

KAJIAN TINGKAT KINERJA SISTEM STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG PADA PERISTIWA SUDDEN COLUMN LOSS SEBAGAI MITIGASI BAHAYA KERUNTUHAN PROGRESIF

(Studi Kasus: Gedung Pusdiklat UIN Raden Intan Lampung)

Titis Lukita Sari^{1*}, Susilowati², Dhestha Fitria³, M Aunurahman Maulana⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bandar Lampung
Jl Z.A. Pagar Alam No. 26, Bandar Lampung, Lampung, Kode Pos 35142

*Email: titis@ubl.ac.id

Diajukan: 15/12/2024 Direvisi: 19/06/2025 Diterima: 15/07/2025

Abstrak

Konsep desain berbasis resiko menjadi kajian yang sedang banyak dikembangkan di berbagai negara. Konsep ini dilakukan dengan menerapkan beberapa asumsi resiko yang mungkin terjadi pada struktur dengan meninjau faktor-faktor yang dapat memicu terjadi kegagalan struktur sebagai langkah mitigasi bencana gagalanya bangunan akibat peristiwa kebakaran, ledakan gas, maupun kesalahan desain. Tujuan Penelitian ini adalah mengukur tingkat kinerja pada sebuah model gedung beton bertulang 5 lantai dengan bentuk geometri "L" yang diasumsikan mengalami kerusakan kolom yang disebabkan oleh peristiwa sudden column loss. Pemilihan kolom dalam skenario didasarkan pada perbedaan distribusi beban yang diterima kolom dan kekakuan bangunan. Berdasarkan hasil penilaian kinerja dan penilaian integritas setiap pemodelan diperoleh hasil yang berbeda, pada kondisi existing kinerja sistem struktur bernilai 99,77%; skenario 1 97,49%; skenario 2 97,04%; skenario 3 97,15%; skenario 4 95,51%; skenario 5 96,31%, dan skenario 6 98,21%. Nilai performa yang didapatkan menunjukkan kapasitas elemen struktur total penyusun bangunan, semakin kecil nilai persentase yang diperoleh maka dapat diartikan semakin banyak elemen struktur yang terdampak (rusak) akibat pengaruh column loss

Kata kunci: Kegagalan, Ketahanan, Kinerja, Kolom, Robustness

Abstract

The risk-based design concept is a topic that is currently being extensively developed in various countries. This concept is implemented by applying several risk assumptions that may occur in a structure by reviewing factors that could trigger structural failure as a disaster mitigation step for building failure due to incidents such as fire, gas explosion, or design errors. The objective of this study is to measure the performance level of a five-story reinforced concrete building model with an "L" geometric shape which is assumed to have suffered column damage caused by sudden column loss. The selection of columns in the scenario is based on differences in the load distribution received by the columns and the stiffness of the building. The performance assessment results and the integrity evaluation of each model, different results were obtained. In the existing condition, the structural system's performance value was 99.77%; scenario 1 was 97.49%; scenario 2 was 97.04%; scenario 3 was 97.15%; scenario 4 was 95.51%; scenario 5 was 96.31%; and scenario 6 was 98.21%. The performance value shows the total capacity of the structural elements that compose the building. The smaller percentage value obtained, the more structural elements are affected (damaged) due to column loss.

Keywords: Failure, Resilience, Performance, Column, Robustness

1. PENDAHULUAN

Peristiwa tragis runtuhnya Ronan Point (London, UK -1968), world Trade Center (New

York, USA -2001) dan I-35W jembatan sungai Mississippi (Minneapolis, USA – 2007), menjadi alasan berkembangnya konsep ketahanan

struktur bangunan yang membawa perubahan besar dalam desain untuk memenuhi permintaan akan bangunan yang aman terhadap keruntuhan yang sifatnya tidak proporsional dengan pemicunya. (Sari, 2020) Konsep ketahanan (*resilience*) sering digunakan dalam penelitian diberbagai disiplin ilmu, biasanya digunakan untuk menunjukkan kekuatan dan fleksibilitas (Bruneau M, 2013). Dalam dunia konstruksi, istilah *robustness* didefinisikan sebagai kemampuan sistem untuk mempertahankan fungsi saat terjadi perubahan internal struktur maupun perubahan eksternal (Callaway, 2000). Dengan kata lain struktur yang kokoh (*robust*) merupakan sistem yang kurang peka terhadap perubahan (kerusakan) yang sifatnya lokal dan tidak proporsional (CEN, 1994).

Banyak hal yang dapat mempengaruhi kejadian kegagalan pada struktur bangunan yang sifatnya insidental yang dapat mengakibatkan kerusakan dilevel elemen maupun sistem struktur yang dampaknya dapat menurunkan kinerja bangunan secara struktural dilihat dari respon struktur terhadap beban maupun dampak yang lebih fatal yaitu keruntuhan. Faktor yang mempengaruhi umumnya berasal dari kerusakan dan gangguan pada elemen struktur. Secara teknis dan menjadi alasan yang kuat perlunya peninjauan terhadap kinerja bangunan adalah untuk memastikan tingkat keamanan bangunan, terlebih ketika terdapat kerusakan pada struktur (Sari, 2016).

