E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 1069-1086
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

Analisis Struktur Bangunan Gedung Tujuh Lantai Rumah Sakit Suvarna Sutra Menggunakan Metode *Pushover*

Muhammad Arif Aditya[1], Muhammad Nur Ikhsan[2], Raka Surya Pradana[3], Eilif Kurnia Deda Djamres[4], Kuni Saadati[5]

[1,2,3,4,5]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tangerang Raya
e-mail: aditarif08@gmail.com, m.nurikhsan@untara.ac.id, rakasp95@gmail.com, eilif.kddj@gmail.com, kuni.saadati10@gmail.com

Abstrak

Gedung Rumah Sakit Suvarna Sutra merupakan bangunan tujuh lantai yang berfungsi sebagai fasilitas vital dan termasuk kategori risiko IV. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja seismik struktur melalui analisis statik nonlinear (*Pushover*) menggunakan ETABS, dengan penentuan Performance Point menggunakan metode FEMA 440 Equivalent Linearization. Model tiga dimensi dibangun berdasarkan data dimensi elemen, material, sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding geser beton bertulang. Evaluasi meliputi kurva kapasitas, kekakuan secant (Ksec), kekakuan tangent (Kt), Performance Point, verifikasi numerik FEMA 440, sendi plastis,serta interstory drift. Hasil menunjukkan Performance Point arah X sebesar 291,307 mm dengan base shear 64.563,49 kN dan arah Y sebesar 101,262 mm dengan base shear 75.686,605 kN. Pada arah X, Ksec menurun dari 304,745 kN/mm pada Step 1 menjadi 193,479 kN/mm pada Step 7, sedangkan Kt menurun dari 294,682 kN/mm pada Step 2 menjadi 98,693 kN/mm pada Step 7. Verifikasi hubungan Sa-Sd-Tsec menghasilkan Tsec 1,0728 s pada X dan 0,4759 s pada Y, konsisten dengan keluaran ETABS. Verifikasi interpolasi base shear menghasilkan selisih kurang dari 0,001% pada X dan sekitar 0,000025% pada Y. Pada Performance Point arah X terdapat 70 hinge IO-LS tanpa hinge LS-CP atau >CP, sedangkan arah Y belum memasuki IO-LS. Berdasarkan sintesis Performance Point, hinge,

drift, dan pemeriksaan kapasitas, kinerja global struktur dikendalikan arah X dan berada pada rentang Life Safety.

Kata kunci: *Analisis Pushover, FEMA 440, Performance Point, Ksec, Kt, Interstory Drift*

Abstract

The Suvarna Sutra Hospital Building is a seven-story vital facility classified as Risk Category IV. This study evaluates its seismic performance using nonlinear static Pushover analysis in ETABS, with the Performance Point determined through the FEMA 440 Equivalent Linearization method. A three-dimensional model was developed from the project structural data, including member dimensions, material properties, a Special Moment Resisting Frame, and reinforced-concrete structural walls. The evaluation covers the capacity curve, secant stiffness (Ksec), tangent stiffness (Kt), Performance Point, FEMA 440 numerical verification, plastic hinge development,and interstory drift. The Performance Point was obtained at 291.307 mm with a base shear of 64,563.49 kN in the X direction and at 101.262 mm with a base shear of 75,686.605 kN in the Y direction. In the X direction, Ksec decreased from 304.745 kN/mm at Step 1 to 193.479 kN/mm at Step 7, while Kt decreased from 294.682 kN/mm at Step 2 to 98.693 kN/mm at Step 7. Verification of the Sa-Sd-Tsec relationship yielded Tsec values of 1.0728 s and 0.4759 s for X and Y, respectively, consistent with ETABS. Interpolation verification produced errors below 0.001% in X and approximately 0.000025% in Y. At the Performance Point, 70 X-direction hinges were within IO-LS, with no LS-CP or >CP hinges, while the Y direction had not entered IO-LS. The global performance was therefore controlled by the X direction and classified within the Life Safety range.

Keywords : *Pushover Analysis, FEMA 440, Performance Point, Secant Stiffness, Tangent Stiffness, Interstory Drift*

LATAR BELAKANG

Indonesia berada pada kawasan tektonik aktif sehingga bangunan bertingkat perlu dirancang dan dievaluasi dengan mempertimbangkan pengaruh gempa yang dapat membawa struktur melewati batas elastis. Kebutuhan tersebut menjadi lebih penting pada fasilitas pelayanan kesehatan karena rumah sakit harus memiliki tingkat keandalan yang tinggi ketika terjadi kejadian ekstrem. SNI 1726:2019 menempatkan rumah sakit pada kategori risiko IV dengan faktor keutamaan gempa sebesar 1,5. Dengan demikian, evaluasi tidak cukup hanya menilai respons elastis, tetapi perlu melihat kapasitas deformasi dan mekanisme inelastik struktur.

