kontrol yaitu kontrol partisipasi massa, kontrol beban gempa, kontrol periode bangunan, dan kontrol defromasi antar lantai. Kontrol partisipasi masa adalah rasio persentase massa bangunan terhadap getaran yang dialami, pada SNI 1726-2019 disyartakan partisipasi massa bangunan minimal 90% (Harahap & Fauzan, 2019). Kontrol beban gempa mengharuskan respon spektrum strutur menerima 100% dari gaya geser statiknya. Periode bangunan merupakan waktu terjadinya getaran ketika struktur dalam kondisi statis (Altavillah, 2015). Kontrol ini mengharuskan periode bangunan berada diantara nilai T_a dan T . Deformasi mengacu pada perpindahan struktur akibat beban yang diterima, bertujuan untuk mengetahui respons struktur (Putri et al., 2024). Berdasarkan SNI 1726-2019 perpindahan struktur tiap lantai tidak boleh lebih besar dibandingkan 2% tinggi keseluruhan bangunan.

Ketidakberaturan bangunan berorientasi pada ketidakrataan secara elevasi maupun tata letak. Berdasarkan SNI 1726:2019 syarat ketidakberaturan horizontal sudut dalam terjadi ketika proyeksi sudut dalam lokasi sudut lebih besar 15% dari dimensi denah yang ditinjau . Dalam SNI juga disyaratkan presentase berlaku untuk kedua arah sumbu, baik pada arah x maupun arah y bangunan.



Gambar 3. Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2019)

Kontrol *concrete design check* adalah analisa bawaan pada aplikasi ETABS bertujuan untuk mengetahui apakah struktur mampu menerima beban rencana. Kontrol *pushover analysis*

bertujuan untuk mengetahui letak leleh pertama pada bangunan. Kedua kontrol tersebut dilakukan beriringan untuk mengetahui apakah permodelan sudah dilakukan dengan benar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kontrol partisipasi masa adalah rasio persentase massa bangunan terhadap getaran yang dialami (Harahap & Fauzan, 2019). Berdasarkan hasil analisis partisipasi massa yang digunakan pada aplikasi ETABS 20 menunjukkan nilai persentase partisipasi massa Model 1 adalah 95,26%; Model 2 95,23%; dan Model 3 95,26%. Berdasarkan hasil tersebut rasio persentase massa bangunan terhadap getaran yang dialami ketiga model bangunan telah memenuhi syarat partisipasi massa yaitu minimal 90%.

Berdasarkan hasil analisa kontrol beban gempa menggunakan aplikasi ETABS 20 didapatkan ketiga model bangunan telah menerima 100% dari gaya geser statiknya. Perbedaan luasan denah pada Model 2 dibandingkan dengan Model 1 dan Model 3, dengan perbedaan berupa segmen tambahan pada struktur untuk menunjukkan ketidakberaturan menyebabkan perbedaan berat struktur dan gaya geser gempa akibat berat struktur yang cukup signifikan. Model 1 dan Model 3 lebih berat 251951,95 kg atau lebih berat 16% dari Model 2. Perbedaan berat struktur ini juga berpengaruh terhadap nilai gaya geser statik yang diterima pada model bangunan. Perhitungan gaya geser statis dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$V = C_s \cdot W \quad (1)$$

Keterangan:

V = Gaya geser statis

C_s = Koefisien respon seismic

W = Berat total struktur

Gaya geser statik akibat gempa yang diterima pada Model 2 lebih kecil 19,24% dibandingkan dengan Model 1 dan lebih kecil 19,32% dibandingkan dengan Model 2. Pada Model 1 dan 3 tidak ada perbedaan berat, tetapi terdapat perbedaan gaya geser dimana model 3 lebih besar 0,07% dibandingkan dengan Model 1 Sehingga perbedaan posisi segmen tambahan pada struktur tidak mengakibatkan adanya perbedaan signifikan gaya geser gempa sistem struktur Model 1 dan Model 3. Sedangkan tambahan segmen pada struktur mengakibatkan perbedaan berat dan gaya gempa struktur yang cukup besar.

