

Analisis Perbandingan Perilaku Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan SRPMK dengan *Dual System*

Imro Atul Husna¹, Musbar², Khairul Miswar³

¹²³Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung,
Politeknik Negeri Lhokseumawe

JL. Banda Aceh-Medan Km. 280,3, Buketrata, Mesjid Punteut, Blang Mangat, Kota Lhokseumawe

²E-mail: musbaribrahim@pnl.ac.id

Abstract – Multi-story building structures have become the main choice in modern urban construction and development, the main advantage of these buildings is land use efficiency. In planning the structure of a multi-story building, great attention must be paid to its ability to support working loads, especially lateral loads, whether in the form of earthquake loads or wind loads. One solution to earthquake problems in planning multi-story buildings is to use an appropriate structural system. In this research a comparison of the performance of structures in the form of displacement, drift ratio, base shear, structural vibration period, and stiffness based on SNI 1726-2019 using SRPMK and Dual System will be conducted to determine the efficiency and effectiveness of both structural models based on the results of the comparison and analysis. From the analysis of the two models, values for the behavior of the building structure were obtained with the results of the structural period for model 1 being 2,372 seconds in the x direction and 1.893 seconds in the y direction. In contrast, for model 2 it was 1.648 seconds in the x direction and 1,116 seconds in the y direction. displacement in model 1 is 72,42 mm in the x direction and 55.646 mm in the y direction, while in model 2 it is 69,67 mm in the x direction and 45,573 mm in the y direction, drift ratio in model 1, it is 35,530 mm in the x direction and 24,503 mm in the y direction, while in model 2 it is 29,898 mm in the x direction and 19,525 mm in the y direction. By comparing the two models from the analysis results, it can be concluded that the dual system can reduce the structural period, displacement, and drift ratio.

Keywords: earthquake load; SRPMK; dual system.

Abstrak – Struktur gedung bertingkat telah menjadi pilihan utama dalam pembangunan dan perkembangan perkotaan modern, keunggulan utama dari bangunan ini adalah efisiensi penggunaan lahan. Dalam perencanaannya struktur gedung bertingkat harus sangat diperhatikan kemampuannya dalam memikul beban-beban yang bekerja terutama beban lateral baik berupa beban gempa ataupun beban angin. Salah satu solusi masalah gempa dalam perencanaan gedung bertingkat yaitu menggunakan sistem struktur yang sesuai. Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan kinerja struktur berupa displacement, drift ratio, gaya geser dasar, perioda getar struktur dan kekakuan berdasarkan SNI 1726-2019 menggunakan SRPMK dengan Dual System untuk mengetahui efisiensi dan efektivitas pada kedua model struktur dari hasil perbandingan dan analisis. Dari hasil analisis kedua model didapatkan nilai-nilai dari perilaku struktur gedung dengan hasil perioda struktur untuk model 1 yaitu 2,372 detik arah x dan 1,893 detik arah y sedangkan pada model 2 yaitu 1,648 detik arah x dan 1,116 detik arah y, displacement pada model 1 yaitu 72,42 mm arah x dan 55,646 mm arah y sedangkan pada model 2 yaitu 69,67 mm arah x dan 45,573 mm arah y, drift ratio pada model 1 yaitu 35,530 mm arah x dan 24,503 mm arah y sedangkan pada model 2 yaitu 29,898 mm arah x dan 19,525 mm arah y. Dengan perbandingan pada kedua model dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa sistem ganda dapat memperkecil perioda struktur, displacement dan simpangan.

Kata kunci: beban gempa; SRPMK; dual system.

I. PENDAHULUAN

Struktur gedung bertingkat telah menjadi pilihan utama dalam pembangunan dan perkembangan perkotaan modern, keunggulan utama dari bangunan ini adalah efisiensi penggunaan lahan. Dengan pertumbuhan populasi yang terus meningkat, lahan perkotaan semakin terbatas, adanya pembangunan struktur gedung bertingkat merupakan solusi cerdas untuk mengatasi masalah ini (Liando et al., 2020). Dalam perencanaannya struktur gedung

bertingkat harus sangat diperhatikan kemampuannya dalam memikul beban-beban yang bekerja terutama beban lateral baik berupa beban gempa ataupun beban angin (Budiarty et al., 2022).

Mengingat bahwa sebagian besar wilayah Indonesia daerahnya mempunyai tingkat kerentanan yang tinggi terhadap gempa bumi. Dampak dari peristiwa gempa ini dapat menyebabkan struktur gedung mengalami

simpangan antar tingkat (*drift ratio*), kondisi ini akan sangat berbahaya jika struktur tersebut memikul beban lateral (Pah & Tae, 2023). Salah satu solusi masalah gempa dalam perencanaan gedung bertingkat yaitu menggunakan sistem struktur yang sesuai. Penggunaan sistem rangka pemikul momen dan dinding geser dapat menjadi pilihan dalam memilih sistem struktur, dimana dinding geser sebagai substruktur yang mencegah gaya geser akibat beban gempa dan angin, sedangkan sistem rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur direncanakan memikul beban lateral yang disebabkan oleh gempa. Oleh karena itu pada skripsi ini akan dilakukan perencanaan struktur gedung dengan melakukan analisis perbandingan perilaku struktur bangunan gedung bertingkat menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan *Dual System*. Perencanaan ini menggunakan dua sistem yang berbeda dikarenakan untuk melihat sistem mana yang lebih efektif digunakan untuk struktur gedung bertingkat dalam menahan beban yang bekerja terkhususnya beban gempa.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan Umum

Semakin tinggi suatu gedung beban akibat gaya lateral yang terjadi akan semakin besar. Gempa merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan struktur gedung bertingkat jika struktur berada di wilayah rawan gempa. Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, struktur diharapkan dapat merespon dengan baik beban gempa yang bekerja pada struktur tersebut, sehingga dapat menjamin gedung tersebut tidak rusak karena gempa-gempa kecil dan gempa sedang, serta tidak runtuh akibat gempa yang besar (Amrullah et al., 2019). Acuan untuk perencanaan konstruksi tahan gempa di Indonesia ini diatur dalam standar SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung dan non gedung (Imani et al., 2021).

