

Evaluasi Retrofitting Kolom Gedung A RSPTN Jember Menggunakan Metode Respons Spektrum Berbasis Software

Muhammad Irgi Maulana, Dimas Aji Purnomo, Ananta Kusuma Yoga Pratama

Fakultas Teknik, Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

evaluasi struktur; respons spektrum; retrofit kolom; concrete jacketing; ASCE/SEI 41-17.

***Correspondence email:**

muhammadirgi8686@gmail.com
dimas@untag-banyuwangi.ac.id
ananta@untag-banyuwangi.ac.id

Submitted: 23 Juli 2026

Revised: 11 Agustus 2026

Accepted: 11 Agustus 2026

Published: 13 Agustus 2026

ABSTRAK

Indonesia berada pada kawasan pertemuan lempeng tektonik aktif sehingga memiliki tingkat aktivitas seismik tinggi. Kondisi ini menuntut bangunan penting, seperti Gedung A Rumah Sakit Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Jember, memiliki kinerja struktur yang menjamin keselamatan dan tetap berfungsi pascagempa. Seiring bertambahnya usia bangunan dan berkembangnya standar evaluasi struktur tahan gempa, evaluasi elemen kolom diperlukan untuk mengetahui tingkat keamanan struktur serta kebutuhan perkuatan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja struktur kolom Gedung A RSPTN Jember terhadap beban gempa berdasarkan ASCE/SEI 41-17, mengidentifikasi kolom yang memerlukan perkuatan, serta menganalisis peningkatan kinerja struktur setelah retrofitting menggunakan metode concrete jacketing. Metode penelitian bersifat kuantitatif dengan analisis struktur menggunakan SAP2000 V.14 dan metode respons spektrum sesuai SNI 1726:2019, memanfaatkan data struktur eksisting, pembebanan, mutu material, dan hasil penyelidikan tanah. Evaluasi kinerja meliputi periode getar, gaya geser dasar, simpangan antar lantai, dan kapasitas kolom sesuai ASCE/SEI 41-17. Hasil penelitian menunjukkan simpangan antar lantai maksimum 28,275 mm (arah X) dan 6,666 mm (arah Y), masih di bawah batas izin, namun teridentifikasi kolom yang tidak memenuhi kriteria kinerja. Penerapan concrete jacketing meningkatkan kapasitas aksial dan momen nominal kolom ($P_{nk} = 86.481$ kg; $M_{nk} = 6.392.998$ kg-cm), melampaui gaya terfaktor yang bekerja sehingga kinerja struktur meningkat. Metode ini direkomendasikan sebagai alternatif perkuatan struktur pada bangunan rumah sakit sejenis guna memenuhi persyaratan ketahanan gempa.

ABSTRACT

Keywords:

structural evaluation; response spectrum; column retrofitting; concrete jacketing; ASCE/SEI 41-17.

Indonesia is located at the convergence of active tectonic plates, resulting in high seismic activity. This condition requires critical facilities, such as Building A of the State University Hospital (RSPTN) at the University of Jember, to maintain structural performance that ensures safety and continued functionality after an earthquake. As buildings age and seismic evaluation standards evolve, assessment of column elements is necessary to determine structural safety and strengthening needs. This study aims to evaluate the seismic performance of the columns in Building A of RSPTN Jember based on ASCE/SEI 41-17, identify columns requiring strengthening, and analyze the improvement in structural performance after retrofitting using the concrete jacketing method. A quantitative approach was employed through structural analysis using SAP2000 V.14 and the response spectrum method in accordance with SNI 1726:2019, utilizing existing structural data, loading data, material properties, and geotechnical investigation results. Performance evaluation covered the fundamental period, base shear, inter-story drift, and column capacity per ASCE/SEI 41-17. Results showed a maximum inter-story drift of 28.275 mm (X-direction) and 6.666 mm (Y-direction), both within allowable limits, yet several columns failed to meet performance criteria. Applying concrete jacketing increased column axial and nominal moment capacity ($P_{nk} = 86,481$ kg; $M_{nk} = 6,392,998$ kg-cm), exceeding the factored demand forces and improving overall structural performance. This retrofitting approach is recommended as a practical strengthening alternative for similar hospital buildings to meet seismic resistance requirements.

PENDAHULUAN

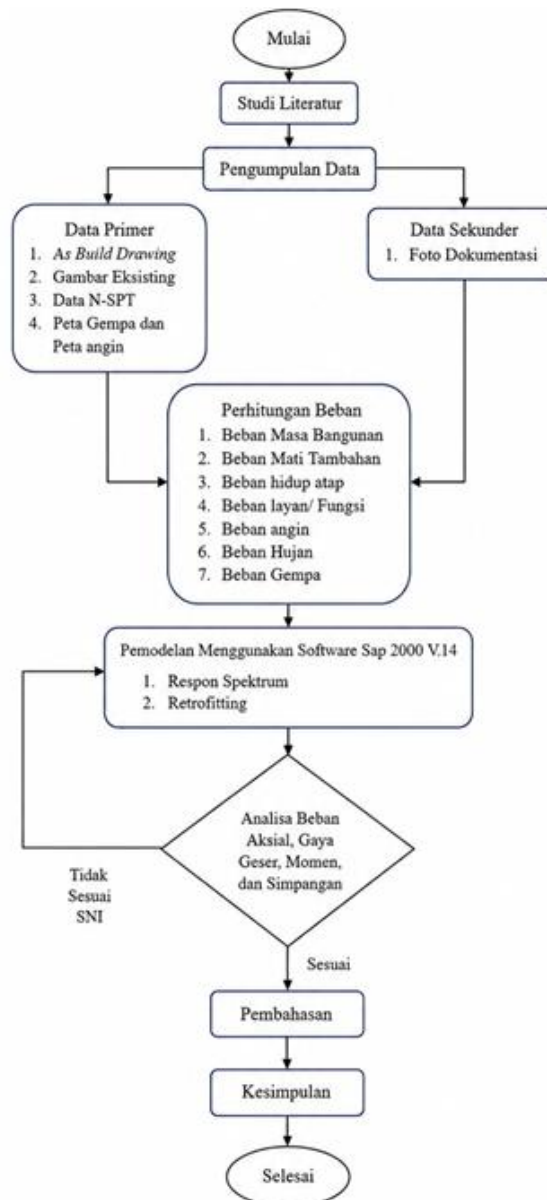
Indonesia terletak pada pertemuan Lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik sehingga memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi. Kondisi tersebut menyebabkan bangunan gedung harus direncanakan dan dievaluasi sesuai ketentuan ketahanan gempa yang berlaku agar mampu menjamin keselamatan struktur dan penghuninya (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Rumah sakit termasuk bangunan dengan kategori risiko IV sehingga dituntut tetap berfungsi setelah gempa bumi. Oleh karena itu, evaluasi dan perkuatan struktur menjadi bagian penting untuk

menjamin keberlangsungan pelayanan dan keselamatan pengguna bangunan (American Society of Civil Engineers, 2017). Evaluasi bangunan eksisting perlu dilakukan secara berkala untuk mengidentifikasi penurunan kapasitas struktur akibat perubahan standar desain, degradasi material, maupun peningkatan tuntutan beban gempa sehingga kebutuhan retrofit dapat ditentukan secara tepat (Sen et al., 2023).