Periode bangunan merupakan waktu terjadinya getaran ketika struktur dalam kondisi statis (Altavillah, 2015). Disyaratkan waktu getar alami fundamental bangunan model harus lebih besar dari nilai T_a , dan lebih kecil dari T. Perhitungan nilai T_a dan T menggunakan rumus dibawah ini.

$$T_a = C_t \times h_{nx} \quad (2)$$

$$T = C_u \times T_a \quad (3)$$

Keterangan:

C_t = koefisien $\times$ koefisien H_n = tinggi bangunan (35 m) C_u = koefisien

Nilai T_a pada ketiga model adalah 1,143 detik sedangkan nilai T dari ketiga model tersebut adalah 1,6 detik. Waktu getar alami fundamental Model 1 adalah 1,351 detik, Model 2 adalah 1,378 detik, dan Model 3 adalah 1,349 detik. Sehingga ketiga model baik Model 1. Model 2, dan Model 3 memenuhi persyaratan kontrol periode bangunan. Waktu getar alami fundamental Model 1 adalah 1,351 detik, Model 2 adalah 1,378 detik, dan Model 3 adalah 1,349 detik. Sehingga struktur Model 2 lebih kaku daripada struktur Model 1 dan Model 3.

Kontrol Deformasi Antar Lantai merupakan kontrol permodelan struktur yang bertujuan untuk membatasi simpangan antar lantai demi menghindari kerusakan nonstruktural. Persyaratan Batasan simpangan antar lantai diatur dengan nilai maksimal merupakan 2% dari tinggi bangunan. Perhitungan simpangan antar lantai adalah sebagai berikut.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \leq \Delta_a \quad (4)$$

Keterangan:

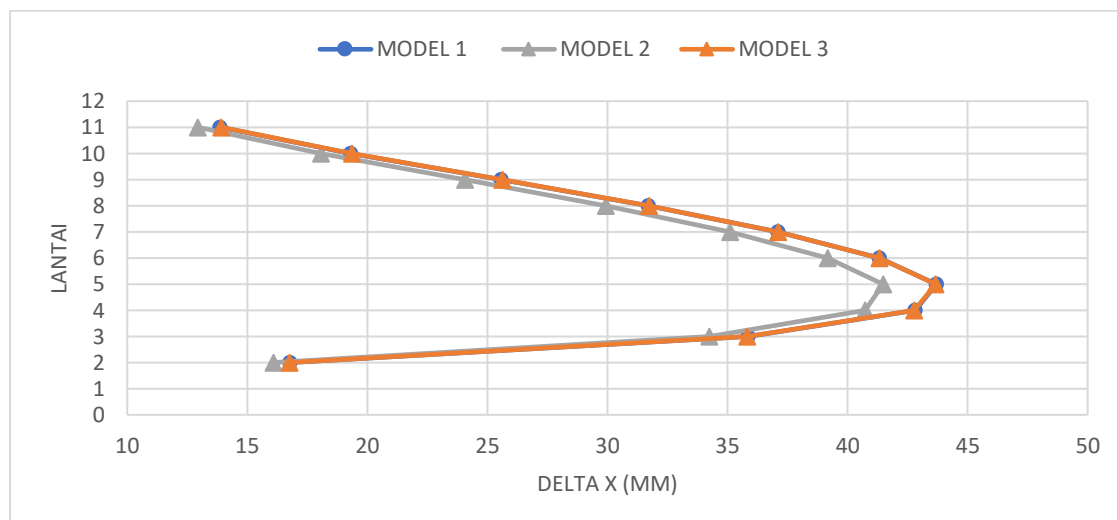
d_{xe} = Defleksi lantai ke-x

C_d = Faktor pembesaran defleksi (4)

I_e = Faktor keutamaan Gedung (1)