Objek penelitian adalah Gedung Rumah Sakit Suvarna Sutra yang terdiri atas tujuh lantai dan menggunakan sistem beton bertulang ganda, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser beton bertulang khusus. Sistem ganda memungkinkan rangka dan dinding berbagi fungsi dalam menahan gaya lateral. Pada respons gempa, dinding geser cenderung memberikan kontribusi kekakuan dan kapasitas lateral yang besar, sedangkan rangka berperan dalam distribusi gaya dan pengembangan mekanisme plastis. Prinsip Strong Column–Weak Beam menjadi bagian penting agar perkembangan sendi plastis lebih diutamakan pada balok daripada kolom. Kajian rumah sakit dengan *Pushover* juga menunjukkan bahwa distribusi sendi plastis dan drift dapat memberikan informasi penting mengenai mekanisme respons struktur (Firdha et al., 2021; Zebua et al., 2023).

Analisis *Pushover* merupakan metode statik nonlinear yang meningkatkan beban lateral secara bertahap sampai perpindahan target tercapai atau kapasitas struktur mendekati kondisi batas. Kurva kapasitas yang menghubungkan base shear dengan perpindahan titik kontrol dapat digunakan untuk melihat perubahan kekakuan dan kapasitas lateral. Pendekatan ini telah digunakan pada evaluasi gedung rumah sakit dan bangunan bertingkat di Indonesia, termasuk dengan kriteria ATC-40 dan FEMA 440 (Hutama, 2021; Sutiono et al., 2023; Darmansyah et al., 2024). Penelitian terbaru juga memperlihatkan bahwa konfigurasi dinding geser dapat memengaruhi kekakuan, kapasitas lateral, dan drift, sehingga evaluasi dua arah utama perlu dilakukan secara konsisten (Putri, 2026).

FEMA 440 Equivalent Linearization digunakan dalam penelitian ini untuk memperoleh Performance Point dengan mempertimbangkan perubahan kekakuan dan redaman efektif akibat respons nonlinear. Penggunaan pendekatan tersebut relevan untuk menghubungkan kurva kapasitas dengan demand spektrum secara konsisten. Penelitian pada bangunan rumah sakit maupun bangunan bertingkat menunjukkan bahwa Performance Point, drift, dan status sendi plastis dapat digunakan secara bersama untuk menilai tingkat kinerja struktur (Zebua et al., 2023; Aranta & Irawati, 2025).

Penelitian ini diarahkan untuk menjawab empat hal utama, yaitu karakteristik kurva kapasitas dan Performance Point pada arah X dan Y, pola dan tahapan pembentukan sendi plastis serta kesesuaiannya dengan Strong Column–Weak Beam, besarnya interstory drift pada titik evaluasi, dan tingkat kinerja global struktur berdasarkan integrasi hasil FEMA 440, sendi plastis, dan drift. Fokus tersebut menjaga agar kesimpulan tetap diturunkan dari parameter respons global yang benar-benar digunakan dalam penelitian.

METODE

Penelitian dilaksanakan pada proyek Gedung Rumah Sakit Suvarna Sutra, Kabupaten Tangerang, Banten. Objek berupa bangunan tujuh lantai dengan sistem beton bertulang ganda. Data primer terdiri atas gambar struktur, dimensi elemen, mutu material, dan informasi pembebanan proyek. Data sekunder mencakup SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, SNI 1727:2020, FEMA 356/ASCE 41, FEMA 440, serta literatur penelitian terdahulu. Data proyek mencatat mutu beton kolom dan balok sebesar 35 MPa dengan 10% fly ash, serta mutu baja tulangan ulir 420 MPa dan tulangan polos 280 MPa.

Tabel 1. Data utama pemodelan dan analisis

Parameter	Nilai
Jumlah lantai	7 lantai
Sistem struktur	SRPMK + dinding geser khusus
Model	3D ETABS
Beton kolom/balok	35 MPa + 10% fly ash
Baja ulir	fy = 420 MPa
Baja polos	fy = 280 MPa

Parameter	Nilai
Kelas situs	E / SE
Damping awal	5%

Analisis dilakukan melalui pemodelan tiga dimensi, pembebanan gravitasi, analisis nonlinear statik *Pushover* pada dua arah utama, transformasi respons ke format ADRS, penentuan Performance Point dengan FEMA 440 Equivalent Linearization, dan evaluasi respons pada titik kinerja. Modal awal menunjukkan Mode 1 sebesar 1,266 s dengan dominasi UX 64,41%, sedangkan Mode 2 sebesar 0,736 s didominasi UY 54,74%. Partisipasi massa kumulatif 36 mode mencapai 79,63% pada UX dan 80,23% pada UY. Data tersebut digunakan untuk memisahkan evaluasi arah X dan Y tanpa menjadikan partisipasi massa sebagai satu-satunya dasar penentuan tingkat kinerja (FEMA, 2005).

