



Analisis Perbandingan Kinerja Struktur Gedung Akibat Penurunan Mutu Beton pada Proyek di Wilayah Lombok

Achmad Fadli Erlangga^{1*}, Rizqi Alghiffary²

^{1,2} Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UPN "Veteran" Surabaya, Indonesia

Email: 22035010001@student.upnjatim.ac.id^{1*}, rizqi.alghiffary.ft@upnjatim.ac.id²

*Penulis Korespondensi: 22035010001@student.upnjatim.ac.id¹

Abstract. This study analyzes a 10-floor multi-story lecture building in Lombok, focusing on the impact of concrete quality degradation on the building's performance. Due to limited material access, the actual on-site concrete quality changed from the design quality of f_c 30 MPa to f_c 24.9 MPa. The building structure was modeled in 3D using ETABS v22 software, and two structural models were compared: one with the design concrete quality (f_c 30 MPa) and one with the actual quality (f_c 24.9 MPa). The analysis evaluated dynamic performance, inelastic displacements, P-Delta effects, and reinforcement requirements. The comparison aimed to assess the impact of concrete degradation on structural stiffness, inter-story displacements, and reinforcement needs. The results show that concrete quality deterioration increases the structure's vibration period, inelastic displacement, and lateral forces due to P-Delta effects. While beam reinforcement requirements remain mostly unchanged, column reinforcement significantly increases, especially in columns with large axial forces. This study provides valuable insights into the technical consequences of concrete quality degradation and serves as a reference for evaluating structural redesigns in projects facing material limitations.

Keywords: Concrete Quality; ETABS; Inelastic Drift; P-Delta Effect; Structural Analysis.

Abstrak. Studi ini menganalisis sebuah gedung perkuliahan bertingkat 10 di Lombok, dengan fokus pada dampak degradasi kualitas beton terhadap kinerja bangunan. Karena keterbatasan akses material, kualitas beton aktual di lokasi berubah dari kualitas desain f_c 30 MPa menjadi f_c 24,9 MPa. Struktur bangunan dimodelkan dalam 3D menggunakan perangkat lunak ETABS v22, dan dua model struktural dibandingkan: satu dengan kualitas beton desain (f_c 30 MPa) dan satu dengan kualitas aktual (f_c 24,9 MPa). Analisis mengevaluasi kinerja dinamis, perpindahan inelastis, efek P-Delta, dan kebutuhan tulangan. Perbandingan bertujuan untuk menilai dampak degradasi beton pada kekakuan struktural, perpindahan antar lantai, dan kebutuhan tulangan. Hasil menunjukkan bahwa penurunan kualitas beton meningkatkan periode getaran struktur, perpindahan inelastis, dan gaya lateral akibat efek P-Delta. Sementara kebutuhan tulangan balok sebagian besar tetap tidak berubah, tulangan kolom meningkat secara signifikan, terutama pada kolom dengan gaya aksial yang besar. Studi ini memberikan wawasan berharga tentang konsekuensi teknis dari degradasi kualitas beton dan berfungsi sebagai referensi untuk mengevaluasi desain ulang struktur dalam proyek-proyek yang menghadapi keterbatasan material.

Kata kunci: Analisis Struktural; Efek P-Delta; ETABS; Kualitas Beton; Pergeseran Inelastis.

1. LATAR BELAKANG

Perubahan kualitas material konstruksi, khususnya mutu beton struktural, merupakan salah satu isu kritis dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek bangunan bertingkat di Indonesia (Liando et al., 2020). Di wilayah-wilayah rawan gempa seperti Lombok, konsistensi mutu beton bukan hanya berkaitan dengan kekuatan struktur, tetapi juga memengaruhi kekakuan global, periode getar, hingga respons seismik bangunan. Fenomena variasi mutu beton pada proyek berlantai 10 di Lombok menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk melakukan evaluasi kinerja struktur secara komprehensif, terutama ketika mutu beton aktual di lapangan menunjukkan nilai lebih rendah dibanding mutu rencana. Kondisi ini menimbulkan potensi penurunan kekakuan komponen vertikal seperti kolom, yang pada akhirnya dapat

meningkatkan simpangan antar lantai serta memperbesar risiko kegagalan struktur saat terjadi gempa.

