

# PERENCANAAN KOMPONEN STRUKTUR BETON BANGUNAN TINGKAT TINGGI YANG MENGALAMI MEKANISME *SOFT-STOREY* DENGAN VARIASI DINDING PENGISI

Alexander F. Peni<sup>1</sup> (alexanderfelixpeni@gmail.com)

Jusuf J. S. Pah<sup>2</sup> (yuserpbdaniel@yahoo.co.id)

Dolly W. Karels<sup>3</sup> (dollywkarels@gmail.com)

## ABSTRAK

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kebutuhan tulangan longitudinal dan tulangan geser setiap komponen yang mengalami sendi plastis dari masing masing spesimen yang memiliki variasi dinding pengisi dan juga melihat perubahan kebutuhan tulangan longitudinal dan geser dari masing masing komponen balok dan kolom. Setelah dilakukan penelitian dengan 6 spesimen portal dengan variasi dinding pengisi di dapat perubahan kebutuhan tulangan longitudinal balok dan kolom yang cenderung semakin meningkat setiap tingkatan lantai setiap penambahan dinding pengisi, untuk kolom khususnya pada kolom eksternal memiliki kebutuhan yang lebih besar dari kolom internal. Untuk perubahan kebutuhan tulangan geser balok dan kolom yang juga cenderung semakin meningkat setiap tingkatan lantai, khususnya daerah sendi plastis memiliki kebutuhan lebih dari pada daerah luar sendi plastis.

**Kata Kunci:** Sendi Plastis, *Soft-Storey*, Tulangan Longitudinal, Tulangan Geser, Dinding Pengisi

## ABSTRACT

*The purpose of this study was to determine the need for longitudinal reinforcement and shear reinforcement for each component experiencing plastic hinges from each specimen that has variations in infill walls and also to see changes in the need for longitudinal and shear reinforcement of each beam and column component. After conducting research with 6 specimens of portals with variations in infill walls, it can be seen that the need for longitudinal reinforcement of beams and columns tends to increase with each floor level with each addition of infill walls, for columns, especially for external columns, the need is greater than for internal columns. For changes in the need for shear reinforcement for beams and columns which also tend to increase with each floor level, especially the plastic hinge area has more needs than the outer plastic hinge area.*

**Key Words:** *Plastic Hnges, Soft-Storey, Longitudinal Reinforcement, Shear Reinforcement, Infill Walls.*

## PENDAHULUAN

Pembangunan gedung tingkat tinggi semakin sering dilakukan seiring dengan perkembangan zaman, karena merupakan solusi yang tepat dalam mengatasi keterbatasan lahan, khususnya di kota-kota besar di Indonesia. Maka dari itu dibutuhkan alternatif untuk mengatasi pertumbuhan penduduk dan keterbatasan lahan yang tidak seimbang dibutuhkan pembangunan gedung tingkat tinggi, akan tetapi tingkat resiko keruntuhan pada bangunan tingkat tinggi lebih besar ketika terjadi gempa. Bangunan tingkat tinggi cenderung mengalami kegagalan struktur yaitu keruntuhan soft storey, maka perencanaan bangunan beton harus memperhatikan konsep perencanaan desain kolom kuat - balok lemah atau yang lebih dikenal dengan istilah strong

---

<sup>1</sup> Prodi Teknik Sipil, FST Undana, (penulis korespondensi);

<sup>2</sup> Prodi Teknik Sipil, FST Undana;

<sup>3</sup> Prodi Teknik Sipil, FST Undana.

column weak beam concept yaitu salah satu cara penemuan desain struktur dengan cara menciptakan sistem struktur yang fleksibel yang bisa berdeformasi ketika terjadi gempa (memiliki daktilitas yang tinggi).

## TINJAUAN PUSTAKA

### Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan berdasarkan tindak lanjut dari penelitian sebelumnya yaitu membahas tentang pengaruh dinding pengisi pada lantai dasar pada bangunan tingkat tinggi yang mekanisme *soft storey*, yaitu pengaruh 6 spesimen portal 2D bangunan tingkat tinggi. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan dinding pengisi pada lantai dasar terhadap terjadi mekanisme *soft story* dan perubahan perilaku struktur akibat penambahan dinding pengisi pada lantai dasar. Berdasarkan hasil penelitian pada saat diberi beban gempa rencana dengan variasi penambahan dinding pengisi 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% ternyata struktur masih mengalami mekanisme *soft story* yang terjadi sendi plastis pada kolom lantai 1 dan terjadi gaya geser dasar, *displacement* dan kekakuan struktur memiliki nilai variasi. Untuk gaya geser dasar terkecil yaitu bangunan dengan 0% dinding pengisi lantai dasar dan meningkat sampai bangunan dengan 100% dinding pengisi lantai dasar. Untuk *displacement* memiliki nilai variasi dengan nilai terbesar bangunan dengan 40% dinding pengisi lantai dasar sedangkan untuk nilai kekakuan strukturnya memiliki tingkatan sama seperti gaya geser dasar yaitu dari terkecil 0% dinding pengisi lantai dasar hingga 100 % dinding pengisi lantai dasar. (Tosari, Hunggurami, & Pah, 2016)

### Analisa Statis Nonlinear Pushover

Analisis statik beban dorong (*pushover*) adalah suatu analisis nonlinier statik dimanapengaruh gempa rencana terhadap strukturbangunan gedung dianggap sebagai beban static yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama didalam strukturbangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastik.

### Mekanisme Soft Storey

*Soft storey* adalah kapasitas untuk menyerap energi akibat terjadinya gempa sangat kecil pada suatu tingkat lantai. Gedung dengan tipe ini adalah gedung yang memiliki banyak bukaan seperti banyaknya jendela, atau bahkan tanpa dinding pengisi sekaligus pada suatu tingkat lantai. Mekanisme keruntuhan *soft storey* terjadi karena kekuatan kolom struktur bangunan lebih lemah dari pada kekuatan balok struktur atau kekakuan kolom lebih kecil dari pada kekakuan pada balok.

