

ANALISIS KERUNTUHAN PROGRESIF PADA STRUKTUR GEDUNG TIDAK BERATURAN SISTEM PELAT KONVENSIONAL

Yogi Raenaldo Apryan¹⁾, Zulfikar Djauhari²⁾, Ridwan²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

Email: yogi.raenaldo@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Progressive collapse is the collapse caused by the collapse of an element of the structure of the building which will then affect the nearby structure resulting in a collapse either partially or completely. In the urban area the development of construction technology of the structure is now increasingly advanced, the shape building structures are not only in regular but also in irregular. The irregular of the structure would cause progressive collapse of the building. Building collapse occurs due to the burden of earthquakes, gas blasts, and collisions from airplanes. This research aimed to analysys collapse behavior of the building structures consist of a conventional plate system. Analysis was conducted according to in General Service Administration (2003). The structural strength inspection was conducted finite the element by using software. Irregular structures experienced progressive collapse when demand capacity ratio more than 1.5. The results of the analysis showed that there was an increase in the moment ratio value to the column elements and beam elements induced by the deletion of one of the column elements, in some elements the demand capacity ratio value exceeded 1.5 which was then the building collapsed. The collapse occured on the part of the elements around the elimination of columns and the type of collapse of the building was classified as an pancake-type collapse.

Keywords : Progressive Collapse, Irregular Structure, Slab, Demand Capacity Ratio, General Service Administration

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dua dekade terakhir, beberapa bangunan dalam wilayah perkotaan telah mengalami peristiwa keruntuhan, baik itu bersifat progresif secara parsial ataupun total. Keruntuhan bangunan ini dapat terjadi akibat dari adanya pengaruh gempa bumi, akibat ledakan gas yang tidak terkendali dan akibat tumbukan pesawat terbang. Hal ini menegaskan bahwa sistem struktur yang dirancang sudah sesuai dengan standar tidak hanya harus mampu menahan kondisi pembebanan secara normal tetapi juga mampu menahan

kondisi pembebanan yang tidak terduga. Meskipun keruntuhan bangunan akibat pembebanan tipe ini jarang terjadi, tetapi dapat mengakibatkan kerugian yang signifikan.

Kota Pekanbaru adalah ibu kota Provinsi Riau. Kota Pekanbaru merupakan salah satu sentra ekonomi terbesar di bagian tengah Pulau Sumatera, dan termasuk sebagai kota dengan tingkat pertumbuhan, migrasi dan urbanisasi yang tinggi. Tingkat pertumbuhan pembangunan dalam bidang konstruksi telah melaju pesat di kota ini. Banyak bangunan di kota Pekanbaru mengalami perkembangan

dalam hal teknologi konstruksi, salah satunya dari bentuk bangunan yang tidak hanya didesain dengan struktur beraturan namun juga didesain dengan struktur tidak beraturan yang disebabkan untuk memenuhi aspek estetika bangunan dan akibat adanya keterbatasan lahan.

Keruntuhan progresif disebabkan oleh keruntuhan 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. Bangunan gedung di perkotaan banyak menggunakan sistem pelat konvensional sehingga berpotensi mengalami keruntuhan secara progresif.

Hal tersebut mendasari penelitian ini untuk mengetahui keruntuhan progresif pada struktur gedung tidak beraturan sistem plat konvensional dan pola keruntuhan struktur gedung tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Struktur gedung dengan struktur tidak beraturan berpotensi mengalami keruntuhan, akibat adanya kelebihan beban gravitasi maupun beban gempa. Keruntuhan tersebut dapat menimbulkan kerusakan pada elemen struktur seperti balok, kolom, pelat lantai dan elemen struktur lainnya. Untuk itu perlu dilakukan penelitian dengan menganalisis perilaku keruntuhan pada struktur gedung tidak beraturan sistem plat konvensional dengan menghilangkan salah satu kolom pada lantai dasar pemodelan struktur tersebut.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis perilaku keruntuhan gedung struktur tidak beraturan

sistem pelat konvensional terhadap keruntuhan progresif,

2. Menentukan jenis keruntuhan progresif yang terjadi pada struktur gedung tersebut.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan penguatan pada analisis struktur bangunan khususnya untuk memprediksi keruntuhan progresif struktur gedung tidak beraturan.
2. Memberikan informasi tentang pengaruh pelat lantai sistem pelat balok terhadap keruntuhan progresif struktur.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Keruntuhan Progresif Pada Bangunan Gedung

Analisis keruntuhan progresif biasanya dilakukan dengan pendekatan *threat independet*, yaitu dengan menyederhakan respon dari struktur. Dalam pendekatan ini, respon struktur dihitung dengan menghilangkan elemen pemikul beban (kolom) secara instan. Apabila kolom dihilangkan maka beban bangunan akan didistribusikan ke kolom yang berdekatan, apabila kolom ini tidak mampu menahan dan mendistribusikan beban maka akan terjadi kegagalan sistem struktur keseluruhan atau sebagian. Prinsip perhitungan dapat dilakukan dengan cara statik linier, statik nonlinier, dinamik linier ataupun dengan dinamik nonlinier.

Pada penelitian ini analisis keruntuhan progresif mengacu atau berpedoman pada *General Service Administration* (GSA) 2003. Pedoman ini menjelaskan potensi keruntuhan progresif dengan cara menganalisis keruntuhan progresif melalui cara penghapusan salah satu kolom pada lantai dasar.

2.1.1 *General Services Administration (GSA) 2003*

Pedoman ini bertujuan untuk menilai potensi keruntuhan progresif serta membantu dalam proses pengembangan dalam peningkatan fasilitas struktur bangunan. Menurut dalam pedoman ini analisis dilakukan dengan cara menghapus satu buah kolom pada lantai satu. Penghapusan kolom dibagi beberapa lokasi sebagai berikut yaitu :

1. Penghapusan kolom eksterior bangunan, ada tiga lokasi yang disarankan yaitu :
 - a. kolom di tengah atau di dekat sisi pendek bangunan.
 - b. kolom di tengah atau di dekat sisi panjang bangunan.
 - c. kolom di sudut bangunan.
2. Penghapusan kolom interior bangunan.

