

## STUDI KOMPARASI KINERJA GEDUNG BERTINGKAT SISTEM GANDA RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS DAN MENENGAH DI KOTA MANADO

Abdul Ahad Ghifar Ente<sup>1\*</sup>, Marthin Dody Josias Sumajouw<sup>1</sup>, Steenie Edward Wallah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara, Indonesia

\*Corresponding authors: [abdulente119@student.unsrat.ac.id](mailto:abdulente119@student.unsrat.ac.id)

Submitted: 14 December 2022, Revised: 18 January 2023, Accepted: 9 February 2023

**ABSTRACT:** Seismic designs for high-rise buildings in the city of Manado, are generally designed using a special reinforced concrete moment frames, but looking at the requirements of SNI 1726-2019 in the city of Manado with seismic design category D, multi-storey building plans can be designed using a dual systems with intermediate moment frames by paying attention to the building height limit of 48 meters. This study will compare the planning efficiency of a dual systems with intermediate moment frames to that of a dual systems with special moment frames in terms of dimensions, details of reinforcement and structural performance with a building height not exceeding 48 meters. The building simulation has a building length and width of 35 x 25 meters, then the height between floors is 4 meters with a building height of 16 meters (Low Rise Building/LRB), 32 meters (Middle Rise Building/MRB) and 48 meters (High Rise Building/HRB). The ratio of the longitudinal reinforcement area of the beam elements in the double system of intermediate moment frames is not more efficient than the double system of special moment bearing frames with the respective efficiency levels in the HRB, MRB and LRB models being -13.33%, -12.95% and -5.00%. Comparison of area of transverse reinforcement of column elements Double Intermediate Moment Resisting Frames are more efficient than Special Moment Bearing Double Systems with their respective efficiency levels in the HRB model. MRB and LRB is 18.35%. 19.47% and 34.68%. Comparison of structural performance in the Dual Intermediate Moment Resisting Frame system is more efficient than the Special Moment Resisting Double Frame System with an efficient rate of 22.85% for each model HRB, MRB and LRB. 20.95% and 12.63% in the X direction and 25.43%. 21.89% and 17.97% in the Y direction.

**KEYWORDS:** IRCMF; SRCMF; concrete; earthquake; push over.

**ABSTRAK:** Desain gempa pada bangunan bertingkat di Kota Manado, umumnya di desain memakai sistem rangka pemikul momen khusus, tetapi melihat dari persyaratan SNI 1726-2019 di kota Manado dengan kategori desain seismik D, perencanaan bangunan bertingkat bisa di desain menggunakan sistem ganda rangka pemikul momen menengah dengan memperhatikan batas tinggi bangunan yaitu 48 meter. Penelitian ini akan membandingkan tingkat efisiensi perencanaan sistem ganda rangka pemikul momen menengah terhadap sistem ganda rangka pemikul momen khusus dari segi dimensi, detail penulangan serta kinerja struktur dengan ketinggian bangunan tidak melebihi 48 meter. Simulasi bangunan memiliki panjang dan lebar bangunan 35 x 25 meterkemudian tinggi antar lantai 4 meter dengan tinggi bangunan 16 meter (Low Rise Bulding/LRB), 32 meter (Middle Rise Bulding/MRB) dan 48 meter (High Rise Bulding/HRB). Perbandingan luas tulangan longitudinal elemen balok sistem ganda rangka pemikul momen menengah tidak lebih efisien daripada sistem ganda rangka pemikul momen khusus dengan tingkat efisien masing-masing pada model HRB, MRB dan LRB adalah -13.33%, -12.95% dan -5.00%. Perbandingan luas tulangan transversal elemen kolom Sistem Ganda Rangka Pemikul Momen Menengah lebih efisien daripada Sistem Ganda Rangka Pemikul Momen Khusus dengan tingkat efisien masing-masing pada model HRB. MRB dan LRB adalah 18.35%. 19.47% dan 34.68%. Perbandingan Kinerja Struktur pada Sistem Ganda Rangka Pemikul Momen Menengah lebih efisien daripada Sistem Ganda Rangka Pemikul Momen Khusus dengan tingkat efisien masing-masing pada model HRB, MRB dan LRB adalah 22.85%. 20.95% dan 12.63% pada arah X dan 25.43%. 21.89% dan 17.97% pada arah Y.

**KATA KUNCI:** IRCMF; SRCMF; beton; gempa; push over.

© The Author(s) 2020. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

### 1 PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia adalah wilayah yang mempunyai kerawanan gempa yang tinggi karena letak geografis Indonesia dilalui oleh jalur pertemuan lempeng tektonik hal ini dibuktikan dengan sering terjadinya gempa beberapa tahun terakhir. Kondisi alam khususnya gempa ini memerlukan pemenuhan syarat-syarat perencanaan sistem struktur tahan gempa

pada setiap bangunan yang di dirikan khususnya bangunan bertingkat sehingga pada saat terjadi gempa struktur bangunan dapat bertahan dari resiko bahaya gempa. Kegagalan yang terjadi pada suatu sistem struktur bangunan akibat gempa umumnya disebabkan oleh sistem bangunan yang direncanakan dan dibangun tidak sesuai dengan tingkat kerawanan daerah setempat terhadap gempa serta perencanaan struktur dan detail

penulangan yang digunakan pada suatu sistem struktur kurang memadai. Penelitian sebelumnya telah mengkomparasikan desain di berbagai daerah yang ada di Indonesia, didapati bahwa untuk zona rawan gempa menghasilkan dimensi dan penulangan yang lebih banyak (Prins et al., 2017).

Untuk bangunan bertingkat, biasanya di desain menggunakan sistem struktur khususnya menggunakan beton bertulang yaitu sistem rangka pemikul momen khusus. Analisis struktur bangunan rumah sakit di Kota Cirebon menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (Rizki & Rohman, 2018). Pada desain bangunan bertingkat tahan gempa dengan menggunakan beton bertulang beberapa persyaratan perlu diperhatikan seperti ketidakberaturan horizontal dan vertikal, penyesuaian periode getar struktur, faktor skala gaya gempa, pengecekan stabilitas struktur dan syarat lain yang disyaratkan pada SNI 1726-2019 (BSN, 2019a).

Desain gempa pada bangunan bertingkat di Kota Manado dengan sistem rangka pemikul momen khusus atau SRPMK seperti perencanaan struktur untuk gedung Hotel 4 Lantai (Palit et al., 2016), perencanaan gedung laboratorium 3 lantai (Hirel et al., 2018), perencanaan bangunan kantor 5 lantai (Januar et al., 2019), perencanaan gedung *training center* 4 lantai (Laily et al., 2019), perencanaan konstruksi parkir 4 lantai (Pratama et al., 2020), dan perencanaan gedung kuliah 5 lantai (Jaglien et al., 2020). Pada perencanaan tersebut memenuhi salah satu syarat SRPMK yaitu *strong column weak beam* harus terpenuhi, dimana bangunan direncanakan kolom lebih kaku dibandingkan balok agar kegagalan yang diharapkan terjadi pada sendi plastis balok.

Selain perencanaan bangunan bertingkat akibat beban gempa, perencanaan berbasis kinerja untuk bangunan bertingkat tinggi perlu dilakukan. Penelitian sebelumnya, pada bangunan 10 lantai dengan analisis *pushover* didapatkan taraf kinerja *damage control* dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 dan *life safety* dengan metode perpindahan FEMA-356 (Yehezkiel et al., 2014). Pada studi kasus bangunan bertingkat tinggi di Kota Manado untuk 12 lantai dengan memperhitungkan beban gempa dan beban angin memiliki taraf kinerja struktur *immediate occuoancy* (Potalangi et al., 2020). Pada evaluasi kinerja bangunan 13 lantai akibat beban gempa didapatkan taraf kinerja *damage control* dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 dan *life safety* dengan metode perpindahan FEMA-356 (Ravi et al., 2020).

Umumnya bangunan di desain memakai sistem rangka pemikul momen khusus. Tetapi melihat dari persyaratan SNI 1726-2019 di Kota Manado dengan kategori desain seismik D, perencanaan bangunan bertingkat bisa di desain menggunakan sistem ganda rangka pemikul momen menengah dengan memperhatikan batas tinggi bangunan yaitu 48 meter. Perbandingan antara struktur sistem rangka pemikul

momen menengah atau SRPMM memiliki beban gempa yang lebih besar dari pada SRPMK sehingga dimensi struktur menjadi lebih besar, kemudian SRPMK lebih kaku dibandingkan dengan SRPMM (Almufid & Santoso, 2021). Pendetailan tulangan geser lentur pada SRPMK lebih detail dari pada SRPMM (Fitrah & Melinda, 2018). Dalam pemenuhan persyaratan dengan menggunakan struktur SRPMM diharuskan menggunakan dinding geser struktural khusus. Pengaruh penambahan dinding geser pada bangunan membuat struktur semakin kaku (Ecclesia et al., 2019). Selain penambahan dinding geser, penempatan dinding geser juga mempengaruhi terhadap simpangan struktur, seperti simpangan dinding geser searah beban gempa lebih kecil dibandingkan penempatan dinding geser diagonal (Fauziah et al., 2013). Penempatan dinding geser pada pusat masa bangunan memiliki simpangan lebih kecil dibandingkan dengan penempatan dinding geser pada sisi luar bangunan (Octavianus et al., 2015).

