

PERILAKU SISTEM STRUKTUR *DUAL SYSTEM* DAN *COUPLING BEAM* PADA GEDUNG TIGA LANTAI

Draga Hasan Saputra

Program Studi Teknik Sipil, FTSP, Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta

dragasaputra@gmail.com

Abstrak

Kegagalan struktur bangunan akibat gempa bumi disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain kurangnya penggunaan standar terbaru dalam perencanaan desain bangunan Gedung. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perilaku seismik bangunan gedung rusun lantai tiga yang dirancang menggunakan dua model. Model pertama menggunakan sistem *dual shearwall*, sedangkan model kedua menggunakan sistem *coupling beam*. Penelitian akan difokuskan pada perbandingan *Periode fundamental* struktur, pusat masa kekakuan dan eksentrisitas, Jumlah ragam, gaya geser dasar, simpangan antar tingkat struktur, serta perilaku ketidakberaturan. Hasil analisis menunjukkan *periode fundamental* Model I (*dual system shearwall*) terjadi pada pola getar ragam 1, translasi sepanjang sumbu $y = 0,7522$ detik dan sepanjang sumbu $x = 0,7521$ detik, sedangkan Model II *coupling beam* sepanjang sumbu $y = 0,7137$ detik dan sepanjang sumbu $x = 0,6625$ detik. Pusat massa dan eksentrisitas Model I pada arah x dan y sama-sama 0, meskipun pada arah x sebesar 0,15 dan masih aman karena kurang dari 10% dari 21m yaitu 2,1m. *Dual system shearwall* (Model I) lebih efektif dalam mereduksi simpangan antar lantai, gaya geser dasar, dan perilaku ketidakberaturan bangunan dibandingkan *coupling beam* (Model II). Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi para perencana dalam merancang bangunan beton bertulang tahan gempa khususnya di Indramayu. Selain itu juga memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil, khususnya di bidang analisa struktur.

Kata kunci : *Dual sytem shearwall, Coupling beam, Periode fundamental struktur, Pusat massa kekakuan, eksentrisitas, Jumlah ragam, Gaya geser dasar, Simpangan antar tingkat, Ketidakberaturan*

1. PENDAHULUAN

Indonesia dikelilingi oleh empat lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik, Proses tektonik aktif ini menghasilkan fenomena seperti pembentukan gunung api, penghancuran kontinen, zona subduksi dan penutupan basin, fenomena tektonik ini kerap kali menimbulkan beberapa gempa besar di wilayah Indonesia. Beberapa gempa besar yang pernah terjadi di Indonesia yaitu gempa Aceh-Andaman Tsunami 2004 (Mw 9.2), gempa Nias- Simeulue 2005 (Mw 8.7), gempa Yogyakarta 2006, gempa Jawa Selatan yang diikuti tsunami 2006 (Mw 7.6), gempa Bengkulu 2007 (Mw 8.4 and 7.9), gempa di Padang (Mw 7.6) pada September 2009, gempa Palu Donggala 2018 (M = 7,5), dan gempa Cianjur (Mw 6,7). Gempa yang besar ini menimbulkan kerugian dan korban jiwa akibat kerusakan infrastruktur dan kegagalan struktur akibat ketidakmampuan struktur dalam menahan gaya gempa yang terjadi. Dalam merencanakan desain suatu bangunan gedung harus mempertimbangkan beberapa

syarat dan ketentuan sesuai SNI 1726 2019 tentang ketahanan gempa agar bangunan yang direncanakan mampu menahan beban gempa yang terjadi, Oleh karena itu dalam penelitian ini akan membandingkan bangunan gedung beton bertulang berlantai tiga yang dimodelkan sebagai rusun dengan dua sistem struktur penahan gaya seismik yang berbeda yaitu Model I menggunakan *dual system shearwall* dan Model II menggunakan *coupling beam* yang pembebanannya diatur pada SNI dan PPURG1987.

Adapun Perilaku kinerja struktur yang dibandingkan ialah sebagai Berikut:

a. Periode fundamental struktur

Periode fundamental atau periode getar alami struktur (T) ditinjau tidak boleh melebihi hasil koefisien pada batasan atas periode yang dihitung C_u dan periode alami pendekatan (T_a), yang dihitung berdasarkan persamaan, Kofisien untuk batas atas ditentukan berdasarkan parameter percepatan respon spektral desain pada 1 detik atau S_{DI} .

b. Pusat masa kekakuan dan eksentrisitas (*Center of mass rigidity and Eccentricity*)

Keseragaman bentuk bangunan baik bentuk simetris asimetris dan bentang bangunan yang panjang menimbulkan eksentrisitas yang beragam sesuai dengan perilaku kinerja gedung dalam menahan beban hal ini perlu memperhitungkan pusat massa dan kekakuan yang menimbulkan efek eksentrisitas, untuk meninjau eksentrisitas tersebut dapat dilakukan melalui perhitungan sebagai berikut:

Untuk $0 < e \leq 0,3b$

$ed = 1,5e + 0,05b$ atau

$ed = e - 0,05b$

Untuk $e > 0,3b$

$ed = 1,3e + 0,1$ atau

$ed = 1,17 - 0,1b$

Dimana:

b = adalah ukuran horizontal terbesar denah struktur pada lantai gedung yang ditinjau, tegak lurus arah pembebanan gempa.