Kolom merupakan elemen struktur utama yang memikul beban aksial dan lateral. Kerusakan pada kolom dapat menurunkan kapasitas struktur secara signifikan sehingga meningkatkan risiko keruntuhan bangunan ketika mengalami beban gempa (Moehle, 2015). Oleh karena itu, evaluasi terhadap kinerja kolom menjadi langkah penting dalam menjamin keamanan struktur (Paulay & Priestley, 1992). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kebutuhan retrofitting kolom pada Gedung A RSPTN Jember menggunakan metode respons spektrum berbantuan SAP2000 V.14 berdasarkan ASCE/SEI 41-17. Standar tersebut digunakan untuk menilai tingkat kinerja struktur sekaligus menentukan kebutuhan retrofit guna meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan daktilitas kolom sehingga bangunan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap beban gempa. Salah satu metode retrofit yang banyak diterapkan untuk meningkatkan kapasitas kolom beton bertulang adalah *concrete jacketing*, karena mampu meningkatkan kekuatan, kekakuan, daktilitas, serta kapasitas geser dan lentur elemen struktur (Bindhu et al., 2016).

METODE

Adapun diagram alir dari penelitian ini:



Gambar 1. Alur Penelitian

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Gedung A Rumah Sakit Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Jember yang terletak di Jalan Raya Slamet Riyadi No. 62, Kecamatan Patrang, Kabupaten Jember.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari dokumen perencanaan Gedung A Rumah Sakit Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Jember. Data yang digunakan meliputi gambar struktur (*as-built drawing*), dimensi elemen struktur, mutu material, data pembebanan, serta data hasil penyelidikan tanah yang menjadi dasar pemodelan struktur.

Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000 V.14 dengan metode respons spektrum sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Evaluasi kinerja struktur mengacu pada ASCE/SEI 41-17 melalui penilaian terhadap respons struktur, meliputi periode getar, gaya geser dasar (*base shear*), simpangan antar lantai (*inter-story drift*), serta kapasitas elemen kolom. Hasil evaluasi digunakan untuk mengidentifikasi kolom yang memerlukan retrofitting, kemudian dilakukan perencanaan perkuatan menggunakan metode *concrete jacketing* sebagai upaya meningkatkan kapasitas dan kinerja struktur terhadap beban gempa.

Metode Analisis Penelitian

Analisis penelitian dilakukan melalui pemodelan struktur tiga dimensi Gedung A Rumah Sakit Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Jember menggunakan perangkat lunak SAP2000 V.14. Pemodelan mengacu pada data struktur eksisting yang meliputi dimensi elemen, mutu material, pembebanan, dan konfigurasi bangunan. Analisis respons struktur dilakukan dengan metode respons spektrum sesuai ketentuan SNI 1726:2019, sedangkan kombinasi pembebanan mengacu pada SNI 1727:2020.

Evaluasi kinerja struktur dilakukan berdasarkan ASCE/SEI 41-17 dengan meninjau parameter periode getar, gaya geser dasar (*base shear*), simpangan antar lantai (*inter-story drift*), serta kapasitas elemen kolom terhadap beban gempa (American Society of Civil Engineers, 2017). Kolom yang tidak memenuhi kriteria kinerja selanjutnya direncanakan menggunakan metode *concrete jacketing*. Hasil analisis sebelum dan sesudah retrofitting dibandingkan untuk mengevaluasi peningkatan kapasitas, kekakuan, dan kinerja struktur terhadap beban gempa.

HASIL

Sebelum dilakukan analisis struktur, terlebih dahulu dilakukan pemodelan pembebanan yang bekerja pada bangunan. Tahap ini bertujuan untuk mengetahui respons struktur terhadap beban yang diterima, khususnya beban gempa, sehingga perilaku struktur dapat dievaluasi sesuai dengan kondisi perencanaan. Hasil pembahasan pada bagian ini merupakan keluaran analisis dan simulasi pemodelan struktur Gedung Rumah Sakit Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Jember menggunakan perangkat lunak SAP2000.

Pemodelan dan analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000 V.14 untuk mengevaluasi respons dinamis bangunan terhadap beban gempa. Pemodelan mencakup elemen-elemen struktur utama, yaitu balok, kolom, dan pelat lantai, dengan dimensi yang mengacu pada dokumen Detail Engineering Design (DED) yang telah tersedia sebagai dasar perencanaan struktur. Pada tabel 2. Deskripsi struktur, untuk mengetahui ukuran dimensi, mutu dan lain – lainnya pada bangunan.

Tabel 1 Deskripsi Struktur

Deskripsi Struktur	Keterangan
Balok B1	600 x 600 mm
Balok B2	300 x 400 mm
Balok BK	300 x 400 mm
Balok BK2	200 x 300 mm
Kolom K1	500 x 500 mm
Pelat Lantai	125 mm
Mutu Beton	Fe' 30 MPa
Baja Tulangan	Fy 420 MPa

Hasil Klasifikasi Tanah

Data kondisi tanah diperoleh dari hasil penyelidikan tanah menggunakan Standard Penetration Test (SPT) pada lokasi Gedung Rumah Sakit Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Jember. Data yang digunakan meliputi kedalaman lapisan tanah dan nilai N-SPT untuk menentukan klasifikasi situs tanah sebagai dasar analisis respons spektrum dan evaluasi struktur tahan gempa sesuai SNI 1726:2019. Pada tabel 2. Data N-SPT. Menunjukkan hasil lab dari pengujian sondir kemudian dikelola menjadi N-SPT.