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa diharuskan agar memenuhi beberapa kondisi batas sebagai berikut :

1. Bila terjadi gempa ringan, struktur bangunan mampu bertahan dan masih bersifat elastis;
2. Bila terjadi gempa sedang, kerusakan hanya boleh dialami pada nonstruktural

sementara untuk struktur bangunan tidak boleh mengalami kerusakan;

3. Pada gempa besar, kerusakan dialami pada struktural bangunan namun struktur tidak boleh roboh sehingga korban jiwa dapat dihindarkan.

Untuk memastikan bahwa bangunan cukup terlindungi dari gempa, penting untuk merancang dan membangun bangunan dengan menggunakan sistem struktur tahan gempa yang sesuai. SRPMK dan sistem ganda merupakan salah satu sistem struktur yang sering digunakan.

Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen merupakan sistem rangka ruang yang setiap komponen-komponen strukturnya dirancang mampu menahan gaya-gaya dalam yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial (Budiarty et al., 2022).

Dalam SNI 1726-2019 Sistem rangka pemikul momen terbagi atas tiga macam yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). SRPMB dipakai untuk perhitungan struktur gedung di zona dengan tingkat kegempaan rendah, SRPMM dipakai untuk perhitungan struktur gedung di zona dengan tingkat kegempaan sedang, sementara SRPMK dipakai untuk wilayah dengan tingkat kegempaan tinggi.

Sistem Dinding Geser (*Shear Wall*)

Sistem dinding geser (*shear wall*) adalah struktur beton bertulang berupa *slab* yang dipasang secara vertikal. Dinding geser berfungsi sebagai kekuatan dan kekakuan, sebagai kekuatan karena dinding geser harus memberikan kekuatan untuk menjaga kestabilan bangunan tinggi dalam merespon gaya lateral agar dapat mencegah guncangan berlebihan yang diakibatkan oleh gempa dan angin. Selain itu, dinding geser ini dapat memberikan kekakuan lateral pada struktur dan meningkatkan daya beban yang dipikul dari dinding dan sebagai kekakuan dinding geser juga dapat melindungi atap atau lantai dari sisi goyangan yang berlebihan (Tanii et al., 2023).

Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser dapat dikelompokkan dalam 3 jenis, yaitu :

1. *Bearing walls*, sebagian besar beban gravitasi akan ditopang oleh dinding geser ini. Tembok-tembok ini juga menopang dinding partisi antar apartemen yang berdekatan;
2. *Frame walls* adalah dinding geser yang memikul beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari *frame* beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris kolom pada bagian dalam;
3. *Core walls* adalah dinding geser yang terdapat didalam wilayah inti pusat dalam gedung yang biasanya diisi tangga atau poros lift. Dinding yang terdapat dikawasan inti pusat mempunyai fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan paling ekonomis.

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan sistem rangka ruang yang mempunyai tingkat daktilitas penuh dimana struktur yang bersifat daktil adalah struktur yang bersifat fleksibel, dan biasanya dipakai pada perencanaan gedung yang termasuk dalam kategori desain seismik D, E dan F dengan tingkat kegempaan tinggi. Salah satu inovasi desain struktur pada perencanaan yaitu dengan menggunakan konsep *Strong Column Weak Beam* atau kolom kuat balok lemah dengan cara membuat sistem struktur yang elastis yang mampu berdeformasi saat terjadi gempa karena memiliki daktilitas yang tinggi (Budiarty et al., 2022).

Sistem Ganda

Sistem ganda adalah satu diantara sistem struktur yang beban gravitasinya ditahan sepenuhnya oleh *space frame* (rangka) sedangkan beban lateralnya ditahan bersama oleh *space frame* dan *shear wall* (dinding geser/dinding struktur) (Wijaya et al., 2020). Berdasarkan SNI 1726, (2019) syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam sistem ganda adalah sebagai berikut :

1. Mampu memikul sedikit 25% gaya seismik desain;
2. Tahanan gaya seismik total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka

bresing dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

Bentuk Geometri dan Penempatan Dinding Geser

Menurut Putri & Ryanto, (2022) berdasarkan geometrinya, struktur dinding geser dibagi menjadi 3 yaitu :

1. *Flexural wall* (dinding langsing), merupakan dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \geq 2$;
2. *Squat wall* (dinding pendek) merupakan dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \leq 2$;
3. *Coupled shear wall* (dinding berangkai), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding yang dihubungkan oleh balok-balok penghubung.

