

Perbandingan respon struktur *frame wall* dan *frame global bracing* gedung 6 lantai akibat beban gempa dengan metode respon spektrum

Bayu Muhammad Iqbal^{1*}, Yunalia Muntafi²

^{1,2}Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Earthquake
Frame wall and bracing
Multi-storey building
Structural response
Spectrum response

Corresponding Author:

Bayu Muhammad Iqbal
21511091@students.uii.ac.id

Abstract

Indonesia is a country located in the Ring of Fire and is situated on four tectonic plates, making it prone to earthquakes. Rengasdengklok is one of the regions in Indonesia that is highly susceptible to seismic disasters and is close to the active Baribis fault. The planning of multi-story buildings in earthquake-prone areas must account for seismic loads to prevent structural failure. There are two types of lateral force-resisting systems: frame walls and global bracing frames. This research aims to compare structural responses using three types of bracing systems. The responses include base shear values, horizontal and vertical irregularities, inter-story drift, and structural stability. The model will utilize the Regional General Hospital of Rengasdengklok, incorporating shear wall type I (model 1), X-bracing (model 2), and inverted V-bracing (model 3). The analysis method employed is the response spectrum method, using ETABS V.22 software. The findings indicate that the largest base shear values occur in the following order: X-bracing, inverted V-bracing, and shear wall type I. All three models exhibit horizontal irregularity type 1a and angular irregularity in the Y direction, as well as vertical irregularities types 1a and 2. Based on inter-story drift values, all three structures exceed permissible limits in the X direction on the 3rd and 4th floors, while remaining within safe limits in the Y direction. Finally, the stability analysis shows that all three structures possess good stability and do not exceed limits.

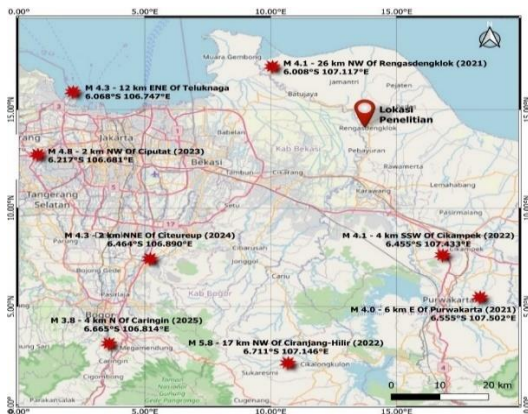
Copyright © 2025 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar belakang

Indonesia merupakan negara yang berada di kawasan *Ring of Fire* dan berada pada empat lempeng tektonik yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Hindia-Australia, Lempeng Pasifik dan Lempeng Laut Filipina. Beradanya Indonesia di kawasan *Ring of Fire* dan empat lempeng tektonik mengakibatkan Indonesia sering dilanda gempa bumi, baik itu diakibatkan oleh jalur gempa atau pergeseran lempeng tektonik. Menurut Pawirodikromo (2012), gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi.

Rengasdengklok adalah salah satu wilayah di Indonesia. Menurut peta kawasan rawan bencana gempa bumi provinsi Jawa Barat yang diakses pada *website* Pusat Vulkanologi Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) tahun 2025, Rengasdengklok termasuk wilayah dengan tingkat rawan bencana gempa bumi tinggi. Selain itu, Rengasdengklok juga berdekatan dengan sesar aktif yaitu sesar Baribis. Berdasarkan data dari *United States Geological Survey* (USGS) tahun 2019 – 2025, terdapat beberapa kali terjadi gempa bumi di sekitar wilayah Rengasdengklok, episenter gempa yang terjadi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Beberapa episenter gempa di sekitar wilayah Rengasdengklok

Adanya ancaman bencana gempa bumi dan berdekatan dengan sesar aktif perlu dilakukannya perencanaan bangunan bertingkat yang memperhitungkan beban gempa. Terdapat dua jenis sistem pengaku struktur untuk meredam gaya gempa yang sering digunakan oleh insinyur struktur di Indonesia. Sistem pengaku struktur tersebut berupa *frame wall* dan *frame global bracing*. *Frame wall* merupakan pengaku struktur yang paling sering digunakan untuk meredam gaya lateral. Selain itu *frame global bracing* juga sering digunakan dalam perbaikan struktur pasca gempa bumi.