Beton merupakan material utama yang menahan gaya aksial maupun momen pada bangunan bertingkat. Penurunan mutu beton dari nilai rencana, misalnya dari kelas mutu normal ke mutu yang lebih rendah, berimplikasi langsung pada berkurangnya kapasitas tekan, modul elastisitas, dan kekakuan elemen struktur (Nasional, 2012). Sejumlah studi menyebutkan bahwa perubahan kecil pada mutu beton dapat menurunkan kekakuan struktur secara signifikan, sehingga meningkatkan periode natural bangunan (Wiyanto, 2019). Hal tersebut sangat relevan di konteks daerah Lombok, di mana aktivitas seismik cukup tinggi dan sensitif terhadap perubahan parameter kekakuan.

Di sisi lain, kemajuan perangkat lunak analisis struktur seperti ETABS memungkinkan pemodelan beton bertulang secara 3D dengan parameter material yang presisi (Husein & Darwis, 2024). Analisis berbasis software ini menjadi penting ketika dilakukan studi perbandingan antar skenario mutu beton, baik mutu normal maupun mutu yang mengalami penurunan. Melalui simulasi struktur berlantai 10 dengan variasi mutu beton f_c' 30Mpa dan f_c' 24.9 Mpa, peneliti dapat melihat dampak penurunan mutu terhadap dimensi komponen struktur, simpangan lateral, gaya dalam, hingga efisiensi penggunaan material (Ahadina et al., 2025). Prayuda juga menegaskan bahwa pemodelan numerik sangat efektif untuk memprediksi perubahan periode struktur akibat variasi kekakuan elemen-elemen beton bertulang (Prayuda et al., 2023).

Kajian mengenai pengaruh mutu beton terhadap respons gempa telah dilakukan oleh sejumlah peneliti di Indonesia maupun luar negeri. Sumajouw et al., (2014) menemukan bahwa peningkatan mutu beton secara langsung meningkatkan ketahanan Elemen terhadap beban lateral, sementara penurunan mutu menyebabkan terjadinya degradasi kekakuan pada siklus pembebanan gempa. Lutfi & Subtoni (2020) menunjukkan bahwa penurunan mutu beton bahkan dapat mengharuskan dilakukan perkuatan struktur karena kapasitas rencana tidak lagi tercapai. Sementara itu, Sufiyanto (2005) menegaskan bahwa reduksi kekakuan pada elemen lentur seperti balok dan kolom sangat berpengaruh pada peningkatan simpangan lateral bangunan.

Penelitian global juga mendukung temuan tersebut. Erick & Susilo (2022) menambahkan bahwa penurunan modulus elastisitas beton dapat meningkatkan respons gempa hingga 20%. Maulana et al., (2023) juga menegaskan bahwa mutu beton sangat menentukan

kapasitas momen kolom, yang kemudian berpengaruh pada mekanisme distribusi gaya lateral sepanjang ketinggian bangunan.

Meskipun banyak studi membahas kinerja struktur akibat variasi mutu material, penelitian yang dilakukan secara spesifik pada gedung bertingkat di kawasan rawan gempa Lombok masih terbatas. Kondisi proyek di lapangan yang mengharuskan mengganti mutu beton menjadi $f_c' 24.9\text{Mpa}$ dari mutu rencana $f_c' 30\text{Mpa}$ memperlihatkan urgensi penelitian ini. Penurunan mutu beton berpotensi membuat dimensi kolom tidak lagi efisien, meningkatkan berat total struktur, dan mengubah perilaku dinamik gedung. Selain itu, perubahan kekakuan antar lantai dapat menyebabkan soft storey yang merupakan salah satu mode kegagalan paling mematikan saat gempa besar (Bingly et al., 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh Abate, Evangelista, dan Tam (2025) menyoroti dampak signifikan dari kualitas beton terhadap perilaku struktural gedung bertingkat tinggi, khususnya dalam hal simpangan dan momen saat dianalisis dengan perangkat lunak ETABS. Hasil analisis mereka menunjukkan bahwa pemodelan tiga dimensi memungkinkan evaluasi yang lebih mendalam mengenai respons dinamik struktur bangunan, serta perbedaan yang jelas antara struktur dengan mutu beton yang berbeda. Penelitian ini sangat relevan untuk memahami bagaimana perubahan mutu beton, seperti yang terjadi pada proyek ini, dapat memengaruhi kestabilan dan ketahanan bangunan terhadap beban dinamis, terutama dalam kondisi wilayah rawan gempa seperti Lombok.