Setelah melakukan penghapusan kolom dari lokasi yang dipertimbangkan, kemudian lakukan analisis statik nonlinier dari struktur dengan menggunakan kombinasi pembebanan $2(DL + 0,25LL)$, dimana DL adalah beban mati pada struktur dan LL beban hidup. Hasil dari analisis akan memberikan gaya-gaya yang terjadi pada elemen struktur saat tidak utuh, yang mana nilai kapasitas tersebut akan dibandingkan dengan kapasitas elemen saat utuh. Untuk struktur gedung tidak beraturan, apabila nilai *demand capacity ratio* (DCR) $\geq 1,5$ maka elemen struktur tersebut dinyatakan mengalami kerusakan berat atau mengalami keruntuhan progresif.

2.1.2 *Bending Momen Ratio (BMR)*

Perbandingan momen lentur merupakan perbandingan antara momen saat elemen struktur masih utuh dengan momen saat dilakukan penghapusan kolom. Dari perbandingan ini dapat diketahui terjadinya peningkatan momen pada balok maupun kolom

ketika dilakukan penghapusan kolom. Persamaan untuk menentukan *Bending Momen Ratio* (BMR) dapat dilihat pada persamaan berikut ini :

$$BMR = M_{damaged}/M_{impact} \quad (1)$$

$M_{damaged}$ adalah momen disaat penghapusan kolom dan M_{impact} adalah momen disaat elemen struktur runtuh.

2.1.2 *Demand Capacity Ratio (DCR)*

Besaran dan distribusi kebutuhan kapasitas struktur ditunjukkan dengan nilai DCR atau kebutuhan kapasitas ratio. Perbandingan antara nilai DCR ini digunakan untuk mengidentifikasi keruntuhan elemen struktur. DCR dihitung berdasarkan rumus pada persamaan berikut :

$$DCR = Q_{ud}/ Q_{ce} \quad (2)$$

Q_{ud} adalah gaya dalam komponen (momen, aksial, geser, dan kombinasi) dan Q_{ce} adalah gaya nilai kapasitas elemen struktur.

2.2 *Pelat Lantai Konvensional*

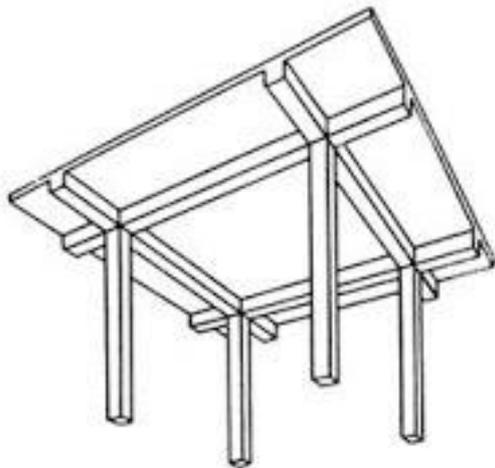
Sistem pelat lantai ini terdiri dari lantai menerus yang ditumpu oleh balok-balok monolit. Sistem ini banyak dipakai karena kokoh dan sering dipakai untuk menunjang sistem pelat lantai yang tidak beraturan. Sistem pelat ini dibedakan berdasarkan perencanaan penulangannya yaitu :

- a. Pelat satu arah (*one way slab*)

Pelat dengan tulangan pokok satu arah ini adalah pelat beton lebih dominan menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang satu arah saja, pelat satu arah ini ditumpu oleh 2 tumpuan.

- b. Pelat dua arah (*two way slab*)

Pelat dengan tulangan pokok dua arah ini adalah pelat beton lebih dominan menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang dua arah, pelat dua arah ini ditumpu oleh 4 tumpuan yang saling sejajar.



Gambar 1. Sistem Pelat Konvensional

2.3 Struktur Gedung Tidak Beraturan

Berdasarkan SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung, struktur bangunan gedung diklasifikasikan sebagai gedung beraturan dan tidak beraturan. Klasifikasi tersebut didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung. Apabila ada salah satu unsur dalam konfigurasi dari yang ditetapkan maka gedung tersebut dinyatakan sebagai gedung tidak beraturan. Dalam penelitian ini diambil poin 2 pada konfigurasi ketidakberaturan horizontal pada struktur gedung sebagai berikut yang dinyatakan :

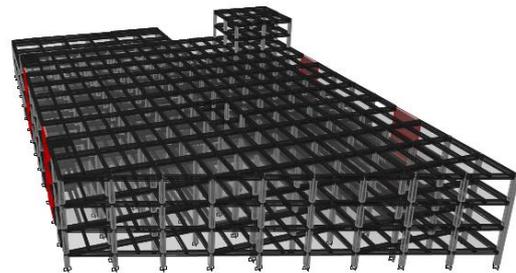
1. Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.

2. Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.
3. Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pemodelan Struktur

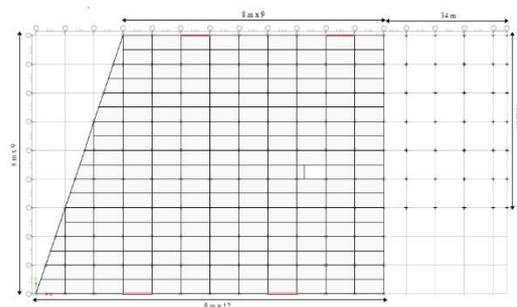
Pemodelan struktur yang akan digunakan pada penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 2, untuk data struktur akan dijelaskan dalam bentuk data dan geometri, material dan dimensi elemen struktur.



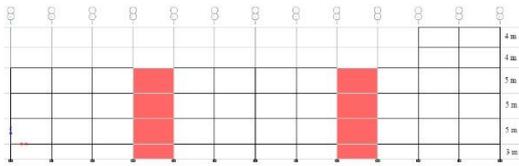
Gambar 2. Pemodelan Struktur

Untuk data struktur sebagai berikut:

- | | |
|----------------|----------------------|
| Fungsi gedung | : Pusat perbelanjaan |
| Jenis struktur | : Beton bertulang |
| Lokasi | : Pekanbaru |
| Jenis tanah | : Sedang |



Gambar 3. Denah Struktur



Gambar 4. Tampak Samping Struktur

Struktur gedung memiliki 5 lantai dengan tinggi antar lantai 3 m untuk *basement*, 5 m untuk lantai dasar hingga lantai 3 dan 4 m untuk lantai 4 dan 5. Luas dari struktur bangunan adalah 4608 m². Sistem pada pelat lantai setiap lantai struktur gedung menggunakan sistem pelat balok dua arah terdiri pelat lantai yang diapit oleh balok induk dan balok anak.

