

## Evaluasi Ketahanan Gempa Dinamik Pada Struktur Bangunan Gedung tak terpakai Berumur 25 Tahun

Dimas Pustaka Dibiantara<sup>1,\*</sup>, Afif Navir Refani<sup>1</sup>, Triaswati<sup>1</sup>, Fitria Wahyuni<sup>1</sup>

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [dpdibiantara@its.ac.id](mailto:dpdibiantara@its.ac.id)

Info Artikel	Abstract (font: Times New Roman 9 pt, bold)
Diajukan	<i>Building purpose is depend to people's requirement. Vertical building is a projection of area limitation in the future. The availability of this kind of occupapancy was started circa 1990, on of them is Apartment Sejahtera. To accommodate nowadays requirement, it needs a modification, therefore it's required to evaluate and analyse the structural feasibility, including its material quality and structural response to earthquake load. The method consists of existing data collection (material quality, element condition) and structural analysis to define its endurance to earthquake load. The results show that the concrete is come under structural concrete and the structural is rigid enough, considering to its fundamental period, storey drift, and P Delta neglection.</i>
Diperbaiki	
Disetujui	

Keywords: evaluation, feasibility, existing, dynamic quake, rigidity.

### Abstrak

Fungsi bangunan selalu menyesuaikan kebutuhan masyarakat. Ada kalanya kita mulai membutuhkan hunian vertical karena proyeksi keterbatasan lahan di masa mendatang. Ketersediaan hunian vertical ini juga sudah menjamur sejak decade 90-an. Salah satu contohnya adalah Apartemen Sejahtera yang saat ini berumur lebih dari 25 tahun. Supaya bangunan ini bisa mengakomodasi kebutuhan saat ini, ia memerlukan penyesuaian fungsinya. Maka perlu dilakukan suatu evaluasi dan analisis kelayakan bangunan, baik itu dari kualitas material maupun dari respons gedung terhadap beban gempa yang berlaku saat ini. Sehingga, harapannya, kita mendapatkan informasi aktual tentang kualitas material struktur serta perilaku struktur gedung. Metode pelaksanaannya adalah dengan mengambil data eksisting, yaitu mutu material, kondisi terkini elemen; kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisis struktur dengan program bantu untuk menilai ketahanannya terhadap beban gempa. Hasilnya diketahui bahwa mutu beton masih termasuk dalam kategori mutu beton struktural dan dari analisis struktur diketahui masih masuk dalam batas-batas struktur yang tidak terlalu fleksibel (cukup kaku), jika mengacu pada SNI 1726:2012.

Kata kunci: evaluasi, kelayakan, eksisting, gempa dinamik, kekakuan.

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan infrastruktur selalu selaras dan beriringan dengan kebutuhan masyarakat pada tiap-tiap masa. Pada kurun waktu tertentu, kebutuhan masyarakat belum tebatas lahan. Seiring bertambahnya populasi, keterbatasan lahan menyebabkan kita untuk beradaptasi, salah satunya dengan menyediakan hunian vertical. Ada kalanya kita mulai membutuhkan hunian vertical karena proyeksi keterbatasan lahan di masa mendatang. Hal ini sudah dimulai semenjak decade 90-an. Perlahan-lahan, mulai bermunculan bangunan tinggi dengan berbagai fungsi, mulai dari pusat perbelanjaan hingga hunian.

Bangunan Apartemen Sejahtera, yang berfungsi sebagai hunian, sudah berumur lebih dari 25 tahun dengan kondisi tidak terawat. Supaya bangunan ini tetap dapat mengakomodasi kebutuhan saat ini, maka perlu dilakukan penyesuaian fungsi bangunan. Penyesuaian tersebut bisa berarti

adanya tambahan fasilitas tertentu pada bangunan, yang tentu saja akan mengubah konfigurasi pembebanannya. Sebelum hal tersebut dilakukan, kita harus mengevaluasi kelayakan gedung eksisting, khususnya terhadap kondisi dan ketetapan yang relevan dengan peraturan yang berlaku.