### Desain Kapasitas

Struktur beton bertulang tahan gempa pada umumnya direncanakan dengan mengaplikasikan konsep daktilitas. Dengan konsep ini, gaya gempa elastik dapat direduksi dengan suatu faktor modifikasi response struktur (faktor  $R$ ), yang merupakan representasi tingkat daktilitas yang dimiliki struktur. Dengan penerapan konsep ini, pada saat gempa kuat terjadi, hanya elemen-elemen struktur bangunan tertentu saja yang diperbolehkan mengalami plastifikasi sebagai sarana untuk pendisipasian energi gempa yang diterima struktur. Elemen - elemen tertentu tersebut pada umumnya adalah elemen-elemen struktur yang keruntuhannya bersifat daktil. Elemen-elemen struktur lain yang tidak diharapkan mengalami plastifikasi haruslah tetap berperilaku elastis selama gempa kuat terjadi. (Aryanti & Aminsyah, 2004)

### Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

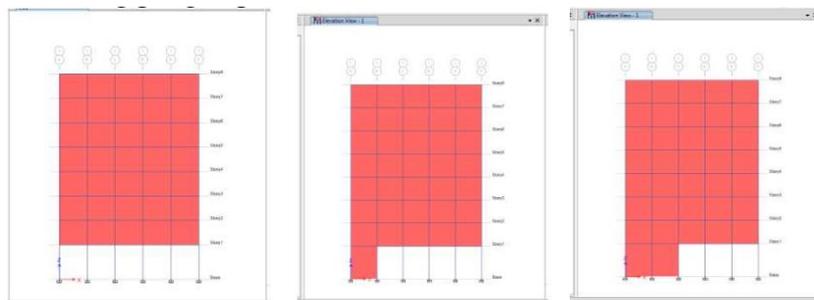
Berlaku untuk balok rangka momen khusus yang menahan beban lateral yang diinduksi oleh pergerakan gempa. Pada standar sebelumnya, setiap komponen rangka yang terkena gaya tekan aksial terfaktor melebihi ( $A_g f_c' / 10$ ) akibat setiap kombinasi beban harus diproporsionalkan dan didetailkan. Standar ini ditulis berdasarkan asumsi bahwa sistem rangka pemikul momen khusus terdiri dari balok horizontal dan kolom vertikal yang saling berhubungan oleh joint balok-kolom. Diperkenankan balok dan kolom dipasang miring selama sistem yang dihasilkan berperilaku sebagai rangka yaitu, tahanan lateral disediakan terutama oleh transfer momen di antara balok dan kolom daripada aksi *strut* atau bresing (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

### Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Hasil dari desain kolom SRPMK adalah untuk mengurangi kemungkinan leleh pada kolom yang dianggap sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik. Jika kolom tidak lebih kuat dari balok yang merangka pada joint, ada kemungkinan peningkatan aksi inelastik. Kasus terburuk pada kolom lemah adalah kelelahan lentur dapat terjadi pada kedua ujung kolom pada satu lantai tertentu yang menghasilkan mekanisme kegagalan kolom yang dapat menyebabkan keruntuhan bangunan.  $\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$ , kekuatan nominal balok dan kolom dihitung pada muka-muka joint, dan kekuatan tersebut dibandingkan secara langsung menggunakan. Dalam menentukan kekuatan momen nominal balok dengan lentur negatif (sisi atas dalam kondisi tarik), tulangan longitudinal yang terdapat dalam lebar efektif sayap dari pelat atas yang berperilaku monolit dengan balok meningkatkan kekuatan balok. (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

### METODE PENELITIAN

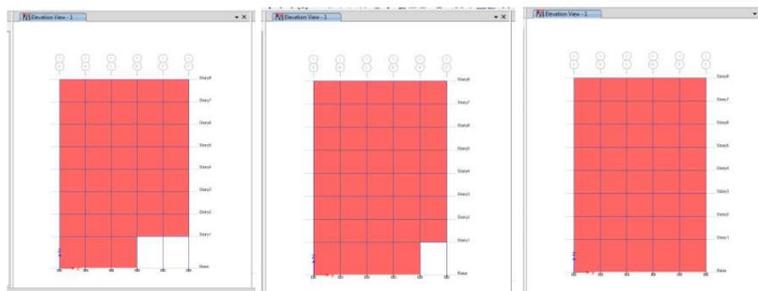
Penelitian dilakukan di Kampus Universitas Nusa Cendana, Program Studi Teknik Sipil dan waktu pelaksanaan penelitian dimulai sejak judul penelitian disetujui yaitu pada bulan Maret 2020 dan selesai pada bulan maret 2022. Penelitian ini menggunakan spesimen dari penelitian sebelumnya (Tosari, D. 2015) merupakan 6 portal 2D yang dianalisis menggunakan program ETABS V.16 dengan variasi dinding pengisi lantai dasar:



1.a. 0% Dinding Pengisi

1.b. 20% Dinding Pengisi

1.c. 40% Dinding Pengisi



1.d. 60% Dinding Pengisi

1.e. 80% Dinding Pengisi

1.f. 100% Dinding Pengisi

Gambar 1. Tampak 2D Spesimen Penelitian

Berdasarkan spesimen yang ada kemudian dianalisis, untuk melihat sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom, kemudian pada komponen-komponen tersebut didesain berdasarkan tata cara SRPMK (SNI 2847-2019). Setelah itu kemudian komponen balok dan kolom hasil didesain dihitung batasan nilai  $f_s' < f_y$  untuk melihat batas leleh atau sendi plastis yang terjadi.

## ANALISIS DAN PEMBAHASAN.

### Tinjauan Umum

Berdasarkan hasil analisis *pushover* menggunakan program ETABS V.16 untuk melihat titik sendi plastis yang terjadi pada komponen balok dan kolom pada model spesimen bangunan dengan variasi penambahan dinding pengisi lantai dasar 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%, kelelahan komponen balok dan kolom. Pada perencanaan komponen balok dan kolom bangunan ini menggunakan beton bertulang sebagai profil utama pada kolom dan balok menggunakan sistem kapasitas desain yaitu kekuatan kolom harus lebih kuat dari kekuatan balok serta tulangan kolom tidak mengalami leleh dan untuk mencapai tujuan tersebut haruslah menggunakan percobaan *trial and error* agar sesuai persyaratan desain balok dan kolom dan juga tetap memperhitungkan kekuatan kolom harus lebih kuat dari balok.