Peristiwa *sudden column loss* merupakan suatu kejadian hilangnya kemampuan kolom dalam menahan beban secara tiba-tiba, biasanya hal ini terjadi secara insidental seperti pada peristiwa ledakan gas, kebakaran, benturan keras akibat kecelakaan lalu lintas dan sebagainya. Kejadian-kejadian tersebut dapat memicu keruntuhan progresif (*progressive collapse*) bangunan (Avcil, dkk., 2024). Keruntuhan progresif (*progressive collapse*) merupakan suatu keruntuhan yang disebabkan oleh kegagalan dari satu atau lebih elemen struktur yang menyebabkan keruntuhan beruntun dari elemen sebelumnya sehingga mengakibatkan keruntuhan struktur secara keseluruhan atau sebagian besar dari struktur tersebut secara tidak proporsional. (Rakshith K G, 2013)

Hilangnya satu atau lebih elemen kolom pada sistem struktur menyebabkan tidak sesuai suatu struktur terhadap spesifikasi desain. Hal ini akan menyebabkan menurunnya kinerja bangunan dan menambah distribusi beban bagi elemen-elemen struktur yang ada di sekitarnya. Sehingga upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan pada bangunan adalah dengan mempelajari dan memahami karakteristik resiko yang muncul akibat peristiwa tersebut sehingga dapat menjadi rekomendasi bagi konsep desain bangunan mendatang guna mewujudkan bangunan yang aman terhadap peristiwa *sudden column loss*.

Pada dasarnya kajian ini dapat dilakukan untuk semua jenis bangunan gedung. Namun dalam kajian ini, sistem struktur bangunan gedung yang ditinjau sebagai studi kasus yaitu Gedung Pusdiklat UIN Raden Intan Bandar Lampung, gedung ini cenderung memiliki tingkat kompleksibilitas tertentu dengan bentuk geometri "L" dimana pada arah lateral x dan y memiliki tingkat kekakuan berbeda. Model tersebut akan diberi efek gangguan pada sistem yang disebabkan oleh *sudden column loss* melalui model kerusakan yang diskenarioikan dan dievaluasi berdasarkan penilaian terhadap performa elemen-elemen struktur penyusun (balok-kolom).

2. METODOLOGI

Dalam penelitian ini pelaksanaan, pemodelan dan analisis struktur dilakukan menggunakan metode pendekatan secara analitik menggunakan *software Tekla Structural Designer* yang dapat terintegrasi dengan *software Tekla* yang berbasis BIM (*Building Information Modelling*). BIM adalah teknologi pemodelan dan serangkaian proses untuk menghasilkan, mengkomunikasikan dan menganalisis model bangunan (Minawati R., 2017).

Pada penelitian ini model kerusakan di skenarioikan terjadi pada elemen struktur kolom. Kolom adalah batang kompresi vertikal dari rangka struktural yang menerima beban dari balok (Arifi Soenaryo, 2009). Karena kolom adalah komponen yang menerima tekanan maka untuk keruntuhan disatu kolom disebut lokasi kritis atau *collapse* di lantai tersebut sedangkan untuk keruntuhan batas total atau

ultimit *collapse* keruntuhan terjadi seluruh lantai (Astuti, 2022).

Berdasarkan indikator keruntuhan pada elemen kolom setiap elemen struktur akan diberi bobot sesuai dengan kapasitas elemen struktur yang ditunjukkan dengan indikator warna pada Tekla dengan ketentuan seperti Tabel 1 berikut.

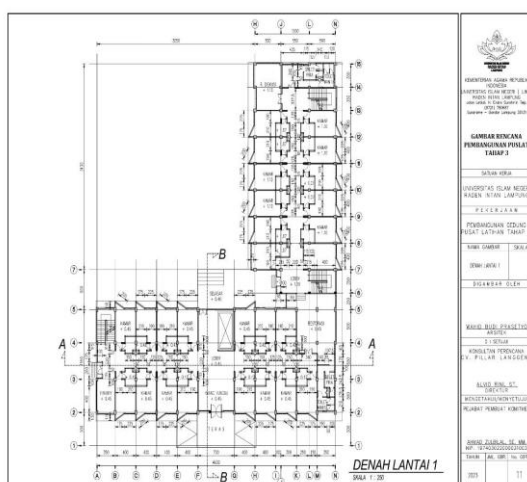
Tabel 1. Indikator warna dan pembobotan hasil analisis struktur pada Tekla

Indikator	Indikator Warna	Koefisien Bobot
Pass		1,0
Warning		0,8
Fail		0

Performa/kinerja Struktur merupakan akumulasi dari jumlah elemen struktur dikalikan dengan koefisien bobot kinerja dan dibandingkan dengan jumlah total elemen struktur.

2.1 Data Struktur

Bangunan yang ditinjau terdiri dari 5 lantai dan memiliki bentuk denah “L” dengan ukuran 15,5 m x 46 m di salah satu sisi dan 15,5 m x 37 m sisi yang lain. Tinggi bangunan per lantai bervariasi yaitu 5,25 m pada lantai 1 dan 4,2 m pada level yang lain. Denah Bangunan bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Denah Bangunan

2.2 Pemodelan Skenario Analisis

Pemodelan struktur dan kejadian sudden column loss diskenariokan terjadi pada beberapa titik pada kolom lantai 1, hal ini dilakukan karena kolom adalah komponen yang menerima tekanan maka untuk keruntuhan disatu kolom disebut lokasi kritis atau *collapse* di lantai tersebut sedangkan untuk keruntuhan batas total atau ultimit *collapse* keruntuhan terjadi seluruh lantai. (Astuti, 2022)

Kolom lantai 1 dari bangunan merupakan elemen struktur yang menerima beban paling besar sekaligus memiliki kemungkinan paling buruk terhadap terjadinya kerusakan ditingkat sistem. Pemilihan kolom didasarkan pada perbedaan distribusi beban yang diterima kolom, yaitu pada kolom eksterior (kolom 1, 3, 6) dan interior (Kolom 2, 4, 5) dimana kolom eksterior hanya menerima separuh dari beban layan pada pelat lantai, dan posisinya dipilih pada 3 lokasi yang memiliki tingkat kekakuan berbeda pada arah lateral.