Selain itu, penelitian oleh Nouri et al. (2025) mengungkapkan bahwa variasi kualitas beton berpengaruh langsung pada kapasitas elastis dan inelastis struktur bangunan, yang berujung pada perubahan signifikan dalam simpangan bangunan di bawah beban geser. Studi ini semakin menegaskan pentingnya menjaga kualitas beton yang sesuai standar desain, karena degradasi beton dapat memperburuk kinerja struktur, meningkatkan simpangan, dan berpotensi merusak elemen struktural utama. Temuan ini juga memberikan perspektif yang lebih luas terkait perencanaan dan desain struktur bangunan yang berkelanjutan dan aman di masa depan.

Tujuan utama penelitian ini adalah: (a) Menganalisis perbedaan kinerja struktur gedung akibat variasi mutu beton pada gedung di wilayah rawan gempa Lombok. (b) Mengevaluasi pengaruh penurunan mutu beton terhadap kekakuan, simpangan, dan periode getar struktur. (c) Merencanakan ulang dimensi dan penulangan pada elemen struktur berdasarkan mutu beton aktual $f_c' 24.9\text{Mpa}$ dibandingkan mutu rencana $f_c' 30\text{Mpa}$.

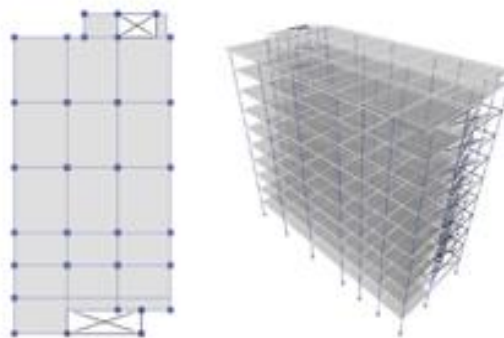
Penelitian ini juga bertujuan memberikan gambaran praktis mengenai dampak penurunan mutu beton terhadap kinerja struktur secara keseluruhan sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam proses verifikasi mutu dan pengendalian kualitas di lapangan.

2. METODE PENELITIAN

Dalam perencanaan ini digunakan dua model struktur yang masing-masing diberi nama Gedung A dan Gedung B, di mana keduanya merupakan bangunan gedung dengan jumlah lantai sebanyak 10 lantai dan dilengkapi dengan pelat atap beton bertulang. Kedua model memiliki geometri, konfigurasi, serta sistem struktur yang sama, dan yang membedakan hanya mutu beton yang digunakan. Gedung A menggunakan mutu beton rencana 30 MPa, sedangkan Gedung B menggunakan mutu beton aktual lapangan sebesar 24,9 MPa.

Bangunan direncanakan berlokasi di Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat, yang termasuk wilayah dengan kategori risiko II, bangunan ini berfungsi sebagai hunian apartemen, berada pada zona percepatan seismik tinggi. Kondisi tanah di sekitar lokasi termasuk kategori tanah lunak (Site Class E) berdasarkan data geoteknik wilayah tersebut. Struktur gedung dimodelkan sebagai sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) tanpa elemen dinding geser.

Luas tapak bangunan adalah $21.7 \text{ m} \times 41 \text{ m}$ atau total 890 m^2 , dengan tinggi antar lantai sebesar 4 meter, sehingga total tinggi bangunan mencapai 40 meter. Dimensi awal elemen struktur mengikuti data perencanaan, termasuk balok tipe B10, B9, dan B7A serta kolom tipe K1, K2, dan K3. Seluruh dimensi awal dibuat tetap sama pada kedua model agar perbedaan respon struktur hanya berasal dari perubahan mutu beton.



Gambar 1. Denah Permodelan Struktur.

Permodelan struktur Gedung A dan Gedung B dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS, dengan pemodelan tiga dimensi mencakup kolom, balok, pelat lantai, serta beban-beban yang bekerja pada struktur. Modulus elastisitas beton dihitung berdasarkan SNI 2847:2019 sehingga menghasilkan nilai kekakuan yang berbeda pada setiap model.

Tabel 1. Mutu Material.

GEDUNG	A	B
$f_c' (Mpa)$	30 Mpa	24.9 Mpa
$f_y Mpa$	420	420
$f_u Mpa$	525	525

Seluruh beban gravitasi seperti beban mati, beban hidup, serta beban tambahan lainnya dimasukkan berdasarkan SNI 1727:2020. Sementara itu, pembebanan gempa dilakukan melalui analisis respons spektrum dengan parameter percepatan desain wilayah Lombok mengacu pada SNI 1726:2019. Kedua model dianalisis menggunakan kombinasi pembebanan LRFD (Metode Ultimit) dan ASD (Metode Tegangan Izin) yang berlaku untuk struktur beton bertulang di wilayah gempa tinggi. Dalam tahapan analisis, fitur P-Delta diaktifkan untuk memperoleh efek nonlinier geometri serta pengaruh gaya aksial terhadap kekakuan lateral struktur. Pemodelan dilakukan secara konsisten, dimulai dari pendefinisian material, pembentukan elemen struktur, pengaturan joint, penerapan boundary conditions, hingga proses analisis dinamis untuk memperoleh respon struktur berupa periode getar, gaya geser dasar, pergeseran antar lantai (drift), gaya dalam elemen, serta kebutuhan tulangan.

