

Analisa ketidakberaturan horizontal dan vertikal pada struktur gedung beton bertulang

Nurul Hidayati^{1,*}, Hariyadi², Mukhta Riqi Sab'it Tibaq¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Mataram, NTB, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Mataram, NTB, Indonesia

*Corresponding authors: nurul.hidayati@ummat.ac.id

Submitted: 11 July 2023, Revised: 30 November 2023, Accepted: 9 December 2023

ABSTRACT: The behavior of regular and irregular building structures in resisting earthquake loads will certainly be different, so structural modeling must be done in such a way as to form a safe structure. The building in this study is L-shaped with an area of 2079.52 m² with 6 floors and 28 m of total height. Earthquake load modeling in this study uses the equivalent static analysis method and design spectrum response about SNI concrete 2847-2019 and SNI earthquake 1726-2019. This study aims to investigate the behavior of multilevel reinforced concrete structures that experience horizontal and vertical irregularities due to earthquake loads as seen from the displacement and drift ratios that occurs is based on the results of numerical analysis. Based on the results of research on the geometry of the structure with vertical irregularities, it shows that the structure does not have Type 1a, Type 1b, Type 2, Type 3, Type 4, Type 5a and Type 5b irregularities. Thus the structure can be planned without considering the requirements to satisfy vertical irregularities. The geometry of the structure with horizontal irregularities shows that the structure has no irregularities in Type 1a, Type 1b, Type 3, Type 4 and Type 5. Meanwhile in Type 2 the structure is stated to have irregular inside angles, so the design force of the diaphragm on the structure must be increased by 25% at the planning stage.

KEYWORDS: earthquake; irregularity; L-shaped structure; reinforced concrete.

ABSTRAK: Perilaku struktur gedung beraturan dan tidak beraturan dalam menahan beban gempa tentu akan berbeda, sehingga pemodelan struktur harus dilakukan sedemikian rupa guna berdirinya struktur yang aman. Bangunan Gedung pada penelitian ini berbentuk L dengan luas bangunan gedung 2079.52 m² dengan jumlah 6 lantai dan tinggi mencapai 28 m. Pemodelan beban gempa pada penelitian ini menggunakan metode analisis statik ekuivalen dan respon spektrum desain dengan mengacu pada SNI beton 2847-2019 dan SNI gempa 1726-2019. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi perilaku struktur bertingkat beton bertulang yang memiliki ketidakberaturan horizontal dan vertikal akibat beban seismik dilihat dari displacement dan drift ratio yang terjadi berdasarkan hasil analisis numeris. Berdasarkan hasil penelitian geometri struktur secara ketidakberaturan vertikal menunjukkan bahwa struktur tidak memiliki ketidakberaturan Tipe 1a, Tipe 1b, Tipe 2, Tipe 3, Tipe 4, Tipe 5a dan Tipe 5b. Sehingga struktur dapat direncanakan tanpa mempertimbangkan persyaratan untuk dipenuhi pada ketidakberaturan vertikal. Sedangkan geometri struktur secara ketidakberaturan horizontal menunjukkan bahwa struktur tidak memiliki ketidakberaturan Tipe 1a, Tipe 1b, Tipe 3, Tipe 4 dan Tipe 5. Sedangkan pada Tipe 2 struktur dinyatakan memiliki ketidakberaturan sudut dalam, sehingga gaya desain diafragma pada struktur tersebut harus ditingkatkan 25% pada tahap perencanaannya.

KATA KUNCI: gempa bumi; ketidakberaturan; struktur bentuk L; beton bertulang.

© The Author(s) 2020. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

1 PENDAHULUAN

Struktur gedung bertingkat memiliki resiko tinggi untuk terjadinya kegagalan struktur yang dapat diakibatkan oleh bencana alam seperti gempa bumi. Gempa bumi merupakan getaran alam yang terjadi pada lapisan permukaan bumi yang diakibatkan oleh terlepasnya energi dari dalam bumi secara tiba-tiba sehingga menciptakan gelombang seismik yang disebabkan oleh pergeseran lempeng bumi (Alam et al., 2020). Secara geografis, Indonesia berada di wilayah yang kurang stabil. Indonesia terletak pada daerah lingkaran api (*ring of fire*), dimana zona ini dikelilingi oleh tiga lempeng yang sangat aktif yaitu lempeng

Eurasia, Australia dan lempeng Pasifik sehingga probabilitas terjadi gempa cukup tinggi (Prayuda et al., 2017). Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang tidak dapat diprediksi dan dapat memberikan dampak kerusakan yang cukup merugikan bagi pengguna gedung sehingga struktur harus dirancang untuk menahan kekuatan gempa (Ahmed et al., 2016). Maka dari itu, struktur gedung harus didesain sesuai standar yang berlaku agar gedung dapat memberikan kinerja baik bagi penggunanya. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan agar menghasilkan kinerja gedung yang baik diantaranya konfigurasi gedung yang teratur, kekuatan lateral yang memadai, kekakuan dan daktilitas yang baik. Konfigurasi

rencana struktur memiliki dampak signifikan pada respons seismik struktur dalam hal *displacement*, *story drift* dan kebutuhan geser tiap lantai (Banginwar et al., 2012). Pada beberapa kasus yang memiliki kombinasi penyimpangan, konfigurasi dengan massa, kekakuan dan penyimpangan geometris vertikal telah menunjukkan respons maksimum (Naveen et al., 2019). Penyaluran beban pada gedung yang memiliki ketidakberaturan asimetris, kekakuan, dan kekuatan gedung merupakan sumber utama penyebab kerusakan parah akibat rotasi dan translasi lantai bangunan gedung (Rajalakshmi et al., 2015).

