

# PENGARUH *FLAT SLAB* TERHADAP KERUNTUHAN PROGRESIF PADA STRUKTUR GEDUNG TIDAK BERATURAN

Roni Suhendra<sup>1</sup>, Zulfikar Djauhari<sup>2</sup>, Ridwan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>3</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email: [Roni.Suhendra@student.unri.ac.id](mailto:Roni.Suhendra@student.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*Technological developments in the field of construction are currently more advanced, the structure of the building not only an regular but also irregular. Terraced building structure in the shape of irregular very influential towards the collapse of the building. The collapse of the building can be the collapse of the natural and the artificial collapse. It is a natural collapse caused by load capacity by building or building exceeds the ability of the structure personally. Potentialities of the failure of the structure due to the collapse, can lead to progressive collapse. This research aimed to analyze the effect of flat slab to the collapse beharfour of irregular building structures, and determine the type of collapse that occurred at irregular building structures. This research was conducted by analyzing the elements of the structure destroyed in advance the result of addition of maximum load. The analysis done by eliminating one or more of the critical column based on General Service Administration (GSA) code. Examination of structural strength using finite element based software, value-based Demand Capacity Ratio (DCR). Irregular building structures have a progressive collapse when the value of the DCR is more than 1 that. The results of the analysis indicated progressive collapse did not occur on the structure of the building, due to irregular use of the building elements that form the structure of a flat slab. The collapse happened on only some elements of the structure of the building, both elements of the structure of the beams as well as elements of the structure column. Since its collapse did not occur on the structure of the building, so the building collapse type could not be seen.*

**Keywords:** *Progressive collapse, irregular structure, flat slab, GSA, DCR, finite element program.*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi di bidang kontruksi saat ini semakin maju, struktur yang dibangun tidak hanya struktur

gedung yang beraturan namun juga banyak yang dibangun struktur gedung tidak beraturan. Struktur gedung yang tidak beraturan dapat berupa struktur gedung yang mempunyai bentuk bangunan bukan persegi maupun persegi panjang.

Pembangunan struktur gedung tidak beraturan dikarenakan untuk memenuhi aspek estetika bangunan dan akibat keterbatasan lahan yang disebabkan perkembangan penduduk semakin meningkat. SNI 1726-2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung dan struktur non gedung menjelaskan bahwa struktur beraturan dan tidak beraturan diklasifikasikan berdasarkan konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan tersebut.

Struktur gedung bertingkat yang berbentuk tidak beraturan sangat berpengaruh terhadap keruntuhan bangunan. Keruntuhan bangunan ini dapat berupa keruntuhan alami maupun keruntuhan buatan. Keruntuhan alami itu merupakan keruntuhan yang diakibatkan oleh kapasitas beban yang diterima oleh bangunan atau gedung melebihi kemampuan struktur itu sendiri. Keruntuhan buatan adalah keruntuhan yang diakibatkan oleh beban tambahan ataupun beban berlebihan yang sengaja diberikan kepada bangunan, misalnya pembongkaran pada bangunan tua. Perencanaan struktur gedung tidak beraturan perlu memperhatikan beban-beban yang berpengaruh terhadap suatu struktur gedung itu sendiri. Beban-beban yang berpengaruh terhadap struktur tidak hanya beban hidup, beban mati dan beban angin, namun juga beban gempa. Beban hidup adalah beban yang letaknya dapat berubah atau berpindah, sedangkan beban mati adalah berat sendiri struktur gedung.

Perencanaan gedung bertingkat di Kota Pekanbaru harus memperhatikan intensitas gempa yang akan terjadi, meskipun Kota Pekanbaru merupakan daerah yang memiliki intensitas gempa yang rendah. SNI 1726-2002 sebelum digantikan oleh SNI 1726-2012, menyatakan bahwa zonasi gempa Kota Pekanbaru termasuk dalam wilayah dua. Hal ini menunjukkan spektral gempa Kota Pekanbaru berada pada zonasi gempa wilayah dua. Menurut SNI 1726-2012

zonasi gempa wilayah dua berpotensi mengalami gempa yang dapat meruntuhkan bangunan, sehingga Kota Pekanbaru berpotensi mengalami gempa yang dapat meruntuhkan bangunan.

