



Optimasi Sistem Penahan Gempa Rumah Susun 4 Lantai

Vincentius Juan^{#a}, Banu D. Handono^{#b}, Ronny E. Pandaleke^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^avjuantumbol@gmail.com, ^bbanu2h@unsrat.ac.id, ^cronny.pandaleke@unsrat.ac.id

Abstrak

Penahan gempa pada struktur bangunan merupakan aspek krusial dalam rekayasa struktural guna meminimalkan dampak kerusakan akibat gempa bumi. Skripsi ini bertujuan untuk mengoptimalkan sistem penahan gempa pada struktur bangunan dengan melakukan perencanaan struktur kembali untuk mendapat hasil yang lebih efisien. Pada penelitian ini, dilakukan analisis terhadap kekuatan bangunan dalam menahan gempa dengan mempertimbangkan efisiensi dari penggunaan material sehingga tidak terjadi pemborosan. Metode optimasi yang digunakan mencakup pendekatan pemodelan struktural menggunakan *software*. Selain itu, skripsi ini melibatkan penerapan algoritma optimasi untuk menentukan konfigurasi optimal dari sistem penahan gempa, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kekakuan, kekuatan material, dan efisiensi biaya. Hasil eksperimen dan analisis numerik menunjukkan bahwa penerapan metode optimasi ini dapat menghasilkan konfigurasi sistem penahan gempa yang lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan pendekatan konvensional. Selain itu, penelitian ini juga memberikan wawasan yang lebih mendalam terkait kinerja struktural dan faktor-faktor krusial yang mempengaruhi optimasi sistem penahan gempa. Temuan dari skripsi ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan metode rekayasa struktural untuk meningkatkan ketahanan gempa bangunan. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan bagi perbaikan desain struktural dan kebijakan konstruksi yang lebih aman dan tangguh terhadap potensi gempa bumi di masa depan.

Kata kunci: penahan gempa, optimasi, perencanaan struktur, efisiensi, software

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Gempa bumi merupakan bencana alam yang dapat menimbulkan kerusakan serius pada struktur bangunan. Di berbagai wilayah dunia, gempa bumi menjadi isu penting yang memerlukan perhatian khusus dalam perencanaan dan konstruksi bangunan. Indonesia, sebagai salah satu negara yang terletak di Zona Gempa Pasifik, secara konsisten menghadapi potensi risiko gempa yang tinggi. Ketahanan bangunan terhadap gempa merupakan unsur penting yang harus ada dalam perencanaan konstruksi gedung bertingkat, khususnya untuk gedung pada daerah yang rawan terjadi gempa seperti kota Manado. Dalam melakukan perencanaan gedung bertingkat tahan gempa harus menggunakan beberapa komponen sistem penahan gempa seperti sistem rangka pemikul momen, dinding struktural ataupun gabungan keduanya.

Adapun gedung bertingkat 4 lantai yang difungsikan sebagai rumah susun di kota Manado konstruksinya menggunakan metode beton pra cetak serta sistem penahan gempanya, yaitu gabungan sistem rangka pemikul momen dan dinding struktural. Perencanaan ini dinilai kurang efisien karena menyebabkan terjadinya pemborosan material sehingga diperlukan optimasi terhadap sistem penahan gempa. Optimasi ini bertujuan untuk mencari kondisi paling efisien dari sistem penahan gempa dengan mempertimbangkan berbagai variabel seperti dimensi struktur serta kebutuhan tulangan. Dengan melakukan optimasi, diharapkan dapat ditemukan solusi desain yang tidak hanya kuat menahan gempa tetapi juga meminimalkan kebutuhan konstruksi.

Optimasi sistem penahan gempa menjadi semakin penting seiring dengan perkembangan teknologi dan pengetahuan. Penerapan metode optimasi dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mencapai desain struktural yang efisien dan berkelanjutan. Dengan memahami pentingnya optimasi sistem penahan gempa, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru yang signifikan dalam pengembangan teknologi rekayasa struktural yang lebih tangguh dan efisien.