Pada bangunan bertingkat, penggunaan dinding geser adalah salah satu bentuk struktur yang dapat menahan gaya lateral yang disebabkan oleh gempa atau angin. Stabilitas bangunan bertingkat diterima oleh dinding geser. Dinding geser harus dibentuk sedemikian rupa untuk dapat menahan gaya lateral yang disebabkan oleh gempa atau angin sehingga dapat memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

- a. Dinding geser dalam sebuah bangunan paling sedikit terdapat tiga buah yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral;
- b. Garis pengaruh dari dinding geser tersebut tidak boleh berpotongan pada satu titik.

Periode Alami Struktur

Periode adalah besarnya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu getaran, periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan di mana frekuensi alami pada struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan struktur.

Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya.

Simpangan antar lantai desain (Δ) harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur. Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) dalam mm harus ditentukan sesuai dengan persamaan 1.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

C_d = Faktor pembesaran defleksi

δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan dan ditentukan sesuai dengan analisis elastis

I_e = Faktor keutamaan yang ditentukan pada SNI 1726-2019

Tabel 1. Simpangan antar tingkat izin $\Delta_a^{a,b}$

Struktur	Kategori resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 h_{sx} ^c	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

Sumber: SNI 1726 (2019)

III. METODE

Lingkup Penelitian

Perencanaan gedung pada penelitian ini meliputi perencanaan struktur atas yaitu balok, kolom, pelat, dan dinding geser. Analisis dan pemodelan struktur menggunakan program analisis struktur software ETABS V.20 dengan pemodelan struktur 3 dimensi. Analisis dilakukan menggunakan dua pemodelan struktur, yaitu struktur gedung yang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan pemodelan struktur gedung yang menggunakan *Dual System* yakni kombinasi dari SRPMK dan dinding geser. Lokasi perencanaan gedung ini direncanakan akan dibangun di Kota Medan, Sumatera Utara dengan kondisi tanah lunak.

Studi Literatur

Menekankan pada referensi yang digunakan pada penelitian ini serta peraturan-peraturan yang akan digunakan sebagai pedoman dalam

analisis dan pemodelan pada ETABS dengan peraturan-peraturan yang akan digunakan sebagai berikut :

1. SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung;
2. SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan;
3. SNI 1727-2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

Pemilihan Kriteria Design

Gedung ini difungsikan sebagai gedung apartemen yang terdiri dari 15 lantai dengan *basement* sebagai lantai dasar dengan ketinggian antar lantai 3,5 m tinggi bangunan 59,5 m dan material yang digunakan adalah beton bertulang dengan mutu beton 35 MPa dan mutu baja 420 MPa untuk tulangan utama, 280 MPa untuk tulangan sengkang.

Data Perencanaan

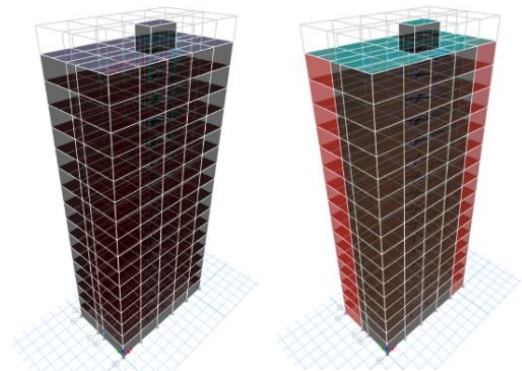
Perencanaan dimensi kolom dan balok dari kedua pemodelan pada tabel 2 dan tabel 3 berikut:

Tabel 2. Dimensi kolom pada kedua model

Kode	Dimensi (mm)	Mutu beton f_c' (MPa)	Keterangan
K1	900.900	35	Kolom pada <i>basement</i> – lantai 5
K2	750.750	35	Kolom pada lantai 6 – lantai 10
K3	650.650	35	Kolom pada lantai 11 – atap & area lift

Tabel 3. Dimensi balok pada kedua model

Kode	Dimensi (mm)	Mutu beton f_c' (MPa)	Keterangan
B1	400.600	35	Balok induk arah x pada seluruh lantai
B2	500.650	35	Balok induk arah y pada seluruh lantai
BA	300.400	35	Balok anak pada seluruh lantai
BB	200.300	35	Balok bordes pada seluruh lantai



Gambar 1. Pemodelan 3 dimensi perencanaan gedung

Tebal Dinding Geser Beton Bertulang
Perencanaan dinding geser beton bertulang khusus yang digunakan sebagai *shear wall* dapat digunakan metode empiris untuk merencanakan ketebalan dinding geser minimum, yaitu :

1. Tebal dinding geser $\geq 1/25 l_w$
2. Tebal dinding geser $\geq 1/25 h_w$

Dimana :

l_w = panjang bagian dinding (mm)

h_w = tinggi bagian dinding pada 1 lantai

Dari metode tersebut, maka dipilih tebal perencanaan dinding geser adalah sebesar 300 mm.