Ketidakteraturan struktur merupakan faktor penting yang menurunkan kinerja seismik struktur (Khanal & Chaulagain, 2020). Ketidakberaturan juga dianggap sebagai kekurangan utama dalam perilaku seismik struktur gedung. Tingkat ketidakteraturan pada gedung berpengaruh signifikan terhadap perilaku struktur (Ghimire & Chaulagain, 2021). Salah satu bentuk ketidakberaturan tersebut adalah adanya sudut siku pada desain gedung yang menyebabkan terpusatnya konsentrasi tegangan karena perubahan dalam kekakuan dan torsi pada bangunan akibat desain asimetri (Divyashree et al., 2014).

Terdapat dua jenis ketidakberaturan struktur yaitu ketidakberaturan struktur horizontal dan ketidakberaturan struktur vertikal yang kemudian terbagi lagi menjadi beberapa tipe ketidakberaturan (Simamora et al., 2020). Ketidakberaturan bangunan arah vertikal juga sangat mempengaruhi kinerja seismik bangunan beton bertulang tingkat tinggi (Prayuda et al., 2022). Ketidakberaturan menyebabkan perlunya peningkatan gaya desain diafragma sebesar 25% pada seluruh lantai (Syafara, 2023). Ketidakberaturan struktur membutuhkan analisis struktural yang lebih teliti untuk mencapai perilaku yang sesuai selama gempa bumi dahsyat (Alavi & Rao, 2013). Selain itu, penilaian menyeluruh terhadap konfigurasi struktural sangat penting untuk mencapai kinerja seismik yang memadai (Elnashai & Sarno, 2008).

Jumlah lantai pada bangunan gedung berbentuk L juga menjadi faktor yang dapat mempengaruhi perbedaan hasil berdasarkan metode yang digunakan. Pada struktur berbentuk L tidak beraturan, jika jumlah lantai bangunan dimodelkan kurang dari 5, terdapat sedikit perbedaan antara nilai torsi statik ekuivalen pada perpanjangan kritis dan nilai torsi maksimum (Soltani et al., 2018). Oleh karena itu penggunaan metode statik ekuivalen pada struktur berbentuk L tidak beraturan, apabila jumlah lantai bangunan kurang dari 5 lantai memberikan akan hasil yang hampir sama dengan metode dinamik, namun dengan bertambahnya jumlah lantai bangunan ke atas maka semakin besar pula hasil yang diperoleh.

Studi kasus yang ditinjau dalam penelitian ini adalah gedung berbentuk L, yaitu Gedung Infrastruktur Bandung *Advanced Science and Creative Engineering Space* (BASICS) Badan Riset dan Inovasi Nasional

(BRIN) Bandung yang terletak di Kota Bandung merupakan gedung yang termasuk dalam kategori zonasi gempa 4 berdasarkan peta zona gempa Indonesia. Gedung tersebut terdiri dari 6 lantai dengan elevasi mencapai 28 m yang diperuntukkan sebagai gedung perkantoran dan laboratorium penelitian. Bentuk gedung L yang memiliki karakteristik tidak simetris dan termasuk dalam gedung tingkat tinggi serta memiliki fungsi sebagai perkantoran dan laboratorium membuat gedung pada kasus ini perlu untuk diketahui ketidakberaturan yang terjadi ketika terkena beban khususnya beban lateral. Kinerja struktur yang dihasilkan untuk bangunan tidak beraturan akan berbeda dengan bangunan beraturan untuk intensitas beban yang sama, misalnya jika dibandingkan dengan displacement, drift, dan tulangan (Rau et al., 2023). Ketidakberaturan struktur memiliki peran penting terhadap keruntuhan struktur akibat beban dinamik, maka penelitian secara ekstensif diperlukan untuk memperoleh kinerja ultimit meskipun gedung memiliki konfigurasi yang kurang baik (Sakale et al., 2014).

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.3.3.4 Struktur dengan kategori desain seismik D, E, atau F dan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1a, 1b, 2, 3, atau 4 pada Tabel 13 atau ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 4 pada Tabel 14, gaya desain yang ditentukan berdasarkan Pasal 7.10.1.1 harus ditingkatkan 25 % untuk elemen-elemen sistem pemikul gaya seismik di bawah ini:

1. Sambungan antara diafragma dengan elemen vertikal dan dengan elemen kolektor.
2. Elemen kolektor dan sambungannya, termasuk sambungan-sambungan ke elemen vertikal dari sistem pemikul gaya seismik.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisa ketidakberaturan struktur horizontal maupun vertikal gedung beton bertulang guna untuk mengetahui kemampuan struktur gedung bertingkat akibat pengaruh beban gempa serta ketidakberaturannya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi sebagai dasar pertimbangan dan pendukung terutama kepada BRIN Bandung terkait dengan perilaku struktur gedung BASICS terhadap beban yang bekerja. Selain itu hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan tambahan informasi perilaku gedung berbentuk L ketika terkena beban lateral.