Menurut hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Fitriyati & Trimurtiningrum (2022), bresing tipe X-1 story memiliki hasil nilai simpangan, periode struktur, nilai 4 simpangan antar lantai dan P-delta yang lebih efisien dan aman bagi struktur bangunan dibandingkan dengan bresing tipe X-2 story dan struktur tanpa bresing. Sedangkan pada penelitian Indrastanto (2020) menunjukkan hasil penelitian bahwa bresing inverted-V lebih unggul dibandingkan dengan bresing tipe-V baik dari segi nilai *displacement* dan terbentuknya sendi plastis.

Berdasarkan penelitian tersebut, perlu dilakukan kajian terkait perbandingan respon struktur antara *frame wall* dan *frame global bracing*. Penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui perbedaan hasil respon struktur antara *frame wall* dan *frame global bracing*. Penelitian ini diharapkan

dapat memberikan gambaran dalam penentuan sistem pengaku struktur dalam perencanaan awal dan perbaikan struktur bangunan tahan gempa. Selain itu, penelitian ini dilakukan sebagai langkah awal untuk evaluasi struktur bangunan eksisting Rumah Sakit Umum Daerah Rengasdengklok untuk mengetahui respon struktur terhadap potensi bencana gempa bumi.

Penelitian ini menggunakan obyek bangunan rumah sakit Rengasdengklok dengan tiga jenis perkuatan struktur. Model yang akan digunakan berupa struktur eksisting dengan perkuatan *shearwall tipe I* (model 1), menggunakan *bracing tipe X-1 Story* (model 2), dan menggunakan *bracing inverted V* (model 3). *Bracing* yang akan digunakan berupa *bracing* baja untuk mempermudah pelaksanaan mengingat obyek yang digunakan berupa bangunan eksisting. Penempatan *bracing* akan ditempatkan persis menggantikan posisi *shearwall* dikarenakan umumnya posisi *shearwall* ditempatkan di posisi paling strategis dalam meredam gaya lateral yang terjadi. Penempatan sistem pengaku struktur yang sama juga dapat mempermudah mencari perbedaan pengaruh perubahan respon struktur akibat perubahan sistem pengaku struktur pada bangunan beton bertulang.

Analisis dinamik respons spektrum

Analisis respons spektrum merupakan metode analisis dinamik struktur bangunan menggunakan spektrum gempa yang digambarkan dalam bentuk grafik hubungan antara periode struktur bangunan dengan percepatan bangunan itu sendiri saat terkena gempa. Selain itu menurut Pawirodikromo (2012), respon spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T , lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu. Respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*Spectral Displacement, SD*), kecepatan maksimum (*Spectral Velocity, SV*), atau percepatan maksimum (*Spectral Acceleration, SA*)

suatu massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*Single Degree Freedom, SDOF*).

Periode struktur

Periode struktur yang dihasilkan harus kurang dari hasil koefisien batasan atas yang dihitung dari C_u dan periode fundamental pendekatan (T_a).

$$T_a = C_t h_n^x \quad (1)$$

$$T_{\max} = C_u \cdot T_a \quad (2)$$

Dengan:

C_t dan x = Didapatkan dari Tabel 18 SNI 1726 - 2019

h_n = Tinggi bangunan

C_u = Ditentukan dari Tabel 17 SNI 1726 - 2019

Base Shear

Base shear ialah gaya geser total yang terjadi di dasar struktur yang diakibatkan oleh beban gempa. Berdasarkan SNI 1726 2019 (BSN, 2019), nilai *base shear* statik ekuivalen harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$V = C_s \cdot W \quad (3)$$

Dengan:

C_s = Koefisien respons seismik (SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1)

W = Berat seismik efektif (kN)

Menurut SNI 1726 2019 (BSN, 2019) pasal 7.9.1.4.1, apabila *base shear* hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100% dari *base shear* statik (V) yang dihitung berdasarkan metode statik ekuivalen yaitu berdasarkan persamaan 1 di atas, maka *base shear* ragam harus di kalikan dengan V/V_t .

Simpangan antar lantai

Berdasarkan SNI 1726 2019 (BSN, 2019), untuk menentukan simpangan antar lantai desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas atau di bawah yang ditinjau. Simpangan pusat massa di tingkat-x (δ_x) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (4)$$

Dengan:

C_d = Faktor pembesaran defleksi (SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2)

δ_{xe} = simpangan di tingkat-x

I_e = Faktor keutamaan gempa (SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2)

Batasan nilai simpangan antar tingkat izin memiliki nilai berbeda-beda yang ditentukan berdasarkan jenis struktur serta kategori risiko bangunan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Simpangan antar lantai (Δ_a)

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari 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 tingkat	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Pengaruh P-delta