ed = selisih antara pusat massa dan pusat kekakuan pada lantai gedung yang ditinjau.

a. Jumlah ragam (*participating mass ratio*)

Analisis jumlah ragam getar alami struktur untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing masing arah horizontal dari respons yang ditinjau oleh model.

b. Gaya geser dasar seismik (*base shear*)

Berdasarkan SNI untuk menentukan gaya geser dasar seismik desain menggunakan perhitungan berikut:

$$V = C_s \times W$$

Dimana:

V = Gaya geser dasar seismik

C_s = Kofiesien respon seismik

W = Berat total gedung meliputi beban mati dan beban hidup

Nilai gaya geser dasar seismik agar mencapai yang paling kritis maka arah pembebanan ditetapkan 100% arah ditinjau dan 30% arah orthogonal horizontal dari arah yang ditinjau kombinasi pembebanan dan apabila gaya reaksi dasar gedung V_t kurang 100% dari gaya geser V maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t . Simpangan antar tingkat (*story drift*)

Simpangan antar tingkat (Δ_a) ialah sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan bawah tingkat yang ditinjau, dan tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ)

sebagaimana diatur dalam SNI 1726 2019 nilai simpangan antar tingkat izin yang dipakai pada kedua analisis ini ialah $0,020h_{sx}$, dimana h_{sx} ialah tinggi tingkat di bawah $-x$ dan

karena pada penelitian kali ini menggunakan KDS D, (Δ) tidak boleh melebihi Δ_a/ρ dan faktor reduksi ρ harus ditentukan sesuai 7.3.4.2 SNI 1726 2019.

c. Ketidakberaturan (*irregularitie*)

Tezcan 1998 yang dikutip dalam jurnal (Inan and Korkmaz, 2011) yang mengatakan bahwa ketidakberaturan ini harus didasarkan pada konfigurasi vertikal dan horizontal seperti diskontinuitas distribusi massa, konfigurasi element struktural pada sumbu non-parallel, simpangan antar lantai, kolom pendek dan lain sebagainya, ketidakberaturan ini juga diatur dalam SNI pada penelitian ini meninjau ketidakberaturan

- Torsi (*displacement*)

Ketidakteraturan torsi ini termasuk ketidakberaturan horizontal, dan ditinjau dari terjadinya perbedaan nilai perpindahan atau *displacement* antar tingkat maksimum pada sebuah ujung struktur dengansimpangan rata rata dikali 1,2 dan 1,4 dari nilai perpindahan atau *displacement* di kedua ujung struktur.

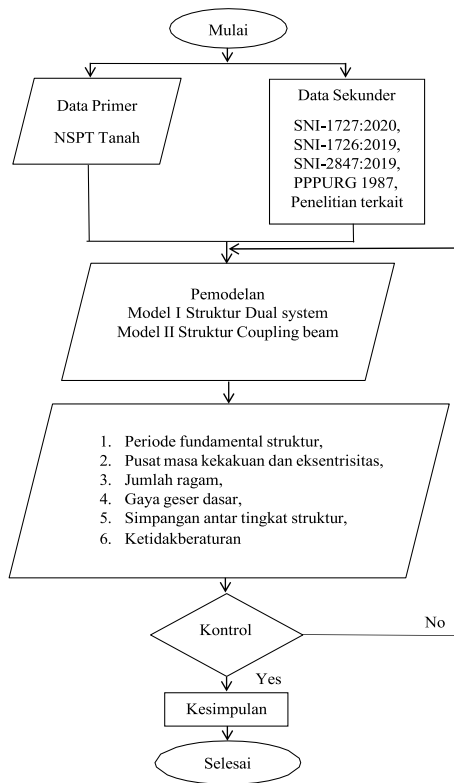
- Kekakuan tingkat lunak (*Story stiffnes*)

Ketidakteraturan ini termasuk ketidakberaturan vertical dimana ketidakberaturan ini ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau juga kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam skripsi ini yaitu menggunakan metode analisis kuantitatif dengan menggunakan pendekatan deskriptif yang berfokus pada perilaku kinerja elemen struktur terhadap gempa pada gedung rusun tiga lantai menggunakan sistem penahan gaya seismik *Dual system shearwall* dan *couplingbeam*. Dalam pemodelan gedung rumah susun tiga lantai ini sebagaimana dalam merencanakan desain struktur sebuah gedung, pemodelan struktur ini dibantu dengan menggunakan program *software* analisis struktur dan analisis perhitungannya dibantu menggunakan program *Ms.Excell*.

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah evaluasi, dinamakan metode evaluasi karena pada penelitian ini melakukan analisis terhadap penilaian suatu hasil atau penyelesaian masalah pada kondisi yang telah selesai dilaksanakan. Adapun kerangka pemikiran dari penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Kerangka Pemikiran
 Sumber : Analisis Mandiri (2023)

1. Metode Penelitian

a. Metode Pengumpulan Data

Data yang diperoleh dari penelitian ini ialah data primer dan data sekunder adapun data primer ini hanya perhitungan Nilai NSPT Tanah untuk kelas situs tanah dari data untuk wilayah indramayu, adapun data sekunder yang dikumpulkan adalah:

- 1) Gambar struktur bangunan rusun gedung beton bertulang tiga lantai,
- 2) SNI-1727:2020 Tentang Beban Desain Minimum Dan Kriteria Untuk Gedung,
- 3) SNI-1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung
- 4) SNI-2847:2019 tentang persyaratan betonstruktural untuk bangunan gedung,
- 5) Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung SKBI 1.3.53.1987(PPPURG 1987.).

b. Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan analisis data kuantitatif yaitu kegiatan mengolah data dari-data yang sudah diperoleh pada tahapan pengumpulan data, pada tahap analisis data ini juga akan dilakukan pengelompokan data

supaya memudahkan dalam proses analisis data. Cara melakukan analisis data berdasarkan pola pikir/kerangka pemikiran yaitu pengolahan data sekunder yang berkaitan dengan rumusan masalah.