2 METODOLOGI

2.1 Data Umum Gedung

Berikut adalah data umum gedung yang digunakan dalam pemodelan.

1. Nama gedung: gedung infrastruktur Bandung *Advanced Science and Creative Engineering Space* (BASICS) Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Bandung.

2. Fungsi gedung: perkantoran dan laboratorium penelitian.
3. Lokasi gedung: Jl. Sangkuriang, Komplek BRIN Gd – 20 Jl. Cisu Lama, Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40135 – Bandung.
4. Tipe struktur: konstruksi beton bertulang.
5. Zona gempa: Zona 4 (peta zona gempa Indonesia).
6. Klasifikasi situs: tanah lunak (*SE*).

2.2 Data Teknis Gedung

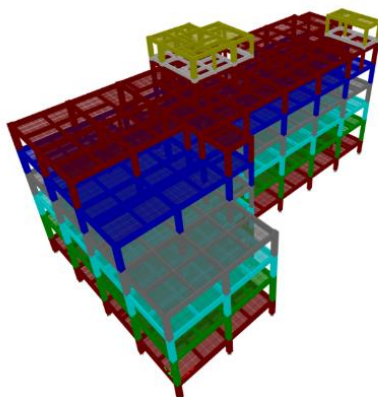
Berikut adalah data teknis gedung yang digunakan dalam pemodelan.

1. Luas daerah perencanaan : 11000 m²
2. Panjang bangunan arah (X) : 59.5 m²
3. Panjang bangunan arah (Y) : 34.95 m²
4. Luas bangunan : 2079.525 m²
5. Jumlah lantai : 6 lantai
6. Tinggi total bangunan : 28 m
7. Tinggi antar lantai : *Basement* (3 m), lantai 1 (5 m), lantai 2 (4 m), lantai 3 (4 m), lantai 4 (4m), lantai 5 (4 m), lantai lmr (0.7 m), atap (3.3 m).

Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan tampak bangunan secara 3D dan tampak pemodelan struktur 3D yang telah dimodelkan.



Gambar 1. Tampak Bangunan 3D BASICS Bandung



Gambar 2. Pemodelan 3D Struktur

Mutu beton ($f'c$) pada Retaining wall, tie beam, kolom, balok, pelat lantai, pelat dak atap adalah 30 MPa. Sedangkan mutu baja tulangan (f_y) yang digunakan adalah.

1. Baja polos : 240 MPa : $\emptyset < D10$
2. Baja ulir: 420 MPa : D13, D16, D19, D22

2.3 Standar Acuan

Perhitungan beban gempa pada penelitian ini menggunakan metode analisis statik ekuivalen dan respon spektrum desain yang mengacu berdasarkan SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa, SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan SNI 1727:2020 untuk beban desain minimum. Analisa struktur gedung pada penelitian ini menggunakan analisis numeris ETABS v.18 dengan metode statik ekuivalen.

2.4 Pembebanan Struktur

Pembebanan merupakan suatu hal yang sangat penting dilakukan. Pembebanan akan memberikan gambaran mengenai kekuatan struktur maupun kombinasi beban yang akan digunakan.

2.4.1 Beban mati, DL (*dead load*)

1. Berat jenis beton bertulang = 24 kN/m³
2. Total beban mati pelat tangga = 4.47 kN/m²
3. Total beban mati lift = 31.96 kN
4. Total beban *retaining wall* = 27.03 kN/m²

2.4.2 Beban mati tambahan, SIDL (*super impose dead load*)

1. Keramik = 2 kN/m²
2. Spesi = 2.1 kN/m²
3. Instalasi *ME* dan plumbing = 0.25 kN/m²
4. *Waterproof* = 2.45 kN/m²
5. Dinding arsitektural = 6.5 kN/m²

2.4.3 Beban hidup, LL (*live load*), dan beban hidup atap, LR (*live roof*)

1. Pelat lantai laboratorium = 4.79 kN/m²
2. Atap bukan untuk hunian = 0.96 kN/m²
3. *Lift* = 9.81 kN/m²

2.4.4 Beban angin, W (*Wind*)

1. Faktor tiupan angin, G = 0.85 (SNI 1727:2020 Pasal 26.11.1).
2. Koefisien tekanan dinding, CP (SNI 1727:2020 Pasal 27.3.5 Gambar 27.3-1).
 - a. Dinding sisi angin datang = 0.8
 - b. Dinding sisi angin pergi = -0.3
 - c. Dinding tepi = -0.7
3. Tekanan velositas, $qz = qh = 0.775\text{kN/m}^2$

Tabel 1 menunjukkan rekapitulasi perhitungan tekanan angina pada sisi permukaan.

