

Retrofit Kolom Beton Bertulang Menggunakan Concrete dan Steel Jacketing untuk Mengatasi Soft Story Building

Lidya Fransisca Tjong*, Amardev Singh

Universitas Katolik Parahyangan, Jalan Ciumbuleuit No 94 – Bandung, 40141, Indonesia

*Corresponding email: lidya@unpar.ac.id

JoSC

Journal of Sustainable Construction

Vol. 04, No. 02, April 2025, 15-24

<https://journal.unpar.ac.id/index.php/josc>

e-ISSN: 2808-2869 | p-ISSN: 2964-4437

DOI: <https://doi.org/10.26593/josc.v4i2.9220>

INFORMASI ARTIKEL

Kata Kunci:

concrete jacketing, retrofit, soft story, steel jacketing

Dikirim: 08/04/2025

Direvisi: 25/04/2025

Diterima: 28/04/2025

ABSTRAK

Ketidakberaturan struktur akibat tuntutan arsitektur, seperti perbedaan tinggi lantai yang signifikan, dapat menimbulkan kondisi *soft story* (ketidakberaturan vertikal tipe 1a) yang berisiko menyebabkan kegagalan pada kolom. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas metode *retrofit* kolom dalam mengatasi kondisi *soft story*. Tiga model dianalisis: (1) model eksisting dengan *soft story* pada lantai 1, (2) model 1 yaitu model eksisting dengan *soft story* pada lantai 1 dengan *retrofit concrete jacketing*, dan (3) model 2 adalah model eksisting dengan *soft story* pada lantai 1 dengan *retrofit steel jacketing*. *Retrofit* diterapkan pada kolom sisi terluar lantai 1, dengan analisis menggunakan metode respons spektrum pada sistem struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Hasil analisis menunjukkan peningkatan kekakuan tingkat sebesar 26,12% pada model 1 dan 11,95% pada model 2, yang berhasil menghilangkan kondisi *soft story*. Selain itu, terjadi peningkatan kapasitas kolom yang ditunjukkan oleh penurunan nilai *Demand to Capacity (D/C) Ratio* masing-masing sebesar 4,11% dan 6,75%, serta peningkatan kapasitas aksial dan momen sebesar 58,58% dan 78,43% pada model 1, serta 273,11% dan 65,27% pada model 2.

1. PENDAHULUAN

Dalam proses perancangan gedung, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah ketidakberaturan dalam arah horizontal dan vertikal. Salah satu bentuk ketidakberaturan vertikal adalah ketidakberaturan tingkat lunak, yang dikenal sebagai *soft story*.

Ketidakberaturan vertikal tingkat lunak, *soft story*, dapat terjadi pada bangunan yang memiliki salah satu lantai dengan perbedaan ketinggian signifikan dibandingkan lantai lainnya. Kondisi ini dapat ditemukan pada lantai dasar bangunan maupun lantai lainnya. *Soft story* didefinisikan sebagai lantai yang memiliki kekakuan atau daktilitas yang tidak memadai dalam menahan beban seismik. Dampak dari *soft story* pada suatu bangunan menjadi signifikan apabila bangunan tersebut menerima beban lateral yang besar, seperti beban gempa. Fenomena *soft story* bila terjadi pada lantai dasar bangunan, yang berarti bahwa apabila kolom pada lantai dasar mengalami kegagalan, maka bangunan dapat mengalami keruntuhan total dan tidak dapat digunakan kembali [1].

Pada tanggal 25 April 2015, terjadi gempa dengan magnitude 7.8 SR di Kathmandu, Nepal yang menyebabkan keruntuhan gedung akibat kondisi *soft story* di lantai dasar [2] seperti pada Gambar 1 dan pada tanggal 12 Mei 2008, terjadi gempa dengan magnitude 7.9 SR di Wenchuan, China. Di Dujiangyan terjadi kegagalan kolom akibat kondisi *soft story* pada lantai dasar [3]

ditunjukkan di Gambar 2.

Retrofit kolom adalah perkuatan atau perbaikan elemen kolom dalam suatu struktur bangunan untuk meningkatkan kapasitasnya. Metode yang umum digunakan dalam perkuatan kolom, adalah *Concrete Jacketing* dan *Steel Jacketing*. Perkuatan menggunakan *Concrete Jacketing* dilakukan dengan menambahkan lapisan beton baru pada elemen eksisting, sehingga meningkatkan dimensi dan kapasitas struktur. Sedangkan *Steel Jacketing* dilakukan dengan menambahkan pelat baja atau profil *angle* pada elemen eksisting untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan [4-5]. Kedua metode perkuatan ini memiliki karakteristik dan efektivitas yang berbeda.



Gambar 1. Keruntuhan Gedung Dengan Kondisi *soft story* akibat gempa Nepal [2]





Gambar 2. Kondisi *soft story* pada lantai dasar di Dujiangyan [3]

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kajian Literatur

Struktur dengan ketidakberaturan tingkat lunak (*soft story*) memiliki risiko kegagalan struktural yang lebih tinggi akibat beban lateral, seperti gempa bumi. Bangunan dengan konfigurasi *soft story* cenderung mengalami deformasi lateral yang signifikan, sehingga meningkatkan potensi kegagalan struktur. Berbagai studi yang telah dilakukan untuk mengurangi atau mengatasi efek dari *soft story*, antara lain melalui penggunaan elemen *bracing*, penambahan dinding pengisi, serta pemanfaatan material dengan karakteristik berbeda [6–10].

Untuk meningkatkan ketahanan struktur terhadap beban lateral, berbagai metode *retrofit* telah dikembangkan. Salah satunya adalah penambahan *voute* segitiga pada sambungan kolom-balok serta penggunaan material beton resin poliester sebagai penguat [11–12]. Studi lain yang dilakukan oleh Islam [13] mengevaluasi efektivitas penggunaan balok tarik dan teknik *jacketing* pada kolom dalam meningkatkan kapasitas struktur terhadap beban lateral dan vertikal. Hasil studi tersebut menunjukkan bahwa metode tersebut secara signifikan dapat mengurangi deformasi serta meningkatkan stabilitas bangunan, terutama pada struktur dengan elemen kolom yang memiliki tingkat kelangsingan tinggi. Selain itu, metode *retrofit* menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) wrapping* yang dikombinasikan dengan penambahan *bracing* juga telah diteliti. Hasil studi menunjukkan adanya peningkatan kekuatan struktural yang signifikan, perubahan *mode shape*, serta penurunan *drift ratio* sehingga memenuhi kriteria desain seismik [14].

