

Analisis *Pushover* Pada Kekuatan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Gedung Graha Adhyaksa Kejaksaan Kota Blitar Menggunakan SAP 2000

Pushover Analysis on The Strength of Earthquake-Resistant Reinforced Concrete Structures of the Graha Adhyaksa Building of The Prosecutor's Office of Blitar City using SAP 2000

Tegar Ramadhana Putra^{*1}, Trisno Widodo², Risma Dwi Atmajayani³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Ilmu Eksakta, Universitas Nahdlatul Ulama blitar

Email: ^{1*}radensamputra11@gmail.com, ²trisno_widodo@yahoo.com, ³rismadwiatmaja@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja struktur gedung Kejaksaan Negeri Kota Blitar terhadap beban gempa menggunakan metode *pushover* berdasarkan SNI 1726:2019 dan pedoman ATC-40. Metode *pushover* merupakan teknik analisis nonlinear statik yang dapat menggambarkan kapasitas struktur terhadap beban lateral hingga kondisi kegagalan. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000 dengan input parameter beban gempa berdasarkan spektrum respons lokasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa gedung masuk dalam kategori kinerja *Immediate Occupancy (IO)* berdasarkan kurva kapasitas dan titik performa yang dianalisis. Hal ini menunjukkan bahwa struktur masih dalam kondisi aman dan dapat segera digunakan kembali setelah terjadi gempa. Dengan demikian, gedung Kejaksaan Negeri Kota Blitar dinyatakan memenuhi kriteria struktur tahan gempa sesuai peraturan yang berlaku

Kata Kunci: Analisis *Pushover*, SAP2000, SNI 1726:2019, ATC-40, Performa Struktur

Abstrack

This study aims to analyze the structural performance of the Blitar City District Attorney's Office building under earthquake loads using the pushover method, based on SNI 1726:2019 and the ATC-40 guidelines. The pushover method is a nonlinear static analysis technique that describes the structure's capacity under lateral loads up to failure. The structural modeling was conducted using SAP2000 software, with earthquake loads derived from the local response spectrum. The analysis results show that the building falls into the Immediate Occupancy (IO) performance level based on the capacity curve and performance point. This indicates that the structure remains safe and can be reoccupied immediately after an earthquake. Therefore, the building is considered to meet the earthquake-resistant structure criteria according to the applicable standards.

Keyword: Pushover Analysis, SAP2000, SNI 1726:2019, ATC-40, Structural Performance

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik, sehingga memiliki tingkat kerawanan gempa yang tinggi. Seiring meningkatnya kebutuhan infrastruktur, terutama bangunan publik seperti sekolah dan kantor pemerintahan, ketahanan struktur terhadap beban gempa menjadi aspek krusial dalam perencanaan dan analisis struktur bangunan. Salah satu pendekatan penting untuk mengevaluasi ketahanan tersebut adalah melalui analisis nonlinear statik atau *pushover analysis* yang memungkinkan untuk menilai performa struktur hingga mencapai kondisi keruntuhan.

Dalam rangka menjamin keamanan dan kenyamanan pengguna bangunan, peraturan nasional seperti SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa serta SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton struktural, dijadikan acuan utama dalam desain struktur. Peraturan ini tidak hanya memperhitungkan gaya gempa statik ekuivalen, tetapi juga mendukung penerapan metode evaluasi lanjutan seperti analisis *pushover* untuk bangunan yang berada di zona rawan gempa. Dengan metode tersebut, dapat diperoleh gambaran mengenai

kapasitas struktur terhadap gaya lateral, distribusi plastisitas elemen, hingga level kinerja bangunan pasca gempa.

Penelitian ini mengambil studi kasus pada gedung Kantor Kejaksaan Negeri Kota Blitar, yang merupakan bangunan berlantai tiga dengan sistem struktur beton bertulang. Dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000, struktur dianalisis terhadap beban gempa menggunakan metode *pushover* sesuai ketentuan ATC-40. Hasil analisis diharapkan dapat menunjukkan sejauh mana kinerja struktur tersebut dalam menghadapi skenario gempa, serta menentukan apakah bangunan mampu memenuhi kriteria struktur tahan gempa berdasarkan standar nasional dan internasional yang berlaku.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif analitis, yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan eksisting terhadap beban gempa melalui metode *pushover analysis*. Penelitian ini menitikberatkan pada pemodelan dan analisis numerik menggunakan perangkat lunak SAP2000 versi 22, mengacu pada standar nasional seperti SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, serta pedoman internasional ATC-40 dan FEMA 356