3.1.1 Material Struktur

Material struktur yang digunakan yaitu :

- Beton dengan karakteristik :
 - Berat jenis = 24 kN/m³
 - Kuat tekan beton = 29,05 MPa
 - Modulus elastisitas = $4700 \sqrt{f_c}$
= 25332,1 MPa
 - Angka poisson, ν = 0,2
 - Modulus geser = 10555,1 MPa
- Baja tulangan dengan karakteristik
 - Jenis baja = BJ 41
 - Berat jenis = 7850 kN/m³
 - Modulus elastisitas = 200000 MPa
 - Tegangan leleh = 250 MPa

3.1.2 Dimensi Elemen Struktur

Pemodelan struktur pada penelitian ini terdiri dari elemen struktur kolom, balok, pelat lantai dan dinding geser, yang dijelaskan sebagai berikut :

- Dimensi Kolom
 - Kolom(K1) = 700 mm x 700 mm
=Tulangan utama 15D22
= Sengkang D10-100

- Kolom(K2) = 500 mm x 500 mm
=Tulangan utama 10D22
=Sengkang D10-100

- Kolom(K3A)= 450 mm x 850 mm
=Tulangan utama 14D22
= Sengkang D10-100

- Kolom (K3B)= 850 mm x 450 mm
=Tulangan utama 14D22
= Sengkang D10-100

2. Dimensi balok

- Balok (B1) = 450 mm x 850 mm
= As (410 mm²)

- Balok (B1B)= 350 mm x 750 mm
= As (3940 mm²)

- Balok (B2) = 300 mm x 650 mm

- Balok (B3) = 250 mm x 500 mm

3. Dimensi pelat lantai

- Pelat (P1) = 130 mm

4. Dimensi dinding geser

- Dinding (W1) = 300 mm

- Dinding (W2) = 250 mm

3.2 Pembebanan Struktur

Pembenanan pada model struktur diambil dari ketentuan yang telah diatur oleh SNI 1727-2013 Tentang Pembebanan Minimum Untuk Struktur Gedung dan Bangunan Lain dan SNI 1726-2012 Tentang Tata Cara Ketahanan Gempa Bangunan Gedung dan Non Gedung. Pembebanan yang dipakai dalam model struktur adalah beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

3.2.1 Beban Mati

Dalam penelitian ini beban mati pada model struktur terbagi menjadi 2 bagian, yaitu berat mati struktural itu sendiri dan beban mati tambahan. Beban mati tambahan adalah berat elemen non struktural yang secara permanen membebani struktur, jenis jenis dari beban yang digunakan dapat di lihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Jenis-Jenis Beban Mati

No	Jenis Beban Mati	Berat	Satuan
1	Curtain wall kaca + rangka	6	kN/m ²
2	Plafon dan penggantung	0,2	kN/m ³
3	Finishing lantai	22	kN/m ³
4	Marmer, granit per cm tebal	24	kN/m ³
5	Instalasi plumbing dan mekanikal	0,25	kN/m ³
6	Dinding batako	20	kN/m ³

Beban mati tambahan ini berada pada pelat lantai dan balok tepi struktur, berikut pembebanannya :

1. Pelat lantai = 1,95 kN/m²
2. Balok tepi = 12,45 kN/m
= 3,75 kN/m (depan)

3.2.2 Beban Hidup

Beban hidup dalam penelitian ini berada pada pelat lantai, beban yang bekerja pada lantai bangunan tergantung dari fungsi ruang digunakan. Besarnya beban hidup untuk bangunan pusat perbelanjaan adalah sebesar 4,79 kN/m².

3.2.3 Beban Gempa

Dalam penelitian ini pemodelan struktur diberi beban gempa berupa respon spektra dan beban lateral gempa. Pembebanan gempa dalam pemodelan struktur dilakukan dengan metode ASCE 7-10, metode ini adalah metode perhitungan beban gempa yang dihitung secara otomatis oleh software berbasis elemen hingga.

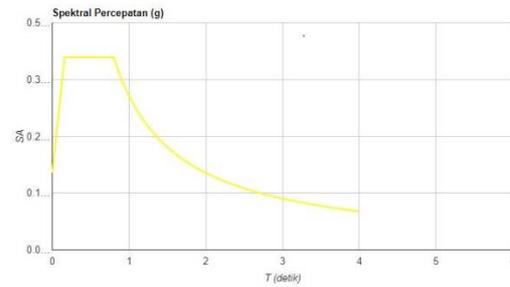
1. Respon spektra

Dengan memasukkan data parameter karakteristik wilayah gempa yang diperoleh dari spektra desain puskim, software berbasis elemen hingga secara otomatis akan mengeluarkan grafik respon spektra desain. Berikut data parameter yang diperlukan untuk memperoleh grafik spektra desain :

$$S_s = 0,439$$

$$S_1 = 0,275$$

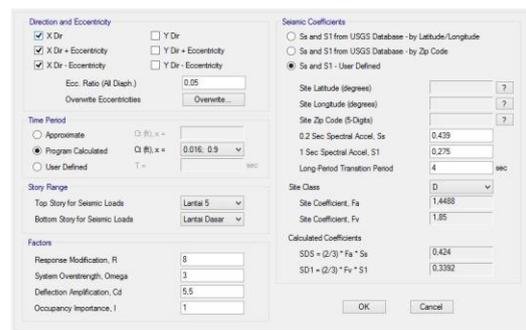
$$Site\ Class = D$$



Gambar 5. Grafik Respon Spektra

2. Beban gempa

Dengan memasukkan data parameter sesuai karakteristik wilayah gempa yang diperoleh dari SNI 1726-2012 dan input data pada software berbasis elemen hingga sebagai berikut :



Gambar 5. Beban Gempa Arah X



Gambar 6. Beban Gempa Arah Y

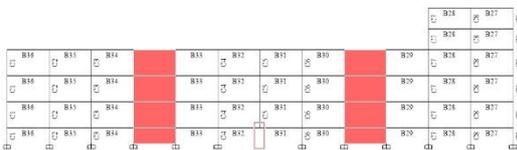
3.3 Analisis Keruntuhan Progresif

Untuk mengetahui potensi keruntuhan progresif dari struktur, dilakukan analisis penghapusan kolom untuk melihat elemen struktur yang mengalami keruntuhan progresif sesuai

dengan dengan tata cara dalam pedoman GSA (2003). Dalam penelitian ini diambil 2 kasus penghapusan kolom yang disarankan oleh pedoman tersebut, yaitu sebagai berikut :