Tabel 2 Data N-SPT

Sampel 1			
No	Depth(m)	N30	N (Depth / N30)
1	2,00	9	0,22
2	4,00	36	0,06
3	6,00	24	0,08
4	8,00	41	0,05
5	10,00	18	0,11
6	12,00	30	0,07
7	14,00	63	0,03
8	16,00	53	0,04
9	18,00	80	0,03
10	20,00	80	0,03
11	22,00	80	0,03
12	24,00	80	0,03
13	26,00	80	0,03
14	28,00	61	0,03
15	30,00	63	0,03
N-SPT rata-rata (Depth / Total N)			35,43

Percepatan Gempa

Lokasi penelitian berada di Kecamatan Patrang, Kabupaten Jember, dengan koordinat -8,1491900 dan 113,7212473. Berdasarkan hasil klasifikasi tanah dari pengujian Standard Penetration Test (N-SPT) yang disajikan pada Tabel 4.2, lokasi penelitian termasuk kelas situs S(tanah sedang). Selanjutnya, parameter respons spektral dihitung berdasarkan kondisi kelas situs tersebut sesuai dengan prosedur yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019

Pertama, nilai percepatan spektral pada batuan dasar diperoleh dari Peta Gempa adalah sebagai berikut:

$$PGA = 0,3989$$

$$S_s = 0,8680$$

$$S_1 = 0,3884$$

Situs SD dengan nilai SDS dan SD_1 :

$$Fa=1,1528$$

$$Fv=1,9116$$

koreksi terhadap faktor keutamaan gempa (I_e),

$$I_e = 1,50$$

$$R = 8$$

$$\Omega_0 = 3$$

$$Cd = 5,5$$

Periode Struktur

Nilai periode struktur dipengaruhi oleh karakteristik massa dan kekakuan bangunan, sehingga menjadi parameter penting dalam analisis respons seismik serta perencanaan struktur tahan gempa.

Pertama menghitung pendekatan struktur (T_a min) dihitung dengan persamaan

$$T_{a_{min}} = C_t h_n^x = 0,0466 * 21,5^{0,9} = 0,737 \text{ detik}$$

periode struktur (T_a max) dihitung dengan nilai C_u

$$T_{a_{max}} = C_u * T_a = 1,4 * 0,7372 = 1,032 \text{ detik}$$

Periode fundamental struktur dari hasil SAP 2000 adalah $T_a = 0,7372$ detik, melebihi batas maksimum T_a max = 1,032 detik, sehingga nilai T_a max digunakan untuk penskalaan gempa. Rasio partisipasi massa ditunjukkan dalam Tabel 4.3, yang menunjukkan akumulasi partisipasi mencapai 90% pada mode ke-12 (periode 0,177 detik). Pada tabel 3. Rasio partisipasi masa menunjukkan tabel dari hasil SAP yang telah dianalisa sebelumnya.

Tabel 3. Rasio Partisipasi Masa

Mode	Periode (detik)	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	1,312	0,007	0,986	0,007	0,986
2	1,276	0,908	0,011	0,907	0,011
3	1,156	0,085	0,004	0,086	0,003
4	0,431	0,014	0,978	0,015	0,977
5	0,424	0,911	0,019	0,908	0,019
6	0,303	0,075	0,004	0,075	0,003
7	0,256	0,024	0,969	0,023	0,97
8	0,258	0,919	0,029	0,914	0,03
9	0,231	0,057	0,002	0,057	0,001
10	0,198	0,88	0,071	0,866	0,077
11	0,198	0,071	0,928	0,065	0,934
12	0,177	0,049	0,001	0,048	0,001

Periode fundamental pendekatan T_a

Kontrol periode struktur

Percepatan desain periode 1 detik $SD1$ $SD1 = 0,4950$

Koefisien modifikasi respon $C_u = 1,4$

$C_t = 0,0466$

$X = 0,9$

Tinggi bangunan (seismik) $h = 22$ m

Periode fundamental pendekatan $T_a = C_t * h_x$

$= 0,7526$

Periode maksimum $T_{max} = 1,054$

Periode hasil analisis arah X $T_{c,x} = 0,424$

Periode hasil analisis arah Y $T_{c,y} = 0,431$

Periode pakai X $T_{c,X} = 0,424$

Periode pakai Y $T_{c,y} = 0,431$

Berdasarkan pada nilai koefisien respon seismik harus di hitung baik batas maksimum maupun batas minimum pada kedua arah horizontal.

Koefisien respon seismik $C_s = 1,1251$

Batas atas ($T < T_0$) C_s max =

C_s max, X = 0,2189

C_s max, Y = 0,2153

Batas bawah ($S_1 > 0,6$ g) C_s min = 0,0440

Koefisien seismik pakai (C_s)

C_s , X = 0,1251

C_s , Y = 0,1251

Berdasarkan tabel 3. Rasio Partisipasi Massa diperoleh sebanyak 12, Dimana nilai pada arah x mencapai 0,9997 (99%) dan pada arah Y mencapai 0,9929 (99,29%). Hal tersebut dapat di izinkan karena telah memenuhi batas minimum > 90% baik arah X dan Y. Pada SNI 1726 2019. Gaya geser dasar seismic, V dalam arah yang harus ditentukan dengan mengalikan nilai koefisien respon seismic C_s dengan nilai berat total bangunan yaitu 64,610 kN.

Gaya Geser Dasar Seismik

Perhitungan gaya geser dasar (base shear) merupakan salah satu tahapan penting dalam analisis struktur tahan gempa karena mencerminkan besarnya gaya lateral yang harus mampu ditahan oleh struktur akibat pengaruh gempa. Nilai gaya geser dasar ditentukan berdasarkan berat seismik efektif struktur (W) dan koefisien respons seismik (C_s) sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Pada tabel 4. Total massa efektif bangunan, agar dapat mengetahui massa yang di pikul dalam setiap lantai

Tabel 4. Total Massa Efektif Bangunan

Lantai	Massa (Kg)
Atap	98866,60
Kolom Atap	92379,90
Pedestal	83377,70
Lantai 4	1311201,10
Lantai 3	1744491,60
Lantai 2	1756892,30
Lantai 1	1748375,10

Simpangan (*Displacement*)

Faktor pembesaran defleksi (C_d) didapatkan dari SNI 1726 2019, untuk sistem ganda dengan dinding geser beton bertulang khusus dengan nilai $C_d = 5,5$. Faktor keutamaan gempa (I_e), berdasarkan kategori risiko bangunan. Gedung ini termasuk kategori risiko IV sehingga nilai dari $I_e = 1,5$. Karena gedung ini dibuat untuk rumah sakit khusus pasien. Simpangan antar lantai untuk semua struktur lainnya dengan kategori risiko IV simpangan antar lantai yaitu $0,015h\{sx\}$. Pada tabel 5. Simpangan antar tingkat, mengetahui hasil dari setiap lantai mulai dari lantai 1 sampai dengan lantai 4

