

PENGARUH SET-BACK PADA TINGKAT TERATAS BANGUNAN BERTINGKAT AKIBAT GEMPA

Tesalonika Elisabet Flona Tumbal

Reky S. Windah, Mielke R. I. A. J. Mondoringin

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

email: tesalonika.tumbal@gmail.com

ABSTRAK

Konfigurasi suatu struktur bangunan terdiri dari struktur bangunan beraturan (regular) dan struktur bangunan tidak beraturan (irregular) yang sangat menentukan dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Bangunan set-back memiliki konfigurasi yang unik karena adanya tonjolan atau loncatan bidang muka. Adanya loncatan bidang muka menyebabkan pusat massa dan pusat kekakuan tidak berimpit secara vertikal sehingga massa dan kekakuan tidak terdistribusi secara merata. Besarnya pengaruh set-back yang ditimbulkan akibat gempa bergantung pada banyak hal, salah satunya adalah rasio luasan atas terhadap bawah, sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh set-back pada tingkat teratas bangunan bertingkat akibat gempa.

Pada penelitian ini, bangunan dimodelisasi setinggi 12 tingkat dengan elevasi ketinggian 48 m menggunakan program ETABS yang juga digunakan untuk menganalisis gaya gempa dengan metode spektrum respons ragam. Pemodelan bangunan yang diteliti sebanyak 5 pemodelan, yaitu bangunan tanpa set-back dan 4 model lainnya adalah variasi set-back 1 arah yang divariasikan berdasarkan luasan panel. Parameter yang ditinjau dalam penelitian ini adalah besarnya simpangan pada tiap pemodelan dan perbandingan simpangan antara bangunan tanpa set-back dan bangunan dengan variasi set-back 1 arah berdasarkan luasan panel pada tingkat teratas.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, simpangan untuk arah X lebih besar dari arah Y karena variasi set-back 1 arah terhadap arah Y, sehingga dalam arah tersebut memiliki massa dan kekakuan yang lebih kecil dibanding arah X. Efek set-back dapat meningkatkan simpangan pada tingkat teratas akan tetapi semakin besar efek set-back, massa juga semakin berkurang dan dapat menyebabkan menurunnya simpangan.

Kata Kunci: *Set-back, Tingkat Teratas, Simpangan, Gempa, Spektrum Respons Ragam*

PENDAHULUAN

Latar belakang

Seiring dengan perkembangan dan revolusi di bidang industri, teknologi dan ilmu pengetahuan yang semakin modern, dibangun berbagai macam konstruksi bangunan bertingkat sesuai dengan kebutuhan dan keinginan masyarakat masa kini. Bangunan bertingkat dapat digolongkan dalam dua kategori, yaitu bangunan beraturan dan bangunan tidak beraturan.

Perencanaan suatu struktur bangunan beraturan lebih mudah direncanakan karena memiliki konfigurasi simetri dan sederhana, dimana massa dan kekakuan struktur cenderung terdistribusi secara merata dan memiliki pusat massa dan kekakuan yang berhimpit. Akan tetapi sesuai dengan

kebutuhan fungsi bangunan dan desain arsitektural, konfigurasi struktur bangunan divariasikan dalam banyak model sehingga variasi konfigurasi yang diterapkan pada struktur seringkali menimbulkan ketidakberaturan vertikal maupun horizontal pada struktur (Siajaya dkk, 2018).

Bangunan tidak beraturan (*irregular*) merupakan bentuk bangunan yang cenderung memiliki konfigurasi lebih kompleks dan bervariasi baik dalam arah vertikal maupun horizontal sehingga dapat menyebabkan massa dan kekakuan tidak terdistribusi merata pada bangunan dan pusat massa yang tidak berimpit dengan pusat kekakuan.

Bangunan *set-back* memiliki konfigurasi yang unik dimana *set-back* adalah suatu kondisi adanya tonjolan atau loncatan bidang muka pada suatu bangunan bertingkat.

Adanya loncatan bidang muka menyebabkan pusat massa dan pusat kekakuan tidak berimpit secara vertikal sehingga massa dan kekakuan baik ke arah horisontal maupun ke arah vertikal tidak terdistribusi secara merata. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya torsi saat terjadi gempa karena adanya eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan.

Untuk mendesain bangunan bertingkat banyak khususnya bangunan ireguler perlu diperhatikan pengaruh gempa yang terjadi karena kondisi tektonik Indonesia yang berada di cincin api pasifik (*ring of fire*), menyebabkan daerah tersebut berpotensi mengalami banyak kejadian gempa. Indonesia dikelilingi oleh empat lempeng utama, yaitu lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik. Sebagai akibat dari proses tektonik yang terjadi, peristiwa gempa sering terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia.

Saat gempa berlangsung, terjadi pergerakan tanah yang dapat menyebabkan terjadinya simpangan pada bangunan bertingkat. Jika simpangan tersebut terlalu besar atau melebihi syarat aman yang telah ditetapkan oleh peraturan yang ada dapat menyebabkan struktur bangunan tersebut runtuh. Untuk itu, perlu diperhatikan simpangan yang terjadi akibat gempa pada bangunan bertingkat. Karena semakin tinggi suatu bangunan maka semakin besar bangunan tersebut menahan gaya lateral, yaitu gaya gempa.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka rumusan masalah difokuskan untuk mengetahui pengaruh *set-back* pada tingkat teratas terhadap simpangan akibat beban gempa pada bangunan bertingkat tanpa *set-back* dan bangunan dengan variasi *set-back* 1 arah yang divariasikan berdasarkan luasan panel, dengan menggunakan metode analisa spektrum respons ragam yang mengacu pada peraturan SNI 1726-2012.