Matiyas et al. [15] menyajikan tinjauan komprehensif mengenai berbagai teknik analisis dan metode *retrofit* yang diterapkan pada struktur bertingkat dengan *soft story*. Metode-metode tersebut mencakup penggunaan elemen struktural seperti baja dan beton, penambahan dinding geser, *bracing*, serta perangkat disipasi energi, yang secara umum menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam meningkatkan performa seismik bangunan. Selanjutnya, Manos et al. [16] meneliti kerentanan bangunan beton bertulang bertingkat dengan *soft story* di lantai dasar terhadap beban gempa. Mereka mengevaluasi skema *retrofit* yang melibatkan penambahan dinding pengisi beton bertulang pada lantai dasar, yang

dikombinasikan dengan *concrete jacketing* pada elemen rangka sekitarnya. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan yang signifikan pada kekakuan, kekuatan, serta kapasitas disipasi energi plastis struktur.

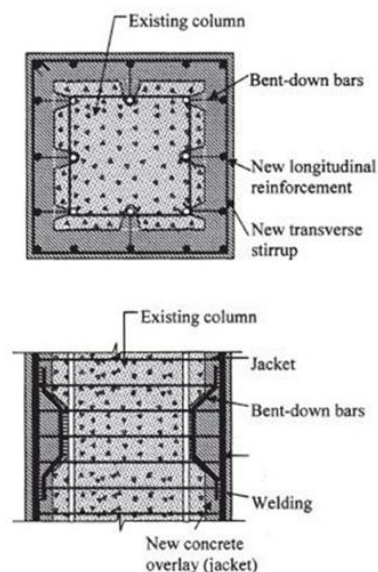
Berdasarkan tinjauan literatur yang telah dilakukan, belum ditemukan studi yang secara langsung membandingkan penerapan *concrete jacketing* dan *steel jacketing* pada struktur *soft story* dalam kondisi yang sama. Perbedaan utama dalam studi ini adalah tidak digunakannya elemen tambahan seperti dinding pengisi atau perangkat disipasi energi lainnya. *Retrofit* difokuskan hanya pada elemen kolom, dengan dua metode yaitu *concrete jacketing* dan *steel jacketing*.

Retrofitting Struktur Bangunan

Retrofitting pada struktur bangunan umumnya diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu *retrofitting* lokal dan *retrofitting* global. *Retrofitting* lokal dilakukan pada elemen struktur tertentu yang tidak mampu menahan beban atau gaya gempa sesuai dengan ketentuan. Metode ini bersifat terbatas pada area yang mengalami kelemahan struktural, seperti dengan penambahan tulangan lentur atau teknik *jacketing* pada kolom menggunakan material seperti beton, baja, atau *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*. Sedangkan *retrofitting* global bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan kinerja struktur secara keseluruhan. Contoh penerapan *retrofitting* global meliputi pemasangan *shear wall*, *infill wall*, *base isolation*, dan sistem *bracing* [4, 14].

Concrete jacketing

Concrete jacketing merupakan salah satu metode perkuatan dengan menambahkan lapisan beton yang baru serta tulangan tambahan pada elemen struktur eksisting. Tujuan utama metode ini adalah meningkatkan kapasitas daya dukung, daktilitas, serta ketahanan terhadap beban gempa [4].



Gambar 3. *Concrete Jacketing* [4]

Berdasarkan standar [4],

- a. Luas beton dan luas tulangan yang dibutuhkan untuk *jacketing* :

$$A_c = (3/2)A_{c'} \quad (1)$$

$$A_s = (4/3)A_{s'} \quad (2)$$

dengan A_c dan A_s menunjukkan luas beton dan luas tulangan yang diperlukan pada *jacketing* sedangkan $A_{c'}$ dan $A_{s'}$ menunjukkan luas beton dan luas tulangan eksisting.

- b. Spasi kait pada *jacketing* :

$$s = \frac{f_y \cdot d_h^2}{\sqrt{f'_c} \cdot t_j} \quad (3)$$

dengan s menunjukkan spasi kait, f_y menunjukkan tegangan leleh tulangan, f'_c menunjukkan kuat tekan beton, d_h menunjukkan diameter sengkang dan t_j menunjukkan ketebalan *jacketing*.

Tabel 1. Ketentuan *Concrete Jacketing* [16]

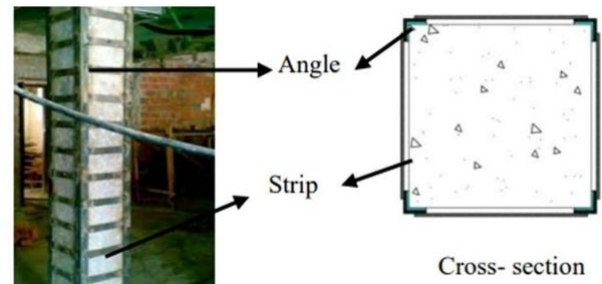
Spesifikasi <i>jacketing</i>	Kuat tekan beton <i>jacketing</i> sama atau lebih besar 5 N/mm ² dari kuat tekan beton elemen eksisting
Tebal <i>jacketing</i>	Minimum 100 mm
Tulangan longitudinal	Spasi ≤ 6 tebal <i>jacketing</i> dan maksimum 600 mm Rasio tulangan <i>jacketing</i> 0,015-0,04 Di setiap sudut dipasang tulangan
Tulangan transversal	Spasi sesuai dengan peraturan ketahanan gempa Diametr minimum 10 mm atau 1/3 dari diameter maksimum tulangan longitudinal Kait dibengkokkan 135°

Metode *concrete jacketing* memiliki sejumlah keunggulan dalam peningkatan kinerja struktur. Selain mampu meningkatkan kapasitas daya dukung, daktilitas, serta ketahanan terhadap beban gempa [4], metode ini juga terbukti efektif dalam memperbaiki atau memperkuat kolom dengan derajat kelangsingan tinggi maupun kolom yang telah mengalami degradasi [13]. Dari segi pelaksanaan, metode ini bersifat umum dan tidak memerlukan peralatan khusus, sehingga memudahkan penerapannya di lapangan. Namun demikian, metode ini juga memiliki beberapa keterbatasan. Penambahan lapisan beton mengakibatkan bertambahnya dimensi elemen struktur, sehingga meningkatkan beban mati bangunan. Selain itu, ikatan antara beton lama dengan beton baru tidak selalu homogen, yang akibatnya dapat mengurangi efektivitas *retrofit*. Proses pelaksanaan yang relatif memakan waktu juga menjadi salah satu tantangan dalam penerapan *concrete jacketing*.

