

PENGARUH VARIASI DETAIL *CONFINEMENT* TERHADAP KINERJA STRUKTUR RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) MENGGUNAKAN ANALISIS PUSHOVER

Dhea Tri Wahyuni¹, Fajri Yusmar², Juniman Silalahi³, Prima Zola⁴

^{1, 2, 3, 4} Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: dheawahyuni02@gmail.com

Abstrak: Banyak terjadi kesalahan pada pemasangan sengkang di lapangan seperti jarak sengkang yang terlalu jauh dan pemasangan yang tidak sesuai dengan gambar rencana. Hal ini terjadi karena beberapa faktor diantaranya pengawasan yang lemah, pemahaman teknis yang kurang, serta tekanan terhadap biaya konstruksi. Kesalahan ini berpotensi memicu kegagalan pada bangunan ketika terjadi gempa bumi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak kesalahan pemasangan sengkang yang didalam penelitian ini dijadikan 3 variasi detail *confinement* pada kolom terhadap kinerja struktur menggunakan analisis pushover beserta skema sendi plastis yang terjadi. Bangunan yang digunakan yaitu perkantoran terdiri dari 4 lantai dan menggunakan material beton bertulang. Hasil analisis menunjukkan bahwa target perpindahan untuk variasi 1 yaitu 1,81 %, variasi 2 yaitu 1,88 % dan variasi 3 yaitu 1,9 %. Hasil target perpindahan pada ketiga variasi tersebut berada pada rentang 1-2% *drift actual*, sehingga level kinerja bangunan berada pada level *Life Safety*. Mekanisme sendi plastis yang terjadi pada variasi 1 menunjukkan elemen balok dan kolom masih berada pada batas kinerja yaitu *immediate occupancy*, pada variasi 2 dan 3 menunjukkan elemen mengalami penurunan kinerja dimana terdapat 33 elemen yang mengalami perubahan level kinerja yaitu berada pada level *immediate occupancy* menuju *life safety*. Berdasarkan hasil analisis pada target perpindahan dan mekanisme sendi plastis, dapat disimpulkan bahwa jumlah kaki pada sengkang memberi pengaruh yang cukup besar terhadap kinerja bangunan, sementara itu jarak sengkang juga memberi pengaruh terhadap kinerja bangunan namun tidak terlalu signifikan.

Kata Kunci : Confinement, kinerja, pushover

Abstract : Many errors occur in the installation of stirrups in the field, such as the distance between the stirrups is too far and the installation is not in accordance with the plan drawing. This occurs due to several factors including weak supervision, lack of technical understanding, and pressure on construction costs. This error could potentially trigger failure of the building during an earthquake. The purpose of this study is to determine the impact of stirrup installation errors which in this study are made into 3 variations of confinement details on the column on the performance of the structure using pushover analysis along with the plastic joint scheme that occurs. The building used is an office building consisting of 4 floors and using reinforced concrete material. The analysis shows that the target displacement for variation 1 is 1.81%, variation 2 is 1.88% and variation 3 is 1.9%. The target displacement results in the three variations are in the range of 1-2% actual drift, so the building performance level is at the Life Safety level. The plastic joint mechanism that occurs in variation 1 shows that the beam and column elements are still at the performance limit, namely immediate occupancy, in variations 2 and 3 show that the elements have decreased performance where there are 33 elements that have changed the performance level, namely at the immediate occupancy level to life safety. Based on the results of the analysis on the target displacement and plastic joint mechanism, it can be concluded that the number of legs in the stirrups has a considerable influence on the performance of the building, while the stirrup spacing also has an influence on the performance of the building but is not very significant.

Keyword : Confinement, performance, pushover

PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah peristiwa permukaan bumi mengalami pergerakan yang berasal dari patahan lempeng bumi dan pelepasan energi secara tiba-tiba yang dapat mengakibatkan kerusakan benda-benda yang berada di atas permukaan bumi. Bencana gempa bumi dapat menyebabkan berbagai kerusakan pada muka bumi, contohnya pada bangunan gedung berupa keretakan pada berbagai sisi bangunan dan bahkan dapat mengakibatkan suatu bangunan gedung mengalami keruntuhan. Indonesia sebagai negara yang terletak pada daerah dengan intensitas kegempaan cukup tinggi menuntut para praktisi konstruksi untuk memahami dan mengaplikasikan peraturan tata cara perencanaan bangunan tahan gempa, khususnya untuk struktur bangunan gedung (Yusmar et al., 2021).