Kombinasi Pembebanan

Beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa. Seluruh beban mati, beban hidup dan beban gempa diperhitungkan dengan faktor pembesaran dan kombinasi (*load combinations*) yang diinput ke dalam program analisis struktur berdasarkan SNI 1726, (2019) dan SNI 1727, (2020). Menggunakan nilai redundansi (ρ) = 1,3 yang diperoleh dari Kategori Desain Seismik (KDS) D dan $S_{DS} = 0,673$. Maka kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kombinasi pembebanan

Kombinasi	Koefisien
Kombinasi 1	1,4DL + 1,4SIDL
Kombinasi 2.1	1,2DL + 1,2SIDL + 1,6LL + 0,5Lr
Kombinasi 2.2	1,2DL + 1,2SIDL + 1,6LL + 0,5R
Kombinasi 3.1	1,2DL + 1,2SIDL + 1,0LL + 1,6Lr
Kombinasi 3.2	1,2DL + 1,2SIDL + 1,6Lr + 0,5Wx
Kombinasi 3.3	1,2DL + 1,2SIDL + 1,6Lr + 0,5Wy
Kombinasi 3.4	1,2DL + 1,2SIDL + 1,0LL + 1,6R
Kombinasi 3.5	1,2DL + 1,2SIDL + 1,6R + 0,5Wx
Kombinasi 3.6	1,2DL + 1,2SIDL + 1,6R + 0,5Wy
Kombinasi 4.1	1,2DL + 1,2SIDL + 1,0LL + 0,5Lr + 1,0Wx
Kombinasi 4.2	1,2DL + 1,2SIDL + 1,0LL + 0,5Lr + 1,0Wy
Kombinasi 4.3	1,2DL + 1,2SIDL + 1,0LL + 0,5R + 1,0Wx
Kombinasi 4.4	1,2DL + 1,2SIDL + 1,0LL + 0,5R + 1,0Wy
Kombinasi 5.1	0,9DL + 0,9SIDL + 1,0Wx
Kombinasi 5.2	0,9DL + 0,9SIDL + 1,0 Wy
Kombinasi 6.1	1,33DL + 1,33SIDL + 1,0 LL + 1,3Ex + 0,39Ey
Kombinasi 6.2	1,33DL + 1,33SIDL + 1,0 LL + 1,3Ex - 0,39Ey
Kombinasi 6.3	1,33DL + 1,33SIDL + 1,0 LL - 1,3Ex + 0,39Ey
Kombinasi 6.4	1,33DL + 1,33SIDL + 1,0LL - 1,3Ex - 0,39Ey
Kombinasi 6.5	1,33DL + 1,33SIDL + 1,0LL + 0,39Ex + 1,3Ey
Kombinasi 6.6	1,33DL + 1,33SIDL + 1,0 LL - 0,39Ex + 1,3Ey
Kombinasi 6.7	1,33DL + 1,33SIDL + 1,0LL + 0,39Ex - 1,3Ey
Kombinasi 6.8	1,33DL + 1,33SIDL + 1,0 LL - 0,39Ex - 1,3Ey
Kombinasi 7.1	0,77DL + 0,77SIDL + 1,3Ex + 0,39Ey
Kombinasi 7.2	0,77DL + 0,77SIDL + 1,3Ex - 0,39Ey
Kombinasi 7.3	0,77DL + 0,77SIDL - 1,3Ex + 0,39Ey
Kombinasi 7.4	0,77DL + 0,77SIDL - 1,3Ex - 0,39Ey
Kombinasi 7.5	0,77DL + 0,77SIDL + 0,39Ex + 1,3Ey
Kombinasi 7.6	0,77DL + 0,77SIDL - 0,39Ex + 1,3Ey
Kombinasi 7.7	0,77DL + 0,77SIDL + 0,39Ex - 1,3Ey
Kombinasi 7.8	0,77DL + 0,77SIDL - 0,39Ex - 1,3Ey

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah Ragam

Berdasarkan SNI 1726-2019 jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Namun, sebagai alternatif analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual. Setelah dilakukan analisis kombinasi ragam modal partisipasi massa pada kedua model telah mencapai lebih dari 90% pada Sum Ux dan Sum Uy sehingga partisipasi massa telah memenuhi syarat.

Tabel 5. Analisis ragam getar pada kedua model

Model	Arah	Ta min	Ta max	Tetabs	Tdipakai	Sum UX	Sum UY
1	X	1,8427	2,580	2,372	2,372	0,9571	0,9486
	Y	1,8427	2,580	1,893	1,893		
2	X	0,999	1,464	1,648	1,464	0,9599	0,9530
	Y	0,999	1,464	1,116	1,116		

Dari Tabel 5 dihasilkan perioda struktur hasil analisis ETABS pada model 1 sebesar 2,372 detik untuk arah x dan 1,893 detik untuk arah y, nilai tersebut lebih kecil dari nilai batas perioda maksimum yang dipersyaratkan pada SNI 1726-2019 sebesar 2,580 detik. Pada model 2 dihasilkan perioda struktur sebesar 1,648 detik untuk arah x lebih besar dari nilai batas perioda maksimum yang dipersyaratkan pada SNI 1726-2019 sebesar 1,464 detik dan 1,116 detik untuk arah y lebih kecil dari nilai batas perioda maksimum yang dipersyaratkan. Sehingga perioda yang dipakai pada kedua model yaitu nilai terkecil dari hasil perbandingan analisis ETABS dengan hasil perhitungan dikarenakan semakin kecil perioda maka struktur tersebut semakin kaku.

Parameter Respons Terkombinasi

Berdasarkan SNI 1726-2019 nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam harus dikombinasikan menggunakan metode *Square Root Sum of Squares* (SRSS) untuk struktur dengan waktu getar alami yang berjauhan (selisih >15%) atau metode *Complete Quadratic Combination* (CQC) untuk struktur dengan waktu getar alami yang berdekatan (selisih <15%).

