Integrative Perspectives of Social and Science Journal (IPSSJ)
ipssj.com ippsj2024@gmail.com E-ISSN: 3064-4011

Analisis Struktur Kolom pada Gedung Laboratorium Kesehatan Kota Madya Jakarta Selatan

Imam Septyawan [1*]
Program Studi Teknik Sipil Universitas Krisnadwipayana
*Corresponding email: septyawan31@gmail.com

ABSTRAK: Gedung Laboratorium Kesehatan Kota Madya Jakarta Selatan dianalisis untuk mengevaluasi kinerja kolom terhadap beban gempa menggunakan metode pushover pada ETABS v21. Hasil analisis menunjukkan kapasitas maksimum struktur sebesar 3.860 kN arah X dan 4.240,6 kN arah Y. Performance point (metode Equivalent Linearization FEMA-440) diperoleh pada Sd = 299,84 mm, Sa = 0,2623 g, T = 2,145 s untuk arah X dan Sd = 256,65 mm, Sa = 0,2768 g, T = 1,932 s untuk arah Y. Analisis inter-story drift ratio menghasilkan nilai maksimum 2,07% (arah X, L3–L2) dan 1,90% (arah Y, L3–L2), serta 1,82% (arah Y, L2–Base) — seluruhnya berada dalam kategori Life Safety sesuai ATC/FEMA. Contoh kolom K1 (penampang 500×500 mm, tulangan longitudinal 16×Ø19 mm, sengkang Ø10-150 mm, MPa) memiliki kapasitas tekan rencana kN, sedangkan hasil pushover menunjukkan kebutuhan tekan hanya 134,05 kN (X) dan 66,16 kN (Y), jauh di bawah kapasitas. Momen dan geser maksimum kolom (misal C17/K1) mencapai Mmax ≈ 504,17 kN·m dan Vmax ≈ 134,95 kN (arah X). Visualisasi plastic hinge memperlihatkan sebagian besar plastisitas terjadi pada balok, beberapa kolom mencapai kondisi plastis Life Safety (LS), dan tidak ditemukan Collapse Prevention (CP) yang dominan. Secara keseluruhan, kolom gedung memenuhi kriteria kinerja Life Safety, namun disarankan verifikasi tambahan kapasitas lentur dan geser pada kolom kritis serta perkuatan lokal jika rasio Demand/Capacity mendekati atau melebihi satu.
Kata kunci : Analisis Pushover, Kolom, ETABS, SNI 1726:2019, ATC-40

ABSTRACT: *The Jakarta Selatan City Health Laboratory Building was analyzed to evaluate column performance under seismic loading using the pushover method in ETABS v21. The pushover analysis results showed peak structural capacities of approximately 3,860 kN in the X direction and 4,240.6 kN in the Y direction. The performance point (FEMA-440 Equivalent Linearization) was found at Sd = 299.84 mm, Sa = 0.2623 g, T = 2.145 s for the X direction and Sd = 256.65 mm, Sa = 0.2768 g, T = 1.932 s for the Y direction. Inter-story drift ratio analysis revealed maximum values of 2.07% (X direction, L3–L2) and 1.90% (Y direction, L3–L2), with 1.82% recorded for L2–Base in the Y direction — all within the Life Safety range based on ATC/FEMA guidelines. For example, column K1 (500×500 mm section, 16×Ø19 mm longitudinal bars, Ø10-150 mm stirrups, MPa, MPa) showed a design axial capacity kN, while pushover results indicated axial demands of approximately 134.05 kN (X) and 66.16 kN (Y), far below the design capacity. Maximum bending moment and shear in selected columns (C17/K1) reached Mmax = 504.17 kN·m and Vmax = 134.95 kN (X direction). Plastic hinge visualization indicated that most plasticity occurred in beams; several columns reached Life Safety (LS) plastic states, with no dominant Collapse Prevention (CP) hinges observed. Overall, the building's columns met the Life Safety performance level, although further verification of flexural and shear capacities is recommended for critical columns, along with local strengthening if Demand/Capacity ratios approach or exceed unity.*
Keywords: *Pushover Analysis, Column, ETABS, SNI 1726:2019, ATC-40*

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan yang dihadapi negara Indonesia adalah bencana alam yaitu gempa. Pengaruh gempa terhadap perilaku struktur bangunan seperti rumah, hotel, rumah sakit, perkantoran dan lainnya sangatlah tinggi. Gempa dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur sehingga struktur tersebut tidak bisa digunakan lagi, gempa dapat mengakibatkan kerugian dari segi ekonomi dan dapat mengakibatkan korban jiwa. Maka dari itu pentingnya struktur yang kokoh dalam suatu bangunan. Tantangan atau permasalahan tersebut mendorong para Sarjana Teknik Sipil untuk mempelajari struktur yang pantas untuk bangunan agar bangunan tersebut dapat berdiri dengan kokoh dan dapat meminimalisir pengaruh gempa yang terjadi pada bangunan tersebut (Castro & Darmiyanti, 2020).