Tabel 2. Total Mass Summary Gedung.

GEDUNG A ($f_c'30Mpa$)		GEDUNG B ($f_c'24.9Mpa$)	
Lantai	Massa (kg)	Lantai	Massa (kg)
ATAP	1017216.87	ATAP	1035076.47
LT 10	1019678.07	LT 10	1063843.77
LT 9	1019246.07	LT 9	1063411.77
LT 8	1019246.07	LT 8	1063411.77
LT 7	1019246.07	LT 7	1063411.77
LT 6	1019246.07	LT 6	1063411.77
LT 5	1019246.07	LT 5	1063411.77
LT 4	1019246.1	LT 4	1063411.8
LT 3	1019246.1	LT 3	1063411.8
LT 2	1019246.1	LT 2	1063411.8

Penentuan parameter gempa mengacu pada SNI 1726:2019. Untuk lokasi Lombok, nilai percepatan spektral wilayah diambil berdasarkan peta sumber gempa SNI dan layanan Kementerian PUPR. Berdasarkan hasil penentuan parameter, diperoleh nilai percepatan spektral sebagai berikut:

- S_s (percepatan spektral periode pendek) = 1,0613 g
- S_1 (percepatan spektral periode 1 detik) = 0,4343 g

Selanjutnya dihitung faktor amplifikasi situs (F_a dan F_v) untuk kelas situs E, sehingga:

- $SD_s = (2/3 \times SMS)$
- $SD_1 = (2/3 \times SM_1)$

Dengan parameter :

a. $SDs = 0,7436 \text{ g}$

b. $SD1 = 0,675 \text{ g}$

Beban pelat ditentukan berdasarkan variasi ketebalan dan fungsi ruang pada setiap lantai. Pelat tipe S1 memiliki ketebalan 12 cm dengan beban hidup sebesar $1,92 \text{ kN/m}^2$ dan superimposed dead load sebesar $1,471 \text{ kN/m}^2$. Pelat tipe S2 memiliki ketebalan 13 cm yang digunakan pada area dengan beban hidup lebih tinggi, yaitu $2,47 \text{ kN/m}^2$, dengan nilai SIDL yang sama yaitu $1,471 \text{ kN/m}^2$. Sementara itu, pelat tipe S3 yang digunakan pada area dengan intensitas aktivitas lebih tinggi memiliki ketebalan 15 cm dan beban hidup sebesar $4,79 \text{ kN/m}^2$, dengan SIDL tetap sebesar $1,471 \text{ kN/m}^2$. Ketiga jenis pelat ini digunakan secara terdistribusi dalam model berdasarkan kebutuhan ruang, sehingga menghasilkan perbedaan perilaku struktur pada masing-masing model.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 3. Perbandingan Periode Getar Struktur.

Model	Mutu Beton	Tcx (detik)	Tcy (detik)
Gedung A	30 MPa	2.032	1.986
Gedung B	24.9 MPa	2.054	1.994

Periode arah X meningkat sebesar 1.08%, sedangkan arah Y meningkat 0.40%.

Kenaikan ini menunjukkan penurunan kekakuan lateral akibat menurunnya mutu beton.

Meskipun peningkatannya relatif kecil, perubahan ini memengaruhi respons gempa, drift, serta gaya dalam.

Tabel 4. Simpangan Antar Tingkat Gedung A $f_c' 30\text{Mpa}$.

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Aa (ijin)	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y			
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
11	74.530	70.900	3.426	2.658	4000	18.843	14.619	61.538	100	OK
10	71.104	68.242	4.206	4.079	4000	23.133	22.435	61.538	100	OK
9	66.898	64.163	5.702	5.487	4000	31.361	30.179	61.538	100	OK
8	61.196	58.676	7.050	6.756	4000	38.775	37.158	61.538	100	OK
7	54.146	51.920	8.255	7.882	4000	45.403	43.351	61.538	100	OK
6	45.891	44.038	9.312	8.878	4000	51.216	48.829	61.538	100	OK
5	36.579	35.160	10.175	9.694	4000	55.963	53.317	61.538	100	OK
4	26.404	25.466	10.654	10.173	4000	58.597	55.952	61.538	100	OK
3	15.750	15.293	10.051	9.685	4000	55.281	53.268	61.538	100	OK
2	5.699	5.608	5.699	5.608	4000	31.345	30.844	61.538	100	OK

Tabel 5. Simpangan Antar Tingkat Gedung B f_c' 24.9Mpa.