Batasan Masalah

Batasan masalah untuk penelitian ini yaitu,

1. Analisa gempa menggunakan analisis dinamik 3D yaitu, analisis spektrum

respons ragam berdasarkan SNI 1726-2012.

2. Analisis hanya dilakukan terhadap simpangan pada bangunan tanpa *set-back* dan bangunan dengan variasi *set-back* 1 arah yang divariasikan berdasarkan luasan panel.
3. Tidak memasukkan perhitungan struktur bawah (pondasi).
4. Struktur bangunan direncanakan berlokasi di Kota Manado di atas tanah sedang.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini, yaitu:

1. Menghitung simpangan lateral yang terjadi akibat beban gempa pada bangunan bertingkat tanpa *set-back* dan bangunan dengan variasi *set-back* 1 arah yang divariasikan berdasarkan luasan panel.
2. Mengetahui pengaruh variasi *set-back* berdasarkan luasan panel pada tingkat teratas terhadap simpangan struktur
3. Membandingkan besar simpangan antara bangunan bertingkat tanpa *set-back* dan bangunan dengan variasi *set-back* 1 arah yang divariasikan berdasarkan luasan panel.

Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan manfaat yang dapat kita pelajari yaitu memberikan pemahaman dan informasi tentang bagaimana perilaku suatu struktur bangunan bertingkat dengan *set-back* pada tingkat teratas terhadap simpangan akibat gempa.

LANDASAN TEORI

Bangunan Bertingkat

Bangunan bertingkat adalah bangunan yang memiliki struktur yang tinggi. Suatu bangunan yang memiliki struktur tinggi dibangun dengan tujuan untuk penambahan fungsi bangunan. Perencanaan gedung bertingkat di daerah rawan gempa harus menggunakan salah satu dari beberapa sistem portal, yaitu dinding geser, *bracing*, dan sistem rangka pemikul momen khusus (Honarto dkk, 2019).

Karakteristik gedung bertingkat menurut Mulyono (2000) dikelompokkan menjadi:

1. Gedung bertingkat rendah (Low Rise Building) Gedung bertingkat rendah,

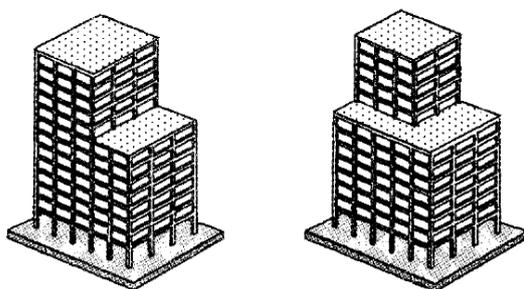
- dengan jumlah lantai 1 – 3 lantai, tingginya < 10m.
2. Gedung bertingkat sedang (Medium Rise Building) Bangunan bertingkat sedang, dengan jumlah lantai 3 – 6 lantai, tingginya < 20 m.
 3. Gedung bertingkat tinggi (High Rise Building) Bangunan bertingkat tinggi, dengan jumlah lantai > 6 lantai, tingginya > 20 m.

Bangunan Set-Back

Pengertian *set-back* adalah suatu kondisi dimana bagian atas bangunan yang ditinjau menjorok kedalam. Dari segi desain arsitektural, bangunan *set-back* menjadi pertimbangan dalam perencanaan karena memiliki bentuk yang variatif yaitu memiliki tonjolan atau loncatan bidang muka.

Bangunan *set-back* memiliki loncatan bidang muka sehingga pusat massa dan pusat kekakuan tidak berimpit secara vertikal. Pada saat terjadinya gempa, bangunan beraturan tanpa *set-back* memiliki simpangan/*displacement* yang proporsional terhadap tinggi bangunan karena bentuk geometris bangunan yang simetris. Simpangan antar tingkat (*inter story drift*) pada bangunan dengan *set-back* memiliki perbedaan yang cukup ekstrim antara lantai yang massa dan kekakuannya berbeda (Rumimper dkk, 2016).

Besarnya permasalahan yang ditimbulkan bergantung pada banyak hal, yang diantaranya adalah rasio luasan atas terhadap bawah, rasio tinggi bagian *set-back* terhadap bagian bawah, arah *set-back*, kesimetrian letak *set-back* dan sebagainya.



Gambar 1. *Set-back* 1 arah dan 2 arah

Gempa

Gempa bumi (*earthquake*) adalah peristiwa bergetar atau bergoncangnya bumi karena pergerakan/pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat

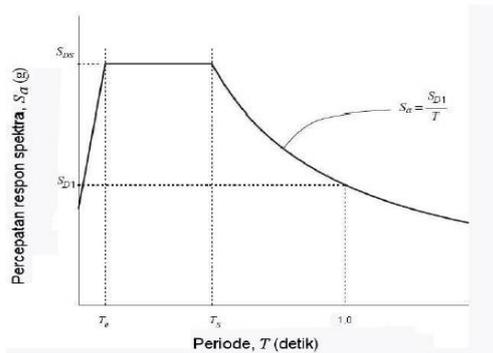
pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas pergerakan lempeng tektonik disebut gempa bumi tektonik. Namun selain itu, gempa bumi bisa saja terjadi akibat aktifitas gunung berapi yang disebut sebagai gempa bumi vulkanik.