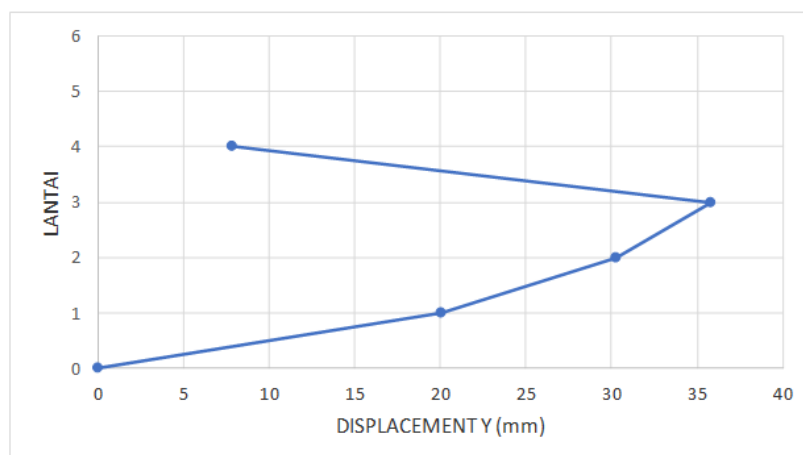
Tabel 5 Simpangan Antar Tingkat

Story	Displace-x (mm)	Displace-Y (mm)	Inelastic-x (mm)	Inelastic-y (mm)	Drift Limit (mm)	Cek
Lantai 4	28,275	6,666	14,615	3,421	57,692	OK
Lantai 3	24,289	5,733	25,857	6,101	57,692	OK
Lantai 2	17,237	4,069	33,733	7,975	57,692	OK
Lantai 1	8,037	1,894	29,469	6,945	57,692	OK

Pada tabel 6. Joint displacement arah y, agar dapat mengetahui displacement arah Y yang dihasilkan dari sap 2000

Tabel 6 Joint Displacement Arah Y

Lantai	Joint	Output Case	U2 (mm)	U3 (mm)
4	237	RSY	7,850	0,195
3	247	RSY	35,819	0,402
2	248	RSY	30,251	0,386
1	249	RSY	20,034	0,325

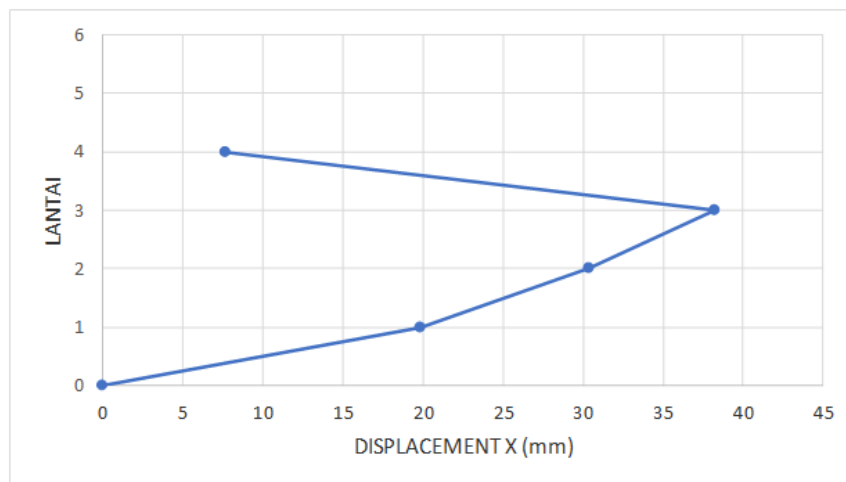


Gambar 1 Displacement Arah Y

Pada gambar 1. Displacement arah Y. menunjukkan agar mengetahui analisa dari simpangan tiap lantai

Tabel 7 . Joint Displacement arah X

Lantai	Joint	Output Case	U1 (mm)	U3 (mm)
4	237	RSX	7,661	0,295
3	247	RSX	38,205	0,595
2	248	RSX	30,350	0,578
1	249	RSX	19,832	0,488



Gambar 2 Displacement Arah X

Pada gambar 2. Displacement arah x, menunjukkan agar mengetahui analisa dari simpangan tiap lantai.

Evaluasi Kekuatan Struktur

Dalam evaluasi kinerja struktur, setiap elemen struktur harus memenuhi persyaratan kekuatan sesuai dengan standar yang berlaku. Berdasarkan SNI 2847:2019, kekuatan rencana pada setiap penampang harus memenuhi ketentuan $\phi S_n \geq U$ yang mencakup kapasitas terhadap momen nominal, gaya geser nominal, dan torsi nominal (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Evaluasi Kekuatan Kolom

Desain penulangan pada kolom dihitung berdasarkan gaya-gaya dalam akibat pembebanan yang bekerja pada kolom. Penulangan balok kolom yang dianalisis meliputi tulangan geser.

Tulangan Geser

Hasil tahanan geser beton

$$f * V_c = 120,225 \text{ kN}$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan geser yaitu 120,225 kN

Evaluasi Kekuatan Balok B1

Perencanaan penulangan balok didasarkan pada hasil analisis gaya dalam yang timbul akibat pembebanan yang bekerja pada elemen balok. Pada penelitian ini, analisis balok B1 mencakup perencanaan tulangan lentur dan tulangan torsi sesuai dengan kebutuhan kapasitas struktur.

Tulangan momen positif

Hasil perhitungan dari faktor tahanan momen :

$$R = M \times 10 (b \times d) = 0,9081$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan momen positif yaitu 0,9081

Tulangan momen negatif

Hasil perhitungan dari faktor tahanan momen :

$$R = M \times 10 (b \times d) = -2,4716$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan momen negatif yaitu -2,4716

Tulangan Geser

Hasil tahanan geser beton :

$$f * V_c = 147,365 \text{ kN}$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan geser yaitu 147,365 kN

Tulangan Torsi

Hasil perhitungan dari tulangan torsi

$$\phi \times 0,083 \times f'c \times A_{cp} \times P_{cp} = 9.803.190 \text{ N}$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan torsi yaitu 9803,19 kN

Evaluasi Kekuatan Balok B2

Perencanaan penulangan balok B2 dilakukan berdasarkan hasil analisis gaya dalam yang dihasilkan oleh pembebanan pada struktur. Analisis penulangan meliputi perencanaan tulangan lentur dan tulangan torsi untuk memastikan elemen balok memenuhi persyaratan kekuatan sesuai standar yang berlaku.