Tabel 2. Parameter spektrum yang digunakan pada analisis final

Parameter spektrum	Nilai	Satuan
T1	1,266	s
Ss	0,838661	g
S1	0,414315	g
TL	20,000	s
SDS	0,67183	g
SD1	0,654997	g
Damping awal	0,05	-

Kurva kapasitas diperoleh dari hubungan base shear dan perpindahan titik kontrol. Base shear pada setiap langkah merupakan resultan gaya lateral tingkat yang dibaca dari output ETABS.

$$\boldsymbol{V} = \boldsymbol{\Sigma F_i}$$

Kekakuan secant dihitung sebagai rasio gaya geser dasar terhadap perpindahan pada suatu langkah, sedangkan kekakuan tangent menunjukkan perubahan gaya terhadap perubahan perpindahan antar-langkah.

$$\boldsymbol{Ksec} = \boldsymbol{V}_{\mathrm{i}} / \boldsymbol{\Delta}_{\mathrm{i}}$$

$$\boldsymbol{Kt} = (\boldsymbol{V}_{\mathrm{i}} - \boldsymbol{V}_{\mathrm{i}\text{-}1}) / (\boldsymbol{\Delta}_{\mathrm{i}} - \boldsymbol{\Delta}_{\mathrm{i}\text{-}1})$$

Interstory drift dihitung dari selisih perpindahan dua tingkat berurutan dan dibagi tinggi tingkat. Batas izin untuk bangunan kategori risiko IV diperiksa terhadap ketentuan SNI 1726:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019; ASCE, 2017).

$$\boldsymbol{\Delta}_{\mathrm{i}} = |\boldsymbol{u}_{\mathrm{i}} - \boldsymbol{u}_{\mathrm{i}\text{-}1}|$$

$$\boldsymbol{\theta}_{\mathrm{i}} = \boldsymbol{\Delta}_{\mathrm{i}} / \boldsymbol{h}_{\mathrm{i}}$$

Hubungan spektral FEMA 440 diverifikasi melalui periode secant. Selain itu, base shear pada Performance Point diverifikasi dengan interpolasi linear antara dua langkah *Pushover* yang mengapit perpindahan Performance Point (FEMA, 2005).

$$Tsec = 2\pi \sqrt{[Sd / (Sa \cdot g)]}$$

$$VPP = V_1 + [(\Delta PP - \Delta_1)/(\Delta_2 - \Delta_1)] (V_2 - V_1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis modal menunjukkan periode fundamental Mode 1 sebesar 1,266 s dengan dominasi UX sebesar 64,41%. Mode 2 memiliki periode 0,736 s dengan dominasi UY sebesar 54,74%. Cumulative mass participation yang diperoleh dari 36 mode adalah 79,63% pada UX dan 80,23% pada UY. Data tersebut digunakan sebagai dasar bahwa respons utama arah X dan Y dapat dianalisis secara terpisah.

Tabel 3. Parameter utama hasil analisis modal dan *Pushover*.

Parameter	Arah X	Arah Y
Periode fundamental Mode 1	1,266 s	1,266 s
Cumulative participation (36 mode)	79,63% UX	80,23% UY
Base shear maksimum	73.748,778 kN	237.153,598 kN
Displacement pada base shear maksimum	381,172 mm	343,807 mm
Performance Point displacement	291,307 mm	101,262 mm
Performance Point base shear	64.563,49 kN	75.686,605 kN

Kurva kapasitas menunjukkan peningkatan base shear seiring bertambahnya perpindahan hingga mencapai nilai maksimum yang dilaporkan ETABS. Arah X mencapai base shear maksimum 73.748,778 kN pada perpindahan 381,172 mm, sedangkan arah Y mencapai 237.153,598 kN pada 343,807 mm. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kapasitas gaya lateral arah Y lebih besar, sedangkan arah X menghasilkan tuntutan deformasi yang lebih besar pada Performance Point.

Perhitungan Ksec dilakukan untuk setiap step yang tersedia. Pada arah X, Ksec turun dari 304,745 kN/mm pada Step 1 menjadi 193,479 kN/mm pada Step 7. Contoh perhitungan pada Step 5 adalah V = 65.437,885 kN dan Δ = 299,141 mm, sehingga:

$$Ksec_5 = 65.437,885 / 299,141 = 218,753\ kN/mm$$

Tabel 4. Rekapitulasi Ksec arah X.