Penelitian ini akan membandingkan tingkat efisiensi perencanaan struktur ganda SRPMM terhadap struktur ganda SRPMK dari segi dimensi, detail penulangan serta kinerja struktur. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan dimensi dan penulangan struktur balok, kolom, dinding geser dan pelat serta kinerja bangunan dari sistem struktur ganda rangka pemikul momen khusus dengan sistem struktur ganda rangka pemikul momen menengah.

## 2 METODOLOGI

Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif yang menganalisis dan membandingkan kinerja bangunan bertingkat sistem struktur ganda rangka pemikul momen khusus dan sistem struktur ganda rangka pemikul momen menengah.

Penelitian ini mensimulasikan bangunan yang memiliki jumlah lantai 4 lantai untuk mewakili tingkat resiko bahaya rendah atau *Low Rise Building (LRB)* dengan ketinggian bangunan 16 meter (Gambar 1.b), 8 lantai mewakili tingkat resiko bahaya sedang *Middle Rise Building (MRB)* dengan ketinggian bangunan 32 meter (gambar 1.c) dan 12 lantai mewakili tingkat resiko bahaya tinggi *High Rise Building (HRB)* dengan ketinggian bangunan 48 meter (Gambar 1.d). Simulasi bangunan memiliki panjang dan lebar bangunan 5 x 5 meter dimana pada penelitian-penelitian sebelumnya diambil bentangan antara 4-6 meter. Posisi dinding geser ditempatkan simetris pada tiap sisi luar bangunan seperti pada gambar 1.a. Lokasi bangunan pada kota Manado dimana parameter gempanya di ambil sesuai dengan SNI 1726-2019. Kemudian data beban yang direncanakan yaitu beban mati, beban hidup dan beban gempa sesuai dengan dengan SNI 1727-2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (BSN, 2020). Lalu data penampang didesain sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2019 tentang tata cara

perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.

Untuk analisis pada penelitian ini dibantu dengan menggunakan *software* ETABS-18 dengan mensimulasikan data bangunan, data beban kemudian penampang struktur. Dalam analisis ini dimasukan pengaruh gempa sesuai dengan SNI 1726-2019 dan membandingkan hasil analisis desain bangunan bertingkat sistem struktur ganda rangka pemikul momen khusus dan sistem struktur ganda rangka pemikul momen menengah dari segi dimensi penampang, detailing dan perencanaan Penulangan. Pada perencanaan kolom dan dinding geser dibantu dengan *software* SPColumn. Setelah itu kinerja dikukur dari simpangan pada atas bangunan dan kinerja pada sendi plastis yang di tempatkan pada ujung elemen balok dan kolom sehingga bisa didapatkan kategori kinerja bangunan.

*Performance point* atau taraf kinerja dari hasil evaluasi digunakan untuk mendapatkan nilai drift. Nilai drift ini digunakan sebagai indikator kinerja dari struktur yang dianalisis. Tabel 1 merupakan limit deformasi pada berbagai taraf kinerja. Taraf kinerja didapatkan dari perbandingan antara deformasi dan tinggi bangunan.

Kemudian hasil analisis di dalam perencanaan dan pengukuran kinerja di tampilkan dalam bentuk tabel, grafik dan narasi untuk membandingkan hasil dari sistem struktur ganda rangka pemikul momen khusus dan sistem struktur ganda rangka pemikul momen menengah. Perbandingan yang ditampilkan untuk mendapatkan tingkat efisiensi dari perbandingan kedua sistem struktur. Efisiensi yang dimaksud adalah persentasi efisiensi sistem struktur ganda rangka pemikul momen khusus atau SRPMM terhadap sistem struktur ganda rangka pemikul momen khusus atau SRPMK. Jika nilai persentasi efisiensi bernilai positif maka SRPMM lebih efisien dibandingkan SRPMK, kemudian jika nilai persentasi efisiensi bernilai negatif maka SRPMK lebih efisien dibandingkan SRPMM. Nilai persentasi efisiensi dihtung terhadap dimensi struktur (*Ag*), penulangan struktur baik penulangan longitudinal (*As*) maupun penulangan transversal (*Av*) dan kinerja struktur.

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variasi jumlah tingkat yang direncanakan adalah 4 tingkat, 8 tingkat dan 12 tingkat;
2. Kuat tekan yang digunakan yaitu 30 MPa;
3. Kuat leleh baja tulangan yaitu 420 MPa;
4. Wilayah gempa yang diambil yaitu Kota Manado;
5. Penelitian ini dibantu oleh *software* ETABS-18 dan SPColumn;
6. Posisi dinding geser dibuat simetris di sisi luat bangunan;
7. Denah bangunan simetris;

8. Ukuran bangunan 35 meter x 25 meter dengan jarak antar kolom 5 meter;
9. Jarak antar lantai 4 meter;
10. Penelitian ini hanya untuk struktur atas bangunan.

**Tabel 1.** Deformation Limit pada Berbagai Tingkat Kinerja

	Performance Level			
	Immediate Occupancy (IO)	Damage Control (DC)	Life Safety (LS)	Structural Stability (CP)
Maximum Total Drift	0.01	0.01 – 0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
Maximum Inelastic Drift	0.005	0.005 – 0.015	No Limit	No Limit

Sumber: ATC-40

Pemodelan yang digunakan adalah sistem struktur ganda dinding geser dan sistem rangka pemikul momen.

1. Jumlah lantai : 4 lantai, 8 lantai dan 12 lantai
2. Jarak antar tingkat : 4 meter
3. Panjang bangunan : 35 meter
4. Lebar bangunan : 25 meter
5. Jaran antar kolom : 5 meter
6. Kuat tekan beton : 30 MPa
7. Kuat leleh baja tulangan : 420 MPa
8. Fungsi bangunan : Kantor
9. Daerah tinjauan : Kota Manado
10. Jenis batuan situs : Tanah Lunak

Pada lampiran Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2021 (Tabel 2) menjelaskan kriterio resiko bahaya dari bangunan. Pada lampiran tersebut dijelaskan.

**Tabel 2.** Kriteria Tingkat Resiko Bangunan

Parameter	Tingkat Resiko Bahaya Rendah	Tingkat Resiko Bahaya Sedang	Tingkat Resiko Bahaya Tinggi
	Ketinggian Bangunan	Dibawah 4 lantai	4 – 8 Lantai