Steel Jacketing

Steel jacketing adalah salah satu metode perkuatan kolom untuk meningkatkan daktilitas dan kapasitas geser dari kolom serta meningkatkan ketahanan seismik gedung dalam menahan beban gempa. *Steel jacketing* dapat

menggunakan pelat baja dan profil baja siku yang dipasang pada keempat sisi kolom [5].



Gambar 4. *Steel Jacketing* [17]

Tabel 2. Ketentuan *Steel Jacketing* [5]

Dimensi profil / pelat baja	Profil baja siku tidak boleh kurang dari 50x50x5 Tebal pelat baja minimum 6 mm
Ketinggian <i>Jacketing</i>	1.2 - 1.5 dari panjang <i>splice</i> jika kolom lentur Sesuai tinggi kolom jika kolom geser
Ujung bebas pada <i>jacketing</i>	Dilas diseluruh ketinggian <i>jacketing</i>
Celah antara <i>steel jacket</i> dan kolom beton.	Diisi dengan <i>cement grouting</i> setebal 25 mm
Ukuran dan jumlah dari angkur	Diameter 25 mm dengan panjang 300 mm, yang tertanam pada kolom beton sedalam 200 mm. Angkur dipasang setelah melakukan pengeboran lubang pada <i>steel jacket</i> dan menggunakan <i>epoxy adhesive</i> . Dua angkur dibutuhkan untuk memperkaku <i>steel jacket</i>

Rekomendasi desain *steel jacketing* menurut L. Cirtex [18].

- a. Panjang sisi dari pelat siku :

$$a \geq 0.2\beta \quad (4)$$

$$\beta = 0.5(a+b) \quad (5)$$

dengan a menunjukkan panjang sisi pelat siku, a menunjukkan panjang sisi kolom arah X dan b menunjukkan panjang sisi kolom arah Y.

- b. Tebal dari pelat siku :

$$t \geq 0.1a \quad (6)$$

dengan t menunjukkan tebal pelat siku.

- c. Jarak antar strip :

$$0.40\beta \leq a_{str} \leq 0.75\beta \quad (7)$$

dengan a_{str} menunjukkan jarak antar strip

- d. Luas dan tebal dari strip :

$$A_{str} \geq 0.004\beta^2 \quad (8)$$

$$t_{str} \leq t \quad (9)$$

dengan A_{str} menunjukkan luas strip dan t_{str} menunjukkan tebal strip.

Steel jacketing memiliki sejumlah keunggulan dalam *retrofit* struktur beton bertulang. Metode ini mampu meningkatkan daktilitas, kapasitas geser, serta ketahanan seismik struktur terhadap beban gempa [5]. Selain itu, penambahan dimensi penampang akibat penerapan jaket baja relatif kecil, dan proses pelaksanaannya cenderung lebih cepat dibandingkan metode *concrete jacketing*. Namun demikian, *steel jacketing* juga memiliki beberapa keterbatasan. Salah satu kekurangannya adalah kerentanan terhadap korosi, terutama jika profil/ pelat baja tidak dilindungi dengan sistem pelapisan yang memadai. Di samping itu, dalam pemasangan material baja memerlukan tenaga kerja dengan keahlian khusus, khususnya dalam hal pengelasan dan penanganan material baja.

Soft Story

Suatu struktur dapat diklasifikasikan sebagai beraturan atau tidak beraturan berdasarkan kriteria yang tercantum dalam SNI 1727:2019 [19]. Ketidakberaturan dalam struktur dibagi menjadi dua jenis, yaitu ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal. Salah satu ketidakberaturan vertikal adalah *soft story*, yang termasuk dalam kategori ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak atau tipe 1a. Ketidakberaturan ini terjadi apabila suatu tingkat memiliki kekakuan lateral kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% dari kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya [19].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis numerik untuk mengevaluasi struktur gedung beton bertulang yang mengalami *soft story*. Metode analisis struktur yang dipergunakan analisis elastis linier respon spektrum.

Objek Penelitian

Objek penelitian berupa gedung beton bertulang 8 lantai yang berfungsi sebagai hotel dan berlokasi di Jakarta pada tanah lunak. Sistem struktur dipergunakan sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

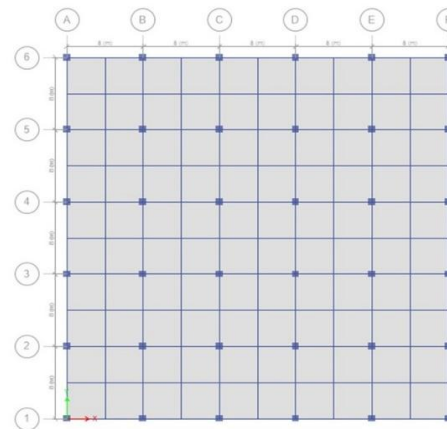
Simulasi struktur dibagi menjadi tiga model sebagai berikut:

- Model *eksisting*: bangunan *eksisting* dengan ketidakberaturan vertikal tingkat lunak (*soft story*) pada lantai 1.
- Model 1: bangunan *eksisting* dengan *soft story* pada lantai 1 dan di-*retrofit* dengan *concrete jacketing*.
- Model 2: bangunan *eksisting* dengan *soft story* pada lantai 1 dan di-*retrofit* dengan *steel jacketing*.

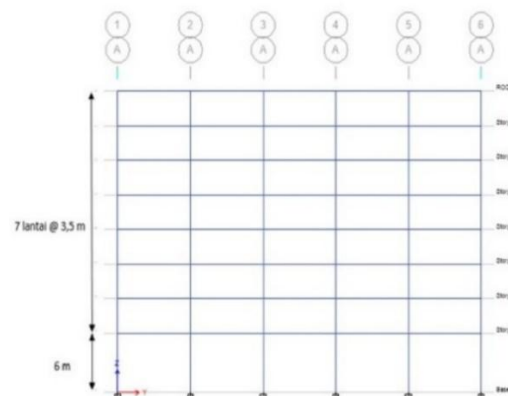
Dalam analisis Model 1 dan 2 tidak memperhitungkan deformasi pada Model *eksisting*. Sementara itu, gambar denah, potongan dan tampak 3D dari ketiga model ditampilkan pada Gambar 5 – 7.