Untuk mencapai struktur yang diinginkan maka dilakukan perubahan data properti material dan dimensi pada kolom. Untuk portal 0 %, dimensi kolom Lantai 1 diubah menjadi 45x45 cm, untuk portal 20 % dimensi kolom lantai 1 diubah menjadi 50x50 cm, untuk portal 40 dimensi kolom lantai 1 diubah menjadi 50x50 cm dengan kolom eksteriornya menggunakan tulangan baja dengan tegangan leleh ( $f_y$ ) 400 MPa, untuk portal 60, dimensi kolom lantai 1 diubah menjadi 50x50 cm dengan kolom eksteriornya menggunakan tulangan baja dengan tegangan leleh ( $f_y$ ) 400 MPa, dimensi kolom lantai 2 diubah menjadi 45x45 dengan kolom eksteriornya menggunakan tulangan baja dengan tegangan leleh ( $f_y$ ) 400 MPa. Untuk portal 80 %, dimensi kolom lantai 1 diubah menjadi 55x55 cm dengan kolom eksteriornya menggunakan tulangan baja dengan diameter 22 mm dan tegangan lelehnya ( $f_y$ ) 400 MPa, dimensi kolom lantai 2 diubah menjadi 45x45 dengan kolom eksteriornya menggunakan tulangan baja dengan tegangan leleh ( $f_y$ ) 400 MPa. Untuk portal 100 %, dimensi kolom lantai 1 diubah menjadi 60x60 cm dengan kolom eksteriornya menggunakan tulangan baja dengan diameter 22 mm dan tegangan lelehnya ( $f_y$ ) 420 MPa, dimensi kolom lantai 2 diubah menjadi 45x45 dengan kolom eksteriornya menggunakan tulangan baja dengan tegangan leleh ( $f_y$ ) 400 MPa.

### Hasil Analisis *Pushover*

Tabel 1 Sendi Plastis Yang Terjadi Pada Portal 0 % Dinding Pengisi Lantai Dasar

Lantai	Nama	Komponen	Ujung 1/ Top	Ujung 2/ Bottom
1	K1	Kolom	-	B
	K2	Kolom	-	B
	K3	Kolom	-	B
	K4	Kolom	-	B
	K5	Kolom	-	B
	B5	Balok	-	B

### Desain Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Untuk mendesain balok SRPMK dilakukan menggunakan acuan dari SNI-2847-2019, yaitu pertama didesain tulangan longitudinal menggunakan perhitungan untuk beton biasa sedangkan

untuk desain tulangan transversal/geser menggunakan acuan dari SRPMK. Balok yang didesain berjumlah 240 buah, maka ditampilkan contoh perhitungan.

Balok 300x500,  $f_c' = 25$  MPa,  $f_y = 360$  Mpa berdasarkan hasil analisis didapat  $M^+_{Tump} = 65,00$  kNm,  $M^-_{Tump} = 114,30$  kNm,  $M_{Lap} = 38,05$  kNm

1. Cek syarat dimensi penampang

- a. Bentang bersih  $\geq 4d$   
3550 mm  $\geq 1754$  mm (ok)
- b. b  $\geq 0,3 h$  dan 250 mm  
300 mm  $\geq 150$  mm dan 250 mm (ok)
- c. b  $\leq B_k + 2 \cdot (\text{Min}[B_k; 0,75H_k])$   
300 mm  $\leq 1125$  mm

2. Desain tulangan longitudinal

Menghitung nilai  $K < K_{maks}$  didapat 1,253 MPa < 6,780 Mpa, selanjutnya menghitung nilai tinggi blok tegangan ekuivalen didapat 26,67 mm.

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b}{f_y} = \frac{0,85 \cdot (25) \cdot (26,667) \cdot (300)}{360} = 472,228 \text{ mm}^2$$

Menghitung jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{s,u}}{\frac{1}{4} \pi D^2} = \frac{513,045}{\frac{1}{4} \pi (19)^2} = 1,810 \approx 2 \text{ tulangan}$$

maka digunakan: Tulangan M(+)<sub>Tump</sub>  $A_s = 2D19 = 567,057 \text{ mm}^2 \geq A_{s,u} = 472,228 \text{ mm}^2$  (OK)

Selanjutnya dihitung pada momen lainnya balok dtumpuan dan lapangan, didapat

Lokasi		Tulangan Terpasang	$\phi M_n$
Tumpuan	Atas	4D19 = 1134,115 mm <sup>2</sup>	149,362 kNm
	Bawah	2D19 = 567,057 mm <sup>2</sup>	77,62 kNm
Lapangan	Atas	2D19 = 567,057 mm <sup>2</sup>	77,62 kNm
	Bawah	2D19 = 567,057 mm <sup>2</sup>	77,62 kNm

3. Persyaratan kapasitas minimum momen positif dan momen negatif.

- a. Disediakan 2 buah tulangan menerus.....(ok)
- b.  $\phi Mn^{(+)}_{Tump \text{ kiri}} \geq \frac{1}{2} \cdot \phi Mn^{(-)}_{Tump \text{ kiri}}$   
 $77,62 \text{ kNm} \geq \frac{1}{2} (149,362)$   
 $77,62 \text{ kNm} \geq 74,68 \text{ kNm} \dots \dots (\text{ok})$
- c.  $\phi Mn^{(+)}_{Tump \text{ kanan}} \geq \frac{1}{2} \cdot \phi Mn^{(-)}_{Tump \text{ kanan}}$   
 $77,62 \text{ kNm} \geq \frac{1}{2} (149,362)$   
 $77,62 \text{ kNm} \geq 74,68 \text{ kNm} \dots \dots (\text{ok})$
- d.  $\phi Mn^{(+)}_{Lap} \text{ atau } \phi Mn^{(-)}_{Lap} \geq \frac{1}{4} \phi Mn_{\text{terbesar}}$   
 $77,62 \text{ kNm} \geq \frac{1}{4} (149,362)$

$$77,62 \text{ kNm} \geq 37,34 \text{ kNm} \dots\dots(\text{ok}).$$

Untuk mendesain tulangan transversal pada daerah sendi plastis (2h) maka digunakan nilai *Probable Momen Capacities* ( $M_{pr}$ ), berdasarkan SNI 2847-2019, gaya rencana akibat *pushover* diasumsikan dengan tegangan lentur balok mencapai 1,25fy pada daerah tumpuan. Untuk tulangan atas 4D19  $a_{pr} = 80,055 \text{ mm}$ ;  $m_{pr} = 203,36 \text{ kNm}$  dan tulangan bawah 2D19  $a_{pr} = 40,028 \text{ mm}$ ;  $m_{pr} = 106,79 \text{ kNm}$ . Selanjutnya menghitung nilai gaya geser yaitu akumulasi dari gaya dalam akibat tulangan terpasang ditambah gaya geser yang terjadi akibat hasil analisis struktur. Untuk balok SRPMK pada daerah sendi plastis dalam mendesain tulangan transversal nilai  $V_c=0$ .