Lokasi penelitian adalah Gedung Graha Adhyaksa Kejaksaan Kota Blitar, yang merupakan bangunan pemerintahan berlantai dua, berfungsi sebagai fasilitas publik yang berada di kawasan rawan gempa. Obyek yang diteliti berupa struktur beton bertulang utama, terutama komponen kolom, balok, dan pelat lantai. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini terdiri dari:

- a. Pengumpulan Data
 1. Data primer, yaitu hasil pengukuran langsung di lapangan seperti dimensi kolom, balok, tinggi lantai, jumlah lantai, dan data visual kondisi struktur. Data dimensi elemen struktur (kolom dan balok)
 2. Data sekunder, berupa gambar rencana bangunan (as-built drawing), spesifikasi material, serta parameter seismik yang diperoleh dari peta gempa dan sumber resmi seperti Puskim atau BMKG.
- b. Studi Literatur

Dilakukan kajian pustaka terhadap regulasi dan standar yang digunakan, yaitu:

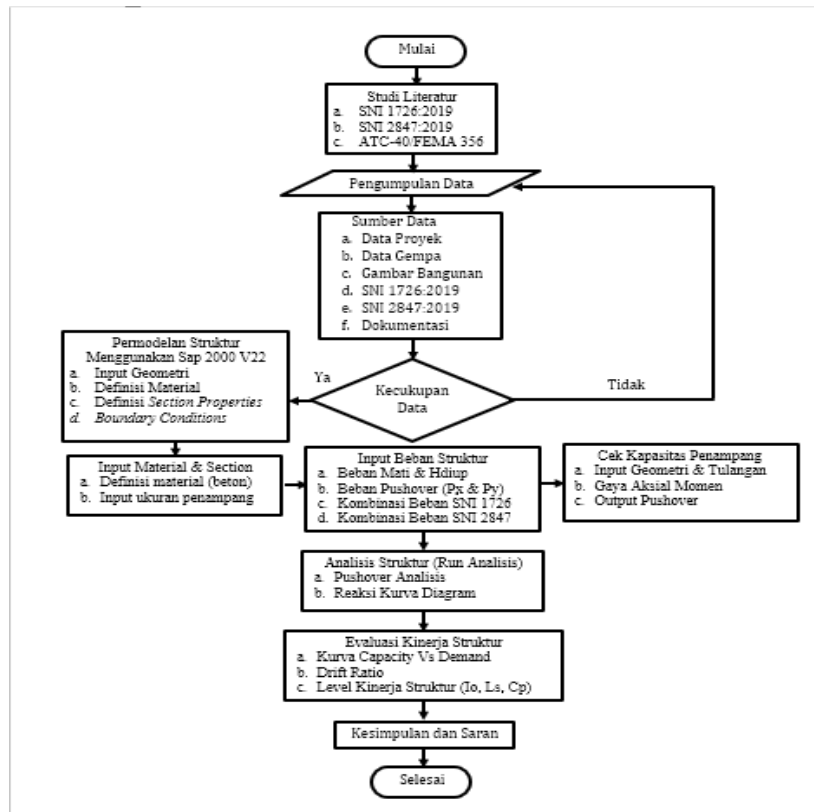
 1. SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.
 2. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
 3. Perangkat lunak SAP2000 v22 untuk pemodelan struktur dan analisis *pushover*.
 4. ATC-40 dan FEMA 356 sebagai standar evaluasi kinerja struktur terhadap beban gempa.
- c. Tahapan Analisis Penelitian

Langkah-langkah dalam metode ini adalah sebagai berikut:

 1. Pemodelan Struktur di SAP2000
 - a) Mendefinisikan material (beton $f_c' = 25$ MPa, tulangan $f_y = 400$ MPa)
 - b) Membuat elemen struktur: kolom, balok, pelat
 - c) Menentukan kondisi tumpuan dan boundary conditions
 - d) Menginput beban mati, beban hidup, dan beban gempa
 2. Penerapan Beban Gempa

Beban gempa diterapkan menggunakan metode **analisis statik nonlinier (*pushover*)** dengan mengacu pada **spektrum desain respons** dari SNI 1726:2019, serta mempertimbangkan faktor keutamaan gempa (I_e), kategori risiko, dan kelas situs.