Berdasarkan SNI 1726 – 2019 (BSN, 2019) pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan jika nilai koefisien stabilitas (θ) seperti pada persamaan berikut kurang dari atau sama dengan 0,10.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (5)$$

Dengan:

P_x = Beban aksial total di tingkat-x
 Δ = Simpangan antar tingkat (mm)
 V_x = Gaya geser seismik di tingkat-x
 h_{sx} = Tinggi tingkat

Menurut SNI 1726 2019, nilai koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} yang dihitung dari persamaan berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (6)$$

Dengan:

β = Rasio kebutuhan geser sebesar 1

Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan obyek bangunan Rumah Sakit Umum Daerah Rengasdengklok 6 lantai dengan tiga permodelan struktur. Model yang dimaksud berupa struktur *shearwall tipe I* (model 1), *bracing tipe X-1 story* (model 2) dan *bracing Inverted V* (model 3). Penempatan *shearwall* ditempatkan sesuai kondisi eksisting, sedangkan posisi *bracing* ditempatkan mengganti posisi *shearwall*. Hal tersebut untuk mempermudah evaluasi terhadap perubahan sistem pengaku struktur. Ketiga model tersebut akan di analisis menggunakan *software* ETABS V.22 dengan metode dinamik respon spektrum. Penelitian ini mengacu pada SNI 1726-2019 (BSN, 2019) untuk beban gempa, SNI 1727 – 2020 (BSN, 2020) untuk beban gravitasi, AISC – 2011 untuk material baja. Lokasi obyek penelitian berada di Rengasdengklok dengan kondisi tanah lunak (SE) berdasarkan *soil investigation* dengan mutu

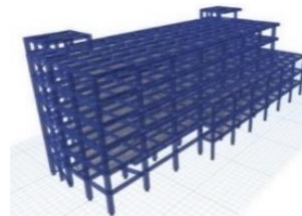
beton f'_c 30 MPa dan f_y tulangan 420 MPa, sedangkan untuk material baja *bracing* di ambil sebesar f_y 50 ksi dan f_u 65 ksi.

Hasil dan Pembahasan

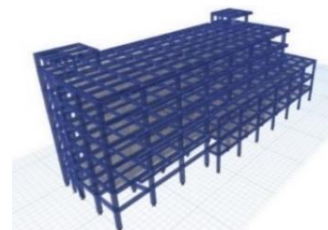
Pemodelan gedung pada *software* ETABS V.22 dapat dilihat pada Gambar 2 hingga Gambar 4.



Gambar 2. Struktur *Shearwall Tipe I* (Model 1)



Gambar 3. Struktur *Bracing Tipe X-1 Story* (Model 2)



Gambar 4. Struktur *Bracing Inverted V* (Model 3)

Massa Bangunan

Rekapitulasi massa bangunan pada ketiga model struktur dalam penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 2. Massa Bangunan

Lantai	Model 1 (kg)	Model 2 (kg)	Model 3 (kg)
8	108378,46	108378,46	108378,46
7	1007542,06	994370,43	993595,04
6	1359416,82	1332301,93	1330751,14
5	1353236,43	1326893,17	1325342,38
4	1821053,6	1791169,8	1789700,08
3	2046070,06	2016186,26	2014716,54
2	1594026,28	1566617,74	1565092,36
Base	150824,43	136587,52	135837,54
Total	9440548,14	9272505,31	9263413,54

Periode struktur

Rekapitulasi perhitungan Periode struktur yang dihitung berdasarkan Pers. (1) dan (2) serta periode struktur yang dihasilkan *software* ETABS V22 dari ketiga model struktur dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 3. Periode Struktur Arah X

Keterangan	Periode Struktur (detik)			
	T _a	T _{max}	T _{computer}	T _{Pakai}
Model 1	0,6209	0,8692	1,3750	0,8692
Model 2	0,6209	0,8692	1,3840	0,8692
Model 3	0,6209	0,8692	1,3820	0,8692

Tabel 4. Periode Struktur Arah Y

Keterangan	Periode Struktur (detik)			
	T _a	T _{max}	T _{computer}	T _{Pakai}
Model 1	0,6209	0,8692	0,7970	0,7970
Model 2	0,6209	0,8692	0,9710	0,8692
Model 3	0,6209	0,8692	0,9770	0,8692

Base shear

Perhitungan nilai *base shear* menggunakan pers 3, di mana nilai Cs pakai digunakan dari Cs pers 20 SNI 1726:2019 (BSN, 2019). Maka nilai *base shear* statik ketiga model struktur dapat dilihat seperti pada Tabel 5. Sedangkan nilai *base shear* respon spektrum yang dihasilkan melalui *ouput software* ETABS V.22 seperti yang ditunjukkan Tabel 6.