Gambar 2. menunjukkan lokasi kolom yang diskenariokan mengalami *damage* berupa *sudden column loss*. Terlihat pada gambar terdapat 6 (enam) titik kolom yang akan dilakukan analisa terhadap pengaruh hilangnya masing-masing kolom tersebut pada sistem struktur, dengan rincian sebagai berikut:

Skenario 1: diasumsikan damage terjadi pada kolom K1 yang berada pada di titik H14

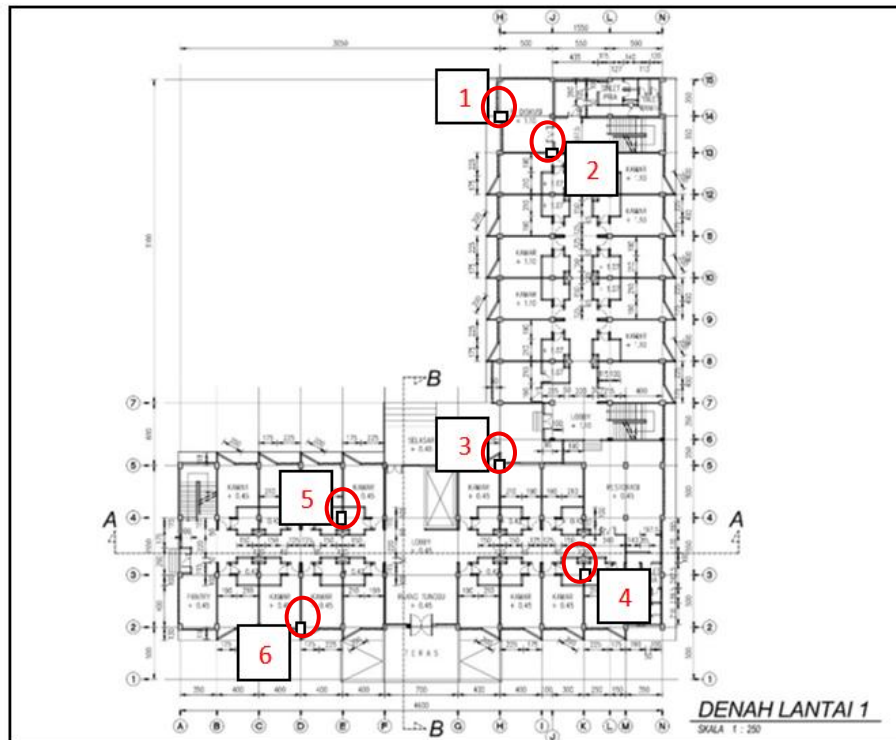
Skenario 2: diasumsikan damage terjadi pada kolom K2 yang berada pada di titik J13

Skenario 3: diasumsikan damage terjadi pada kolom K1 yang berada pada di titik H5

Skenario 4: diasumsikan damage terjadi pada kolom K2 yang berada pada di titik K3

Skenario 5: diasumsikan damage terjadi pada kolom K2 yang berada pada di titik E4

Skenario 6: diasumsikan damage terjadi pada kolom K1 yang berada pada di titik D

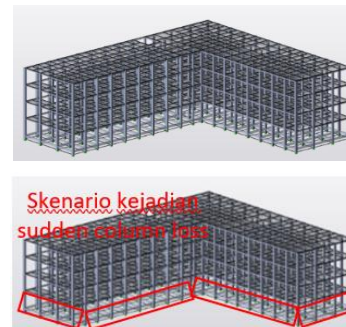
Gambar 2. Skenario Kejadian *Sudden Column Loss*

2.3 Pemodelan Struktur dan Analisis

Untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan kejadian *sudden column loss* dilakukan analisa struktur dengan bantuan perangkat lunak yaitu Tekla Structural designer (Singh and Dabhekar, 2025). Pemodelan struktur dilakukan berdasarkan data lapangan yang diperoleh dengan acuan DED dan data geometri dan material (Singh, dkk., 2025).

Pemodelan struktur dilakukan untuk setiap analisis yang disesuaikan dengan skenario yang telah ditetapkan. Pada kondisi awal, pemodelan dilakukan sesuai kondisi existing di lapangan dan dengan menerapkan pembebanan yang telah dihitung sebelumnya maka akan diperoleh respon dari sistem struktur tersebut. Dengan metode yang sama untuk setiap skenario maka dapat dilihat pengaruh yang terjadi pada masing-masing kondisi, bisa dilihat pada Gambar 3.

Desain



Respon
Struktur

Gambar 3. Skema Analisis

2.4 Pembebanan

2.4.1 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. (SNI-2847, 2019)

Beban hidup yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Beban Hidup pada Lantai Gedung
Beban hidup yang digunakan mengacu pada standar pedoman pembebanan yang **250 kg/m^2** ada yaitu sebesar 250 kg/m^2 .
2. Beban Hidup pada Atap Gedung
Beban hidup yang digunakan mengacu pada standar pedoman pembebanan yang **100 kg/m^2** ada yaitu sebesar 100 kg/m^2 untuk beban tiap joint kuda-kuda dan 100 kg/m^2 untuk beban plat atap.