Sumber: Pemerintah Indonesia, 2021

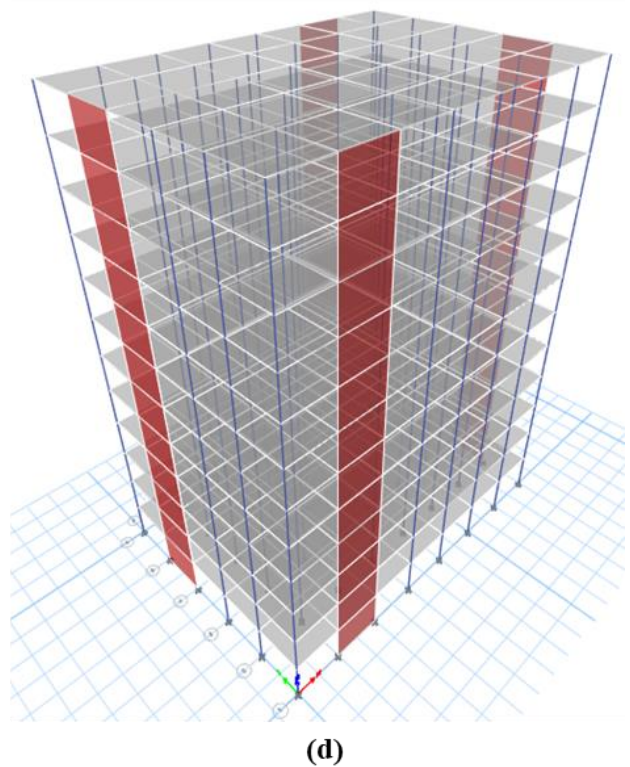
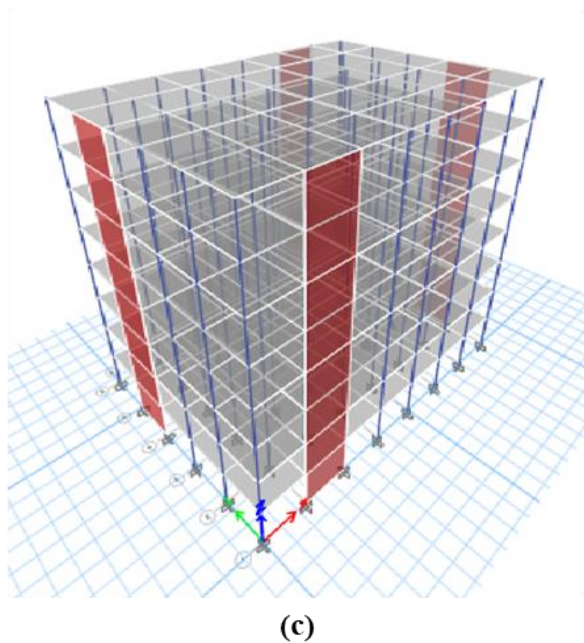
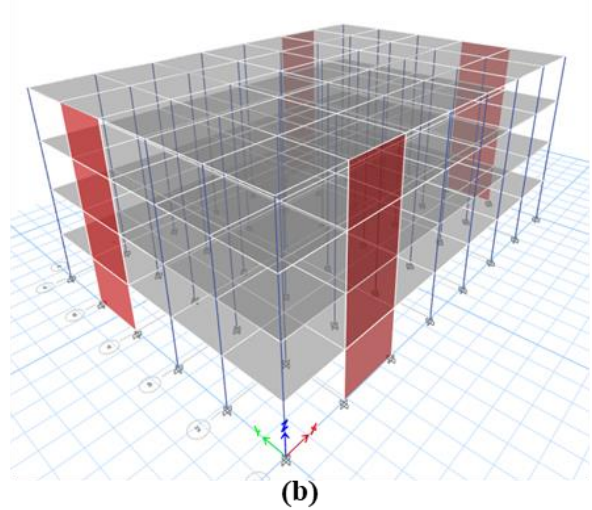
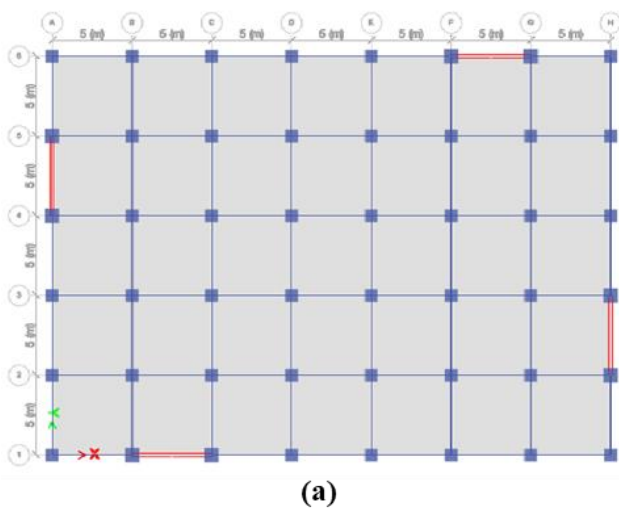
Penempatan dinding geser seperti pada Gambar 1a dimana pada penempatan dinding geser seperti gambar tersebut dimungkinkan bentuk ragam translasi terjadi pada ragam pertama dan kedua kemudian rotasi pada ragam ketiga. Kemudian pada Tabel 3 merupakan nilai parameter dari sistem ganda rangka pemikul momen khusus dan menengah. Dari Tabel 3 untuk kategori desain *seismic* D didapatkan pada sistem

ganda rangka pemikul momen khusus dibatasi dengan ketinggian bangunan 48 meter, sehingga Batasan tinggi bangunan pada penelitian ini yaitu 48 meter atau 12 lantai jika ketinggian antar lantai 4 meter kemudian dimodelkan pada ketinggian yang berbeda seperti ketinggian 32 meter dan 16 meter untuk mewakili tiap tingkat resiko bahaya sebagai perbandingan. Pada Gambar 1b sampai Gambar 1c adalah gambar pemodelan 3d dimensi untuk model HRB, MRB dan LRB.

Beban yang bekerja digunakan seperti beban hidup, beban mati serta beban seismik sesuai dengan SNI 1727-2020 tentang beban desain minimum dan

kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Beban hidup kantor memiliki nilai beban hidup sebesar  $2.4 \text{ kN/m}^2$  (SNI 1727-2020). Tabel 4 merupakan data pembenanan pada penelitian ini.

Dimensi penampang direncanakan dengan desain awal sesuai ketentuan SNI 2847-2019 tentang tata cara persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (BSN, 2019b). Kemudian dilakukan analisis sehingga didapat penampang yang digunakan setelah itu dilakukan analisis push over untuk diketahui tingkat kinerja bangunan tersebut. Pada Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7 merupakan *preliminary design* untuk pemodelan HRB, MRB dan LRB.



Gambar 1. Pemodelan Struktur



**Tabel 3.** Nilai parameter sistem struktur

Sistem pemikul gaya seismik	R	$\Omega_0$	$C_d$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur h (m) untuk kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan dengan dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan dengan dinding geser beton bertulang khusus	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30

Sumber: BSN, 2019a

Keterangan:

TB = tidak dibatasi

R = koefisien modifikasi respons

$\Omega_0$  = faktor kuat lebih sistem

$C_d$  = faktor pembesaran defleksi

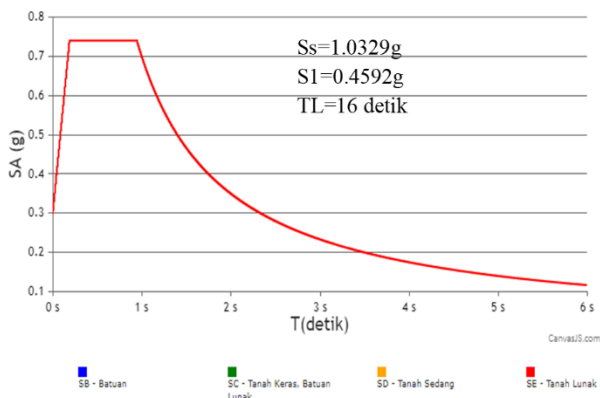
**Tabel 4.** Data Pembebanan

Jenis Beban	Nilai	Keterangan
Beban mati ( <i>dead load</i> )	-	Terinput Otomatis
Beban mati tambahan (SIDL)	1.5 kN/m <sup>2</sup>	
Beban hidup ( <i>live load</i> )	2.4 kN/m <sup>2</sup>	Fungsi Bangunan Perkantoran
Beban atap (Lr)	0.96 kN/m <sup>2</sup>	Fungsi Aap Datar
Beban gempa arah X (Ex)	-	Input Parameter Gempa
Beban gempa arah Y (Ey)	-	Input Parameter Gempa

**Tabel 5.** Preliminary Design Model HRB

Story	Kolom	Balok	Pelat	Dinding Geser	Kolom Dinding Geser
12	50/50	30/60	120 mm	200 mm	80/80
11	50/50	30/60	150 mm	200 mm	80/80
10	50/50	30/60	150 mm	200 mm	80/80
9	60/60	30/60	150 mm	200 mm	80/80
8	60/60	30/60	150 mm	200 mm	80/80
7	60/60	30/60	150 mm	200 mm	80/80
6	70/70	30/60	150 mm	200 mm	80/80
5	70/70	30/60	150 mm	200 mm	80/80
4	70/70	30/60	150 mm	200 mm	90/90
3	80/80	30/60	150 mm	200 mm	90/90
2	80/80	30/60	150 mm	200 mm	90/90
1	80/80	30/60	150 mm	200 mm	90/90

Pada pasal 6.2 SNI 1726-2019 penentuan respons spectral percepatan gempa di permukaan tanah diperlukan faktor untuk amplifikasi beban gempa pada periode 0.2 detik dan 1 detik. Lokasi bangunan berada di Kota Manado dimana pada situs web [rsa.ciptakarya.pu.go.id](http://rsa.ciptakarya.pu.go.id) yang disediakan oleh Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan, Direktorat Jendral Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia didapatkan nilai. Gambar 2 merupakan hasil spektrum respon desain.



**Gambar 2.** Spektrum Respon Desain di Kota Manado dengan Kelas Situs SE

**Tabel 6.** Preliminary Design Model MRB

Story	Kolom	Balok	Pelat	Dinding Geser	Kolom Dinding Geser
8	50/50	30/60	120 mm	200 mm	80/80
7	50/50	30/60	150 mm	200 mm	80/80
6	60/60	30/60	150 mm	200 mm	80/80
5	60/60	30/60	150 mm	200 mm	80/80
4	70/70	30/60	150 mm	200 mm	80/80
3	70/70	30/60	150 mm	200 mm	80/80
2	80/80	30/60	150 mm	200 mm	80/80
1	80/80	30/60	150 mm	200 mm	80/80

**Tabel 7. Preliminary Design Model LRB**

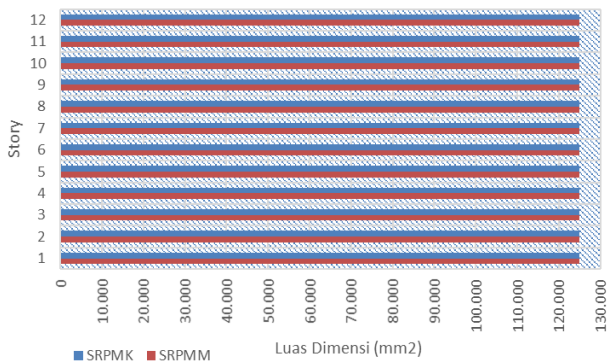
Story	Kolom	Balok	Pelat	Dinding Geser	Kolom Dinding Geser
4	50/50	30/60	120 mm	200 mm	80/80
3	60/60	30/60	150 mm	200 mm	80/80
2	70/70	30/60	150 mm	200 mm	80/80
1	80/80	30/60	150 mm	200 mm	80/80