Analisa Beban Gempa

Pada SNI 1726-2012 diatur tentang perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Kondisi geografis, faktor keutamaan gedung, kategori desain seismik, dan sistem penahan gaya seismik merupakan faktor-faktor yang berhubungan dengan perhitungan untuk analisis beban gempa.

Spektrum Respons Desain

Spektrum respons desain merupakan grafik/plot periode getar struktur dan percepatan gempa yang akan digunakan untuk analisis spektrum respons ragam. Menurut SNI 1726-2012, parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan pada perioda 1 detik, S_{D1} .



Gambar 2. Spektrum Respons Desain

Simpangan Akibat Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.6, penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau.

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d x \delta_{xe}}{I_e} \tag{1}$$

dimana:

- C_d = faktor amplifikasi defleksi
- δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan
- I_e = faktor keutamaan gempa

Maka, untuk simpangan antar tingkat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta_n = \frac{(\delta_{xe} - \delta_{xe-1})Cd}{I_e} < \Delta_a \quad (2)$$

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a) untuk semua tingkat.,

$$\Delta_a = \text{Kategori resiko} / \rho \quad (3)$$

Dimana, ρ adalah faktor redudansi.

METODOLOGI PENELITIAN

Pemodelan

Pemodelan struktur yang akan ditinjau adalah struktur gedung beton bertulang 12 tingkat dengan 5 variasi pemodelan, yaitu pemodelan bangunan tanpa *set-back*, Model A yaitu variasi *set-back* dengan luasan panel 80%, Model B yaitu variasi *set-back* dengan luasan panel 60%, Model C yaitu variasi *set-back* dengan luasan panel 40%, Model D yaitu variasi *set-back* dengan luasan panel 20%.

Struktur bangunan difungsikan sebagai kantor yang beban hidupnya diatur berdasarkan SNI 1727-2013, dengan beban hidup sebesar 240 kg/m² sebagai kantor dan 383 kg/m² sebagai koridor untuk lantai 1-11 dan 479 kg/m² untuk atap yang digunakan sebagai taman.

Data Struktur

Data Struktur merupakan bagian awal yang harus ditentukan untuk pemodelan suatu struktur agar melalui proses Analisa. Pada penelitian ini, bangunan dimodelkan sebagai struktur portal terbuka (*open frame*) dimana struktur bangunan adalah bangunan beton bertulang 12 lantai dan dianalisa berdasarkan peraturan SNI-1726-2012.

Material

Kuat tekan beton ($f'c$) = 30 MPa
 Modulus elastisitas (E_c) = 25743 MPa
 Angka poisson (ν) = 0,2
 Modulus geser (G) = 10725,25 MPa
 Berat jenis beton (W) = 2400 kg/m³
 Tegangan leleh (f_y) = 300 MPa

Elemen Struktur

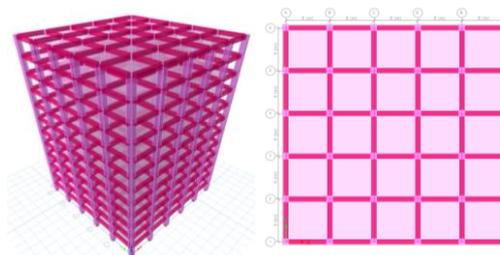
Balok (tingkat 1-12) = 60/80 cm
 Kolom (tingkat 1-12) = 95/95 cm
 Pelat = 15 cm

Geometrik

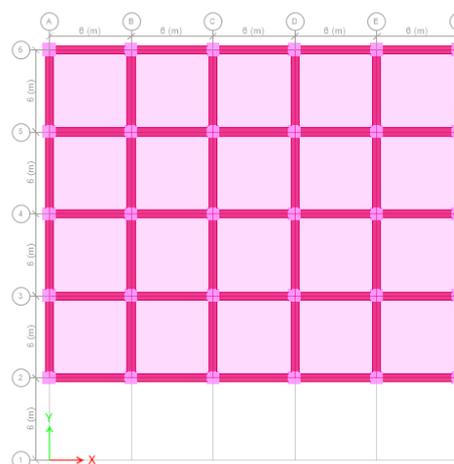
Jumlah tingkat = 12 tingkat
 Ketinggian antar tingkat = 4 m
 Jumlah bentang arah x = 5 bentang
 Jarak antar bentang arah x = 6 m
 Jumlah bentang arah y = 5 bentang
 Jarak antar bentang arah y = 5 bentang

Pemodelan Struktur

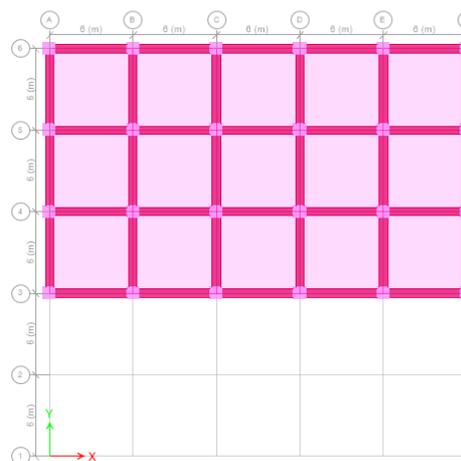
Model struktur yang dianalisis dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.