1. Kasus 1 penghapusan kolom eksterior

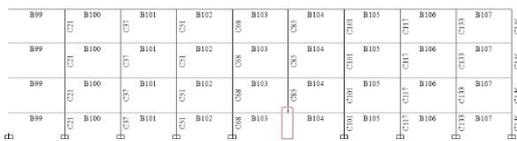
Untuk kasus ini diambil penghapusan kolom pada lantai dasar struktur bagian eksterior didekat sisi panjang sebanyak 1 buah yaitu pada rangka G1-1 kolom C5 lantai dasar, seperti yang dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Kasus 1 Penghapusan Kolom Eksterior

2. Kasus 2 penghapusan kolom interior

Untuk kasus ini diambil penghapusan kolom pada lantai dasar struktur bagian interior sebanyak 1 buah yaitu pada rangka G1-J kolom C85 lantai dasar, seperti yang dilihat pada Gambar 8.

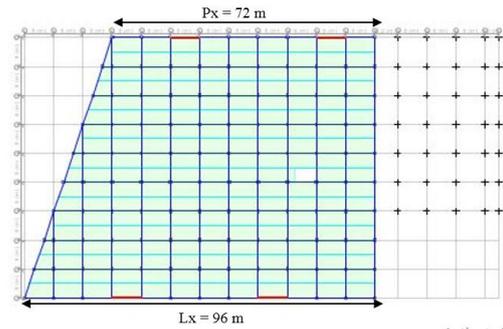


Gambar 8. Kasus 2 Penghapusan Kolom Interior

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Struktur Gedung Tidak Beraturan

Pemeriksaan ketidakberaturan struktur diambil berdasarkan pada ketidakberaturan horizontal pada sudut dalam, diketahui model struktur denah lantai dasar sebagai berikut :



Gambar 10. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Berdasarkan Gambar 10, diketahui struktur mempunyai nilai $P_x = 72 \text{ m} > 0,15L_x = 14,4 \text{ m}$, sehingga struktur memenuhi syarat ketidakberaturan sudut dalam. Sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2012, pemodelan struktur termasuk sebagai struktur gedung tidak beraturan.

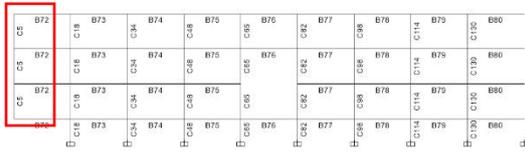
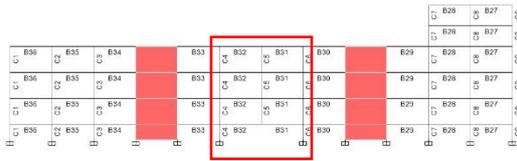
4.2 Analisis Statik Nonlinier

Dalam penelitian ini dilakukan analisis statik non linier terhadap pemodelan struktur dengan analisis modal, respon spektra struktur dan pembebanan struktur yaitu beban gravitasi dan beban lateral gempa.

Hasil analisis akan dilakukan pengecekan dengan memanfaatkan fitur *concrete design* pada perangkat lunak *etabs* dengan code *ACI 318-11 Building Code Requirements for Structural Concrete* (kode ini digunakan karena SNI 2847-2013 mengacu pada ACI 318-11).

4.2.1 Analisis Kasus 1

Berikut elemen yang struktur yang berada pada daerah tinjauan kasus 1 yang akan di analisis yaitu pada rangka G1-1 adalah kolom C4, C5, C6 dan Balok B31, B32 serta pada rangka G1-G adalah kolom C18 dan Balok B72.



Gambar 11. Daerah Tinjauan Pada Rangka G1-1 dan G1-G

4.2.1 Analisis Kasus 2

Berikut elemen yang strktur yang berada pada daerah tinjauan kasus 2 yang akan dianalisis yaitu pada rangka G1-J adalah kolom C68, C85, C101 dan balok B103, 104.



Gambar 12. Daerah Tinjauan Pada Rangka G1-J dan G1-6

4.3 Analisis Bending Momen Ratio (BMR)

Perbandingan *bending momen ratio* atau perbandingan momen lentur dihitung berdsarkan perbandingan nilai momen pada saat elemen struktur sebelum penghapusan kolom dan pada saat sesudah penghapusan kolom, dalam penelitian ini terdapat 2 kasus dalam penghapusan kolom yaitu kasus 1 penghapusan kolom bagian eksterior dan kasus 2 penghapusan kolom bagian interior yang mana bagian kolom yang di hapuskan.

4.3.1 BMR Kasus 1

Pada tinjauan kasus 1 dimana terjadi penghapusan kolom pada bagian eksterior, berikut diperlihatkan nilai ratio perbandingan momen lentur pada

Tabel 2 untuk elemen kolom dan Tabel 3 untuk elemen balok.

Tabel 2. *Bending Momen Ratio* Pada Kolom Tinjauan Kasus 1

Lantai	Kolom	Kode Kolom	M3 Saat Elemen Utuh	M3 Saat Elemen Tidak Utuh	Rasio
			(kN.m)	(kN.m)	
Lantai Dasar	C6	K1	-52,8933	-237,1802	4,4841
Lantai 1	C6	K1	-59,3495	-515,8785	8,6922
Lantai 2	C6	K1	-79,3045	-502,6904	6,3387
Lantai 3	C6	K1	-90,8097	-595,9241	6,5623
Lantai 1	C5	K1	-48,3446	-2,0765	0,0430
Lantai 2	C5	K1	-59,8622	-0,5866	0,0098
Lantai 3	C5	K1	-60,7938	-1,0708	0,0176
Lantai Dasar	C4	K1	-59,2327	-238,9231	4,0336
Lantai 1	C4	K1	-39,2231	-529,8215	13,5079
Lantai 2	C4	K1	-23,7868	-552,4453	23,2249
Lantai 3	C4	K1	-27,1554	-651,504	23,9917
Lantai Dasar	C18	K3A	-19,5244	-1,2861	0,0659
Lantai 1	C18	K3A	-24,1323	-0,3977	0,0165
Lantai 2	C18	K3A	-29,6366	0,9008	0,0304
Lantai 3	C18	K3A	-30,5403	-0,1159	0,0038

Dari Tabel 2 didapat nilai rasio momen lentur pada kolom tinjauan kasus 1 dengan peningkatan ratio tertinggi terjadi pada kolom C4 yang berada pada lantai 3 dengan nilai rasio sebesar 23 kali dan rasio peningkatan terendah terjadi pada kolom C18, nilai yang tidak ada pada kolom K5 lantai dasar menunjukkan bahwa kolom tersebut adalah kolom yang di hapus sehingga terjadi penurunan rasio pada kolom lantai di atasnya.