Oleh karena itu, penulis akan mendesain serta melakukan perhitungan terhadap elemen struktur dari Rumah Susun 4 lantai menggunakan metode beton konvensional dan dengan perhitungan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) guna mendapatkan optimasi yang sesuai untuk dimensi struktur (Kolom, Balok, Pelat) yang optimal serta efisien untuk mencegah terjadinya pemborosan dalam suatu proyek konstruksi bangunan rumah susun.

1.2. Rumusan Masalah

Maka didapati rumusan masalah yaitu, Manakah sistem penahan gempa yang menghasilkan dimensi struktur yang paling optimal dan efisien untuk bangunan rumah susun 4 lantai pada KDS D.

1.3. Batasan Masalah

1. Struktur yang akan dioptimasi adalah struktur beton bertulang Rumah Susun 4 lantai.
2. Aspek yang ditinjau merupakan perencanaan optimasi sistem penahan gempa yaitu struktur atas berupa balok, kolom, pelat.(untuk mencapai dimensi yang efisien)
3. Daya dukung tanah dan pondasi diasumsikan mampu memikul bangunan di atasnya
4. Struktur baja pada atap dalam perencanaan ini hanya diasumsikan sebagai beban.
5. Analisa dan perencanaan struktur berdasarkan aturan yang berlaku
6. Pengoptimalan hanya pada elemen struktur dan tidak mencakup biaya, dan waktu konstruksi.
7. Analisa menggunakan *Software*

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan sistem penahan gempa yang menghasilkan dimensi struktur paling optimal serta efisien untuk bangunan rumah susun 4 lantai pada KDS D.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Mendapatkan sistem penahan gempa yang menghasilkan struktur bangunan beton bertulang rumah susun 4 lantai pada KDS D dengan dimensi yang optimal dan efisien
2. Dapat dijadikan referensi dalam perencanaan bangunan sejenis

2. Metode Penelitian

2.1. Pedoman Perencanaan

Adapun pedoman dalam perencanaan ini diambil dari beberapa sumber:

1. SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya
2. SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
3. SNI 1727-2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain

2.2. Data Perencanaan

A. Lokasi Perencanaan

Bangunan dibangun di Kelurahan Karame, Kecamatan Singkil, Kota Manado, Sulawesi Utara

B. Data Bangunan

Nama Bangunan	: Rumah Susun Penghargaan Kota Manado
Fungsi Bangunan	: Rumah Tinggal
Jumlah Lantai	: 4 Lantai
Tinggi Lantai 1	: 3600,00 mm
Tinggi Lantai 2-4	: 3400,00 mm
Tinggi Lantai Dak	: 1800,00 mm
Panjang Bentang	: Arah Membujur (17500,00 mm) Arah Melintang (61250,00 mm)
Tinggi Bangunan	: 1560,00 mm
Struktur Bangunan	: Bangunan Beton Bertulang Metode Konvensional

C. Data Material

1. Mutu Beton ($f'c$)	: 30 MPa
Berat Jenis Beton	: 24 kN/m ³
Modulus Elastisitas Beton	: $4700 \sqrt{f'c}$
2. Spesifikasi material baja	
Mutu Baja Tulangan Utama (f_y)	: 420 MPa
Mutu Baja Tulangan Transversal (f_y)	: 420 MPa
Modulus Elastisitas Baja	: 200000 MPa

D. Data Beban

Beban yang digunakan dalam perencanaan ini adalah:

1. Beban Mati

Beban mati elemen struktur serta beban mati tambahan yang digunakan adalah:

 - a. Berat sendiri struktur (*Dead Load*)
Berat sendiri elemen struktur ditentukan oleh *Software* berdasarkan elemen struktur yang direncanakan
 - b. Beban mati tambahan (*Superimposed Dead Load*)
Beban mati yang ditambahkan seperti keramik, plafon, pekerjaan plumbing, instalasi listrik, dinding dan lain-lain.
2. Beban Hidup