Keruntuhan progresif merupakan keruntuhan yang disebabkan oleh keruntuhan dari satu elemen struktur atau lebih yang menyebabkan keruntuhan beruntun elemen sebelahnya, sehingga mengakibatkan struktur tersebut mengalami keruntuhan sebagian maupun keruntuhan secara keseluruhan. Elemen struktur berupa balok, kolom, pelat lantai, maupun dinding sangat berpengaruh terhadap keruntuhan progresif yang terjadi pada struktur gedung. Elemen struktur pelat lantai yang digunakan baik berupa pelat konvensional maupun *flat slab* sangat berpengaruh terhadap keruntuhan gedung.

Akibat pengaruh elemen pelat lantai yang digunakan terhadap pola keruntuhan progresif, hal ini menjadi dasar dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh elemen struktur berupa *flat slab* terhadap keruntuhan progresif pada struktur gedung tidak beraturan. Adapun tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *flat slab* terhadap keruntuhan progresif, serta menganalisis jenis atau tipe keruntuhan yang terjadi.

## 1.2. Perumusan Masalah

Semakin maju perkembangan suatu wilayah, pembangunan suatu gedung bertingkat semakin meningkat. Gedung bertingkat yang dibangun tidak hanya berupa struktur gedung yang beraturan, namun juga struktur gedung yang tidak beraturan. Selain aspek desain dan perencanaan bangunan gedung, perilaku keruntuhan elemen-elemen struktur juga penting untuk diketahui sehingga kerugian yang tidak diinginkan dan membahayakan lingkungan sekitar bangunan dapat diantisipasi. Keruntuhan bangunan dapat terjadi akibat kelebihan beban gravitasi maupun beban gempa. Elemen-elemen

struktur yang berpotensi terhadap keruntuhan dapat berupa elemen struktur kolom, balok, maupun pelat lantai. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk menganalisis pengaruh *flat slab* terhadap keruntuhan progresif pada struktur gedung tidak beraturan.

### 1.3. Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh *flat slab* pada lantai dasar terhadap keruntuhan progresif

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi kepada perencana agar dapat memprediksi karakteristik keruntuhan komponen tersebut.
2. Memberikan penguatan pada analisis struktur bangunan khususnya untuk memprediksi keruntuhan progresif struktur gedung tidak beraturan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Struktur Gedung Tidak Beraturan

SNI 1762-2002 Pasal 4.2.1 menjelaskan, struktur gedung beraturan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 meter
- b. Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan walaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung.
- c. Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah struktur secara keseluruhan.
- d. Sistem struktur memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat yang tidak lebih dari 150% dari berat lantai

tingkat di atasnya atau di bawahnya. Berat atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.

- e. Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka, walaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang 75% dari ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya.
- f. Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Walaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu, jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seterusnya.
- g. Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.

Struktur gedung yang tidak memenuhi ketentuan di atas, ditetapkan sebagai struktur gedung tidak beraturan. Pada struktur bangunan tidak beraturan, analisis beban gempa rencana ditinjau menggunakan pengaruh gempa rencana sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik, sehingga analisis beban gempa harus dilakukan berdasarkan analisis respons dinamik.

### 2.2. Keruntuhan Progresif

Keruntuhan progresif (*progressive collapse*) merupakan suatu keruntuhan yang disebabkan oleh kegagalan dari satu atau lebih elemen struktur yang menyebabkan keruntuhan beruntun dari elemen sebelahnya sehingga mengakibatkan keruntuhan struktur secara keseluruhan atau sebagian besar dari struktur tersebut secara tidak proporsional (Rakshith & Radhakrishna, 2013).

Menurut Sunamy et al (2014), keruntuhan progresif terjadi ketika struktur menerima beban utama struktural dari bagian elemen yang dihapuskan, elemen yang dihapuskan berupa elemen struktur kolom atau elemen kolom dihilangkan secara tiba-tiba dan struktur yang tersisa tidak mampu menahan berat dari bangunan. Karakteristik dari keruntuhan progresif adalah kondisi akhir kehancuran tidak proposional lebih besar daripada kondisi awal kegagalannya.