3. Analisis *Pushover*
 - a) Memberikan pola beban lateral secara bertahap hingga struktur mencapai target perpindahan (δ).
 - b) Mengidentifikasi terbentuknya sendi plastis pada komponen struktur.
 - c) Menghasilkan kurva kapasitas (*pushover curve*) yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (V) dan perpindahan (δ).
 4. Evaluasi Kinerja Struktur
 - a) ATC-40 Capacity Spectrum Method, untuk mengetahui level kinerja struktur (IO, LS, CP, dll) melalui titik perpotongan antara kurva kapasitas dan spektrum demand.
 - b) FEMA 356 Displacement Coefficient Method, untuk menghitung target perpindahan berdasarkan parameter inelastisitas dan mengevaluasi drift maksimum struktur.
 5. Interpretasi Hasil
 - a) Menilai apakah struktur masih dalam kondisi elastis atau telah memasuki kondisi inelastis.
 - b) Menentukan level kinerja berdasarkan rasio drift dan distribusi sendi plastis.
 - c) Memberikan rekomendasi teknis perbaikan atau penguatan jika diperlukan.
- d. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gedung Graha Adhyaksa Kejaksaan Kota Blitar merupakan bangunan dua lantai yang menggunakan sistem struktur beton bertulang. Elemen-elemen struktur utama terdiri dari pondasi tipe strauss dan pilecap, kolom, balok induk dan anak, serta pelat lantai beton bertulang. Data material yang digunakan yaitu adalah sebagai berikut:

a. Data Spesifikasi Material

Tabel 1. Data Material Beton

Data Material	Nilai
Berat jenis beton	2400 kg/m ³
Modulus elastisitas beton	$4700\sqrt{f_c}=23.500$ Mpa
Kuat tekan beton	25 pa

Tabel 2. Data Perencanaan Tebal Plat Lantai

Lantai	Tebal Pelat Lantai
Lantai 2	130 mm
Lantai 3	130

Table 3. Data Dimensi Pondasi Strauss

No.	Jenis Pondasi	Diameter (mm)
1.	Pondasi P1	300
2.	Pondasi P2	300
3.	Pondasi P3	300
4.	Pondasi P4	300
5.	Pondasi P5	300

Table 4. Data Dimensi Kolom

No.	Jenis Kolom	Dimensi Kolom (mm)
1.	Kolom 1 (KS1)	500 x 500
2.	Kolom 2 (KS2)	300 x 300
3.	Kolom 3 (KS3)	250 x 250
4.	Kolom (KPT)	250 x 250
5.	Kolom Praktis (KP)	120 120

Table 6. Data Dimensi Balok

No.	Jenis Balok	Dimensi Balok (mm)
1.	Balok 1 (BL1)	350 x 650
2.	Balok 2 (BL2)	250 x 400
3.	Balok 3 (BL3)	250 x 400
4.	Balok 4 (BL4)	200 x 400
5.	Balok 5 (BL5)	150 x 200

Tabel 7. Pembebanan

Pembebanan Tetap			
Beban Mati Tambahan Pada Lantai (SDL)			
Berat spesi setebal 3cm	=	0,63	kg/m ²

Berat keramik setebal 1 cm	=	24	kg/m ²
Berat plafon & penggantung	=	18	kg/m ²
Berat instalasi ME	=	25	kg/m ²
Total beban mati tambahan pada lantai	=	68	kg/m ²
Beban Mati Pada Balok			
Beban dinding tinggi 3,7m	=	93	kg/m'

Beban Gempa

Lokasi Bangunan = Kota Blitar

Kelas Situs = E (Tanah Lunak)

Jenis Bangunan = Rumah Tinggal Mesh

Tinggi Bangunan (seismik) = 13,1 m

Data Seismik

Berdasarkan data penyelidikan tanah melalui aplikasi RSAP Puskim 2021 diperoleh :

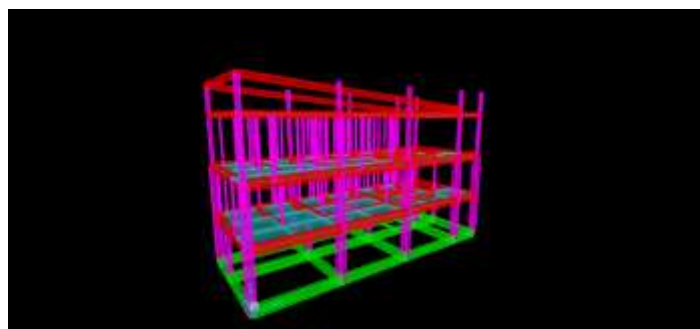
Kategori Resiko	=	II
Faktor Keutamaan	=	1
Ss	=	0.998286 g
S1	=	0.458203 g
TL (Periode transisi jangka panjang)	=	20 detik