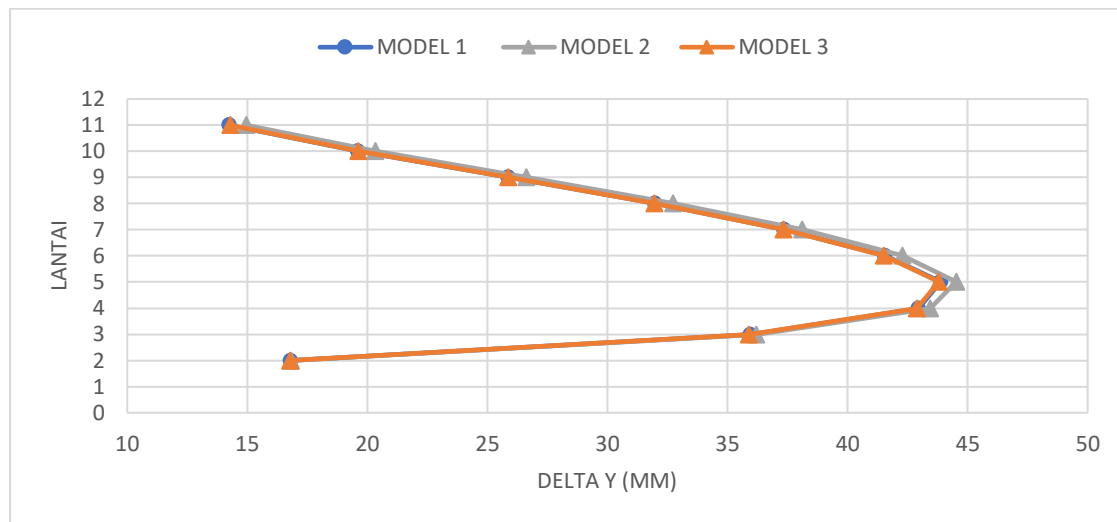
Δ_a = $0.02 h_{sx}$

Pada simpangan antar lantai arah x dapat dianalisa bahwa simpangan antar lantai pada Model 2 lebih kecil daripada Model 1 dan Model 3 dengan nilai selisih terbesar pada lantai 5 dengan nilai 2,21 mm atau 5,34% lebih kecil dibandingkan dengan Model 1 dan selisih 2,189 mm atau 5,27% lebih kecil dibandingkan dengan Model 3. Sehingga struktur Model 2 lebih kaku daripada struktur Model 1 dan Model 3 pada arah X. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Simamora et al., 2020) menjelaskan bahwa simpangan antar lantai pada arah X, nilai simpangan antar lantai bangunan beraturan lebih kecil dibandingkan dengan bangunan tidak beraturan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pada simpangan antar lantai arah X sesuai dengan hasil yang ditemukan oleh (Simamora et al., 2020).



Gambar 4. Grafik Perbandingan Simpangan Antar Model Arah X
Sumber: (Penulis, 2024)

Pada simpangan antar lantai arah y dapat dianalisa bahwa pada Model 2 simpangan lebih besar daripada Model 1 dan Model 3 dengan nilai selisih terbesar pada lantai 5 dengan nilai 0,643 mm atau 1,44% lebih besar dibandingkan dengan Model 1 dan selisih 0,715 mm atau 1,61% lebih besar dibandingkan dengan Model 3. Sehingga struktur Model 1 dan Model 3 lebih kaku daripada struktur Model 2 pada arah Y dengan Model 3 yang paling kaku dari ketiga struktur, tetapi tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Penelitian yang dilakukan (Simamora et al., 2020) menjelaskan pada simpangan antar lantai bangunan pada arah Y, nilai simpangan antar lantai bangunan beraturan lebih kecil dibandingkan dengan bangunan tidak beraturan. Dengan demikian disimpulkan bahwa hasil penelitian ini bertentangan dengan penemuan (Simamora et al., 2020), dimana pada penelitian ini simpangan antar lantai bangunan beraturan arah Y lebih besar dibandingkan dengan simpangan antar lantai bangunan tidak beraturan pada arah yang sama.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Simpangan Antar Model Arah Y

Sumber: (Penulis, 2024)