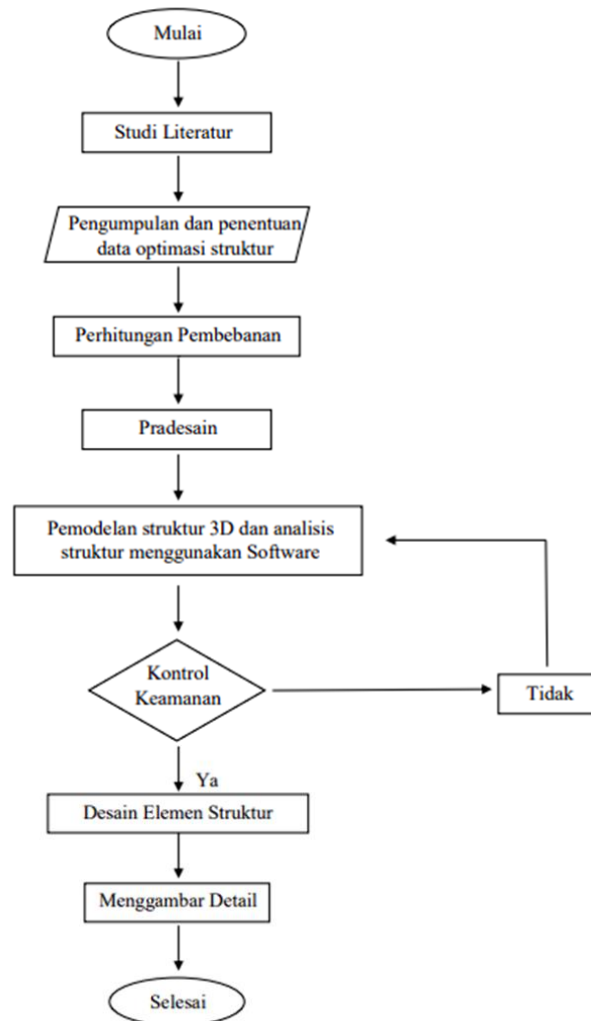
Beban hidup ditinjau dari fungsi bangunan serta diambil sebesar luasan per (m²) yang berdasarkan pada *SNI 1727:2020*.
3. Beban Gempa

Beban gempa didasarkan pada *SNI 1726:2019* tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.
Lokasi Gempa : Manado
Analisis Gempa : Analisis Dinamik, dengan analisis ragam spektrum respon (*Respons spectrum modal analysis*)
4. Kombinasi Beban

Struktur hasil perencanaan harus mampu untuk memikul beban terkomposisi atau beban terfaktor berdasarkan pada tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (*SNI 1726:2019*) dan Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (*SNI 1727:2020*).

E. Bagan Alir Perencanaan

Kegiatan penelitian mengikuti alur pada Gambar 1.

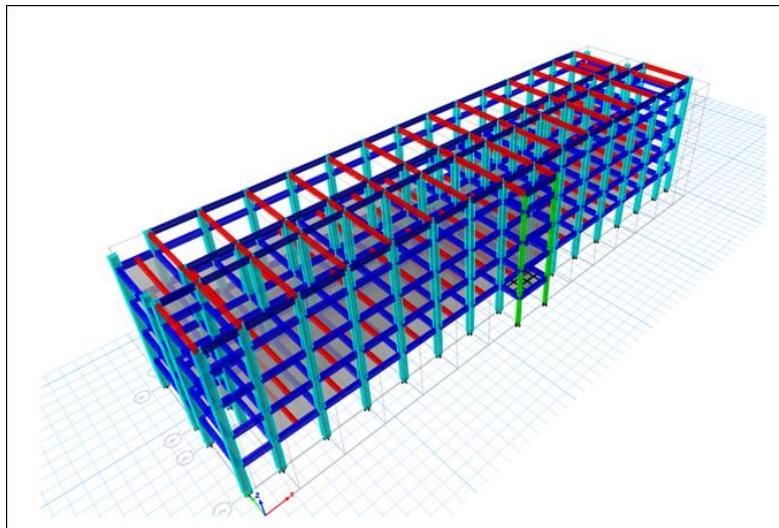


Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pemodelan Struktur 3D

Struktur bangunan dimodelkan dalam *Software* berdasarkan data bangunan dan material yang ada.