Dimensi balok untuk semua model sama, (1) Balok Induk (BI) 350 x 700 mm dan (2) Balok Anak (BA) 250 x 500

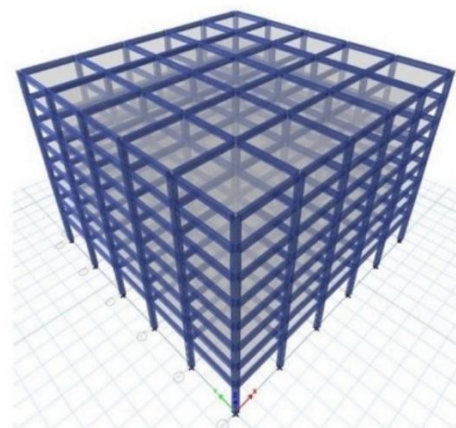
mm. Dimensi kolom model *eksisting* K1 750 x 750 mm dengan tulangan 16D25. Untuk model 1, kolom K1 pada lantai 1 di sisi terluar di-*retrofit* dengan *concrete jacketing* dan untuk model 2 kolom K1 pada posisi yang sama di-*retrofit* dengan *steel jacketing* [15], [16], [17], [18], [22]. Posisi kolom yang di-*retrofit* berada di sisi terluar yaitu yang diberi warna merah seperti pada Gambar 8. Diambil di sisi terluar dengan pertimbangan nilai D/C ratio yang mendekati nilai satu dan dari tampilan arsitektur.



Gambar 5. Denah Lantai Tipikal



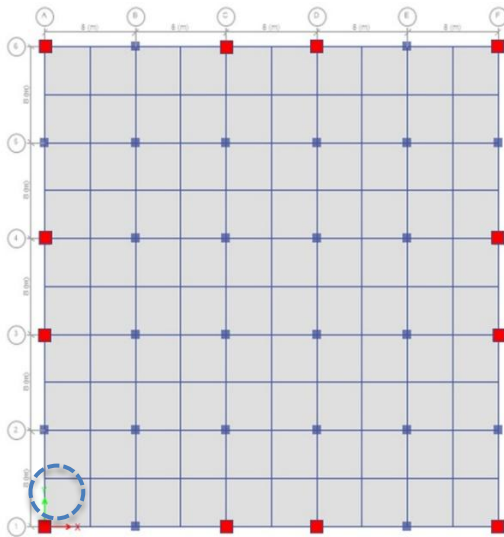
Gambar 6. Potongan pada As A



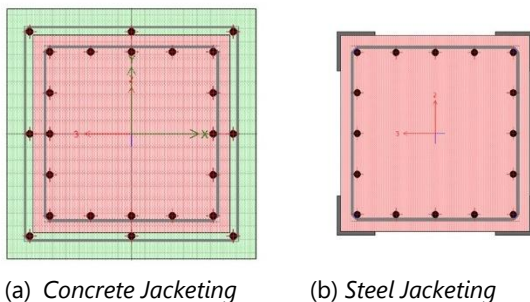
Gambar 7. Tampak 3D

Tabel 3. Data Material

Material	Mutu	Modulus Elastisitas (E)
Beton	$f_c' = 30 \text{ MPa}$	$4700 \sqrt{f_c'}$
Baja Tulangan	$f_{ysr} = 420 \text{ MPa}$	200000 MPa
Baja Profil	BJ-37, $f_y = 240 \text{ MPa}$ $F_u = 370 \text{ MPa}$	200000 MPa



Gambar 8. Denah Kolom Retrofit



Gambar 9. Penampang Kolom Retrofit

Tabel 4. Kolom Retrofit Concrete Jacketing

Tipe	Dimensi (mm)	Mutu Beton Jacketing	Tul. Long. Tambahan	Tul. Trans. Tambahan
K-CJ	950 x 950	35 MPa	8 D25	D10

Tabel 5. Kolom Retrofit Steel Jacketing

Tipe	Dimensi (mm)	Profil Siku (mm)	Plat Strip (mm)
K-SJ	750 x 750	150 x 150 x 15	600 x 15

Pembebanan

Beban gravitasi terdiri dari beban mati (berat sendiri dan beban mati tambahan) serta beban hidup. Besarnya beban mati tambahan $1,25 \text{ kN/m}^2$, beban hidup lantai $1,72 \text{ kN/m}^2$ dan beban hidup lantai atap $0,96 \text{ kN/m}^2$. Beban dinding $7,875 \text{ kN/m}$. Standar yang dipergunakan adalah SNI 1727:2013 [20].

Beban gempa mengacu pada SNI 1727:2019 [19]. Untuk fungsi gedung sebagai hotel termasuk ke dalam kategori risiko II, faktor keutamaan, $I_e = 1$ dengan kelas situs tanah lunak (SE). Percepatan Respons Spektral MCE Terpetakan $S_s = 0,68$ & $S_1 = 0,29$, Koefisien Situs $F_a = 1,412$ & $F_v = 2,85$. Percepatan Respons Spektral MCE SMS $= 0,96$ & $S_{M1} = 0,287$. Percepatan Respons Spektral SDS $= 0,64$ & $S_{D1} = 0,551$. Kategori Desain Seismik D, Sistem struktur SRPMK sehingga koefisien modifikasi respon, $R = 8$, Faktor Perbesaran Defleksi, $C_d = 5,5$, Faktor Kuat Lebih, $\Omega_0 = 3$ dan Faktor Redudansi 1,3 [19].

Analisis Struktur

Untuk pemodelan dan analisis struktur menggunakan perangkat lunak ETABS [23]. Perangkat lunak lain yang dipergunakan adalah Excel dan Mathcad.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Periode dan Gerak Dominan Struktur

Periode struktur pada model eksisting tercatat sebagai yang tertinggi, yaitu sebesar 1,535 detik. Setelah dilakukan retrofit, terjadi penurunan periode sebesar 4,10% pada Model 1 dan 1,75% pada Model 2. Dalam analisis struktur bangunan bertingkat, gerak dominan pada ragam pertama dan kedua seharusnya berupa translasi, sedangkan pada ragam ketiga berupa rotasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh model telah memenuhi ketentuan tersebut. Informasi terkait periode struktur dan karakteristik gerakan pada masing-masing ragam disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Periode & Gerak Dominan Struktur

Mode	Periode (sec)	UX	UY	RZ
Model Eksisting				
1	1,535	0,8718	0,0001	0
2	1,535	0,0001	0,8718	0
3	1,362	0	0	0,8727
Model 1				
1	1,472	0	0,8508	0
2	1,472	0,8508	0	0
3	1,287	0	0	0,8427
Model 2				
1	1,508	0,8633	0,0001	0
2	1,508	0,0001	0,8633	0
3	1,328	0	0	0,8605

Partisipasi Massa Ragam

Nilai partisipasi massa ragam yang disyaratkan adalah lebih besar dari 90 persen. Untuk semua model, pada mode ke-12 telah lebih dari 90%.