Berdasarkan hasil analisa ketidakberaturan sudut dalam yang didasarkan pada SNI 1726:2019 ditemukan bahwa persentase sudut dalam bangunan Model 1 dan bangunan Model 3 sebesar 33,3% lebih besar dibandingkan dengan dimensi denah struktur baik pada arah X maupun arah Y. Hal ini menunjukkan bangunan Model 1 dan Model 3 telah memenuhi syarat ketidakberaturan sudut dalam SNI 1726:2019 yaitu dimana persentase sudut dalam bangunan harus lebih besar dari 15%. Sedangkan pada bangunan model 2 telah direncanakan sebagai bangunan yang memiliki keberaturan horizontal, sehingga tidak memenuhi persyaratan. Perhitungan syarat ketidakberaturan sudut dalam bisa dirumuskan sebagai berikut.

$$\frac{P_x}{L_x} > 0,15 \text{ dan } \frac{P_y}{L_y} > 0,15 \quad (5)$$

Keterangan:

P_x = Panjang proyeksi dari lokasi sudut dalam arah X

L_x = Panjang bangunan keseluruhan arah X

P_y = Panjang proyeksi dari lokasi sudut dalam arah Y

L_y = Panjang bangunan keseluruhan arah Y

Berdasarkan penelitian (Simamora et al., 2020) digunakan 3 model bangunan dengan pembagian yang sama yaitu 2 bangunan tidak beratur horizontal dan 1 bangunan beratur horizontal. Persentase ketidakberaturan sudut dalam pada model bangunan tidak beratur (Simamora et al., 2020) bervariasi, salah satu bangunan tidak beraturnya memiliki nilai persentase ketidakberaturan sama sebesar 33,3% untuk arah X maupun arah Y bangunan. Namun pada bangunan tidak beratur lainnya memiliki nilai persentase ketidakberaturan sebesar 25% pada arah X, sedangkan persentase ketidakberaturan arah Y tetap sama 33,3%.

Pada hasil analisa *concrete design check* yang dilakukan menggunakan program ETABS 20 menunjukkan ketiga model mampu menerima beban yang direncanakan. Analisa *push over* pada struktur Model 1, Model 2 dan Model 3 menunjukkan bahwa ketiga struktur mengalami leleh pertama pada link di posisi lantai 2 hingga lantai 7 seperti terlihat pada gambar bagian (1), (2), dan (3). Sehingga ketiga struktur telah memenuhi syarat link leleh terlebih dahulu.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Adanya perbedaan terhadap luasan denah bangunan beraturan yaitu bangunan Model 2 dengan bangunan tidak beratur yaitu Model 1 dan Model 3 berpengaruh terhadap berat, dimana Model 2 lebih ringan 16% dibandingkan dengan Model 1 dan Model 3. Perbedaan berat bangunan ini menyebabkan Bangunan Model 2 menerima gaya geser yang paling kecil dibandingkan Model 1 dan Model 3 dengan perbandingan mendekati angka 20% lebih kecil. Dengan demikian perbedaan berat cukup berpengaruh terhadap nilai gaya geser statis struktur bangunan. Selain itu Bangunan beraturan Model 2 memiliki struktur bangunan yang lebih kaku dengan periode paling besar diantara ketiga model. Namun perbedaan periode ini tidak jauh berbeda, hanya berkisar 2% lebih besar dibandingkan dengan model bangunan lainnya.

Nilai simpangan antar lantai pada sumbu X untuk bangunan beraturan lebih kecil dibandingkan dengan Model 1 dan Model 3 dengan perbedaan sekitar 5% lebih kecil. Namun pada nilai simpangan antar lantai pada sumbu Y nilai simpangan bangunan beraturan lebih besar dibandingkan dengan bangunan tidak beratur, nilai perbedaan tersebut tidak signifikan hanya berkisar 1,5% lebih besar. Adanya perbedaan ketidakberaturan sudut dalam dengan rentang 33,3% dalam bangunan tidak mengakibatkan perbedaan yang cukup signifikan.