Tabel 6. Data hasil selisih persentase analisis ragam getar pada kedua model

Model	Persentase	CQC<15%	SRSS>15%
1	16%	NOT OK	OK
2	18%	NOT OK	OK

Berdasarkan hasil persentase pada tabel 6, analisis respons spektrum untuk kedua model ini menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (*Square Root Sum of Squares/SRSS*), dikarenakan persentase nilai periode rata-rata yang didapatkan memiliki persentase sebesar 16% dan 18% dimana nilai tersebut lebih besar dari 15% sesuai ketentuan yang dipersyaratkan untuk dapat menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (*Square Root Sum of Squares/SRSS*).

Massa Struktur

Massa untuk struktur akan ditentukan berasal dari beban mati yang terdiri dari berat sendiri elemen-elemen struktur serta berat tambahan material bangunan, beban hidup yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan bangunan.

Tabel 7. Massa struktur, pusat massa dan pusat kekakuan pada kedua model

Model	Massa kg	XCM m	YCM m	XCR m	YCR m
1	8414448.7	12.5812	6.87396	13.8497	6.93503
2	8764940.13	12.6079	6.88478	13.3594	6.99495

Berdasarkan tabel 7 diperoleh massa struktur bangunan keseluruhan lantai dan didapatkan nilai koordinat dari pusat massa serta pusat kekakuan, dimana pada model 1 sumbu x didapatkan nilai koordinat dari pusat massa rata-rata sebesar 12,5812 m yang berada di tengah bangunan dan pusat kekakuan 13,8497 m nilai ini tidak berada di tengah bangunan, sementara pada arah sumbu y didapatkan nilai koordinat dari pusat massa rata-rata sebesar 6,87396 m dan pusat kekakuan 6,93503 m nilai ini juga tidak berada tepat ditengah bangunan. Pada model 2 dimana pada sumbu x didapatkan nilai koordinat dari pusat massa rata-rata sebesar 12,6079 m dan pusat kekakuan 13,3594 m nilai tersebut tidak berada di tengah bangunan, sedangkan pada arah sumbu y didapatkan nilai koordinat dari pusat massa rata-rata sebesar 6,88478 m dan pusat kekakuan 6,99495 m nilai ini juga tidak berada tepat ditengah bangunan.

Dapat disimpulkan bahwa pada kedua model struktur memiliki eksentrisitas dikarenakan pusat massa dan pusat kekakuan yang tidak sama, sehingga struktur harus diperiksa terhadap ketidakberaturan torsi.

Gaya Geser Dasar

Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (Vt) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan faktor skala.

Tabel 8. Gaya geser dasar statik dan dinamik pada kedua model

Model	Arah	Statik	Dinamik
1	X	2608.1350	2151.3077
	Y	3267.7015	2242.7461
2	X	5389.0756	3183.8122
	Y	7017.0933	4464.3043

Dari tabel 8 diketahui bahwa nilai gaya geser dasar ragam (Vt) lebih kecil dari gaya geser dasar statik ekuivalen pada kedua model. Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (Vt) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan faktor skala. Untuk model 1 didapatkan nilai faktor skala gempa pada arah x sebesar 1,212 dan pada arah y sebesar 1,457. Untuk model 2 didapatkan nilai faktor skala gempa pada arah x sebesar 1,693 dan pada arah y sebesar 1,572. Faktor skala gempa ini harus dikalikan dengan faktor skala gempa yang lama lalu di inputkan kembali pada ETABS sehingga gaya geser dasar dinamik lebih besar atau sama dengan statik ekuivalen.

Kontrol Syarat Sistem Ganda

Struktur yang didesain menggunakan sistem ganda berdasarkan SNI 1726:2019 dimana sistem rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25% dari gaya gempa rencana. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser dengan distribusi yang proposional terhadap kekakuannya.

Tabel 9. Persentase penahan gaya gempa

Arah	Gaya Yang Diterima (kN)		Persentase Penahan Gaya Gempa (%)	
	Rangka	Shear Wall	Rangka	Shear Wall
Gempa X	566.215	3261.0461	17.36%	82.64%
Gempa Y	835.6465	4652.0898	17.96%	82.04%

Dari tabel 9 dapat dilihat bahwa persentase penahan gaya gempa yang dipikul oleh sistem rangka kurang dari 25% pada arah x maupun arah y. Sebagai solusi sistem rangka memikul kurang dari 25% maka adanya alternatif dengan membuat *scale up* gempa dimana 25% dibagi dengan persentase awal sistem rangka yang dipikul. Didapatkan nilai dari *scale up* gempa sebesar 1,440 untuh arah x dan 1,392 untuk arah y, nilai ini dikalikan dengan faktor skala gempa awal.

Pengecekan Ketidakteraturan

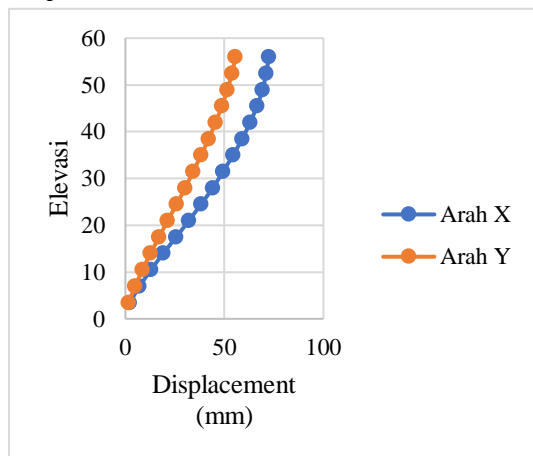
Pengecekan ketidakteraturan pada kedua model berupa pengecekan ketidakteraturan horizontal dan vertikal.