Tabel 7. Partisipasi Massa Ragam

Mode	Sum UX	Sum UY	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
Model Eksisting					
1	0,8718	0,0001	0	0,1481	0
2	0,8719	0,8719	0,1481	0,1481	0
3	0,8719	0,8719	0,1481	0,1481	0,8727
11	0,9953	0,9953	0,9833	0,9833	0,9866

Mode	Sum UX	Sum UY	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
12	0,9953	0,9953	0,9833	0,9833	0,9953
Model 1					
1	0	0,8508	0,1757	0	0
2	0,8508	0,8508	0,1757	0,1757	0
3	0,8508	0,8508	0,1757	0,1757	0,8427
11	0,993	0,993	0,9764	0,9764	0,9785
12	0,993	0,993	0,9764	0,9764	0,9918
Model 2					
1	0,8633	0,0001	0	0,1579	0
2	0,8634	0,8634	0,158	0,158	0
3	0,8634	0,8634	0,158	0,158	0,8605
11	0,9943	0,9943	0,9801	0,9801	0,9833
12	0,9943	0,9943	0,9801	0,9801	0,9939

Ketidakberaturan

Ketidakberaturan horizontal dari seluruh tipe tidak teridentifikasi pada semua model yang dianalisis. Sedangkan ketidakberaturan vertikal tipe 1a hanya muncul pada model eksisting, baik pada arah X maupun arah Y, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 8. Sementara itu, ketidakberaturan vertikal tipe 1a tidak ditemukan pada model 1 dan model 2, sesuai dengan hasil yang disajikan dalam Tabel 9 dan Tabel 10.

Kekakuan Tingkat

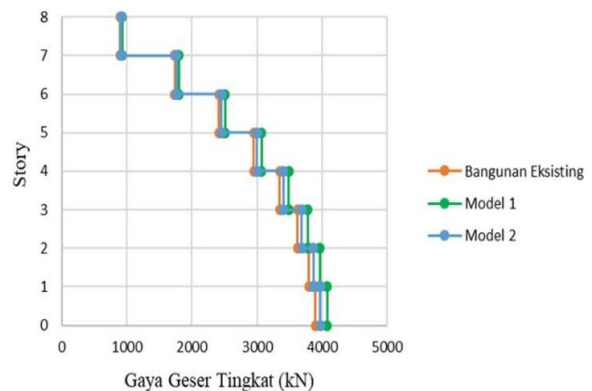
Pada model 1 dan model 2 terjadi peningkatan kekakuan pada lantai 1 masing-masing sebesar 26,12% dan 11,95%, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 9 dan Tabel 10. Peningkatan ini menyebabkan kekakuan lantai 1 pada kedua model tersebut telah memenuhi ambang batas minimum, yaitu 70% dari kekakuan lateral tingkat di atasnya atau 80% dari rata-rata kekakuan tiga tingkat di atasnya [19]. Dengan demikian, ketidakberaturan vertikal tipe 1a (*soft story*) yang sebelumnya teridentifikasi pada model 1 dan model 2 berhasil diatasi.

Gaya Geser Tingkat

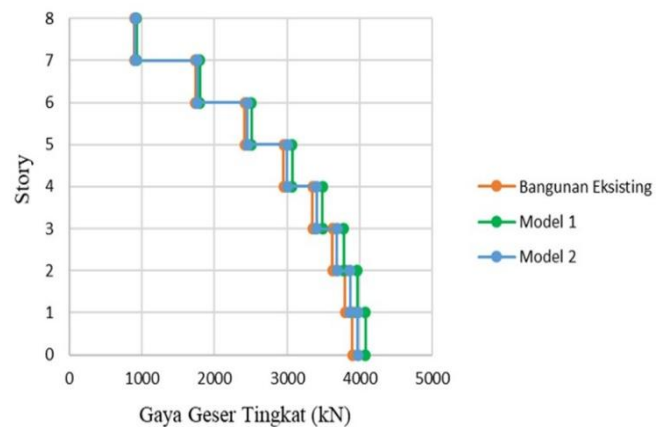
Peningkatan gaya geser tingkat terjadi pada semua arah untuk model yang telah dilakukan *retrofit*, yaitu Model 1 dan Model 2. Pada Model 1, gaya geser tingkat meningkat sebesar 4,62%, sedangkan pada Model 2 peningkatan tercatat sebesar 1,86%. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.

Simpangan Lantai dan Simpangan Antar Lantai

Model 1 dan model 2 menunjukkan penurunan simpangan lantai sebesar 2,29% untuk Model 1 dan 1,05% untuk Model 2 pada kedua arah (arah X dan Y) jika dibandingkan dengan simpangan lantai pada model *eksisting*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12-13. Seluruh model yang dianalisis juga menunjukkan penurunan nilai simpangan antar lantai (*drift*) maksimum sebesar 17,26% pada Model 1 dan 7,91% pada Model 2. Pada semua model menunjukkan *drift* yang terjadi berada di bawah batas maksimum yang diizinkan, baik pada arah X maupun arah Y, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 14-15.



Gambar 10. Gaya Geser Tingkat Arah X



Gambar 11. Gaya Geser Tingkat Arah Y

Tabel 8. Ketidakberaturan vertical tipe 1a Pada Model *Eksisting*

Lantai	hsx (mm)	Kekakuan kN/m	0.8 x Kekakuan (kN/m)	0.7 x Kekakuan (kN/m)	0.8 x Kekakuan 3 Story (kN/m)	Cek
Arah X						
Atap	3500	465574,65	-	-	0	-
7	3500	568771,18	372459,72	325902,26	0	TIDAK TERJADI
6	3500	581657,56	455016,94	398139,83	0	TIDAK TERJADI
5	3500	581440,04	465326,05	407160,29	430934,24	TIDAK TERJADI
4	3500	579447,6	465152,03	407008,03	461831,67	TIDAK TERJADI
3	3500	577467,51	463558,08	405613,32	464678,72	TIDAK TERJADI
2	3500	574918,68	461974,01	404227,26	463561,37	TIDAK TERJADI
1	6000	421532,12	459934,94	402443,08	461822,34	TERJADI
Arah Y						

Lantai	hsx (mm)	Kekakuan kN/m	0.8 x Kekakuan (kN/m)	0.7 x Kekakuan (kN/m)	0.8 x Kekakuan 3 Story (kN/m)	Cek
Atap	3500	465574,65	-	-	0	-
7	3500	568771,18	372459,72	325902,26	0	TIDAK TERJADI
6	3500	581657,56	455016,94	398139,83	0	TIDAK TERJADI
5	3500	581440,04	465326,05	407160,29	430934,24	TIDAK TERJADI
4	3500	579447,6	465152,03	407008,03	461831,67	TIDAK TERJADI
3	3500	577467,51	463558,08	405613,32	464678,72	TIDAK TERJADI
2	3500	574918,68	461974,01	404227,26	463561,37	TIDAK TERJADI
1	6000	421532,12	459934,94	402443,08	461822,34	TERJADI