Tabel 5. Base Shear Statik

Arah Gempa	Base Shear (kN)		
	Model 1	Model 2	Model 3
X	12554,508	14404,424	14391,271
Y	12554,508	14404,424	14391,271

Tabel 6. Base Shear Respon Spektrum

Arah Gempa	Base Shear (kN)		
	Model 1	Model 2	Model 3
X	6906,927	7921,451	7930,533
Y	9197,044	10624,893	10616,955

Nilai *base shear* respon spektrum yang diperoleh ternyata masih kurang dari 100% dari *base shear* yang terjadi. Maka dari itu diperlukan penskalaan gaya dengan cara gaya harus dikalikan dengan gaya geser statik/gaya geser ragam (V/V_i), sehingga didapatkan faktor skala desain seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Faktor Skala

Arah Gempa	Faktor Skala (mm/s ²)		
	Model 1	Model 2	Model 3
X	3882,0431	4525,1598	4515,5460
Y	2915,3921	3373,7595	3372,9714

Setelah dilakukannya penskalaan gaya diperoleh *base shear* respon spektrum terbaru sesuai dengan Tabel 8.

Tabel 8. Base Shear Respon Spektrum Scale

Arah Gempa	Base Shear (kN)		
	Model 1	Model 2	Model 3
X	12759,43	14621,03	14606,69
Y	12759,43	14621,03	14606,69

Berdasarkan Tabel 5 dan Tabel 8, menunjukkan bahwa nilai *base shear* respon spektrum sudah satu kali nya *base shear* statik. Maka nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan SNI 1726 – 2019 (BSN, 2019), yaitu nilai *base shear* ragam tidak boleh kurang 100% dari *base shear* statik. Hasil penelitian ini juga memiliki kesamaan dengan hasil penelitian Rahman (2021), menunjukkan bahwa nilai *base shear* yang dihasilkan struktur *bracing* lebih besar dibandingkan *base shear* yang dihasilkan struktur *shearwall*. Secara umum *base shear* dinamik dipengaruhi oleh massa, kekakuan dan redaman struktur. Meskipun pada penelitian ini struktur *shearwall* memiliki massa yang besar dibandingkan *bracing*, tetapi justru nilai *base shear* lebih besar terjadi pada struktur *bracing*. Hal tersebut terjadi dikarenakan kekakuan struktur *shearwall* lebih besar sehingga menghasilkan periode struktur yang lebih pendek. Sedangkan periode struktur *bracing* lebih panjang sehingga menghasilkan nilai yang *base shear* besar. Selain itu, terdapat perbedaan nilai koefisien modifikasi respon (R) antara struktur *shearwall* dan *bracing* sehingga terdapat nilai perbedaan koefisien respons seismik (Cs) yang mempengaruhi perhitungan *base shear* statik.

Simpangan antar lantai

Mengacu pada pasal 7.8.6 SNI 1726 – 2019 simpangan antar lantai akan di ambil pada titik pusat massa. Adapun mengenai batas izin simpangan antar lantai di ambil nilai

sebesar $0,010h_{sx}$ dengan mengacu pada Tabel 1, di mana h_{sx} adalah tinggi bawah tingkat. Hasil simpangan antar lantai pada ketiga model struktur yang dihasilkan dari

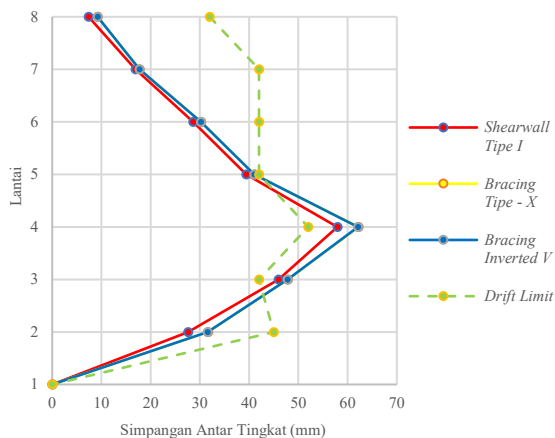
output software ETABS V.22 dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10. Sedangkan grafik simpangan antar lantai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Tabel 9. Simpangan Antar Lantai Arah X