Tulangan momen positif

Hasil perhitungan dari faktor tahanan momen :

$$R = M \times 10 (b \times d) = 1,0958$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan momen positif yaitu 1,0958

Tulangan momen negatif

Hasil perhitungan dari faktor tahanan momen :

$$R = M \times 10 (b \times d) = -2,5642$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan momen negatif yaitu -2,5642 8

Tulangan Geser

Hasil tahanan geser beton :

$$f * V_c = 70,128 \text{ kN}$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan geser yaitu 70,128 kN

Tulangan Torsi

Hasil perhitungan dari tulangan torsi

$$\phi \times 0,083 \times f'c \times A_{cp} \times P_{cp} = 3501139 \text{ N}$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan torsi yaitu 3501,139 kN

Evaluasi Kekuatan Balok BK;

Perencanaan penulangan balok BK didasarkan pada hasil analisis gaya dalam akibat pembebanan yang bekerja pada elemen struktur. Analisis yang dilakukan meliputi perencanaan tulangan lentur dan tulangan torsi untuk memastikan balok memenuhi persyaratan kekuatan sesuai standar yang berlaku.

Tulangan momen positif

Hasil perhitungan dari faktor tahanan momen :

$$R = M \times 10 (b \times d) = 2,4219$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan momen positif yaitu 2,4219

Tulangan momen negatif

Hasil perhitungan dari faktor tahanan momen :

$$R = M \times 10 (b \times d) = 0,000$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan momen negatif yaitu 0,000

Tulangan Geser

Hasil tahanan geser beton :

$$f * V_c = 71,769 \text{ kN}$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan geser yaitu 71,769 kN

Tulangan Torsi

Hasil perhitungan dari tulangan torsi

$$\phi \times 0,083 \times f_c' \times A_{cp} P_{cp} = 3501139 \text{ N}$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan torsi yaitu 3501,139 kN

Evaluasi Kekuatan Balok BK2

Perencanaan penulangan balok BK2 dilakukan berdasarkan hasil analisis gaya dalam yang dihasilkan oleh pembebanan pada elemen struktur. Analisis penulangan meliputi perencanaan tulangan lentur dan tulangan torsi untuk memastikan balok memenuhi persyaratan kekuatan sesuai standar yang berlaku.

Tulangan momen positif

Hasil perhitungan dari faktor tahanan momen :

$$R = M \times 10 (b \times d) = 0,8722$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan momen positif yaitu 0,8722 9

Tulangan momen negatif

Hasil perhitungan dari faktor tahanan momen :

$$R = M \times 10 (b \times d) = 0,000$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan momen negatif yaitu 0,000

Tulangan Geser

Hasil tahanan geser beton :

$$f \times V_c = 34,176 \text{ kN}$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan geser yaitu 34,176 kN

Tulangan Torsi

Hasil perhitungan dari tulangan torsi

$$\phi \times 0,083 \times f_c' \times A_{cp} P_{cp} = 1225399 \text{ N}$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan torsi yaitu 1225,399 kN

Evaluasi Kekuatan Plat Lantai

Perencanaan penulangan pelat lantai didasarkan pada hasil analisis gaya dalam akibat pembebanan yang bekerja pada elemen pelat. Analisis dilakukan untuk menentukan kebutuhan penulangan pelat lantai sehingga memenuhi persyaratan kekuatan sesuai dengan standar yang berlaku.

Penulangan Pelat Lantai

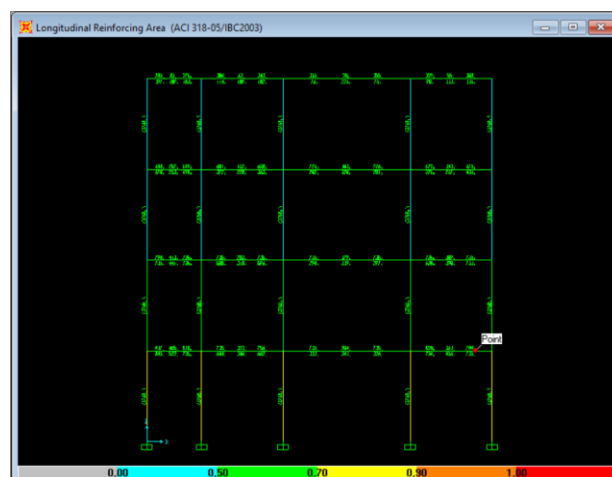
Hasil perhitungan dari rasio tulangan pada kondisi balance:

$$R = b \times 0,85 \times f_c' \times f_y \times 600 (600 \times f_y) = 0,0303$$

Jadi hasil dari perhitungan tulangan pada kondisi balance atau kondisi berimbang yaitu 0,0303

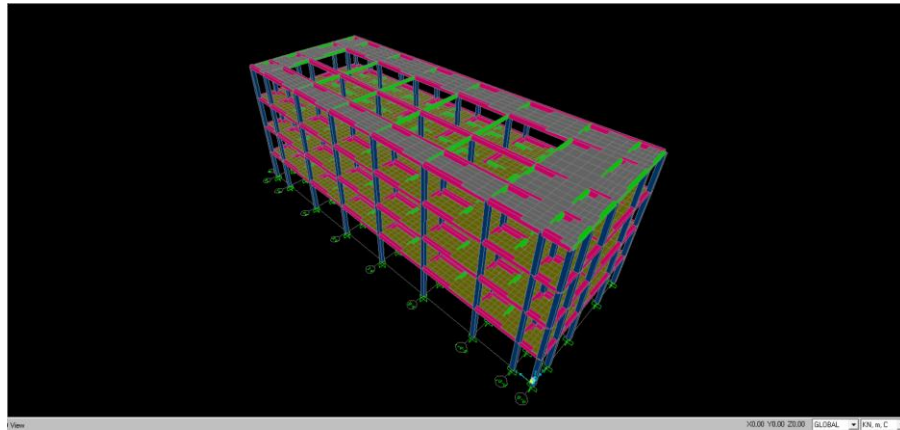
Dan hasil perhitungan dari faktor tahanan momen pelat lantai :

$$R = M \times 10 (b \times d) = 1,22852 \text{ Jadi hasil dari perhitungan tulangan pelat lantai yaitu 1,22852}$$



Gambar 3 Kolom Yang Akan diretrofit

Pada gambar 3. Kolom yang akan diretrofit, menunjukkan bahwa terdapat kolom yang masih berwarna kuning ke merah yang menunjukkan bahwa struktur ini tidak aman.

