

HUBUNGAN ANTARA TINGGI PUSAT MASSA VERTIKAL BANGUNAN TINGKAT TINGGI TERHADAP SIMPANGAN ANTAR LANTAI AKIBAT BEBAN GEMPA

*RELATIONSHIP BETWEEN HEIGHT OF VERTICAL CENTER OF MASS OF HIGH-RISE
BUILDINGS AGAINST DRIFT BETWEEN FLOOR DUE TO EARTHQUAKE LOAD*

Marcelus Febrin Santur, Jusuf J. S. Pah dan Elsy E. Hangge

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana
E-mail: ebinsantur1902@gmail.com, yuserpbdaniel@yahoo.co.id dan elsy@staf.undana.ac.id

Abstrak

Dalam perencanaan desain struktur bangunan tingkat tinggi umumnya semakin rendah letak pusat massa vertikal struktur maka akan semakin tinggi kestabilan struktur dalam merespons gaya akibat beban gempa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana hubungan antara tinggi pusat massa vertikal bangunan tingkat tinggi terhadap simpangan antar lantai (*drift*) akibat beban gempa (beban seismik). Untuk melihat respons struktur berupa simpangan antar lantai akibat adanya beban gempa terhadap perubahan tinggi pusat massa vertikal, digunakan analisis statik ekuivalen dengan bantuan *software* SAP2000. Hasil analisis simpangan struktur berdasarkan serapan energi yang terjadi pada ketujuh model struktur menunjukkan bahwa, dari model dengan rasio pusat massa tertinggi CMV 0,8 dengan nilai simpangan struktur berdasarkan serapan energi sebesar 648502,556 kNm mengalami penurunan nilai simpangan struktur hingga model CMV 0,4 dengan nilai simpangan struktur berdasarkan serapan energi sebesar 5910,992 kNm. Selanjutnya dari model struktur CMV 0,4 hingga model struktur dengan rasio pusat massa vertikal terendah yakni model struktur CMV 0,282 mengalami peningkatan nilai simpangan struktur, yaitu pada CMV 0,3 dengan nilai simpangan struktur berdasarkan serapan energi 27434,102 kNm dan pada model struktur CMV 0,282 dengan nilai serapan simpangan struktur berdasarkan energinya sebesar 123301,260 kNm.

Kata Kunci: *Pusat massa vertikal, Beban seismik, Bangunan tingkat tinggi, Drift.*

Abstract

In planning the design of high-rise buildings, generally, the lower the vertical center of mass of the structure, the higher the stability of the structure in responding to forces due to earthquake loads. This study aims to determine the relationship between the height of the vertical center of mass of high-rise buildings and the drift between floors due to earthquake loads (seismic loads). To see the response of the structure in the form of displacement between floors due to earthquake loads to changes in the vertical center of mass height, equivalent static analysis was used with the help of SAP2000 software. The results of the analysis of drifts based on energy absorption that occur in the seven structural models show that, from the model with the highest center of mass ratio CMV 0.8 with a drift value based on energy absorption of 648502.556 kNm, the drift value decreased to the model CMV 0.4 with a drift value based on energy absorption of 5910.992 kNm. Furthermore, from the 0.4 CMV structure model to the structural model with the lowest vertical center of mass ratio, namely the 0.282 CMV structure model, the drift value increased, namely at CMV 0.3 with a drift value based on the energy absorption of 27434.102 kNm and on the CMV 0.282 structure model with a drift value based on its energy absorption of 123301.260 kNm.

Keywords: *vertical center of mass, seismic load, high rise building, drift.*

PENDAHULUAN

Solusi mengatasi kekurangan lahan akibat kepadatan penduduk dengan pembangunan secara vertikal mempunyai risikonya sendiri misalnya akibat pengaruh gempa. Diketahui bahwa semakin tinggi suatu struktur bangunan tingkat

tinggi semakin rawan pula struktur itu dalam menahan gaya lateral, terutama gaya gempa. Hal ini dikarenakan lazimnya semakin tinggi suatu bangunan beban akibat gempa yang bekerja akan makin besar. Besarnya gaya gempa yang diterima juga dipengaruhi oleh massa tiap lantai, di mana

massa lantai memberikan peran yang cukup signifikan terhadap letak pusat massa vertikal bangunan tingkat tinggi. Tujuan penelitian yang hendak dicapai adalah mengetahui bagaimana hubungan antara tinggi pusat massa vertikal bangunan tingkat tinggi berstruktur beton terhadap simpangan antar lantai (*drift*) akibat beban gempa. Batasan masalah yang diambil adalah sebagai berikut: analisis menggunakan metode statik ekuivalen, dengan lokasi bangunan yang digunakan adalah lokasi pengukuran *Standard Penetration Test* (SPT) tanah Kampus Universitas Nusa Cendana, Kupang, Nusa Tenggara Timur, termasuk dalam kategori tanah sedang, pemodelan struktur yang digunakan adalah Momen *Resisting Frame*, prosedur perhitungan berpedoman pada SNI 1726 2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode analisis sesuai dengan peraturan yang berlaku dalam SNI – 1726 – 2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, yaitu kajian secara analisis mengenai pengaruh tinggi pusat massa vertikal bangunan tingkat tinggi terhadap simpangan antar lantai akibat adanya beban gempa.