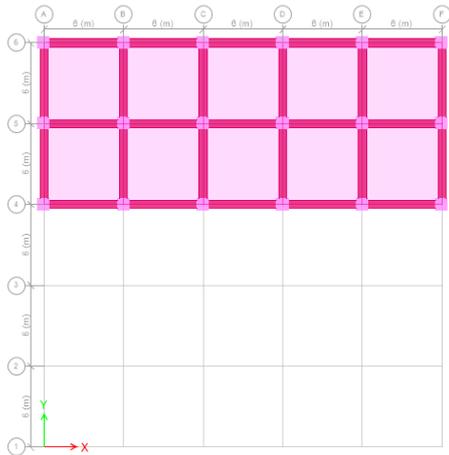
Gambar 3. Bangunan Tanpa *Set-back* (tampak 3D dan tampak atas)



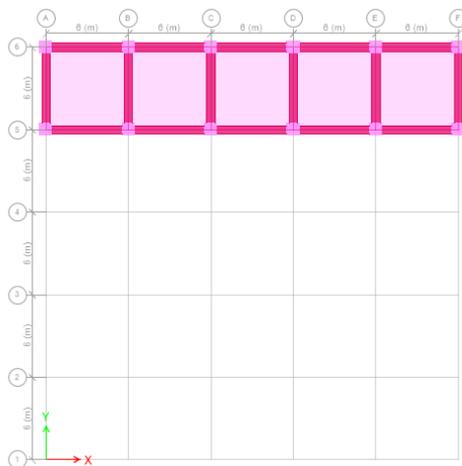
Gambar 4. Model A (tampak atas)



Gambar 5. Model B (tampak atas)



Gambar 6. Model C (tampak atas)



Gambar 7. Model D (tampak atas)

Pembebanan Struktur

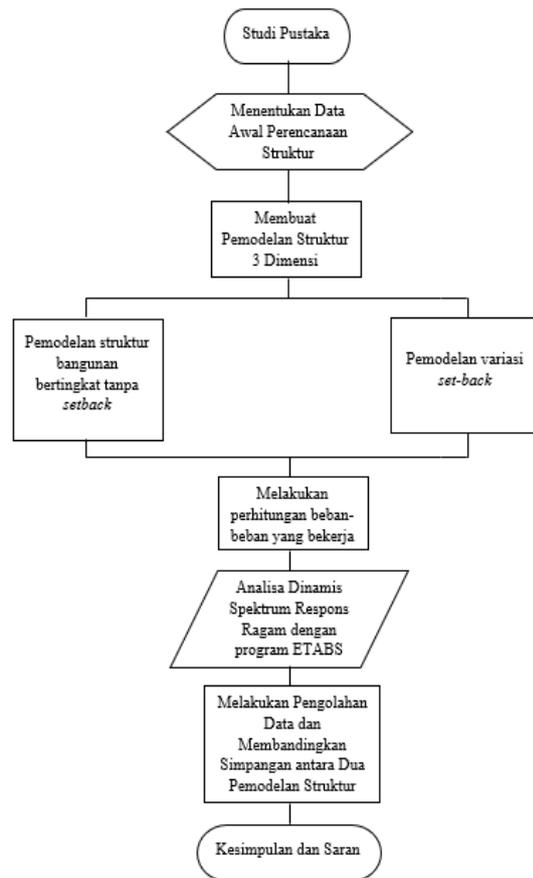
Beban Gravitasi

1. Beban Hidup
 - Lantai = 240 kg/m² (kantor)
 - = 383 kg/m² (koridor)
 - Atap = 479 kg/m² (taman atap)
2. Beban Mati
 - Dead load = berat sendiri struktur
 - Superimposed = 120 kg/m²

Beban Gempa

Analisa Gempa = Spektrum Respons
 Lokasi bangunan = Kota Manado
 Kelas Situs = Tanah sedang (SD)
 Faktor reduksi (R) = 8
 (untuk struktur gedung beton bertulang pemikul momen khusus)
 Faktor keutamaan gedung (I) = 1
 (untuk bangunan kantor)

Bagan Alir Penelitian



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Displacement dan Simpangan Antar Tingkat