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Tingkat Efisien Dimensi dan Penulangan Elemen Balok

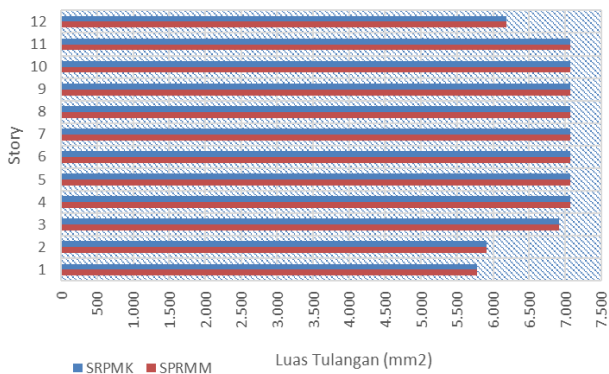
##### 3.1.1 Model HRB

Perbandingan luas dimensi elemen balok (Ag) untuk model HRB dapat dilihat bahwa dimensi balok pada SRPMK dan SRPMM didapatkan hasil yang sama seperti terlihat pada Gambar 3.



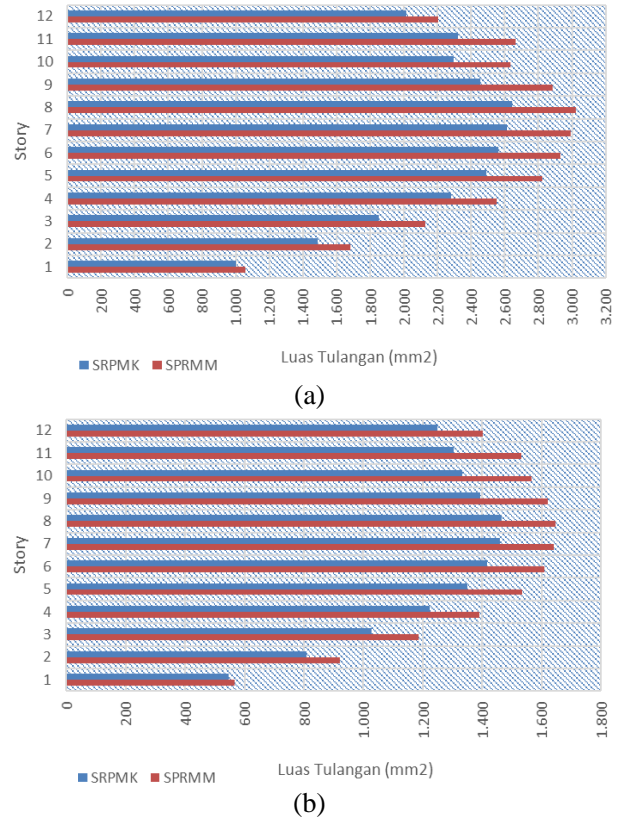
**Gambar 3.** Perbandingan Luas Dimensi (Ag) Balok Model HRB

Perbandingan luas tulangan transversal balok (Av) untuk model HRB dapat dilihat bahwa luas tulangan transversal pada SRPMK dan SRPMM didapatkan hasil yang sama seperti terlihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Perbandingan Luas Tulangan Transversal (Av) Balok Model HRB

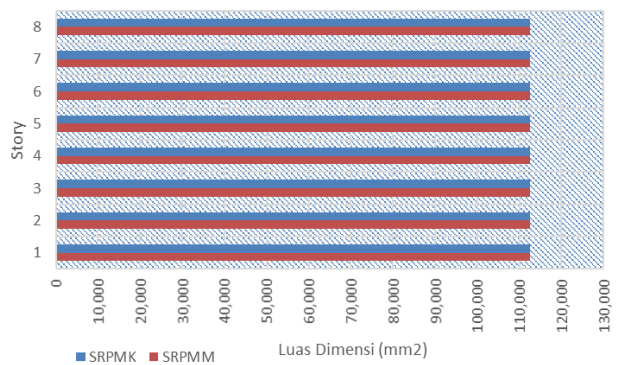
Perbandingan luas tulangan longitudinal balok (As) untuk model HRB dapat dilihat bahwa luas tulangan longitudinal pada SRPMM lebih besar dibandingkan pada SRPMK seperti terlihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Perbandingan Luas Tulangan Longitudinal (As) Balok Model HRB: (a) Tumpuan, (b) Lapangan

##### 3.1.2 Model MRB

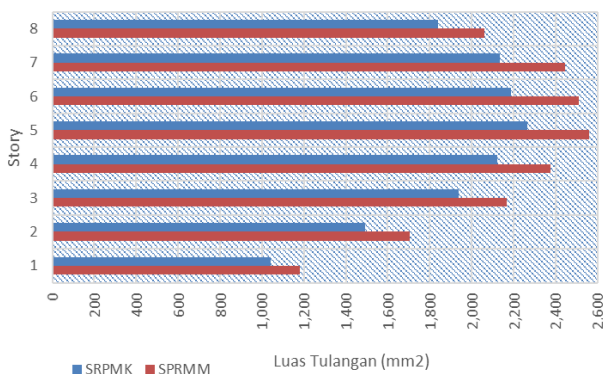
Perbandingan luas dimensi elemen balok (Ag) untuk model MRB dapat dilihat bahwa dimensi balok pada SRPMK dan SRPMM didapatkan hasil yang sama seperti terlihat pada Gambar 6.



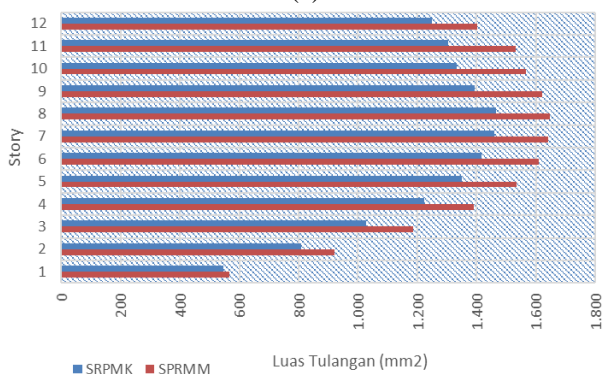
**Gambar 6.** Perbandingan Luas Dimensi (Ag) Balok Model MRB

Perbandingan luas tulangan longitudinal balok (As) untuk model MRB dapat dilihat bahwa luas

tulangan longitudinal pada SRPMM lebih besar dibandingkan pada SRPMK seperti terlihat pada Gambar 7.



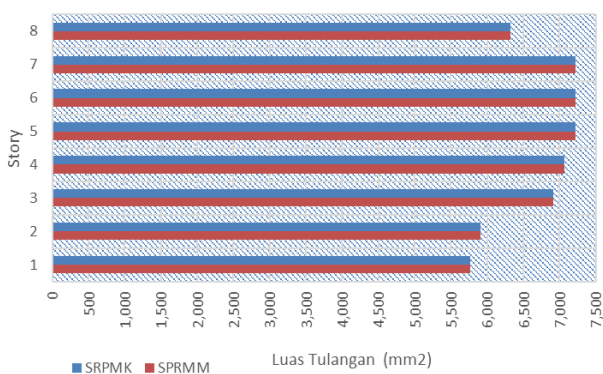
(a)



(b)

**Gambar 7.** Perbandingan Luas Tulangan Longitudinal (As) Balok Model MRB: (a) Tumpuan, (b) Lapangan

Perbandingan luas tulangan transversal balok (Av) untuk model MRB dapat dilihat bahwa luas tulangan transversal pada SRPMK dan SRPMM didapatkan hasil yang sama seperti terlihat pada Gambar 8.

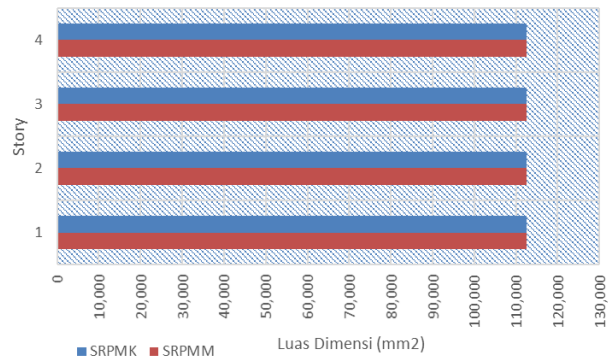


**Gambar 8.** Perbandingan Luas Tulangan Transversal (Av) Balok Model MRB

### 3.1.3 Model LRB

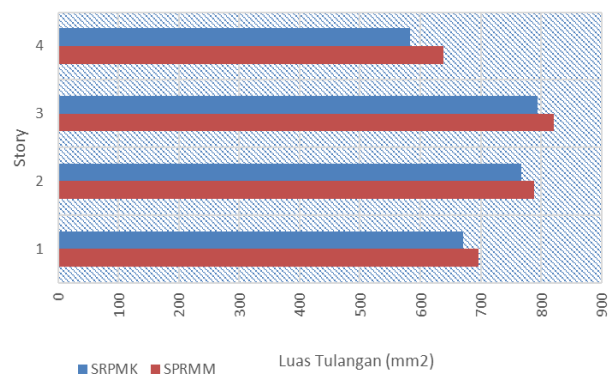
Perbandingan luas dimensi elemen balok (Ag) untuk model LRB dapat dilihat bahwa dimensi balok

pada SRPMK dan SRPMM didapatkan hasil yang sama seperti terlihat pada Gambar 9.