Dimulai dengan modelisasi dan identifikasi struktur bangunan, kemudian mengidentifikasi data lokasi dan situasi bangunan gedung yang akan dianalisis, lalu dilanjutkan dengan menentukan serta menghitung jenis beban untuk diteruskan dengan melakukan analisis struktur terhadap beban-beban tersebut menggunakan aplikasi SAP2000 v.19, sehingga diperoleh simpangan struktur akibat beban lateral yang ada. Setelah dilakukan analisis struktur dan kontrol struktur dilanjutkan dengan menganalisis data dan pembahasan model struktur berdasarkan nilai simpangan-simpangan struktur yang diperoleh untuk diambil kesimpulan dari penelitian ini.

Pemodelan Bangunan Tingkat Tinggi

Model spesimen bangunan tingkat tinggi yang digunakan dalam penelitian ini adalah bangunan dengan ketentuan sebagai berikut:

Tinggi bangunan (H): 40,00 m; Jumlah lantai: 10 lantai; Tinggi masing-masing lantai: 4,00 m; Jumlah bentang: 4 bentang pada arah x dan arah y; Panjang masing-masing bentang: 5,00 m; Struktur bangunan: Beton bertulang; Dimensi kolom: 0,45 m/0,45 m (45 cm/45 cm); Dimensi balok: 0,30 m/0,50 m (30 cm/50 cm); Tebal pelat:

0,14 m (14 cm); Mutu beton (f_c'): 30 mPa; Mutu baja tulangan: 240 mPa; Fungsi Gedung : Gedung perkantoran.

Model spesimen tersebut akan diberi nama berdasarkan pada letak pusat massa vertikalnya yakni CMVr, di mana:

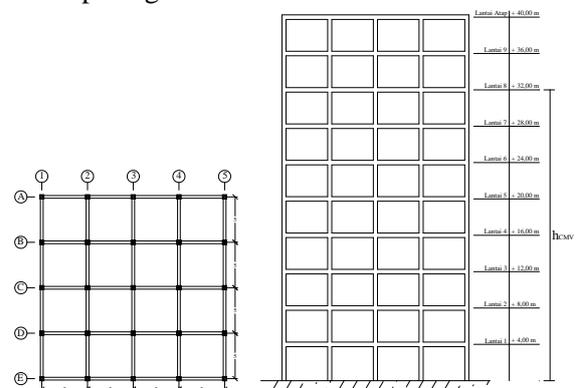
CMV = Pusat massa vertikal (*Vertical Center of Mass*); r = Rasio tinggi pusat massa vertikal; di mana rasio tinggi pusat massa vertikal merupakan perbandingan tinggi pusat massa terhadap tinggi bangunan:

$$r = \frac{h_c}{H}$$

Tabel 1. Rancangan Spesimen Penelitian

No.	Spesimen Penelitian	Rasio Pusat Massa Vertikal, R
1.	CMV0,8	0,8
2.	CMV0,7	0,7
3.	CMV0,6	0,6
4.	CMV0,5	0,5
5.	CMV0,4	0,4
6.	CMV0,3	0,3
7.	CMV0,282	0,282

Sebagai contoh denah model penelitian berdasarkan rancangan spesimen penelitian dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



a) *Layout* Gedung b) Portal Melintang Struktur

Gambar 1. Model Struktur CMV0,8

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan modelisasi dan identifikasi struktur bangunan gedung model penelitian, dilakukan analisis terhadap ketujuh spesimen penelitian tersebut untuk memperoleh simpangan struktur dari masing-masing model penelitian untuk kemudian dibandingkan sehingga dapat diketahui hubungan tinggi pusat massa vertikal bangunan tingkat tinggi terhadap simpangan struktur yang terjadi akibat beban lateral yakni beban gempa.

Perhitungan Beban Gempa Statik Ekuivalen Perhitungan Beban per Lantai

Beban-beban gravitasi struktur sesuai dengan PPIUG 1983 berupa beban mati dan beban hidup diidentifikasi dan dihitung serta dikombinasikan. Sesuai PPIUG 1983 beban mati yaitu berat sendiri bahan bangunan serta beban komponen-komponen gedung. Dengan demikian sesuai dengan jenis struktur yang digunakan dalam penelitian ini adalah struktur beton bertulang, maka berat jenis beton adalah 2400 kg/m³ dan berat komponen-komponen gedung disesuaikan dengan komponen yang terdapat pada struktur yang digunakan dalam model penelitian ini. Sejalan dengan itu berdasarkan PPIUG 1983 beban hidup yang bekerja pada lantai bangunan adalah 250 kg/m² (beban hidup pada lantai gedung sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit) dan beban hidup yang bekerja pada atap bangunan adalah sebesar 100 kg/m² (beban hidup pada atap serta pada struktur gedung/kanopi yang dapat dicapai dan dibebani oleh orang). Setelah dilakukan perhitungan beban gravitasi nominal pada setiap lantai setiap model penelitian (untuk beban gravitasi awal tipikal pada setiap model penelitian) selanjutnya kedua beban gravitasi struktur dikombinasikan. Berikut rekapitulasi perhitungan kombinasi pembebanan pada setiap model penelitian.