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Δa (ijin)	Cek
	δeX	δeY	δeX	δeY		ΔX	ΔY			
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)			
11	83.164	79.100	3.836	2.972	4000	21.098	16.346	61.538	100	OK
10	79.328	76.128	4.697	4.554	4000	25.834	25.047	61.538	100	OK
9	74.631	71.574	6.355	6.117	4000	34.953	33.644	61.538	100	OK
8	68.276	65.457	7.850	7.522	4000	43.175	41.371	61.538	100	OK
7	60.426	57.935	9.186	8.771	4000	50.523	48.241	61.538	100	OK
6	51.240	49.164	10.367	9.882	4000	57.019	54.351	61.538	100	OK
5	40.873	39.282	11.344	10.807	4000	62.392	59.439	61.538	100	NOT OK
4	29.529	28.475	11.899	11.360	4000	65.445	62.480	61.538	100	NOT OK
3	17.630	17.115	11.246	10.834	4000	61.853	59.587	61.538	100	NOT OK
2	6.384	6.281	6.384	6.281	4000	35.112	34.546	61.538	100	OK

Hasil analisis simpangan antar-tingkat menunjukkan bahwa pada struktur dengan mutu beton $f'_c = 24,9$ MPa, beberapa lantai melampaui batas drift yang diizinkan. Kelebihan drift tersebut disebabkan oleh penurunan kekakuan pada elemen kolom, sehingga kemampuan struktur dalam menahan gaya lateral berkurang. Kondisi ini menunjukkan bahwa kekakuan lateral bangunan tidak mencukupi, sehingga respon deformasi menjadi berlebihan dan berpotensi menimbulkan kerusakan struktural maupun non-struktural. Untuk mengatasi hal ini, dilakukan modifikasi dimensi kolom tanpa mengubah sistem struktur. Adapun perubahan dimensinya yaitu :

K1 : dari 70×70 cm = 80×80 cm

K2 : dari 75×75 cm = 85×85 cm

K3 : dari 75×80 cm = 85×90 cm

Modifikasi ini bertujuan meningkatkan kekakuan lateral struktur sehingga simpangan dapat menurun dan kembali berada dalam batas yang dipersyaratkan oleh SNI. Setelah dimensi kolom diperbesar, struktur dianalisis ulang dan seluruh lantai sudah memenuhi batas drift.

Tabel 6. Simpangan Antar Tingkat Gedung B f_c' 24.9Mpa Setelah Dimodifikasi.

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Δa (ijin)	Cek
	δeX	δeY	δeX	δeY		ΔX	ΔY			
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)			
11	77.136	72.357	3.807	2.891	4000	20.939	15.901	61.538	100	OK
10	73.329	69.466	4.508	4.288	4000	24.794	23.584	61.538	100	OK
9	68.821	65.178	6.056	5.734	4000	33.308	31.537	61.538	100	OK
8	62.765	59.444	7.481	7.066	4000	41.146	38.863	61.538	100	OK
7	55.284	52.378	8.755	8.246	4000	48.153	45.353	61.538	100	OK
6	46.529	44.132	9.848	9.260	4000	54.164	50.930	61.538	100	OK
5	36.681	34.872	10.672	10.043	4000	58.696	55.237	61.538	100	OK
4	26.009	24.829	10.950	10.348	4000	60.225	56.914	61.538	100	OK
3	15.059	14.481	9.889	9.447	4000	54.390	51.959	61.538	100	OK
2	5.170	5.034	5.170	5.034	4000	28.435	27.687	61.538	100	OK

Tabel 7. Pengaruh P Delta Pada Gedung A f_c' 30Mpa.