Bangunan laboratorium kesehatan termasuk dalam kategori bangunan dengan tingkat risiko tinggi yang harus memiliki ketahanan struktural optimal terhadap beban gempa, khususnya di wilayah rawan gempa seperti Jakarta Selatan. Selain dituntut mampu menahan

beban gravitasi, struktur bangunan laboratorium juga harus dirancang untuk tetap berdiri dan berfungsi pascagempa guna mendukung operasional darurat dan pelayanan medis.

Gedung Laboratorium Kesehatan Kota Madya Jakarta Selatan merupakan bangunan 6 lantai yang menggunakan sistem struktur beton bertulang. Dalam perencanaan struktur bangunan bertingkat di wilayah gempa, penggunaan pendekatan berbasis kinerja (performance-based seismic design) semakin menjadi kebutuhan. Salah satu metode analisis yang digunakan untuk menilai kapasitas dan kinerja struktur terhadap gempa adalah analisis pushover. Metode pushover merupakan pendekatan analisis statik nonlinier yang memberikan beban lateral secara bertahap hingga struktur mencapai kondisi keruntuhan. Analisis ini memungkinkan evaluasi kapasitas maksimum struktur, pola keruntuhan, dan tingkat kerusakan pada elemen-elemen utama, khususnya elemen vertikal seperti kolom. Melalui pemodelan struktur di aplikasi ETABS v21, kapasitas plastis dan deformasi pasca-elastis struktur dapat ditentukan secara rinci, sesuai dengan standar SNI 1726:2019 dan prinsip dari FEMA 440 atau ATC-40.

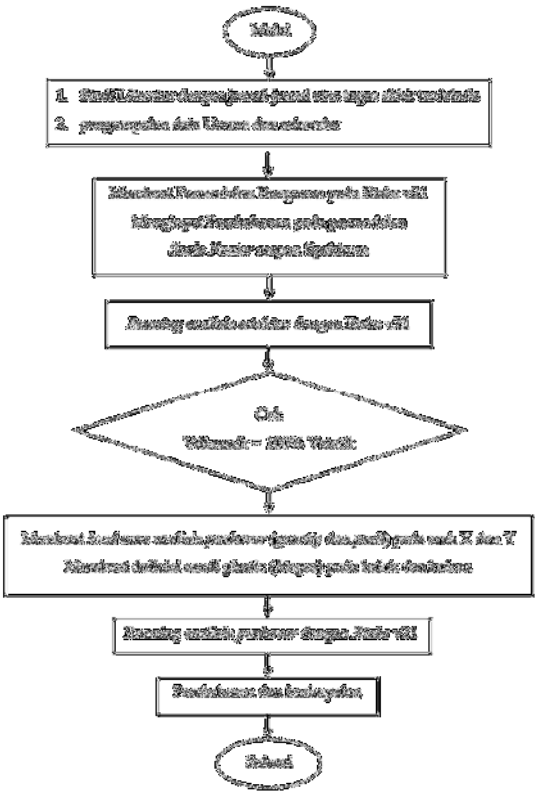
Evaluasi ini penting untuk mengetahui apakah desain eksisting kolom pada bangunan 6 lantai tersebut telah mampu memenuhi target kinerja minimum (life safety, immediate occupancy, atau collapse prevention), serta apakah diperlukan penguatan atau penyesuaian desain struktur.

Rumusan masalah dalam penelitian ini berfokus pada analisis kapasitas dan kinerja struktur kolom Gedung Laboratorium Kesehatan Kota Madya Jakarta Selatan dalam menahan beban gempa menggunakan metode pushover analysis. Secara khusus, penelitian ini mengkaji kapasitas kolom dalam menahan beban gempa, besarnya deformasi kolom dan simpangan antar lantai yang terjadi akibat pembebanan gempa rencana, serta tingkat kinerja struktur (performance level) yang dicapai berdasarkan hasil analisis pushover dengan mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019 dan pedoman FEMA 440.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas dan mengevaluasi kinerja struktur kolom Gedung Laboratorium Kesehatan Kota Madya Jakarta Selatan dalam menahan beban gempa menggunakan metode pushover analysis. Secara khusus, penelitian ini diarahkan untuk menentukan kapasitas kolom terhadap pembebanan gempa, menganalisis besarnya deformasi kolom dan simpangan antar lantai akibat gempa rencana, serta mengevaluasi tingkat kinerja struktur (performance level) berdasarkan hasil analisis nonlinear dengan mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019 dan pedoman FEMA 440. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kapasitas, respons deformasi, dan tingkat kinerja seismik struktur kolom sebagai dasar evaluasi keamanan bangunan terhadap risiko gempa.