Gambar 1. Geometri Struktur

3.2. Pembebanan

- A. *Beban Mati*
- | | |
|---------------------|---------------------------|
| Beton bertulang | = 24,00 kN/m ³ |
| Beban Mati Tambahan | = 1,87 kN/m ² |
| Beban Tambahan Atap | = 1,97 kN/m ² |
- B. *Beban Hidup*
- | | |
|-------------|--------------------------|
| Kamar | = 1,92 kN/m ² |
| Koridor | = 4,79 kN/m ² |
| Ruang Panel | = 4,79 kN/m ² |
| Balkon | = 4,79 kN/m ² |
| Water Toren | = 0,96 kN/m ² |
- C. *Beban Gempa*

Beban gempa dianalisis menggunakan dinamik ragam respon spektrum dengan parameter perhitungan berdasarkan *SNI 1726:2019* yang telah dimasukkan kedalam *Software*

D. *Kombinasi Beban*

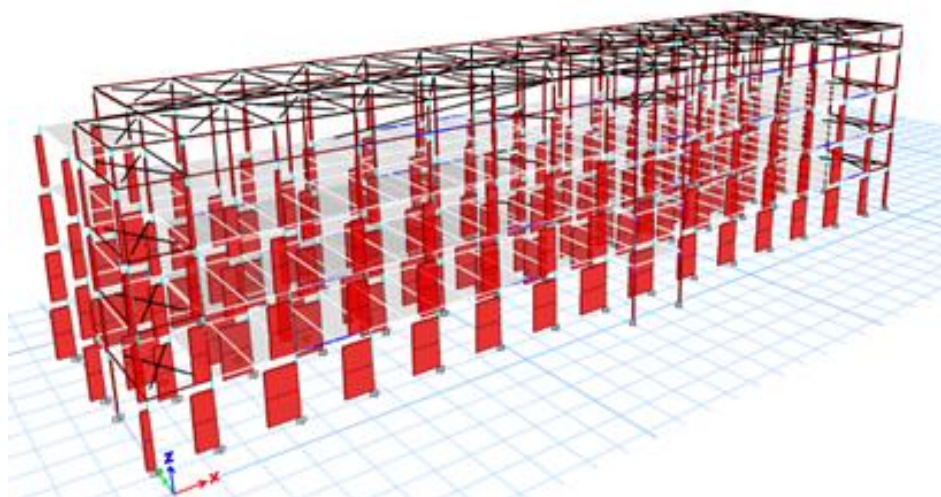
Kombinasi beban telah disesuaikan dengan pedoman perencanaan yang berlaku yang sudah dimasukkan kedalam *Software* dan dianalisa.

3.3. Pradesain Elemen Struktur

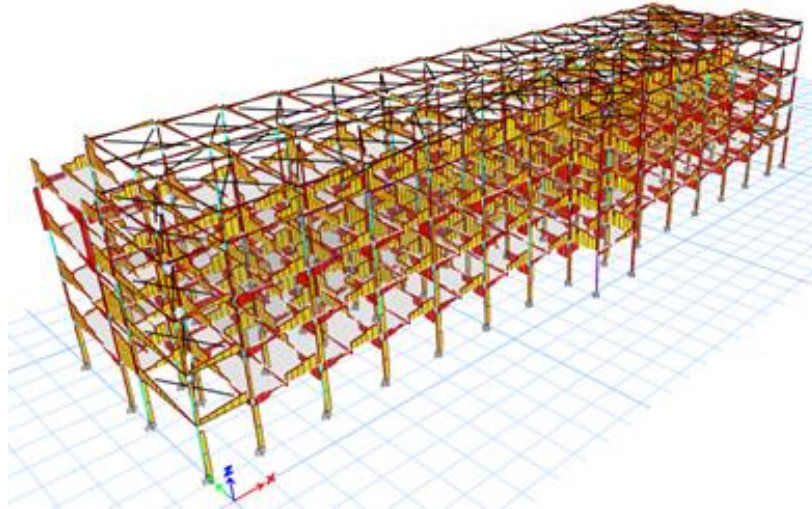
- A. *Dimensi awal balok*
- Balok Utama (BU) = 250 mm x 500 mm
 - Balok Anak (BA) = 250 mm x 350 mm
- B. *Dimensi awal kolom*
- Kolom K1 = 450 mm x 400 mm
 - Kolom K2 = 300 mm x 300 mm
- C. *Dimensi awal pelat*
- Tebal Pelat = 120 mm (Lantai 1 sampai Lantai 4)