Tabel 10. Pengecekan ketidakteraturan pada kedua model

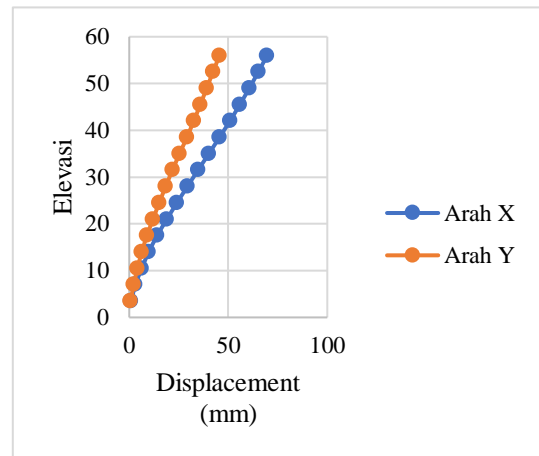
Ketidakteraturan Horizontal	Ketidakteraturan Vertikal	Model 1 SRPMK		Model 2 Dual System	
		Ketidakteraturan Horizontal	Ketidakteraturan Vertikal	Ketidakteraturan Horizontal	Ketidakteraturan Vertikal
	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak		OK		OK
Ketidakteraturan Torsi	Ketidakteraturan Berat (Massa)	1a	OK	1a	OK
	Ketidakteraturan Geometri Vertikal		OK		OK
Ketidakteraturan Diskontinuitas Diafragma	Ketidakteraturan dalam Kuant Lateral Tingkat	-	OK	OK	OK

Dari tabel 10 ketidakteraturan pada kedua model hanya terjadi pada ketidakteraturan horizontal 1a. Kondisi ini harus dicek konsekuensi ketidakteraturannya sesuai dengan pasal-pasal yang sudah disyaratkan pada SNI 1726-2019.

Displacement



Gambar 2. Perbandingan simpangan maksimum arah x dan y (Model 1)



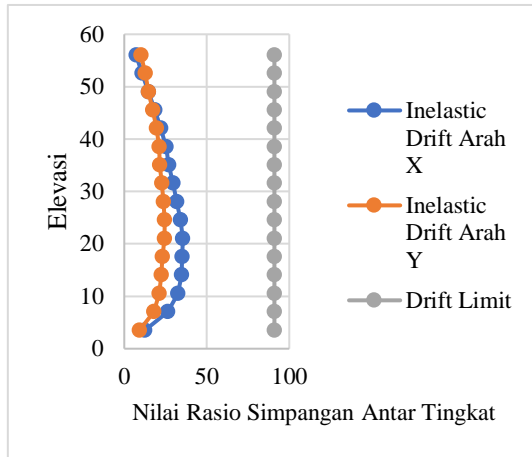
Gambar 3. Perbandingan simpangan maksimum arah x dan y (Model 2)

Nilai perpindahan maksimal pada model 1 sebesar 72,42 mm untuk arah x dan 55,646 mm untuk arah y dengan selisih perpindahan setiap lantainya antara 1-6 mm. Sedangkan pada model 2 nilai perpindahan maksimal arah x sebesar 69,67 mm dan 45,573 mm untuk arah y dengan selisih perpindahan setiap lantainya antara 1-5 mm.

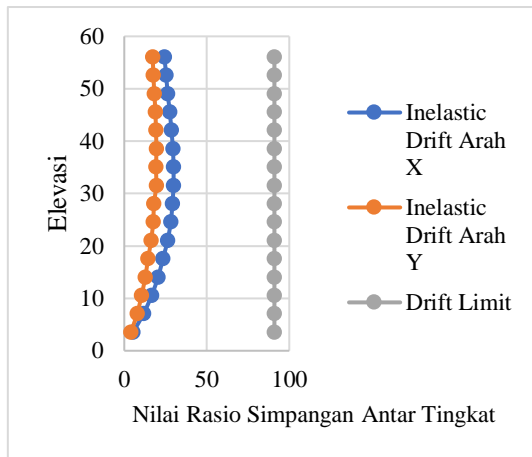
Simpangan Antar Tingkat

Berdasarkan SNI 1726-2019 kontrol simpangan antar tingkat hanya terdapat satu kinerja batas yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar tingkat tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin yang dipersyaratkan pada SNI 1726-2019.

Hasil analisis simpangan antar tingkat pada model 1 simpangan terbesar pada arah x sebesar 35,530 mm pada lantai 6 dan untuk arah y sebesar 24,503 mm pada lantai 7 sedangkan pada model 2 simpangan terbesar arah x sebesar 29,898 mm dan untuk arah y sebesar 19,525 mm pada lantai 9. Nilai-nilai tersebut tidak ada yang melebihi 91 mm dari simpangan antar tingkat yang diizinkan sehingga simpangan antar tingkat pada kedua pemodelan aman. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan sistem struktur yang digunakan dimana pada model 2 adanya penambahan *shear wall* pada struktur menjadikan *shear wall* sebagai alternatif peningkatan kinerja struktur pada bangunan tinggi.