Saran

Adanya perbedaan luas denah antara model bangunan beratur dan kedua bangunan tidak beratur menjadi pengaruh tersendiri terhadap hasil penelitian. Pada penelitian berikutnya disarankan untuk menyamakan luas denah bangunan serta memvariasikan letak ketidakberaturan pada model bangunan sehingga dapat menghasilkan perbedaan yang lebih bervariasi. Serta untuk penelitian berikutnya dapat dilakukan dengan memvariasi persentase sudut dalam bangunan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada saya ucapkan kepada segenap institusi Universitas Negeri Malang serta Bapak/Ibu Dosen pembimbing yang telah berpartisipasi dalam penelitian ini. Terima kasih juga saya ucapkan kepada kedua orang tua saya yang selalu mendukung saya selama kepenulisan artikel ini

REFERENSI

- Akhirul, Witra, Y., Umar, I., & Erianjoni. (2020). Dampak Negatif Pertumbuhan Penduduk Terhadap Lingkungan Dan Upaya Mengatasinya. *Jurnal Kependudukan Dan Pembangunan Lingkungan*, 1(3), 76–84.
- Altavillah, R. (2015). *Analisis Pengaruh Variasi Marine Growth Risk Based Fatigue And Dynamic Response Analysis With Marine Growth Variation*. 1–10.
- Badan Standardisasi Indonesia. (2020). SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. *Jakarta*, 8, 1–336.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). Baja Tulangan Beton. *Sni 2052-2017*, 13.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2019). 1726:2019, *SNI Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk Nongedung, struktur bangunan gedung dan*. 8, 254.
- Daniel, B. K., & Harland, T. (2017). Higher Education Research Methodology. *Higher Education Research Methodology*. <https://doi.org/10.4324/9781315149783>
- Erita, & Mahendra, D. (2019). Manajemen gawat darurat dan bencana. *Journal.Thamrin.Ac.Id*, 1, 148.

- Harahap, M. F., & Fauzan, M. (2019). Perilaku Dinamik pada Struktur Apartemen Metro Galaxy Park terhadap Beban Gempa. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 04(03), 195–206. <https://garuda.ristekbrin.go.id/documents/detail/1706256>
- Hidayati, N., & Riqi, M. (2023). *Analisa ketidakberaturan horizontal dan vertikal pada struktur gedung beton bertulang*. 12, 235–243.
- Mustajab, R., & Bayu, D. (2023, January 27). Kerugian Akibat Bencana Alam Mencapai Rp1,06 Triliun pada 2022. *Data Indonesia*. Diakses dari <https://dataindonesia.id/varia/detail/kerugian-akibat-bencana-alam-mencapai-rp106-triliun-pada-2022>
- Pison, G. (2017). The Population of the World (2017). *Population and Societies*, 547(1), 1–8.
- Putri, G. S. (2021, May 27). Mengenang Gempa Jogja 2006, Ini Mekanisme dan Potensi Bahayanya Halaman all - Kompas.com. *KOMPAS.com*. Diakses dari <https://www.kompas.com/sains/read/2021/05/27/120200623/mengenang-gempa-jogja-2006-ini-mekanisme-dan-potensi-bahayanya?page=all>
- Putri, R., Juliafad, E., Sipil, D. T., Teknik, F., Padang, U. N., Sipil, D. T., Teknik, F., Padang, U.N., & Ringan, B. (2024). *DEFORMASI HORIZONTAL STRUKTUR BETON BERTULANG*. 5.
- Purba, H. L. (2014). Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Beraturan Dan Ketidak Beraturan Horizontal Sesuai SNI 03-1726-2012. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(4), 710-717.
- Ramadhan, M. (2021). *Metode penelitian*. Cipta Media Nusantara.
- Simamora, J., Setia, L., & Wibowo, B. (2020). *Analisis Perpindahan Lateral Struktur Beton Bertulang Pada Bangunan Bertingkat Beraturan Dan Ketidak Beraturan Horizontal*. 03, 19–23.
- Tenau, M. (2023). Penerapan Arsitektur Modern Pada Tourism Shopping Park Di Kota Bandung. *Fad*, 3(2), 28–38. <https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/fad/article/view/2209%0Ahttps://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/fad/article/download/2209/1749>