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menjadi salah satu pilihan sistem struktur yang dirancang untuk memberikan daktilitas tinggi dan ketahanan terhadap deformasi akibat gempa besar (Irawan D., 2024). Salah satu faktor penting dalam SRPMK adalah *confinement* (penulangan transversal atau sengkang) yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tekan beton, daktilitas elemen serta mencegah keruntuhan prematur. Salah satu faktor penting dalam efisiensi *confinement* adalah konfigurasi tulangan transversal, seperti jarak antar sengkang dan jumlah tulangan longitudinal (Wardi et al., 2022)

Kurangnya kepatuhan di lapangan dalam menerapkan *detailed confinement* beton bertulang merupakan tantangan yang sering dihadapi dalam industri konstruksi di Indonesia. Banyak terjadi kesalahan pada pemasangan sengkang berupa penempatan sengkang yang terlalu jauh melebihi batas 15-20 cm dan kait pada tulangan pengekang dipasang dengan sudut 90 derajat, sedangkan pada standarnya kait harus dipasang dengan sudut 135 derajat pada elemen kolom yang dibangun di daerah rawan gempa (Kristianto A., & Yansusan., I., 2020). Identifikasi kelemahan struktur sejak tahap desain merupakan aspek penting dalam memastikan keamanan dan daya tahan sebuah bangunan. Identifikasi kelemahan struktur sejak tahap desain juga dapat memberikan kesempatan untuk mengoptimalkan biaya (Silaban et al., 2020).

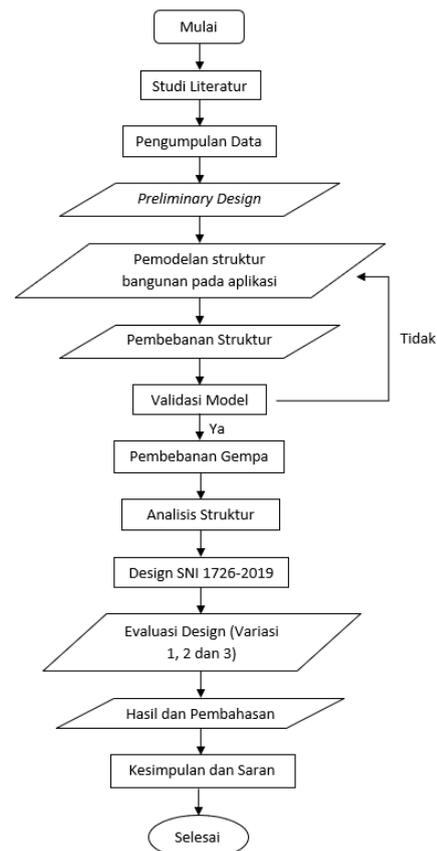
Analisis pushover dapat digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana detail penulangan yang dirancang memenuhi kinerja yang diinginkan dalam menghadapi gempa besar. Metode ini mensimulasikan beban lateral yang bertahap hingga mencapai kondisi leleh atau target

perpindahan struktur. Kurva kapasitas yang dihasilkan memberikan informasi hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan, yang mencerminkan perilaku non-linier struktur setelah kondisi elastis (Mustofa et al., 2024).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak kesalahan pemasangan sengkang yang didalam penelitian ini dijadikan 3 variasi detail *confinement* pada kolom terhadap kinerja struktur menggunakan analisis pushover beserta skema sendi plastis yang terjadi