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
11	18.843	14.619	12499.19	999.55	988.24	4000	0.0107	0.0084	0.1	0.0909	OK
10	23.133	22.435	25581.19	1799.84	1787.88	4000	0.0149	0.0146	0.1	0.0909	OK
9	31.361	30.179	38663.20	2432.55	2422.54	4000	0.0227	0.0219	0.1	0.0909	OK
8	38.775	37.158	51745.20	2959.22	2951.33	4000	0.0308	0.0296	0.1	0.0909	OK
7	45.403	43.351	64827.21	3404.79	3399.33	4000	0.0393	0.0376	0.1	0.0909	OK
6	51.216	48.829	77909.21	3804.47	3800.09	4000	0.0477	0.0455	0.1	0.0909	OK
5	55.963	53.317	90991.22	4171.98	4167.23	4000	0.0555	0.0529	0.1	0.0909	OK
4	58.597	55.952	104073.23	4494.14	4488.21	4000	0.0617	0.0590	0.1	0.0909	OK
3	55.281	53.268	117155.23	4749.43	4741.64	4000	0.0620	0.0598	0.1	0.0909	OK
2	31.345	30.844	130237.24	4872.90	4864.65	4000	0.0381	0.0375	0.1	0.0909	OK

Tabel 8. Pengaruh P Delta Pada Gedung B f_c' 24.9Mpa.

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
11	20.939	15.901	12901.69	1053.75	1036.84	4000	0.0117	0.0090	0.1	0.0909	OK
10	24.794	23.584	26416.81	1893.47	1875.81	4000	0.0157	0.0151	0.1	0.0909	OK
9	33.308	31.537	39931.93	2550.59	2536.41	4000	0.0237	0.0226	0.1	0.0909	OK
8	41.146	38.863	53447.06	3096.58	3086.23	4000	0.0323	0.0306	0.1	0.0909	OK
7	48.153	45.353	66962.18	3557.43	3551.21	4000	0.0412	0.0389	0.1	0.0909	OK
6	54.164	50.930	80477.30	3972.73	3968.45	4000	0.0499	0.0469	0.1	0.0909	OK
5	58.696	55.237	93992.43	4354.96	4350.39	4000	0.0576	0.0542	0.1	0.0909	OK
4	60.225	56.914	107507.55	4688.68	4682.35	4000	0.0628	0.0594	0.1	0.0909	OK
3	54.390	51.959	121022.67	4950.25	4940.83	4000	0.0604	0.0578	0.1	0.0909	OK
2	28.435	27.687	134537.79	5071.70	5060.86	4000	0.0343	0.0335	0.1	0.0909	OK

Hasil analisis menunjukkan bahwa baik Gedung A (f_c' 30 MPa) maupun Gedung B (f_c' 24,9 MPa) tetap berada dalam kondisi stabil, karena seluruh nilai koefisien stabilitas θ berada jauh di bawah batas 0,0909. Gedung B memiliki nilai θ sedikit lebih besar akibat mutu beton yang lebih rendah, namun peningkatannya tidak signifikan dan tetap aman. Perbesaran dimensi kolom juga efektif mengurangi efek P-Delta. Secara keseluruhan, kedua gedung dinyatakan memenuhi syarat stabilitas struktur terhadap pengaruh P-Delta.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Desain Tulangan Balok.

REKAP PERBANDINGAN BALOK					
NOMER	JENIS	fc' 30 MPA		fc' 24.09 MPA	
1	B10 (55x80)	TUMPUAN =	6D19	TUMPUAN =	7D19
		LAPANGAN =	5D19	LAPANGAN =	5D19
		SENGKANG =	4D13-100-150	SENGKANG =	4D13-100-150
2	B9 (50x80)	TUMPUAN =	7D22	TUMPUAN =	7D22
		LAPANGAN =	4D22	LAPANGAN =	4D22
		SENGKANG =	4D13-100-150	SENGKANG =	4D13-100-150
3	B7A (45x75)	TUMPUAN =	7D22	TUMPUAN =	8D22
		LAPANGAN =	5D22	LAPANGAN =	5D22
		SENGKANG =	4D13-100-150	SENGKANG =	4D13-100-150

Tabel 10. Hasil Perhitungan Tulangan Kolom K1.

K1			
fc' 30mpa 70x70		fc' 24.09mpa 80x80	
Tulangan Longitudinal		Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	28 D22	Longitudinal	40 D22
Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan		Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan	
Sumbu Lemah	4D13-100	Sumbu Lemah	4D13-100
Sumbu Kuat	4D13-100	Sumbu Kuat	4D13-100
Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan		Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan	
Sumbu Lemah	2D13-100	Sumbu Lemah	2D13-100
Sumbu Kuat	2D13-100	Sumbu Kuat	2D13-100

Tabel 11. Hasil Perhitungan Tulangan Kolom K2.