Step	Δ (mm)	V (kN)	Ksec (kN/mm)
1	70,000	21.332,143	304,745
2	140,000	41.959,889	299,713
3	157,500	46.089,568	292,632
4	227,500	57.440,987	252,488
5	299,141	65.437,885	218,753
6	369,141	72.561,408	196,568
7	381,172	73.748,778	193,479

Tabel 5. Rekapitulasi Ksec arah Y.

Step	Δ (mm)	V (kN)	Ksec (kN/mm)
1	70,000	52.712,489	753,036
2	140,000	104.154,713	743,962
3	175,000	128.067,448	731,814
4	245,000	174.493,592	712,219
5	315,000	219.361,778	696,387
6	343,801	237.143,278	689,769

Pada arah Y, Ksec juga menunjukkan tren menurun, dari 753,036 kN/mm pada Step 1 menjadi 689,769 kN/mm pada Step 6. Penurunan relatif lebih kecil dibandingkan arah X karena respons arah Y pada rentang step yang tersedia masih menunjukkan kekakuan yang lebih tinggi. Dengan demikian, Ksec memperkuat interpretasi bahwa arah X mengalami pelunakan yang lebih nyata sepanjang kurva kapasitas.

Kekakuan tangent memberikan gambaran perubahan kekakuan lokal antar-step. Contoh pada arah X antara Step 4 dan Step 5: V_4 = 57.440,987 kN, Δ_4 = 227,500 mm, V_5 = 65.437,885 kN, dan Δ_5 = 299,141 mm. Maka:

$$Kt_5 = (65.437{,}885 - 57.440{,}987)/(299{,}141 - 227{,}500) = 111{,}625\ kN/mm$$

Tabel 6. Rekapitulasi Kt arah X.

Step	Δ V (kN)	Δ Δ (mm)	Kt (kN/mm)
2	20.627,746	70,000	294,682
3	4.129,679	17,500	235,982
4	11.351,419	70,000	162,163
5	7.996,898	71,641	111,625
6	7.123,523	70,000	101,765
7	1.187,370	12,031	98,693

Kt arah X turun dari 294,682 kN/mm pada Step 2 menjadi 98,693 kN/mm pada Step 7, atau turun sekitar 66,5%. Penurunan Kt yang lebih tajam daripada Ksec menunjukkan degradasi kekakuan lokal yang semakin kuat pada tahap akhir *Pushover*. Kondisi ini sejalan dengan perkembangan respons nonlinear dan bertambahnya hinge pada rentang IO-LS. Untuk arah Y, Kt dapat dihitung dari pasangan data step yang tersedia pada capacity curve. Nilai hasil perhitungan dari data tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Kt arah Y yang dihitung dari data step pada laporan.

Step	Δ V (kN)	Δ Δ (mm)	Kt (kN/mm)
2	51.442,224	70,000	734,889
3	23.912,735	35,000	683,221
4	46.426,144	70,000	663,231

Step	Δ V (kN)	Δ Δ (mm)	Kt (kN/mm)
5	44.868,186	70,000	640,974
6	17.781,500	28,801	617,383

.

Penentuan Performance Point FEMA 440 menghasilkan dua titik kinerja. Arah X berada pada displacement 291,307 mm dan base shear 64.563,49 kN, sedangkan arah Y berada pada displacement 101,262 mm dan base shear 75.686,605 kN. Parameter spektral pada Performance Point juga menunjukkan Sa = 0,719057 g dan Sd = 205,653 mm untuk X, serta Sa = 0,993056 g dan Sd = 55,897 mm untuk Y.

Tabel 8. Parameter FEMA 440 pada Performance Point.

Parameter	X	Y
Sa	0,719057 g	0,993056 g
Sd	205,653 mm	55,897 mm
Tsec ETABS	1,072 s	0,476 s
Tsec hitung	1,0728 s	0,4759 s
Teff	1,032 s	0,509 s
Ductility ratio	2,057446	1,447128
Effective damping	9,2%	6,7%

Verifikasi hubungan spektral dilakukan agar Sa, Sd, dan Tsec tidak diperlakukan sebagai angka yang berdiri sendiri. Untuk arah X:

$$Tsec = 2\pi \sqrt{[205{,}653/(0{,}719057 \times 9.810)]} = 1{,}0728\ s$$

Hasil tersebut sangat dekat dengan Tsec ETABS sebesar 1,072 s. Untuk arah Y:

$$Tsec = 2\pi \sqrt{[55{,}897/(0{,}993056 \times 9.810)]} = 0{,}4759\ s$$

Nilai tersebut konsisten dengan Tsec ETABS sebesar 0,476 s. Verifikasi ini menunjukkan konsistensi matematis internal antara parameter spektral yang digunakan pada Performance Point.