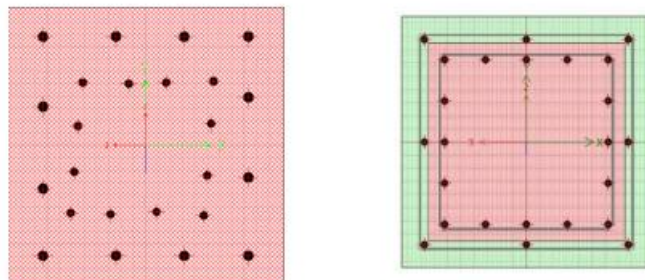


Gambar 4 Model Tiga Dimensi SAP2000

Pada gambar 4. Model tiga dimensi sap 2000, menunjukkan permodelan menggunakan sap 2000 yang akan dianalisa selanjutnya.

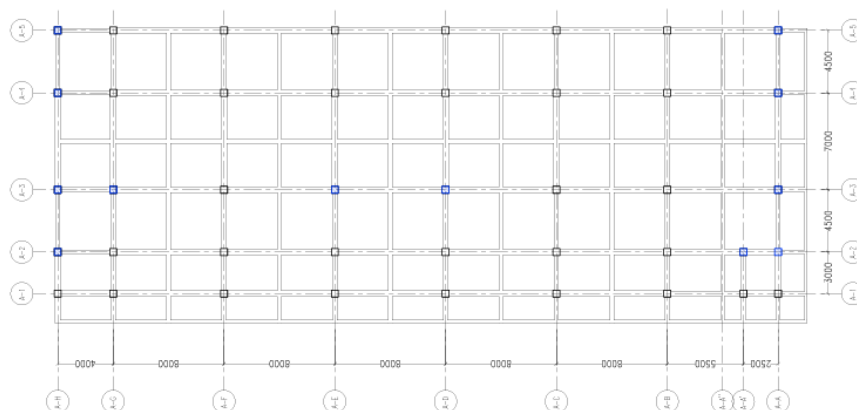
Retrofit Kolom Dengan *Concrete Jacketing*

Retrofitting kolom menggunakan metode concrete jacketing merupakan salah satu teknik perkuatan struktur yang bertujuan meningkatkan kapasitas elemen kolom terhadap beban aksial, lentur, maupun geser. Metode ini dilakukan dengan menambahkan lapisan material baru yang menyelimuti kolom eksisting sehingga dimensi penampang, luas tulangan, dan kekakuan struktur mengalami peningkatan (Kim et al., 2017).



Gambar 5 Concrete Jacketing

Pada gambar 5. Concrete Jacketing, menunjukkan untuk merencanakan tulangan retrofit yang akan dianalisa. Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan efektivitas metode ini pada berbagai tipe elemen struktur (Xiao & Ma, 1997; Xiao & Wu, 2003; Rodriguez & Park, 1994; Harries, 2021; Aisy et al., 2026; Parmo et al., 2025).



Gambar 6 Denah Kolom Retrofit

Pada gambar 6. Denah kolom retrofit merupakan denah kolom lantai 1, untuk mengetahui kolom mana saja yang akan diretrofit.

- Data Retrofit

a. Penampang Beton

Lebar = 50 cm

Tinggi = 50 cm

b. Momen beban terfaktor

Pud = 8342 kg

Mud = 1124 kg-cm

c. Penulangan

f = 25

nst = 12 buah

fs = 8 mm

selimut beton = 3 cm

fc' = 300 kg/cm²

fy = 3900 kg/cm²

faktor reduksi = 0,75

Perhitungan :

- Gaya-gaya nominal yang harus dipikul penampang :

$$P_{nd} = \frac{P_{ud}}{\phi} = 111233 \text{ kg}$$

$$M_{nd} = \frac{M_{ud}}{\phi} = 1499 \text{ kg-cm}$$

- Luas tulangan total :

$$A_{st} = N_{st} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 58,90 \text{ cm}^2 = 2,36 \% A_b$$

- Kondisi penampang mengalami tekan murni :

$$P_o = 0,85 \times F_c' \times (1 \times t - A_{st}) + A_{st} \times F = 852208 \text{ kg}$$

- Gaya aksial maksimum yang boleh dipikul penampang kolom persegi :

$$P_{max} = 0,8 \times P_o = 681767 \text{ kg} \quad \text{PENAMPANG KOLOM MEMENUHI}$$

- Tinggi efektif penampang :

$$d = \frac{h - C_v - \phi_s}{10 - \frac{1}{2} \times 10} = 44,95 \text{ cm}$$

$$s = \frac{C_v + Q_s}{10 + 0,5 \times \phi} = 5,05 \text{ cm}$$

- Luas tulangan tekan & tulangan tarik :

$$A_s = 0,5 \times A_{st} = 29,45 \text{ cm}^2$$

$$A_s' = \frac{A_{st}}{2} = 29,45 \text{ cm}^2$$

- Tinggi garis netral pada kondisi berimbang :

$$X_b = \frac{0,003 \times d}{\frac{F_y}{2.100.000 + 0,003}} = 27,76 \text{ cm}$$

$$b_l = 0,85$$

$$a_b = 23,60 \text{ cm}$$

- Regangan dan tegangan baja tulangan tekan :

$$e_s' = 0,00245$$

$$e_y = 0,00186$$

$$f_s' = 3900 \text{ kg/cm}^2$$

- Gaya-gaya nominal pada kondisi berimbang :

$$C_c = 300884 \text{ kg}$$

$$C_s = 114864 \text{ kg}$$

$$T_s = 114864 \text{ kg}$$

$$P_{nb} = 300884 \text{ kg}$$

$$M_{nb} = 8554950 \text{ kg-cm}$$

$P_n < P_{nb}$: Zona kontrol tarik

Coba-coba :

$$x = 10,06 \text{ cm} < 27,76 \text{ cm}$$

$$a = 8,55 \text{ cm}$$

- Regangan dan tegangan baja tulangan :

$$e_s' = 0,00149$$

$$e_y = 0,00186$$

$$f_s' = 3136,13 \text{ kg/cm}^2$$

$$e_s = 0,01041$$

$$f_s = 3900 \text{ kg/cm}^2$$

- Gaya-gaya nominal penampang :