Displacement arah X untuk model tanpa setback, model A, B, C, dan D, diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Displacement Arah X

story	displacement arah X				
	tanpa setback	model A	model B	model C	model D
48	27.736	29.848	30.938	30.922	29.621
44	26.987	29.063	30.144	30.157	28.939
40	25.871	27.880	28.948	29.009	27.913
36	24.340	26.249	27.286	27.393	26.433
32	22.406	24.178	25.161	25.302	24.476
28	20.099	21.701	22.605	22.765	22.069
24	17.457	18.860	19.662	19.825	19.254
20	14.529	15.705	16.385	16.538	16.084
16	11.370	12.297	12.838	12.968	12.627
12	8.057	8.719	9.108	9.207	8.972
8	4.729	5.121	5.352	5.413	5.278
4	1.716	1.860	1.945	1.968	1.920
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Displacement arah Y untuk model tanpa set-back, model A, B, C, dan D, diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. *Displacement* Arah Y

story	displacement arah Y				
	tanpa set-back	model A	model B	model C	model D
	mm	mm	mm	mm	mm
12	27.736	27.790	27.490	27.102	26.584
11	26.987	27.175	26.944	26.620	26.206
10	25.871	26.049	25.866	25.602	25.263
9	24.340	24.507	24.377	24.179	23.918
8	22.406	22.557	22.474	22.334	22.143
7	20.099	20.230	20.183	20.092	19.958
6	17.457	17.567	17.546	17.491	17.404
5	14.529	14.615	14.612	14.583	14.530
4	11.370	11.433	11.438	11.426	11.397
3	8.057	8.097	8.106	8.103	8.090
2	4.729	4.750	4.756	4.757	4.753
1	1.716	1.723	1.726	1.727	1.726
base	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Simpangan antar tingkat arah X untuk model tanpa set-back, model A, B, C, dan D, diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Simpangan Antar Tingkat Arah X

story	simpangan antar tingkat arah X				
	tanpa set-back	model A	model B	model C	model D
	mm	mm	mm	mm	mm
12	4.120	4.318	4.367	4.208	3.751
11	6.138	6.507	6.578	6.314	5.643
10	8.420	8.971	9.141	8.888	8.140
9	10.637	11.391	11.688	11.501	10.764
8	12.689	13.624	14.058	13.954	13.239
7	14.531	15.626	16.187	16.170	15.483
6	16.104	17.353	18.024	18.079	17.435
5	17.375	18.744	19.509	19.635	19.014
4	18.222	19.679	20.515	20.686	20.103
3	18.304	19.789	20.658	20.867	20.317
2	16.572	17.936	18.739	18.948	18.469
1	9.438	10.230	10.698	10.824	10.560
base	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Simpangan antar tingkat arah Y untuk model tanpa set-back, model A, B, C, dan D, diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Simpangan Antar Tingkat Arah Y

story	simpangan antar tingkat arah Y				
	tanpa set-back	model A	model B	model C	model D
	mm	mm	mm	mm	mm
12	4.120	3.382	3.003	2.651	2.079
11	6.138	6.193	5.929	5.599	5.186
10	8.420	8.481	8.190	7.827	7.398
9	10.637	10.725	10.467	10.148	9.762
8	12.689	12.799	12.601	12.331	12.018
7	14.531	14.647	14.504	14.306	14.047
6	16.104	16.236	16.137	15.994	15.807
5	17.375	17.501	17.457	17.364	17.232
4	18.222	18.348	18.326	18.277	18.189
3	18.304	18.409	18.425	18.403	18.354
2	16.572	16.649	16.665	16.665	16.649
1	9.438	9.477	9.493	9.499	9.493
base	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Persentase perbandingan simpangan antar tingkat antara Bangunan Tanpa *Set-back* dan Variasi *Set-back* Arah X dan Arah Y, diperlihatkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Persentase Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Antara Bangunan Tanpa *Set-back* dan Variasi *Set-back* Arah X

story	Persentase Perbandingan Simpangan Arah X			
	model A	model B	model C	model D
	%			
12	4,806	6,008	2,136	8,945
11	17,946	19,242	14,457	2,293
10	22,816	25,151	21,687	11,446
9	27,133	30,448	28,361	20,135
8	30,231	34,385	33,386	26,551
7	32,757	37,523	37,383	31,542
6	34,714	39,923	40,350	35,354
5	36,157	41,710	42,629	38,114
4	36,617	42,421	43,604	39,557
3	34,656	40,569	41,991	38,249
2	26,788	32,465	33,942	30,560
1	9,735	14,749	16,106	13,274
base	0,000	0,000	0,000	0,000

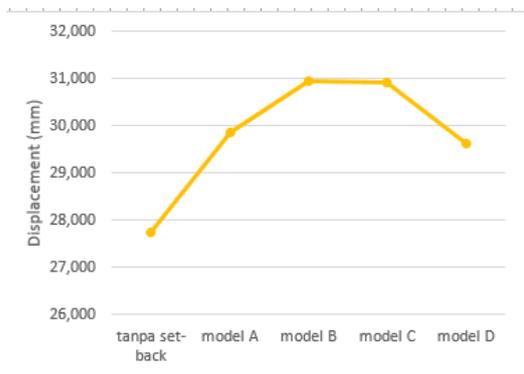
Tabel 6. Persentase Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Antara Bangunan Tanpa *Set-back* dan Variasi *Set-back* Arah Y

story	Persentase Perbandingan Simpangan Arah Y			
	model A	model B	model C	model D
	%			
12	4,444	27,103	35,648	49,533
11	6,607	3,405	8,781	15,502
10	6,769	2,743	7,054	12,149
9	7,081	1,603	4,602	8,221
8	7,536	0,694	2,818	5,288
7	7,848	0,189	1,552	3,331
6	7,877	0,205	0,683	1,844
5	8,042	0,475	0,063	0,823
4	8,174	0,573	0,302	0,181
3	8,333	0,661	0,541	0,270
2	8,435	0,564	0,564	0,465
1	8,577	0,583	0,641	0,583
base	0,000	0,000	0,000	0,000

Berdasarkan data pada tabel-tabel yang ada, *displacement* terbesar untuk arah X berada pada model B sebesar 30,938 mm dan untuk arah Y berada pada model A sebesar 27,790 mm. *Displacement* untuk arah X lebih besar dari arah Y karena variasi *set-back* 1 arah terhadap arah Y, sehingga dalam arah tersebut memiliki massa dan kekakuan yang lebih kecil dibanding arah X.