1. Membandingkan bangunan gedung beton bertulang berlantai tiga yang dimodelkan sebagai rusun dengan Model I menggunakan *dual system shearwall*.

2. Membandingkan bangunan gedung beton bertulang berlantai tiga yang dimodelkan sebagai rusun dengan Model II menggunakan *coupling beam*.

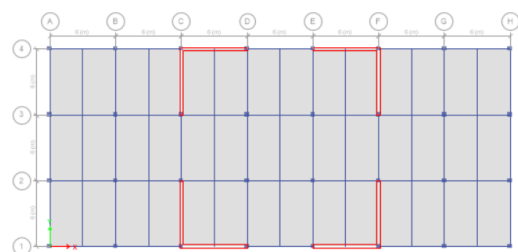
c. Metode Pembahasan Hasil Analisis

Setelah diperoleh hasil penelitian pada tahap analisis data maka selanjutnya dilakukan pembahasan hasil analisis untuk memastikan apakah penelitian yang telah selesai dilakukan sudah memenuhi tujuan penelitian yang dibuat pada Bab I dan apakah sudah berjalan sesuai dengan metode yang sudah dibuat pada Bab III. Pembahasan analisis data ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

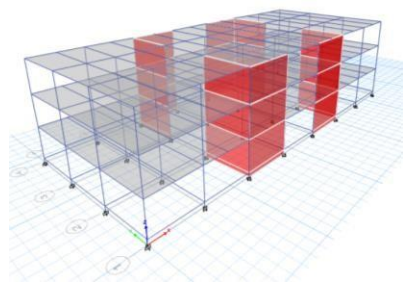
1. Pemodelan Struktur secara 3 dimensi

Pemodelan struktur secara tiga dimensi menggunakan software analisa struktur yang kemudia dimasukan beberapa data analisis,dan parameter struktur sesuai SNI 1726 2019 yaitu pada Model I menggunakan sistem penahan gaya seismik sistem ganda rangka pemikul momen khusus dengan dinding struktural khusus, kemudian Model II menggunakan sistem penahan gaya seismik rangka bangun dinding struktural khusus.

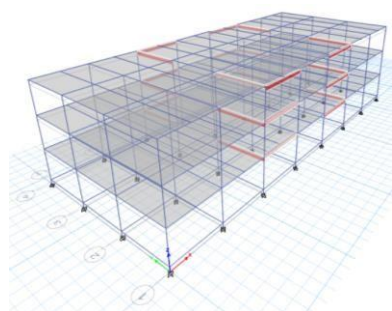
Struktur gedung memiliki tiga lantai dengan bentang arah *x* 42m dan bentang arah *y* 18m.



Gambar 2. Denah Struktur bangunan gedung rusun tiga lantai
 Sumber : Pemodelan Mandiri (2023)



Gambar 3. Model I *Dual system shearwall*
Sumber : Pemodelan Mandiri (2023)



Gambar 4. Model II *Coupling beam*
Sumber : Pemodelan Mandiri (2023)

2. Pembahasan Hasil Analisis Perbandingan *Perioda fundamental* struktur, pusat masa kekakuan dan eksentrisitas, gaya geser dasar (*base shear*), simpangan antar tingkat (*story drift*), ketidakberaturan (*irregularities*) antara model I dan II.

Hasil perbandingan Model I dengan *dual system shearwall* dan Model II dengan *coupling beam* dicari nilai efektifitas kedua perbandingan model tersebut, dimana nilai *perioda fundamental*, pusat kekakuan dan eksentrisitas, gaya geser dasar (*base shear*), simpangan antar tingkat (*story drift*), dan ketidakberaturan (*irregularities*) yang mengacu syarat minimum pada SNI 1726-2019. Selain itu parameter gempa akan dijelaskan pada tabel gempa untuk wilayah Kota Indramayu. Hasil yang efisien untuk kedua perbandingan yang sudah dimodelkan akan menjadi acuan bagi para perencana system mana yang efektif digunakan sistemnya, sehingga bisa membantu perencana saat mendesain.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pembahasan Hasil Pemodelan Struktur secara 3 Dimensi (Analisis Respon Spektra)

Pada prosedur analisis ini menggunakan respon spektra. Dimana Respon spektra yang dimaksudkan adalah suatu gambar yang disajikan dalam bentuk grafik yang berhubungan dengan periode getar struktur (T) terhadap percepatan. Pada SNI 1726-2019, analisis respon tersebut memiliki beberapa parameter yang harus ditentukan yaitu parameter percepatan gempa sesuai lokasi penelitian, kategori resiko, faktor keutamaan, kelas situs, koefisien situs, kategori desain seismik, spektrum respon desain, dan sistem penahan gaya seismik, berikut adalah nilai-nilai parameter dalam bentuk tabel berikut ini:

Tabel 1. Tabel Beban Gempa
Penentuan Respon Spektra Untuk Kota
Indramayu

1. Penentuan Kategori Resiko Bangunan	
Kategori Resiko	II
Faktor Keutamaan gempa	1
2. Kelas situs	SE (tanah lunak)
NSP-T	
3. Koefisien situs	
Fa	1,665073
Fv	2,927625
SMS	0,868884
SM1	0,803672
4. Percepatan Spektral Desain	
SDS	0,579256
SD1	0,535781
5. Kategori Desain Seismik	D
6. Spektrum Respon Desain	
T0	0,184989
Ts	0,924947

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023

Beban gempa tersebut dimasukkan kedalam *software* analisa struktur kemudian dimodelkan dengan beberapa syarat dan parameter sesuai SNI 1726 2019, output tersebut kemudian dianalisis menggunakan

perhitungan dan kemudian menghasilkan nilai dan pembahasan.

2. Pembahasan Hasil Analisis Perbandingan Periode fundamental struktur, pusat masa kekakuan dan eksentrisitas, gaya geser dasar (*base shear*), simpangan antar tingkat (*story drift*), ketidakberaturan (*irregularities*) antara model I dan II.

Periode getar struktur atau T Getar yang di tinjau tidak boleh melebihi hasil koefisien pada batasan atas periode yang dihitung Cu dan periode alami pendekatan (Ta), yang dihitung berdasarkan persamaan, Kofisien untuk batas atas ditentukan berdasarkan parameter percepatan respon spektral desain pada 1 detik SD1 = 0,535781 Maka didapat nilai Cu = 1,4. Dua pemodelan struktur tersebut menggunakan nilai n nilai Ct dan x yang sama yaitu:

1. Ct = 0,0488
2. x = 0,75

Maka nilai periode getar alami pada Model I *dual system shearwall* dan pada Model II *coupling beam* memiliki nilai yang sama yaitu:

- a. Ta (min) = Ct.hx
0,0488 x 11,3 x (0,75)
- b. Ta (max) = Cu.Ta min
= 1,4 x 0,4132
= 0,421 detik

Hasil dari output *software* analisis struktur yang terlampir pada lampiran. Pada Model I *dual system shearwall* bahwa pola getar 1 bertranslasi pada sumbu y sebesar = 0,7522 detik dan sumbu x sebesar = 0,7521 detik sehingga ditetapkan $t_{cx} = 0,7522$ detik dan $t_{cy} = 0,7521$ detik.

Namun pada model II *coupling beam*, hasil output analisis struktur menunjukkan nilai yang berbeda pada pola getar 1 bertranslasi pada sumbu y sebesar = 0,7137 detik dan sumbu x sebesar = 0,6625 detik sehingga ditetapkan $t_{cx} = 0,6625$ detik dan $t_{cy} = 0,7137$ detik.

2.1. Pusat massa kekakuan dan eksentrisitas (*Center of mass rigidity and Eccentricity*)

Resiko kerusakan bangunan terhadap gempa yang diakibatkan ketidakberaturan bentuk serta denah bangunan gedung yang terlalu panjang maka perlu di tinjau keseragaman yang terjadi yang menimbulkan efek eksentrisitas yang berbeda beda. Peninjauan eksentrisitas ed antara pusat massa terhadap pusat rotasi kekakuan, berikut adalah tabel

nilai eksentrisitas yang terjadi dari Model I *dual system shearwall* dan Model II *coupling beam*:

Tabel 2. Eksentrisitas Model I

Lantai	Dipilih	Masa ton	Koordinat				Eksentrisitas	
			Pusat Massa		Pusat Kekakuan		eX	eY
			X m	Y m	X m	Y m		
1	D1	537 466,2	21,5	9,0	21,0	9,0001	0,15	0,05
2	D2	499 470,2	21,2	9,2	21,0	9,004	0,0	0,0
3	D3	427 968,2	21,2	9,2	21,0	9,008	0,0	0,0

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023

Tabel 3. Eksentrisitas Model II

Lantai	Dipilih	Masa ton	Koordinat				Eksentrisitas	
			Pusat Massa		Pusat Kekakuan		eX	eY
			X m	Y m	X m	Y m		
1	D1	492 737,8	20,9	8,9	21,0	9,003	0,0	0,1
2	D2	459 110,2	20,9	8,9	20,94	8,828	0,05	0,09
3	D3	392 953,2	21,0	9,1	20,94	8,815	0,06	0,08

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023

Tabel diatas menunjukkan bahwasannya eksentrisitas pada model I arah x dan y sama dengan 0 walaupun pada arah X menghasilkan 0,15 tapi masih dalam tahap aman karena tidak lebih dari 10% dari 21m yaitu 2,1m, begitupun yang terjadi pada tabel 3 model II *coupling beam* nilai eksentrisitas yang dihasilkan 0 kendati nilai lebih besar dari pada model I dengan *shearwall*, Eksentrisitas dari kedua model tersebut masih aman dan bangunan tersebut tidak perlu di dilatasi.