Tabel 2. Perhitungan Kombinasi Pembebanan setiap Model Penelitian

Lantai	Beban Mati (kN)	Beban Hidup (kN)	1,2 D	1,6 L x 30%	1,2 D + (1,6 L x 30%)
1	4012,6	1000	4815,12	480	5295,120
2	3769,6	1000	4523,52	480	5003,520
3	3769,6	1000	4523,52	480	5003,520
4	3769,6	1000	4523,52	480	5003,520
5	3769,6	1000	4523,52	480	5003,520
6	3769,6	1000	4523,52	480	5003,520
7	3769,6	1000	4523,52	480	5003,520
8	3769,6	1000	4523,52	480	5003,520
9	3769,6	1000	4523,52	480	5003,520
Atap	3148,0	400	3777,63	192	3969,629

Setelah dilakukan perhitungan beban mati dan beban hidup yang diterima model struktur penelitian. Sesuai dengan model penelitian yang bervariasi pada tinggi pusat massa vertikalnya selanjutnya akan dilakukan penambahan beban mati tambahan lain guna mencapai variasi tinggi pusat massa vertikal yang diinginkan. Penambahan beban mati tambahan ini disesuaikan dengan kebutuhan tinggi pusat massa vertikalnya serta syarat penggunaan analisis statik ekuivalen. Di mana salah satu syaratnya menyebutkan bahwa struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai memiliki berat tidak lebih dari 150% berat lantai tingkat di atasnya atau di bawahnya. Perhitungan beban mati tambahan untuk mencapai variasi pusat massa

vertikal setiap model struktur dapat dilihat pada penjabaran berikut.

Perhitungan Beban Tambahan Model CMV 0,8

Model CMV 0,8 merupakan model struktur dengan rasio tinggi pusat massa vertikalnya adalah 0,8 terhadap tinggi bangunan tingkat tinggi. Penambahan beban berikut adalah untuk mencapai rasio tinggi pusat massa vertikal sebesar 0,8 dari tinggi gedung yakni setinggi 32 m dari lantai 0.

Tabel 3. Perhitungan Massa Tambahan Model CMV 0,8

Lantai	Tinggi Lantai (H) (m)	Massa Awal (M ₀) (kN)	Massa Tambahan (M ₁) (kN)	Total Massa (M ₂) (kN)	H * M ₂
1	4	5295,120	0,00	5295,12	21180,48
2	8	5003,520	2920,63	7924,15	63393,18
3	12	5003,520	6882,70	11886,22	142634,65
4	16	5003,520	12825,81	17829,33	285269,29
5	20	5003,520	21740,48	26744,00	534879,93
6	24	5003,520	35112,47	40115,99	962783,87
7	28	5003,520	55170,47	60173,99	1684871,18
8	32	5003,520	85257,47	90260,99	2888351,61
9	36	5003,520	124069,69	129073,21	4646635,65
Atap	40	3969,629	149498,42	153468,05	6138721,99
				542771,05	17368722,43

Selanjutnya dihitung tinggi pusat massa vertikalnya dengan menggunakan rumus berikut:

$$C = \frac{\sum (HM_i)}{\sum M_i}$$

$$C = \frac{17368722,43}{542771,05}$$

$$C = 32,00 \text{ m}$$

Beberapa hal yang perlu dijelaskan mengenai Tabel 3 di atas yakni, massa awal (M₀) diperoleh dari hasil perhitungan kombinasi pembebanan yang telah dijabarkan pada Tabel 2 sebelumnya. Massa tambahan adalah besarnya massa yang ditambahkan kemudian untuk mencapai rasio pusat massa vertikal model CMV 0,8 yakni dengan rasio sebesar 0,8. Nilai massa tambahan diperoleh dengan cara *trial and error* (coba-coba). Selanjutnya perhitungan massa tambahan pada model penelitian lainnya dilakukan dengan cara yang sama. Rekapitulasi beban per lantai setiap model penelitian dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Rekapitulasi Beban per Lantai Model Struktur Penelitian

Lantai	H (m)	Berat W _x (kN)						
		CMV 0,8	CMV 0,7	CMV 0,6	CMV 0,5	CMV 0,4	CMV 0,3	CMV 0,282
1	4	5295,120	5295,120	5295,120	5295,120	20693,833	67388,664	152605,867
2	8	7924,147	5003,520	5003,520	7942,680	13795,889	44925,776	101737,244
3	12	11886,221	7505,280	5003,520	11914,020	9197,259	29950,517	67824,830
4	16	17829,331	11257,920	7505,280	10490,414	6192,857	19967,011	45216,553
5	20	26743,996	16886,880	11257,920	10490,414	5003,520	13311,341	30144,369
6	24	40115,995	25330,320	16849,279	10490,373	5003,520	8874,227	20896,246
7	28	60173,992	37995,480	16849,279	6986,915	5003,520	5916,152	13397,497
8	32	90260,988	30396,384	12215,727	5003,520	5003,520	5003,520	8931,665
9	36	129073,213	30062,024	8184,537	5003,520	5003,520	5003,520	5954,443
Atap	40	153468,050	29722,624	5483,640	3969,629	3969,629	3969,629	3969,629
		542771,052	199455,551	93647,821	77576,605	78867,067	204310,357	449878,342