Verifikasi berikutnya dilakukan terhadap base shear pada Performance Point menggunakan interpolasi linear pada capacity curve. Untuk arah X, Performance Point Δ PP = 291,307 mm berada antara Step 4 dan Step 5. Dengan Δ_1 = 227,500 mm, V_1 = 57.440,987 kN, Δ_2 = 299,141 mm, dan V_2 = 65.437,885 kN:

$$VPP,X = 57.440,987 + [(291,307 - 227,500)/(299,141 - 227,500)](65.437,885 - 57.440,987$$
$$VPP,X = 64.563,418\ kN \approx 64.563,49\ kN\ (FEMA\ 440)$$

Selisihnya sebesar 0,072 kN atau sekitar 0,00011%, sehingga berada jauh di bawah 0,001%. Untuk arah Y, Δ PP = 101,262 mm berada antara Step 1 dan Step 2:

$$VPP,Y = 52.712,489 + [(101,262 - 70,000)/(140,000 - 70,000)](104.154,713 - 52.712,489)$$
$$VPP,Y = 75.686,586\ kN \approx 75.686,605\ kN\ (FEMA\ 440)$$

Selisihnya sebesar 0,019 kN atau sekitar 0,0000248%. Kedua verifikasi menunjukkan bahwa Performance Point FEMA 440 konsisten dengan kurva kapasitas hasil *Pushover* ETABS dan tidak menunjukkan indikasi kesalahan pembacaan atau interpolasi ganda.

Tabel 9. Verifikasi Performance Point terhadap capacity curve.

Verifikasi	X	Y
Δ PP	291,307 mm	101,262 mm
Step pengapit	4–5	1–2
VPP hasil interpolasi	64.563,418 kN	75.686,586 kN
VPP FEMA 440	64.563,49 kN	75.686,605 kN
Error	≈0,00011%	≈0,0000248%

Evaluasi sendi plastis menunjukkan bahwa pada arah X, Performance Point berada di antara Step 4 dan Step 5, dengan step terdekat menunjukkan 70 hinge pada rentang IO-LS. Tidak terdapat hinge pada rentang LS-CP maupun >CP. Pada arah Y, Performance Point berada di antara Step 1 dan Step 2 dan tidak ditemukan hinge IO-LS, LS-CP, maupun

>CP pada rentang tersebut. Temuan ini menunjukkan bahwa arah X lebih kritis dari sisi perkembangan nonlinear elemen.

Tabel 10. Rekapitulasi hinge pada Performance Point.

Kondisi hinge pada Performance Point	X	Y
IO-LS	70	0
LS-CP	0	0
>CP	0	0

Interstory drift maksimum arah X sebesar 0,013157 atau 1,3157%, dengan lokasi kritis pada Story 3. Dalam bentuk rasio, nilai tersebut sekitar 1/76. Arah Y memiliki drift ratio maksimum 0,008230 atau 0,8230%, sekitar 1/122, dengan lokasi kritis pada atap lift. Rasio drift X terhadap Y sekitar 1,60 sehingga arah X memberikan tuntutan deformasi yang lebih besar.

Tabel 11. Rekapitulasi interstory drift.

Parameter	X	Y	Lebih kritis
Drift ratio maksimum	0,013157 (1,3157%)	0,008230 (0,8230%)	X
Bentuk rasio	≈1/76	≈1/122	X
Lokasi kritis	Story 3	Atap lift	X

Sintesis hasil menunjukkan adanya perbedaan karakteristik respons kedua arah. Arah Y mempunyai base shear maksimum yang lebih besar, tetapi Performance Point dicapai pada displacement yang jauh lebih kecil dan belum menunjukkan hinge IO-LS. Sebaliknya, arah X memiliki displacement Performance Point lebih besar, drift lebih besar, ductility ratio 2,057446, serta 70 hinge IO-LS pada step terdekat. Dengan demikian, arah X dipandang sebagai arah pengendali dari sisi deformasi dan perkembangan nonlinearitas.

Tabel 12. Perbandingan kinerja arah X dan Y.

Parameter	Push X	Push Y	Kondisi lebih kritis
Performance Point	291,307 mm / 64.563,49 kN	101,262 mm / 75.686,605 kN	X untuk deformasi; Y untuk gaya
Tsec	1,072 s	0,476 s	X
Teff	1,032 s	0,509 s	X

Parameter	Push X	Push Y	Kondisi lebih kritis
Ductility ratio	2,057446	1,447128	X
Effective damping	9,2%	6,7%	X
Drift ratio	0,013157	0,008230	X
IO-LS pada PP	70	0	X
LS-CP pada PP	0	0	Tidak terdeteksi
>CP pada PP	0	0	Tidak terdeteksi

Pembahasan Lanjutan Dan Perbandingan Studi

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa penentuan kinerja global tidak dapat dilakukan hanya dengan memilih arah yang mempunyai base shear maksimum. Arah Y memiliki kapasitas gaya lateral maksimum 237.153,598 kN, jauh lebih besar daripada arah X sebesar 73.748,778 kN. Namun, pada titik kinerja FEMA 440 arah X mempunyai perpindahan 291,307 mm dibandingkan 101,262 mm pada arah Y. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kapasitas gaya maksimum dan tuntutan deformasi merupakan dua indikator yang berbeda. Dalam evaluasi berbasis kinerja, keduanya perlu dibaca bersama dengan Performance Point, drift, dan perkembangan hinge sehingga arah kritis ditetapkan berdasarkan respons struktur yang benar-benar terjadi pada demand yang dievaluasi (FEMA, 2005; Firdha et al., 2021).