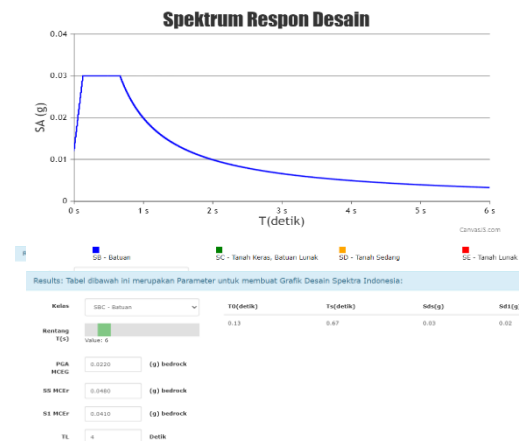
2.4.2 Beban Mati

Beban Mati merupakan beban yang diakibatkan oleh berat bangunan itu sendiri, komponen struktur dan arsitekturalnya, serta seluruh peralatan lain yang terpasang pada bangunan tersebut (SNI-2847, 2019).

1. Beban mati struktural untuk bangunan beton yaitu 2400 kg/m^2 **2400 kg/m^3** .
2. Beban mati arsitektural atau *Superimpose Dead Load*.
 - a. Beban material penutup lantai
Material penutup lantai yang digunakan adalah adukan spesi tebal 3 cm asumsi berat elemen **21 kg/m^3** **21 kg/m^3** , keramik tebal 2 cm asumsi berat elemen **24 kg/m^3** **24 kg/m^3** , jadi pada lantai 2-3 dengan berat. Untuk atap menggunakan lapisan anti bocor (waterproofing) tebal 3 cm asumsi berat elemen **$1,6 \text{ kg/m}^3$** **$1,6 \text{ kg/m}^3$** .
 - b. Pasangan Hebell, Jendela dan Pintu
Material pasangan hebell UK. 7,5x20x60 yang digunakan diasumsikan memiliki berat 75 kg/m^2 , jendela serta pintu diasumsikan beratnya sama dengan pasangan hebel.
 - c. Beban plafond
Plafond yang digunakan terbuat dari material Plafon PVC 0,5 + Rangka hollow 20x40 setebal 3 mm, berat elemen tersebut diperhitungkan sebesar **11 kg/m^2** **11 kg/m^3** .
 - d. Beban MEP sebesar 50 kg/m^2 .

2.4.3 Beban Gempa

Kerentanan struktur terhadap beban gempa dipengaruhi oleh jenis tanah (Abdul Kadir, 2024; Karalar, dkk., 2024). karenanya, Beban gempa diperhitungkan sesuai wilayah yang ditinjau (Yasinta dkk., 2024). Pada analisis ini lokasi yang ditinjau yaitu Bandar Lampung yang berada pada wilayah 5 dalam peta. Gambar 4. menunjukkan data spektra gempa yang diperoleh:



Gambar 4. Grafik Respon Spektrum Wilayah Kajian

(Sumber: <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>)

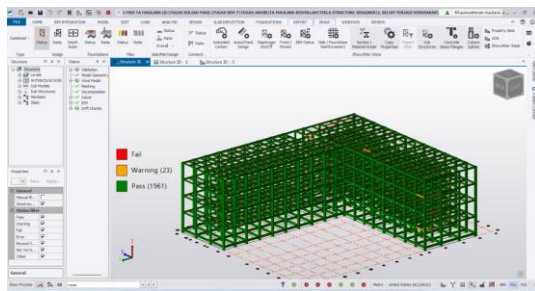
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dengan bantuan Tekla struktural designer diperoleh hasil yang ditunjukkan oleh indikator-indikator warna. Warna merah atau “fail” merupakan indikator yang menyatakan jumlah elemen struktur yang gagal atau rusak, indikator warna kuning merupakan “warning” dimana elemen struktur sudah mulai mendekati kapasitas ultimit tetapi belum terdapat kerusakan dan indikator warna hijau atau “pass” merupakan kondisi dimana elemen struktur masih dalam batas aman.

3.1 Kondisi Existing

Pada kondisi existing yaitu pada kondisi sesuai desain perencanaan, terlihat pada Gambar 5 bahwa tidak ada atau “nol” elemen struktur yang mengalami fail, 23 elemen yang mengalami warning dan sebanyak 1961 elemen struktur berada pada kondisi pass. Atau dapat diartikan pada skala sistem, Gedung berada pada kondisi yang aman dan tidak ada

elemen yang rusak akibat pembebanan layan sesuai yang direncanakan.



Gambar 5. Hasil Analisis Model Kondisi *Existing*

Besarnya bobot untuk masing-masing kategori:

Kategori I

Jumlah elemen Pass: 1961

Total elemen: 1984

$$\text{Bobot}(\%) = \frac{\text{Jumlah} \times \text{koefisien}}{\text{Total}} \quad (1)$$

$$\text{Bobot}(\%) = \frac{1961 \times 1,0}{1984} = 98,84\%$$

Kategori II

Jumlah elemen Warning: 23

$$\text{Bobot}(\%) = \frac{23 \times 0,8}{1984} = 0,93\%$$

Kategori III

Jumlah elemen Fail: 0

$$\text{Bobot}(\%) = 0$$

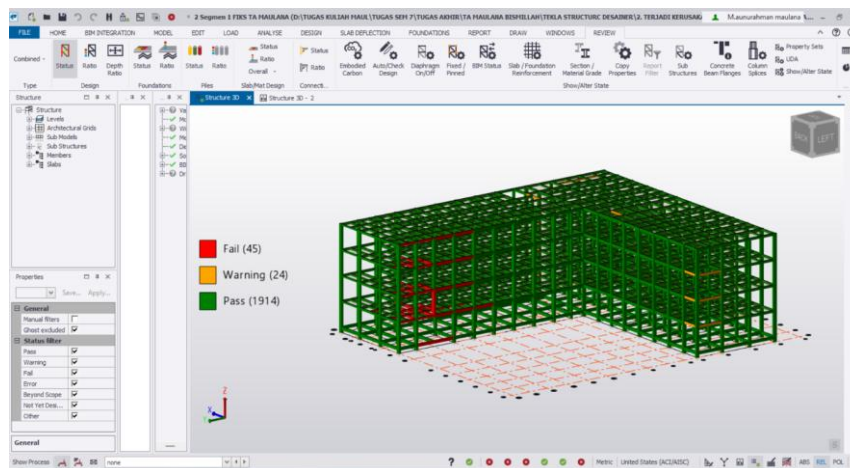
Dari hasil analisis bobot terhadap koefisien sesuai kondisi elemen struktur, maka pada pengujian pemodelan kondisi existing sebanyak 1961 elemen struktur memiliki bobot 98,84%, 23 elemen struktur pada kondisi warning memiliki bobot 0,93% dan tidak ada elemen struktur yang rusak atau fail dengan total 1984 elemen penyusun sistem struktur, maka pada tingkat sistem performa Gedung pada kondisi eksisting adalah 99,77% seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Performa Struktur pada Kondisi Existing

Kategori kerusakan	Warna	Kondisi Existing		
		Jumlah	Koefisien	Bobot %
I	Pass	1961	1,0	98,84
II	Warnin g	23	0,8	0,93
III	Fail	0	0	0
Total		1984		99,77

3.2 Skenario 1

Pada skenario 1 yaitu adanya *column loss* di kolom K1 yang berlokasi di H14 mengakibatkan beberapa elemen struktur mengalami “fail” terlihat pada Gambar 6 terdapat 45 elemen *fail*, 24 elemen berada pada kondisi *warning* dan 1914 elemen yang masih dalam kondisi aman.



Gambar 6. Hasil Analisis Model Berdasarkan Skenario 1

Dengan total 1983 elemen ditambah dengan 1 *column loss* yang juga masuk dalam kategori “fail”, bisa dilihat pada Tabel 3, perhitungan performa bangunan pada skenario

1 diperoleh nilai sebesar 97,44%. Dari peristiwa *column loss* tersebut, elemen-elemen yang terdampak dapat menjadi prediksi pola keruntuhan yang khususnya dengan kondisi yang sesuai.

Tabel 3. Nilai Performa Struktur Skenario 1

Kategori kerusakan	Warna	Skenario 1		
		Jumlah	Koefisien	Bobot %
I	Pass	1914	1,0	96,47
II	Warning	24	0,8	0,97
III	Fail	45	0	0
Total				97,44

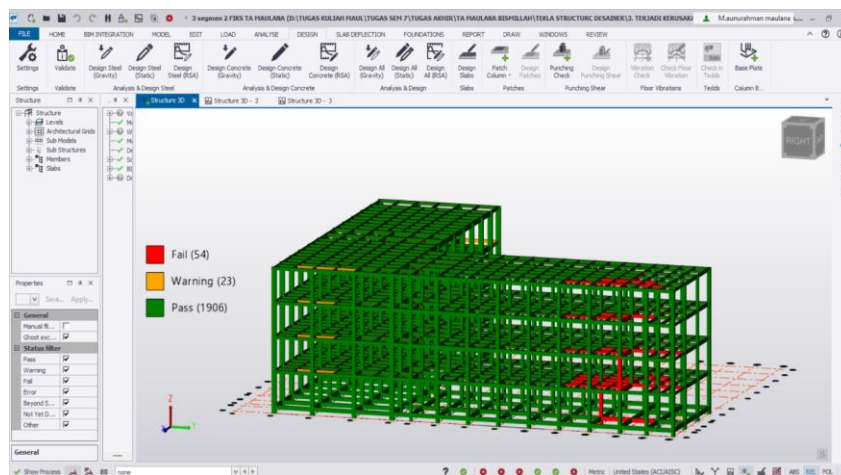
3.3 Skenario 2

Pada skenario 2 yaitu adanya *column loss* di kolom K2 yang berlokasi di J13 mengakibatkan beberapa elemen struktur mengalami “fail” terlihat pada Gambar 7

terdapat 54 elemen *fail*, 23 elemen berada pada kondisi *warning* dan 1906 elemen yang masih dalam kondisi aman. Nilai performa bangunan dengan skenario 2 ini adalah 97,0%, seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Performa Struktur Skenario 2

Kategori kerusakan	Warna	Skenario 2		
		Jumlah	Koefisien	Bobot %
I	Pass	1906	1,0	96,07
II	Warning	23	0,8	0,93
III	Fail	54	0	0
Total				97,00