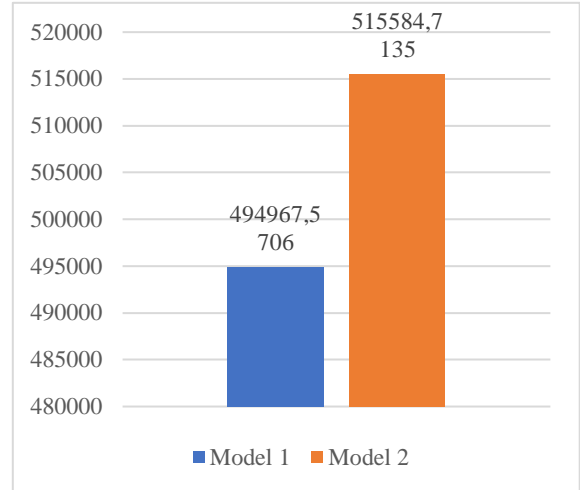
Gambar 4. Perbandingan nilai rasio simpangan antar tingkat maksimum arah x dan arah y (Model 1)



Gambar 5. Perbandingan nilai rasio simpangan antar tingkat maksimum arah x dan arah y (Model 2)

Perbandingan Berat Struktur

Berat per lantai didapat dari output program analisis struktur pada tabel 7 menunjukkan berat struktur pada model 2 lebih besar dibanding dengan model 1 dikarenakan adanya penambahan *shear wall* pada model 2. Didapatkan rata-rata berat struktur dari setiap lantai pada model 1 yaitu 494967,5706 kg dan pada model 2 yaitu 515584,7135 kg. Adapun selisih rata-rata berat struktur antara model 1 dan 2 adalah 20617,14 kg. Dibawah ini disajikan grafik perbandingan berat struktur antara model 1 dengan model 2.



Gambar 6. Perbandingan berat struktur pada gedung model 1 dan model 2

Pengecekan Kapasitas Rasio Kolom

Pengecekan ini dilakukan untuk mengetahui kapasitas rasio pada kolom sebagai acuan untuk perencanaan dimensi dan jumlah tulangan yang akan digunakan. Pengecekan ini hanya dilakukan pada kolom yang menghasilkan kapasitas rasio yang paling besar, tinjauan dilakukan pada kedua model baik pada SRPMK atau *Dual System*.

Tabel 11. Kapasitas rasio kolom pada model 1

Level	Dimensi	Element	Unique Name	P _u (kN)	M _{u1} (kN/m)	M _{u2} (kN/m)	M ₁ (kN/m)	M ₂ (kN/m)	Rebar (%)	Capacity Ratio
Lantai 1	900 x 900	C30	30	8057.1132	-1131.895	340.3325	340.3325	340.3325	3.15	0.544
Lantai 1	900 x 900	C11	35	7945.7911	1130.414	-335.6302	335.6302	335.6302	3.15	0.539
Lantai 1	900 x 900	C17	125	8769.3256	-917.83	370.4163	370.4163	370.4163	3.15	0.543

Dapat dilihat pada tabel 11 bahwa kolom K1 elemen C30, C11, C17 pada lantai 1 dengan nilai kapasitas rasio adalah 0,544, 0,539 dan 0,543. Nilai ini merupakan kapasitas rasio paling besar yang diterima kolom pada pemodelan 1, dari hasil analisis dengan nilai kapasitas rasio tersebut kolom yang ditinjau sudah cukup aman untuk menerima beban-beban yang bekerja.

Tabel 12. Kapasitas rasio kolom pada model 2

Level	Dimensi	Element	Unique Name	P _u (kN)	M _{u1} (kN/m)	M _{u2} (kN/m)	M ₁ (kN/m)	M ₂ (kN/m)	Rebar (%)	Capacity Ratio
Lantai 1	900 x 900	C12	71	-7902.7892	333.8138	-341.524	333.8138	333.8138	3.15	0.916
Lantai 1	900 x 900	C18	143	-7914.0779	334.2906	-349.349	334.2906	334.2906	3.15	0.919
Lantai 1	900 x 900	C41	305	-7674.8163	324.1842	-348.654	324.1842	324.1842	3.15	0.893

Dapat dilihat pada tabel 12 bahwa kolom K1 elemen C12, C18, C41 pada lantai 1 dengan nilai kapasitas rasio adalah 0,916, 0,919 dan 0,893. Nilai ini merupakan kapasitas rasio

paling besar yang diterima kolom pada pemodelan 2, perletakan kolom ini berada di antara *shear wall*. Dari hasil analisis dengan nilai kapasitas rasio tersebut kolom yang ditinjau juga belum cukup aman untuk menerima beban-beban yang bekerja sehingga perlu dilakukan perencanaan yang lebih kuat dibandingkan dengan kolom yang lainnya guna menghindari adanya pemborosan penggunaan material pada kolom lain yang sudah sangat aman menerima beban-beban yang bekerja.