Tabel 1. Rekapitulasi perhitungan tekanan angin pada sisi permukaan

Lantai	P Tekan $P \times 8$ kN/m ²	P Hisap (Pergi) $P \times 8$ kN/m ²	P Hisap (Tepi) $P \times 8$ kN/m ²
Lt.1	0.000	0.000	0.000
Lt.2	3.004	-1.126	-2.628
Lt.3	3.399	-1.275	-2.974
Lt.4	3.673	-1.377	-3.214
Lt.5	3.886	-1.457	-3.401
Lt 6	4.063	-1.524	-3.555
Lmr	4.091	-1.534	-3.580
Atap	4.215	-1.581	-3.688

2.5 Beban Gempa

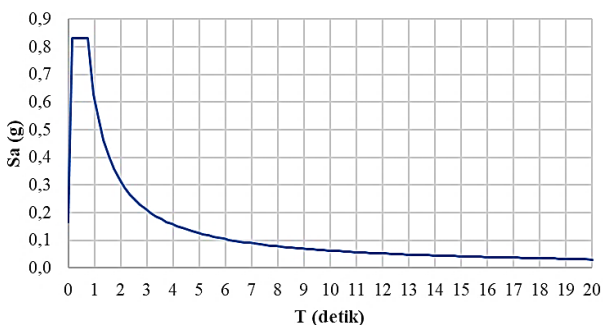
Parameter desain dan geser dasar beban gempa pada struktur Gedung BASICS BRIN Bandung memiliki resiko struktur IV, faktor keutamaan gempa (I_e) 1,5, dan berdasarkan data hasil pengujian mesin bor, diperoleh klasifikasi situs tanah lunak (SE).

1. Respons spektrum desain

Berdasarkan data gempa yang sudah diperoleh sehingga diperoleh nilai Percepatan batuan dasar periode pendek (SS) dan Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1).

$$S_S = 1.2459 \text{ g} \quad S_1 = 0.5308 \text{ g}$$

Berdasarkan nilai SS dan S_1 diperoleh grafik spektrum desain yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik spektrum Kota Bandung

Berdasarkan SNI 1726:2019, koefisien modifikasi respon SRPMK adalah sebagai berikut:

- a. Koefisien modifikasi respon (R) : 8
- b. Faktor Kuat Lebih sistem (Ω_0^b) : 3
- c. Faktor pembesaran defleksi (C_d^f) : 5.5
- d. Sehingga diperoleh skala faktor :

$$\frac{g \times 1}{R} = \frac{9,81 \times 1,5}{8} = 1.839375 \text{ g}$$

2. Gaya lateral ekuivalen adalah gaya getar alami fundamental yang terdiri dari sebagai berikut:

$$T_a = 0.935 \text{ detik}$$

$$T_{max} = 1.309 \text{ detik}$$

Gaya dasar seismik (V) SRPMK

$$S_{DS} = 0.8320$$

$$S_I = 0.5308$$

$$I_e = 1.5$$

$$R = 8$$

Berdasarkan data di atas, diperoleh:

$$C_S = 0.15599$$

$$C_{Smin} = 0.05490$$

$$C_{Smax} = 0.07$$

Berdasarkan hasil analisa data koefisien respon seismik (C_s) dan berat seismik efektif (W) sebagaimana ditetapkan dalam SNI 1726:2019 Pasal 8.7.3 menjelaskan bahwa W harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya, sehingga diperoleh besar geser dasar seismik (V) senilai 4242.63 kN.

2.6 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan menjadi elemen kunci dalam menentukan kekuatan dan keandalan struktur. Analisa perlu untuk mengintegrasikan berbagai beban seperti mati, hidup, angin, dan gempa sesuai standar desain. Kombinasi pembebanan dihitung dengan mempertimbangkan faktor keamanan, memastikan struktur mampu menanggung kondisi pembebanan yang beragam untuk kinerja yang aman dan efisien.

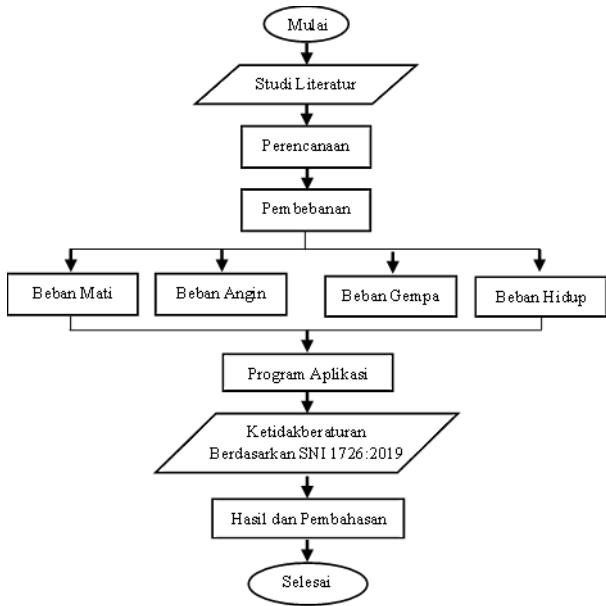
$$S_{DS} = 0.831962184$$

$$P = 1.3$$

- 1. 1.4 DL + 1.4 SIDL
- 2. 1.2 DL + 1.2 SIDL + 1.6 L + 0.5 Lr
- 3. 1.2 DL + 1.2 SIDL + 1.6 Lr + L
- 4. 1.2 DL + 1.2 SIDL + 1.0 W + L + 0.5 Lr
- 5. 0.9 DL + 0.9 SIDL + 1.0 W
- 6. $(1.2+0.2 S_{DS}) DL + (1.2+0.2 S_{DS}) SIDL - p 1 E_y - p 0.3 E_x + L$
- 7. $(1.2+0.2 S_{DS}) DL + (1.2+0.2 S_{DS}) SIDL + p 1 E_x + p 0.3 E_y + L$
- 8. $(0.9+0.2 S_{DS}) DL - (0.9+0.2 S_{DS}) SIDL - p 1 E_x - p 0.3 E_y$
- 9. $(0.9+0.2 S_{DS}) DL - (0.9+0.2 S_{DS}) SIDL + p 1 E_y + p 0.3 E_x$

2.7 Bagan Alir Penelitian

Langkah analisa dalam penelitian ini seperti terlihat pada Gambar 4 berikut.