Gambar 7. Hasil Analisis Model Berdasarkan Skenario 2

3.4 Skenario 3

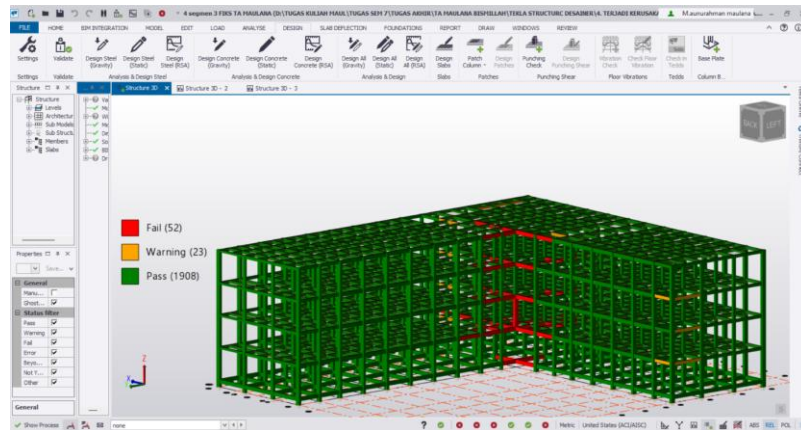
Pada skenario 3 yaitu adanya *column loss* di kolom K1 yang berlokasi di H5 mengakibatkan beberapa elemen struktur mengalami “fail” terlihat pada Gambar 8 terdapat 52 elemen mengalami kerusakan (*fail*), 23 elemen berada pada kondisi *warning* dan 1908 elemen yang masih dalam kondisi aman.

Seperti diuraikan pada Tabel 5, performa sistem struktur dengan adanya kerusakan di satu kolom K1 di lokasi H5

memiliki nilai performa 97,10% dari total 1984 elemen.

Tabel 5. Nilai Performa Struktur Skenario 3

Kategori kerusakan	Warna	Skenario 3		
		Jumlah	Koefisien	Bobot %
I	Pass	1908	1,0	96,17
II	Warning	23	0,8	0,93
III	Fail	52	0	0
Total				97,10

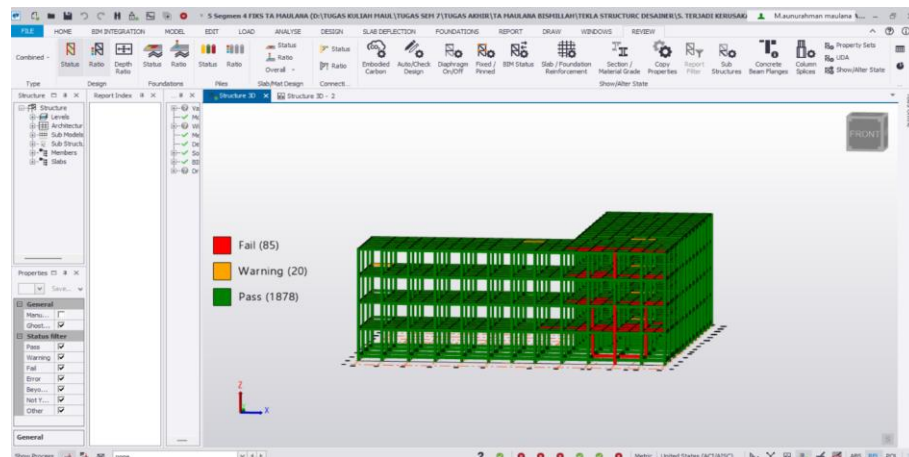


Gambar 8. Hasil Analisis Model Berdasarkan Skenario 3

3.5 Skenario 4

Pada skenario 4 yaitu adanya *column loss* di kolom K2 yang berlokasi di K3

mengakibatkan beberapa elemen struktur mengalami “fail” terlihat pada Gambar 9 terdapat 85 elemen *fail*, 20 elemen berada pada kondisi *warning* dan 1878 elemen yang masih dalam kondisi aman.



Gambar 9. Hasil Analisis Model Berdasarkan Skenario 4

Tabel 6. Nilai Performa Struktur Skenario 4

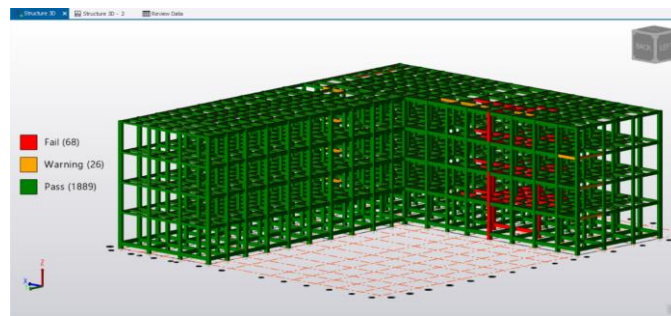
Kategori kerusakan	Warna	Skenario 4		
		Jumlah	Koefisien	Bobot %
I	Pass	1878	1,0	94,66
II	Warning	20	0,8	0,81
III	Fail	85	0	0
Total				95,46

Seperti yang telah diuraikan pada Tabel 6, tingkat performa bangunan dengan adanya peristiwa *column loss* pada kolom interior skenario 4 yaitu 95,56%. Tingkat kerusakan

terlihat lebih besar jika dibandingkan dengan skenario 3 yang mengalami *column loss* pada kolom eksterior.

3.6 Skenario 5

Pada skenario 5 yaitu adanya *column loss* di kolom K2 yang berlokasi di E4 mengakibatkan beberapa elemen struktur mengalami “fail” terlihat pada Gambar 10 terdapat 68 elemen *fail*, 26 elemen berada pada kondisi *warning* dan 1889 elemen yang masih dalam kondisi aman.