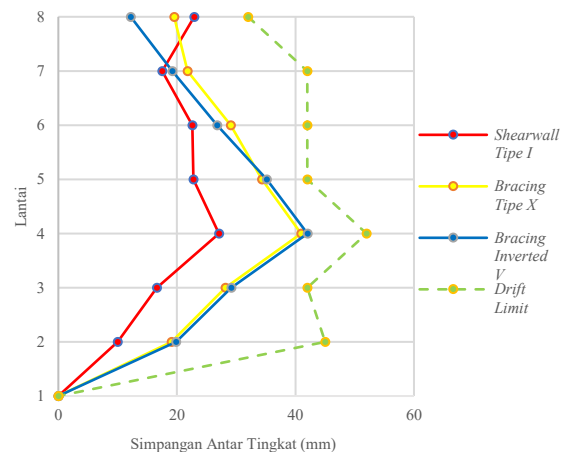
Lantai	Tinggi Tingkat (mm)	Inelastic Drift (mm)			Drift Limit (mm)	Cek
		Model 1	Model 2	Model 2		
Dak atap	3200	7,363	9,225	9,211	32	Oke
Atap	4200	16,918	17,760	17,737	42	Oke
6	4200	28,611	30,237	30,210	42	Oke
5	4200	39,395	41,077	41,030	42	Oke
4	5200	57,930	62,243	62,123	52	Not Oke
3	4200	45,987	47,877	47,787	42	Not Oke
2	4500	27,606	31,660	31,573	45	Oke
Base	0,000	0,000	0,000	0,000	0	Oke

Tabel 10. Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	Tinggi Tingkat (mm)	Inelastic Drift (mm)			Drift Limit (mm)	Cek
		Model 1	Model 2	Model 2		
Dak atap	3200	22,913	19,532	12,228	32	Oke
Atap	4200	17,523	21,773	19,237	42	Oke
6	4200	22,590	29,077	26,800	42	Oke
5	4200	22,766	34,340	35,140	42	Oke
4	5200	27,093	40,953	42,030	52	Oke
3	4200	16,610	28,200	29,190	42	Oke
2	4500	9,999	19,107	19,850	45	Oke
Base	0,000	0,000	0,000	17,164	0	Oke



Gambar 6. Simpangan Antar Lantai Arah X



Gambar 7. Simpangan Antar Lantai Arah Y

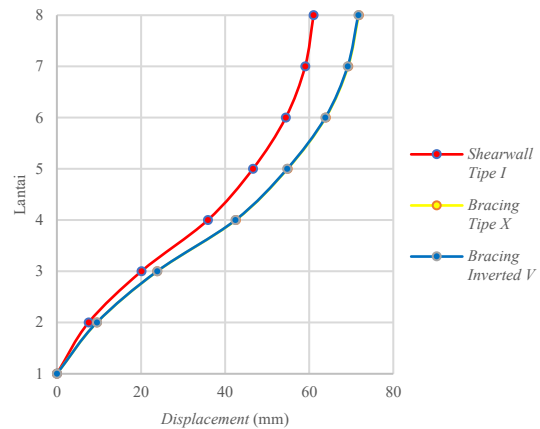
Berdasarkan nilai simpangan antar lantai yang terjadi ketiga model struktur mengalami nilai simpangan yang melebihi batas izin pada arah X di lantai 3 dan 4. Sedangkan nilai simpangan antar lantai pada arah Y tidak terdapat nilai yang melebihi batas izin. Nilai simpangan antar lantai pada penelitian ini menunjukkan bahwa kurangnya kekakuan lateral pada arah X sehingga terdapat nilai simpangan antar lantai arah X yang melebihi batas izin. Selain itu, adanya ketidakberaturan dalam penelitian ini sangat mempengaruhi nilai simpangan sesuai dengan pernyataan Windah dan Mondoringin (2019), semakin beraturan suatu struktur, maka simpangan yang dihasilkan semakin kecil dibandingkan dengan struktur bangunan tidak beraturan. Adapun mengenai perbandingan dari nilai *displacement* yang terjadi pada ketiga model struktur akan disajikan pada Tabel 11 dan Tabel 12. Sedangkan grafik perbandingan nilai *displacement* dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Tabel 11. *Displacement* arah X