3.4. Hasil Analisis

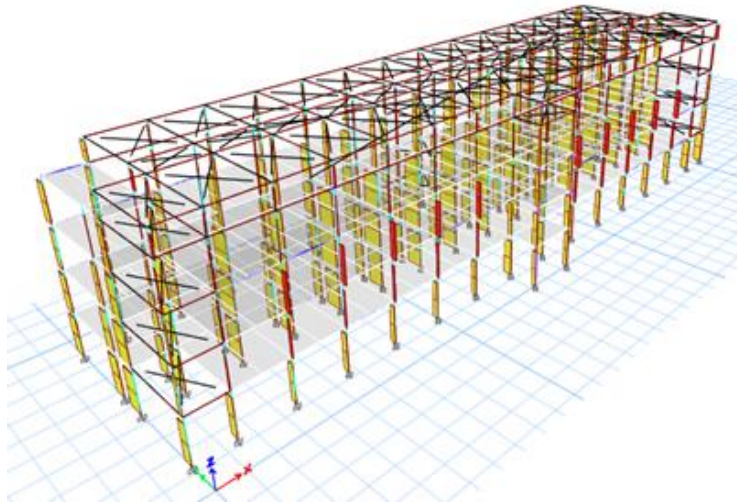
Hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 3 sd. Gambar 7.



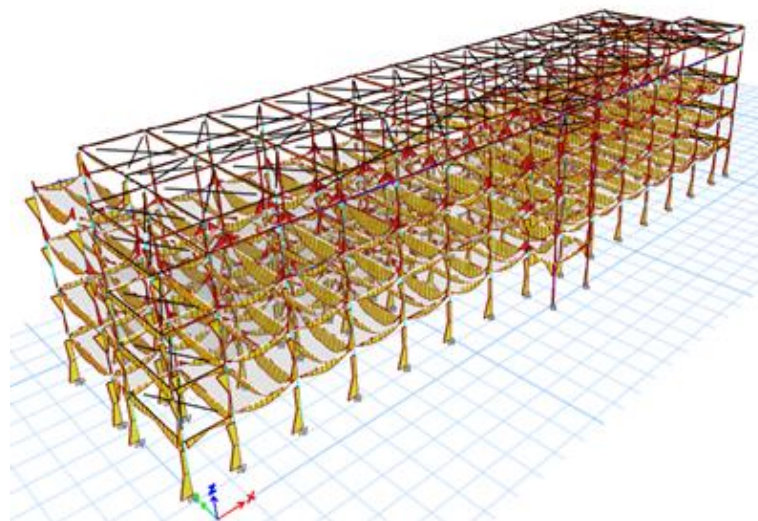
Gambar 2. Bidang Gaya Dalam Akibat Beban Aksial Maksimum