Salah satu contoh keruntuhan progresif adalah keruntuhan Apartemen Ronan Point di East London, Inggris tahun 1968 yang disebabkan oleh ledakan gas. Akibat dari ledakan gas ini dinding-dinding cor terpecah sehingga membuat empat lantai di atasnya tanpa dukungan struktural. Setelah dinding-dinding cor terpecah, lalu lantai-lantai atas tanpa adanya dukungan struktural berjatuh dan menghancurkan lantai yang berada dibawahnya, keruntuhan elemen strukturnya seperti domino amblas ke lantai dasar.

*General Services Administration (GSA)* dan *Department of Defense (DOD)* telah mengembangkan pedoman untuk menghindari terjadinya keruntuhan progresif pada bangunan gedung. Pedoman itu adalah: *Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects* oleh GSA (2003) dan *Unified Facilities Criteria (UFC): Design of Building to Resist Progressive Collapse* oleh DOD (2016). Pedoman ini bertujuan untuk mengurangi potensi keruntuhan progresif pada gedung kantor pemerintahan dengan menilai potensi keruntuhan progresifnya serta membantu dalam proses pengembangan dalam peningkatan fasilitas. Tahapan dalam

pedoman ini yaitu menghapus kolom secara instan pada lantai satu. Lokasi yang disarankan dalam penghapusan kolom adalah sebagai berikut.

1. Menghilangkan kolom di tengah atau di dekat tengah sisi pendek bangunan.
2. Menghilangkan kolom di tengah atau di dekat sisi panjang bangunan.
3. Menghilangkan kolom di sudut bangunan
4. Menghilangkan kolom interior pada bangunan.

Besaran dan distribusi kebutuhan ditunjukkan dengan *Demand Capacity Ratio (DCR)* atau kebutuhan kapasitas rasio. Perbandingan antara nilai DCR ini digunakan untuk mengidentifikasi keruntuhan elemen struktur. DCR dihitung berdasarkan rumus pada persamaan 1 berikut.

$$DCR = Q_{ult}/Q_{ce} \quad (1)$$

Dengan DCR adalah *Demand Capacity Ratio*,  $Q_{ult}$  adalah gaya dalam komponen (momen, gaya aksial, geser dan kombinasi gaya) yang diperoleh dari analisis linear elastis,  $Q_{ce}$  adalah Perkiraan kekuatan dari komponen (momen, gaya aksial, geser dan kombinasi gaya). Nilai DCR (*Demand Capacity Ratio*) yang diijinkan sesuai dengan pedoman GSA 2003 untuk elemen struktur adalah sebagai berikut:

1.  $DCR < 2,0$  untuk konfigurasi struktural yang beraturan atau khusus.
2.  $DCR < 1,5$  untuk konfigurasi struktural yang tidak beraturan.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Bagan Alir Penelitian

Prosedur analisis yang akan dilakukan pada penelitian ini secara keseluruhan dapat dilihat pada bagan alir penelitian pada Gambar 1.



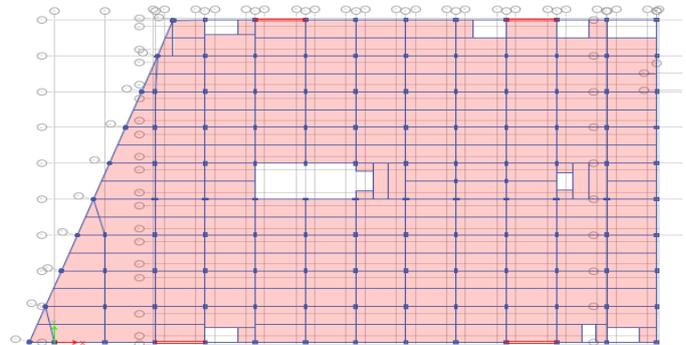
Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