METODE

Data perencanaan awal yang diperoleh dari konsultan akan dilakukan analisis kolom berdasarkan construction drawing, kemudian dilanjutkan melakukan perhitungan pembebanan (berupa beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup) dan pembuatan model struktur dengan ETABS. Modeling dari Etabs akan dilakukan running sebanyak 2 kali yang mana pada running pertama digunakan untuk mengecek perilaku struktur dan mengetahui base reaction terhadap gempa statik dan dinamik. Selanjutnya untuk running yang kedua menggunakan gaya gempa yang sudah di skala sehingga hasil dari gaya ini akan digunakan untuk analisis pushover. Untuk mempermudah memahami, berikut adalah diagram alur penelitian.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Bangunan

Bangunan yang dirancang mengacu pada denah struktur atas Gedung Laboratorium Kesehatan Daerah yang berlokasi di Kota Jakarta Selatan. Bangunan ini memiliki tinggi 29.5 m dari elevasi ±0,000 m dengan bentuk persegi panjang dengan panjang 24 m dan lebar 12 m. berikut adalah detail tinggi tiap lantai bangunan.

Tabel 1. Data Tinggi Tingkat dan Elevasi Gedung

Tingat	Lantai	ELevasi Tiap Lantai (m)	Tinggi Tingkat (m)
8	Atap	+29.5	3,5
7	7(Atap)	+26.0	4,2
6	6	+21.8	4,2
5	5	+17.6	4,2
4	4	+13.4	4,2
3	3	+9.2	4,2
2	2	+5.00	5
1	Base	0.00	0

Analisis Beban Gempa Statik Ekuivalen

Lokasi Bangunan = Kota Jakarta Selatan
Jenis Tanah = Lunak
Kelas Situs = SE
Fungsi Gedung = Laboratorium Kesehatan
Kategori Resiko = II

Faktor Keutamaan Gempa ($\boldsymbol{I_e}$)= 1
Parameter percepatan dasar periode pendek ($\boldsymbol{S_s}$) dan 1 detik ($\boldsymbol{S_1}$) = 0,8108 g dan 0,3999 g.
Faktor percepatan getaran periode pendek (Fa) dan 1 detik (Fv) = 1,276 dan 2,400
Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pedek ($\boldsymbol{S_{ms}}$) dan 1 detik ($\boldsymbol{S_{M1}}$)

$\boldsymbol{S_{MS}}$ = Fa x Ss
= 1,276 x 0,8108
= 1,034

$\boldsymbol{S_{M1}}$ = Fa x $\boldsymbol{S_1}$
= 2,400 x 0,3999
= 0,959

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek ($\boldsymbol{S_{DS}}$) dan 1 detik ($\boldsymbol{S_{D1}}$)

$\boldsymbol{S_{DS}}$ = $\frac{\boldsymbol{2}}{\boldsymbol{3}}$ x $\boldsymbol{S_{MS}}$
= $\frac{\boldsymbol{2}}{\boldsymbol{3}}$ x 1,034
= 0,69

$\boldsymbol{S_{D1}}$ = $\frac{\boldsymbol{2}}{\boldsymbol{3}}$ x $\boldsymbol{S_{M1}}$
= $\frac{\boldsymbol{2}}{\boldsymbol{3}}$ x 0,959
= 0,64

Kategori Desain Seismik (KDS) = D
Sistem Struktur = Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
Nilai Koefisien Modifikasi Respon (R) = 8
Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0) = 3
Nilai C_D = 5.5
Koefisien batas atas ($\boldsymbol{C_u}$) = 1,4
Nilai parameter periode pendekatan (x) = 0,9
Periode Fundamental Struktur (T)

$Ta = C_t h_n^x$
$= 0{,}0466 \times 48{,}2^{0{,}9}$
$= 1{,}29$ detik

Berikut perhitungan periode maksimum

$\boldsymbol{Ta_{maks}}$ = $\boldsymbol{Cu\ x\ Ta}$
= 1,4 x 1,29
= 1,8 detik

Koefisien respon seismik ($\boldsymbol{C_S}$)

$\boldsymbol{C_S}$ = $\frac{\boldsymbol{Sds}}{\left(\frac{\boldsymbol{R}}{\boldsymbol{Ie}}\right)}$
= $\frac{\boldsymbol{0{,}69}}{\left(\frac{\boldsymbol{8}}{\boldsymbol{1}}\right)}$ = 0,086

Nilai Cs maks dihitung menggunakan persamaan berikut.