Displacement pada tingkat teratas dalam arah X menunjukkan bahwa adanya peningkatan *displacement* dari bangunan tanpa *set-back* ke model A dan dari model A ke model B. Kemudian terjadi penurunan *displacement* dari model B ke model C dengan selisih yang sangat kecil, yaitu pada model B memiliki *displacement* sebesar 30,938 mm dan pada model C sebesar 30,922 mm, dan juga terjadi penurunan *displacement*

dari model C ke model D. Perilaku ini dapat dilihat pada grafik di bawah.

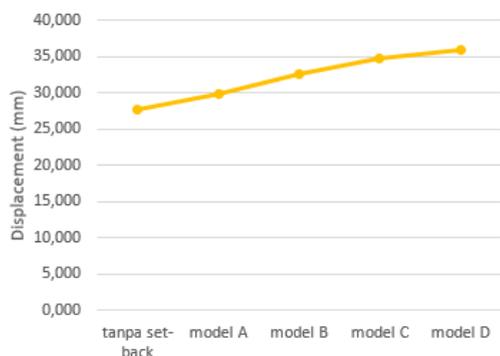


Gambar 8. Displacement pada Tingkat Teratas

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa adanya peralihan pemodelan yang dominan *set-back* dan pemodelan yang dominan massa. Meskipun luasan panel model A lebih besar dari model B, *displacement* pada model B lebih besar dari model A karena pengaruh *set-back* yang memiliki loncatan bidang muka yang lebih besar pada model B. Pada model C dan model D memiliki luasan panel yang lebih kecil sehingga menyebabkan loncatan bidang muka yang lebih besar.

Hal ini sebenarnya dapat meningkatkan *displacement*, akan tetapi karena pada kedua pemodelan ini memiliki luasan panel yang lebih kecil dari model sebelumnya, sehingga membuat massa yang ada pada tingkat teratas semakin kecil dan menyebabkan turunnya *displacement*.

Jika pada pemodelan variasi *set-back* memiliki massa yang sama, maka semakin kecil luasan panel, *displacement* pada tingkat teratas semakin besar. Perilaku ini dapat dilihat pada grafik di bawah.



Gambar 9. Displacement pada Tingkat Teratas dengan Massa yang Sama

Grafik di atas menunjukkan efek *set-back* pada tingkat teratas menyebabkan meningkatnya *displacement* apabila massa yang ada pada tingkat teratas sama. Semakin kecil luasan panel, loncatan bidang mukanya semakin besar sehingga efek *set-back* juga semakin besar terhadap simpangan.

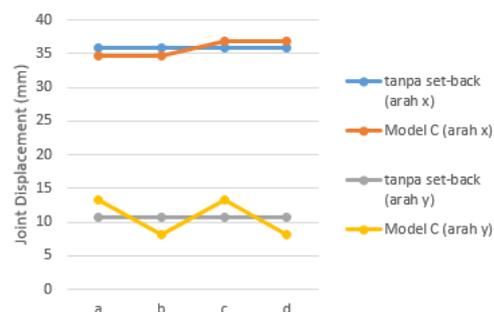
Perpindahan Joint

Perpindahan *joint* dihitung untuk melihat besarnya efek torsi pada setiap pemodelan variasi *set-back*. Perpindahan *joint* yang ditinjau merupakan selisih antara perpindahan *joint* pada bangunan tanpa *set-back* dengan pemodelan variasi *set-back* 1 arah berdasarkan luasan panel.

Tabel 7. Selisih Perpindahan Joint

Model	titik (join)	selisih (mm)	
		x	y
A	a	1.374	1.709
	b	1.374	1.21
	c	0.961	1.709
	d	0.961	1.21
B	a	1.536	2.45
	b	1.536	2.225
	c	1.27	2.45
	d	1.27	2.225
C	a	1.118	2.461
	b	1.118	2.659
	c	0.93	2.461
	d	0.93	2.659
D	a	0.943	1.62
	b	0.943	2.472
	c	0.125	1.62
	d	0.125	2.472

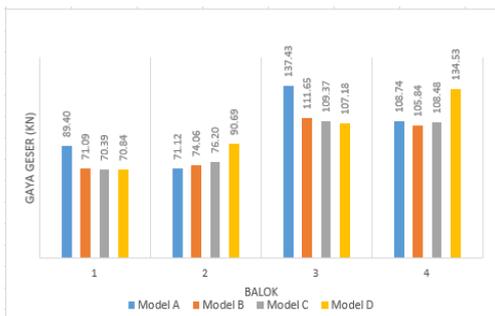
Berdasarkan tabel 7, selisih perpindahan *joint* terbesar ada pada model C, yaitu variasi *set-back* dengan luasan panel 40%.