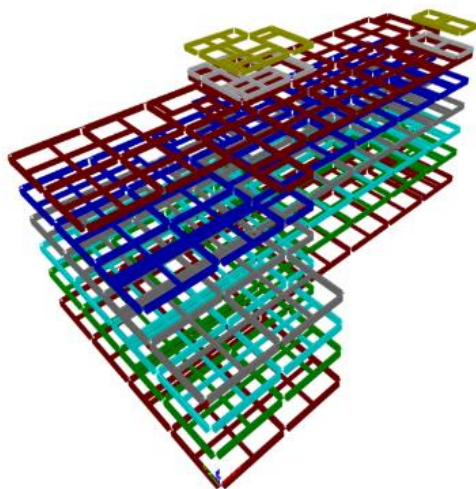


Gambar 4. Bagan alir penelitian

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain *preliminary* pelat dengan ketebalan pelat lantai pada Gedung BASICS adalah 130 mm. Gambar 5 menunjukkan tampak pemodelan pada balok untuk masing-masing lantai. Selanjutnya desain *preliminary* balok atau dimensi disetiap lantai dijabarkan sebagai berikut:

- 1. Atap = 400 x 700 mm
- 2. Lmr = 400 x 700 mm
- 3. Lantai 6 = 400 x 700 mm
- 4. Lantai 5 = 400 x 700 mm
- 5. Lantai 4 = 400 x 700 mm
- 6. Lantai 3 = 400 x 700 mm
- 7. Lantai 2 = 400 x 700 mm
- 8. Lantai 1 = 400 x 700 mm

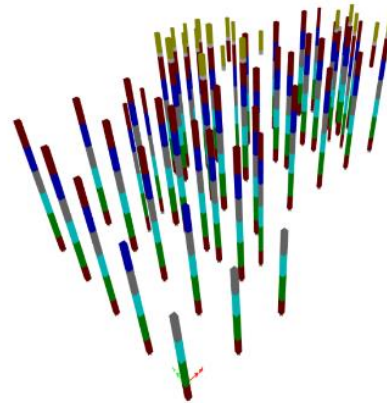


Gambar 5. Tampak pemodelan balok

Gambar 6 memperlihatkan desain pemodelan tampak kolom yang ada disetiap lantai. Selanjutnya

pesain *preliminary* pada kolom dijelaskan sebagai berikut:

- 1. Atap = 400 x 700 mm
- 2. Lmr = 400 x 700 mm
- 3. Lantai 6 = 400 x 700 mm
- 4. Lantai 5 = 400 x 700 mm
- 5. Lantai 4 = 400 x 700 mm
- 6. Lantai 3 = 400 x 700 mm
- 7. Lantai 2 = 400 x 700 mm
- 8. Lantai 1 = 400 x 700 mm



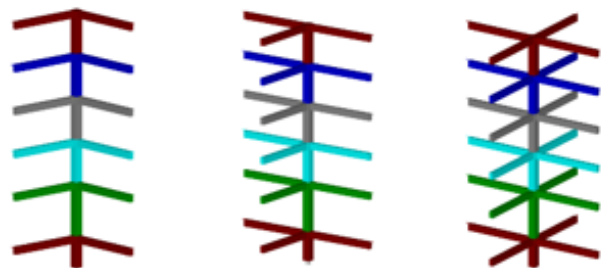
Gambar 6. Tampak pemodelan kolom

Desain *preliminary* hubungan antara balok dan kolom dapat dilihat pada Tabel 2. Gambar 7 memperlihatkan pemodelan kolom pada leter L, leter T dan leter X.

Tabel 2. Rekapitulasi kontrol joint balok-kolom

20*d	$b_{kolom} \geq 20*d$	$0,75* b_{Kolom}$	$b_{balok} \leq 0,75* b_{Kolom}$	$b_{kolom} \geq 300mm$
440	T	525	T	T
440	T	525	T	T
440	T	525	T	T
440	T	562.5	T	T
440	T	562.5	T	T
440	T	562.5	T	T

dimana: d = Diameter tulangan utama balok kolom = $\phi 22$, T = Terpenuhi, TT = Tidak terpenuhi



(a) Leter L (b) Leter T (c) Leter X

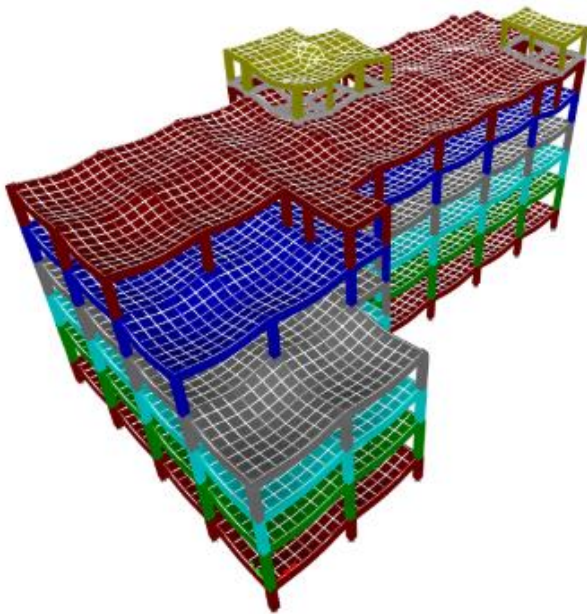
Gambar 7. Tampak pemodelan kolom

3.1 Analisa Struktur

3.1.1 Kontrol geometri struktur secara ketidakberaturan horizontal

1. Tipe 1 = ketidakberaturan torsi dan ketidakberaturan torsi berlebihan

Pemodelan gedung BASICS yang telah dilakukan analisis secara numeris dengan software ETABS ditampilkan pada Gambar 8. Adapun rekapitulasi perhitungan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b ditampilkan pada Tabel 3.