### 2. Studi Literatur

Pada saat bangunan ini direncanakan, peraturan yang berlaku saat itu adalah SNI T-15: 1991 dan SNI 03-2847: 1992 tentang Tata Cara Penghitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung; SNI 1727: 1989 tentang Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung. Ada perbedaan detailing requirement, seperti: flexural capacity development; contribution concrete in shear; strong column-weak beam; additional cross-sectional area of reinforcement ratio; and hook, termasuk perbedaan persyaratan detailing sebagai fungsi KDS [1]. Sehingga dapat disimpulkan, bahwa

perubahan peraturan tersebut mempengaruhi dimensi elemen struktur dan performa struktur. Mengacu ke prosedur evaluasi dan retrofit ASCE 41-17, ada 3 tahapan (tier), yaitu:

a. Screening Procedure.

Tahapan identifikasi kondisi struktur actual.

b. Deficiency-Based Evaluation and Retrofit Procedure.

Analisis berdasarkan identifikasi kondisi actual, pada tahapan sebelumnya.

c. Systematic Evaluation and Retrofit Procedure.

Analisis menyeluruh, termasuk sesudah retrofitting.

Tahap pertama terdiri dari pengumpulan data karakteristik material, baik itu yang tercatat, maupun pengambilan sampel untuk pengujian. Pengujian yang dilakukan dapat berupa pengujian destruktif maupun non-destruktif. Tambahkan pula, kita harus mendapatkan layout/konfigurasi struktur bangunan dan elemen-elemennya, termasuk fungsi tiap-tiap ruang dan lantai.

Mengacu pada karakteristik material berdasarkan ASCE 41-17, data material yang tercatat (pada dokumen as-built) merupakan spesifikasi minimum (lower-bound properties), dimana spesifikasi material yang diharapkan harus ditranslasi dengan factor pada **Tabel 1**. Sedangkan, mengambil data pengujian sampel material, spesifikasi material yang diharapkan (expected material properties) merupakan rata-rata nilai pengujian; dan spesifikasi material minimum merupakan nilai rata-rata tersebut dikurangi satu kali standar deviasi.

**Tabel 1.** Faktor Translasi Spesifikasi Material Minimum ke Spesifikasi Material yang Diharapkan

Karakteristik Material	Faktor
Kuat Tekan Beton	1,5
Kuat Tarik dan Leleh Baja Tulangan	1,25
Kuat Leleh Baja Konektor	1,5

Sumber: ASCE 41-17[2]

### Pengujian Beton Inti

Mengacu ke ASTM C42-90, sampel beton diambil dengan menggunakan bor berdiameter 94 mm. Panjang sampel berkisar 1,9 – 2,1 kali diameternya. Jika panjang sampel yang terambil di luar rentang tersebut, maka kekuatannya harus dikoreksi. Kuat tekan didapat melalui pengujian tekan langsung terhadap sampel, menggunakan Universal Testing Machine 200 Tonne-force, sampai hancur. Hasil yang didapat dibagi dengan luasan permukaan sampel. Dari metodenya, pengujian ini termasuk uji destruktif.

### Pengujian Cepat Rambat UPV

Mengacu pada ASTM C-597, data pengujian diambil dengan menggunakan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Instrument langsung pada lokasi-lokasi elemen struktur. Pengujian direct meletakkan elemen di antara media transducer (pada kedua sisi elemen), sedangkan pengujian indirect meletakkan transmitter dan receiver pada bidang yang sama dari elemen struktur (khususnya pada elemen struktur yang lebar, seperti pelat lantai). Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kerapatan/kepadatan beton, berdasarkan cepat rambat gelombang ultrasonic frekuensi 50 kHz. Gelombang akan semakin cepat bila melalui beton dengan kepadatan yang tinggi. Klasifikasinya dapat dilihat pada **Tabel 2**. Pengujian ini termasuk non-destruktif.

**Tabel 2.** Klasifikasi Kepadatan Beton

Cepat Rambat Gelombang V (m/s)	Klasifikasi
$V < 2130$	Kurang
$2130 < V < 3060$	Cukup
$3060 < 3670$	Cukup Baik
$3670 < 4570$	Baik
$V > 4570$	Baik Sekali

Sumber: ASTM C-597[4]

### Pengujian Lokasi Penulangan

Pengujian ini memverifikasi data gambar penampang as-built. Data yang didapat adalah lokasi penulangan, termasuk kedalaman, dari tiap-tiap elemen struktur yang dipindai. Proses pemindaian memancarkan gelombang magnet, pantulan induksi gelombang akan terekam sebagai posisi kedalaman tulangan, sehingga kita mendapatkan ketebalan beton sampai ke tulangan. Metode pengujian ini termasuk non destruktif.