V. KESIMPULAN

1. Dari hasil analisis kedua model didapatkan nilai-nilai dari perilaku struktur gedung, yaitu:
 - a. Periode struktur
 - 1) Periode getar alami struktur untuk model 1 yaitu 2,372 detik untuk arah x dan 1,893 detik untuk arah y.
 - 2) Periode getar alami struktur untuk model 2 yaitu 1,648 detik untuk arah x dan 1,116 detik untuk arah y.
 - b. Perpindahan yang terjadi dari kedua model tersebut masih dalam kondisi batas keamanan. *Displacement* dari kedua model adalah :
 - 1) Nilai perpindahan pada model 1 adalah sebesar 72,42 mm pada arah x dan untuk arah y sebesar 55,646 mm.
 - 2) Nilai perpindahan pada model 2 adalah 69,67 mm dan 45,573 mm untuk arah y.
 - c. Nilai rasio simpangan antar tingkat (*drift ratio*) terbesar yang diperoleh dari masing-masing kedua model sebagai berikut :
 - 1) *Drift ratio* model 1 adalah 35,530 mm untuk arah x dan 24,503 mm untuk arah y.
 - 2) *Drift ratio* model 2 pada arah x sebesar 29,898 mm dan untuk arah y sebesar 19,525 mm.
 Perbandingan *drift ratio* maksimum antara kedua model terjadi pada lantai 6 untuk arah x dan lantai 7 untuk arah y pada model 1, sementara untuk model 2 pada lantai 9 untuk kedua arah.
 - d. Nilai gaya geser dasar dari masing-masing kedua model tersebut adalah sebagai berikut :
 - 1) Gaya geser model 1 yaitu 2608,135 kN untuk arah x dan 3267.7015 kN untuk arah y pada statik ekuivalen sedangkan untuk dinamik respon spektrum sebesar 2151.3077 kN untuk arah x dan 2242.7461 kN untuk arah y.
 - 2) Gaya geser model 2 yaitu 5389.0756 kN untuk arah x dan 7017.0933 kN untuk arah y pada statik ekuivalen sedangkan untuk dinamik respon spektrum sebesar 3183.8122 kN untuk arah x dan 4464.3043 kN untuk arah y.
 - e. Persentase kekakuan lateral tiap lantai pada kedua model tersebut menunjukkan tidak ada persentase kekakuan tiap lantainya yang kurang dari 70% untuk satu tingkat di atasnya ataupun kurang dari 80% untuk rata-rata tiga tingkat di atasnya baik arah x maupun arah y. Sehingga struktur gedung dari kedua model tersebut tidak memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak.
 - f. Persentase massa efektif di semua lantai yang terjadi pada kedua model menunjukkan tidak ada persentase massa efektif yang melebihi 150% dari tingkat di dekatnya baik arah x maupun arah y sehingga struktur pada kedua model tidak memiliki ketidakberaturan massa.
2. Dari hasil perbandingan, sistem ganda dapat memperkecil periode struktur, *displacement* dan simpangan yang terjadi dengan selisih simpangan pada kedua model sekitar 5 mm sampai 6 mm. Akan tetapi, gaya geser lantai pada model 2 jauh lebih besar dibandingkan dengan model 1 akibat berat total struktur pada model 2 yang jauh lebih besar dikarenakan adanya penambahan *shear wall*. Kapasitas rasio kolom yang ditinjau diantara *shear wall* juga jauh lebih besar dibandingkan kolom-kolom lain yang tidak terdapat *shear wall* sehingga beberapa kolom diantara *shear wall* masih belum cukup aman, kondisi ini disebabkan sistem rangka memikul gaya seismik kurang dari

25% dari yang disyaratkan pada sistem ganda. Dapat disimpulkan bahwa Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPMK) dan *Dual System* cukup efektif digunakan untuk struktur tinggi, namun lebih efektif untuk menggunakan sistem ganda karena dapat memperkecil perioda struktur, *displacement* juga simpangan antar tingkat. Tapi, perlu adanya perencanaan yang lebih kuat pada kolom diantara *shear wall* untuk menghasilkan kinerja struktur yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrullah, W., Bagio, T. H., & Tistogondo, J. (2019). Desain perencanaan struktur gedung 38 lantai dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) Wildan. *Jurnal MITSU: Media Informasi Teknik Sipil*, 7(1), 1–8.
- Budiarty, I., Budiman, E., & Haryanto, B. (2022). Perencanaan struktur gedung beton bertulang menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (Studi kasus: Hotel Fox Harris Lite di Jln. S. Parman, Kota Samarinda, Kalimantan Timur). *Teknologi Sipil: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 6(1), 45. <https://doi.org/10.30872/ts.v6i1.7723>
- Imani, R., Nasmirayanti, R., Arman, U. D., & Sari, A. (2021). Analisa beban lateral akibat gempa dengan metode statik ekuivalen. *Rang Teknik Journal*, 4(1), 11–16. <https://doi.org/10.31869/rtj.v4i1.2339>
- Liando, F. J., Dapas, S. O., & Wallah, S. E. (2020). Perencanaan struktur beton bertulang gedung kuliah 5 lantai. *Jurnal Sipil Statik*, 8(4), 471–482.
- Pah, J. J. S., & Tae, A. (2023). Dinamik time history dalam mengurangi simpangan struktur. *VIII(2)*, 108–114.
- Putri, O. E., & Ryanto, M. (2022). Studi perilaku struktur gedung 10 lantai menggunakan coupled shear wall dengan sistem coupling beam terhadap beban gempa berdasarkan SNI 1726-2019. *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*, 2(2), 149. <https://doi.org/10.32897/simteks.v2i2.1227>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Badan Standardisasi Nasional.
- Tanii, A., Pah, J. J. S., Ramang, R., & Rizal, A. (2023). Keefektifan penempatan dinding geser bangunan tingkat tinggi dalam mengurangi simpangan struktur. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 69–78.
- Wijaya, N. A., Faimun, F., & Raka, I. G. P. (2020). Desain modifikasi struktur Tower Caspian Apartemen Grand Sungkono Lagoon menggunakan sistem balok prategang dan sistem ganda. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.58417>