K2			
fc' 30mpa 75x75		fc' 24.09mpa 85x85	
Tulangan Longitudinal		Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	28 D22	Longitudinal	32 D22
Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan		Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan	
Sumbu Lemah	4D13-100	Sumbu Lemah	4D13-100
Sumbu Kuat	4D13-100	Sumbu Kuat	4D13-100
Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan		Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan	
Sumbu Lemah	2D13-100	Sumbu Lemah	2D13-100
Sumbu Kuat	2D13-100	Sumbu Kuat	2D13-100

Tabel 12. Hasil Perhitungan Tulangan Kolom K3.

K3			
fc' 30mpa 75x85		fc' 24.09mpa 85x90	
Tulangan Longitudinal		Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	28 D22	Longitudinal	40 D22
Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan		Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan	
Sumbu Lemah	4D13-100	Sumbu Lemah	5D13-100
Sumbu Kuat	4D13-100	Sumbu Kuat	5D13-100
Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan		Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan	
Sumbu Lemah	2D13-100	Sumbu Lemah	2D13-100
Sumbu Kuat	2D13-100	Sumbu Kuat	2D13-100

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada studi analisis ini, perubahan mutu beton dari $f_c' 30$ MPa menjadi $f_c' 24,9$ MPa terbukti memberikan pengaruh terhadap kekakuan struktur gedung. Hasil analisis periode getar menunjukkan peningkatan dari T_{cx} 2,032 detik menjadi 2,054 detik dan T_{cy} dari 1,986 detik menjadi 1,994 detik, menandakan struktur dengan mutu beton lebih rendah menjadi lebih fleksibel. Dari hasil evaluasi simpangan antar lantai (inelastic drift), gedung dengan mutu beton $f_c' 30$ MPa menghasilkan drift maksimum sebesar 58,597 mm (arah X) dan 55,952 mm (arah Y), sedangkan pada $f_c' 24,9$ MPa drift meningkat menjadi 60,225 mm (arah X) dan 56,914 mm (arah Y). Sebelum modifikasi, beberapa lantai pada gedung $f_c' 24,9$ MPa melampaui batas drift SNI, sehingga memerlukan penyesuaian desain dan perencanaan ulang untuk elemen kolom pada Gedung B yang bermutu 24.9Mpa.

Analisis gaya P-Delta menunjukkan bahwa gaya aksial kumulatif (P) untuk $f_c' 30$ MPa berkisar 12.499–130.237 kN, sedangkan pada $f_c' 24,9$ MPa meningkat menjadi 12.901–134.537 kN. Gaya geser story forces (V_x dan V_y) juga sedikit meningkat, masing-masing sekitar 4–6%, menandakan sensitivitas struktur yang lebih besar terhadap efek sekunder P-Delta pada mutu beton yang lebih rendah. Setelah dilakukan modifikasi berupa pembesaran dimensi kolom K1 dari 70×70 menjadi 75×75 cm, K2 dari 75×75 menjadi 80×80 cm, dan K3 dari 75×80 menjadi 80×80 cm, seluruh nilai drift gedung $f_c' 24,9$ MPa kembali berada di bawah batas, sehingga memenuhi syarat SNI 1726:2019.

Elemen balok B10, B9, dan B7A menunjukkan bahwa penurunan mutu beton menyebabkan peningkatan jumlah serta diameter tulangan yang dibutuhkan. Pada kondisi mutu beton yang lebih tinggi, B10 membutuhkan tulangan tumpuan 6D19–7D19 dan lapangan 5D19. Ketika mutu beton diturunkan, kebutuhan tulangan pada B9 meningkat menjadi 7D22 di tumpuan dan 4D22 di lapangan, sedangkan pada B7A meningkat menjadi 7D22–8D22 di tumpuan dan 5D22 di lapangan. Peningkatan ini menunjukkan bahwa kapasitas lentur penampang menurun akibat turunnya mutu beton, sehingga harus dikompensasi dengan penambahan tulangan. Pada elemen kolom terdapat perbedaan signifikan akibat penurunan mutu beton. Untuk gedung $f_c' 30$ MPa, kolom K1–K3 menggunakan tulangan 28D22, sedangkan pada $f_c' 24,9$ MPa meningkat menjadi 32D22 hingga 40D22, menandakan bertambahnya kebutuhan kapasitas tekan dan lentur kolom.