2.2. Jumlah ragam (*Participating mass ratio*)

Jumlah ragam getar alami struktur untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal dari respons yang ditinjau oleh model, Berikut adalah pola ragam geser yang diperoleh pada Model I dan Model II yang dihasilkan melalui *software* program analisis struktur:

Tabel 4. Jumlah Ragam Model I

Mode	Period sec	SumUX	SumUY
1	0,15	0	0,7521
2	0,15	0,7522	0,7521
3	0,141	0,7522	0,7521
4	0,047	0,7563	0,8051
5	0,047	0,8794	0,8223
6	0,047	0,8932	0,8932
7	0,029	0,8932	0,8932
8	0,028	0,8936	0,9063
9	0,028	0,9066	0,9067
10	0,016	0,9066	0,9067
11	0,016	0,9074	0,9067
12	0,016	0,9074	0,9096

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023

Tabel 5. Jumlah Ragam Model II

Mode	Period sec	SumUX	SumUY
1	0,535	0,0001	0,7137
2	0,527	0,6627	0,7146
3	0,517	0,7215	0,7184
4	0,195	0,7215	0,851
5	0,193	0,8505	0,851
6	0,186	0,8518	0,8511
7	0,106	0,8518	0,906
8	0,106	0,906	0,906
9	0,098	0,906	0,906
10	0,008	0,906	0,906
11	0,008	0,906	0,906
12	0,008	0,906	0,906

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023

Kedua model tersebut sama-sama menggunakan 12 pola ragam dan didapatkan hasil pada model I *dual system* dengan *shearwall* pola getar ke-9 menunjukkan

partisipasi massa sebesar 0,9066 pada arah x dan 0,9067 pada arah y, sedangkan pada model II dengan *coupling beam* pada pola getar ke-8 menunjukkan partisipasi massa sebesar 0,906 pada arah x dan pada arah y.

2.3. Gaya geser dasar (*Base shear*)

Koefisien respons seismik ditentukan sesuai SNI 1276 2019, Pada Model I *dual system shearwall* didapatkan nilai koefisien respon seismik ialah:

Koefisien Respons Seismik

$$C_s = SDS / (R/I_e) = 0,0828$$

$$\text{Batas Atas } C_{s,max} = S_{DI}/(T_x(R/I_e))$$

$$C_{s,max,X} = 0,1018$$

$$C_{s,max,Y} = 0,1018$$

$$\text{Batas Bawah } C_{smin1} = 0,044 SDS I_e \geq 0,01 = 0,0255$$

Batas Bawah (dipakai jika $S1 \geq 0,6 g$)

$$C_{smin2} = 0,5 S1 / (R/I_e)$$

$$= 0,0196$$

Sehingga Koefisien Respons Seismik yang di pakai ialah $C_{s,arah x} = 0,0828$ $C_{s,arah y} = 0,0828$

Untuk Model II *coupling beam* didapatkan nilai koefisien respon seismik ialah:

Koefisien Respons Seismik

$$C_s = SDS/(R/I_e) = 0,0965$$

$$\text{Batas Atas } C_{s,max} = SD1/(T_x(R/I_e))$$

$$C_{s,max,X} = 0,1348$$

$$C_{s,max,Y} = 0,1251$$

$$\text{Batas Bawah } C_{smin1} = 0,044 SDS I_e \geq 0,01 = 0,0255$$

Batas Bawah (dipakai jika $S1 \geq 0,6 g$)

$$C_{smin2} = 0,5 S1 / (R/I_e)$$

$$= 0,0229$$

Sehingga Koefisien Respons Seismik yang di pakai ialah $C_{s,arah x} = 0,0965$ $C_{s,arah y} = 0,0965$.

Untuk menentukan gaya geser dasar seismik memerlukan berat dari struktur bangunan tersebut, berat struktur tersebut, berikut adalah tabelnya :

Tabel 6. Berat bangunan (W)

Lantai	Model I	Model II
	Ton	Ton
Story3	427,97	400,83
Story2	499,47	466,98
Story1	537,47	500,57
Base	154,82	142,32
Σ	1619,72	1510,7

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023

Dari koefisien seismik dan berat bangunan diatas kemudian dihitung gaya geser dasar seismik (V) dan dibandingkan dengan gaya geser dasar reaksi gedung (V_t), berikut adalah tabelnya:

Tabel 7. Gaya geser dasar seismik (V)

Sumbu	Model I	Model II
	(Ton)	(Ton)
X	134,11	145,783
Y	134,11	145,783

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023

Tabel 8. Gaya geser dasar reaksi gedung (V_t)

CASE TYPE	Model I		Model II	
	X (ton)	Y (ton)	X (ton)	Y (ton)
LinRespS pec	920,6	0,077	1285,1	4,6424
LinRespS pec	64	6	21	4,6424
LinRespS pec	0,077	919,4	4,6487	1285,1
LinRespS pec	5	3	12	12

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023

Tabel 9. Faktor skala (V_t/V)

Model I		Model II	
X (ton)	Y (ton)	X (ton)	Y (ton)
V_t/V		V_t/V	
6,86	6,86	8,82	8,82

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023

Gaya geser dasar seismik V yang terjadi pada Model I arah x sebesar 920,664 ton dan pada arah y sebesar 919,43 ton kemudian pada Model II arah x sebesar 1285,121 ton dan arah y sebesar 1285,112 ton, nilai V lebih besar dibandingkan gaya geser reaksi dasar gedung V_t , Pada Model I dan Model II arah x 134,11 ton dan pada arah y 145,783 ton.