Geser Dasar Seismik

Perhitungan gaya geser dasar seismik dilakukan dengan metode statik ekuivalen, dengan

asumsi spesimen penelitian berlokasi di Kota Kupang, yakni pada koordinat *Latitude*: -10,18244681674809 dan *Longitude*: 123,60142986529581, kemudian dengan mengakses alamat *website* <http://puskim.pu.go.id> sesuai dengan koordinat lokasi pengambilan data SPT yang dilakukan untuk memperoleh nilai parameter-parameter spektral gempa. Dengan data-data tersebut dapat ditentukan periode fundamental struktur T. Langkah berikutnya adalah menghitung besarnya gaya geser dasar seismik pada masing-masing model penelitian dengan hasil rekapitulasi gaya geser dasar seismik dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. Rekapitulasi Perhitungan Gaya Geser Dasar Arah x dan Arah y

No.	Model	W _{total} (kN)	V = C _s x W _{total} (kN)
1	CMV 0,8	542771,052	18736,830
2	CMV 0,7	199455,551	6885,343
3	CMV 0,6	93647,821	3232,787
4	CMV 0,5	77576,605	2677,998
5	CMV 0,4	78867,067	2722,545
6	CMV 0,3	204310,357	7052,934
7	CMV 0,282	449878,342	15530,110

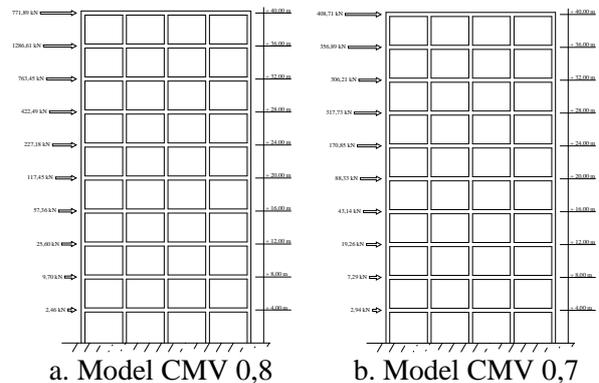
Setelah memperoleh besar gaya geser dasar seismik pada arah x dan arah y, kemudian dilanjutkan dengan menghitung distribusi vertikal gaya gempa pada setiap lantai. Dari distribusi vertikal gaya gempa yang diperoleh, gaya gempa setiap lantai itu lalu didistribusikan pada setiap portal model struktur untuk memperoleh distribusi vertikal gaya gempa yang dipikul oleh masing-masing portal (P) sesuai persamaan . Distribusi vertikal gaya gempa yang akan dipakai dalam perhitungan pemodelan struktur dengan aplikasi SAP2000 v.19 adalah distribusi vertikal gaya gempa tiap portal, yaitu portal yang padanya bekerja distribusi vertikal gaya gempa terbesar dari masing-masing model penelitian. Dalam tabel 6 berikut ditampilkan rekapitulasi distribusi vertikal gaya gempa tiap portal terbesar dari masing-masing model penelitian.

Tabel 6. Rekapitulasi Distribusi Vertikal Gaya Gempa tiap Portal Terbesar Masing-Masing Model Struktur

Lantai	h _x (m)	Besarnya gaya gempa (kN)						
		CMV 0,8	CMV 0,7	CMV 0,6	CMV 0,5	CMV 0,4	CMV 0,3	CMV 0,282
1	4,00	2,4650	2,9358	3,5902	4,5324	22,6314	109,8822	273,5960
2	8,00	9,6978	7,2930	8,9186	17,8733	39,6644	192,5824	479,5115
3	12,00	25,6046	19,2554	15,6984	47,1902	46,5442	225,9858	562,6828
4	16,00	57,3633	43,1388	35,1699	62,0598	46,8083	225,0166	560,2696
5	20,00	117,4531	88,3280	72,0114	84,7129	51,6234	204,7682	509,8529
6	24,00	227,1813	170,8467	138,9764	109,1316	66,5677	176,0305	438,2989
7	28,00	422,4933	317,7268	172,3047	90,2018	82,5314	145,4965	362,2723
8	32,00	763,4485	306,2051	150,4886	77,8169	99,4232	148,2374	290,9461
9	36,00	1286,6103	356,8946	118,8255	91,7076	117,1707	174,6984	228,5875
Atap	40,00	1771,8902	408,7115	92,2131	84,2728	107,6716	160,5355	176,5099

Pemodelan Struktur dengan Aplikasi SAP2000 v.19

Berdasarkan hasil perhitungan besar beban gempa untuk tiap portal P_{ij} pada arah x dan arah y yang telah dilakukan sebelumnya dan telah dirangkum dalam Tabel 6 di atas selanjutnya akan dihitung *drift* tiap lantai menggunakan aplikasi SAP2000 v.19 untuk masing-masing model struktur.