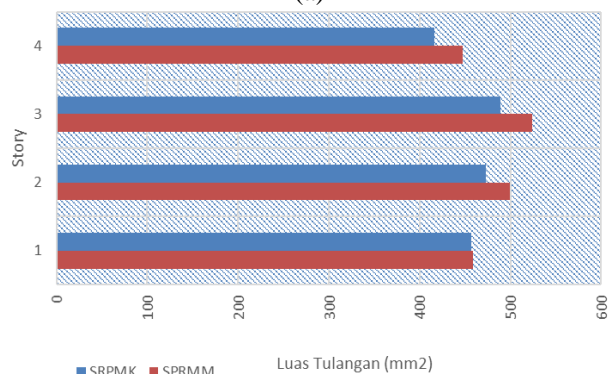


**Gambar 9.** Perbandingan Luas Dimensi (Ag) Balok Model LRB

Perbandingan luas tulangan longitudinal balok (As) untuk model LRB dapat dilihat bahwa luas tulangan longitudinal pada SRPMM lebih besar dibandingkan pada SRPMK seperti terlihat pada Gambar 10.



(a)

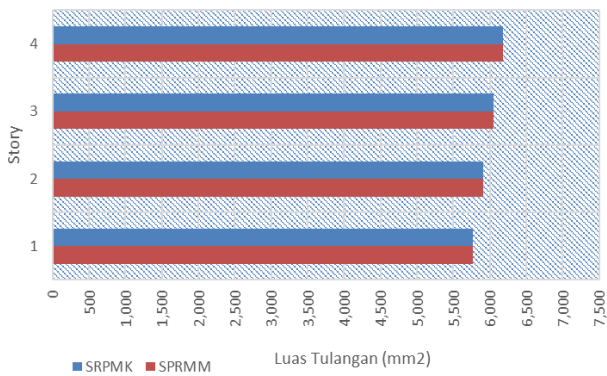


(b)

**Gambar 10.** Perbandingan Luas Tulangan Longitudinal (As) Balok Model LRB: (a) Tumpuan, (b) Lapangan

Perbandingan luas tulangan transversal balok (Av) untuk model LRB dapat dilihat bahwa luas tulangan transversal pada SRPMK dan SRPMM didapatkan hasil yang sama seperti terlihat pada Gambar 11.





**Gambar 11.** Perbandingan Luas Tulangan Transversal (Av) Balok Model LRB

Dari Gambar 12 dapat dilihat bahwa dalam perbandingan tulangan longitudinal balok pada sistem ganda rangka pemikul momen menengah tidak lebih efisien dari pada sistem ganda rangka pemikul momen khusus, dimana pada model *HRB*, *MRB* dan *LRB* tingkat efisiennya masing-masing adalah -13.33%, -12.95% dan -5.00%. Ini juga mengartikan bahwa semakin tinggi bangunan maka tulangan longitudinal balok sistem ganda rangka pemikul momen menengah semakin tidak efisien terhadap sistem ganda rangka pemikul momen khusus. Hasil nilai efisiensi negatif mengartikan bahwa sistem ganda rangka pemikul momen khusus lebih efisien daripada sistem ganda rangka pemikul momen menengah.

Dari Gambar 12 tersebut menjelaskan tidak ada perbedaan antara sistem ganda rangka pemikul momen khusus dan sistem ganda rangka pemikul momen menengah pada perbandingan luas dimensi balok dan luas tulangan transversal.

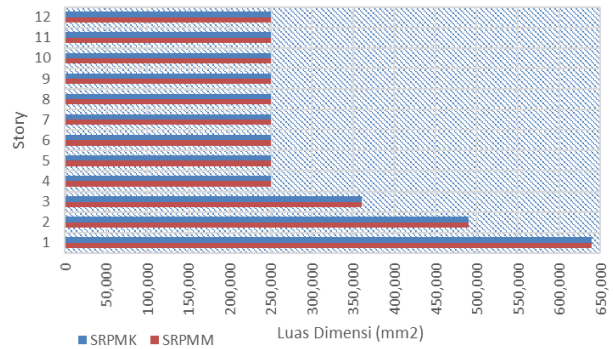


**Gambar 12.** Perbandingan Efisiensi Elemen Balok

### 3.2 Tingkat Efisien Dimensi dan Penulangan Elemen Kolom

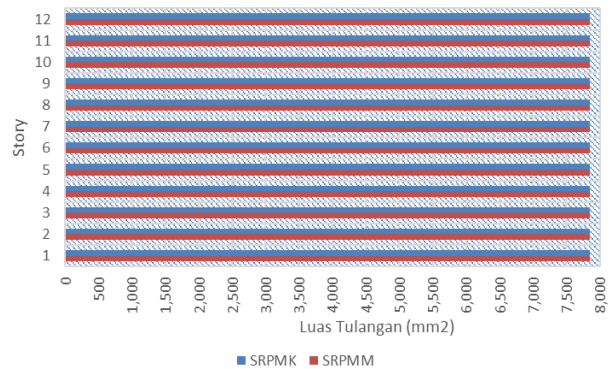
#### 3.2.1 Model HRB

Perbandingan luas dimensi elemen kolom (Ag) untuk model *HRB* dapat dilihat bahwa dimensi kolom pada SRPMK dan SRPMM didapatkan hasil yang sama seperti terlihat pada Gambar 13.



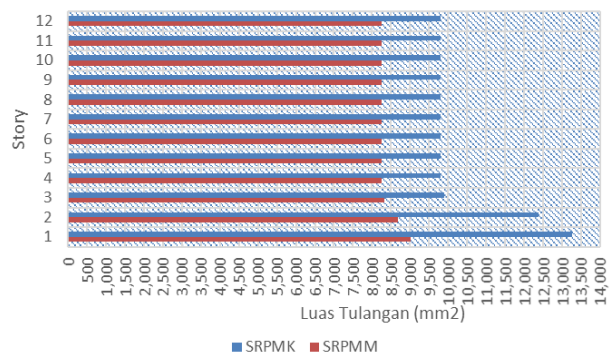
**Gambar 13.** Perbandingan Luas Dimensi (Ag) Kolom Model HRB

Perbandingan luas tulangan longitudinal kolom (As) untuk model *HRB* dapat dilihat bahwa luas tulangan longitudinal pada SRPMK dan SRPMM didapatkan hasil yang sama seperti terlihat pada Gambar 14.



**Gambar 14.** Perbandingan Luas Tulangan Longitudinal (As) Kolom Model HRB

Perbandingan luas tulangan transversal kolom (Av) untuk model *MRB* dapat dilihat bahwa luas tulangan longitudinal pada SRPMM lebih kecil dibandingkan pada SRPMK seperti terlihat pada Gambar 15. Hal ini dikarenakan pada SRPMK disyaratkan kekangan sehingga pada area sendi plastis perlu ditambah tulangan transversal.

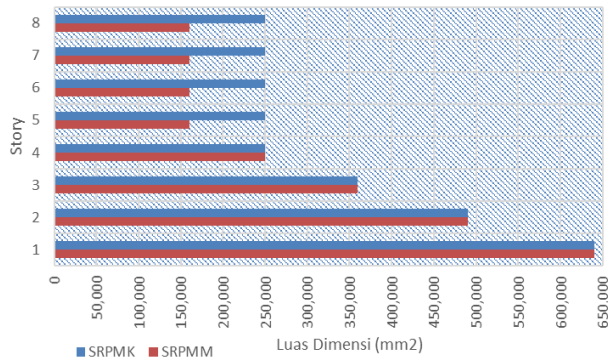


**Gambar 15.** Perbandingan Luas Tulangan Transversal (Av) Kolom Model HRB



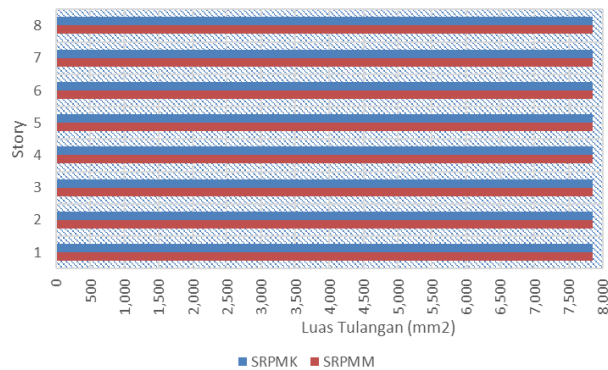
### 3.2.2 Model MRB

Perbandingan luas dimensi elemen kolom ( $A_g$ ) untuk model *MRB* dapat dilihat bahwa dimensi kolom pada story 5 sampai story 8 didapatkan pada SRPMM lebih kecil daripada SRPMK seperti terlihat pada gambar 16. Hal ini dikarenakan pada SRPMK disyaratkan *strong column weak beam*, sehingga dimensi kolom harus diperbesar.