Berdasarkan lokasi, didapatkan nilai spektral percepatan dari aplikasi Desain Spektra Indonesia RSA PUSKIM 2021 dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 8. Nilai Spektral

Variabel	Nilai
PGA	0.459227 g
PGAm	0.588521 g
CRs	0.000000
CR1	0.000000
Ss	0.998286 g
S1	0.458203 g
TL	20.000000 detik
Fa	1.101371
Fv	2.283594
Sms	1.099483 g
Sm1	1.046349 g
Sds	0.732989 g
Sd1	0.697566 g
T0	0.190335 detik
Ts	0.951674 detik

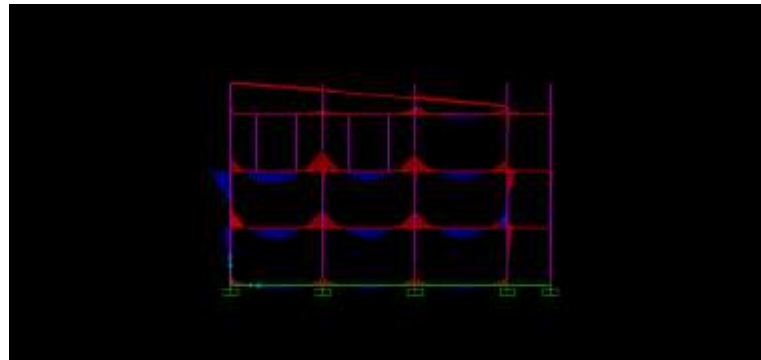
b. Pemodelan Stuktur Bangunan



Gambar 2. Permodelan Struktur 3D View SAP2000 V22

c. Hasil Analisa Stuktur SAP2000 V22

Berikut hasil analisis dan penulangan menggunakan Aplikasi Structural Analysis Program 2000 V22 yang disajikan pada Gambar 2 dan 3 adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Hasil Analisis SAP2000 V22

Hasil Desain Struktur Beton Bertulang

Hasil analisis gaya geser dan perpindahan (kurva pushover) pada Bab IV dokumen *Analisis Pushover Adhyaksa Kota Blitar* mencerminkan kemampuan struktur Gedung Adhyaksa dalam menghadapi beban gempa melalui pendekatan nonlinier statik menggunakan metode pushover di SAP 2000. Berikut penjelasan hasilnya:

1. **Kurva Pushover (Base Shear vs Displacement)**

Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (base shear) dan perpindahan lateral di titik kontrol (biasanya di atap). Dari hasil analisis, kurva ini digunakan untuk mengevaluasi kapasitas struktur terhadap beban lateral yang meningkat secara bertahap hingga struktur mengalami pelelehan pada beberapa elemen struktural. Kurva ini memungkinkan identifikasi titik leleh pertama hingga kondisi pasca-elastik, menunjukkan bagaimana struktur menahan dan mendistribusikan beban gempa seiring bertambahnya deformasi.

2. **Gaya Geser Dasar (V_t)**

Gaya geser dasar maksimum (V_t) yang dihasilkan menunjukkan besarnya gaya yang dapat ditahan struktur sebelum mencapai target perpindahan. V_t digunakan untuk membandingkan dengan gaya geser akibat gempa rencana. Jika V_t lebih besar dari gaya akibat gempa rencana, maka struktur berada dalam kondisi elastis. Sebaliknya, bila lebih kecil, maka struktur sudah memasuki kondisi inelastis saat terjadi gempa.

3. **Perpindahan Target dan Evaluasi Kinerja**

Perpindahan target (δT) ditentukan melalui perpotongan kurva kapasitas dan spektrum respons (ATC-40). Evaluasi dilakukan berdasarkan batasan drift (simpangan) struktur. Berdasarkan ATC-40, struktur dikategorikan pada level kinerja seperti Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS), atau Structural Stability (SS). Dalam penelitian ini, simpangan total maksimum dibandingkan dengan kriteria ATC-40 dan ketentuan SNI 1726:2012 yang menyatakan bahwa perpindahan tidak boleh melebihi 2% dari tinggi total struktur.

Hasil Analisis Gaya Geser dan Perpindahan (Kurva Pushover)

1. **Perilaku Struktur Terhadap Beban Gempa**

Struktur Gedung Adhyaksa dianalisis dengan metode pushover menggunakan SAP2000 untuk melihat bagaimana elemen-elemen struktur seperti kolom dan balok merespons pembebanan gempa secara bertahap hingga mencapai kondisi pasca-elastis. Hasil

menunjukkan bahwa selama proses peningkatan beban lateral, struktur mengalami pelepasan pada beberapa elemen yang ditunjukkan dengan terbentuknya sendi plastis. SAP 2000 menunjukkan titik-titik pada elemen struktur di mana terjadi leleh, yang mengindikasikan dimulainya kerusakan local.