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengumpulan data yang dibutuhkan berupa dimensi dan jumlah tulangan yang dibutuhkan untuk elemen balok dan kolom. Setelah itu, melakukan pemodelan menggunakan *software* ETABS dan dilakukan analisis struktur hingga diperoleh variasi *confinement* yang diinginkan. Kemudian dilakukan pemodelan elemen kolom untuk 3 variasi menggunakan *software* XTRACT sehingga didapatkan *backbone curve* yang akan digunakan untuk data sendi plastis elemen kolom pada analisis pushover. Selanjutnya dilakukan analisis pushover menggunakan *software* ETABS. Secara umum berikut langkah-langkah dalam penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Sebelum dilakukan analisis pushover, diperlukan data *backbone curve* untuk 3 variasi elemen kolom yang parameternya diperoleh dari *software XTRACT* yang diidealisasikan menggunakan rumus berikut:

$$\theta_y = (\varphi_y) \cdot I_p$$

$$\theta_u = (\varphi_u) \cdot I_p$$

$$\theta_p = (\varphi_u - \varphi_y) \cdot I_p$$

Perhitungan momen rotasi dihasilkan dari bilinearisasi momen kurvatur di atas menggunakan rumus berikut:

$$\text{Titik A : } \frac{M}{SF} = 0 ; \frac{\theta}{SF} = 0$$

$$\text{Titik B : } \frac{M}{SF} = \frac{M_y}{M_y} = 1 ; \frac{\theta}{SF} = 0$$

$$\text{Titik C : } \frac{M}{SF} = \frac{M_u}{M_y} ; \frac{\theta}{SF} = \theta_u - \theta_y$$

$$\text{Titik D : } \frac{M}{SF} = 0,2 \times \frac{M_u}{M_y} ; \frac{\theta}{SF} = (\theta_u - \theta_y)$$

$$\text{Titik E : } \frac{M}{SF} = 0,2 \times \frac{M_u}{M_y} ; \frac{\theta}{SF} = 1,5(\theta_u - \theta_y)$$

Setelah momen-rotasi didapatkan, batas deformasi dapat diketahui dari kurva hubungan deformasi dan batas penerimaan deformasi (kriteria penerimaan) berdasarkan tabel berikut:

Tabel 1. Batas Penerimaan Deformasi (Kriteria Penerimaan)

Level Kinerja	Parameter
IO (<i>Immediate Occupancy</i>)	< 0,67 LS
LS (<i>Life Safety</i>)	0,75 CP
CP (<i>Collapse Prevention</i>)	$\theta_{titik E}$

Setelah dilakukan analisis pushover, diperoleh kurva kapasitas struktur yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan (*displacement*). Berdasarkan kurva kapasitas struktur dapat diidentifikasi level kinerja struktur menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Drift\ actual = \frac{\delta_T}{H_{Total}}$$

Setelah itu diperoleh drift aktual yang kemudian dikalikan dengan 100% untuk mendapatkan persentase drift aktual yang terjadi, sehingga dapat ditentukan level kinerja struktur yang terjadi. Level kinerja struktur dapat dicek menggunakan metode FEMA 356 yaitu pada tabel target level kinerja berikut:

Tabel 2. Target Level Kinerja Berdasarkan FEMA 356

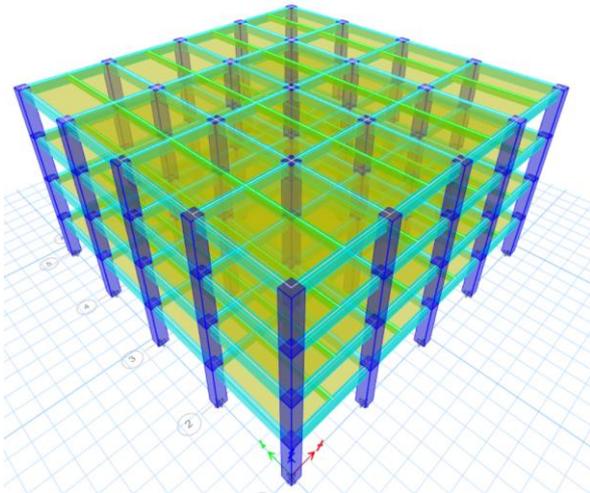
Tipe	Target Level Kinerja		
	<i>Immediate Occupancy (IO)</i>	<i>Life Safety (LS)</i>	<i>Collapse Prevention (CP)</i>
<i>Primary</i>	Retak halus pada beberapa lokasi. Tidak ada keruntuhan yang terjadi (regangan di bawah 0,003)	Kerusakan parah pada balok dan pengelupasan selimut beton dan retak geser pada kolom daktail. Pengelupasan pada kolom non daktail.	Banyak retakan dan sendi plastis pada elemen struktur yang daktail. Retakan pada beberapa kolom daktail. Kerusakan parah pada kolom pendek.
<i>Secondary</i>	Pengelupasan selimut beton pada beberapa balok dan kolom daktail. Retak lentur pada balok dan kolom.	Banyak retakan dan sendi plastis pada elemen yang daktail. Retakan pada beberapa kolom non daktail. Kerusakan parah.	Pengelupasan beton pada kolom dan balok yang berlebihan. Kerusakan parah pada joint dan beberapa tulangan bengkok, tetapi tidak terjadi keruntuhan.
<i>Drift</i>	1% sementara	2% sementara dan 1% permanen	4% sementara dan permanen