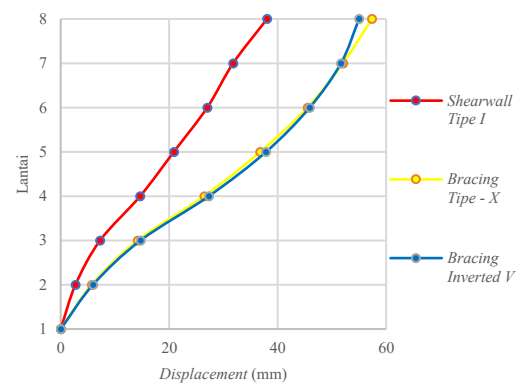
Lantai	<i>Displacement (mm)</i>		
	Model 1	Model 2	Model 3
Dak Atap	61,039	71,772	71,650
Atap	59,031	69,256	69,138
6	54,417	63,928	63,817
5	46,614	54,857	54,754
4	35,870	42,534	42,445
3	20,071	23,861	23,808
2	7,529	9,498	9,472
Base	0,000	0,000	0,000

Tabel 12. *Displacement* arah Y

Lantai	<i>Displacement (mm)</i>		
	Model 1	Model 2	Model 3
Dak Atap	38,044	57,362	55,009
Atap	31,795	52,035	51,674
6	27,016	45,503	45,903
5	20,855	36,780	37,863
4	14,646	26,478	27,321
3	7,257	14,192	14,712
2	2,727	5,732	5,955
Base	0,000	0,000	0,000



Gambar 8. *Displacement* arah X



Gambar 9. *Displacement* arah Y

Berdasarkan Tabel 27 dan Tabel 28 serta Gambar 8 dan 9 mengenai nilai *displacement* yang terjadi, diketahui nilai *displacement* terkecil terjadi pada struktur *shearwall tipe I* pada kedua arah X dan Y. Sedangkan untuk struktur *bracing Inverted V* hanya unggul di arah X dibandingkan dengan struktur *bracing tipe X*. begitu pun sebaliknya struktur *bracing tipe X* hanya unggul di arah Y dibandingkan dengan struktur *bracing inverted V*. Hasil nilai *displacement* dalam penelitian ini juga senada dengan Penelitian Nugroho (2018), di mana hasil penelitian menunjukkan nilai *displacement* struktur *bracing cross* lebih kecil besar pada arah X dibandingkan struktur *bracing inverted V*. Sedangkan pada arah Y nilai *displacement* struktur *bracing cross* lebih kecil dibandingkan struktur *bracing inverted V*.

Stabilitas Struktur

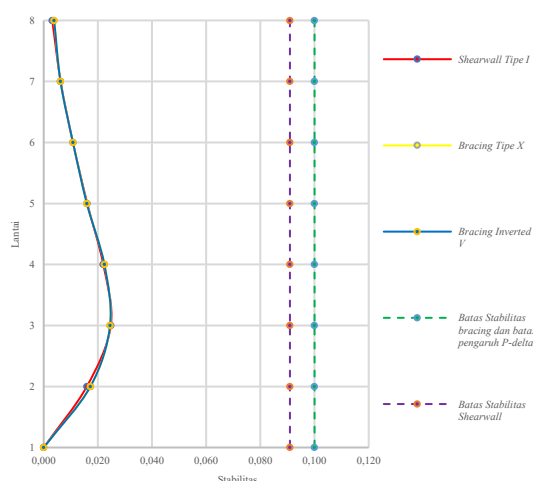
Rekapitulasi perhitungan stabilitas struktur yang dihitung berdasarkan nilai P-delta pada ketiga model struktur seperti yang ditunjukkan pada Tabel 13 hingga Tabel 14 serta Gambar 10 dan Gambar 11.

Tabel 13. Koefisien Stabilitas Arah X

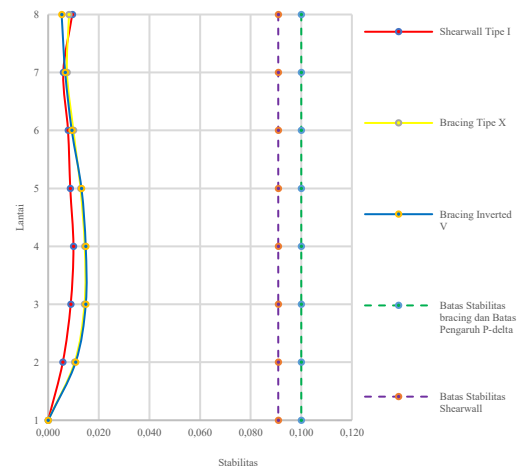
Lantai	Koefisien Stabilitas			Cek
	Model 1	Model 2	Model 3	
Dak atap	0,0032	0,0039	0,0039	OK
Atap	0,0062	0,0062	0,0062	OK
6	0,0108	0,0108	0,0108	OK
5	0,0161	0,0159	0,0159	OK
4	0,0220	0,0224	0,0224	OK
3	0,0248	0,0245	0,0245	OK
2	0,0159	0,0173	0,0173	OK
Base	0,0000	0,0000	0,0000	-