$\boldsymbol{C_S}$ maks = $\frac{\boldsymbol{Sd1}}{\boldsymbol{T}\left(\frac{\boldsymbol{R}}{\boldsymbol{Ie}}\right)}$
= $\frac{\boldsymbol{0{,}64}}{\boldsymbol{1{,}8}\left(\frac{\boldsymbol{8}}{\boldsymbol{1}}\right)}$ = 0,044

Nilai Cs min dihitung menggunakan persamaan berikut.

$C_{s\ min}$ $= 0,044 \times S_{DS} \times I_e$

$= 0,044 \times 0,69 \times 1$

$= 0,0303$

Maka nilai Cs yang digunakan adalah nilai Cs maks sebesar 0,044.
Berat Efektif Struktur = 42732,5 kN
Gaya Geser Dasar Statik
V statik = $C_S \, x \, W_{eff\ struktur}$

= 0,044 x 42732,5 kN = 1880,23 k

Analisis Beban Gempa Dinamik Respon Spektrum
Participating Mass Ratio

Berdasarkan SNI-1726:2019, analisis respons spektrum ragam harus mencapai partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100%, namun terdapat pengecualian minimum massa ragam mencapai 90%. Berikut adalah hasil partispasi massa dari ETABS.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
Modal	1	1,9	0,757	0,0879	0	0,757	0,0879
Modal	2	1,819	0,1152	0,649	0	0,8722	0,7369
Modal	3	1,571	0,0024	0,0987	0	0,8745	0,8356
Modal	4	0,613	0,0712	0,0046	0	0,9457	0,8402
Modal	5	0,576	0,005	0,0772	0	0,9508	0,9174
Modal	6	0,5	0,0001	0,0113	0	0,9509	0,9287
Modal	7	0,337	0,0226	0,0007	0	0,9735	0,9294
Modal	8	0,305	0,0007	0,0253	0	0,9742	0,9548
Modal	9	0,268	1,323E-05	0,0038	0	0,9742	0,9586

Gambar 2. Modal Participating Mass Ratio (MPMR)

Respon Spektrum Desain

Pembuatan kurva respon spektrum desain dengan mengacu pada Pasal 6.4 SNI 1726-2019, dengan data parameter yang sudah didapat saat perhitungan analisis statik ekivalen dengan Langkah-langkah sebagai berikut.
Nilai T_s dan T_0

$T_s = \frac{Sd1}{Sds} = \frac{0,64}{0,69} = 0,928$

T_0 = 0,2 x T_s = 0,2 x 0,928 = 0,186
Nilai Sa saat nilai T < T_0

$S_a = S_{DS}.\left(0,4 + 0,6.\frac{T}{T_0}\right)$

$S_a = 0,69\ .\left(0,4 + 0,6.\frac{0}{0,186}\right)$

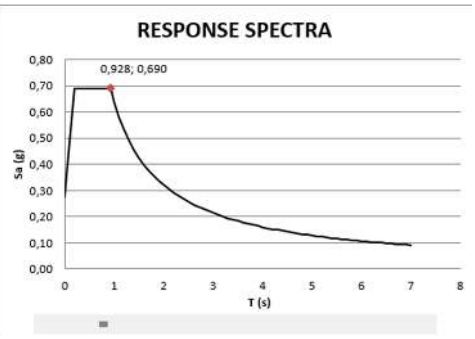
$S_a = 0,276$

Nilai Sa saat T_s > T > T_0
Sa = Sds
Sa = 0,69

Berdasarkan dari rangkaian perhitungan diatas, diplot menjadi kurva respon spektrum desain seeperti pada gambar dibawah.

Respon Spektra

T	Sa
0	0,276
0,186	0,690
0,386	0,690
0,586	0,690
0,928	0,690
1	0,640
1,5	0,427
2	0,320
2,5	0,256
3	0,213
3,5	0,183
4	0,160
4,5	0,142
5	0,128
5,5	0,116



Gambar 3. Kurva Respons Spektrum

Penskalaan Gaya
Berikut adalah penjabaran gaya geser dasar :
Vstatik = 1880,23 kN
Vstatik x Etabs = 1874,8 Kn
Vstatik y Etabs = 1878,09 kN
Vd arah x = 1410,9 kN
Vd arah y = 1286,8 kN

Berdasarkan SNI 1726-2019, perhitungan gaya geser dinamik hasil aplikasi pengolah atau ETABS v.22 harus sama dengan 100 persen nilai gaya geser statik. Dari hasil diatas maka dapat diketahui bahwa $V_{D\ arah\ x}$ dan $V_{D\ arah\ y}$ belum lebih besar dari Vs, sehingga perlu dilakukan skala gaya ulang. Perhitungan faktor skala gaya ulang dapat dilihat dibawah ini. Nilai Vs merupakan nilai gaya geser dasar statik yang sudah dihitung sebelumnya yaitu 2419,26 kN.