Bangunan yang berfungsi sebagai perkantoran terdiri dari 4 lantai dengan tinggi antar lantai 3,5 meter, jarak antar kolom 6 x 6 meter. Hasil dari *preliminary* balok dan kolom dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Hasil Preliminary Struktur

Elemen	Dimensi (mm)
Balok	300 x 600
Kolom	700 x 700

Berikut merupakan hasil pemodelan struktur menggunakan *software* ETABS:



Gambar 2. Pemodelan 3D bangunan perkantoran

Pembebanan yang digunakan terdiri dari 4 jenis, yaitu sebagai berikut:

1. Beban hidup (*Dead Load*)

Berasal dari material-material penyusun bangunan berupa beton dan baja. Adapun berat jenis yang bekerja pada struktur bangunan ini adalah 7850 kg/m^3 untuk baja dan 2400 kg/m^3 untuk beton bertulang

2. Beban mati (*Live Load*)

Beban yang berasal dari penghuni atau penggunaan bangunan. Beban hidup untuk masing- masing fungsi mengacu pada SNI 1727-2020. Berikut beban hidup yang digunakan:

Tabel 4. Beban Hidup Perkantoran

Jenis Beban	Berat Jenis
Koridor diatas lantai pertama	$3,83 \text{ kN/m}^2$
Kantor	$2,4 \text{ kN/m}^2$
Atap	$0,96 \text{ kN/m}^2$

3. Beban mati tambahan (*Super Imposed Dead Load*)

Beban yang berasal dari elemen non struktural (dinding dan MEP)

4. Beban Gempa

Merupakan hasil analisis input koefisien faktor keutamaan gempa ($I_e = 1$, S_s Padang = $1,481$, S_1 Padang = $0,6$, percepatan gempa $S_{DS} = 0,9873$ dan $S_{D1} = 0,68$).

5. Beban Kombinasi

Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019

Tabel 5. Beban Kombinasi

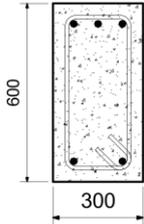
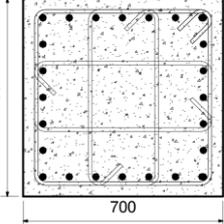
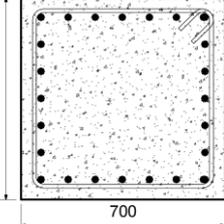
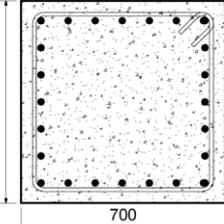
a	$1,4D$
b	$1,2D + 1,6L$
c	$1,397D + L + 1,3EQ_x + 0,39EQ_y$
d	$1,397D + L + 1,3EQ_x - 0,39EQ_y$

e	$1,397D + L - 1,3EQ_x + 0,39EQ_y$
f	$1,397D + L - 1,3EQ_x - 0,39EQ_y$
g	$1,397D + L + 0,39EQ_x + 1,3EQ_y$
h	$1,397D + L + 0,39EQ_x - 1,3EQ_y$
i	$1,397D + L - 0,39EQ_x + 1,3EQ_y$
j	$1,397D + L - 0,39EQ_x - 1,3EQ_y$
k	$0,703D + 1,3EQ_x + 0,39EQ_y$
l	$0,703D + 1,3EQ_x - 0,39EQ_y$
m	$0,703D - 1,3EQ_x + 0,39EQ_y$
n	$0,703D - 1,3EQ_x - 0,39EQ_y$
o	$0,703D + 0,39EQ_x + 1,3EQ_y$
p	$0,703D + 0,39EQ_x - 1,3EQ_y$
q	$0,703D - 0,39EQ_x + 1,3EQ_y$
r	$0,703D - 0,39EQ_x - 1,3EQ_y$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil desain struktur balok dan kolom (3 variasi yang digunakan) diperoleh jumlah tulangan sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Desain Struktur Balok dan Kolom