Tabel 9. Ketidakberaturan vertikal tipe 1a Pada Model 1

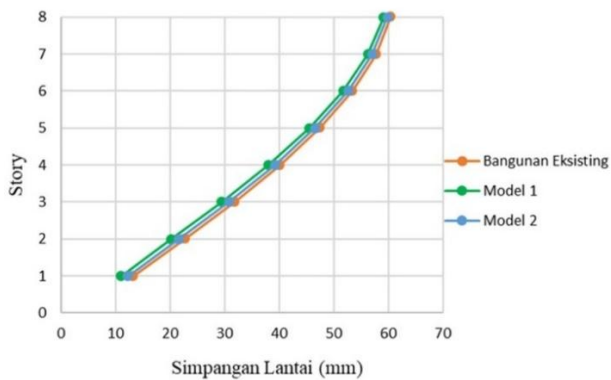
Lantai	hsx (mm)	Kekakuan kN/m	0.8 x Kekakuan (kN/m)	0.7 x Kekakuan (kN/m)	0.8 x Kekakuan 3 Story (kN/m)	Cek
Arah X						
Atap	3500	466425,74	-	-	0	-
7	3500	569611,95	373140,59	326498,02	0	TIDAK TERJADI
6	3500	582693,53	455689,56	398728,37	0	TIDAK TERJADI
5	3500	583277,42	466154,82	407885,47	431661,66	TIDAK TERJADI
4	3500	583775,95	466621,94	408294,19	462822,11	TIDAK TERJADI
3	3500	589742,19	467020,76	408643,17	466599,17	TIDAK TERJADI
2	3500	613950,59	471793,75	412819,53	468478,82	TIDAK TERJADI
1	6000	531632,74	491160,47	429765,41	476658,33	TIDAK TERJADI
Arah Y						
Atap	3500	466425,74	-	-	0	-
7	3500	569611,95	373140,59	326498,02	0	TIDAK TERJADI
6	3500	582693,53	455689,56	398728,37	0	TIDAK TERJADI
5	3500	583277,42	466154,82	407885,47	431661,66	TIDAK TERJADI
4	3500	583775,95	466621,94	408294,19	462822,11	TIDAK TERJADI
3	3500	589742,19	467020,76	408643,17	466599,17	TIDAK TERJADI
2	3500	613950,59	471793,75	412819,53	468478,82	TIDAK TERJADI
1	6000	531632,74	491160,47	429765,41	476658,33	TIDAK TERJADI

Tabel 10. Ketidakberaturan vertikal tipe 1a Pada Model 2

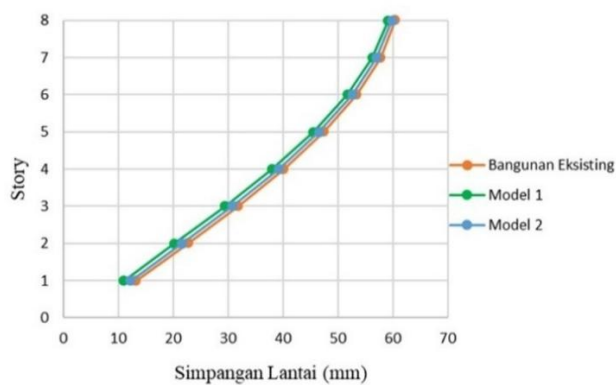
Lantai	hsx (mm)	Kekakuan kN/m	0.8 x Kekakuan (kN/m)	0.7 x Kekakuan (kN/m)	0.8 x Kekakuan 3 Story (kN/m)	Cek
Arah X						
Atap	3500	463581,35	-	-	0	-
7	3500	568941,24	370865,08	324506,95	0	TIDAK TERJADI
6	3500	581587,44	455152,99	398258,87	0	TIDAK TERJADI
5	3500	581864,48	465269,95	407111,21	430429,34	TIDAK TERJADI
4	3500	581763,07	465491,58	407305,14	461971,51	TIDAK TERJADI
Arah Y						
3	3500	584497,20	465410,46	407234,15	465390,66	TIDAK TERJADI
2	3500	593992,04	467597,76	409148,04	466166,60	TIDAK TERJADI
1	6000	471920,54	475193,63	415794,43	469400,62	TIDAK TERJADI

Tabel 10. Ketidakberaturan vertikal tipe 1a Pada Model 2 (Lanjutan)

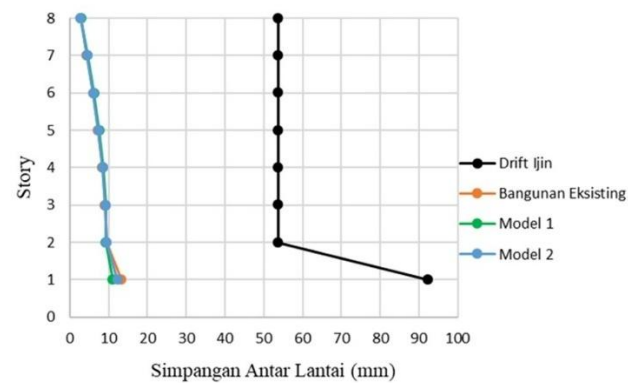
Lantai	hsx (mm)	Kekakuan kN/m	0.8 x Kekakuan (kN/m)	0.7 x Kekakuan (kN/m)	0.8 x Kekakuan 3 Story (kN/m)	Cek
Arah Y						
Atap	3500	463581,35	-	-	0	-
7	3500	568941,24	370865,08	324506,95	0	TIDAK TERJADI
6	3500	581587,44	455152,99	398258,87	0	TIDAK TERJADI
5	3500	581864,48	465269,95	407111,21	430429,34	TIDAK TERJADI
4	3500	581763,07	465491,58	407305,14	461971,51	TIDAK TERJADI
3	3500	584497,20	465410,46	407234,15	465390,66	TIDAK TERJADI
2	3500	593992,04	467597,76	409148,04	466166,60	TIDAK TERJADI
1	6000	471920,54	475193,63	415794,43	469400,62	TIDAK TERJADI