Faktor skala gaya arah X $= \frac{Vs}{VD} = \frac{1874,8}{1410,9}$
$= 1,3228$
Faktor skala gaya arah Y $= \frac{Vs}{VD} = \frac{1878,09}{1286,8}$
$= 1,4595$
Untuk input faktor skala gempa di Etabs adalah sebagai berikut
Faktor skala awal = g/R/I = 1,2258 m/S^2 = 1225,8 mm/S^2
Faktor skala baru =
SFx = 1226 x 1,3228 = 1629,09 mm/S^2
SFy = 1226 x 1,4595 = 1789,34 mm/S^2

Berikut adalah hasil gaya geser setelah dilakukan penskalaan gaya yang menurnjukan antara gaya geser statik dan gaya geser dinamik memiliki nilai yang hampir sama dan sudah memenuhi SNI.

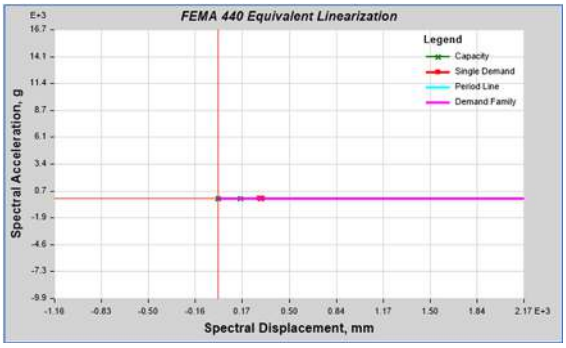
Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kN	FY kN
Spec X	LinRespSpec	Max		1874,7991	932,381
Spec Y	LinRespSpec	Max		1024,0972	1878,0879
SX	LinStatic	Step By Step	1	-1874,8072	0
SX	LinStatic	Step By Step	2	-1874,8072	0
SX	LinStatic	Step By Step	3	-1874,8072	0
SY	LinStatic	Step By Step	1	0	-1878,0939
SY	LinStatic	Step By Step	2	0	-1878,0939
SY	LinStatic	Step By Step	3	0	-1878,0939

Gambar 4. Gaya Geser Dasar Setelah Penskalaan Gaya

Hasil Analisis Pushover

Perilaku Strktur

Awalnya struktur berperilaku linier (kurva naik tajam). Setelah mencapai kapasitas puncak, kurva mulai melandai, menandakan terjadinya plastisitas dan penurunan kekakuan. Titik maksimum pada kurva ini adalah indikator kapasitas maksimum struktur dalam arah Y terhadap gaya gempa.



Gambar 5. Kurva Kapasitas Pushover X

Kekuatan bertambah seiring displacement sampai titik maksimum. Lalu terjadi penurunan kekakuan, yang menunjukkan struktur memasuki fase plastis. Kurva ini membantu menentukan titik kinerja struktur (performance point) di arah X.‘

Tabel 2. FEMA 440 Equivalent Linearization Push y

Sd	Sa	Period
mm	g	sec
0	0	0
0.013	0.000022	1.528
100.843	0.163163	1.577
222.971	0.256439	1.871
256.651	0.276792	1.932

Tabel 3. FEMA 440 Equivalent Linearization Push X

Sd	Sa	Period
mm	g	sec
0	0	0
0.008	0.000009	1.834
156.598	0.178922	1.877
299.844	0.262318	2.145

Hasil pendekatan linier ekuivalen (Equivalent Linearization) untuk menentukan performance point berdasarkan metode FEMA 440. Tabel ini memberikan nilai:

Performance point Y berada di
Sd = 256.651 mm,
Sa = 0.276792
g, periode = 1.932 s
Performance point X berada di
Sd = 299.844 mm,
Sa = 0.262318
g, periode = 2.145 s

Simpangan (Drift)

Interpretasi dengan Ketinggian Realistis. Lantai 1 (dasar–lantai 2) memiliki tinggi 5 meter, sehingga drift ratio-nya lebih kecil dibanding sebelumnya meskipun simpangannya tinggi. Lantai 2 ke atas setinggi 4.2 meter, menghasilkan nilai drift ratio yang sedikit lebih besar.