Temuan tersebut sejalan dengan kebutuhan evaluasi rumah sakit yang tidak cukup hanya memeriksa kekuatan nominal. Studi Firdha et al. (2021) pada gedung rawat inap rumah sakit menggunakan *Pushover* untuk menilai performance level, mekanisme keruntuhan, dan interstory drift. Kurniawati et al. (2021) juga menunjukkan bahwa hasil performance level dapat berbeda menurut pendekatan evaluasi yang digunakan. Pada penelitian rumah sakit yang lebih baru, Zebua et al. (2023) menempatkan Performance Point dan sendi plastis sebagai bagian penting dari evaluasi nonlinear. Mustofa et al. (2024) menunjukkan bahwa *Pushover* dapat digunakan untuk mengevaluasi gedung rumah sakit dengan parameter drift dan mekanisme keruntuhan. Perbedaan tingkat kinerja antar studi tidak dapat langsung dianggap sebagai perbedaan mutu struktur karena setiap

bangunan memiliki konfigurasi, sistem penahan lateral, spektrum demand, dan kriteria evaluasi yang berbeda.

Kontribusi sistem dinding geser juga penting dalam membaca perbedaan arah respons. Darmansyah et al. (2024) menunjukkan bahwa keberadaan dinding dapat meningkatkan kekuatan lateral dan kekakuan model rumah sakit dibandingkan model tanpa dinding. Pada objek Suvarna Sutra, sistem ganda SRPMK dan dinding geser bekerja sebagai satu sistem penahan lateral. Oleh karena itu, perbedaan respons X dan Y dapat dipahami sebagai hasil interaksi konfigurasi elemen, kekakuan, distribusi massa, dan demand gempa pada masing-masing arah. Analisis *Pushover* pada penelitian ini tidak dimaksudkan untuk mengisolasi kontribusi masing-masing elemen secara eksperimental, sehingga interpretasi tersebut digunakan sebagai penjelasan mekanistik berdasarkan hasil model, bukan sebagai klaim kausal yang berdiri sendiri (Darmansyah et al., 2024).

Studi Sutiono et al. (2023) pada medical center RSUD Soedarso dan Oke et al. (2024) pada Pediatric & ICCU Building juga menegaskan bahwa bangunan rumah sakit memerlukan evaluasi kinerja yang memperhatikan respons lateral dan ketidakseimbangan deformasi. Hal ini relevan dengan hasil Suvarna Sutra karena arah X memiliki drift ratio sekitar 1,60 kali arah Y. Perbedaan tersebut bukan sekadar perbedaan angka, tetapi menunjukkan bahwa arah yang sama dapat menjadi pengendali deformasi meskipun bukan arah dengan base shear maksimum. Dengan demikian, penggunaan lebih dari satu indikator global menjadi salah satu kekuatan utama pendekatan penelitian ini (Sutiono et al., 2023; Oke et al., 2024).

Tabel 13. Perbandingan temuan penelitian dengan studi terdahulu

Studi	Objek/pendekatan	Temuan utama	Posisi penelitian ini
Firdha et al. (2021)	Rumah sakit; *Pushover*	Performance level, drift, dan mekanisme keruntuhan dievaluasi	Memperluas dengan FEMA 440 dan verifikasi PP
Kurniawati et al. (2021)	Rumah sakit; CSM	Performance level berbasis *Pushover*	Menggunakan Equivalent Linearization FEMA 440

Studi	Objek/pendekatan	Temuan utama	Posisi penelitian ini
Zebua et al. (2023)	Rumah sakit; ATC-40	PP dan hinge menjadi indikator evaluasi	Mengintegrasikan PP, hinge, drift, dan SCWB
Sutiono et al. (2023)	Medical center; *Pushover*	Kinerja struktur rumah sakit terhadap gempa	Fokus pada respons X–Y gedung 7 lantai
Mustofa et al. (2024)	Rumah sakit; *Pushover*	Drift dan mekanisme kinerja dievaluasi	Menambahkan verifikasi numerik PP
Darmansyah et al. (2024)	Rumah sakit; model dengan/tanpa dinding	Dinding meningkatkan kekuatan dan kekakuan lateral	Menunjukkan pentingnya sistem ganda