## 3.2. Data Struktur Gedung

### 3.2.1. Geometri Struktur Gedung

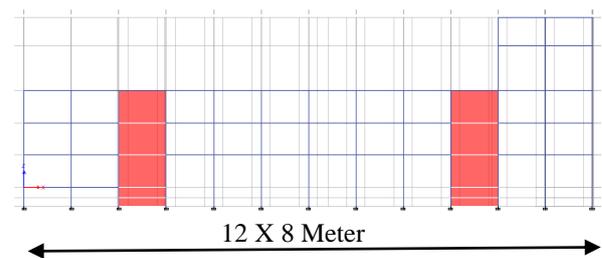
Struktur gedung yang digunakan merupakan struktur gedung tidak beraturan 4 lantai yang memiliki tinggi antar lantai 3 meter untuk lantai dasar dan 5 meter untuk lantai berikutnya, maka dengan demikian tinggi gedung tersebut adalah 26,3 meter dan berfungsi sebagai pusat perbelanjaan. SNI 1726-2002 menjelaskan, salah satu ketentuan dari struktur gedung tidak beraturan adalah gedung tersebut mempunyai denah berbentuk bukan

persegi atau persegi panjang. Oleh karena itu, gedung Transmart Pekanbaru termasuk struktur gedung tidak beraturan, dikarenakan memiliki denah yang tidak berbentuk persegi atau persegi panjang. Denah tipikal struktur dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Denah Tipikal Gedung

Tampak potongan gedung dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Tampak Potongan Gedung

### 3.2.2. Material Struktur

Material struktur yang digunakan pada struktur gedung ini adalah sebagai berikut:

1. Beton struktural dengan karakteristik :
 

Berat jenis beton	=2400 kg/m <sup>3</sup>
Kuat tekan beton, $f_c'$	= 24,9 MPa
Modulus elastisitas, $E_c$	= 4700 $\sqrt{f_c'}$
	= 4700 $\sqrt{24,9}$
	= 23452,95 MPa
Angka poisson, $\nu$	= 0,2
Modulus geser, $G$	= 9772,06 MPa
2. Spesifikasi tulangan
 

Berat jenis tulangan	=7850 kg/m <sup>3</sup>
Modulus elastisitas	=200000 MPa
Tegangan leleh	=250 MPa

### 3. Spesifikasi flat slab

Gedung pusat perbelanjaan Transmart Pekanbaru menggunakan *flat slab*. *Flat slab* adalah konstruksi pelat lantai beton bertulang dua arah yang hanya memiliki unsur horizontal berupa pelat tanpa balok dan menumpu langsung pada kolom (Ferguson, 2002). *Flat slab* hanya digunakan pada lantai dasar gedung, sedangkan pada lantai selanjutnya pada gedung menggunakan pelat konvensional.

### 3.3. Pembebanan Struktur

Pembebanan diambil dari ketentuan yang telah tercantum dalam SNI 1727-2013, untuk beban mati dan beban hidup. Selain SNI tersebut pembebanan pada gedung itu juga diambil dari Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPURG) tahun 1987 dan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung.

#### 3.3.1. Beban Mati

Beban mati terbagi atas dua bagian, yaitu beban mati terhadap berat struktur itu sendiri dan beban mati tambahan. Perencanaan struktur pada penelitian ini menggunakan jenis-jenis beban mati yang mengacu pada Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SNI 1727-2013) dan PPURG 1987 seperti yang di tunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis-Jenis Beban Mati

No	Jenis Beban Mati	Berat	Satuan
1	Beton bertulang	24	kN/m <sup>3</sup>
2	Lapisan aspal	14	kN/m <sup>3</sup>
4	Langit-langit	0,2	kN/m <sup>2</sup>
5	Finishing lantai	22	kN/m <sup>2</sup>
6	Marmer,granit	24	kN/m <sup>3</sup>
7	Instalasi <i>plumbing</i>	0,25	kN/m <sup>2</sup>
8	Dinding pasang bata	2,5	kN/m <sup>2</sup>
9	Pasir	16	kN/m <sup>3</sup>

Sumber : (SNI 1727-2013) dan (PPURG 1987)

#### 3.3.2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang bekerja pada lantai bangunan tergantung dari fungsi ruang digunakan. Besarnya beban hidup yang bekerja pada lantai bangunan dihitung menurut Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SNI 1727-2013).