2.3. Simpangan antar tingkat (Story drift)

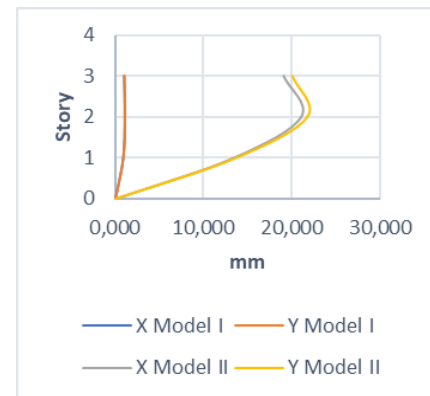
Simpangan antar tingkat (Δ) harus dihitung perbedaan antara simpangan pada pusat massa diatas dan simpangan dibawahnya ,dan nilai tersebut tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a).Begitu juga simpangan antar tingkat harus menggunakan nilai Faktor pembesaran defleksi, Faktor keutamaan gempa, dan faktor redudansi sesuai dengan sistem penahan gaya seismik yang dipakai,

Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan simpangan antar tingkat Model I dan Model II :

Tabel 10. Simpangan antar tingkat (Δ)

Story	Inelastic Drift Model I		Inelastic Drift Model II	
	Δ_x	Δ_y	Δ_x	Δ_y
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
3	1,0395	1,045	19,055	20,085
2	1,1275	1,122	21,075	21,795
1	0,9295	0,935	13,42	13,705

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023



Gambar 5. Grafik simpangan antar tingkat
Sumber : Pemodelan Mandiri (2023)

Simpangan antar tingkat Δ maksimal yang terjadi pada Model I arah Δ_x sebesar 1,1275 mm dan arah Δ_y 1,122 mm yang dimana simpangan yang di izinkan atau drift limit sebesar 55,385 mm, dan pada Model II Simpangan antar tingkat Δ maksimal yang terjadi arah Δ_x sebesar 21,075 mm dan arah Δ_y 21,795 mm yang dimana simpangan yang di izinkan atau drift limit sebesar 55,385 mm.

2.4. Ketidakberaturan (irregularities)

Ketidakberaturan adalah perilaku struktur yang harus dihindari karena tidak menguntungkan, terdapat dua ketidakberaturan dalam struktur yaitu horizontal dan vertikal:

a. Torsi (displacement)

Ketidakberaturan torsi ini ditinjau dari terjadinya perbedaan nilai perpindahan atau *displacement*, berikut adalah tabelnya:

Tabel 11. Displacement Model I arah x

Story	Δ_a	Δ_{ai}	Δ_b	Δ_{Bi}	$\frac{\Delta_{MA}}{X}$	$\frac{1,4\Delta_{AV}}{RG}$
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
3	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,271
	78	94	78	94	94	6
2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,294
	84	1	84	1	1	
1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,243
	74	74	74	74	74	6

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023

Tabel 12. Displacement Model I arah y

Story	Δ_a	Δ_{ai}	Δ_b	Δ_{Bi}	$\frac{\Delta_{MA}}{X}$	$\frac{1,4\Delta_{AVE}}{RAGE}$
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
3	0,6	0,2	0,6	0,2	0,2	0,3003
	43	14	48	15	15	
2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,2	0,3276
	29	33	33	35	35	
1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2758
	96	96	98	98	98	

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023

Tabel 13. Displacement Model II arah x

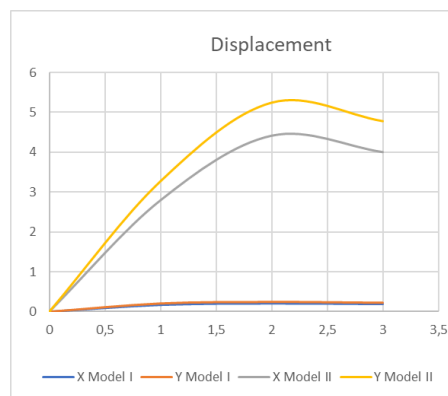
Story	Δ_a	Δ_{ai}	Δ_b	Δ_{Bi}	$\frac{\Delta_M}{AX}$	$\frac{1,4\Delta_{AVE}}{RAGE}$
	mm	m	m	m	m	mm
3	11,2	4,0	10,	3,8	4,0	5,5118
	17	05	93	69	05	
2	7,21	4,4	7,0	4,3	4,4	6,1061
	2	17	65	06	17	
1	2,79	2,7	2,7	2,7	2,7	3,8878
	5	95	59	59	95	

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023

Tabel 14. Displacement Model II arah y

Story	Δ_a	Δ_{ai}	Δ_b	Δ_{Bi}	$\frac{\Delta_M}{AX}$	$\frac{1,4\Delta_{AV}}{ERAGE}$
	mm	m	mm	m	m	mm
3	12,	4,6	13,	4,7	4,7	6,5751
	873	18	281	75	75	
2	8,2	5,0	8,5	5,2	5,2	7,2065
	55	57	06	38	38	
1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	4,5262
	98	98	68	68	68	

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023



Gambar 6. Grafik Displacement
Sumber : Pemodelan Mandiri (2023)