2. Evaluasi Kinerja Berdasarkan Drift dan Target Perpindahan

Evaluasi kinerja struktur dilakukan dengan membandingkan target perpindahan hasil pushover terhadap batas maksimum perpindahan izin yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019, yaitu 2% dari tinggi bangunan. Kurva target perpindahan struktur yang dihitung menggunakan metode ATC-40 dan kapasitas kurva (capacity spectrum method) menunjukkan bahwa struktur masih berada dalam batas aman dan tidak melampaui nilai drift maksimum.

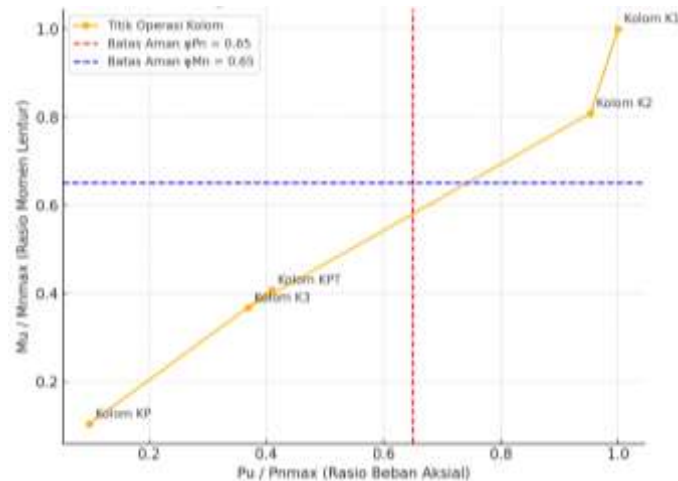
3. Level Kinerja Struktur

Mengacu pada ATC-40, level kinerja struktur Gedung Adhyaksa berada pada kategori Life Safety (LS), yang berarti: meskipun terjadi kerusakan signifikan saat gempa, elemen utama struktur tidak runtuh dan bangunan masih dapat difungsikan setelah dilakukan perbaikan. Ini menunjukkan bahwa struktur cukup andal terhadap beban gempa yang direncanakan, meskipun tetap perlu diperhatikan aspek perawatan dan kemungkinan retrofit di masa depan. Berikut tabel menurut level kinerja struktur ATC- 40

Tabel 9. Tabel Momen *Pushover* Pada Kolom

Elemen Struktur	Dimensi (cm)	Pu (kN)	Mu (kNm)
Kolom K1	50 x 50	89,185 kN	110,657 kNm
Kolom K2	30 x 30	84,987 kN	89,487 kNm
Kolom K3	25 X 25	32,833 kN	40,678 kNm
Kolom KPT	25 X 25	36,473 kN	45,098 kNm
Kolom KP	12 x 12	4,729 kN	7,519 kNm

Berikut adalah diagram interaksi Pu-Mu untuk kolom-kolom struktur pada bangunan, dengan memperlihatkan rasio terhadap kapasitas maksimum dan batas aman desain menurut SNI 2847:2019:



Gambar 4. Diagram Interaksi (Pu & Mu) Kolom

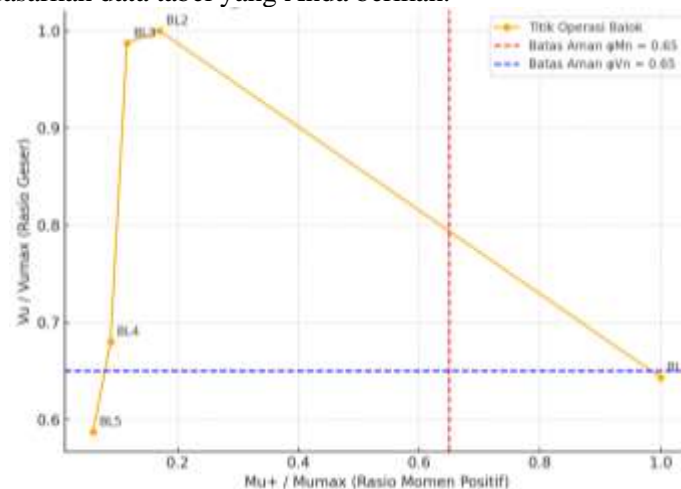
Berikut adalah diagram interaksi antara gaya tekan aksial maksimum (P_u) dan momen lentur maksimum (M_u) untuk elemen kolom pada struktur bangunan. Diagram ini menggambarkan hubungan kekuatan kolom terhadap beban kombinasi, yang menjadi dasar untuk mengevaluasi faktor kontrol keamanan struktur sesuai peraturan SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019