Gambar 2. Distribusi Vertikal Beban Gempa tiap Portal Terbesar Model CMV 0,8 dan Model CMV 0,7

Distribusi vertikal beban gempa seperti pada Gambar 2 dan Tabel 6 di atas, di *input* pada aplikasi SAP2000 v.19 untuk mengetahui besarnya nilai simpangan antar lantai (*drift*) yang terjadi akibat beban gempa yang bekerja pada setiap model penelitian. Rekapitulasi *drift* atau simpangan antar lantai hasil analisa struktur untuk setiap model penelitian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. Rekapitulasi *drift* tiap Lantai Hasil *output* SAP200 v.19

Lantai	h _x (m)	di (m)						
		CMV 0,8	CMV 0,7	CMV 0,6	CMV 0,5	CMV 0,4	CMV 0,3	CMV 0,282
1	4,00	0,106110	0,038942	0,018252	0,015093	0,015262	0,039199	0,086088
2	8,00	0,266039	0,097507	0,045591	0,037583	0,037496	0,094532	0,206482
3	12,00	0,433334	0,158539	0,073863	0,060389	0,059454	0,146021	0,316441
4	16,00	0,602030	0,219617	0,101842	0,081872	0,080105	0,190451	0,408544
5	20,00	0,769983	0,279496	0,128653	0,101293	0,099241	0,227436	0,481933
6	24,00	0,934575	0,336377	0,152927	0,117863	0,116618	0,257509	0,537981
7	28,00	1,091431	0,387262	0,172638	0,130916	0,131730	0,281544	0,578951
8	32,00	1,233173	0,428010	0,186723	0,140841	0,144006	0,300383	0,607358
9	36,00	1,347835	0,457993	0,195690	0,147952	0,152869	0,313982	0,625619
Atap	40,00	1,421433	0,476348	0,200683	0,152135	0,158009	0,322021	0,636221

Kontrol Batasan Periode Fundamental Struktur Menurut Rayleigh

Selanjutnya berdasarkan simpangan per lantai hasil analisa struktur berupa *output* aplikasi SAP2000 v.19, dilakukan perhitungan periode fundamental struktur menurut Rayleigh, T_r. Lebih jelasnya akan dijelaskan sebagai berikut. Periode fundamental struktur menurut Rayleigh model CMV 0,8

Tabel 8. Perhitungan T_r Model CMV 0,8

Lantai	W_i (kN)	u_i^2 (m)	u_i^4	F_i (kN)	$W_i u_i^2$	$F_i u_i$
1	5295,1200	0,106110	0,011259	9,8599	59,6195	1,0462
2	7924,1471	0,266039	0,070777	38,7910	560,8454	10,3199
3	11886,2206	0,433334	0,187778	102,4185	2231,9750	44,3814
4	17829,3309	0,602030	0,362440	229,4532	6462,0649	138,1377
5	26743,9964	0,769983	0,592874	469,8125	15855,8153	361,7477
6	40115,9946	0,934575	0,873430	908,7252	35038,5304	849,2719
7	60173,9919	1,091431	1,191222	1689,9733	71680,5606	1844,4893
8	90260,9878	1,233173	1,520716	3053,7942	137261,2966	3765,8565
9	129073,2126	1,347835	1,816659	5146,4411	234482,0375	6936,5534
Atap	153468,0498	1,421433	2,020472	7087,5608	310077,8627	10074,4928
					813710,6078	24026,2969

$$T_r = 6,30 \sqrt{\frac{8,6}{5,8 \times 2,2}}$$

$T_r = 11,706 \text{ detik}$

Tabel 9. Rekapitulasi Kontrol Batasan Periode Fundamental Struktur

Model	T_u (detik)	T_m (detik)	T_r (detik)	Keterangan	Kontrol
CMV 0,8	1,289	1,805	11,706	$T_r > C_u T_u$	$T = C_u T_u$
CMV 0,7	1,289	1,805	6,470	$T_r > C_u T_u$	$T = C_u T_u$
CMV 0,6	1,289	1,805	4,018	$T_r > C_u T_u$	$T = C_u T_u$
CMV 0,5	1,289	1,805	3,195	$T_r > C_u T_u$	$T = C_u T_u$
CMV 0,4	1,289	1,805	2,777	$T_r > C_u T_u$	$T = C_u T_u$
CMV 0,3	1,289	1,805	3,626	$T_r > C_u T_u$	$T = C_u T_u$
CMV 0,282	1,289	1,805	5,210	$T_r > C_u T_u$	$T = C_u T_u$

Berdasarkan perhitungan kontrol batasan periode fundamental struktur seperti terangkum dalam Tabel 9 di atas dapat disimpulkan bahwa, untuk semua model penelitian nilai periode fundamental struktur menurut persamaan Rayleigh, T_r lebih besar dari $T_m = C_u T_u$, maka periode fundamental struktur sebenarnya untuk arah x dan arah y adalah sama yakni $T = C_u T_u$. Maka dari itu diperlukan perhitungan ulang gaya dasar seismik dan distribusi vertikal gaya gempa untuk mendapatkan simpangan struktur yang sebenarnya.