Gambar 16. Perbandingan Luas Dimensi ( $A_g$ ) Kolom Model MRB

Perbandingan luas tulangan longitudinal kolom ( $A_s$ ) untuk model *MRB* dapat dilihat bahwa luas tulangan longitudinal pada SRPMK dan SRPMM didapatkan hasil yang sama seperti terlihat pada Gambar 17.

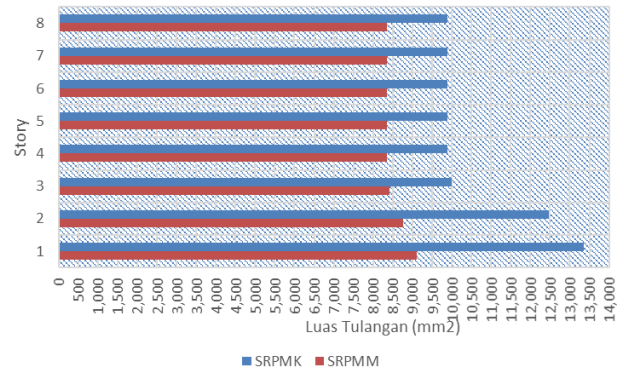


Gambar 16. Perbandingan Luas Tulangan Longitudinal ( $A_s$ ) Kolom Model MRB

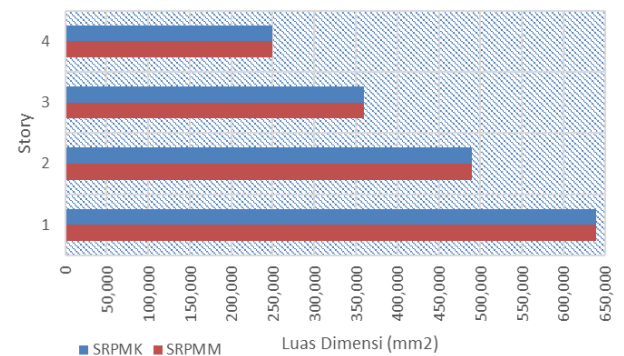
Perbandingan luas tulangan transversal kolom ( $A_v$ ) untuk model *MRB* dapat dilihat bahwa luas tulangan longitudinal pada SRPMM lebih kecil dibandingkan pada SRPMK seperti terlihat pada Gambar 17. Hal ini dikarenakan pada SRPMK disyaratkan kekangan sehingga pada area sendi plastis perlu ditambah tulangan transversal.

### 3.2.3 Model LRB

Perbandingan luas dimensi elemen kolom ( $A_g$ ) untuk model *LRB* dapat dilihat bahwa dimensi kolom pada SRPMM dan SRPMK didapatkan hasil yang sama seperti terlihat pada Gambar 18.

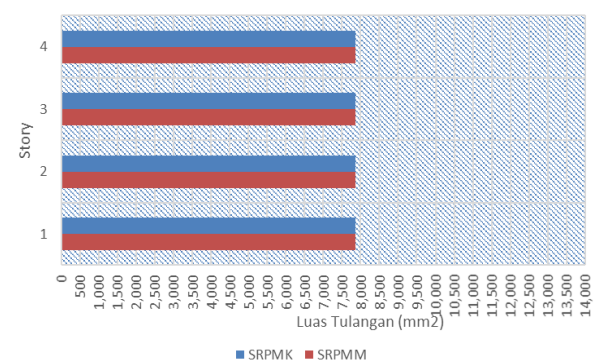


Gambar 17. Perbandingan Luas Tulangan Transversal ( $A_v$ ) Kolom Model MRB



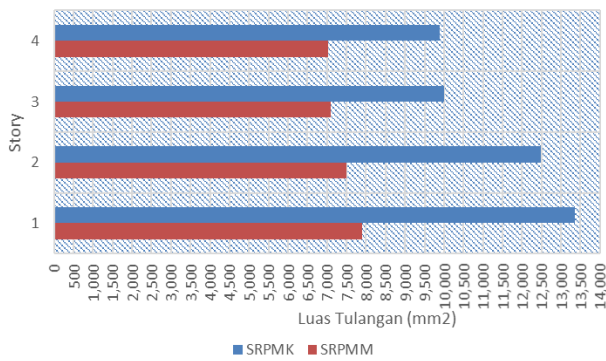
Gambar 18. Perbandingan Luas Dimensi ( $A_g$ ) Kolom Model LRB

Perbandingan luas tulangan longitudinal kolom ( $A_s$ ) untuk model *LRB* dapat dilihat bahwa luas tulangan longitudinal pada SRPMK dan SRPMM didapatkan hasil yang sama seperti terlihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Perbandingan Luas Tulangan Longitudinal ( $A_s$ ) Kolom Model LRB

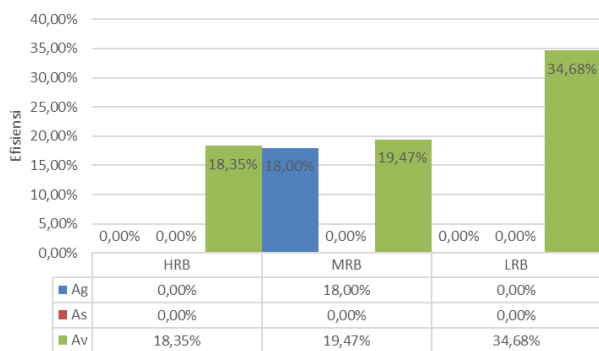
Perbandingan luas tulangan transversal kolom ( $A_v$ ) untuk model *LRB* dapat dilihat bahwa luas tulangan longitudinal pada SRPMM lebih kecil dibandingkan pada SRPMK seperti terlihat pada Gambar 20. Hal ini dikarenakan pada SRPMK disyaratkan kekangan sehingga pada area sendi plastis perlu ditambah tulangan transversal.



**Gambar 20.** Perbandingan Luas Tulangan Transversal (Av) Kolom Model LRB

Dari Gambar 21 dapat dilihat bahwa dalam perbandingan tulangan transversal kolom pada sistem ganda rangka pemikul momen menengah lebih efisien dari pada sistem ganda rangka pemikul momen khusus, dimana pada model HRB, MRB dan LRB tingkat efisiennya masing-masing adalah 18.35%, 19.47% dan 34.68%. Ini juga mengartikan bahwa semakin tinggi bangunan maka tulangan transversal balok tingkat efisiensi menurun.

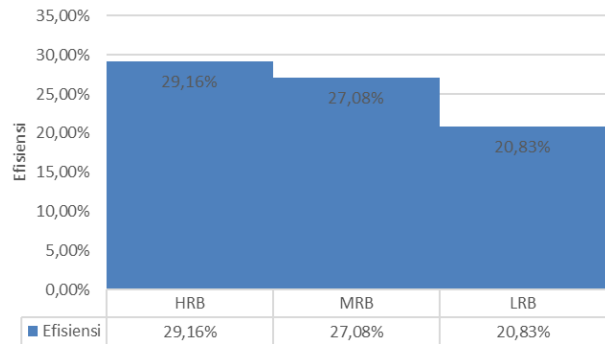
Dari data tersebut menjelaskan tidak ada perbedaan antara SRPMK dan SRPMM pada perbandingan Luas Tulangan Longitudinal. Kemudian pada perbandingan model MRB dimensi kolom SRPMM mengalami efisiensi sebesar 18% dari pada SRPMK dikarenakan persyaratan *strong column weak beam* dimana pada sistem ganda rangka pemikul momen menengah pada Lantai 5 sampai lantai 8 dimensi kolomnya lebih kecil dari pada sistem ganda rangka pemikul momen khusus.



**Gambar 21.** Perbandingan Efisiensi Elemen Kolom

### 3.3 Tingkat Efisien Dimensi dan Penulangan Elemen Join

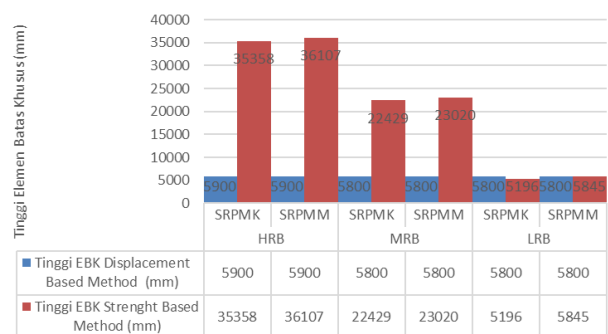
Dari Gambar 22 dapat dilihat bahwa pada SRPMM lebih efisien dari pada SRPMK, dimana pada model HRB, MRB dan LRB tingkat efisiennya masing-masing adalah 29.16%, 27.08% dan 20.83%. Ini juga mengartikan bahwa semakin tinggi bangunan maka tingkat efisiensi pada elemen join menurun.