1. Diagram Interaksi:
 - a. Titik-titik oranye adalah posisi masing-masing kolom berdasarkan rasio beban aksial (P_u) dan momen lentur (M_u).
 - b. Garis merah vertikal ($\phi P_n = 0.65$) dan garis biru horizontal ($\phi M_n = 0.65$) adalah batas aman kekuatan desain sesuai faktor reduksi beban SNI ($\phi = 0.65$ untuk kombinasi lentur dan tekan).
 - c. Titik di luar area batas aman (kanan atas dari garis ϕ) berarti kolom tersebut berisiko melebihi kapasitas desain.
2. Makna Titik Dalam Diagram Interaksi
 - a. Sumbu X: Rasio beban aksial P_u dibandingkan P_{nmax} (kapasitas aksial maksimum).
 - b. Sumbu Y: Rasio momen M_u dibandingkan M_{nmax} (kapasitas momen maksimum).
 - c. Setiap titik mewakili kondisi aktual kerja kolom.
3. Analisis Faktor Keamanan:
 - a. Kolom K1 dan K2 berada melewati batas aman (rasio P_u dan $M_u > 0.65$). Artinya, kolom ini bekerja mendekati kapasitas maksimumnya.
 - b. Kolom K3, KPT, dan KP berada dalam zona aman.
 - c. Syarat Keamanan: Agar sebuah kolom dinyatakan AMAN, titik bebannya (P_u, M_u) harus berada di dalam kurva kapasitas desain ($\phi P_n, \phi M_n$) yang spesifik untuk kolom tersebut.

Tabel 10. Tabel Momen *Pushover* Pada Balok

Elemen Struktur	Dimensi (cm)	Mu+ (kNm)	Mu- (kNm)	Vu (Kn)
Balok BL1	35 x 65	180,287	9,195	5,338
Balok BL2	25 x 40	30,635	10,736	8,297
Balok BL3	25 x 40	20,864	14,382	8,193
Balok BL4	20 x 40	15,974	7,383	5,643
Balok BL5	15 x 20	10,753	7,097	4,873

Berikut adalah Diagram Interaksi Momen Lentur (M_u) dan Gaya Geser (V_u) untuk elemen-elemen balok berdasarkan data tabel yang Anda berikan.



Gambar 4. Diagram Interaksi (P_u & M_u) Balok

Berikut adalah diagram interaksi antara momen lentur positif (M_u^+) dan gaya geser (V_u) dari elemen balok struktur. Diagram ini menunjukkan seberapa besar beban yang bekerja

terhadap kapasitas maksimumnya, serta kecukupan keamanan struktur berdasarkan batas aman desain menurut SNI 2847:2019. Berikut adalah penjelasan tentang interpretasi diagram diatas:

1. Sumbu:
 - a. Sumbu X: Rasio momen lentur positif (M_u^+) dibandingkan kapasitas momen maksimum.
 - b. Sumbu Y: Rasio gaya geser (V_u) terhadap gaya geser maksimum.
2. Garis Batas:
 - a. Warna merah Garis vertikal ($\phi M_n = 0.65$) → batas aman desain momen lentur.
 - b. Warna Biru Garis horizontal ($\phi V_n = 0.65$) → batas aman desain gaya geser.
3. Titik:
 - a. Warna merah Garis vertikal ($\phi M_n = 0.65$) → batas aman desain momen lentur.

Momen (M_u) dan geser (V_u) adalah parameter utama dalam desain elemen lentur seperti balok. Evaluasi rasional terhadap rasio kerja terhadap kapasitas penting dilakukan menggunakan prinsip desain ultimit sesuai SNI 2847:2019. Momen lentur (M_u) adalah momen akibat kombinasi beban ultimit yang bekerja pada balok. Biasanya muncul karena beban merata atau terpusat yang menyebabkan balok mengalami lenturan. Satuan: kNm (kiloNewton-meter).