### Tinjauan Beban Gempa SNI 1726: 2012

Berbeda dengan peraturan gempa SNI 1726: 2002 yang direncanakan berdasarkan gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun, yaitu 10% kemungkinan kejadian dalam rentang 50 tahun, SNI 1726: 2012 direncanakan berdasarkan gempa rencana dengan periode ulang 2500 tahun, atau 2% kemungkinan kejadian dalam rentang 50 tahun. Hal ini mempengaruhi besaran beban gempa, yang secara eksplisit diartikan sebagai peningkatan gempa rencana pada struktur jika menerapkan peraturan 2012.

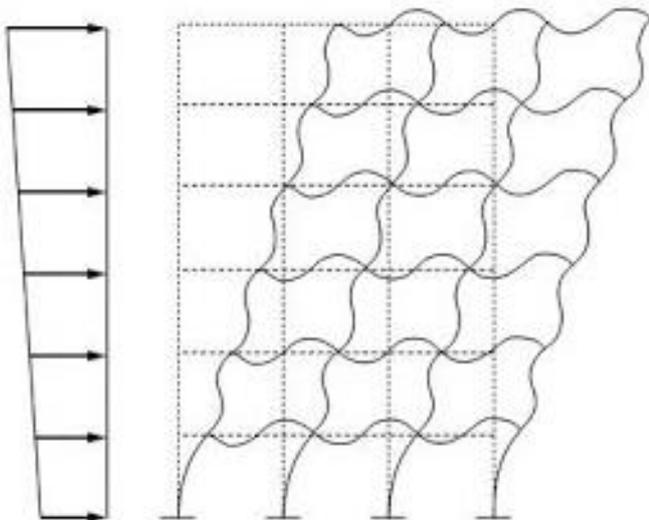
Beberapa hal yang bisa di-highlight dan membedakan kedua peraturan tersebut, di antaranya:

a. Penentuan faktor keutamaan bangunan

- b. Klasifikasi jenis tanah yang berubah menjadi kelas situs SA – SF.
- c. Persamaan gaya geser dasar dan gaya gempa lateral dalam metode static.
- d. dan lain sebagainya.

Sama seperti SNI 1726: 2002, SNI 1726: 2012 juga mengatur tentang jumlah ragam. Ragam getar alami struktur diperoleh dari analisis, jumlah ragamnya harus mencukupi untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi setidaknya 90% massa aktualnya. Partisipasi massa ragam ini harus diperiksa dalam tiap-tiap arah horizontal orthogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

Waktu getar alami struktur dibatasi oleh waktu getar alami fundamental. Kontrol periode alami struktur tersebut mencegah struktur yang terlalu fleksibel. Selain itu, pencegahan struktur supaya cukup kaku, adalah dengan pembatasan simpangan antar lantai. Simpangan antar lantai dibatasi oleh persamaan pada Tabel 16 SNI 1726: 2012, yang klasifikasinya berdasarkan kategori risiko. Ukuran kekakuan struktur dapat berdasarkan nilai simpangan antar lantai, semakin kecil nilainya maka struktur menjadi semakin kaku [6]. Ketetapan yang dipersyaratkan oleh peraturan ini, secara material, berarti pembatasan keretakan yang berlebihan pada beton dan kelelahan pada baja tulangan. Hal tersebut menerjemahkan terjadinya defek non-struktural atau, bahasa umumnya, gangguan terhadap faktor kenyamanan.



**Gambar 1.** Beban Lateral ( $K_i$ ); Pergoyangan Rangka ( $K_a$ )  
Sumber: Purwono et al. [7]

SNI 1726 mempersyaratkan rasio gaya geser dasar (dari kombinasi ragam hasil analisis) terhadap gaya geser dasar (prosedur lateral ekuivalen perhitungan manual) setidaknya 0,85. Jika kurang dari itu, faktor skala gaya yang digunakan

harus dimodifikasi dan disesuaikan. Faktor skala gaya yang diperhitungkan merupakan rasio dari perkalian gaya gravitasi dengan faktor keutamaan bangunan terhadap faktor reduksi gempa. Nilai faktor reduksi gempa ditentukan dari sistem strukturnya.