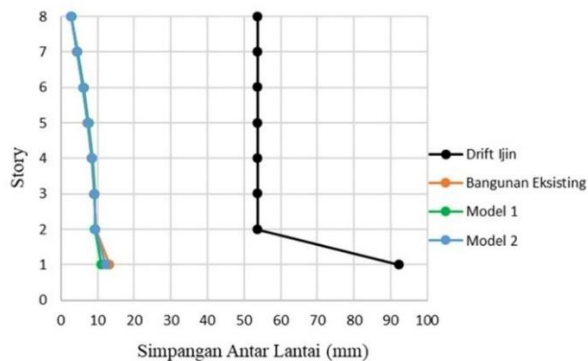
Gambar 12. Simpangan Lantai Arah X



Gambar 13. Simpangan Lantai Arah Y



Gambar 14. Simpangan Antar Lantai Arah X



Gambar 15. Simpangan Antar Lantai Arah Y

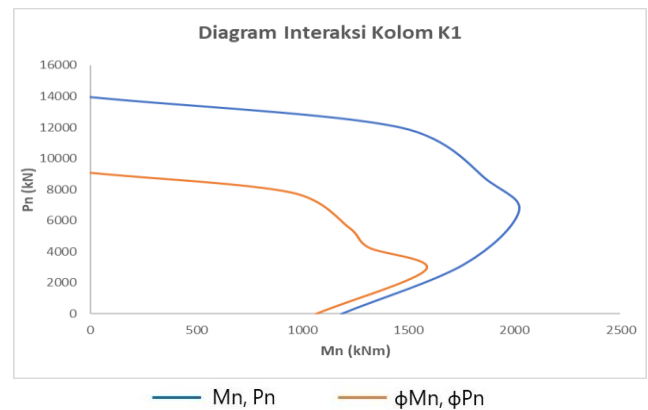
Demand to Capacity Ratio

Demand to Capacity Ratio merupakan perbandingan antara gaya yang harus dipikul terhadap kekuatan elemen struktur. Nilai Demand to Capacity (D/C) ratio untuk semua elemen struktur harus lebih kecil dari 1. Nilai maksimum D/C ratio pada model eksisting untuk kolom K1 adalah sebesar 0,948. Pada Model 1, kolom K-CJ memiliki nilai D/C maksimum sebesar 0,909, sedangkan pada Model 2, kolom K-SJ menunjukkan nilai D/C maksimum sebesar 0,884.

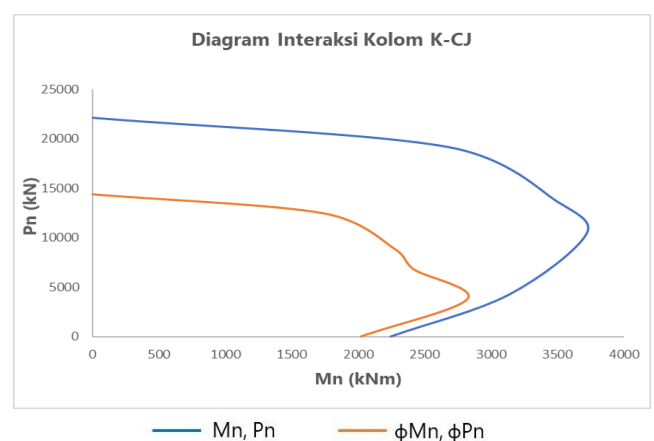
Dengan demikian, terjadi penurunan nilai D/C ratio masing-masing sebesar 4,11% pada Model 1 dan 6,75% pada Model 2 dibandingkan terhadap model *eksisting*.

Diagram Interaksi

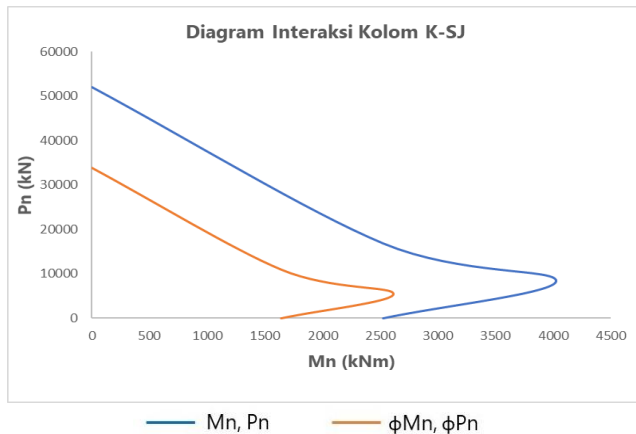
Kapasitas kolom dapat ditentukan melalui analisis diagram interaksi, yang menggambarkan hubungan antara momen lentur dan gaya aksial yang bekerja pada elemen struktur [24], [25]. Pada penelitian ini, kolom yang dianalisis terletak pada as A1 di lantai 1, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 16. Diagram Interaksi Kolom K1



Gambar 17. Diagram Interaksi Kolom K-CJ



Gambar 18. Diagram Interaksi Kolom K-SJ

Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas kolom yang telah dilakukan *retrofit* (K-CJ pada Model 1 dan K-SJ pada Model 2) mengalami peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan kolom tanpa *retrofit* (K1 pada model *eksisting*). Pada Model 1, kapasitas aksial meningkat sebesar 58,58%, sedangkan kapasitas momen meningkat sebesar 78,43%. Sementara itu, pada Model 2 tercatat peningkatan kapasitas aksial yang lebih tinggi, yaitu sebesar 273,11%, dengan peningkatan kapasitas momen sebesar 65,27%. Diagram interaksi setiap model ditampilkan pada Gambar 16 – 18.

5. KESIMPULAN

Penerapan *retrofit* dengan metode *concrete jacketing* dan *steel jacketing* pada kolom sisi terluar lantai 1 terbukti efektif dalam meningkatkan performa struktur bangunan eksisting. Efektivitas tersebut ditunjukkan melalui berbagai parameter analisis. Pertama, terjadi penurunan periode struktur sebesar 4,10% pada Model 1 dan 1,74% pada Model 2. Kedua, simpangan lantai mengalami penurunan masing-masing sebesar 2,29% dan 1,05%, sedangkan simpangan antar lantai (*drift*) menurun sebesar 17,26% pada Model 1 dan 7,91% pada Model 2. Selain itu, gaya geser tingkat meningkat sebesar 4,62% pada Model 1 dan 1,86% pada Model 2. Peningkatan kekakuan tingkat di lantai 1 masing-masing sebesar 26,12% dan 11,95% pada Model 1 dan Model 2 turut berkontribusi dalam mengatasi ketidakberaturan vertikal tipe *soft story*.