Jika dipakai sengkang tertutup dengan diameter 12 mm (2 kaki), maka jarak sengkang (s) :

$$s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{2(113,09) \cdot 360 \cdot 438,5}{266,41} = 201,05 \text{ mm}$$

Jarak maksimum sengkang tertutup ini sepanjang daerah sendi plastis ( $2h = 2.500 = 1000 \text{ mm}$ ), tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

(i)  $\frac{d}{4} = \frac{438,5}{4} = 109,63 \text{ mm}$

(ii)  $6D = 6 \cdot 19 = 114 \text{ mm}$

(iii)  $150 \text{ mm}$

Maka dipakai jarak 110 mm, atau pada daerah sendi plastis digunakan tulangan Ø12–100 hingga sepanjang 1000 mm muka tumpuan

Sedangkan untuk tulangan transversal pada daerah luar sendi plastis dihitung berdasarkan persyaratan biasa dan nilai  $V_c$  diperhitungkan atau  $V_c \neq 0$ . Untuk gaya geser yang terjadi yaitu akumulasi dari gaya dalam akibat tulangan terpasang ditambah gaya geser yang terjadi pada titik ujung daerah luar sendi plastis.

Jarak maksimum ditentukan:

(i)  $s_1 = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{2(113,09) \cdot 360 \cdot 438,5}{113364,37} = 314,98 \text{ mm}$

(ii)  $s_2 = \frac{d}{2} = \frac{438,5}{2} = 219,25 \text{ mm}$

(iii)  $s_3 = \frac{A_v \cdot f_y}{0,35 b} = \frac{2(113,09) \cdot 360}{0,35 \cdot 300} = 775,52 \text{ mm}$

(iv)  $s_4 = 600 \text{ mm}$

Diambil nilai terkecil dari persamaan diatas yaitu sebesar  $s = 210 \text{ mm}$ , dipasang Ø12–210.

Berdasarkan hasil desain balok SRPMK maka didapat hasil

Tulangan	Lokasi	Tulangan Terpasang
Tumpuan	Atas	4D19 = 1134,115 mm <sup>2</sup>
	Bawah	2D19 = 567,057 mm <sup>2</sup>
Lapangan	Atas	2D19 = 567,057 mm <sup>2</sup>
	Bawah	2D19 = 567,057 mm <sup>2</sup>
Transversal/Geser	SP = 2h	Ø12–100
	LSP = Lapangan	Ø12–210

## Desain Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

### Melihat faktor kelangsingan kolom

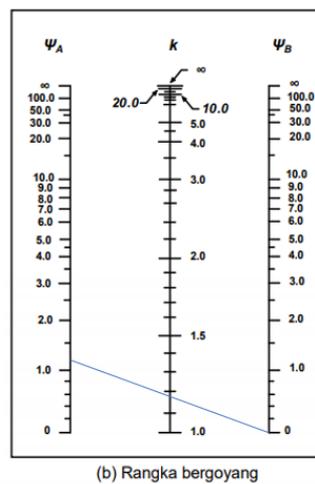
Jika nilai  $\frac{k.l_u}{r} \leq 22$  maka kolom didefinisikan sebagai kolom pendek, jika nilai  $\frac{k.l_u}{r} \geq 22$  maka kolom didefinisikan menjadi kolom panjang dan dihitung faktor pembesaran momen

1. Faktor tegangan ujung  $\Psi_A$

$$\Psi_A = \frac{\left(\frac{E_I12}{L_C12}\right) + \left(\frac{E_I15}{L_C15}\right)}{\left(\frac{E_I13}{L_C13}\right) + \left(\frac{E_I14}{L_C14}\right)} = \frac{\left(\frac{21314905441274}{4750}\right) + \left(\frac{13567884528621}{3250}\right)}{\left(\frac{25703125000000}{3550}\right) + \left(\frac{0}{0}\right)} = 1,200$$

$$\Psi_B = 0 \text{ (Ujungbawahberupajepit)}$$

Kemudian diplot pada nomogram dari SNI 2847-2019 Gambar 7 berikut: didapat nilai  $k = 1,19$



Gambar 2 Nanogram Faktor Tegangan Ujung

$$r = \sqrt{\frac{I_k}{A_g}} = \sqrt{\frac{3,42 \times 10^9}{250000}} = 129,9 \text{ mm, dengan } \frac{k.l_u}{r} \leq 22 \text{ didefinisikan sebagai kolom pendek.}$$

Dengan  $L =$  yang terbesar dari  $L = 4,75 \text{ m} = 4750 \text{ mm}$

$$\text{Maka } \frac{k.l_u}{r} = \frac{1,19 \cdot 4750}{129,9} = 43,51 \leq 22 \text{ (kolom panjang)}$$

Karena tidak memenuhi persamaan diatas, maka kolom digolongkan menjadi kolom panjang. Selanjutnya mencari faktor pembesaran momen.