Nilai perpindahan maksimal yang terjadi pada Model I tidak lebih besar dari 1,4 nilai perpindahan rata rata, dimana nilai Δ_{MAX} pada story 1 arah x 0,174 mm tidak lebih besar dari nilai $1,4\Delta_{AVERAGE}$ yaitu 0,2436 mm begitu juga pada arah y Δ_{MAX} pada story 1 sebesar 0,198 mm tidak lebih besar dari nilai $1,4\Delta_{AVERAGE}$ yaitu 0,2758 mm dan story di atasnya pun sama nilai Δ_{MAX} tidak lebih besar dibandingkan dengan $1,4\Delta_{AVERAGE}$. Pada Model II sama tidak lebih besar dari 1,4 nilai perpindahan rata rata, dimana nilai Δ_{MAX} pada story 1 arah x 2,795 mm tidak lebih besar dari nilai $1,4\Delta_{AVERAGE}$ yaitu 3,8778 mm begitu juga pada arah y Δ_{MAX} pada story 1 sebesar 0,3268 mm tidak lebih besar dari nilai $1,4\Delta_{AVERAGE}$ yaitu 4,5262 mm dan story di atasnya pun sama nilai Δ_{MAX} tidak lebih besar dibandingkan dengan $1,4\Delta_{AVERAGE}$.

b. Kekakuan tingkat lunak (*Story stiffnes*)
Ketidakberaturan ini termasuk ketidakberaturan vertikal dimana ketidakberaturan ini ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari syarat yang ditentukan dalam SNI 1726 2019, berikut adalah tabelnya:

Tabel 15. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak Model I

Story	Arah X	Arah Y
	Kekakuan	Kekakuan
	kN/m	kN/m
3	1375,345	1375,345
2	2469,104	2469,104
1	3095,8	3095,8
Base	3117,815	3117,815

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023

Tabel 16. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak Model II

Story	Arah X	Arah Y
	Kekakuan kN/m	Kekakuan kN/m
3	93,8083	54,9611
2	1591,459	2414,514
1	4227,117	5263,189
Base	2172,301	2140,24

Sumber: Olahan penelitian mandiri 2023

Dari hasil analisis menunjukkan bahwasanya nilai tingkat kekakuan dari Model I dual system shearwall arah x story base sebesar 3117,8146 kN/m lebih dari 70% dari story di atasnya sebesar 3095,7997 kN/m dan juga nilai rata rata kekakuan tingkat lateral di atasnya juga tidak kurang dari 80% ,dan arah y story base sebesar 3117,8184 kN/m lebih dari 70% dari story di atasnya sebesar 3095,7999 kN/m dan juga nilai rata rata kekakuan tingkat lateral di atasnya juga tidak kurang dari 80% begitupun pada nilai kekakuan tingkat lateral di atasnya, Pada Model II *coupling beam* pada base terjadi ketidakberaturan vertikal tipe 1b pada story base karena arah x sebesar 2172,301 kN/m kurang dari 70% dari story di atasnya sebesar 4227,1171 kN/m, namun nilai rata-rata kekakuan tingkat lateral di atasnya tidak kurang dari 80%, dan arah y story base sebesar 2140,2402 kN/m kurang dari 70% dari story di atasnya sebesar 5263,1893 kN/m namun nilai rata-rata kekakuan tingkat lateral di atasnya tidak kurang dari 80%. Ketidakberaturan vertikal tipe 1b ini hanya pada story base, story di atasnya aman dan memenuhi syarat, ketidakberaturan tipe 1b berarti nilai kekakuan sebarang tingkat kurang dari 60% dari kekakuan tingkat di atasnya tapi dengan terjadinya ketidakberaturan vertikal 1b ini masih di izinkan karena bangunan direncanakan pada kategori desain seismik D.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada Model I *dual system shearwall* dan Model II *coupling beam* maka dapat disimpulkan bahwa periode fundamental struktur pada Model I terjadi pada pola getar (*mode shape*) 1 bertranslasi pada sumbu y sebesar = 0,7522 detik dan sumbu x sebesar =