$$C_c = 108979 \text{ kg}$$

$$C_s = 92367 \text{ kg}$$

$$T_s = 114864 \text{ kg}$$

$$P_{nk} = 86481 \text{ kg} > 11123 \text{ kg} \text{ O.K. !}$$

$$M_{nk} = 6392998 \text{ kg-cm} > 14992 \text{ kg-cm} \text{ O.K. !}$$

$$P_{uk} = 61 \text{ ton} > 7,79 \text{ ton}$$

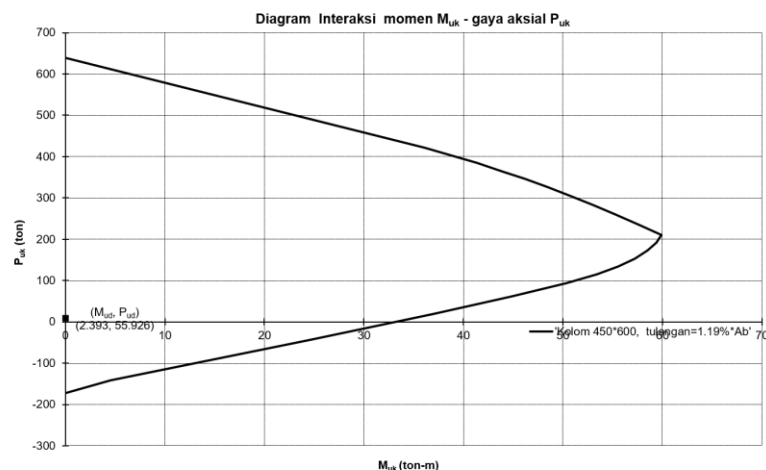
$$M_{uk} = 45 \text{ ton-m} > 0,01 \text{ ton-m}$$

Maka kolom yang telah diretrofit dengan metode concrete jacketing dengan perhitungan manual menghasilkan keamanan bagi struktur, untuk selanjutnya cek terhadap modeling sap 2000 untuk menjadi perbandingan.

Tabel 8. Data Grafik

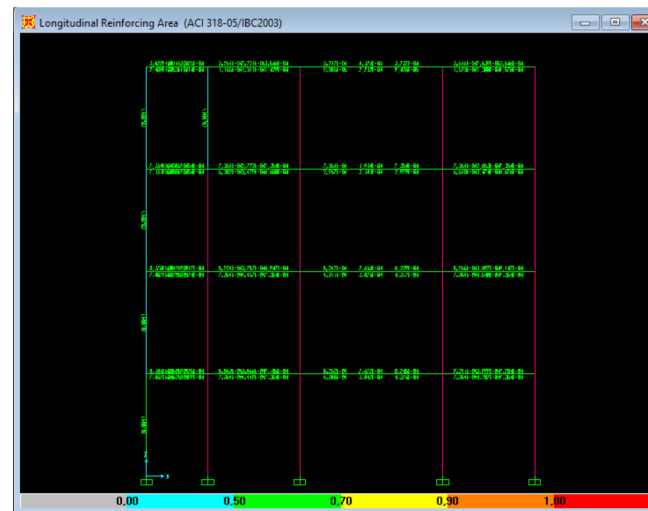
	x	a	e_s'	e_y	f_s'	e_s	f_s	C_c	C_s	T_s	P_{nk}	M_{nk}	0	-172.3
1	2,500	2,125	-0,00306	0,001857	-3900	0,05094	3900	27094	-114864	114864	-202635	648557	4,5	-141,8
2	5,026	4,272	-1,4E-05	0,001857	-30	0,023829	3900	54473	-874	114864	-61266	3519565	24,6	-42,9
3	7,553	6,420	0,000994	0,001857	2088	0,014855	3900	81852	61484	114864	28471	5301713	37,1	19,9
4	10,079	8,567	0,001497	0,001857	3143	0,010379	3900	109231	92582	114864	86948	6401423	44,8	60,9
5	12,605	10,715	0,001798	0,001857	3776	0,007698	3900	136610	111214	114864	132960	7193663	50,4	93,1
6	15,132	12,862	0,001999	0,001857	3900	0,005912	3900	163989	114864	114864	163989	7628213	53,4	114,8
7	17,658	15,009	0,002142	0,001857	3900	0,004637	3900	191368	114864	114864	191368	7931147	55,5	134,0
8	20,184	17,157	0,002249	0,001857	3900	0,003681	3900	218747	114864	114864	218747	8175287	57,2	153,1
9	22,711	19,304	0,002333	0,001857	3900	0,002938	3900	246126	114864	114864	246126	8360635	58,5	172,3
10	25,237	21,451	0,0024	0,001857	3900	0,002343	3900	273505	114864	114864	273505	8487189	59,4	191,5
11	27,763	23,599	0,002454	0,001857	3900	0,001857	3900	300884	114864	114864	300884	8554950	59,9	210,6
12	29,482	25,060	0,002486	0,001857	3900	0,001574	3305	319510	114864	97352	337023	8218061	57,5	235,9
13	31,201	26,521	0,002514	0,001857	3900	0,001322	2776	338136	114864	81768	371233	7892453	55,2	259,9
14	32,919	27,981	0,00254	0,001857	3900	0,001096	2302	356763	114864	67812	403815	7572097	53,0	282,7
15	34,638	29,442	0,002563	0,001857	3900	0,000893	1876	375389	114864	55240	435013	7252161	50,8	304,5
16	36,357	30,903	0,002583	0,001857	3900	0,000709	1489	394015	114864	43857	465022	6928727	48,5	325,5
17	38,075	32,364	0,002602	0,001857	3900	0,000542	1138	412641	114864	33502	494003	6598582	46,2	345,8
18	39,794	33,825	0,002619	0,001857	3900	0,000389	816	431267	114864	24041	522090	6259072	43,8	365,5
19	41,513	35,286	0,002635	0,001857	3900	0,000248	522	449893	114864	15364	549394	5907980	41,4	384,6
20	43,231	36,747	0,00265	0,001857	3900	0,000119	250	468519	114864	7377	576007	5543442	38,8	403,2
21	44,950	38,208	0,002663	0,001857	3900	0	0	487146	114864	0	602010	5163879	36,1	421,4

Dalam Tabel 8. Data grafik merupakan hasil dari perhitungan retrofit yang akan digunakan untuk menghasilkan diagram interaksi momen.



Gambar 7. Diagram Interaksi Momen

Dalam gambar 7. Diagram interaksi menghasilkan bahwa kolom memenuhi karena menghasilkan titik yang berada di dalam bukan diluar garis.