2. Faktor Kapasitas Tekan Lantai 1

Kapasitas tekan lantai 1 adalah kapasitas kolom tekan keseluruhan kolom yang ada pada satu tingkatan lantai, dalam Spesimen portal ini terdapat 6 kolom pada lantai 1. Maka dihitung total dari kolom 1 sampai kolom 6.

$$Pc_{Kn} = \frac{\pi^2 \cdot EI_{Kn}}{(k \cdot L)^2}$$

Didapat  $\Sigma Pc = 49384632,18 \text{ N}$

3. Gaya Aksial Total Lantai 1

Gaya total aksial kolom-kolom yang ada disuatu tingkatan lantai Didapat  $\Sigma P = 1289212,7 \text{ N}$

4. Faktor Pembesaran Momen

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \cdot \sum P_c}} = \frac{1}{1 - \frac{12829212,7}{0,75 \cdot 49384632,18}} = 1,63$$

$M_u = M_{ns} + \delta_s M_s = 0 + 1,63 \cdot 156,31 = 254,78 \text{ kNm}$  Maka nilai  $M_u$  hasil pembesaran momen adalah 254,78 kNm.

### Desain Tulangan Longitudinal Balok

Untuk desain tulangan longitudinal kolom SRPMK dilakukan sama dengan perhitungan tulangan biasa menggunakan

1. Melihat nilai eksentrisitas

$$e = M_u/P_u = \frac{254,78 \cdot 10^6}{2209,94 \cdot 10^3} = 125,29 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = 0,1 \cdot h = 45 \text{ mm}$$

$$e < e_{\min} = 125,29 \text{ mm} < 45 \text{ mm} \text{ (ok)}$$

2. Keseimbangan regangan

$f_s' > f_y$  digunakan  $f_y$  360 Mpa

3. Analisa Kehancuran

Menggunakan  $A_s$  coba-coba = 4500 mm<sup>2</sup> dihitung nilai eksentrisitas berdasarkan tulangan asumsi didapat  $e = 125,89 \text{ mm}$   $e_b = 353,32 \text{ mm}$ , karena  $e < e_b$  maka kolom mengalami kehancuran tarik.

4. Penulangan Kolom Kehancuran Tarik menggunakan pendekatan Whitney

Dihitung nilai  $\phi P_n$  menggunakan asumsi tulangan yang digunakan  $\phi P_n = 2459,60 \text{ kN} > P_u = 2209,94 \text{ kN}$ , maka luas tulangan asumsi aman digunakan.

5. Kontrol Rasio Tulangan

$$\rho = \frac{A_{st}}{b \cdot d} > \rho_{\min} = \frac{4500}{450 \cdot 388,5} > 0,01 = 0,026 > 0,01 \dots \dots \text{ (OKE)}$$

Karena  $\rho > \rho_{\min}$  maka digunakan  $A_s = A_s' = \rho \cdot b \cdot h = 0,026 \cdot 450 \cdot 388,5 = 4545,45 \text{ mm}^2$

$$\text{Jumlah tulangan, } A_1 \cdot n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{4545,45}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2} = 16,03 \text{ Tulangan} \rightarrow 20 \text{ Tulangan}$$

$A_{spakai} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 20 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 = 5670,6 \text{ mm}^2$ . Maka digunakan tulangan 20D19 = 5670,6 mm<sup>2</sup>.

### Desain Tulangan Transversal Kolom

1. Syarat Dimensi Penampang

- a. Batas luas tulangan,  $\rho_{Agr}$  = 0,026  $A_{gr}$  = 0,01  $A_{gr} < \rho_{Agr} > ,06 A_{gr}$  (ok)
- b. Syarat isiterpendek, b = 450 mm  $\geq 300 \text{ mm}$  (ok)
- c. Syarat Rasio Dimensi Penampang, b/h = 450/450  $\geq 0,4$  (ok)

2. Cek Syarat Strong Column – Weak Beam (SCWB)

Menghitung gaya aksial tambahan, gaya aksial tambahan didapat dari tulangan balok yang menumpu pada kolom desain. kekuatan lentur kolom harus memenuhi  $\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$ . , Sehingga dihitung :

$$\begin{array}{lcl} M_{nc} \text{ atas} + M_{nc} \text{ bawah} & \geq & 1,2 (M_{nb} \text{ kiri} + M_{nb} \text{ kanan}) \\ (247,85 + 381,92) & \geq & 1,2(127,53 + 0) \end{array}$$

$$629,8 \text{ kNm} \geq 153,04 \text{ kNm} \dots\dots\dots(\text{OK})$$

Maka kolom memenuhi persyaratan Kolom Kuat Balok Lemah (*SCWB*)

3. Desain tulangan transversal daerah Sendi Plastis

Panjang daerah sendi plastis diatur pada SNI 2847-2019 Pasal 18.7.5.1, diambil  $l_o = 792 \text{ mm}$ , setelah itu melihat jarak bersih antar tulangan  $x_1 = 65,40 \text{ mm}$ . setelah itu nilai  $A_{sh}/S_{bc}$  dari persamaan pada SNI 2847-2019 Persamaan 18.7.5.4.  $A_{sh}/s_{bc} = 0,009983$

Syarat jarak tulangan transversal

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.3 dihitung jarak tulangan transversal yaitu  $100 \text{ mm} > s > 150 \text{ mm}$ , didapat nilai  $s = 100 \text{ mm}$

$$\frac{A_{sh}}{s} = bc \cdot (0,009983) = 3,69 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh} = 3,69 \cdot (100) = 369 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

Jika digunakan sengkang tertutup dan ikat silang  $D_s = 12 \text{ mm}$  maka dibutuhkan  $n = 4$

$$A_{Vs} = n \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot D_s^2 = 4 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot 12^2 = 452,39 \text{ mm}^2$$

$$A_{Sh} < A_{Vs} \text{ terpasang}$$

$$369,37 \text{ mm}^2 < 452,39 \text{ mm}^2 \dots\dots(\text{OKE})$$

Maka tulangan transversal daerah sendi plastis yang terpasang adalah  $4\emptyset 12-100$ .

4. Cek kekuatan geser

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.6.1.1, Gaya Geser  $V_e$  harus diambil dari peninjauan total gaya gaya maksimum yang terjadi di muka-muka joint pada setiap ujung kolom  $V_e = 228,66 \text{ kN}$

5. Desain Tulangan Transversal daerah Luar Sendi Plastis

Dalam SNI 2847-2019 Pasal 18.7.5.5 diluar panjang  $l_o$  batas minimal jarak tulangan diambil jarak tulangan =  $110 \text{ mm}$ , diasumsi menggunakan sengkang 4 ikat.