0,7521 detik sehingga diditetapkan $t_{cx}= 0,7522$ detik dan $t_{cy} = 0,7521$ detik.dan pada model II, pada pola getar 1 bertranslasi pada sumbu y sebesar = 0,7137 detik dan sumbu x sebesar = 0,6625 detik sehingga diditetapkan $t_{cx}= 0,6625$ detik dan $t_{cy} = 0,7137$ detik. Pusat masa kekakuan dan eksentrisitas pada model I arah x dan y sama dengan 0 walaupun pada arah x menghasilkan 0,15 tapi masih dalam tahap aman karena tidak lebih dari 10% dari 21m yaitu 2,1m, begitupun yang terjadi pada Model II *coupling beam* nilai eksentrisitas yang dihasilkan 0 kendrai nilai lebih besar dari pada model I dengan *shearwall*, eksentrisitas dari kedua model tersebut masih terpenuhi dan bangunan tersebut tidak perlu di dilatasi. Jumlah ragam pada model I *dual system shearwall* pola getar ke-9 menunjukkan partisipasi massa sebesar 0,9066 pada arah X dan 0,9067 pada arah Y, sedangkan pada model II dengan *coupling beam* pada pola getar ke-8 menunjukkan partisipasi massa sebesar 0,906 pada arah X dan pada arah Y, maka pola ragam getar yang didapatkan sesuai dengan kaidah SNI 1726-2019 yaitu lebih besar dari > 90% yang ditentukan. Gaya geser dasar seismik V yang terjadi pada Model I arah x sebesar 920,664 ton dan pada arah y sebesar 919,43 ton kemudian pada Model II arah x sebesar 1285,121 ton dan arah y sebesar 1285,112 ton, nilai V lebih besar dibandingkan gaya geser reaksi dasar gedung V_t , Pada Model I dan Model II arah x 134,11 ton dan pada arah y 145,783 ton, Simpangan antar tingkat Δ maksimal yang terjadi pada Model I arah Δ_x sebesar 1,1275 mm dan arah Δ_y 1,122 mm yang dimana simpangan yang di izinkan atau drift limit sebesar 55,385 mm, dan pada Model II Simpangan antar tingkat Δ maksimal yang terjadi arah Δ_x sebesar 21,075 mm dan arah Δ_y 21,795 mm yang dimana simpangan yang di izinkan atau drift limit sebesar 55,385 mm, kedua model tersebut masih dalam batas tidak melebihi simpangan yang di izinkan atau drift limit. Nilai perpindahan maksimal atau displacement yang terjadi pada Model 1 nilai Δ_{MAX} pada story 1 arah x 0,174 mm tidak lebih besar dari nilai $1,4\Delta_{AVERAGE}$ yaitu 0,2436 mm begitu juga pada arah y Δ_{MAX} pada story 1 sebesar 0,198 mm tidak lebih besar dari nilai $1,4\Delta_{AVERAGE}$ yaitu 0,2758 mm dan story di atasnya pun sama nilai Δ_{MAX} tidak lebih besar dibandingkan dengan $1,4\Delta_{AVERAGE}$ hal ini menunjukkan pada bangunan gedung model I

dual system shearwall tidak mengalami ketidakberaturan torsi, dan pada Model II juga sama tidak lebih besar dari 1,4 nilai perpindahan rata rata, dimana nilai Δ_{MAX} pada story 1 arah x 2,795 mm tidak lebih besar dari nilai $1,4\Delta_{AVERAGE}$ yaitu 3,8778 mm begitu juga pada arah y Δ_{MAX} pada story 1 sebesar 0,3268 mm tidak lebih besar dari nilai $1,4\Delta_{AVERAGE}$ yaitu 4,5262 mm dan story di atasnya pun sama nilai Δ_{MAX} tidak lebih besar dibandingkan dengan $1,4\Delta_{AVERAGE}$ yang artinya Model II *coupling beam* tidak mengalami ketidakberaturan torsi.

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada dari hasil analisis menunjukkan bahwasanya nilai tingkat kekakuan dari Model I *dual system shearwall* arah x *story base* sebesar 3117,8146 kN/m lebih dari 70% dari story di atasnya sebesar 3095,7997 kN/m dan juga nilai rata rata kekakuan tingkat lateral di atasnya juga tidak kurang dari 80% , dan arah y *story base* sebesar 3117,8184 kN/m lebih dari 70% dari story di atasnya sebesar 3095,7999 kN/m dan juga nilai rata rata kekakuan tingkat lateral di atasnya juga tidak kurang dari 80% begitu pun pada nilai kekakuan tingkat lateral di atasnya, Pada Model II *coupling beam* pada base terjadi ketidakberaturan vertikal tipe 1b pada *story base* karena arah x sebesar 2172,301 kN/m kurang dari 70% dari story di atasnya sebesar 4227,1171 kN/m namun nilai rata rata kekakuan tingkat lateral di atasnya tidak kurang dari 80%, dan arah y *story base* sebesar 2140,2402 kN/m kurang dari 70% dari story di atasnya sebesar 5263,1893 kN/m namun nilai rata rata kekakuan tingkat lateral di atasnya tidak kurang dari 80%, ketidakberaturan vertikal tipe 1b ini hanya pada *story base*, story di atasnya aman dan memenuhi syarat dan ketentuan. Ketidakberaturan tipe 1b berarti nilai kekakuan sebarang tingkat kurang dari 60% dari kekakuan tingkat di atasnya tapi dengan terjadinya ketidakberaturan vertikal 1b ini masih di izinkan karena bangunan direncanakan pada kategori desain seismik D. Berdasarkan hasil kesimpulan yang didapat dari analisis yang dilakukan bahwa kedua model tersebut dua duanya memenuhi syarat dan ketentuan sesuai kaidah yang berlaku, namun Sistem Ganda dengan *shearwall* mempunyai nilai kinerja yang lebih baik dari pada sistem penahan gaya seismik dengan *coupling beam* hal ini dibuktikan dengan

beberapa perbandingan dan perbedaan dari Periode fundamental struktur, Jumlah ragam, pusat masa kekakuan dan eksentrisitas, gaya geser dasar, simpangan antar tingkat struktur, serta perilaku ketidakberaturan terhadap gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Rohadi, S., *Studi Seismotektonik Sebagai Indikator Potensi Gempa Bumi di Wilayah Indonesia, Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 10(2). 111-120.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN, 2019.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). *Pedoman Perencanaan dan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Deppu, 1987.
- Durachman, A. (2022). Analisis Jarak Dilatasi Struktur Bangunan Menggunakan Sistem Dilatasi Dua Kolom. *Jurnal rekayasa infrastruktur Universitas Wiralodra*, (8). 19-20.
- Masena, P dan Nuntiyakul, P. (2014). Quality Service Management in Hospitals Under The Ministry of Public Health. *Journal of Easterb Asia University*, 4 (1). 88-100.