Tahap analisis dapat berupa prosedur linier dan non-linier, yang bergantung pada ketidakberaturan struktur. Prosedur linier terdiri dari prosedur statik linier, perhitungan dan input beban gempa manual; serta prosedur dinamik linier, yang menggunakan analisis respons spektral. Sedangkan prosedur non-linier terdiri dari analisis statis pushover dan analisis dinamik time-history. Tulisan ini menggunakan prosedur dinamik linier dengan analisis respons spektral.

### 3. Metodologi

Metode dan tahapan pekerjaan yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut adalah:

- a. Survey pendahuluan, pengumpulan data sekunder.
- b. Pendalaman dokumen-dokumen teknis dan data sekunder. Tujuannya untuk mendapatkan informasi mengenai sistem struktur gedung, kriteria/peraturan yang digunakan dalam perencanaan gedung, spesifikasi karakteristik material yang digunakan, konfigurasi elemen struktur, serta kondisi terkini bangunan.
- c. Survey lapangan, pengujian lapangan, dan pengambilan sampel. Meliputi, pengamatan, pengukuran, dan penghitungan elemen struktur; pengujian non-destruktif dengan rebar detector device (SNI 2847 : 2013) untuk mengetahui konfigurasi penulangan dan tebal selimut beton serta pengujian UPV device (ASTM C 597) untuk mengetahui kerapatan beton; dan pengambilan sampel beton inti (ASTM C42-90) sebagai input pengujian kuat tekan beton inti (ASTM C39-93A), yaitu pengujian destruktif.
- d. Analisis dan Evaluasi. Pertama, analisis dan evaluasi pengujian destruktif dan non-destruktif. Data-data yang didapat berupa mutu material aktual, konfigurasi penampang elemen struktur aktual, dan konfigurasi struktur gedung. Kedua, analisis struktur dengan memodelkan struktur secara menyeluruh berdasarkan data-data aktual yang telah didapatkan. Pemodelan struktur dilakukan dengan menerapkan pembebanan aktual, yaitu beban sesuai fungsi bangunan aktual serta beban gempa.

### 4. Hasil dan Pembahasan

Ada 2 hal utama yang dibahas, yaitu hasil pengujian lapangan dan laboratorium serta analisis struktur. Hasil

pengujian lapangan dan laboratorium terdiri dari kuat tekan beton inti, kepadatan beton, dan lokasi penulangan. Analisis struktur membuktikan ketahanan struktur terhadap pembebanan gempa dengan menggunakan program bantu.

**Hasil Pengujian Lapangan dan Laboratorium**

Hasil pengujian lapangan dan laboratorium menunjukkan bahwa:

- a. Mutu beton inti. Sampel beton inti dari Tower I memiliki kuat tekan terendah, rata-rata 25,68 MPa; sampel Tower II memiliki kuat tekan rata-rata 25,75 MPa; dan sampel Tower III memiliki kuat tekan terbesar dengan rata-rata 27,44 MPa.
- b. Kepadatan beton UPV. Pengujian ketiga tower menunjukkan kepadatan yang kurang pada kolom, sedangkan untuk elemen balok dan pelat lantai memiliki kepadatan yang cukup.
- c. Lokasi tulangan. Tabel berikut menyajikan hasil dari pengujian non-destruktif rebar detector device.

JENIS BALOK	B1	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
DIMENSI	420 / 500	420 / 500
PENAMPANG		
	KETERANGAN: f <sub>c</sub> 20 MPa, f <sub>y</sub> 390	
TUL. ATAS	6 D16	4 D16
TUL. BAWAH	4 D16	6 D16
SENGKANG	Ø10 - 100	Ø10 - 125
SELIMUT	40mm	40mm

JENIS KOLOM	K1	
DIMENSI	600 / 600	
PENAMPANG		
	KETERANGAN: f <sub>c</sub> 20 MPa, f <sub>y</sub> 390	
TUL. UTAMA	24 D19	
SENGKANG	Ø13 - 100-150	
SELIMUT	40mm	

**Gambar 2.** Hasil Rebar Locating  
sumber: Hasil analisis

**Hasil Analisis Struktur**

Setelah mendapatkan data-data material aktual tersebut, kita perlu melakukan analisis struktur untuk mengetahui