#### 3.3.3. Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2012, data gempa untuk Kota Pekanbaru Jenis Tanah Sedang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Respons Spektra Kota Pekanbaru

No	Variabel	Nilai
1	S <sub>s</sub>	0,435
2	S <sub>1</sub>	0,273
3	F <sub>A</sub>	1,452
4	F <sub>V</sub>	1,854
5	S <sub>MS</sub>	0,631
6	S <sub>M1</sub>	0,506
7	S <sub>DS</sub>	0,421
8	S <sub>D1</sub>	0,337
9	T <sub>O</sub>	0,160
10	T <sub>S</sub>	0,802

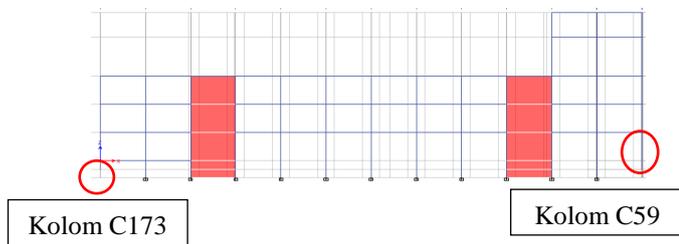
### 3.4. Identifikasi Kolom Kritis

Hasil analisis statik nonlinier tidak dapat mengidentifikasi bagian kolom kritis karena yang mengalami bagian kritis (*collapse*) adalah balok. Oleh karena itu, digunakan metode GSA 2003 untuk menentukan komponen kolom yang akan dihapuskan. Lokasi yang disarankan dalam penghapusan kolom oleh GSA 2003 adalah sebagai berikut:

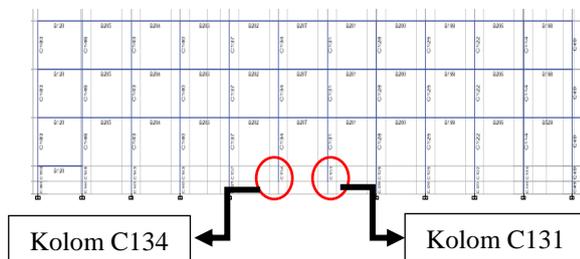
1. Kolom yang berada di tengah atau di dekat tengah sisi pendek bangunan.
2. Kolom yang berada di tengah atau di dekat tengah sisi panjang bangunan.
3. Kolom yang berada di sudut bangunan.
4. Kolom interior yang berada di sisi panjang bangunan.

Sehingga pada penelitian ini dihapuskan kolom dibagian tengah dan sudut. Kolom yang dihapuskan adalah sebagai berikut:

- a. Kolom bagian sudut gedung pada lantai 1 C59 dan C173 dapat dilihat pada Gambar 4
- b. Kolom bagian dalam gedung pada lantai 1 C131 dan C134 dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 4. Kolom Sisi Sudut Gedung



Gambar 5. Kolom Sisi Internal Gedung

### 3.5. Analisis Keruntuhan Progresif

Analisis keruntuhan progresif dengan melakukan perhitungan nilai kapasitas rasio, apabila nilai  $DCR \geq 2$  maka terjadi keruntuhan progresif pada elemen struktur untuk struktur gedung beraturan, sedangkan untuk struktur gedung tidak beraturan, jika terjadi keruntuhan progresif nilai  $DCR \geq 1$ . Selain itu, indikator lain yang harus diperhitungkan adalah nilai momen lentur (*bending moment ratio*) dan ketahanan batas (*robustness indicator*).

Nilai BMR didapatkan dengan melakukan perbandingan momen, baik momen kolom maupun momen balok saat elemen struktur masih utuh atau normal dengan saat kolom pada struktur tersebut dihapuskan. Nilai DCR diperoleh dengan melakukan perbandingan antara gaya nominal (kemampuan penampang) dengan gaya ultimit yang terjadi (momen, gaya aksial, geser, dan kombinasi gaya).

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Analisis Gaya-Gaya Dalam Saat Elemen Utuh.