Perhitungan Ulang Gaya Geser Dasar Seismik dan Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Setelah dilakukan kontrol terhadap batasan periode fundamental struktur yang tidak memenuhi, maka selanjutnya dilakukan perhitungan ulang nilai gaya geser dasar seismik dan distribusi vertikal gaya gempa dengan nilai $T = C_u T_u$ sehingga diperoleh besar distribusi vertikal gaya gempa tiap portal terbesar masing-masing model struktur seperti pada tabel 10 berikut.

Tabel 10. Rekapitulasi Perhitungan Ulang Distribusi Vertikal Gaya Gempa tiap Portal Terbesar Masing-Masing Model Struktur

Lantai	hx (m)	Besar gaya gempa (kN)						
		CMV 0,8	CMV 0,7	CMV 0,6	CMV 0,5	CMV 0,4	CMV 0,3	CMV 0,282
1	4,00	1,4133	1,7252	2,1702	2,8148	14,0878	73,0811	186,4547
2	8,00	6,6479	5,1241	6,4460	13,2716	29,5214	153,1432	390,7201
3	12,00	19,4862	15,0195	12,5962	38,9015	38,4589	199,5066	509,0088
4	16,00	47,0167	36,2393	30,3923	55,0977	41,6545	213,9434	545,8420
5	20,00	101,9683	78,5946	65,9138	79,6628	48,6596	206,2193	526,1353
6	24,00	206,7215	159,3357	133,3303	107,5644	65,7654	185,8092	474,0621
7	28,00	400,0287	308,3320	172,0059	92,5107	84,8421	159,8050	407,7166
8	32,00	748,1712	307,5581	155,4890	82,6039	105,7865	168,5175	338,9110
9	36,00	1299,7354	369,5229	126,5588	100,3502	128,5133	204,7213	274,4810
Atap	40,00	1839,2495	434,8247	100,9186	94,7538	121,3462	193,3041	217,7835

Berdasarkan hasil perhitungan besar beban gempa untuk tiap portal P_i pada arah x dan arah y yang telah dilakukan sebelumnya dan telah dirangkum dalam Tabel 10 di atas selanjutnya akan dihitung *drift* tiap lantai menggunakan aplikasi SAP2000 v.19 untuk masing-masing model struktur. Nilai *drift* berdasarkan perhitungan dengan bantuan aplikasi SAP2000 v.19 untuk masing-masing model struktur dapat dilihat pada tabel berikut.

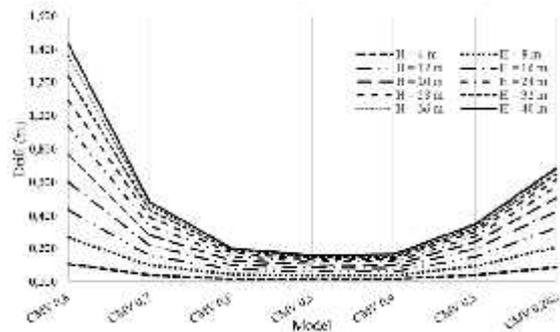
Tabel 11. Rekapitulasi *drift* tiap Lantai Hasil output SAP200 v.19 Setelah Perhitungan Ulang

Lantai	hx (m)	di (m)						
		CMV 0,8	CMV 0,7	CMV 0,6	CMV 0,5	CMV 0,4	CMV 0,3	CMV 0,282
1	4,00	0,105816	0,038841	0,018209	0,015063	0,015265	0,039276	0,086278
2	8,00	0,265360	0,097301	0,045535	0,037580	0,037761	0,095810	0,209486
3	12,00	0,432385	0,158316	0,073882	0,060581	0,060323	0,149802	0,325169
4	16,00	0,601046	0,219538	0,102054	0,082529	0,081863	0,197670	0,424884
5	20,00	0,769349	0,279811	0,129227	0,102657	0,102080	0,238525	0,506492
6	24,00	0,934844	0,337427	0,154067	0,120107	0,120651	0,272469	0,570309
7	28,00	1,093307	0,389426	0,174517	0,134097	0,136985	0,300074	0,617899
8	32,00	1,237381	0,431572	0,189355	0,144889	0,150402	0,321990	0,651413
9	36,00	1,354791	0,462905	0,198916	0,152698	0,160183	0,337955	0,673158
Atap	40,00	1,430676	0,482212	0,204264	0,157310	0,165889	0,347415	0,685743

PEMBAHASAN

Perubahan Besar Simpangan Horizontal Struktur Akibat Perubahan Tinggi Pusat Massa Vertikal

Pengaruh perubahan ketinggian pusat massa vertikal terhadap besarnya simpangan struktur dapat dilihat dari seberapa besarnya perubahan nilai simpangan struktur yang terjadi akibat perbedaan ketinggian pusat massa vertikalnya. Hasil analisis struktur dengan bantuan aplikasi SAP2000 v.19 yang ditampilkan pada Tabel 11 di atas menunjukkan pengaruh perubahan ketinggian pusat massa terhadap simpangan struktur yang terjadi, untuk memperjelas hal ini dapat dilihat dalam grafik berikut ini.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai Struktur