Dicek  $A_{Vs}/s \text{ perlu} < A_{Vs}/s \text{ terpasang}$

$$A_{Vs}/s \text{ perlu} < A_{Vs}/s \text{ terpasang}$$

$$0,48 < 2,06 \dots\dots\dots(\text{OKE})$$

Maka tulangan transversal daerah luar sendi plastis yang terpasang adalah  $4\emptyset 12-100$ .

Tulangan	Lokasi	Tulangan Terpasang
Longitudinal	$L_{kolom}$	20 D19 = 5670,57 mm <sup>2</sup>
Transversal/Geser	Sendi Plastis	$\emptyset 12-100$
	Luar Sendi Plastis	$\emptyset 12-110$

**Kelelahan Tulangan Spesimen**

Selanjutnya melihat kelelahan yang terjadi pada balok dan kolom hasil desain berdasarkan batasan  $f_y$  yang digunakan.

**Kelelahan Tulangan Spesimen Balok**

Berdasarkan luas tulangan yang digunakan pada B1L1 Portal 0% DPLD pada tumpuan atas digunakan 4D19, dihitung nilai  $a = 32,00 \text{ mm}$  dan  $M_n = 166,770$ ,  $c = 75,346 \text{ mm}$ , regangan  $\epsilon_s =$

0,0160 dan nilai  $f_s' = 3200$  Mpa, maka dilihat nilai  $f_y$  yang digunakan adalah  $360 \text{ Mpa} < 3200 \text{ Mpa}$  hasil htungan nilai  $f_s'$ . Maka semua tulangan sudah mengalami kelelahan.

**Kelelahan Tulangan Spelemen Kolom**

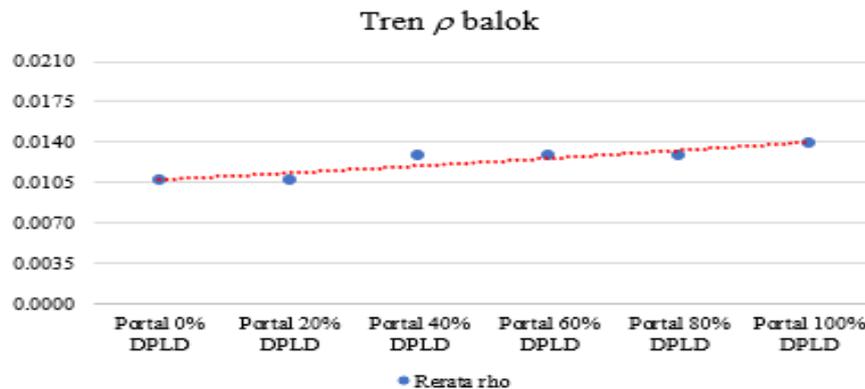
Berdasarkan jumlah tulangan kolom yang digunakan maka dihitung kelelahan tiap tulangan pada penampang kolom tersebut, contoh digunakan kolom 16D19, dibagi rata di tiap sisi-sisi penampang menjadi 5 lapis.

Tabel 2. Perhitungan  $\Sigma C_s$  dan  $\Sigma M_s$  menggunakan nilai  $c$  coba-coba.

i	s(i)	$A_s(i)$	$f_s(i)$	$f_{sx}(i)$	$f_{sy}(i)$	$C_s(i)$	$M_s(i)$
1	61.5	0.3125	<b>491.092</b>	360.00	360.00	112.50	18393.75
2	143.25	0.125	359.616	359.62	359.62	44.95	3674.82
3	225	0.125	238.140	238.14	238.14	29.77	0.00
4	306.75	0.125	106.664	106.66	106.66	13.33	-1089.97
5	388.5	0.3125	-24.812	-24.81	-3.56	-1.11	181.99
		1			$\Sigma$	199.44	21160.59

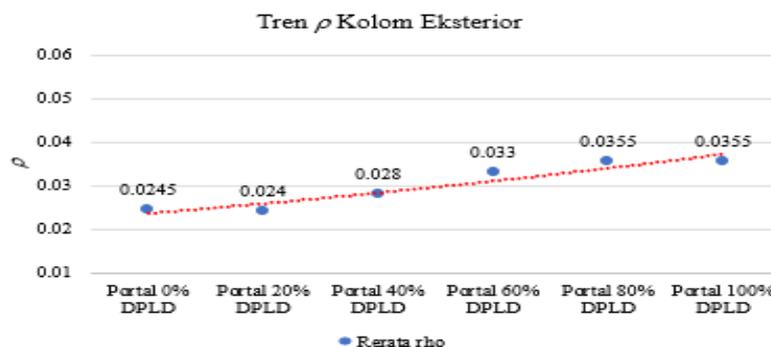
**Perubahan  $\rho$  pada Balok dengan penambahan Dinding Pengisi Lantai Dasar**

Perubahan  $\rho$  yang terjadi pada balok setiap penambahan dinding pengisi lantai dasar dari portal 0 % sampai portal 100 % mengalami perubahan yang bervariasi. Berdasarkan tren yang terjadi perubahan  $\rho$  cenderung mengalami peningkatan setiap penambahan dinding pengisi lantai dasar.



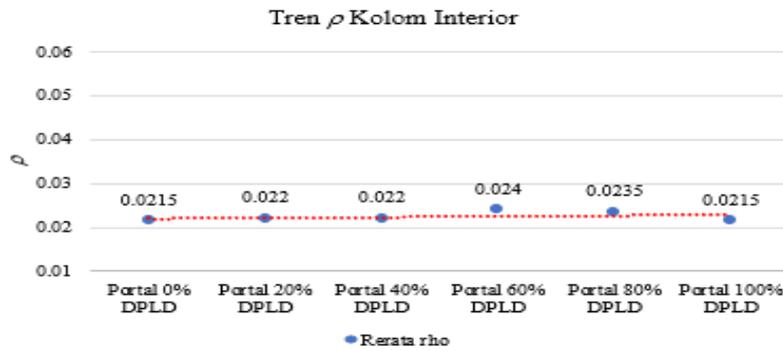
Gambar 3. Tren  $\rho$  balok tiap Portal Dinding Pengisi Lantai Dasar