Perangkat lunak berbasis elemen hingga digunakan untuk memperoleh gaya-gaya dalam yang bekerja pada masing-masing elemen struktur bangunan. Gaya-gaya dalam yang diperoleh pada analisis tersebut dapat berupa gaya aksial, gaya geser, dan gaya momen. Gaya-gaya tersebut dapat digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur akibat dihilangkannya beberapa bagian komponen kolom. Perhitungan gaya-gaya dalam ini dilakukan terhadap berbagai kombinasi pembebanan berdasarkan kriteria GSA 2003 dan SNI 2847-2013. Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah kombinasi pembebanan maksimum. Kombinasi pembebanan maksimum terdapat pada kombinasi antara beban mati, beban hidup, dan beban gempa ( $1,2 DL + LL + Ex - 0,3 Ey$ ).

### 4.2. Perbandingan Momen Lentur

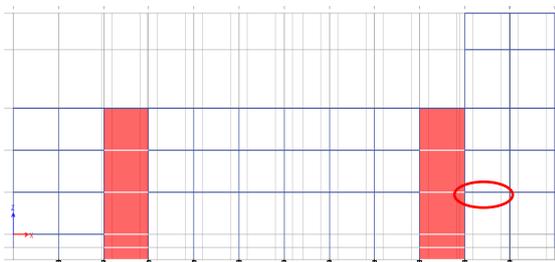
Perbandingan momen lentur (*bending moment ratio*) ini dilakukan dengan cara membandingkan momen ultimit pada struktur yang masih utuh (*existing structure*) dan struktur yang telah dihilangkan komponennya, baik itu penghapusan kolom bagian sudut gedung ataupun penghapusan kolom bagian internal gedung. Akibat dihilangkannya beberapa komponen struktur tersebut, baik kolom maupun balok mengalami peningkatan momen lentur yang bervariasi.

#### 4.2.1. Bending Moment Ratio Akibat Pembebanan Maksimum

Hasil *running* menggunakan perangkat lunak berbasis elemen hingga, diperoleh momen maksimum didapat dari kombinasi beban mati, beban hidup, dan beban gempa ( $1,2 DL + LL + Ex - 0,3 Ey$ ). Oleh karena itu, perhitungan perbandingan momen lentur dilakukan akibat elemen struktur dipengaruhi oleh

kombinasi pembebanan ini. Perbandingan momen lentur dihitung berdasarkan perbandingan momen pada elemen balok maupun kolom yang utuh dengan elemen balok atau kolom yang telah dilakukan penghapusan, baik itu penghapusan kolom bagian sudut maupun penghapusan kolom bagian internal gedung. Peningkatan nilai *Bending Moment Ratio* (BMR) antara elemen balok dan kolom utuh dengan elemen balok dan kolom tidak utuh, yang dimana elemen tidak utuh dilakukan penghapusan kolom sudut dan penghapusan kolom tengah bangunan.

Analisis peningkatan nilai *Bending Moment Ratio* (BMR) antara elemen balok utuh dengan elemen balok pada saat penghilangan kolom pada sisi sudut bangunan, peningkatan nilai *Bending Moment Ratio* (BMR) paling besar terjadi pada elemen balok pada lantai satu bangunan dengan rasio peningkatan sebesar 1,163. Elemen balok tersebut berupa elemen balok B156 dan dapat dilihat pada Gambar 6.



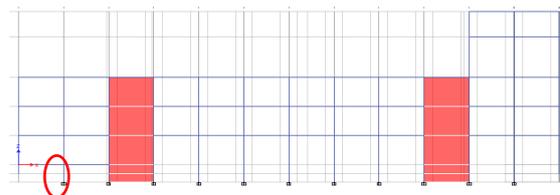
Gambar 6. Elemen Balok B156

Peningkatan nilai *Bending Moment Ratio* (BMR) antara elemen balok utuh dengan elemen balok pada saat penghilangan kolom pada sisi internal bangunan, peningkatan nilai *Bending Moment Ratio* (BMR) paling besar terjadi pada elemen balok yang posisinya terletak di dekat kolom kritis yang dihapuskan. Rasio peningkatan elemen balok tersebut sebesar 1,798. Elemen balok tersebut berupa elemen balok B201 dan elemen balok tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Elemen Balok B201

Analisis *Bending Moment Ratio* (BMR) antara elemen kolom utuh dengan elemen kolom pada saat penghilangan kolom pada sisi sudut bangunan. Peningkatan nilai *Bending Moment Ratio* (BMR) paling besar terjadi pada elemen kolom yang berada disamping kolom kritis yang dihilangkan yaitu kolom C168, dengan rasio peningkatan sebesar 1,228. Gambar 8 menunjukkan letak kolom C168 tersebut.