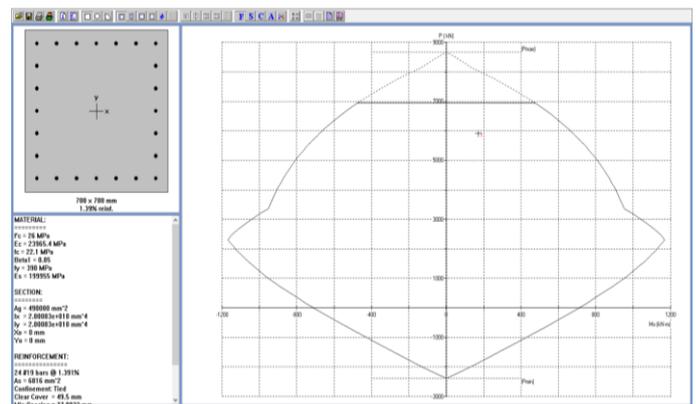
kemampuan penampang terhadap beban yang bekerja. Jika melihat ketentuan analisis, struktur gedung ini perlu diperhitungkan sebagai Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus. Maka perhitungan analisis kapasitas penampang, baik itu kolom maupun balok, harus mengikuti persyaratan terkait. Misal SNI 2847:2013 Pasal 21.5 terkait analisis penampang balok, dimana kapasitas momen nominal balok menggunakan perhitungan stress block equivalent.

Kapasitas kolom diketahui sudah memenuhi kombinasi pembebanan aksial dan momen, dengan prosentase penulangan 1,89%. Diagram interaksi P-M pada **Gambar 3** menunjukkan hal tersebut.

Mengacu ke SNI 2847: 2013 pasal 21.6.2 tentang Kekuatan lentur minimum kolom, kapasitas penampang kolom tersebut sudah kuat, dibuktikan dengan perumusan:

$$\sum M_{Col} > \frac{6}{5} \sum M_{Blk}$$

1480 kN > 620,13 kN ... (OK)

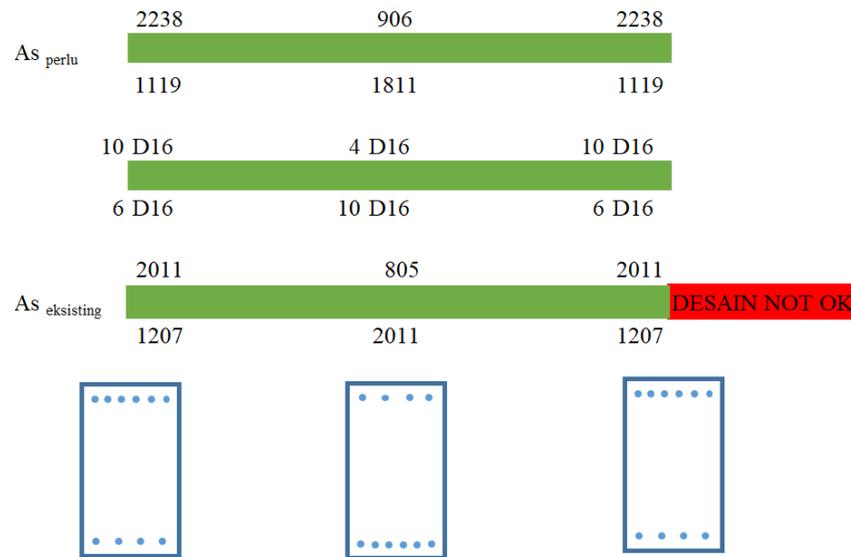


**Gambar 3.** Diagram P-M Kapasitas Kolom  
sumber: Hasil analisis

**Tabel 3.** Rekapitulasi kemampuan geser balok

		Tepi kolom	Sendi plastis	Lapangan	
Station	0	0,3	1,4	2	4
V <sub>s</sub> (kN)	490,489	468,939	389,924	346,824	203,159
s (mm)	91	95	115	129	221
Kebutuhan					
s (mm)	75	75	100	125	200
Terpasang					
s (mm)	100	100	100	125	125
Cek	NOT OK	NOT OK	NOT OK	NOT OK	OK

sumber: Hasil analisis



**Gambar 4.** Kebutuhan penulangan terhadap kapasitas balok  
*Sumber: Hasil analisis*

Sedangkan untuk penulangan balok, diketahui luasan tulangan lentur pada tumpuan tidak mencukupi, namun luasan tulangan pada daerah lapangan sudah cukup. Hal ini dideskripsikan pada **Gambar 4**.