Tabel 3. *Bending Momen Ratio* Pada Balok Tinjauan Kasus 1

Lantai	Balok	Kode Balok	M3 Saat Elemen Utuh	M3 Saat Elemen Tidak Utuh	Rasio
			(kN.m)	(kN.m)	
Lantai Dasar	B31	B1A	-204,605	-1270,9572	6,2118
Lantai 1	B31	B1A	-203,1719	-1243,046	6,1182
Lantai 2	B31	B1A	-202,9946	-1239,227	6,1047
Lantai 3	B31	B1A	-200,9926	-1116,8554	5,5567
Lantai Dasar	B32	B1A	-202,978	-1274,4829	6,2789
Lantai 1	B32	B1A	-202,872	-1242,5778	6,1249
Lantai 2	B32	B1A	-201,549	-1233,1348	6,1183
Lantai 3	B32	B1A	-198,4338	-1105,9229	5,5733
Lantai Dasar	B72	B1A	-481,5076	-1367,9646	2,8410
Lantai 1	B72	B1A	-477,8159	-1355,2955	2,8364
Lantai 2	B72	B1A	-454,7076	-1345,8618	2,9598
Lantai 3	B72	B1A	-450,9144	-1228,5532	2,7246

4.3.2 BMR Kasus 2

Pada tinjauan kasus 1 dimana terjadi penghapusan kolom pada bagian eksterior, berikut diperlihatkan nilai

ratio perbandingan momen lentur pada Tabel 4 untuk elemen kolom dan Tabel 5 untuk elemen balok.

Tabel 4. *Bending Momen Ratio* Pada Kolom Tinjauan Kasus 2

Lantai	Kolom	Kode Kolom	M3 Saat Elemen Utuh	M3 Saat Elemen Tidak Utuh	Ratio
			(kN.m)	(kN.m)	
Lantai Dasar	C86	K3A	-9,6906	-138,9482	14,3385
Lantai 1	C86	K3A	-19,5595	-283,6146	14,5001
Lantai 2	C86	K3A	-29,8275	-290,0803	9,7253
Lantai 3	C86	K3A	-28,3215	-319,7671	11,2906
Lantai 1	C85	K3A	-38,0407	-46,6999	1,2276
Lantai 2	C85	K3A	-1,8204	14,8193	8,1407
Lantai 3	C85	K3A	-35,9834	-18,5233	0,5148
Lantai Dasar	C84	K3A	-16,7347	-157,1255	9,3892
Lantai 1	C84	K3A	-27,827	-292,8601	10,5243
Lantai 2	C84	K3A	-29,387	-282,5721	9,6155
Lantai 3	C84	K3A	-22,802	-323,9563	14,2074
Lantai Dasar	C68	K3A	-70,295	-13,0228	0,1853
Lantai 1	C68	K3A	-99,4515	-40,983	0,4121
Lantai 2	C68	K3A	-5,769	-33,7968	5,8583
Lantai 3	C68	K3A	-56,3697	-95,7348	1,6983
Lantai Dasar	C101	K3A	-16,9307	-3,7255	0,2200
Lantai 1	C101	K3A	-27,7898	-1,4978	0,0539
Lantai 2	C101	K3A	-26,8939	-0,3915	0,0146
Lantai 3	C101	K3A	-21,5007	-5,7319	0,2666

Pada tinjauan kasus 2 terjadi peningkatan rasio tertinggi pada kolom C86 dan peningkatan terendah terjadi pada kolom C101, sama halnya dengan kolom pada kasus 1, nilai yang tidak ada pada kasus 2 terjadi pada kolom C85 karena kolom tersebut adalah kolom yang dihilangkan.

Tabel 5. *Bending Momen Ratio* Pada Balok Tinjauan Kasus 2

Lantai	Balok	Kode Balok	M3 Saat Elemen Utuh	M3 Saat Elemen Tidak Utuh	Ratio
			(kN.m)	(kN.m)	
Lantai Dasar	B103	B1A	-482,8515	-1528,4074	3,1654
Lantai 1	B103	B1A	-481,6967	-1517,0453	3,1494
Lantai 2	B103	B1A	-442,7381	-1414,4097	3,1947
Lantai 3	B103	B1A	-333,0417	-1377,4107	4,1359
Lantai Dasar	B104	B1A	-444,5894	-1605,5572	3,6113
Lantai 1	B104	B1A	-438,0581	-1566,5605	3,5761
Lantai 2	B104	B1A	-419,4838	-1556,8614	3,7114
Lantai 3	B104	B1A	-386,2656	-1411,6373	3,6546
Lantai Dasar	B162	B1B	-283,4911	-920,3381	3,2464
Lantai 1	B162	B1B	-282,1052	-896,8948	3,1793
Lantai 2	B162	B1B	-280,073	-820,6925	2,9303
Lantai 3	B162	B1B	-271,0084	-775,0054	2,8597
Lantai Dasar	B163	B1B	-289,6451	-912,9291	3,1519
Lantai 1	B163	B1B	-287,7931	-895,4361	3,1114
Lantai 2	B163	B1B	-282,3236	-890,5433	3,1543
Lantai 3	B163	B1B	-275,783	-808,3854	2,9312

Dari Tabel 5 balok pada tinjauan kasus 2 juga mengalami peningkatan rasio dengan peningkatan tertinggi

terjadi pada balok B103 dan peningkatan terendah pada balok B162.