Elemen	Keterangan	Gambar
Balok	300 x 600 mm 5D25 Cover: 40 mm Stirrups: 2D13 – 150 mm	
Kolom Variasi 1	700 x 700 mm 24D25 Cover: 40 mm Stirrups: 4D13 – 150 mm	
Kolom variasi 2	700 x 700 mm 24D25 Cover: 40 mm Stirrups: 2D13 – 150 mm	
Kolom Variasi 3	700 x 700 mm 24D25 Cover: 40 mm Stirrups: 2D13 – 200 mm	

Hasil momen rotasi untuk elemen kolom sebagai berikut:

1. Variasi 1

Tabel 7. Data Backbone Curve Kolom Variasi 1

Titik	M/SF	Rot/SF
A	0	0
B	1	0
C	1.123449	0.055774
D	0.22469	0.055774
E	0.22469	0.083661

Kriteria penerimaan untuk prosedur nonlinier

Tabel 8. Kriteria Penerimaan Variasi 1

Kriteria Penerimaan		
IO	0.67 LS	0.0420395
LS	0.75 C	0.0627456
CP	C	0.08366085

2. Variasi 2

Tabel 9. Data Backbone Curve Kolom Variasi 2

Titik	M/SF	Rot/SF
A	0	0
B	1	0
C	0.98890187	0.0346262
D	0.19778037	0.0346262
E	0.19778037	0.0519393

Kriteria penerimaan untuk prosedur nonlinier

Tabel 10. Kriteria Penerimaan Variasi 2

Kriteria Penerimaan		
IO	0.67 LS	0.026099498
LS	0.75 C	0.038954475
CP	C	0.0519393

3. Variasi 3

Tabel 11. Data Backbone Curve Kolom Variasi 3

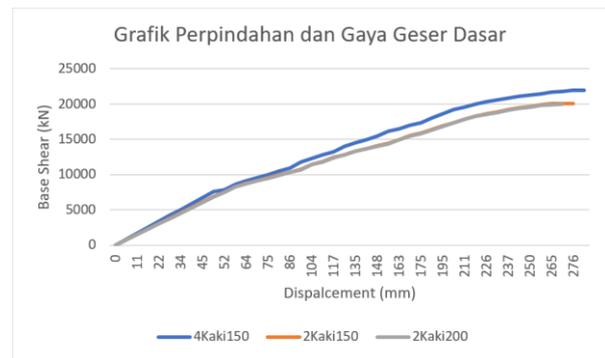
Titik	M/SF	Rot/SF
A	0	0
B	1	0
C	0.95891204	0.0287861
D	0.19178241	0.0287861
E	0.19178241	0.04317915

Kriteria penerimaan untuk prosedur nonlinier

Tabel 12. Kriteria Penerimaan Variasi 3

Kriteria Penerimaan		
IO	0.67 LS	0.0216975
LS	0.75 C	0.03238436
CP	C	0.04317915

Hasil analisis pushover dari ke-3 variasi tersebut sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik Perbandingan Deformasi ke 3 Variasi Elemen Kolom

Tabel 13. Data Hasil Pushover dari ETABS

Elemen	Perpindahan (mm)	Gaya geser (kN)
Variasi 1	253,996	21387.4149
Variasi 2	264,562	20010.8931
Variasi 3	266,051	19931.5996

$$Drift\ actual = \frac{\delta_T}{H_{Total}}$$

$$Drift\ actual\ variasi\ 1 = \frac{253,996}{14000} =$$

$$0,0181 \times 100 = 1,81\%$$

$$Drift\ actual\ variasi\ 2 = \frac{264,562}{14000} =$$

$$0,01889 \times 100 = 1,88\%$$

$$Drift\ actual\ variasi\ 3 = \frac{266,051}{14000} =$$

$$0,019 \times 100 = 1,9\%$$

Berikut hasil level kinerja struktur dari 3 variasi sengkang pada kolom

Tabel 14. Perbandingan level Kinerja Struktur Ke-3 Variasi Elemen Kolom

Variasi	Kinerja	Level Kinerja
4Leg150	1,81%	LS
2Leg150	1,88%	LS
2Leg 200	1,9%	LS

Berdasarkan hasil kinerja struktur pada tabel diatas, antara variasi 1 dan 2 terjadi penurunan kapasitas sebesar 3,867%, antara variasi 2 dan 3 terjadi penurunan kinerja sebesar 1,06%.