Tabel 4. Diaphragm Center Of Mass Displacements Push X

Story	Diaphragm	Output Case	UX (mm)	UY (mm)	RZ (rad)	X (m)	Y (m)	Z (m)
Lantai atap	D1	PUSH-X	395.005	-1.057	0.001936	4.245	8.2992	30.2
Lantai 7	D1	PUSH-X	379.466	4.489	0.001881	12.6451	8.0534	26
Lantai 6	D1	PUSH-X	352.385	6.013	0.001773	13.5082	8.2648	21.8
Lantai 5	D1	PUSH-X	310.912	5.719	0.001608	13.513	8.2795	17.6
Lantai 4	D1	PUSH-X	251.748	5.394	0.001388	13.5437	8.3	13.4
Lantai 3	D1	PUSH-X	175.444	4.547	0.001114	13.5078	8.2765	9.2
Lantai 2	D1	PUSH-X	80.617	3.336	0.000758	13.5343	8.293	5

Tabel.5 Diaphragm Center Of Mass Displacements Push X

Story	Diaphragm	Output Case	UX (mm)	UY (mm)	RZ (rad)	X (m)	Y (m)	Z (m)
Lantai atap	D1	PUSH-Y	9.049	262.409	0.008396	4.245	8.2992	30.2
Lantai 7	D1	PUSH-Y	10.274	322.586	0.008302	12.6451	8.0534	26
Lantai 6	D1	PUSH-Y	7.956	311.664	0.008136	13.5082	8.2648	21.8
Lantai 5	D1	PUSH-Y	7.182	281.392	0.007638	13.513	8.2795	17.6
Lantai 4	D1	PUSH-Y	6.105	235.334	0.006777	13.5437	8.3	13.4
Lantai 3	D1	PUSH-Y	4.871	171.023	0.005276	13.5078	8.2765	9.2
Lantai 2	D1	PUSH-Y	2.798	91.06	0.003134	13.5343	8.293	5

Langkah-langkah perhitungan dilakukan secara sistematis berdasarkan data hasil analisis pushover dari program ETABS, dengan langkah sebagai berikut:

1. Ambil nilai displacement lateral (UX untuk arah X, UY untuk arah Y) dari hasil analisis pushover pada setiap lantai.
2. Hitung selisih displacement antar lantai (misalnya UX lantai 2 dikurangi UX lantai dasar).
3. Gunakan tinggi antar lantai aktual, yaitu: 5.000 untuk lantai dasar ke lantai 2, 4.200 mm untuk lantai-lantai di atasnya.

Hitung drift ratio untuk masing-masing pasangan lantai menggunakan rumus:

Drift Ratio= $\Delta u/h \times 100\%$

Δu = selisih perpindahan antar lantai (dalam mm)

h = tinggi antar lantai (dalam mm)

Drift ratio dinyatakan dalam persen (%)

Tabel 6. Hasil Perhitungan Drift Ratio antar lantai

Antar Lantai	Simpangan X (mm)	*Drift Ratio* X (%)	Simpangan Y (mm)	*Drift Ratio* Y (%)	Tinggi Lantai
Atap-L7	15.539	0.37	-60.177	-1.43	4200
L7-L6	27.081	0.64	10.922	0.26	4200
L6-L5	41.473	0.99	30.272	0.72	4200
L5-L4	59.164	1.41	46.058	1.10	4200
L4-L3	76.504	1.82	64.311	1.53	4200
L3-L2	86.827	2.07	79.863	1.90	4200
L2-Dasar	88.617	1.77	91.060	1.82	5000

Koreksi tinggi lantai menyebabkan nilai drift ratio lantai dasar menurun (karena 5000 mm > 4200 mm), walaupun simpangan absolutnya tinggi.
Drift ratio tertinggi untuk:
Arah X: 2.07% pada L3–L2
Arah Y: 1.90% pada L3–L2 dan 1.82% pada L2–Dasar
Nilai ini masih berada di dalam batas aman untuk kriteria Life Safety (1–2.5% menurut ATC-40).

Evaluasi Performa Kolom K1

Kolom K1 merupakan elemen kolom utama dengan posisi di lantai dasar (kolom paling bawah), dan termasuk dalam sistem penahan gaya lateral pada arah X dan Y. Kolom ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Ukuran penampang : 500 mm × 500 mm
Tulangan longitudinal : 16 batang Ø19 mm
Tulangan transversal : Ø10 mm @150 mm
Beton mutu : fc′ = 25 MPa
Baja tulangan : BJTS U-40 (fy = 400 MPa)
Jumlah luas tulangan longitudinal:

$$A_s = 16 \times \left(\frac{\pi}{4} \times 19^2\right) = 16 \times 283.53 = \mathbf{4.536,48\ mm^2}$$