Gambar 8. Elemen Kolom C168

Analisis peningkatan nilai *Bending Moment Ratio* (BMR) antara elemen kolom utuh dengan elemen kolom pada saat penghilangan kolom pada sisi internal gedung. Peningkatan nilai *Bending Moment Ratio* (BMR) paling besar terjadi pada elemen kolom yang posisinya berada di samping kolom kritis yang dihapuskan, yaitu kolom C128 dengan rasio peningkatan sebesar 1,100. Gambar 9 menunjukkan letak kolom C128 tersebut.



Gambar 9. Elemen Kolom C128

### 4.3. Demand Capacity Ratio

Penentuan suatu elemen struktur yang mengalami keruntuhan progresif dilakukan menggunakan perangkat lunak berbasis elemen hingga dengan berdasarkan perhitungan nilai rasio kapasitas atau *Demand Capacity Ratio* (DCR). *Demand Capacity Ratio* (DCR) merupakan perbandingan kapasitas ultimit penampang dengan momen dan gaya aksial ultimit akibat beban luar. Nilai DCR merupakan indikasi numerik terkait kondisi kekuatan (*strength*) pada masing-masing elemen struktur bangunan yang dianalisis. Struktur gedung yang tidak beraturan mengalami keruntuhan progresif apabila nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) lebih besar sama dengan 1, sedangkan struktur gedung beraturan akan mengalami keruntuhan progresif apabila nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) lebih besar sama dengan 2.

Hasil analisis yang diperoleh, pada saat penghapusan kolom kritis pada sisi sudut dan sisi internal gedung, menunjukkan gedung tersebut tidak mengalami keruntuhan total pada bangunan, namun beberapa elemen struktur sudah dikategorikan mengalami keruntuhan, baik itu pada elemen kolom maupun elemen balok.

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa:

1. Struktur gedung yang ditinjau tidak mengalami keruntuhan progresif setelah dilakukan penghapusan kolom.
2. Keruntuhan hanya terjadi di beberapa elemen struktur, baik itu elemen balok maupun elemen kolom.
3. Elemen struktur balok dan kolom yang mengalami keruntuhan pada saat penghapusan kolom sisi sudut dan sisi internal bangunan yaitu elemen struktur yang berada disekitar kolom kritis yang dihilangkan.
4. Hasil analisis kolom pada struktur gedung tersebut menunjukkan bahwa

kolom masih mampu memikul beban pada saat penghapusan kolom pada sisi sudut bangunan dan penghapusan kolom pada sisi internal bangunan karena adanya pengaruh flat slab.

### 4.4. Saran

Pada penelitian ini hanya dilakukan penghapusan kolom sudut dan kolom tengah struktur gedung tersebut, sehingga penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menghilangkan kolom pada sisi lain gedung. Penelitian selanjutnya dapat melakukan pengaruh jenis pelat lainnya terhadap keruntuhan progresif.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- BSN. (2012). SNI 1726 2012 : Bangunan Tahan Gempa. Indonesia.
- BSN. (2013). SNI 1727-2013 : Beban Minimum Untuk Perencanaan Gedung dan Struktur Lain.
- BSN. (2013). SNI 2847-2013 : Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Indonesia.
- DOD. (2016). *Design Of Building to Resist Progressive Collapse*. USA.
- GSA. (2003). *Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines*. USA.
- PPURG (1987). Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung. Indonesia.
- Puskim. (2017). Zonasi Gempa Wilayah.
- Rakshith, K., & Radhakrishna. (2013). *Progressive Collapse Analysis of Reinforced Concrete Framed Structure*.
- Sunamy, S. L., Binu, P., & Girija, K. (2014). *Progressive Collapse Analysis of a Reinforced Concrete Frame Building*.