Gambar 8. Running pemodelan 3D

Tabel 3. Rekapitulasi perhitungan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\delta_{max}/\delta_{avg}$	Cek	$\delta_{max}/\delta_{avg}$	Cek
6	1.160	OK	1.101	OK
5	1.140	OK	1.130	OK
4	1.143	OK	1.176	OK
3	1.165	OK	1.155	OK
2	1.162	OK	1.134	OK
1	1.174	OK	1.118	OK

Berdasarkan hasil perhitungan pada Table 3, diperoleh nilai $\delta_{max}/\delta_{avg}$ pada (arah x dan y $< 1.2 < 1.4$). Maka, struktur gedung dinyatakan beraturan.

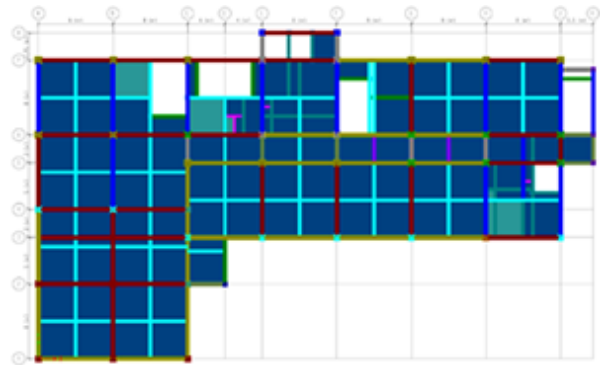
2. Tipe 2 = ketidakberaturan sudut dalam

Ketidakberaturan sudut dalam Gedung dapat ditinjau berdasarkan denah atau bentuk bangunan ditinjau secara horizontal. Adapun denah gedung BASICS ditampilkan pada Gambar 9.

$$\text{Arah X} = \frac{P_x}{L_x} = 69.750 \% > 15 \%$$

$$\text{Arah Y} = \frac{P_y}{L_y} = 37.196 \% > 15 \%$$

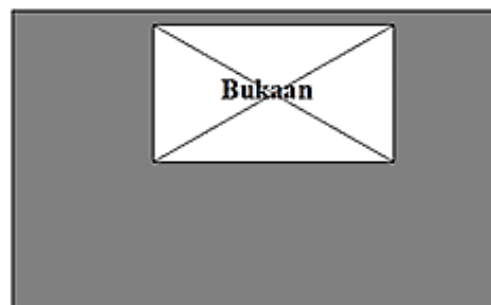
Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh bahwa struktur dinyatakan memiliki ketidak beraturan sudut dalam baik dari arah x dan y.



Gambar 9. Denah pemodelan gedung

3. Tipe 3 = ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma Gedung dapat ditinjau dari besarnya luas bukaan lantai dibandingkan dengan luas Gedung dengan ilustrasi pada Gambar 10.



Gambar 10. Ilustrasi bukaan lantai

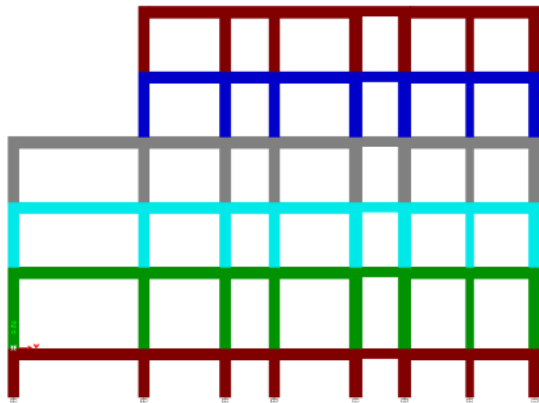
Perbandingan Luas

$$= (\text{luas bukaan} / \text{luas gedung}) \times 100\% \\ = 3.113\% < 50\%$$

Berdasarkan hasil tersebut, maka struktur Gedung BASICS dinyatakan beraturan.

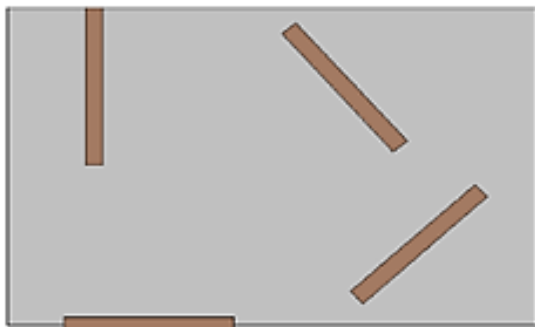
4. Tipe 4 = ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang

Pegecekan ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan struktur terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral. Berdasarkan pada Gambar 11, struktur gedung yang akan dianalisis tidak memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 4 akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang, sehingga struktur dinyatakan beraturan.