Dengan meningkatnya nilai momen pada kolom dan balok, maka akan memicu terjadinya kerusakan berat, kegagalan hingga keruntuhan pada elemen struktur. Untuk mengetahui terjadinya keruntuhan progresif pada elemen struktur balok dan kolom dapat dilihat dari nilai *demand capacity ratio* yang akan dibahas pada sub bab selanjutnya.

4.4 Analisis Demand Capacity Ratio (DCR)

Pengecekan kekuatan elemen struktur atau menentukan elemen struktur mengalami keruntuhan progresif dilakukan dengan perhitungan nilai rasio kapasitas atau *Demand Capacity Ratio*. nilai DCR yang digunakan adalah perbandingan antara gaya aksial ultimit (P_u) saat elemen tidak utuh dengan kapasitas penampang (ϕP_n) untuk elemen kolom dan perbandingan antara gaya momen ultimit (M_u) saat elemen tidak utuh dengan kapasitas penampang (ϕM_n) serta nilai kuat geser (ϕV_n) dan (V_u). Model struktur tidak beraturan akan mengalami keruntuhan progresif apabila nilai DCR lebih besar sama dengan 1,5. Dalam penelitian ini terdapat 2 kasus untuk melihat keruntuhan progresif yang terjadi.

4.4.1 DCR Kasus 1

Dalam tinjauan kasus 1 dimana terjadi penghapusan kolom bagian eksterior.

Dari Tabel 6 dapat dilihat untuk elemen kolom terjadi keruntuhan hanya pada kolom yang dihilangkan yaitu kolom C5, karena terjadi penghapusan pada kolom C5 lantai dasar sehingga menyebabkan nilai DCR pada kolom tersebut tidak mengalami peningkatan dan untuk kolom lainnya terjadi

peningkatan tetapi tidak mengalami keruntuhan yang melebihi nilai 1,5.

Tabel 6. Nilai DCR Kuat Aksial Pada Kolom Tinjauan Kasus 1

Lantai	Kolom	Kode Kolom	Pu	ϕP_n	DCR	Ket
			(kN)	(kN)		
Lantai Dasar	C6	K1	4970,1729	6275,432	0,79	Aman
Lantai 1	C6	K1	3745,7198	6275,432	0,60	Aman
Lantai 2	C6	K1	2486,8487	6275,432	0,40	Aman
Lantai 3	C6	K1	1231,2069	6275,432	0,20	Aman
Lantai 1	C5	K1	124,3496	6275,432	1,57	Runtuh
Lantai 2	C5	K1	116,2577	6275,432	1,64	Runtuh
Lantai 3	C5	K1	102,6292	6275,432	1,75	Runtuh
Lantai Dasar	C4	K1	4791,3981	6275,432	0,76	Aman
Lantai 1	C4	K1	3567,2446	6275,432	0,57	Aman
Lantai 2	C4	K1	2367,5523	6275,432	0,38	Aman
Lantai 3	C4	K1	1171,834	6275,432	0,19	Aman
Lantai Dasar	C18	K3A	6169,4825	5184,463	1,19	Aman
Lantai 1	C18	K3A	4648,7953	5184,463	0,90	Aman
Lantai 2	C18	K3A	3088,415	5184,463	0,60	Aman
Lantai 3	C18	K3A	1542,3499	5184,463	0,30	Aman

Untuk elemen balok diambil nilai DCR dari nilai momen dan kuat geser seperti yang diperlihatkan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Nilai DCR Momen Pada Balok Tinjauan Kasus 1

Lantai	Kolom	Kode Kolom	Mu	ϕM_n	DCR	Ket
			(kN)	(kN)		
Lantai Dasar	B31	B1A	1270,9572	764,76	1,66	Runtuh
Lantai 1	B31	B1A	1243,046	764,76	1,63	Runtuh
Lantai 2	B31	B1A	1239,227	764,76	1,62	Runtuh
Lantai 3	B31	B1A	1116,8554	764,76	1,56	Runtuh
Lantai Dasar	B32	B1A	1274,4829	764,76	1,67	Runtuh
Lantai 1	B32	B1A	1242,5778	764,76	1,62	Runtuh
Lantai 2	B32	B1A	1233,1348	764,76	1,61	Runtuh
Lantai 3	B32	B1A	1105,9229	764,76	1,55	Runtuh
Lantai Dasar	B72	B1A	1367,9646	764,76	1,79	Runtuh
Lantai 1	B72	B1A	1355,2955	764,76	1,77	Runtuh
Lantai 2	B72	B1A	1345,8618	764,76	1,76	Runtuh
Lantai 3	B72	B1A	1228,5532	764,76	1,61	Runtuh

Tabel 8. Nilai DCR Kuat Geser Pada Balok Tinjauan Kasus 1

Lantai	Kolom	Kode Kolom	Vu	ϕV_n	DCR	Ket
			(kN)	(kN)		
Lantai Dasar	B31	B1A	256,369	606,352	0,11	Aman
Lantai 1	B31	B1A	207,9816	606,352	0,72	Aman
Lantai 2	B31	B1A	195,1435	606,352	0,61	Aman
Lantai 3	B31	B1A	273,3199	606,352	0,25	Aman
Lantai Dasar	B32	B1A	198,9194	606,352	0,64	Aman
Lantai 1	B32	B1A	391,7652	606,352	0,23	Aman
Lantai 2	B32	B1A	360,3435	606,352	0,97	Aman
Lantai 3	B32	B1A	356,0499	606,352	0,94	Aman
Lantai Dasar	B72	B1A	256,369	606,352	0,11	Aman
Lantai 1	B72	B1A	207,9816	606,352	0,72	Aman
Lantai 2	B72	B1A	195,1435	606,352	0,61	Aman
Lantai 3	B72	B1A	273,3199	606,352	0,25	Aman

Untuk tinjauan kasus 1 pada nilai momen terjadi keruntuhan pada balok B31, B32 dan B72 yang mana balok-

balok tersebut memiliki tumpuan pada kolom C5 yang di hapuskan.

Dalam nilai DCR kuat geser pada balok tidak terjadi keruntuhan di semua balok yang di tinjau yaitu balok B31, B32 dan B72.

Dari analisis dalam tinjauan kasus 1 pada elemen kolom dan balok terjadi keruntuhan pada beberapa elemen yang memiliki nilai DCR melebihi 1,5 dalam kuat aksial tetapi tidak dalam kuat geser sehingga dalam kasus 1 sesuai dengan pedoman GSA maka terjadi keruntuhan progresif karena pada nilai kuat aksial dan momen terjadi keruntuhan.