Keterbatasan penelitian terutama terletak pada sifat analisis yang berbasis model numerik statik nonlinear. *Pushover* tidak merepresentasikan seluruh karakteristik respons gempa riwayat waktu dan tidak secara langsung menggambarkan pengaruh variasi siklus pembebanan. Selain itu, nilai drift antar tingkat dalam dataset final tersedia sebagai drift ratio sehingga rekonstruksi Δstory individual tidak dilakukan ketika tinggi tingkat pasangan tidak tersedia. Keterbatasan tersebut dijaga agar tidak diisi dengan asumsi yang tidak berasal dari data penelitian. Penelitian lanjutan dapat menggunakan nonlinear time-history analysis, verifikasi model melalui data lapangan, atau studi sensitivitas terhadap variasi properti dinding geser, diafragma, dan parameter hinge untuk memperkuat kesimpulan (FEMA, 2005).

Secara metodologis, hasil verifikasi Performance Point merupakan bagian penting dari kualitas analisis. Nilai interpolasi yang berbeda kurang dari 0,001% pada X dan 0,0001% pada Y menunjukkan bahwa titik kinerja yang diperoleh dari FEMA 440 dapat ditelusuri kembali ke kurva kapasitas ETABS. Verifikasi Tsec juga menunjukkan konsistensi internal antara Sa, Sd, dan periode secant. Dengan demikian, kesimpulan Life Safety tidak hanya berasal dari satu keluaran perangkat lunak, tetapi dari rangkaian bukti yang saling memeriksa: kurva kapasitas, Performance Point, hinge, drift, Strong Column–Weak Beam, dan pemeriksaan lokal (FEMA, 2005).

Analisis Konsistensi Indikator Kinerja

Konsistensi hasil dapat dilihat dari hubungan antara displacement, base shear, kekakuan, daktilitas, hinge, dan drift. Pada arah X, displacement Performance Point sebesar 291,307 mm merupakan bagian yang cukup besar dari displacement maksimum 381,172 mm. Sebaliknya, Performance Point arah Y sebesar 101,262 mm masih jauh di bawah displacement maksimum 343,807 mm. Perbandingan ini menunjukkan bahwa arah X bekerja lebih dekat dengan kapasitas deformasi yang berkembang pada kurva *Pushover*, sehingga indikator nonlinearitas pada arah X lebih menonjol. Interpretasi tersebut diperkuat oleh ductility ratio 2,057446 pada X yang lebih besar daripada 1,447128 pada Y (FEMA, 2005).

Penurunan Kt memberikan penjelasan tambahan. Kekakuan secant menggambarkan kekakuan rata-rata dari titik asal menuju suatu titik pada kurva, sedangkan Kt menggambarkan perubahan respons antara dua langkah yang berurutan. Karena itu, Kt lebih peka terhadap perubahan lokal pada kurva kapasitas. Pada arah X, penurunan Kt hingga sekitar 98,693 kN/mm pada langkah akhir menunjukkan bahwa penambahan perpindahan menghasilkan pertambahan gaya yang semakin kecil. Kondisi tersebut merupakan karakteristik yang konsisten dengan perkembangan respons pascaelastis dan pertambahan jumlah hinge. Penggunaan Ksec dan Kt secara bersamaan membantu menghindari interpretasi bahwa kenaikan base shear selalu identik dengan peningkatan kekakuan (FEMA, 2005).

Dari sisi gaya, arah Y memiliki base shear maksimum lebih besar daripada arah X. Akan tetapi, nilai Sa pada Performance Point Y sebesar 0,993056 g juga lebih tinggi daripada X sebesar 0,719057 g, sementara Sd Y hanya 55,897 mm dibandingkan 205,653 mm pada X. Kombinasi Sa yang lebih tinggi dan Sd yang lebih rendah menunjukkan bahwa respons Y pada titik kinerja lebih terkonsentrasi pada tuntutan gaya dengan deformasi yang relatif kecil. Sebaliknya, X menunjukkan tuntutan deformasi yang lebih besar. Karena penelitian menilai kinerja bangunan secara global, arah kritis ditetapkan dari kombinasi indikator, bukan dari satu parameter tunggal (FEMA, 2005).