Penentuan kemampuan geser, berdasarkan SNI 2847: 2013 pasal 21.5.4, seperti yang terdapat pada **Tabel 3**, bahwa konfigurasi penulangan tidak memenuhi pembebanan yang ada.

Evaluasi ketahanan gempa dinamik, pada bangunan, ditinjau atas beberapa hal yang mengacu pada SNI 1726: 2012.

a. Modal Participation Mass Ratio dan Perioda. Diketahui perioda dari analisis program bantu lebih besar dari **Tabel 4**. Modal Participation Mass Ratio

periode getar struktur maksimum, maka untuk perhitungan selanjutnya dibatasi sesuai periode maksimumnya. Periode getar maksimum untuk struktur sebesar 1,393 detik. Sedangkan, rasio partisipasi massa (MPMR) dari analisis menunjukkan angka di atas 90% untuk 12 jumlah ragam. Nilai partisipasi sudah memenuhi ketentuan baik itu untuk arah x maupun y, sesuai SNI 1726 : 2012 pasal 7.9.1, dengan minimal 90% partisipasi terhadap massa aktual dari masing-masing arah horizontal orthogonal. Perhitungan didetilkkan pada **Tabel 4**. Modal Participation Mass Ratio.

Mode	Period	Ux	Uy	Sum Ux	Sum Uy
1	1,799	0	0,7924	0	0,7924
2	1,59	0,7979	0	0,7979	0,7924
3	1,536	1,51E-05	0	0,7979	0,7924
4	0,57	0	0,1032	0,7979	0,8956
5	0,509	0,1029	0	0,9008	0,8956
6	0,49	1,18E-06	0	0,9008	0,8956
7	0,313	0	0,0404	0,9008	0,936
8	0,284	0,0391	0	0,9399	0,936
9	0,271	0	0	0,9399	0,936
10	0,204	0	0,0231	0,9399	0,9591
11	0,188	0,022	0	0,9618	0,9591
12	0,178	0	0	0,9618	0,9591

*Sumber: Hasil analisis*

b. Faktor Skala. Mengacu ke SNI 1726 : 2012 pasal 7.9.2, faktor skala merupakan koreksi nilai respon spektrum, yaitu faktor keutamaan bangunan, sebesar 1,0, yang dibagi dengan faktor modifikasi respon (faktor reduksi), sebesar 8,0. Nilai tersebut dikalikan percepatan gravitasi bumi sebesar 9,81 m/s<sup>2</sup>. Nilai yang digunakan dalam perhitungan faktor skala ternyata perlu disesuaikan lagi untuk memenuhi pasal 7.9.4.1, dimana rasio gaya geser dasar dari kombinasi ragam yang disyaratkan terhadap gaya geser dasar dari pasal 7.8 masih kurang dari 0,85. Melihat pembahasan sebelumnya, periode fundamental struktur yang dihitung (T), baik itu arah x maupun y, melebihi CuTa. Maka untuk perhitungan selanjutnya, harus menggunakan CuTa pengganti dari T untuk tiap-tiap arah.

Gaya geser dasar ragam dari analisis, setelah dikoreksi, adalah sebesar 1662,95 kN. Lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai gaya geser dasar perhitungan yaitu 1960,24

kN. Setelah koreksi, nilai rasionya memenuhi persyaratan yaitu 0,85.

**Tabel 5.** Perbandingan gaya geser dasar setelah koreksi faktor skala

	X	Y
W (kN)	68260,8552	68260,8552
Cs	0,0287	0,0287
V (kN)	1960,2372	1960,2372
Vi (kN)	1662,9527	1662,9524
Vi/V	0,85	0,85