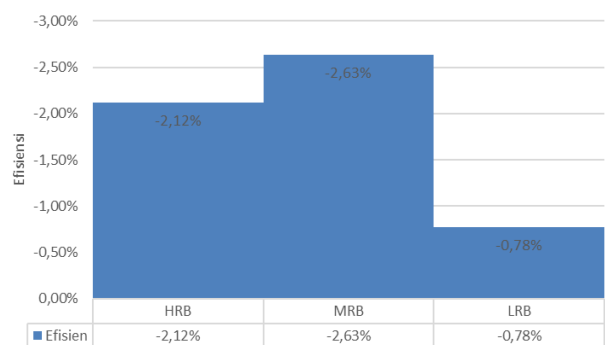
**Gambar 22.** Perbandingan Efisien Elemen Join

### 3.4 Tingkat Efisien Dimensi dan Penulangan Elemen Dinding Geser

Gambar 23 menjelaskan tinggi elemen batas khusus pada masing-masing model. Kemudian dari Gambar 24 dapat dilihat bahwa pada SRPMM tidak lebih efisien dari pada SRPMK, dimana pada model HRB, MRB dan LRB tingkat efisiennya masing-masing adalah -2.12%, -2.63% dan -0.78%. Hasil nilai efisiensi negatif mengartikan bahwa SRPMK lebih efisien daripada SRPMM.



**Gambar 23.** Perbandingan Tinggi Elemen Batas Khusus Dinding Geser



**Gambar 24.** Perbandingan Efisiensi Elemen Dinding Geser

### 3.5 Tingkat Efisien Tebal dan Penulangan Elemen Pelat

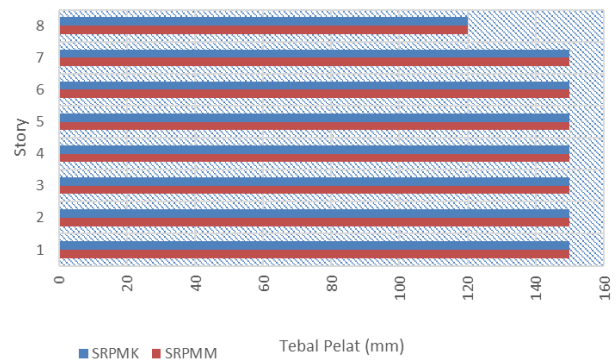
Pada tebal dan penulangan elemen pelat di SRPMM dan SRPMK mendapatkan hasil yang sama dikarenakan gaya dalam yang didapatkan dan metode

perencanaannya sama. Sehingga tingkat efisiensi elemen pelat pada SRPMM tidak lebih efisien dari pada SRPMK. Gambar 25, 26, 27, 28, 29, dan 30 merupakan hasil dari perencanaan pelat pada model HRB, MRB, dan LRB.

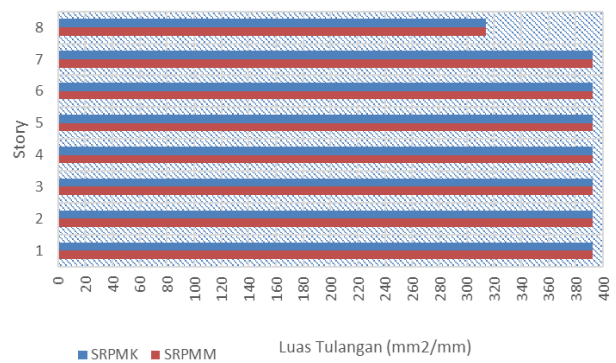
### 3.6 Komparasi Kinerja Sistem Struktur

Pada Tabel 8 dapat dilihat hasil *displacement* pada SRPMK dan SRPMM di masing-masing model *HRB*, *MRB* dan *LRB* pada arah X dan Y. Dari hasil *displacement* tersebut jika dibandingkan dengan tinggi bangunan dipatkan *max total drift* kemudian dilihat pada Table 8 maka bisa disimpulkan bangunan memiliki taraf kinerja *damage control (DC)* yang dimana pada taraf struktur ini bangunan rusak tapi belum mengalami keruntuhan.

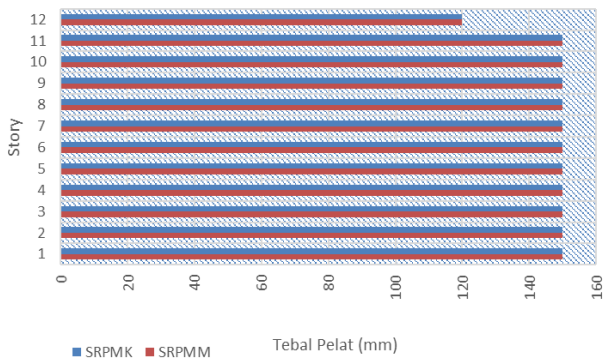
Dari Gambar 31 dapat dilihat pada arah X dan arah Y efisiensi kinerja struktur sistem ganda rangka pemikul momen menengah lebih efisien dari pada sistem ganda rangka pemikul momen khusus, dimana pada arah X model *HRB*, *MRB* dan *LRB* tingkat efisiennya masing-masing adalah 22.85%, 20.95% dan 12.63% dan pada arah Y model *HRB*, *MRB* dan *LRB* tingkat efisiennya masing-masing adalah 25.43%, 21.89% dan 17.97%. Ini mengartikan bahwa semakin tinggi bangunan maka tingkat efisiensi terhadap kinerja struktur menurun.



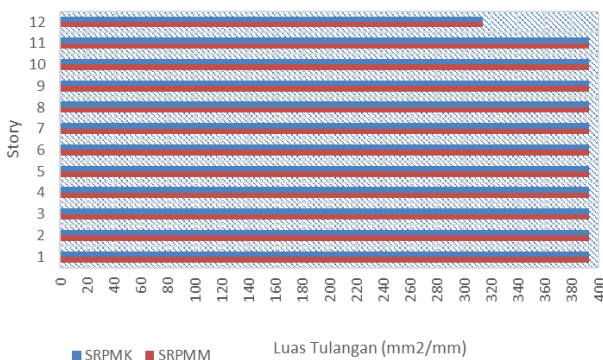
Gambar 27. Perbandingan Tebal Pelat Model MRB



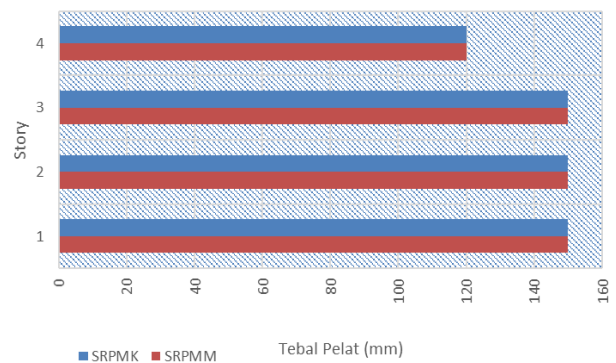
Gambar 28. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Model MRB



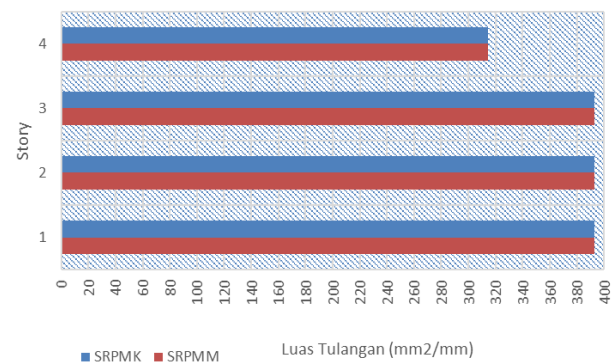
Gambar 25. Perbandingan Tebal Pelat Model HRB



Gambar 26. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Model HRB



Gambar 29. Perbandingan Tebal Pelat Model LRB

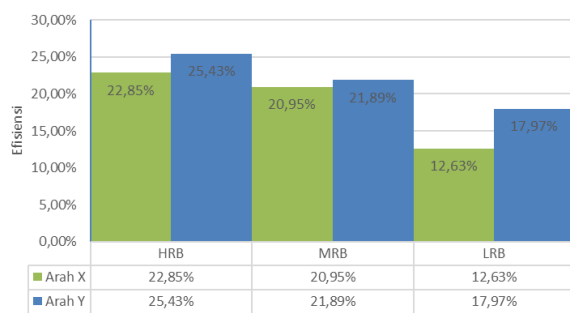


Gambar 30. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Model LRB



**Tabel 8.** Taraf Kinerja Struktur

Model	Arah	Displacement (mm)	Tinggi Bangunan (mm)	Max Total Drift	Taraf Kinerja
SRPMK HRB	X	649.237	48000	0.01353	Damage Control
	Y	649.406	48000	0.01353	Damage Control
SRPMM HRB	X	500.886	48000	0.01044	Damage Control
	Y	484.232	48000	0.01009	Damage Control
SRPMK MRB	X	411.232	32000	0.01285	Damage Control
	Y	411.633	32000	0.01286	Damage Control
SRPMM MRB	X	325.081	32000	0.01016	Damage Control
	Y	321.528	32000	0.01005	Damage Control
SRPMK LRB	X	185.784	16000	0.01161	Damage Control
	Y	195.709	16000	0.01223	Damage Control
SRPMM LRB	X	162.313	16000	0.01014	Damage Control
	Y	160.54	16000	0.01003	Damage Control