4.4.2 DCR Kasus 2

Berbeda dengan kasus 1 dalam kasus 2 ini dimana terjadi penghapusan kolom pada bagian interior, berikut diperlihatkan nilai DCR untuk kolom pada tabel-tabel yang diperlihatkan berikut.

Tabel 9. Nilai DCR Kuat Aksial Pada Kolom Tinjauan Kasus 2

Lantai	Kolom	Kode Kolom	Pu	ϕP_n	DCR	Ket
			(kN)	(kN)		
Lantai Dasar	C86	K3A	6106,0437	5184,463	1,18	Aman
Lantai 1	C86	K3A	4630,518	5184,463	0,89	Aman
Lantai 2	C86	K3A	3080,7758	5184,463	0,59	Aman
Lantai 3	C86	K3A	1534,7156	5184,463	0,30	Aman
Lantai 1	C85	K3A	172,0333	5184,463	0,03	Runtuh
Lantai 2	C85	K3A	107,9979	5184,463	0,02	Runtuh
Lantai 3	C85	K3A	48,289	5184,463	0,01	Runtuh
Lantai Dasar	C84	K3A	5576,3002	5184,463	1,08	Aman
Lantai 1	C84	K3A	4044,2087	5184,463	0,78	Aman
Lantai 2	C84	K3A	2477,7294	5184,463	0,48	Aman
Lantai 3	C84	K3A	1553,9533	5184,463	0,30	Aman
Lantai Dasar	C68	K3A	6145,9794	5184,463	1,19	Aman
Lantai 1	C68	K3A	4609,4321	5184,463	0,89	Aman
Lantai 2	C68	K3A	2983,6212	5184,463	0,58	Aman
Lantai 3	C68	K3A	1613,222	5184,463	0,31	Aman
Lantai Dasar	C101	K3A	6464,4751	5184,463	1,25	Aman
Lantai 1	C101	K3A	4854,5628	5184,463	0,94	Aman
Lantai 2	C101	K3A	3231,0936	5184,463	0,62	Aman
Lantai 3	C101	K3A	1610,12	5184,463	0,31	Aman

Dari Tabel 9 dapat dilihat untuk elemen kolom terjadi keruntuhan hanya pada kolom yang dihilangkan yaitu kolom C5, karena terjadi penghapusan pada kolom C5 lantai dasar sehingga menyebabkan nilai DCR pada kolom tersebut tidak mengalami peningkatan

dan untuk kolom lainnya terjadi peningkatan tetapi tidak mengalami keruntuhan yang melebihi nilai 1,5.

Tabel 10. Nilai DCR Momen Pada Balok Tinjauan Kasus 2

Lantai	Kolom	Kode Kolom	Mu	ϕ Mn	DCR	Ket
			(kN)	(kN)		
Lantai Dasar	B103	B1A	1528,4074	764,76	2,00	Runtuh
Lantai 1	B103	B1A	1517,0453	764,76	1,98	Runtuh
Lantai 2	B103	B1A	1414,4097	764,76	1,85	Runtuh
Lantai 3	B103	B1A	1377,4107	764,76	1,80	Runtuh
Lantai Dasar	B104	B1A	1605,5572	764,76	2,10	Runtuh
Lantai 1	B104	B1A	1566,5605	764,76	2,05	Runtuh
Lantai 2	B104	B1A	1556,8614	764,76	2,04	Runtuh
Lantai 3	B104	B1A	1411,6373	764,76	1,85	Runtuh
Lantai Dasar	B162	B1B	920,3381	678,404	1,36	Aman
Lantai 1	B162	B1B	896,8948	678,404	1,32	Aman
Lantai 2	B162	B1B	820,6925	678,404	1,21	Aman
Lantai 3	B162	B1B	775,0054	678,404	1,14	Aman
Lantai Dasar	B163	B1B	912,9291	678,404	1,35	Aman
Lantai 1	B163	B1B	895,4361	678,404	1,32	Aman
Lantai 2	B163	B1B	890,5433	678,404	1,31	Aman
Lantai 3	B163	B1B	808,3854	678,404	1,19	Aman

Seperti yang di perlihatkan pada Tabel 10 dalam kasus 2 juga terjadi keruntuhan pada balok-balok yang bertumpuan pada kolom yang dihapuskan, balok yang mengalami keruntuhan yaitu pada balok B103 dan B104.

Tabel 11. Nilai DCR Kuat Geser Pada Balok Tinjauan Kasus 2

Lantai	Kolom	Kode Kolom	Vu	ϕ Vc	DCR	Ket
			(kN)	(kN)		
Lantai Dasar	B103	B1A	256,369	606,352	2,00	Aman
Lantai 1	B103	B1A	207,9816	606,352	1,98	Aman
Lantai 2	B103	B1A	195,1435	606,352	1,85	Aman
Lantai 3	B103	B1A	273,3199	606,352	1,80	Aman
Lantai Dasar	B104	B1A	198,9194	606,352	2,10	Aman
Lantai 1	B104	B1A	391,7652	606,352	2,05	Aman
Lantai 2	B104	B1A	360,3435	606,352	2,04	Aman
Lantai 3	B104	B1A	356,0499	606,352	1,85	Aman
Lantai Dasar	B162	B1B	106,6681	353,705	1,36	Aman
Lantai 1	B162	B1B	100,0235	353,705	1,32	Aman
Lantai 2	B162	B1B	100,9004	353,705	1,21	Aman
Lantai 3	B162	B1B	102,7851	353,705	1,14	Aman
Lantai Dasar	B163	B1B	106,7751	353,705	1,35	Aman
Lantai 1	B163	B1B	109,5406	353,705	1,32	Aman
Lantai 2	B163	B1B	101,3333	353,705	1,31	Aman
Lantai 3	B163	B1B	100,8476	353,705	1,19	Aman

Dari analisis dalam tinjauan kasus 2 pada elemen kolom dan balok terjadi keruntuhan pada beberapa elemen yang memiliki nilai DCR melebihi 1,5 dalam kuat aksial dan momen tetapi tidak dalam kuat geser seperti yang di lihatkan pada Tabel 11, sehingga dalam

kasus 2 sesuai dengan pedoman GSA maka terjadi keruntuhan progresif karena pada nilai kuat aksial dan momen terjadi keruntuhan.