Gambar 10. Hasil Analisis Model Berdasarkan Skenario 5

Tabel 7. Nilai Performa Struktur Skenario 5

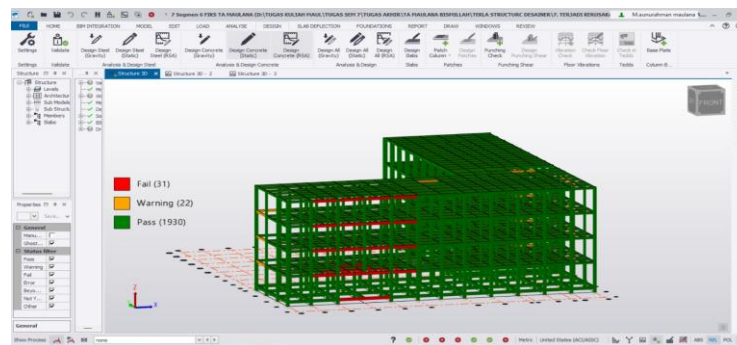
Kategori kerusakan	Warna	Skenario 5		
		Jumlah	Koefisien	Bobot %
I	Pass	1889	1,0	95,21
II	Warning	26	0,8	1,05
III	Fail	68	0	0
Total				96,26

Tingkat performa bangunan dengan adanya peristiwa *column loss* pada kolom

interior skenario 5 yaitu 96,26%, seperti terlihat pada Tabel 7.

3.7 Skenario 6

Pada skenario 6 yaitu adanya *column loss* di kolom K1 yang berlokasi di D2 mengakibatkan beberapa elemen struktur mengalami “fail” terlihat pada Gambar 11 terdapat 31 elemen *fail*, 22 elemen berada pada kondisi *warning* dan 1930 elemen yang masih dalam kondisi aman (Okur, 2025).



Gambar 11. Hasil Analisis Model Berdasarkan Skenario 6

Tabel 8. Nilai Performa Struktur Skenario 6

Kategori kerusakan	Warna	Skenario 6		
		Jumlah	Koefisien	Bobot %
I	Hijau	1930	1,0	97,28
II	Kuning	22	0,8	0,89
III	Merah	31	0	0
Total				98,17

Tingkat performa bangunan dengan adanya peristiwa *column loss* pada kolom interior skenario 6 yaitu 98,17%, seperti telah dijabarkan pada Tabel 8.

3.8 Kinerja Sistem Struktur

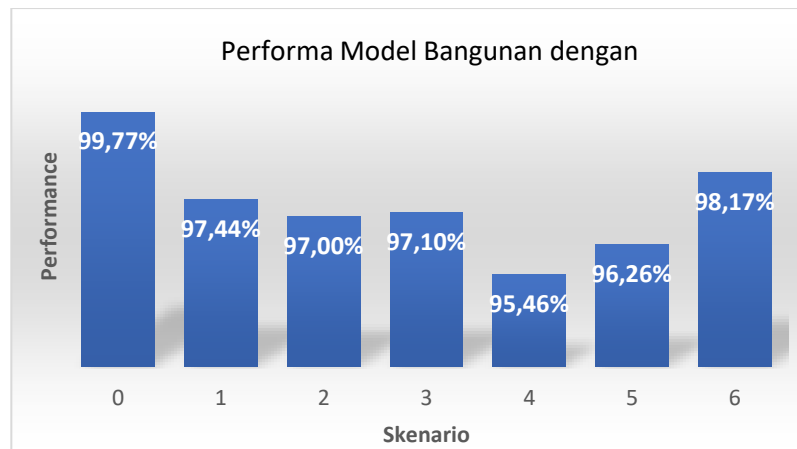
Nilai performa sistem struktur dari hasil perhitungan bobot pada tingkat elemen berdasarkan indikator yang ditetapkan, dapat

menggambarkan tingkat kerusakan di level sistem yang disebabkan oleh kerusakan di level elemen (Hajiyeva, dkk., 2025). Pola keruntuhan yang terjadi dapat menjadi gambaran ketika ada elemen struktur khususnya dalam pembahasan ini adalah kolom yang mengalami damage atau rusak dan dianggap kehilangan fungsi.

Berdasarkan perhitungan kinerja pada tiap skenario kerusakan, dijabarkan pada Gambar 12, kinerja sistem struktur pada kondisi existing memiliki persentase 99,77%, pada skenario 1 diperoleh persentase 97,44%, skenario 2 diperoleh 97,00%, skenario 3 memiliki kinerja 97,10%, skenario 4 dengan tingkat kinerja 95,46%, skenario 5 diperoleh 96,26%, dan kinerja sistem struktur untuk skenario 6 sebesar 98,17%. Nilai performa

yang berbeda dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu posisi kolom dimana *column loss* yang terjadi pada kolom interior memberi pengaruh rusak lebih besar dibanding jika terjadi pada

kolom eksterior disisi yang sama. Selain itu, kekakuan kolom yang berbeda di setiap sisi model bangunan juga menyebabkan perbedaan nilai kinerja dari sistem struktur.