Hasil koefisien stabilitas θ menunjukkan bahwa kedua gedung tetap berada dalam kondisi stabil terhadap efek P-Delta, dengan nilai berkisar 0,0107–0,0620 untuk $f_c' 30$ MPa dan 0,0117–0,0628 untuk $f_c' 24,9$ MPa, jauh di bawah batas 0,0909. Hal ini mengindikasikan

bahwa kedua struktur aman secara global, terutama setelah modifikasi dimensi kolom. Secara keseluruhan, penurunan mutu beton menyebabkan meningkatnya drift, story forces, dan kebutuhan tulangan kolom. Namun setelah dilakukan modifikasi dimensi kolom, gedung dengan mutu $f_c' 24,9$ MPa kembali memenuhi seluruh persyaratan desain gempa dan stabilitas, sehingga aman untuk digunakan. Perbandingan kedua model menunjukkan bahwa mutu beton yang lebih tinggi memberikan kekakuan lebih baik dan kebutuhan penulangan lebih sedikit dibandingkan mutu beton yang lebih rendah.

DAFTAR REFERENSI

- Abate, M., Evangelista, A. C. J., & Tam, V. W. Y. (2025). Advanced seismic analysis of a 44-story reinforced concrete building: A comparison of code-based and performance-based design approaches. *Infrastructures*, 10(4), 93. <https://doi.org/10.3390/infrastructures10040093>
- Ahadina, A. A. A. S. A., Sarasantika, I. P. E., Triswandana, I. W. G. E., & Aryastana, P. (2025). Perbandingan mutu beton terhadap gaya geser dan simpangan pada bangunan Rutan Kejati. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 9(2), 251-258. <https://doi.org/10.32832/komposit.v9i2.17387>
- Bingly, Y., Wibowo, L. S. B., & Cahyono, M. S. D. (2021). Analisis perbandingan desain struktur bangunan bertingkat beton bertulang menggunakan material mutu normal dan mutu tinggi. *Seminar Nasional Ilmu Terapan*, 5(1), C05-C05.
- Erick, K., & Susilo, A. J. (2022). Studi parametrik dengan respons spektrum terhadap deformasi dinding diafragma pada basement dengan metode elemen hingga. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 358-372. <https://doi.org/10.24912/jmts.v5i2.16659>
- Husein, S., & Darwis, M. (2024). Implementasi software ETABS (Extended Three Dimensional Analysis of Building System) untuk struktur gedung kos 3 lantai Kab. Gowa. *Jurnal Bangunan Konstruksi (BARAKKA)*, 2(2), 104-109. <https://doi.org/10.63877/jbk.v2i2.98>
- Liando, F. J., Dapas, S. O., & Wallah, S. E. (2020). Perencanaan struktur beton bertulang gedung kuliah 5 lantai. *Jurnal Sipil Statik*, 8(4), 471-482.
- Lutfi, M., & Subtoni, S. (2020). Kajian struktur bangunan akibat penurunan mutu beton pada kolom terpasang (Studi Kasus: SDN 01 Cikaret Kabupaten Bogor). *ASTONJADRO*, 6(2), 115-129. <https://doi.org/10.32832/astonjadro.v6i2.2268>
- Maulana, R. A., Nurdin, A. L., & Khamid, A. (2023). Analisis perbedaan beton ready mix antara mutu K dengan mutu FC. *Era Sains: Jurnal Penelitian Sains, Keteknikan Dan Informatika*, 2(3), 1-14.
- Nasional, B. S. (2012). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*.
- Nouri, Z., Massumi, A., Asadollahfardi, G. R., & Majedi Ardakani, M. H. (2025). Structural and environmental impacts of concrete quality: A comparative life cycle assessment. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-01032-z>

- Prayuda, H., Maulana, T. I., Putra, F. M. Y., Salsabila, B., & Saleh, F. (2023). Pengaruh ketidakberaturan bentuk bangunan beton bertulang bertingkat tinggi terhadap perilaku sesimik. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(2), 307-320. <https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.2.17>
- Putra, A. P., & Nurlaela, L. (2018). Kondisi sanitasi higiene dan K3 (Kesehatan dan keselamatan kerja) dapur Rich Palace Hotel Surabaya. *Jurnal Teknik, Universitas Negeri Surabaya*.
- Sufiyanto, S. (2005). Kaji teoritik perubahan panjang plat penguat terhadap besarnya defleksi yang terjadi pada balok. *TRANSMISI*, 1(1), 35-42.
- Sumajouw, M. D. J., Dapas, S. O., & Windah, R. S. (2014). Pengujian kuat tekan beton mutu tinggi. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(4).
- Wiyanto, H. (2019). Identifikasi degradasi mutu beton pada struktur bangunan gedung di Jakarta. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran Dan Ilmu Kesehatan*, 3(2), 313-320. <https://doi.org/10.24912/jmstkik.v3i2.5958>