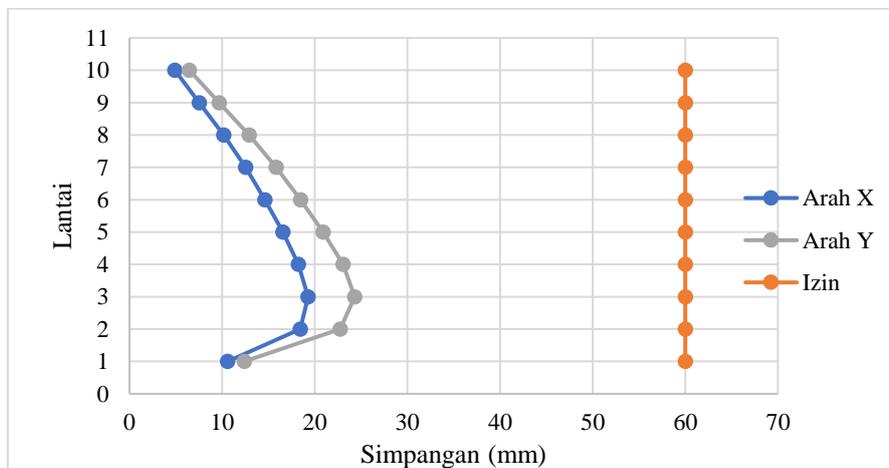
sumber: Hasil analisis

c. Simpangan Antar Lantai. Nilai simpangan antar lantai yang terjadi masih lebih kecil dibandingkan simpangan yang dipersyaratkan SNI. Perhitungan selanjutnya terdapat pada **Tabel 5** untuk simpangan antar lantai arah x dan **Tabel 6** untuk simpangan antar lantai arah y, serta grafik pada **Gambar 3**.

**Tabel 6.** Simpangan Antar Lantai Arah X

Storey	Delta total (mm)	Delta xe (mm)	Cd	Delta x (mm)	Delta izin (mm)
12	24,146	0,891	5,5	4,9005	60
11	23,255	1,37	5,5	7,535	60
10	21,885	1,85	5,5	10,175	60
9	20,035	2,279	5,5	12,5345	60
8	17,756	2,66	5,5	14,63	60
7	15,096	3,008	5,5	16,544	60
6	12,088	3,311	5,5	18,2105	60
5	8,777	3,505	5,5	19,2775	60
4	5,272	3,349	5,5	18,4195	60
3	1,923	1,923	5,5	10,5765	60
2	24,146	0,891	5,5	4,9005	60
1	23,255	1,37	5,5	7,535	60

Sumber: Hasil analisis



**Gambar 5.** Plotting simpangan antar lantai terhadap persyaratan (Sumber: Hasil analisis)

d. Pengaruh P Delta. Pengaruh P Delta terhadap gaya geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen, serta simpangan antar lantai tidak perlu diperhitungkan jika koefisien stabilitas tidak lebih dari 0,1. Perhitungan nilai

koefisien stabilitas menunjukkan nilai teta yang lebih kecil dari persyaratan. Perhitungan mendetail disajikan pada **Tabel 7** dan **Tabel 8**, serta grafik pada **Gambar 4**.

**Tabel 7.** Simpangan Antar Lantai Arah Y

Storey	Delta total (mm)	Delta ye (mm)	Cd	Delta y (mm)	Delta izin (mm)
12	30,319	1,175	5,5	6,4625	60
11	29,144	1,76	5,5	9,68	60
10	27,384	2,35	5,5	12,925	60
9	25,034	2,879	5,5	15,8345	60
8	22,155	3,357	5,5	18,4635	60
7	18,798	3,802	5,5	20,911	60
6	14,996	4,193	5,5	23,0615	60
5	10,803	4,42	5,5	24,31	60
4	6,383	4,133	5,5	22,7315	60
3	2,25	2,25	5,5	12,375	60
2	30,319	1,175	5,5	6,4625	60
1	29,144	1,76	5,5	9,68	60