Gambar 12. Performa Model dengan Variasi *Column Loss*

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, terlihat bahwa:

1. Pada masing-masing skenario terjadi keruntuhan progresif dengan pola keruntuhan terjadi pada elemen struktur yang berada disekitarnya baik dilantai yang sama maupun dilantai bagian atas. Hal ini, dapat dijadikan gambaran bahwa dengan adanya peristiwa kerusakan di satu elemen kolom akan menyebabkan keruntuhan yang sifatnya progresif dan tentunya akan menyebabkan menurunnya nilai performa bangunan.
2. Hasil analisis beberapa variasi model *column loss* terhadap performa struktur, diperoleh presentase angka performa yang bervariasi. Pada kondisi eksisting nilai performa bangunan 99,7%, pada pengujian skenario 1 diperoleh 97,44%, skenario 2 diperoleh 97,00%, skenario 3 bernilai 97,10%, skenario 4 95,46%, skenario 5 96,26%, dan kinerja sistem struktur untuk skenario 6 sebesar 98,17%. Nilai performa yang didapatkan menunjukkan kapasitas elemen struktur total penyusun bangunan, semakin kecil nilai persentase yang diperoleh maka dapat diartikan semakin banyak elemen struktur yang terdampak (rusak) akibat

pengaruh *column loss* atau dengan kata lain semakin kecil nilai performa dampak kerusakan yang ditimbulkan semakin besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim Peneliti mengucapkan terimakasih pada Kemendikti Sainstek atas bantuan dana penelitian pada skema PDP yang diberikan untuk pengembangan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Kadir, A. S. S. N. H. A. M. N. 2024. Evolution and Implications of Changes in Seismic Load Codes for Earthquake Resistant Structures Design. *Civil Engineering Journal*, 10(1), pp. 62-82.
- Arifi Soenarjo., M. H. H. S. 2009. Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan Concrete Jacketing dengan prosentae Beban Runtuh yang Bervariasi. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 3(2), pp. 91-100.
- Astuti, P. 2022. Pemodelan Penurunan Kapasitas Kolom Gedung Akibat Korosi Seragam (Uniform Corrosion) Pada Tulangan Baja. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(4), pp. 224-234.
- Avcil, F., Işık, E., İzol, R., Büyüksaraç, A., Arkan, E., Arslan, M. H. & Harirchian, E. 2024. Effects of the February 6, 2023, Kahramanmaraş earthquake on structures

- in Kahramanmaraş city. *Natural Hazards*, 120(3), 2953-2991.
- Bruneau M, C. S. E. R. e. a. 2013. A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra*, 19(4), pp. 733-752.
- Callaway, D. N. M. S. S. a. W. D. 2000. Network Robustness and Fragility: Percolation on Random Graphs. *Physicat Revie Letter*, 85(25), pp. 5468-5471.
- CEN. 1994. Eurocode 1: Basis of Design. In: European Prestandard ENV 1991-1. Brussels (Belgium): Comite European de Normalization.
- Computers and Structures, Inc. 2023. ETABS version 21 Building Analysis and Design Reference, Computer and Structures, Inc., Berkeley, United States.
- Hajiyeva, R., Medetov, K., Sapaev, I. B., & Sapaev, B. 2025. Artificial Intelligence (AI) In Civil Engineering and Tekla Structures. In *Applications of Mathematics in Science and Technology* (pp. 64-70). CRC Press.
- Karalar, M., Demirköse, M., & Mert, N. 2024. Effect Of Soil Types On Nonlinear Earthquake Behavior Of Buildings. *Challenge*, 10, 7-13.
- Karya, D. C. 2021. *Desain Spektra Indonesia*. [Online] Available at: <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>
- Minawati R., C. H. N. P. 2017. Manfaat Penggunaan Software TEKLA Building Information Modelling (BIM) pada Proyek Design-Building. *ResearchGate*, 4(2), pp. 8-15.
- Okur, F. Y. 2025. Fire-Induced Collapse Analysis of Warehouse Structures Using FDS and Thermomechanical Modeling. *Buildings*, 15(15), 2635.
- Rakshith K G, R. 2013. Progressive Collapse Analysis of Reinforced Concrete Rangkad Structure. Bangalore, India, *Internasional Journal of Research Engineering and Technology*, pp. 36-40.
- Sari, T. L. 2016. *Kajian Analitik Tingkat Robustness Sistem Rangka Pemikul Momen Terhadap Deviasi Parameter Desain*. Indonesia: Institut Teknologi Bandung.
- Sari, T. L. 2020. Analisis Tingkat Robustness Sistem Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), pp. 1200-1209.
- Singh, P., & Dabhekar, K. R. 2025. Analysis And Design of Warehouse of Pre-Engineered Building Using Tekla Structural Designer. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3255, No. 1, p. 040011, January 2025). AIP Publishing LLC.
- Singh, T., Mahmoodian, M., and Wang, S. 2024. Enhancing Open BIM Interoperability: Automated Generation of a Structural Model from an Architectural Model. *Buildings* (2075-5309), 14(8).
- SNI-2847. 2019. *Persyaratan beton struktural untuk bangunan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Tololiu, B.J., Jeferson, B., Manalip, T.H., Windah, R.S., Dapas, S.O. 2012. Perbandingan Respons Struktur Bangunan Gedung Bertingkat Dengan Dinding Pengisi dan Tanpa Dinding Pengisi Akibat Gempa, *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 1., No. 1., 8-15.
- Wahyudi, I., Sitanggang, J.J. 2016. Kualitas Kayu Meranti Merah (*Shorea leprosula Miq.*) Hasil Budi Daya, *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, Vol. 21, No. 2, 140-145.
- Yasinta, R. B., Purnomo, A., Saputra, R. J., & Wangi, I. P. 2024. Skill Requirement of Building Information Modelling (BIM) Professional. In *5th Vocational Education International Conference (VEIC-5 2023)* (pp. 1499-1507). Atlantis Press.