Gambar 11. Portal As-C

5. Tipe 5 = ketidakberaturan sistem nonparallel
 Pengecekan ketidakberaturan sistem nonparallel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya tidak paralel terhadap sumbu utama seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Ilustrasi sistem nonparalel

Berdasarkan denah stuktur gedung BASICS yang ditunjukkan pada Gambar 9, struktur Gedung BASICS tidak memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 5 (sistem nonparalel), sehingga struktur dapat dinyatakan beraturan.

3.1.2 Kontrol geometri struktur secara ketidakberaturan vertikal

1) Tipe 1a dan 1b = ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan berlebihan

$$Kx < 0.7 K(x+1) \text{ atau } Kx < 0.8 [K(x+1) + K(x+2) + K(x+3)]/3 \quad (1)$$

$$Kx < 0.6 K(x+1) \text{ atau } Kx < 0.7 [K(x+1) + K(x+2) + K(x+3)]/3 \quad (2)$$

dengan: K = kekakuan, x = suatu tingkat
 Berdasarkan Persamaan 1 dan 2. Maka, struktur dinyatakan tidak memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan berlebihan. Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan dengan kondisi untuk setiap lantainya.

Tabel 4. Rekapitulasi perhitungan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan berlebihan

Lt.	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan kN/m	Cek	Kekakuan kN/m	Cek
6	370641.543		351120.574	
5	399961.855	OK	386764.675	OK
4	412221.38	OK	403210.297	OK
3	407289.397	OK	403078.432	OK
2	338549.283	OK	341064.277	OK
1	1418883.3	OK	1405678.09	OK

2) Tipe 2 = ketidakberaturan berat (massa)
 $Mx > 1,5 M(x+1)$ (3)
 dengan: M = massa, x = suatu tingkat

Berdasarkan Persamaan 3, maka struktur dinyatakan tidak memiliki ketidakberaturan berat (massa). Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan ketidakberaturan berat.

Tabel 5. Rekapitulasi perhitungan ketidakberaturan berat (massa)

Lantai	Massa (kg)	Cek
6	1746042.66	OK
5	2181467.92	OK
4	2387088.96	OK
3	2394998.18	OK
2	2429911.03	OK
1	2466502.14	OK

3) Tipe 3 = ketidakberaturan geometri vertikal
 $Lx = 1.3 L(x+1)$ (4)
 dengan: L = lebar sisi kolom, x = suatu tingkat

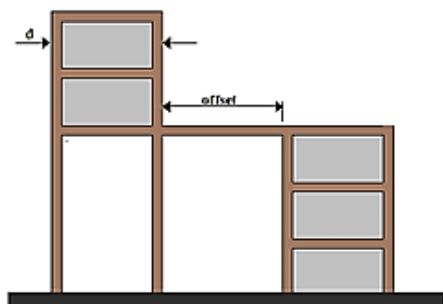
Berdasarkan Persamaan 4, maka struktur dinyatakan tidak memiliki ketidakberaturan geometri vertikal.

Tabel 6. Rekapitulasi perhitungan ketidakberaturan geometri vertikal

Lantai	L (mm)	Keterangan
atap	700	OK
Lmr	700	OK
6	700	OK
5	700	OK
4	700	OK
3	750	OK
2	750	OK
1	750	OK

- 4) Tipe 4 = ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral

Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral dianggap ada apabila terdapat pergeseran pada arah bidang elemen pemikul gaya lateral. Berdasarkan Gambar 9 dan 13, struktur gedung tidak memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 4 akibat pergeseran tegak turus terhadap bidang, sehingga struktur dinyatakan beraturan.



Gambar 13. Ilustrasi ketidakberaturan tipe 4

Berdasarkan hasil pengecekan ketidakberaturan horizonstal dan vertikal pada struktur gedung. Maka dapat disimpulkan bahwa struktur gedung tidak memiliki ketidakberaturan struktur dan dapat dilakukan analisis tanpa mempertimbangkan persyaratan untuk dipenuhi.

- 5) Tipe 5a dan 5b = ketidakberaturan tingkat lemah dan berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat

$$V_x < 0.8 V(x+1) \tag{5}$$

$$V_x < 0.65 V(x+1) \tag{6}$$

dengan: V = kekuatan lateral, x = suatu tingkat

Berdasarkan persamaan 5 dan 6, struktur dinyatakan tidak memiliki ketidakberaturan tipe 5a dan 5b (Tabel 7).