**Perubahan  $\rho$  pada Kolom dengan penambahan Dinding Pengisi Lantai Dasar**



Gambar 4. Tren  $\rho$  Kolom Eksterior tiap Portal Dinding Pengisi Lantai Dasar

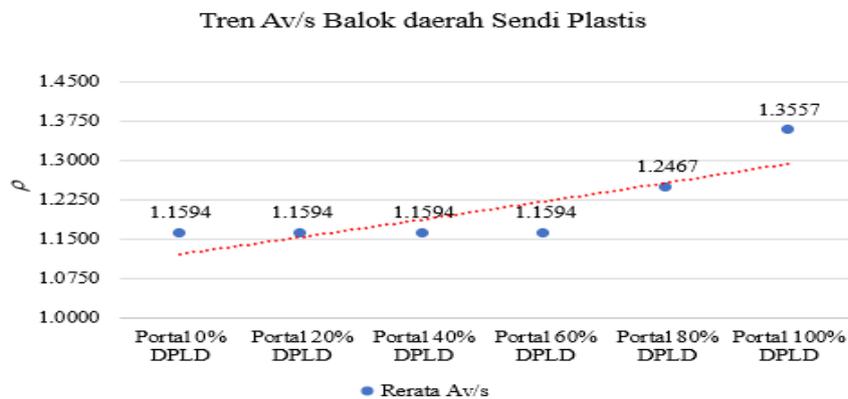
Perubahan  $\rho$  yang terjadi pada kolom setiap penambahan dinding pengisi lantai dasar dari portal 0 % sampai portal 100 % mengalami perubahan yang bervariasi. Untuk kolom sendiri berdasarkan hasil sendiri kolom bagian ujung-ujung cenderung memiliki luas tulangan yang lebih besar dari pada kolom tengah, maka dari itu perubahan  $\rho$  dibedakan menjadi kolom ekterior dan kolom interior.



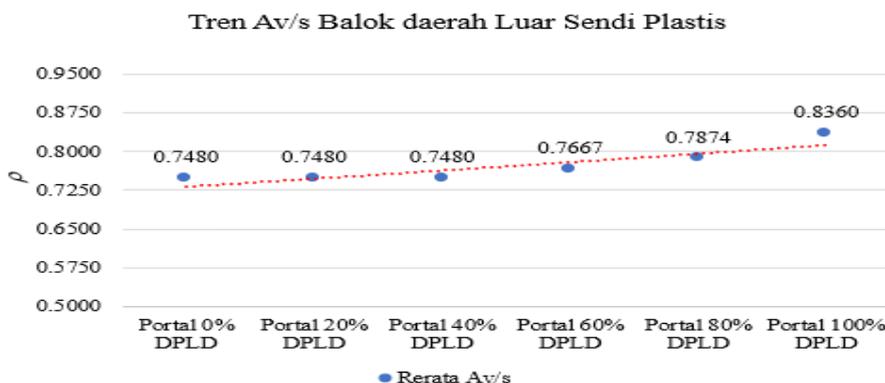
Gambar 5. Tren  $\rho$  Kolom Interior tiap Portal Dinding Pengisi Lantai Dasar

### Perubahan $A_v/s$ pada Balok dengan penambahan Dinding Pengisi Lantai Dasar

Perubahan  $A_v/s$  yang terjadi pada balok setiap penambahan dinding pengisi lantai dasar dari portal 0 % sampai portal 100 % mengalami perubahan yang bervariasi. Untuk  $A_v/s$  pada balok dibagi menjadi 2 bagian, yaitu  $A_v/s$  daerah sendi plastis dan daerah luar sendi plastis. Berdasarkan tren yang terjadi perubahan  $A_v/s$  cenderung mengalami peningkatan setiap penambahan dinding pengisi lantai dasar dan juga  $A_v/s$  pada daerah sendi plastis lebih besar dari pada daerah luar sendi plastis.



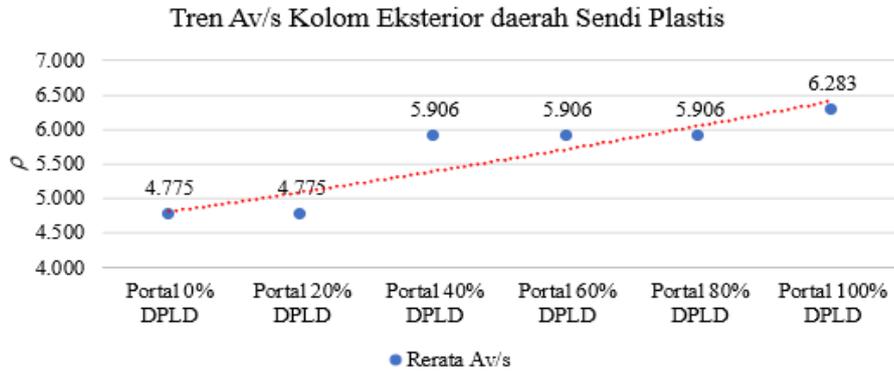
Gambar 6. Tren  $A_v/s$  balok daerah Sendi Plastis tiap Portal Dinding Pengisi Lantai Dasar



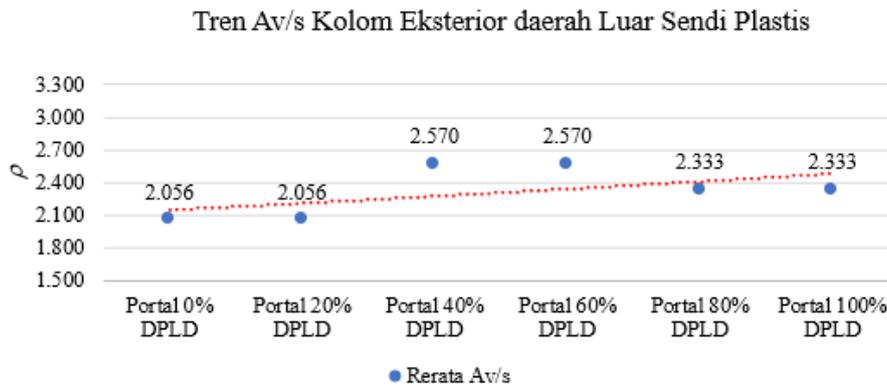
Gambar 7. Tren  $A_v/s$  balok daerah luar Sendi Plastis tiap Portal Dinding Pengisi Lantai Dasar