Table 11. Lenturan

Balok	M_u (kNm)	V_u (kN)	Evaluasi
BL1	180,287	5,338	Aman – momen besar, geser relatif kecil
BL2	30,635	8,297	Perlu kontrol geser (V_u tinggi dibanding M_u)
BL3	20,864	8,193	Potensi geser kritis
BL4	15,974	5,643	Masih aman, tetapi perlu dicek terhadap V_c & V_s
BL5	10,753	4,873	Umumnya aman (V_u rendah dan M_u kecil)

Kesimpulan:

- a. Balok BL2 dan BL3 memiliki gaya geser tinggi dibanding momen, menandakan perlu desain tulangan geser tambahan (stirrup).
- b. Balok BL1 memiliki momen dominan, cocok untuk lokasi tumpuan atau bentang memanjang.
- c. Semua balok masih berada dalam area aman menurut grafik, namun kontrol detail $V_u > \phi V_c$ sangat penting untuk balok kecil seperti BL2 dan BL5.

Hasil Perilaku dan Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa

Hasil evaluasi terhadap **sendi plastis** menunjukkan bahwa sebagian besar elemen struktur mengalami sendi plastis pada level IO (Immediate Occupancy) hingga LS (Life Safety), yang artinya struktur mengalami kerusakan ringan hingga sedang namun tetap aman secara struktural. Berdasarkan hasil analisis kurva pushover dan pemeriksaan level kinerja struktur menggunakan ATC-40, diperoleh bahwa struktur berada pada level kinerja “Life Safety (LS)” dengan drift maksimum 0,0143 atau 1,43% terhadap total tinggi bangunan. Nilai ini masih berada di bawah batas maksimum total drift untuk level LS sebesar 2% sesuai standar ATC-40.

Tabel 12. Evaluasi Level Kinerja Struktur ATC-40

Elemen Struktur	Dimensi (cm)	P_u (kN)	M_u (kNm)	Evaluasi ATC-40
Pondasi	Ø30, 7D16	30.000	15.000	<i>Life Safety (LS)</i> — jauh dari kapasitas batas
Kolom K1	50 x 50	89.185	110.657	<i>Immediate Occupancy (IO)</i> — struktur kuat
Kolom K2	30 x 30	84.987	89.487	<i>LS</i> — efisien dan aman
Kolom K3	25 x 25	32.833	40.678	<i>Damage Control</i> — perlu perkuatan jika driftnya besar
Kolom KPT	25 x 25	36.473	45.098	<i>LS-CP Borderline</i> — cek deformasi
Kolom KP	12 x 12	8.729	11.519	<i>Collapse Prevention (CP)</i> — terlalu kecil, rawan gagal

Elemen Struktur	Dimensi (cm)	Pu (kN)	Mu (kNm)	Evaluasi ATC-40
Balok BL1	35 x 65	-	180.287	<i>IO-LS</i> — elemen kaku, mampu menahan beban gempa tinggi
Balok BL2	25 x 40	-	30.635	<i>LS</i> — lentur dominan, geser harus dikontrol
Balok BL3	25 x 40	-	20.864	<i>LS-CP</i> — potensi keruntuhan geser
Balok BL4	20 x 40	-	15.974	<i>CP Borderline</i> — dimensi kecil, rentan pada pushover
Balok BL5	15 x 20	-	10.753	<i>CP</i> — masuk kategori kerusakan berat lebih cepat

Penyesuaian dengan ATC-40:

ATC-40 (*Applied Technology Council*) membagi level kinerja struktur menjadi:

- Immediate Occupancy* (IO) → Struktur tetap berfungsi pasca-gempa, deformasi kecil.
- Life Safety* (LS) → Struktur mengalami kerusakan, namun tidak runtuh.
- Collapse Prevention* (CP) → Struktur nyaris gagal, digunakan pada analisis pushover sebagai batas minimum.

Dari kurva kapasitas (*pushover curve*) yang dihasilkan, tampak bahwa struktur awalnya bersifat elastis kemudian masuk ke daerah plastis hingga mencapai kondisi batas. Struktur menunjukkan adanya deformasi yang terus meningkat dengan penambahan gaya lateral hingga mendekati titik pelunakan (*yielding*) dan akhirnya mencapai batas kinerja tertentu (*performance point*). Berdasarkan titik performa (*performance point*) yang dihitung dengan metode *Capacity Spectrum Method* (CSM), diperoleh simpangan maksimum gedung akibat beban gempa. Level kinerja gedung berada pada kategori *Immediate Occupancy* (IO) hingga *Life Safety* (LS) tergantung pada lantai dan elemen struktur tertentu, yang menunjukkan bahwa bangunan masih mampu menahan beban gempa tanpa kerusakan struktural yang signifikan. Ini berarti bangunan masih aman dihuni pasca-gempa ringan hingga sedang, dan tidak terjadi keruntuhan struktural global.