Setelah dilakukan analisis pushover, didapatkan kinerja struktur bangunan perkantoran ini untuk ke-3 variasi tulangan sengkang yang diberikan berada pada level *Life Safety*, yang mana ketika terjadi gempa bangunan akan mengalami kerusakan komponen struktural dan non-struktural, sehingga diperlukan perbaikan terlebih dahulu sebelum digunakan kembali.

Berdasarkan *hinges result* dari *software* ETABS, didapatkan data untuk ke-3 variasi sengkang tersebut. Untuk elemen balok mengalami kinerja yang sama karena tidak dilakukan variasi dengan hasil kinerjanya pada level IO untuk step 0 hingga 35, dan selanjutnya berada pada level IO menuju LS. Pada elemen kolom terdapat perbedaan karena

dipengaruhi oleh variasi yang diberikan. Untuk variasi 1, elemen kolom berada pada level IO untuk semua step. Untuk variasi 2 terjadi penurunan kinerja pada step 37 yaitu IO menuju LS, hal ini di akibatkan karena perbedaan jumlah kaki sengkang yang diberikan. Untuk variasi 3 tidak terlalu berbeda dengan variasi 2, karena jumlah kaki sengkang yang sama namun hanya dibedakan pada jarak sengkang saja yang awalnya 150 mm kemudian divariasikan menjadi 200 mm.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis diatas, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan metode koefisien perpindahan FEMA 440 diperoleh target perpindahan untuk variasi 1 yaitu 1,81 %, variasi 2 yaitu 1,88 % dan variasi 3 yaitu 1,9 %. Hasil target perpindahan pada ketiga variasi tersebut berada pada rentang 1-2% drift aktual, sehingga level kinerja bangunan berada pada level *Life Safety*. Mekanisme sendi plastis yang terjadi pada variasi 1 menunjukkan elemen balok dan kolom masih berada pada batas kinerja yaitu *immediate occupancy*, pada variasi 2 dan 3 menunjukkan elemen mengalami penurunan kinerja dimana terdapat 33 elemen yang mengalami perubahan level kinerja yaitu berada pada level *immediate occupancy* menuju *life safety*. Berdasarkan hasil analisis pada target perpindahan dan mekanisme sendi plastis, dapat dinyatakan bahwa jumlah kaki pada sengkang memberi pengaruh yang cukup besar terhadap kinerja bangunan, pada jarak sengkang juga memberi pengaruh terhadap kinerja bangunan namun tidak terlalu signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASCE 41-17. (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*.
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building*.
- FEMA 440. (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures* (Issue June).
- Irawan, D. (2024). Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Perkantoran Dira 10 Lantai dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Kabupaten Ende. *Axial: Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi*, 12(2), 029–036.
- Kritianto A. & Yansusan I. (2020). Studi Perkuatan Kolom Eksisting dengan Pen-Binder untuk Peningkatan Daktilitas Kolom Beton bertulang. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(01), 1-75

Mustofa, R. A., Bayzoni, H., & Husni, H. R. (2023). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Analisis *Pushover*. 12(01). 27-38.

Ridho Saleh Silaban et al. (2020). Permodelan Pengekangan Kolom Beton Bertulang. *Media Ilmiah Teknik Sipil*.

Syafri Wardi et al. (2022). Tinjauan Tipikal Detail Rangka Beton Bertulang Berdasarkan Ketentuan *Detailing* Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. *Teras Jurnal*.

Yusmar, F., Prita Melinda, A., & Sandra, N. (2021). Studi Komparasi Perhitungan Beban Gempa Statik Ekuivalen Menggunakan Software Sap 2000 dengan SNI 1726 2019. *Jurnal Teknik Sipil*.