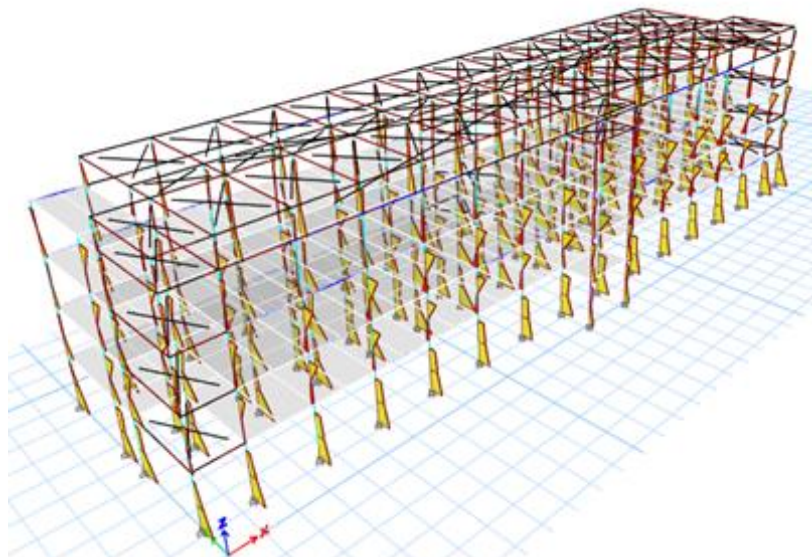
Gambar 4. Bidang Gaya Dalam Akibat Gaya Geser MaksimumArah X



Gambar 5. Bidang Gaya Dalam Akibat Gaya Geser MaksimumArah Y



Gambar 6. Bidang Gaya Dalam Akibat Gaya Momen MaksimumArah X



Gambar 7. Bidang Gaya Dalam Akibat Gaya Momen MaksimumArah Y

3.5. *Perencanaan Tulangan*

A. *Perencanaan Tulangan Balok*

Perencanaan tulangan balok meliputi tulangan lentur, tulangan transversal dan tulangan torsi.

Tabel 1. Rekapitulasi Penulangan Balok (Hasil Analisis, 2024)

Lantai / Atap	Nama Balok	Tulangan Lentur				Tulangan Geser	
		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan
		Tarik	Tekan	Tarik	Tekan		
Lt. Atap	BA 35/25	2S13	2S13	2S13	2S13	2P10-70	2P10-145
	C1 50/25	4S13	2S13	2S13	3S13	2P10-75	2P10-200
	C2 50/25	5S13	3S13	2S13	3S13	2P10-75	2P10-200
	C3 50/25	3S13	3S13	3S13	3S13	2P10-75	2P10-200
Lt. Dak	C4 50/25	3S13	3S13	3S13	3S13	2P10-75	2P10-75
	C5 50/25	3S13	3S13	3S13	3S13	2P10-75	2P10-75
	C6 50/25	3S13	3S13	3S13	3S13	2P10-75	2P10-200
	BALD 35/25	2S13	2S13	2S13	3S13	2P10-70	2P10-145
Lt.2 - Lt. 4	C1 50/25	4S16	2S16	2S16	2S16	2P10-95	2P10-200
	C2 50/25	5S16	3S16	2S16	3S16	2P10-95	2P10-200
	C3 50/25	5S16	3S16	2S16	3S16	2P10-95	2P10-225
	C4 50/25	5S16	3S16	2S16	4S16	2P10-95	2P10-225
	C5 50/25	4S16	2S16	2S16	2S16	2P10-95	2P10-225
	C6 50/25	4S16	2S16	2S16	2S16	2P10-95	2P10-225
	C7 50/25	4S16	2S16	2S16	2S16	2P10-95	2P10-225
	C8 50/25	3S16	2S16	2S16	2S16	2P10-95	2P10-225
BA 35/25	3S13	2S13	2S13	2S13	2P10-75	2P10-150	

B. Perencanaan Tulangan Kolom

1. K1 (450 mm x 400 mm)
 - Kolom Sudut dan Kolom Tepi
 - Tulangan Longitudinal = 12-S16
 - Tulangan Geser
 - Daerah sendi plastis (Io) = 550 mm
 - Tumpuan (daerah sendi plastis) = 3P10-65
 - Lapangan (diluar sendi plastis) = 3P10-95
 - Kolom Tengah Lantai 1
 - Tulangan Longitudinal = 14-S16
 - Tulangan Geser
 - Daerah sendi plastis (Io) = 550 mm
 - Tumpuan (daerah sendi plastis) = 3P10-65
 - Lapangan (diluar sendi plastis) = 3P10-95
 - Kolom Tengah Lantai 2 – Lantai 4
 - Tulangan Longitudinal = 12-S16
 - Tulangan Geser
 - Daerah sendi plastis (Io) = 550 mm
 - Tumpuan (daerah sendi plastis) = 3P10-65
 - Lapangan (diluar sendi plastis) = 3P10-95
2. K2 (300 mm x 300 mm)
 - Tulangan Longitudinal = 4-S16
 - Tulangan Geser
 - Daerah sendi plastis (Io) = 550 mm
 - Tumpuan (daerah sendi plastis) = 2P10-100
 - Lapangan (diluar sendi plastis) = 2P10-125