Tabel 14. Koefisien Stabilitas Arah Y

Lantai	Koefisien Stabilitas			Cek
	Model 1	Model 2	Model 3	
Dak atap	0,0095	0,0082	0,0053	OK
Atap	0,0060	0,0074	0,0067	OK
6	0,0078	0,0100	0,0093	OK
5	0,0087	0,0128	0,0131	OK
4	0,0100	0,0144	0,0148	OK
3	0,0089	0,0143	0,0149	OK
2	0,0058	0,0104	0,0108	OK
Base	0,0000	0,0000	0,0000	-



Gambar 10. Grafik Stabilitas Struktur arah X



Gambar 11. Grafik Stabilitas Struktur arah Y

Berdasarkan Tabel 13 dan Tabel 14 serta Gambar 10 dan Gambar 11, nilai koefisien stabilitas yang dihasilkan tidak terdapat nilai yang melebihi batas pengaruh P-delta yang bernilai 0,10 dan tidak terdapat nilai yang melebihi koefisien stabilitas maksimum ($\theta_{\max}$) yang bernilai 0,091 untuk struktur *shearwall tipe I* dan 0,100 untuk struktur *bracing tipe X* dan *bracing inverted V*. Maka dari itu dapat dinyatakan bahwa ketiga model struktur pada penelitian ini stabil.

Respon Struktur

Hubungan hasil analisis respons struktur yang dihasilkan dari perbandingan ketiga model struktur yang di analisis. Umumnya periode akan berbanding lurus dengan massa dan berbanding terbalik dengan kekakuan tetapi hubungan tersebut hanya menunjukkan kecenderungan tidak serta merta akan berbanding lurus. Terdapat penelitian yang menunjukkan bahwa periode yang besar tetapi massa kecil atau sebaliknya, yaitu pada penelitian yang dilakukan oleh Tatang dan Tjong (2022), menunjukkan bahwa periode struktur *shearwall* lebih kecil dibandingkan struktur *bracing*, namun dari segi massa struktur *shearwall* memiliki massa yang besar dibandingkan struktur *bracing*. Selain itu, jika dilihat dari nilai kekakuan yang dihasilkan selaras dengan pernyataan bahwa periode berbanding terbalik dengan

kekakuan, di mana kekakuan struktur *shearwall* itu lebih besar dibandingkan bracing yang artinya periode kecil akan memiliki kekakuan besar begitupun sebaliknya. Hubungan antara kekakuan dan base shear juga tidak selalu berbanding lurus, seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Laissy (2022), menunjukkan bahwa kekakuan terbesar terjadi pada struktur *shearwall* dibandingkan struktur bracing. Namun justru nilai *base shear* terbesar dihasilkan oleh struktur bracing dibandingkan struktur *shearwall*.

Berdasarkan aspek simpangan antar lantai ketiga model struktur, apabila suatu struktur memiliki kekakuan yang besar akan menghasilkan nilai simpangan yang kecil dikarenakan struktur tersebut dapat menahan deformasi yang baik, sebaliknya jika struktur mempunyai kekakuan kecil akan menghasilkan nilai simpangan antar lantai yang besar. Pernyataan tersebut selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh tatang dan Tjong (2022), menunjukkan bahwa kekakuan struktur *shearwall* lebih besar dibandingkan struktur bracing sehingga nilai simpangan antar lantai yang terjadi menunjukkan struktur *shearwall* memiliki nilai lebih kecil dibandingkan struktur bracing. Selain itu, nilai simpangan yang kecil juga akan menghasilkan nilai koefisien stabilitas yang kecil dibandingkan dengan nilai simpangan yang besar.

Berdasarkan hasil pembahasan di atas mengenai hubungan periode, massa, kekakuan, simpangan antar lantai dan stabilitas struktur. Pembahasan-pembahasan tersebut selaras juga dengan hasil penelitian yang telah dilakukan, hal tersebut juga menunjukkan bahwa nilai base shear yang tinggi tidak selalu menunjukkan kekakuan yang tinggi. Selain itu, terbukti bahwa kekakuan yang tinggi akan menghasilkan nilai simpangan yang kecil dan juga menunjukkan bahwa stabilitas struktur sangat di pengaruhi oleh nilai simpangan antar lantai.