Diambil contoh pada ketinggian struktur $H = 40$ m, jelas terlihat bahwa pada struktur dengan rasio pusat massa vertikal sebesar 0,8 (model CMV 0,8) yakni ketinggian pusat massa vertikalnya adalah 32 m dari lantai 0, nilai simpangan struktur pada ketinggian struktur $H = 40$ m adalah sebesar 1,430676 m dan terus

menurun seiring semakin rendah letak pusat massa vertikalnya. Di mana pada ketinggian pusat massa vertikalnya adalah 28 m dari lantai 0 (CMV 0,7) dan pada ketinggian pusat massa vertikalnya sebesar 24 m dari lantai 0 (CMV 0,6) nilai simpangan struktur pada ketinggian struktur H = 40 m secara berturut-turut adalah sebesar 0,482212 m dan 0,204264 m. Hal ini terjadi hingga pada rasio pusat massa vertikal 0,5 (CMV 0, 5) dengan ketinggian pusat massa vertikalnya adalah sebesar 20 m dari lantai 0, di mana nilai simpangan struktur yang terjadi pada ketinggian 40 m adalah sebesar 0,157310 m.

Selanjutnya dimulai dari model struktur CMV 0,4 dengan tinggi pusat massa vertikalnya adalah 16 m dari lantai 0, nilai simpangan struktur yang terjadi pada ketinggian 40 m mengalami peningkatan yaitu menjadi 0,165889 m, kemudian pada struktur dengan ketinggian pusat massa vertikal 12 m dari lantai 0 (CMV 0,3) simpangan struktur pada ketinggian struktur H = 40 m meningkat menjadi 0,347415 m, selanjutnya pada struktur dengan ketinggian pusat massa vertikal sebesar 11,294 m dari lantai 0 (CMV 0,282) simpangan struktur yang terjadi adalah sebesar 0,685743 m.

Namun pola ini tidak terjadi secara merata pada semua ketinggian lantai, ini dapat dilihat pada ketinggian lantai H = 12 m; H =16 m; dan H = 20 m; polanya masih sama yaitu, nilai simpangan struktur yang terjadi semakin kecil seiring dengan semakin rendahnya pusat massa vertikal struktur. Namun pola ini hanya terjadi hingga pada struktur dengan rasio pusat massa vertikal model CMV 0,4; selanjutnya dari model struktur CMV 0,3 ke struktur dengan rasio pusat massa vertikal CMV 0,282 nilai simpangan strukturnya kembali meningkat. Untuk memudahkan dalam melihat perbandingan dan mengambil kesimpulan dari pengaruh tinggi pusat massa vertikal ini terhadap besarnya nilai simpangan struktur masing-masing model penelitian tersebut, perlu diambil simpangan struktur yang mewakili simpangan struktur secara keseluruhan pada masing-masing model penelitian, dalam hal ini metode yang paling baik adalah dengan meninjau berapa besar energi yang terserap ketika struktur mengalami simpangan akibat pengaruh beban seismis pada masing-masing model penelitian tersebut. Di mana nilai simpangan struktur berdasarkan serapan energi masing-masing model penelitian adalah jumlah dari hasil perkalian berat tiap lantai terhadap simpangan struktur yang terjadi pada lantai

tersebut, hal ini dapat dirumuskan dalam persamaan berikut.

$$S \quad E \quad (S) = \sum(W_x d_i)$$

Di mana: W_x = berat lantai yang ditinjau (kN)
 d_i = simpangan struktur lantai yang ditinjau (m)

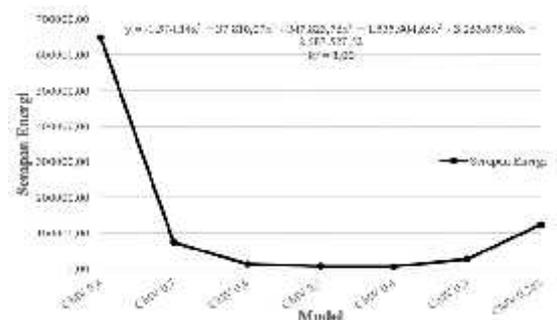
Perhitungan besar serapan energi untuk masing-masing model penelitian selanjutnya akan ditampilkan dalam tabel perhitungan berikut.

Tabel 12. Perhitungan Besar Simpangan Struktur Berdasarkan Serapan Energi Model CMV 0,8

Lantai	W_x (kN)	d_i (m)	$W_x \cdot d_i$ (kNm)
1	5295,120	0,105816	560,308
2	7924,147	0,265360	2102,752
3	11886,221	0,432385	5139,424
4	17829,331	0,601046	10716,248
5	26743,996	0,769349	20575,467
6	40115,995	0,934844	37502,197
7	60173,992	1,093307	65788,647
8	90260,988	1,237381	111687,231
9	129073,213	1,354791	174867,227
Atap	153468,050	1,430676	219563,056
			648502,556

Tabel 13. Rekapitulasi Analisis Besar Simpangan Struktur Berdasarkan Serapan Energi setiap Model Penelitian

Model	CMV 0,8	CMV 0,7	CMV 0,6	CMV 0,5	CMV 0,4	CMV 0,3	CMV 0,282
Serapan Energi	648502,556	73787,654	13512,353	7351,823	5910,992	27434,102	123301,260



Gambar 4. Grafik Perbandingan Analisis Simpangan Struktur Berdasarkan Serapan Energi setiap Model Penelitian

Dari grafik perbandingan analisis simpangan struktur berdasarkan serapan energi yang mewakili perilaku simpangan struktur dari masing-masing model penelitian, terlihat bahwa semakin kecil atau semakin rendah pusat massa vertikal strukturnya semakin kecil pula nilai simpangan struktur yang terjadi, yang dalam penelitian ini digambarkan dalam nilai serapan energi yang diterima.