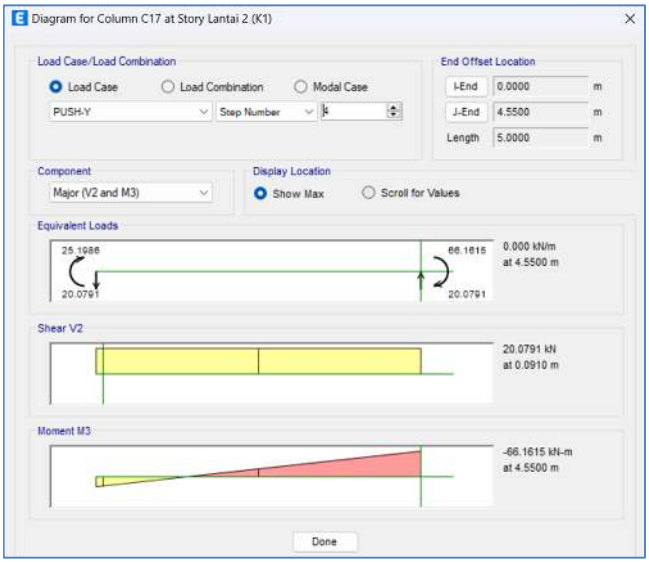
Luas Bruto penampang kolom :

$$A_g = 500 \times 500 = \mathbf{250.000\ mm^2}$$

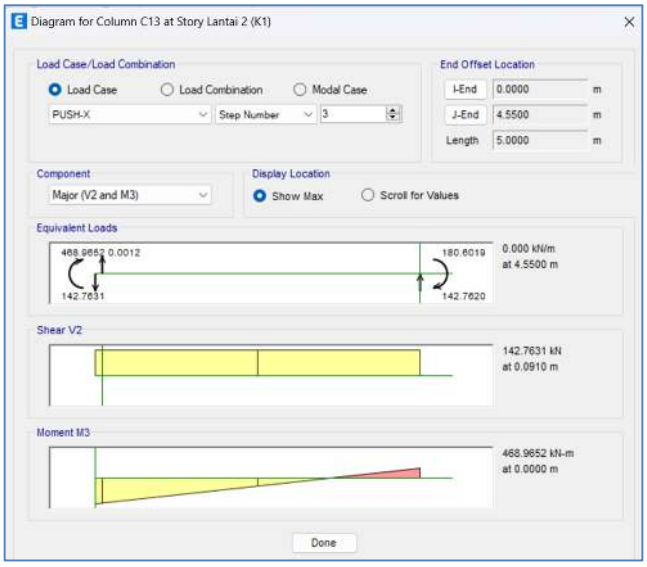
Rasio Tulangan :

$$\rho = \frac{A_s}{A_g} = \frac{4.536,48}{250.000} = \mathbf{1,81\%}$$

Nilai ini memenuhi persyaratan SNI 2847:2019, yaitu minimum 1% dan maksimum 4%. Berdasarkan hasil analisis pushover yang dilakukan dalam ETABS v21, sendi plastis terbentuk pada bagian bawah kolom K1, tepatnya di dekat tumpuan jepit (lumped plastic hinge location). Kategori sendi plastis yang muncul : Life Safety (LS).



Gambar 6. Diagram For Column C17 at Story Lantai 2 Push Y



Gambar 7. Diagram For Column C13 at Story Lantai 2 Push X

1. Nilai hasil pushover

Push − X (PUSH-X, Step 3)

Beban aksial (P) ≈ 134.05 kN

Gaya geser (V_2) maksimum ≈ 134.95 kN

Momen (M_3) maksimum ≈ 504.17 kN·m

Push − Y (PUSH-Y)

Beban aksial (P) ≈ 66.16 kN

Gaya geser (V_2) maksimum ≈ 20.08 kN

Momen (M_3) maksimum ≈ 66.16 kN·m

2. Rasio Demand / Capacity (axial) — sudah dihitung

Arah X: → ~2.9%

Arah Y: → ~1.4%

Interpretasi: dari sisi beban aksial saja, kolom jauh di bawah kapasitas tekan — aman. Namun ini belum mempertimbangkan interaksi P–M dan kapasitas geser

SIMPULAN

Hasil pushover menunjukkan kapasitas struktur pada kedua arah (base shear puncak = 3.860 kN arah X dan 4.240 kN arah Y). Untuk kolom-kolom yang dianalisis (contoh K1 / C17), gaya aksial yang timbul relatif kecil dibanding kapasitas tekan desain kolom (φP_n = 4.570 kN untuk K1). Dengan demikian dari sisi kapasitas tekan aksial kolom masih jauh aman. Namun penilaian kapasitas kolom harus memperhitungkan interaksi P–M dan kapasitas geser; keluaran pushover menunjukkan momen dan gaya geser pada beberapa kolom (mis. Mmax = 504 kN·m, Vmax = 135 kN pada contoh C17).