**Perubahan  $A_v/s$  pada Kolom dengan penambahan Dinding Pengisi Lantai Dasar**

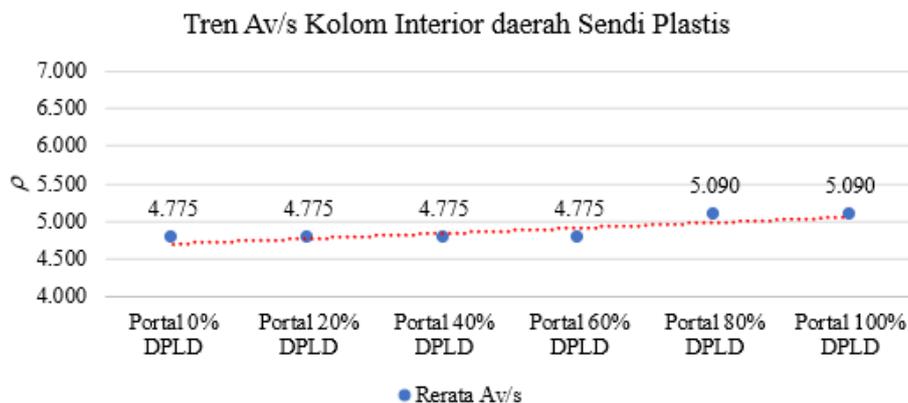
Perubahan  $A_v/s$  yang terjadi pada kolom setiap penambahan dinding pengisi lantai dasar dari portal 0 % sampai portal 100 % mengalami perubahan yang bervariasi. Untuk kolom sendiri berdasarkan hasil analisis kolom bagian ujung-ujung cenderung memiliki luas tulangan yang lebih besar dari pada kolom tengah dan juga pada daerah sendi plastis lebih besar dari pada daerah luar sendi plastis, maka dari itu perubahan  $A_v/s$  dibedakan menjadi kolom eksterior daerah sendi plastis, kolom eksterior daerah luar sendi plastis dan kolom interior daerah sendi plastis, kolom interior daerah luar sendi plastis.



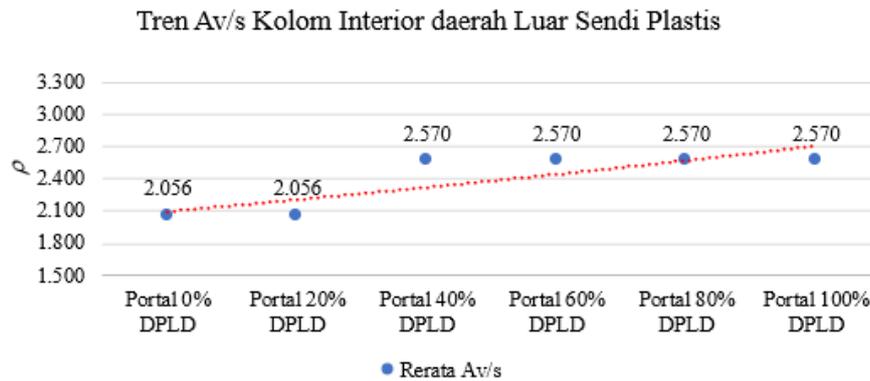
Gambar 8. Tren  $A_v/s$  Kolom eksterior daerah Sendi Plastis tiap Portal Dinding Pengisi Lantai Dasar



Gambar 9. Tren  $A_v/s$  Kolom eksterior daerah Luar Sendi Plastis tiap Portal Dinding Pengisi Lantai Dasar



Gambar 9. Tren  $A_v/s$  Kolom eksterior daerah Luar Sendi Plastis tiap Portal Dinding Pengisi Lantai Dasar



*Gambar 9. Tren Av/s Kolom eksterior daerah Luar Sendi Plastis tiap Portal Dinding Pengisi Lantai Dasar*

## KESIMPULAN

1. Pada dasarnya tren perubahan tulangan longitudinal balok dan kolom cenderung meningkat semakin besar ke arah lantai bawah tetapi karena ada perubahan dimensi penampang kolom yang maka nilai  $\rho$  semakin menurun sehingga beberapa komponen ada yang mengalami penurunan kurva, kebutuhan tulangan longitudinal kolom eksterior lebih besar dari pada kolom interior. Tren perubahan tulangan geser/transversal nilai terbesar ada pada daerah sendi plastis dari pada luar daerah sendi plastis dan juga semakin bawah tingkatan lantainya semakin besar nilai Av/s nya, sama seperti kasus tulangan longitudinal, setelah dilakukan perubahan dimensi penampang maka nilai s semakin besar sehingga nilai Av/s nya membuat kurva di beberapa komponen mengalami penurunan.
2. Berdasarkan hasil analisis sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa semakin besar presentase dinding pengisi lantai dasar semakin banyak titik sendi plastis yang terjadi, hal ini juga berpengaruh pada gaya yang terjadi sehingga kebutuhan tulangan juga semakin meningkat.

## SARAN

1. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut beban gempa menggunakan analisis *Time History*.
2. Perlu dilakukan perhitungan menggunakan bangunan eksisting yang ada agar dapat mendesain komponen-komponen bangunan lainnya.
3. Perlu pembelajaran lebih mendetail tentang Sistem Rangka Pemikul Momen dan juga mekanisme *Soft Storey*.

## Daftar Pustaka

- Aryanti, R., & Aminsyah, M. (2004). Penerapan Konsep Disain Kapasitas pada Perencanaan Struktur Tahan Gempa. *Jurnal Ilmiah R & B Volume 4, Nomor 2*, 7.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Standar Nasional Indonesia: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 1726 - 2019*. Bandung: BSN.
- Tosari, D. S., Hunggurami, E., & Pah, J. J. (2016). Pengaruh Dinding Pengisi pada Lantai Dasar Bangunan Tingkat Tinggi terhadap Terjadinya Mekanisme *Soft Storey*. *Jurnal Teknik Sipil*, 5 (1), 1-14.