**Gambar 31.** Efisiensi terhadap Kinerja Struktur**Tabel 9.** Perbandingan Efisiensi Tiap Elemen dan Kinerja Struktur

Model		HRB (%)	MRB (%)	LRB (%)
Balok	Ag	0.00	0.00	0.00
	As	-13.33	-12.95	-5.00
	Av	0.00	0.00	0.00
Kolom	Ag	0.00	18.00	0.00
	As	0.00	0.00	0.00
	Av	18.35	19.47	34.68
Join		29.16	27.08	20.83
	Dinding Geser	-2.12	-2.63	-0.78
	Pelat	0.00	0.00	0.00
Kinerja	Arah X	22.85	20.95	12.63
	Arah Y	25.43	21.89	17.97

Pada Tabel 9 bisa dilihat bahwa pada elemen balok dan dinding geser SRPMK lebih efisien daripada SRPMM dikarenakan persentasinya kurang dari atau sama dengan 0%. Kemudian pada elemen kolom

dan join serta kinerja struktur SRPMM lebih efisien daripada SRPMK dikarenakan persentasinya lebih dari 0%.

#### 4 KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini adalah Perbandingan dimensi elemen balok, tebal dinding geser dan tebal pelat sistem ganda rangka pemikul momen menengah tidak lebih efisien daripada sistem ganda rangka pemikul momen khusus dikarenakan memiliki luas dimensi yang sama pada model HRB, MRB dan LRB. Kemudian pada perbandingan dimensi elemen kolom sistem ganda rangka pemikul momen menengah lebih efisien daripada sistem ganda rangka pemikul momen khusus dimana pada model MRB tingkat efisiennya adalah 18.00%. Sedangkan pada model HRB dan LRB tingkat efisiennya adalah 0%.

Perbandingan luas tulangan longitudinal elemen balok sistem ganda rangka pemikul momen menengah tidak lebih efisien daripada sistem ganda rangka pemikul momen khusus dengan tingkat efisien masing-masing pada model HRB, MRB dan LRB adalah -13.33%, -12.95%, dan -5.00%. Kemudian perbandingan tulangan transversal elemen balok sistem ganda rangka pemikul momen menengah tidak lebih efisien daripada sistem ganda rangka pemikul momen khusus dikarenakan memiliki luas tulangan yang sama pada model HRB, MRB dan LRB. Kemudian pada perbandingan luas tulangan transversal elemen kolom sistem ganda rangka pemikul momen menengah lebih efisien daripada sistem ganda rangka pemikul momen khusus dengan tingkat efisien masing-masing pada model HRB, MRB dan LRB adalah 18.35%, 19.47%, dan 34.68%. Kemudian perbandingan tulangan longitudinal elemen kolom sistem ganda rangka pemikul momen menengah tidak lebih efisien daripada

sistem ganda rangka pemikul momen khusus dikarenakan memiliki luas tulangan yang sama pada model HRB, MRB dan LRB. Pada perbandingan luas tulangan elemen join sistem ganda rangka pemikul momen menengah lebih efisien daripada sistem ganda rangka pemikul momen khusus dengan tingkat efisien masing-masing pada model HRB, MRB dan LRB adalah 29.16%, 27.08% dan 20.83% serta Perbandingan tulangan elemen dinding geser sistem ganda rangka pemikul momen menengah tidak lebih efisien daripada sistem ganda rangka pemikul momen khusus dikarenakan memiliki luas tulangan yang sama pada model HRB, MRB dan LRB.

Perbandingan kinerja struktur pada sistem ganda rangka pemikul momen menengah lebih efisien daripada sistem ganda rangka pemikul momen khusus dengan tingkat efisien masing-masing pada model HRB, MRB dan LRB adalah 22.85%, 20.95%, dan 12.63% pada arah X, sedangkan pada arah Y adalah 25.43%, 21.89%, dan 17.97%.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah pada perencanaan bangunan sistem ganda rangka pemikul momen diharuskan rangka pemikul momen memikul beban seismik minimal 75% maka pada *low rise building* dan *middle rise building* didapatkan dimensi kolom minimum yang relatif besar jika dibandingkan dengan perencanaan bangunan sistem rangka pemikul momen saja. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian tentang perbandingan sistem struktur sistem ganda rangka pemikul momen khusus dengan sistem struktur rangka pemikul momen khusus untuk *low rise building* dan *middle rise building*. Kemudian melakukan analisis kinerja bangunan sistem ganda rangka pemikul momen dengan menggunakan material selain beton bertulang, seperti rangka baja atau beton komposit serta melakukan analisis kinerja bangunan yang memiliki ketidakteraturan horizontal dan vertikal pada struktur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Almufid, & Santoso, E. (2021). Struktur SRPMK dan SRPMM pada Bangunan Tinggi (Structure of SRMK and SRMM on High Building). *Jurnal Teknik*, 10(1), 24–34. <https://doi.org/10.31000/jt.v10i1.4025>
- BSN. (2019a). *SNI 1726-2019 tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- BSN. (2019b). *SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan Sebagai Revisi Dari Standar Nasional Indonesia 2847: 2013*. Badan Standardisasi Nasional.
- BSN. (2020). *SNI 1727-2020 tentang Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain sebagai revisi dari Standar Nasional Indonesia 1727: 2013 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*. Badan Standardisasi Nasional.
- Ecclesia, V., Marthin, S., Sumajouw, D. J., & Dapas, S. O. (2019). Perencanaan Bangunan Bertingkat Banyak Menggunakan Sistem Flat Slab dengan Drop Panel. *Jurnal Sipil Statik*, 7(12), 1703–1710.
- Fauziah, L., Sumajouw, M. D. J., Dapas, S. O., & Windah, R. S. (2013). Pengaruh Penempatan dan Posisi Dinding Geser terhadap Simpangan Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa. *Jurnal Sipil Statik*, 1(7), 466–472.
- Fitrah, R. A., & Melinda, A. P. (2018). Studi Komparasi Detailing Desain Komponen Lentur Beton Bertulang SRPMK dan SRPMM. *Rang Teknik Journal*, 1(2), 250–259.
- Hirel, P., Servie, K., Dapas, O., & Pandaleke, R. (2018). Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. *Jurnal Sipil Statik*, 6(6), 361–372.
- Jaglien, F., Servie, L., Dapas, O., & Wallah, S. E. (2020). Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Kuliah 5 Lantai. *Jurnal Sipil Statik*, 8(4), 471–482.
- Januar, R., Banu, H., Handono, D., & Pandaleke, R. (2019). Perencanaan Bangunan Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 7(2), 201–208.
- Laily, R., Sumajouw, M. D. J., & Wallah, S. E. (2019). Perencanaan Gedung Training Center Konstruksi Beton Bertulang 4 Lantai di Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 7(8), 1095–1106.
- Octavianus, B., Steenie, M., Wallah, E., & Dapas, S. O. (2015). Studi Perbandingan Respons Dinamik Bangunan Bertingkat Banyak Dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser. *Jurnal Sipil Statik*, 3(6), 435–446.
- Palit, C. M., Pangouw, J. D., & Pandaleke, R. E. (2016). Perencanaan Struktur Gedung Hotel Jalan Martadinata Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 4(4), 263–270.
- Pemerintah Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung*. Pemerintah Republik Indonesia.
- Potalangi, J. G., Manalip, H., & Wallah, S. E. (2020). Analisis Keruntuhan Gedung Bertingkat Akibat Beban Gempa dan Beban Angin Dengan Metode Pushover. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 10(1), 1–12.
- Pratama, R. S., Banu, J. M., Handono, D., & Sumajouw, M. D. J. (2020). Perencanaan Konstruksi Beton Bertulang untuk Gedung Parkir. *Jurnal Sipil Statik*, 8(3), 383–394.
- Prins, M. I., Dapas, S. O., & Wallah, S. E. (2017). Studi Komparasi Disain Struktur Bangunan Bertingkat Akibat Gempa pada 5 Kota di Indonesia. *Jurnal Sipil Statik*, 5(7), 411–423.
- Ravi, M., Banu, S., Handono, D., & Mondoringin, M. R. I. A. J. (2020). Evaluasi Kinerja Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi Akibat Beban Gempa. *Jurnal Sipil Statik*, 8(5), 679–686.
- Rizki, F., & Rohman, F. (2018). Jurnal Konstruksi Analisis Struktur Ruang Rawat Inap Kelas III Prabu Siliwangi RSUD Gunung Jati Kota Cirebon. *Jurnal Konstruksi Dan Infrastruktur (JKI)*, 7(2), 119–132.
- Yehezkiel, H., Steenie, M., Wallah, E., & Windah, R. S. (2014). Analisis Pushover pada Bangunan dengan Soft First Story. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4), 214–224.