Kesimpulan

1. Nilai *base shear* terbesar maksimum secara berurutan pada kedua arah X dan Y terjadi pada struktur *bracing tipe X*, kemudian disusul oleh *bracing inverted V* dan *shearwall tipe I*.
2. Ketidakberaturan struktur yang terjadi dalam penelitian ini yaitu:
 - 1) Ketidakberaturan horizontal sudut dalam pada arah X.
 - 2) Ketidakberaturan vertikal kekakuan tingkat lemah (1a) dan berat (massa). Adanya ketidakberaturan struktur tersebut maka diperlukan pemenuhan konsekuensi yang berlaku pada SNI 1726-2019.
3. Nilai simpangan antar lantai paling kecil terjadi pada struktur *shearwall tipe I* dengan rata-rata selisih sebesar 8,30% arah X dan 30,41% arah Y dari struktur *bracing tipe X*, serta 8,15% arah X dan 33,53% arah Y dari struktur *bracing inverted V*. Namun terdapat nilai simpangan yang melebihi batas izin pada arah X sehingga diperlukan perkuatan struktur khususnya pada arah X.
4. Nilai stabilitas struktur menunjukkan hasil bahwa struktur *shearwall tipe I* lebih unggul dengan selisih rata-rata sebesar 4,43% arah X dan 28,56% arah Y dari struktur *bracing tipe X*, serta 4,40% arah X dan 32,08% arah Y dari struktur *bracing inverted V*. Hasil stabilitas struktur pada ketiga model dinyatakan stabil dan tidak diperlukan desain ulang.

Daftar Pustaka

- American Institute of Steel Construction (AISC) (2011). *Steel construction manual fourteenth edition american institute of steel construction*.
- Elisabet, T., Tumbal, F., Windah, R. S., & Mondoringin, M. R. I. A. J. (2019). Pengaruh Set-Back Pada Tingkat Teratas Bangunan Bertingkat Akibat Gempa. *Jurnal Sipil Statik*, 7(Juni), 615–626.
- Fitriyati, E. N., & Trimurtiningrum, R. (2022). *Studi Perbandingan Perilaku Sistem Rangka Bering Tipe X-1 dan Tipe X-2 Pada Gedung Perkuliahan 10 Lantai* (Vol. 3). Surabaya. Retrieved from <http://jos-mrk.polinema.ac.id/>
- Indrastanto, A. A. P. (2020). Studi Komparatif Struktur Beton Bertulang Menggunakan

- Bresing V dan Inverted V Dengan Variasi Penempatan Bresing. *E-Journal.Uajy.Ac.Id*.
- Jason Tatang, D., Fransisca Tjong, L., Beton Bertulang, R., & Massa, K. (2022). Studi Komparasi Perilaku Gedung Beton Bertulang Dengan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Menggunakan Dinding Geser Dan Rangka Bresing Konsentrik Inverted V. *DINAMIKA Teknik Sipil, Volume 15*(Nomor 2), 91–97. <https://journals.ums.ac.id/index.php/DTS/index>
- Laissy, M. Y. (2022). *Effect of Different Types of Bracing System and Shear Wall on the Seismic Response of RC Buildings Resting on Sloped Terrain*. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 8(9), 1958–1976. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2022-08-09-014>
- Nugroho, F. (2018). Pengaruh Penggunaan Bresing Cross Dan Inverted V Terhadap Penulangan Kolom Gedung Beton Bertulang. *Jurnal Momentum, Vol. 29 No 2*, 94–101.
- Muhammad Aulia, R. (2021). *Studi Komparasi Respon Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Sistem Dinding Geser dan Pertambahan (Comparative Study Of Structural Response On Multi-Story Buildings With Shearwall And Bracing Systems)*. Yogyakarta.
- Pawirodikromo, W., 2012. Seismogi Teknik & Rekayasa Kegempaan. Edisi Pertama. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG, 2025), “Peta Patahan / *fault* / sesar dan Kawasan rawan bencana gempa bumi” tersedia di [Portal Mitigasi Bencana Geologi Indonesia](#) [di akses tahun 2025].
- Standar Nasional Indonesia 1726 – 2019. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung dan nongedung. 1–254.
- Standar Nasional Indonesia 1727 - 2020. Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Jakarta.
- United States Geological Survey (USGS, 2025), “Episenter Gempa Bumi di Sekitar Wilayah Rengasdengklok” tersedia di [Latest Earthquakes](#) [di akses tahun 2025].