Displacement/performance point hasil linearisasi FEMA 440: Sd X = 299.84 mm dan Sd Y = 256.65 mm. Drift ratio tertinggi terukur pada antar-lantai L3–L2: arah X = 2.07%, arah Y = 1.90%; untuk L2–Dasar arah Y = 1.82%. Nilai drift tertinggi ini masuk rentang Life Safety (LS) menurut acuan ATC-40 (1–2.5%). Artinya deformasi lateral relatif besar tetapi belum mencapai ambang Collapse Prevention (CP).

Berdasarkan drift ratio dan klasifikasi plastic hinge yang terlihat: mayoritas sendi plastis muncul pada balok (terutama lantai bawah), sementara beberapa kolom menunjukkan plastisitas pada level LS; tidak ditemukan dominasi CP pada kolom sehingga tidak terjadi keruntuhan global. Oleh karena itu, kinerja struktur/kolom secara keseluruhan dapat dikatakan mencapai level Life Safety (LS) untuk gempa rencana menurut perbandingan dengan kriteria FEMA 440 / ATC-40.

Sebagai kelanjutan dari hasil penelitian ini, disarankan agar dilakukan verifikasi lapangan terhadap elemen-elemen kolom, khususnya pada zona plastis di lantai bawah, untuk memastikan kesesuaian antara desain dan pelaksanaan di lapangan. Meskipun struktur telah memenuhi kriteria kinerja seismik berdasarkan SNI 1726:2019 dan ATC-40, penambahan elemen peredam gaya lateral seperti dinding geser di area inti bangunan dapat dipertimbangkan guna meningkatkan kekakuan dan kapasitas deformasi struktur.

Selain itu, untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam terhadap respons dinamik struktur, analisis lanjutan menggunakan metode nonlinear time history sangat disarankan. Pendekatan ini dapat mengevaluasi perilaku struktur terhadap gempa riil secara waktu-nyata (real-time loading), dan memberikan gambaran yang lebih representatif terhadap ketahanan struktur dalam kondisi ekstrem yang tidak dapat sepenuhnya dicapai melalui analisis pushover.

DAFTAR PUSTAKA

Aji Mustofa, R., Riakara Husni, H., & Isneini, M. (2024). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Analisis Pushover (Studi Kasus: Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung). 12, 27–38.

Badan Standar Nasional. (2019). SNI 2847-2019. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan.

Badan Standard Nasional. (2019). SNI 1726-2019. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.

Budi Asmara, K., Isneini, M., & Niken DWSB, C. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tinggi dengan Analisis Pushover Menggunakan Aplikasi Pemodelan Struktur (Studi Kasus: The Venetian Tower). 9, 177–188.

Castro, F., & Darmiyanti, L. (2020). Analisis Elemen Vertikal Pada Struktur Bangunan Gedung Hotel Chadstone Cikarang Jawa Barat. Jurnal Teknokris, 23. www.puskim.pu.co.id

Chandra, I. N. (2023). Analisis Struktur Atas Gedung 4 Lantai Wisma Mulya Syariah Kota Bukittinggi Terdahap Beban Gempa Dengan Penerapan Metode Pushover Analysis.

Enggartiasto, L., Kristiawan, A., Ikhwanudin, I., & Afifah, R. C. (2024). Analisis Kinerja Struktur Bangunan Gedung Laboratorium 5 Lantai Terhadap Gempa Kuat. Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil, 14, 612. https://doi.org/10.29103/tj.v14i2.1186

Hasudungan, D., Sahat, ; Sihombing, M., Achmad, ; & Rodji, P. (2024). Analisis Elemen Vertikal Dan Horizontal Terhadap Struktur Bangunan Gedung Hotel Soll Marina Tangerang.

Hutama, B. P. (2021). Evaluasi Kinerja Bangunan Rumah Sakit Santa Maria Pemalang dengan Non-linier Static Pushover Analysis Metode ATC-40 dan FEMA 440. INERSIA lnformasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur, 17, 118–129. https://doi.org/10.21831/inersia.v17i2.25511

Komarudin, R., & Khoeri, H. (2018). ANALISIS PEMODELAN BENTUK GEDUNG T DAN L DENGAN INERSIA YANG SAMA TERHADAP RESPONS SPEKTRUM.

Kubon Tubuh, I. K. D., Putra Wirawan, I. P. A., & Sukharatta, I. W. (2022). Level Kinerja Struktur Gedung B SMP Negeri 14 Denpasar Menggunakan Analisis Pushover Berdasarkan Fema 356. Jurnal Ilmiah Kurva Teknik, 11, 47–56. https://doi.org/10.36733/jikt.v11i1.3934

Kurniawati, R., Bayzoni, Riakara Husni, H., & Isneini, M. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Nonlinear Static Pushover.