Hasil analisis menunjukkan nilai displacement maksimum arah X sebesar $\pm 42,379$ mm dan arah Y sebesar $\pm 45,473$ mm. Ini sesuai dengan batasan kinerja struktur dalam SNI 1726:2019 dan ATC-40. Nilai gaya geser dasar (base shear) pada masing-masing arah juga diperoleh, yang menunjukkan kemampuan struktur dalam menahan gaya gempa lateral. Adanya distribusi plastisitas pada elemen balok dan kolom menunjukkan bahwa struktur mendistribusikan energi gempa secara merata, memperlihatkan perilaku daktail yang baik sebagaimana diharapkan dalam desain tahan gempa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis struktur gedung MTS Syech Subakir dengan metode statik nonlinier pushover menggunakan perangkat lunak SAP2000 v22, diperoleh bahwa bangunan mengalami perpindahan lateral (displacement) maksimum sebesar 0,021 m yang masih berada dalam batas toleransi simpangan antar lantai menurut ketentuan SNI 1726:2019. Nilai base shear maksimum yang terjadi sebesar 172,81 kN, dengan kapasitas beban lateral yang mencerminkan kinerja struktur cukup baik dalam merespons gaya gempa statik nonlinier. Hal ini menunjukkan bahwa struktur bangunan mampu menahan gaya lateral gempa hingga kondisi performa tertentu sebelum mengalami keruntuhan.

Distribusi gaya gempa yang diterapkan secara bertahap pada analisis pushover memperlihatkan bahwa kerusakan awal (*yielding*) terjadi pada elemen balok terlebih dahulu sebelum kolom. Ini sesuai dengan prinsip desain struktur tahan gempa yaitu *strong column-weak beam*. Hasil penggambaran kurva kapasitas menunjukkan bahwa bangunan berada pada tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO), artinya struktur dapat segera digunakan setelah

terjadi gempa ringan tanpa memerlukan perbaikan signifikan. Evaluasi ini didasarkan pada perbandingan antara titik performa (performance point) dan batas-batas kriteria kinerja berdasarkan ATC-40.

Analisis interaksi kolom menggunakan diagram kapasitas (P-M Interaction) menunjukkan bahwa nilai momen dan gaya aksial (M_u dan P_u) akibat beban gempa masih berada dalam area aman (daerah hijau), menandakan bahwa komponen kolom memiliki kapasitas memadai terhadap kombinasi beban gempa. Dengan demikian, struktur gedung MTS Syech Subakir Kecamatan Nglegok dinyatakan aman dan memenuhi syarat perencanaan berdasarkan SNI 1726:2019 serta ATC-40. Hasil ini dapat menjadi acuan dalam evaluasi seismik untuk gedung sekolah serupa yang berada pada kawasan seismik menengah hingga tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 1726:2019 – Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung. Jakarta: BSN.
- [2] Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019 – Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta: BSN.
- [3] Computers and Structures, Inc. (2020). SAP2000 v22 – Integrated Software for Structural Analysis and Design. Berkeley, California: CSI.
- [4] Irsyad, A., & Pratama, A. (2021). “Analisis Struktur Bangunan Gedung Bertingkat Menggunakan SAP2000 Berdasarkan SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019.” *Jurnal Teknik Sipil Nusantara*, Vol. 10, No. 2, pp. 117-125.
- [5] Chandra, A. (2023). “Analisis Gedung 4 Lantai Wisma Mulya Syariah terhadap Beban Gempa Menggunakan SAP2000.” *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, Vol. 12, No. 1, pp. 55-63.
- [6] Ulfah, N., & Zulfikar, M. (2023). “Pengaruh Zona Gempa Terhadap Perencanaan Struktur Bangunan Gedung di Indonesia.” *Jurnal Keteknikan Sipil*, Vol. 7, No. 2, pp. 78-86.
- [7] Mulyadi, R. (2020). “Simulasi Beban Gempa pada Struktur Bangunan Menggunakan SAP2000 dengan Metode Pushover.” *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil*, Vol. 8, No. 1, pp. 23-30.
- [8] Aryanto, Y., & Lestari, N. (2022). “Pengaruh Variasi Dimensi Kolom terhadap Kapasitas Momen dan Aksial Struktur Bangunan Bertingkat.” *Jurnal Teknik Sipil FTUB*, Vol. 11, No. 4, pp. 140-148.