Dari sisi elemen struktur, terjadi peningkatan kapasitas kolom yang signifikan berdasarkan hasil analisis diagram interaksi. Kapasitas aksial meningkat sebesar 58,58% dan 273,11%, sedangkan kapasitas momen meningkat sebesar 78,43% dan 65,27% secara berturut-turut untuk Model 1 dan Model 2. Selain itu, nilai *Demand to Capacity (D/C) Ratio* menunjukkan penurunan sebesar 4,11% pada Model 1 dan 6,75% pada Model 2, yang mengindikasikan peningkatan kapasitas kolom setelah proses *retrofit* dilakukan.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Noorzaei, J., Chieng, C. Y., Jaafar, M. S., Abang Ali, A. A., Hejazi, F., & Jilani, S. "Effect of Soft Story on Structural Respons of High Rise Buildings", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (2011), DOI:10.1088/1757-899X/17/1/012034.
- [2] Varum, H., Dumar, R., Furtado, A., Barbosa, A. R., Gautam, D., & Hugo, R. "Seismic Performance of Buildings in Nepal After the Gorkha Earthquake", In book *Impacts and Insights of Gorkha Earthquake*, Edition: 1, Chapter: 3, Elsevier (2017), DOI: 10.1016/B978-0-12-812808 - 4.00003-1
- [3] Wibowo, A., Kafle, B., Kermani, A. M., Gad, E. F., Wilson, J. L., & Lam, N. T. (2008). "Damage in the 2008 China Earthquake". *Proceedings of the Earthquake Engineering in Australia Conference, The Earthquake Engineering in Australia Conference, Australian Earthquake Engineering Society*, (2008 Publication date, 2024 First online date).
- [4] IS 15988:2013. "Seismic Evaluation and Strengthening of Existing Reinforced Concrete Building". New Delhi: Bureau of Indian Standards, 2013
- [5] S.P. B. Waghmare, "Materials and Jacketing Technique *Retrofitting of Structures*", *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, Vol. 1, Issue 1, 2011, E-ISSN224
- [6] F Hejazi, S Jilani, J Noorzaei, C Y Chieng, M S Jaafar and A A Abang Ali, "Effect of Soft Story on Structural Response of High Rise Buildings", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 17, 2011, 012034, DOI:10.1088/1757-899X/17/1/012034
- [7] A. F. Peni, J. J. S. Pah, and D. W. Karels, "Perencanaan Komponen Struktur Beton Bangunan Tingkat Tinggi Yang Mengalami Mekanisme *Soft-Storey* Dengan Variasi Dinding Pengisi", *JTS*, vol. 11, no. 2, pp. 169-182, Nov. 2022.
- [8] G. Pramudhita, H. K. Buwono, "Analisis Nonlinier Static Pushover Struktur Gedung Bertingkat Soft Story Dengan Menggunakan Material Beton Bertulang dan Beton Prategang Pada Balok Bentang Panjang", *Jurnal Konstruksia*, Volume 10, Nomor 2, Juli 2019, DOI: <https://doi.org/10.24853/jk.10.2.95-106>
- [9] R. Efrida, " Pengaruh Setback Pada Bangunan Dengan Soft Story Terhadap Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa", *Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil* Vol.1 4, No.1, Juni 2018: 62-68, ISSN-E : 2477-4901, ISSN-P: 2477-4898, DOI: <https://doi.org/10.24114/eb.v4i1.10046>
- [10] D. S. Tosari, E. Hunggurami, and J. J. S. Pah, "Pengaruh Dinding Pengisi Pada Lantai Dasar Bangunan Tingkat Tinggi Terhadap Terjadinya Mekanisme Soft Story", *JTS*, vol. 5, no. 1, pp. 1-14, Apr. 2016, DOI: <https://doi.org/10.35508/jts.5.1.1-14>
- [11] S. Hernowo, A. Lisantono, "*Retrofitting Sambungan Kolom-Balok Beton Bertulang Ekspansi Planar Segitiga dengan Variasi Ukuran*", *Forum Teknik*, [S.l.],

- v. 37, n. 1, june 2016. ISSN 0216-7565. Available at: <<https://jurnal.ugm.ac.id/mft/article/view/11530>>.
- [12] D. Patah, A. Saputra, & Triwiyono, A. "Retrofitting on flexural strength of RC columns using polyester resin concrete" Journal of Civil Engineering Forum, Vol. 2, No. 1, 2016, DOI:<https://doi.org/10.22146/jcef.24305>
- [13] M. Islam, "Desain Perbaikan dan Retrofit Struktur Kolom Dengan Derajat Kelangsingan Berlebih (Studi Kasus Kantor Bupati Kupang, Naibonat, Nusa Tenggara Timur)", Civil Engineering and Built Environment Conference 2019
- [14] N. Hidayati, H. Priyosulistyo, & A. Triwiyono, "Evaluasi dan Retrofit Struktur Gedung Beton Bertulang Akibat Kebakaran", Jurnal Inersia, , 17(1), 1-10 , 2021, DOI:10.21831/inersia.v17i1.35888
- [15] S. Matiyas, N. Workeluel, T. Mohanty, P. Saha, "Review of different analysis and strengthening techniques of soft story buildings", Materials Today: Proceedings , 2023, Elsevier BV, DOI:10.1016/j.matpr.2023.04.231
- [16] G.C. Manos, K. Katakalos, V. Soulis, L. Melidis, "Earthquake Retrofitting of Soft-Story RC Frame Structures with RC Infills". Appl. Sci. 2022, 12, 11597. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122211597>
- [17] F. Akter, Md. H. Habib, "Steel Angles and Strips Jacketing of Existing RC Columns: A State of Art", International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue 5, May 2019, ISSN (Online) 2393-8021, SSN (Print) 2394-1588, DOI: 10.17148/IARJSET.2019.6504
- [18] L. Cirtsek, "RC Columns Strengthened with Bandage - Experimental Programme and Design Recommendations". Construction and Building Materials, Vol. 15, Issues 8, 2001, Elsevier, DOI: [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(01\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(01)00015-0)
- [19] SNI 1726:2019, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung", Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [20] SNI 1727:2013, "Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain", Badan Standardisasi Nasional, 2013.
- [21] SNI 2847:2019, "Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung", Badan Standarisasi Nasional, 2019.
- [22] N. Gupta, P. Dhiman, A. Dhiman, "Design and Detailing of RC Jacketing for Concrete Columns", IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 2015, e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X., PP 54-58, www.iosrjournals.org
- [23] Dhanush S. S, U. F. Pasha, Dr. N. S Kumar, "Retrofitting of Existing RC Columns by Reinforced Concrete Jacketing Using ANSYS and ETABS", International Journal of Science and Research (IJSR), 2017, ISSN (Online): 2319-7064, DOI: 10.21275/ART20183224
- [24] D.A. Fanella, "Reinforced Concrete Structures Analysis and Design", McGraw-Hill, 2011
- [25] H. M. Salman, M. H. Al-Sherrawi, "Interaction Diagram for a Reinforced Concrete Column Strengthened With Steel Jacket", International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) Volume 9, Issue 6, June 2018, pp. 1369–1377, Article ID: IJCIET_09_06_153.