Setelah menganalisis keruntuhan dalam tinjauan kasus 1 dan kasus 2 didapat ada elemen kolom maupun balok yang mengalami keruntuhan progresif, dimana terjadinya keruntuhan yang di akibatkan penghapusan salah kolom pada lantai dasar sehingga mengakibatkan keruntuhan pada elemen yang di dekatnya dan juga lantai diatasnya, tetapi keruntuhan hanya terjadi pada beberapa elemen pada daerah yang ditinjau. Untuk melihat elemen yang runtuh dan tipe keruntuhan progresif dapat dilihat pada penjelasan sub bab berikutnya.

4.4 Analisis Tipe Keruntuhan Progresif

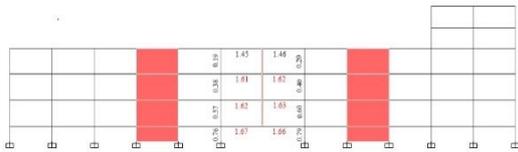
Dalam penelitian ini terdapat dua kasus tinjauan yang dianalisis yaitu kasus 1 penghapusan kolom bagian eksterior dan kasus 2 penghapusan kolom bagian interior, sehingga untuk melihat keruntuhan progresif yang terjadi pada struktur maka akan di jelaskan masing-masing dalam kasus yang telah ditinjau.

4.4.1 Tipe Keruntuhan Progresif Kasus 1

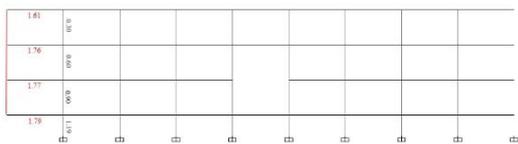
Dari tinjauan kasus 1 untuk tipe keruntuhan progresif yaitu tipe *pancake*, dimana tipe ini diawali oleh hilangnya daya dukung beban dari struktur kemudian diikuti terjadinya keruntuhan antar komponen sehingga terjadinya keruntuhan progresif terhadap elemen komponen struktur , dalam kasus ini dimana pada elemen kolom C5 pada lantai dasar dihapuskan maka memicu keruntuhan pada elemen kolom di atasnya dan elemen balok B31, B32 dan B72 dari lantai dasar hingga lantai 3.

Elemen balok mengalami keruntuhan dikarenakan adanya elemen pelat lantai yang mendistribusikan beban ke elemen balok dan kemudian menyalurkan ke elemen kolom, dikarenakan adanya keruntuhan elemen kolom sehingga elemen balok juga mengalami keruntuhan akibat dari kelebihan beban dan tidak adanya tumpuan untuk menyalurkan beban tersebut.

Tipe keruntuhan pada tinjauan kasus 1 seperti yang di perlihatkan pada Gambar 13 dan Gambar 14 yang menunjukkan nilai DCR pada elemen struktur tersebut.



Gambar 13. Nilai DCR Pada Rangka G1-1



Gambar 14. Nilai DCR Pada Rangka G1-G

4.4.2 Tipe Keruntuhan Progresif Kasus 2

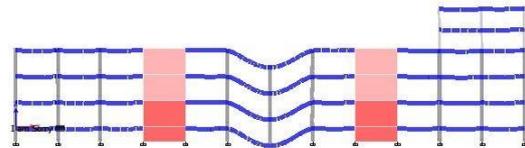
Analisis dari tinjauan kasus 2 sama dengan kasus 1 tipe keruntuhan nya yaitu tipe *pancake*, dalam kasus 2 dimana terjadi penghapusan kolom C85 pada lantai dasar memicu keruntuhan padalantai diatasnya dan pada elemen balok di sebelahnya yaitu balok B103 dan B104, tidak jauh berbeda dari kasus 1 elemen pelat lantai juga berpengaruh terhadap keruntuhan progresif pada kasus 2, untuk melihat tipe

keruntuhan nya dapat di lihat pada gambar berikut.



Gambar 15. Nilai DCR Pada Rangka G1-J

Dari hasil analisis dalam penelitian ini didapatkan keruntuhan progresif yang terjadi hanya pada daerah tinjauan kasus 1 dan kasus 2 dan tidak mengakibatkan keruntuhan secara menyeluruh pada struktur seperti di lihatkan pada Gambar 4.10 yang memperlihatkan *displacement* dari struktur.



Gambar 16. Displacement Struktur

IV. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil analisis penelitian ini yaitu :

1. Dari hasil analisis dalam penelitian ini yaitu dalam kasus 1 dan kasus 2 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan nilai rasio momen terhadap elemen kolom dan elemen balok akibat dari penghapusan salah satu elemen kolom, sehingga memicu meningkatnya nilai kapasitas rasio yang melebihi nilai kapasitas. Sesuai dengan pedoman yang dikatan *general service administration* (2003) untuk struktur gedung tidak beraturan apabila nilai DCR lebih atau sama dengan 1,5 pada nilai perbandingan nilai

kapasitas penampang dan nilai kapasitas ultimit, maka elemen struktur mengalami keruntuhan. Keruntuhan yang terjadi pada struktur dalam penelitian ini hanya terjadi pada daerah yang ditinjau dan tidak mengalami keruntuhan secara menyeluruh.

2. Tipe dari keruntuhan struktur dalam penelitian ini adalah tipe *pancake*, dimana hilangnya salah satu daya dukung elemen struktur yang mengakibatkan runtuhnya elemen disebelahnya.

5.2 Saran

Penelitian ini hanya melakukan analisis yang berpedoman dalam 2 kasus tinjauan penghapusan kolom pada lantai dasar, pembebanan yang diambil beban minimum, dan analisis yang dilakukan yaitu analisis statik non linier. Maka dari itu untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan analisis dengan pedoman-pedoman lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- BSN. (2012). SNI 1726-2012 : Tata Cara Perencanaan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Indonesia
- BSN. (2013). SNI 1727-2013 : Beban Minimum Untuk Perencanaan Gedung dan Struktur lain. Indonesia
- BSN. (2013). SNI 2847-2013 : Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Indonesia
- GSA. (2003). *Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines*. USA.
- Puskim. (2017). Spektra Gempa Wilayah.