Sumber: Hasil analisis

**Tabel 8.** Pengaruh P Delta (Arah X)

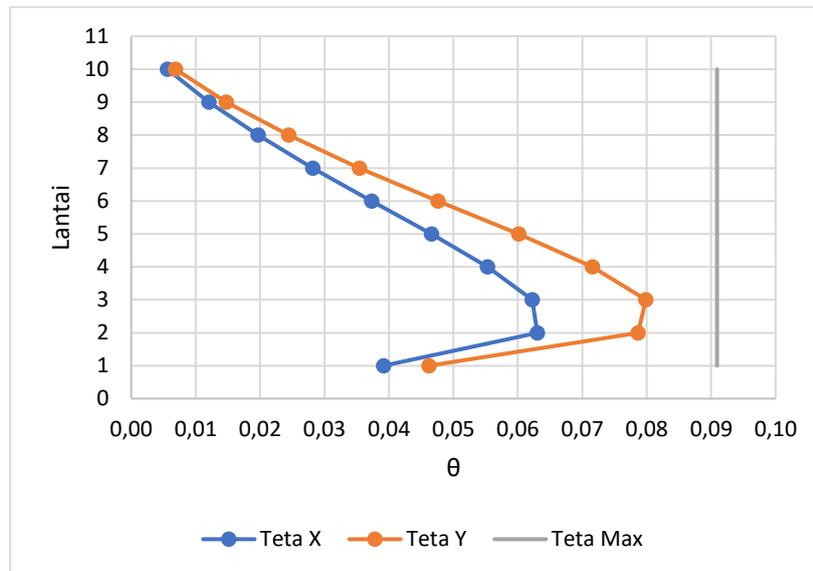
Storey	Px (kN)	Delta (mm)	Vx	Teta	Cek
10	6378,3	4,901	339,0	0,0056	Tidak perlu
9	17093,9	7,535	648,7	0,0120	Tidak perlu
8	27809,6	10,175	870,9	0,0197	Tidak perlu
7	38525,2	12,535	1038,9	0,0282	Tidak perlu
6	49240,8	14,630	1170,6	0,0373	Tidak perlu
5	59956,4	16,544	1290,0	0,0466	Tidak perlu
4	70672,0	18,211	1410,7	0,0553	Tidak perlu
3	81387,6	19,278	1528,3	0,0622	Tidak perlu
2	92103,2	18,420	1631,4	0,0630	Tidak perlu
1	102818,8	10,577	1682,6	0,0392	Tidak perlu

sumber: analisis

**Tabel 9.** Pengaruh P Delta (arah y)

Storey	Py (kN)	Delta (mm)	Vy	Teta	Cek
10	6378,3	6,463	363,6	0,0069	Tidak perlu
9	17093,9	9,680	679,1	0,0148	Tidak perlu
8	27809,6	12,925	892,1	0,0244	Tidak perlu
7	38525,2	15,835	1044,4	0,0354	Tidak perlu
6	49240,8	18,464	1157,7	0,0476	Tidak perlu
5	59956,4	20,911	1263,7	0,0601	Tidak perlu
4	70672,0	23,062	1380,0	0,0716	Tidak perlu
3	81387,6	24,310	1501,4	0,0799	Tidak perlu
2	92103,2	22,732	1613,2	0,0787	Tidak perlu
1	102818,8	12,375	1668,6	0,0462	Tidak perlu

Sumber: Hasil analisis



**Gambar 6.** Plotting koefisien stabilitas terhadap persyaratan (Sumber: Hasil analisis)

## 5. Simpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan tersebut, maka dapat disimpulkan:

- Mutu beton aktual masih termasuk dalam kategori mutu beton structural. Kepadatan beton diketahui dalam rentang kurang sampai cukup dengan keseragaman mutu cukup baik. Maka dapat disimpulkan, dari sisi mutu material, performa masih cukup baik.
- Kapasitas penampang balok diketahui tidak mencukupi, sehingga diperlukan *retrofitting* penampang, sesuai keperluannya.
- Kapasitas penampang kolom diketahui sudah cukup dalam menahan beban yang bekerja.
- Tinjauan ketahanan gempa, khususnya terhadap batasan waktu getar fundamental, simpangan antar lantai, dan pengaruh P Delta. Menunjukkan hasil dimana bangunan cukup baik dalam merespon beban gempa dan tidak terlalu fleksibel.
- Untuk lebih lanjut, sebaiknya perlu melakukan analisis lanjutan terhadap efek pembebanan gempa non-linier serta perubahan penampang akibat tindakan *retrofitting*.

## Daftar Pustaka

- I. Imran, "Penerapan ACI 369.1 dalam Evaluasi Seismik dan Retrofit Struktur Beton Eksisting di Indonesia". Paparan Seminar HAKI. Agustus 2019.
- ASCE 41-17, "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings". 2017.
- ASTM C42-90, "Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete". ASTM, 1990.
- ASTM C-597, "Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete". ASTM, 1997.
- SNI 1726: 2012, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Badan Standardisasi Nasional, 2012.
- Smith and Coull, "Tall Building Structures: Analysis and Design". Wiley, 1991.
- Purwono et al., "Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa: Perencanaan dan Perhitungan Sesuai SNI 1726 dan SNI 2847. ITS Press, 2005
- Refani et al., "Evaluasi Kelayakan Struktur Gedung Tinggi yang Terbengkalai Selama 15 Tahun Terhadap Gempa Berdasarkan SNI 1726 - 2012. CINIA, 2016