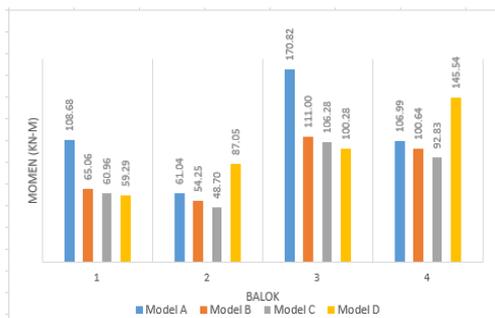
Gambar 10. Perpindahan Joint Model C

Gaya Dalam yang Bekerja

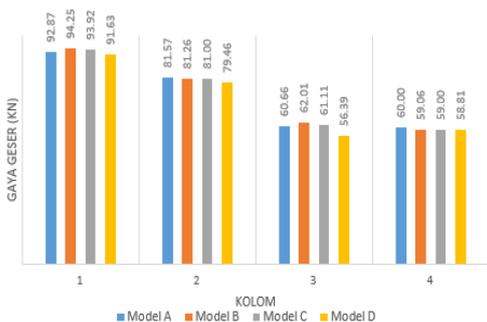
Gaya dalam ditinjau pada area yang berbatasan dengan *set-back* yaitu pada tingkat 11 untuk melihat bagaimana peningkatan gaya dalam yang berupa gaya geser dan momen pada variasi *set-back*.



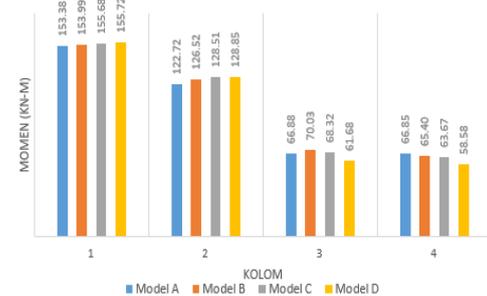
Gambar 11. Gaya Geser pada Balok



Gambar 12. Momen pada Balok



Gambar 13. Gaya Geser pada Kolom



Gambar 13. Gaya Geser pada Kolom

Model A memiliki gaya geser dan momen terbesar dengan peningkatan yang signifikan yang terdapat pada balok tengah (balok 3) disebabkan oleh pengaruh massa karena model A memiliki luasan panel sebesar 80%. Sedangkan gaya dalam pada tiap kolom untuk masing-masing pemodelan tidak terdapat perbedaan gaya geser dan momen yang signifikan.

Kontrol

Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.9.4.1, kombinasi respons untuk geser dasar (V_t) lebih kecil 85% dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0,85V/V_t$.

Tabel 8. Kontrol Gaya Geser Dasar

Model	Arah	Base Shear (kN)		Kontrol
		Statis	Dinamis	
		V	V_t	85%
Tanpa Set-back	X	5521.559	4693.325	OK
	Y	5521.559	4693.325	OK
A	X	5514.862	4687.633	OK
	Y	5525.805	4696.934	OK
B	X	5504.109	4678.493	OK
	Y	5529.557	4700.124	OK
C	X	5503.976	4678.38	OK
	Y	5534.169	4704.043	OK
D	X	5521.503	4693.277	OK
	Y	5540.011	4709.009	OK

Periode Fundamental Struktur

Untuk menentukan periode fundamental struktur, maka harus ditentukan batas bawah ($T_{a_{min}} = C_t \times h_n^x$) dan batas atas ($T_{a_{max}} = C_u \cdot T_{a_{min}}$). Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x untuk tipe struktur rangka beton pemikul momen, nilai C_t sebesar 0,0466 dan x sebesar 0,90. Untuk nilai koefisien batas atas C_u sebesar 1,40 untuk nilai $S_{D1} > 0,40$.

Sesuai dengan hasil perhitungan didapat $T_{a_{min}}$ sebesar 1,519 detik dan untuk $T_{a_{max}}$ sebesar 2,126 detik. Berikut ini adalah beberapa syarat untuk menentukan periode fundamental yang digunakan apabila periode fundamental diperoleh dari hasil analisis *software* (T_c):

1. Jika, $T_c > T_{a_{max}}$ Maka, $T = T_{a_{max}}$
2. Jika, $T_{a_{min}} < T_c < T_{a_{max}}$ Maka, $T = T_c$
3. Jika, $T_c < T_{a_{min}}$ Maka, $T = T_{a_{min}}$

Tabel 9. Kontrol Periode

Model	Periode Getar Struktur (T_c)	Kondisi Analisis Getar Struktur			Periode yang digunakan(T)
		$T_c > C_u T_a$	$T_a < T_c < C_u T_a$	$T_c < T_a$	
Bangunan beraturan	1,42			OK	1,519
Model A	1,398			OK	1,519
Model B	1,377			OK	1,519
Model C	1,354			OK	1,519
Model D	1,326			OK	1,519

Simpangan

1. Displacement Total

Untuk menentukan batas *displacement*, maka *displacement* tidak boleh melebihi $H/240$ dimana H adalah ketinggian total bangunan yang ditinjau.