Perbandingan dengan penelitian terdahulu juga menunjukkan pentingnya konteks bangunan. Penelitian rumah sakit yang menggunakan ATC-40 dapat menghasilkan

Immediate Occupancy, sedangkan penelitian lain dapat menghasilkan Damage Control atau Life Safety karena konfigurasi struktur dan demand yang berbeda. Oleh sebab itu, hasil Life Safety pada Suvarna Sutra tidak seharusnya dibandingkan secara langsung sebagai peringkat kualitas dengan bangunan lain. Nilai yang lebih tepat dibandingkan adalah proses evaluasinya: bagaimana Performance Point ditentukan, bagaimana drift dibaca, bagaimana hinge diklasifikasikan, dan apakah bukti global konsisten dengan pemeriksaan elemen (Firdha et al., 2021; Kurniawati et al., 2021; Zebua et al., 2023; Mustofa et al., 2024).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *Pushover* dan FEMA 440, Performance Point arah X diperoleh pada perpindahan 291,307 mm dengan gaya geser dasar 64.563,49 kN, sedangkan arah Y pada perpindahan 101,262 mm dengan gaya geser dasar 75.686,605 kN, dengan hasil verifikasi yang konsisten terhadap kurva kapasitas; evaluasi sendi plastis menunjukkan 70 hinge pada rentang IO–LS di arah X dan tidak terdapat hinge LS–CP maupun >CP pada kedua arah, sedangkan prinsip Strong Column–Weak Beam terpenuhi pada elemen yang ditinjau, sementara interstory drift maksimum arah X sebesar 1,3157% pada Story 3 lebih besar dibandingkan arah Y sebesar 0,8230% pada atap lift, sehingga arah X ditetapkan sebagai arah paling kritis dan berdasarkan keseluruhan indikator tersebut kinerja global Gedung Rumah Sakit Suvarna Sutra pada demand yang dievaluasi ditetapkan berada pada rentang *Life Safety (LS)* tanpa indikasi pencapaian kondisi *Collapse Prevention*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Tangerang Raya, dosen pembimbing, pihak proyek Gedung Rumah Sakit Suvarna Sutra, serta pihak yang telah memberikan akses data dan dukungan selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. 2019. SNI 1726:2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. 2019. SNI 2847:2019: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. 2020. SNI 1727:2020: Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Darmansyah, G. P., Maidiawati, & Honesti, L. 2024. Evaluasi Kapasitas Seismik Gedung Beton Bertulang dengan Metode *Pushover* Analysis. Jurnal Bangunan, Konstruksi & Desain, 2(1), 62–70. doi:10.25077/jbkd.2.1.62-70.2024.

Firdha, R. A., Isneini, M., Husni, H. R., & Widyawati, R. 2021. Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Dengan Metode *Pushover* Analysis (Studi Kasus: Gedung Rawat Inap Non-Bedah RSUD Dr. H. Abdul Moeloek). Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain, 9(4), 829–839. doi:10.23960/jrsdd.v9i4.2201.

Kurniawati, R., Bayzoni, Husni, H. R., & Isneini, M. 2021. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Nonlinear Static *Pushover* Analysis dengan Capacity Spectrum Method. Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain, 9(4), 605–622. doi:10.23960/jrsdd.v9i4.2004.

Mustofa, R. A., Bayzoni, Husni, H. R., & Isneini, M. 2024. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Analisis *Pushover* (Studi Kasus: Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri Universitas Lampung). Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain, 12(1), 27–38. doi:10.23960/jrsdd.v12i1.4316.

Oke, M. P. S. S., Hendrikus, R., Mooy, M., Manubulu, C. C., & Bela, K. R. 2024. Kinerja Struktur Pediatric & ICCU Building of Guido Valadares National Hospital

Menggunakan *Pushover* Analysis. Eternitas: Jurnal Teknik Sipil, 4(1), 23–30. doi:10.30822/eternitas.v4i1.3997.

Sutiono, T., Budi, G. S., & Herwani. 2023. Calculation of Earthquake Resistant Structure of Medical Center Building Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Soedarso Pontianak Using *Pushover* Analysis. Jurnal Teknik Sipil, 23(3), 337–349. doi:10.26418/jts.v23i3.67754.

Zebua, D., Wibowo, L. S. B., Cahyono, M. S. D., & Ray, N. 2023. Evaluation of Seismic Performance of Hospital Building Using *Pushover* Analysis Based on ATC-40. Journal of Civil Engineering, Science and Technology. doi:10.33736/jcest.5326.2023.

Zebua, D., Wibowo, L. S. B., Cahyono, M. S. D., & Ray, N. 2020. Evaluasi Simpangan pada Bangunan Bertingkat Beton Bertulang Berdasarkan Analisis *Pushover* dengan Metode ATC-40.

Aulia, R. 2025. Analisis *Pushover* Tingkat Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Propika, J., Septiarsilia, Y., Susanti, E., & Prasetyo, A. E. 2024. Analisis *Pushover* terhadap Struktur Gedung dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Menggunakan Metode Precast.

Federal Emergency Management Agency. 2005. FEMA 440: Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Washington, DC.

Federal Emergency Management Agency. 2000. FEMA 356: Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Washington, DC.