Tabel 7. Rekapitulasi perhitungan ketidakberaturan 5a dan 5b

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan kN	Cek	Kekuatan kN	Cek
Atap	402.6401		447.1493	
Lmr	559.4301	OK	634.1200	OK
6	1967.1009	OK	2145.5732	OK
5	3177.7967	OK	3361.9099	OK
4	4226.3695	OK	4267.1682	OK
3	5062.5952	OK	5021.0161	OK
2	5739.8404	OK	5755.7462	OK
1	6052.4123	OK	5972.2109	OK

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Analisa yang telah dilakukan. Maka, diperoleh beberapa kesimpulan. Hasil analisa geometri struktur secara ketidakberaturan horizontal menunjukkan bahwa struktur tidak memiliki ketidakberaturan Tipe 1a, Tipe 1b, Tipe 3, Tipe 4 dan Tipe 5. Sedangkan pada Tipe 2 struktur dinyatakan memiliki ketidakberaturan sudut dalam, sehingga gaya desain diafragma pada struktur tersebut harus ditingkatkan 25% pada tahap perencanaannya. Adapun hasil analisa geometri struktur secara ketidakberaturan vertikal menunjukkan bahwa struktur tidak memiliki ketidakberaturan Tipe 1a, Tipe 1b, Tipe 2, Tipe 3, Tipe 4, Tipe 5a dan Tipe 5b. Sehingga struktur dapat direncanakan tanpa mempertimbangkan persyaratan untuk dipenuhi pada ketidakberaturan vertikal.

Adapun saran yang dapat disampaikan sebagai bahan pertimbangan studi yang lebih detail adalah pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan analisis variabel yang lebih banyak hingga output penulangan, sehingga simpulan dalam perencanaan struktur bangunan gedung dapat lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, M. M., Raheem, S. E. A., & Shafy, A. G. A. (2016). Irregularity Effects on The Seismic Performance Of L-Shaped Multi-Story Buildings. *JES, Assiut University, Faculty of Engineering*, 44(5). 513 – 536. DOI: 10.21608/jesaun.2016.111440

Alam, H., Kusuma, B. S., & Prayogi, M. A. (2020). Penggunaan Sensor Vibration Sebagai Antisipasi Gempa Bumi. *Journal of Electrical Technology*, 5(2). 43-53.

Alavi, A. and Rao, P. S. (2013). Effect of Plan Irregular RC Buildings in High Seismic Zone. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(13). 1-6.

Anonim. (2019). SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Anonim. (2019). SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Anonim. (2020). SNI 1727-2020 Beban Desain Minimum untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Banginwar R. S., Vyawahare, P. M., & Modani. (2012). Effect of Plans Configurations on the Seismic Behaviour of the Structure by Response Spectrum Method. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2(3). 1439-1443.

Divyashree, M., Bhavyashree, B. N., Siddappa, G., (2014). Comparison of Bracings and Shear Walls as Seismic Strengthening Methods to Buildings with Plan Irregularities. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(18). 205-210.

Elnashai A. S., & Sarno, L. D. (2008). *Fundamentals of Earthquake Engineering*. 1st edition. Wiley New York.

Ghimire, K., & Chaulagain, H. (2021). Influence of Structural Irregularities on Seismic Performance of RC Frame Buildings. *Journal of Engineering Issues and Solutions*, 1(1). 70-87. DOI:10.3126/joeis.v1i1.36820

Khanal, B., & Chaulagain, H. (2020). Seismic Elastic Performance of L-Shaped Building Frames Through Plan

- Irregularities. *Structures*, 27, 22-36. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.05.017>
- Naveen E, S., Abraham, N. M., & S D, Kumalasari, A. (2019). Analysis of Irregular Structures under Earthquake Loads. *Procedia Structural Integrity*, 14, 806-819. DOI: 10.1016/j.prostr.2019.07.059
- Prayuda, H., Zega, B. C., & Priyosulistyo, H. (2017). Prediction of Allowable Lateral Ground Acceleration (In-Plane Direction) of Confined Masonry Walls Using Ambient Vibration (Microtremor) Analysis. *Procedia Engineering*, 171, 1194-1203. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.487>
- Prayuda, H., Wilasamba, O., Saleh, F., dan Maulana, T. I. (2022). Evaluasi Perilaku Seismik Akibat Ketidakberaturan Vertikal pada Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Tinggi. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 28(2), 178-191. DOI:10.14710/mkts.v28i2.41765
- Rajalakshmi, K., Harinarayanan, J. S., Varughese, A., & Girija, K. (2015). Study of Torsion Effects on Building Structures Having Mass and Stiffness Irregularities. *International Journal of Engineering Research and Technology, ESRSA Publications*, 4(6): 1318-1325. DOI: <http://dx.doi.org/10.17577/IJERTV4IS061059>
- Rau, F., Wibawa, I. M. S., Tubuh, I. K. D. K., & Nada, I. M. (2023). Analisis Kinerja Struktur Gedung dengan Ketidakberaturan Horizontal. *Jurnal Ilmiah Teknik Unmas*, 3(1), 26-31.
- Sakale, R., Arora, R., & Chouhan, J. (2014). Seismic Behavior of Buildings Having Horizontal Irregularities. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 3(4). 77-84. DOI: 10.18178/ijscer
- Simamora, J., Wibowo, L. S. B., Purwanto, D., & Ray, N. (2020). Analisis Perpindahan Lateral Struktur Beton Bertulang pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidak Beraturan Horizontal. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, 3(1). 19-23. DOI:10.25139/jprs.v3i1.2436
- Soltani, M., Gholami, H., Norouzi, H., Dastgerdi, H. R. S., & Askari, K. O. A. (2018). The Influence of L-Shaped Structures on their Behavior against Earthquakes. *International Journal of Constructive Research in Civil Engineering (IJCRCE)*, 4(4). 1-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.20431/2454-8693.0404001>
- Syafara, A. A. (2023). Analisis Respons Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal Pada Gedung Perkuliahan di Yogyakarta dengan Menggunakan SNI 1726-2019. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.