Gambar 8. Hasil Retrofit

Pada gambar 8. Hasil retrofit menunjukkan dari hasil retrofit dari aplikasi SAP 2000 V.14, yang sebelumnya berwarna kuning ke merah yang menandakan bahwa kolom yang sebelumnya tidak aman. Dalam gambar menunjukkan hasil retrofit sudah aman

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi struktur Gedung A Rumah Sakit Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Jember menggunakan metode respons spektrum berbasis SAP2000 V.14 mengacu pada SNI 1726:2019 dan ASCE/SEI 41-17, dapat disimpulkan bahwa Gedung A RSPTN Jember termasuk kategori risiko IV dengan sistem struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK), berdiri pada kelas situs tanah sedang (SD), sehingga penilaian kinerja strukturnya menggunakan faktor keutamaan gempa $I_e = 1,5$ sesuai fungsi bangunan sebagai fasilitas layanan kesehatan yang harus tetap beroperasi pascagempa. Hasil analisis respons spektrum menunjukkan simpangan antar lantai (inter-story drift) maksimum sebesar 28,275 mm pada arah X dan 6,666 mm pada arah Y, keduanya masih berada di bawah batas izin (drift limit) 57,692 mm sesuai SNI 1726:2019, sehingga kinerja struktur secara global dari sisi kekakuan dan deformasi antar lantai dinyatakan memenuhi persyaratan keamanan terhadap beban gempa. Meskipun demikian, evaluasi kapasitas elemen kolom berdasarkan ASCE/SEI 41-17 mengidentifikasi adanya kolom yang belum memenuhi kriteria kinerja, ditandai dengan indikator warna kuning hingga merah pada hasil pemodelan SAP2000, sehingga kolom-kolom tersebut memerlukan perkuatan (retrofit) agar kapasitas aksial, lentur, dan geser sesuai dengan tuntutan beban gempa rencana. Retrofit kolom menggunakan metode concrete jacketing terbukti efektif meningkatkan kapasitas struktur, di mana hasil perhitungan manual menunjukkan kapasitas aksial dan momen nominal kolom setelah retrofit ($P_{nk} = 86.481$ kg dan $M_{nk} = 6.392.998$ kg-cm) telah melampaui gaya-gaya terfaktor yang bekerja, dan hal ini dikonfirmasi oleh diagram interaksi momen-aksial yang menempatkan titik kombinasi beban (Mud, Pud) di dalam kurva kapasitas penampang, serta diperkuat oleh verifikasi ulang pada model SAP2000 pascaretrofit yang menunjukkan perubahan indikator warna kolom dari kondisi tidak aman menjadi aman. Secara keseluruhan, kombinasi evaluasi kinerja struktur berbasis metode respons spektrum dan perkuatan menggunakan concrete jacketing terbukti mampu meningkatkan keamanan seismik Gedung A RSPTN Jember, sehingga pendekatan ini dapat dijadikan alternatif strategi retrofit pada bangunan rumah sakit sejenis untuk memenuhi persyaratan ketahanan gempa yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Civil Engineers. (2017). Seismic evaluation and retrofit of existing buildings (ASCE/SEI Standard 41-17). American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784414859>
- Aisy, A. R., Rastandi, J. I., & Sjah, J. (2026). Seismic performance evaluation of laboratory building with concrete column jacketing based on ASCE 41-17 using pushover analysis. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 10(3), 982–992. <https://doi.org/10.70609/g-tech.v10i3.9704>
- Bindhu, K. R., Mohana, N., & Sivakumar, S. (2016). New reinforcement detailing for concrete jacketing of nonductile exterior beam-column joints. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000700](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000700)

- Cook, D., Sen, A., Basnet, T., Koodiani, H., Creagh, A., Liel, A., Berkowitz, R., Ghannoum, W., Hortacsu, A., Kim, I., Lehman, D., Lowes, L., Matamoros, A., Naeim, F., Sattar, S., & Smith, R. (2023). ASCE/SEI 41 assessment of reinforced concrete buildings: Benchmarking ASCE/SEI 41 nonlinear dynamic procedures with empirical damage observations. *Earthquake Spectra*. <https://www.nist.gov/publications/ascesei-41-assessment-reinforced-concrete-buildings-benchmarking-ascesei-41>
- Harries, K. A. (2021). ASCE 41 seismic assessment of FRP-repaired concrete columns. *Journal of Composites for Construction*, 25(2), 04021001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0001111](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0001111)
- Kim, S.-W., Lee, J.-Y., Kim, K.-H., & Kim, Y.-J. (2017). Seismic performance of reinforced concrete columns retrofitted by various methods. *Engineering Structures*, 134, 217–235. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.12.046>
- Moehle, J. P. (2015). *Seismic design of reinforced concrete buildings*. McGraw Hill.
- Parmo, P., Hakim, A., Yusrianti, Y., & Wicaksono, B. G. A. (2025). Perkuatan struktur beton bertulang dengan metode FRP dan concrete jacketing. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 31(1), 149–159. <https://doi.org/10.14710/mkts.v31i1.72695>
- Paulay, T., & Priestley, M. J. N. (1992). *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470172841>
- Rodriguez, M., & Park, R. (1994). Seismic load tests on reinforced concrete columns strengthened by jacketing. *ACI Structural Journal*, 91(2), 150–159. <https://doi.org/10.14359/4593>
- Sen, A., Cook, D., Liel, A., Basnet, T., Berkowitz, R., Creagh, A., Ghannoum, W., Hortacsu, A., Kim, I., Koodiani, H., Lehman, D., Lowes, L., Matamoros, A., Naeim, F., Sattar, S., & Smith, R. (2023). ASCE/SEI 41 assessment of reinforced concrete buildings: Benchmarking linear procedures and FEMA P-2018 with empirical damage observations. *Earthquake Spectra*, 39(3). <https://doi.org/10.1177/87552930231173454>
- Xiao, Y., & Ma, R. (1997). Seismic retrofit of RC circular columns using prefabricated composite jacketing. *Journal of Structural Engineering*, 123(10), 1357–1364. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1997\)123:10\(1357\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1997)123:10(1357))
- Xiao, Y., & Wu, H. (2003). Retrofit of reinforced concrete columns using partially stiffened steel jackets. *Journal of Structural Engineering*, 129(6), 725–732. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2003\)129:6\(725\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:6(725))
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 1726:2019: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020: Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Badan Standardisasi Nasional.