Terlihat dalam grafik di atas bahwa dari model CMV 0,8 dengan tinggi pusat massa vertikal 32 m dari lantai 0, besarnya simpangan struktur berdasarkan nilai serapan energi yang diterima adalah sebesar 648502,556 kNm, kemudian simpangan strukturnya semakin kecil atau menurun hingga pada model struktur CMV 0,4

dengan tinggi pusat massa vertikalnya adalah 16 m dari lantai 0 dengan besar simpangan struktur berdasarkan serapan energinya adalah sebesar 5910,992 kNm. Namun hal ini hanya berlaku hingga rasio pusat massa tertentu yakni pada penelitian ini hingga ketinggian pusat massa vertikal 16 m dari lantai 0 dengan rasio pusat massa 0,4. Selanjutnya simpangan strukturnya dalam hal ini ditunjukkan dengan nilai serapan energinya kembali meningkat berbanding terbalik dengan semakin rendahnya rasio pusat massa vertikal strukturnya. Ini terlihat dalam simpangan struktur berdasarkan serapan energi mengalami peningkatan yaitu pada model CMV 0,3 meningkat menjadi sebesar 27434,102 kNm dan pada model CMV 0,282 simpangan struktur berdasarkan serapan energinya menjadi sebesar 123301,260 kNm.

Sesuai tertera pada grafik tersebut di atas pula, dapat dirumuskan hubungan antara besarnya perubahan nilai simpangan struktur berdasarkan serapan energi terhadap perubahan rasio tinggi pusat massa vertikal sebagai berikut.

$$S = -1.574,14 C_M^5 + 37.810,07 C_M^4 - 347.823,76 C_M^3 + 1.535.904,65 C_M^2 - 3.263.675,98 C_M + 2.687.527,52$$

Di mana:

S = nilai serapan energi (kNm)

C_M = rasio tinggi pusat massa vertikal

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Penurunan tinggi pusat massa vertikal bangunan tingkat tinggi yang menerima beban gempa dapat mengurangi besarnya nilai simpangan horizontal struktur yang terjadi. Dimulai dari model CMV 0,8 (tinggi pusat massa vertikal 32 m) dengan simpangan struktur berdasarkan nilai serapan energi yang diterima sebesar 648502,556 kNm, simpangan horizontal struktur berkurang hingga pada model CMV 0,4 (tinggi pusat massa vertikal 16 m) dengan simpangan struktur berdasarkan nilai serapan energi yang diterima sebesar 5910,992 kNm.
2. Akan tetapi setelah model CMV 0,4 besar simpangan horizontal struktur mengalami peningkatan seiring dengan semakin rendahnya tinggi pusat massa vertikal, di mana pada model CMV 0,3 (tinggi pusat massa vertikal 12 m) simpangan struktur berdasarkan nilai serapan energi yang diterima menjadi sebesar 27434,102 kNm dan pada model CMV

0,282 (tinggi pusat massa vertikal 11,29 m) simpangan struktur berdasarkan nilai serapan energi yang diterima menjadi sebesar 123301,260 kNm.

3. Hubungan perubahan besarnya simpangan struktur berdasarkan serapan energi terhadap perubahan rasio pusat massa vertikal dapat dirumuskan sebagai:

$$S = -1.574,14 C_M^5 + 37.810,07 C_M^4 - 347.823,76 C_M^3 + 1.535.904,65 C_M^2 - 3.263.675,98 C_M + 2.687.527,52$$

4. Agar memperoleh nilai simpangan horizontal struktur minimum dianjurkan untuk membuat distribusi massa sedemikian sehingga letak pusat massa vertikal terletak pada rasio 0,4 terhadap tinggi bangunan (0,4 h), dengan tetap memperhatikan syarat struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai memiliki berat tidak lebih dari 150% berat lantai tingkat di atasnya atau di bawahnya

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI - 1726 -2012)*. Jakarta.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983)*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Faizah, Restu. (2015). *Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik Time History pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta*. FT UMY. Yogyakarta
- Mulyono. (2000). *Petunjuk Standarisasi Desain Gedung Bertingkat*. Bandung: Ganesha Exact.
- Schueller, W. (1989). *High Rise Bulding Structures*. T. Surjaman (Ed.), *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi* (J. Hakim, Trans.) Bandung: PT.Eresco.
- Suharjanto. (2013). *Rekayasa Gempa*. Yogyakarta: Kepel Press.
- Suparman. (2015). *Penyelidikan Tanah Kampus Undana*, UKPBJ/ULP Kupang.
- Wantalangie, Revie O. F, dkk. (2016). *Analisa Statik dan Dinamik Gedung Bertingkat Banyak Akibat Gempa Berdasarkan SNI 1726 - 2012 dengan Variasi Jumlah Tingkat*, FT Universitas Sam Ratulangi, Manado.