C. Perencanaan Tulangan Pelat

- Tebal Pelat = 120 mm
- Tulangan Tumpuan = S10-200
- Susut = S10-200

3.6. Perbandingan Kebutuhan Beton dan Tulangan dari Struktur SRPMK dan Struktur Sistem Ganda

A. Perbandingan Volume Balok

Tabel 2. Perbandingan Volume Beton dan Tulangan Balok

Balok		Volume Tulangan (kg)				Volume Beton (m ³)
		S16	S13	S10	P10	
Balok SRPMK	Story 1	5128,654167	908,0729167	602,6066667	3596,658784	76330,625
	Story 2	5128,654167	908,0729167	602,6066667	3596,658784	76330,625
	Story 3	5128,654167	908,0729167	602,6066667	3596,658784	76330,625
	Lt. Dak	-	1608,125	239,39	1568,359939	25820
	Lt. Atap	-	1931,875	-	1786,713292	40569,375
Total		15385,9625	6264,21875	2047,21	14145,04958	295381,25
		37842,44083				
Balok S. Ganda	Story 1	8186,783333	-	746,9066667	4185,58919	68756,25
	Story 2	8186,783333	-	746,9066667	4185,58919	68756,25
	Story 3	8186,783333	-	746,9066667	4185,58919	69276,25
	Lt. Dak	2359,641667	-	3609,781667	1390,424028	54993,75
	Lt. Atap	2936,45	-	571,835	2334,992917	39670
Total		29856,44167	0	6422,336667	16282,18451	301452,5
		52560,96285				

B. Perbandingan Volume Kolom

Tabel 3. Perbandingan Volume Beton dan Tulangan Kolom

Kolom SRPMK	Volume Tulangan (kg)		Volume Beton (m ³)
	Tul. Longitudinal (S16)	Tul. Transversal (P10)	
Story 1	5084,4	2434,524262	42120
Story 2	4478,933333	2317,14001	39780
Story 3	4478,933333	2317,14001	39780
Lantai Dak	4478,933333	2317,14001	39780
Lantai Atap	2302,8	1335,894977	20412
TOTAL	20824	10721,83927	181872
Kolom S.Ganda	Volume Tulangan (kg)		Volume Beton (m ³)
	Tul. Longitudinal (S16)	Tul. Transversal (P13)	
Story 1	5198,4	3352,848	46728
Story 2	4909,6	3166,578667	44132
Story 3	4909,6	3166,578667	44132
Lantai Dak	4220,533333	2123,912	33252
Lantai Atap	2234,4	1124,424	17604
TOTAL	21472,53333	12934,34133	185848

C. Perbandingan Volume Pelat

Tabel 4. Perbandingan Volume Beton dan Tulangan Pelat

Pelat SRPMK	Volume Tulangan (kg)	Volume Beton (m ³)
Story 1	5297,783333	103,092
Story 2	5297,783333	103,092
Story 3	5297,783333	103,092
Lt. Dak	201,65	6,192
Lt. Atap	-	-
Total	16095	315,468
Pelat S. Ganda	Volume Tulangan (kg)	Volume Beton (m ³)
Story 1	21054,85	111,683
Story 2	21054,85	111,683
Story 3	21054,85	111,683
Lt. Dak	2150	6,498
Lt. Atap	-	-
Total	65314,55	341,547

D. Perbandingan Volume Dinding Geser

Elemen Struktur Dinding Geser SRPMK adalah 0 m³ dikarenakan dalam struktur SRPMK tidak menggunakan dinding geser sedangkan Elemen Struktur Dinding Geser pada Sistem Ganda memperoleh:

Volume beton = 44160 m³

Volume Tulangan = 12876,32 kg

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan struktur bangunan, menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK), diperoleh kesimpulan:

1. Komponen struktur (balok, kolom, pelat) direncanakan sesuai peraturan (SNI) yang berlaku sehingga aman dan dapat menahan gaya gempa yang terjadi
2. Volume (m^3) komponen struktur penahan seismik (balok, kolom, pelat dan dinding geser) yang direncanakan dengan sistem rangka pemikul momen khusus terbukti lebih efisien dibandingkan dengan komponen struktur yang direncanakan dengan penahan gempa sistem ganda, dimana:
 - 1) Volume Balok
 - Volume (m^3) Balok SRPMK = 295381,25 m^3
 - Volume (m^3) Balok S. Ganda = 301452,5 m^3
 - 2) Volume Kolom
 - Volume (m^3) Kolom SRPMK = 181872 m^3
 - Volume (m^3) Kolom S.Ganda = 185848 m^3
 - 3) Volume Pelat
 - Volume (m^3) Pelat SRPMK = 325,468 m^3
 - Volume (m^3) Pelat S.Ganda = 341,547 m^3
 - 4) Volume Dinding Geser
 - Volume (m^3) D. Geser SRPMK = 0 m^3
 - Volume (m^3) D. Geser S.Ganda = 44160 m^3
3. Volume tulangan (kg) komponen struktur penahan seismik (balok, kolom, pelat, dan dinding geser) lebih kecil dan efisien dibandingkan dengan komponen struktur yang direncanakan dengan penahan gempa sistem ganda.
 - 1) Volume Balok
 - Volume (kg) Balok SRPMK = 37842,441 kg
 - Volume (kg) Balok S. Ganda = 53560,963 kg
 - 2) Volume Kolom
 - Volume (kg) Kolom SRPMK
Tulangan Longitudinal = 20824 kg
Tulangan Transversal = 10721,839 kg
 - Volume (kg) Kolom S.Ganda
Tulangan Longitudinal = 21472,5333 kg
Tulangan Transversal = 12934,341 kg
 - 3) Volume Pelat
 - Volume (kg) Pelat SRPMK = 16095 kg
 - Volume (kg) Pelat S.Ganda = 65314,550 kg
 - 4) Volume Dinding Geser
 - Volume (kg) D. Geser SRPMK = 0 kg
 - Volume (kg) D. Geser S.Ganda = 12876,32 kg
4. Dalam merencanakan struktur pada daerah rawan gempa seperti kota Manado, khususnya untuk perencanaan sistim penahan gempa pada bangunan sejenis, penggunaan sistim ganda yang menambahkan dinding struktural belum efisien dibandingkan dengan SRPMK.

5. Saran

1. Dalam perencanaan struktur bangunan sejenis baiknya direncanakan dengan memperhitungkan sistim penahan gempa yang paling efisien, baik dari segi material dan biaya.
2. Dapat dilakukan optimasi lanjutan terhadap keseluruhan bangunan yang tidak terbatas pada elemen struktur atas gedung (pondasi, arsitektur dan lain-lain).

Referensi

Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727:2020*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

- Badan Standarisasi Nasional (2019). *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, SNI 2847:2019*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. *Baja Tulangan Beton, SNI 2052-2017*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Lamia, N.W.M.T., Pandaleke, R. E., Handono, B.D. (2020). *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Denah Bangunan Berbentuk "L"*. *Jurnal Sipil Statik Vol.8 No.4 Juli 2020 (519-532) ISSN: 2337-6732*. Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Lesmana, Yudha (2020). *Handbook Desain Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2019*, Nas Media Pustaka, Makassar.
- Setiawan, Agus 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2019*. Erlangga. Jakarta
- American Concrete Institute. 2018. *ACI SP-17(14) The Reinforced Concrete Design Handbook A Companion To ACI 318-14*. Sleman : Deepublish, 2020.