Tabel 10. Kontrol *Displacement* Total

Model	Displacement	H/240	Kontrol
	mm	mm	
Tanpa Setback	27,736	200	OK
Model A	29,848	200	OK
Model B	30,938	200	OK
Model C	30,922	200	OK
Model D	29,621	200	OK

2. Simpangan Antar Tingkat

Batasan simpangan antar tingkat ditentukan dalam persamaan 11, dimana untuk bangunan yang termasuk dalam kategori resiko II dengan struktur beton bertulang menggunakan ketentuan $0,020 h_{sx}$. Faktor reduksi yang digunakan dalam kontrol untuk bangunan dengan kategori desain seismik D adalah sebesar 1,3.

Tabel 11. Kontrol Simpangan Antar Tingkat

story	Simpangan antar tingkat (Δ)					Δ_a	Kontrol
	mm						
	Tanpa Setback	Model A	Model B	Model C	Model D	mm	
12	4,120	4,318	4,367	4,208	3,751	61,538	OK
11	6,138	6,507	6,578	6,314	5,643	61,538	OK
10	8,420	8,971	9,141	8,888	8,140	61,538	OK
9	10,637	11,391	11,688	11,501	10,764	61,538	OK
8	12,689	13,624	14,058	13,954	13,239	61,538	OK
7	14,531	15,626	16,187	16,170	15,483	61,538	OK
6	16,104	17,353	18,024	18,079	17,435	61,538	OK
5	17,375	18,744	19,509	19,635	19,014	61,538	OK
4	18,222	19,679	20,515	20,686	20,103	61,538	OK
3	18,304	19,789	20,658	20,867	20,317	61,538	OK
2	16,572	17,936	18,739	18,948	18,469	61,538	OK
1	9,438	10,230	10,698	10,824	10,560	61,538	OK
Base	0	0	0	0	0	0	-

Kontrol Ketidakberaturan Struktur berdasarkan SNI 1726-2012

Untuk menentukan tipe ketidakberaturan suatu struktur, maka diperlukan kontrol ketidakberaturan struktur yang mengacu pada SNI 1727-2012. Kontrol ketidakberaturan yang ditinjau adalah ketidakberaturan terhadap torsi dan massa.

Ketidakteraturan Torsi

Ketidakteraturan torsi merupakan tipe ketidakberaturan horizontal dengan kondisi torsi tak terduga dimana simpangan antar lantai tingkat maksimum pada kedua ujung struktur lebih besar dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata pada kedua ujung struktur, dan dikategorikan sebagai

ketidakberaturan torsi berlebihan jika simpangan antar lantai tingkat maksimum pada kedua ujung struktur lebih besar dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata pada kedua ujung struktur.

Tabel 12. Kontrol Ketidakberaturan Torsi

model	δ_{max}	δ_{avg}	$1,2\delta_{avg}$	$1,4\delta_{avg}$	Kontrol	
	(mm)	(mm)	a	b	a	b
A	36.853	35.686	42.823	49.960	OK	OK
B	37.162	35.759	42.911	50.063	OK	OK
C	36.822	35.798	42.958	50.117	OK	OK
D	35.767	35.358	42.430	49.501	OK	OK

Berdasarkan hasil kontrol di atas, seluruh pemodelan variasi set-back tidak tergolong dalam ketidakberaturan torsi.

Kontrol Ketidakberaturan Massa

Ketidakteraturan massa tergolong dalam ketidakberaturan vertikal, dimana massa efektif semua tingkat lebih dari 150% massa tingkat di dekat tingkat tinjauan.

Tabel 13. Kontrol Ketidakberaturan Massa

Tingkat	Model A			Model B		
	Massa	150% Massa	Kontrol	Massa	150% Massa	Kontrol
	kg	kg		kg	kg	
12	867829.8	1301744.7	OK	664642.35	996963.525	OK
11	1143049.21	1714573.815	OK	1117057.21	1675585.815	NOT OK
10	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
9	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
8	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
7	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
6	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
5	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
4	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
3	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
2	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
1	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK

Tingkat	Model C			Model D		
	Massa	150% Massa	Kontrol	Massa	150% Massa	Kontrol
	kg	kg		kg	kg	
12	461454.9	692182.35	OK	258267.45	387401.175	OK
11	1091065.21	1636597.815	NOT OK	1065073.21	1597609.815	NOT OK
10	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
9	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
8	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
7	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
6	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
5	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
4	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
3	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
2	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK
1	1169041.21	1753561.815	OK	1169041.21	1753561.815	OK

Berdasarkan hasil kontrol di atas, untuk model B, C, dan D pada tingkat 11 memiliki massa yang lebih besar dari 150% massa yang ada pada tingkat 12 yang difungsikan sebagai atap. Menurut SNI 1727-2012, atap yang memiliki massa lebih kecil dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau, sehingga seluruh pemodelan variasi *set-back* tidak tergolong dalam ketidakberaturan massa.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa bangunan tanpa *set-back* dan pemodelan variasi-variasi *set-back* berdasarkan luasan panel pada tingkat teratas melalui program ETABS 2016, maka diambil kesimpulan yaitu:

1. *Displacement* terbesar berada pada model B sebesar 30,938 mm dan model C sebesar 30,922 mm dalam arah X, hal ini disebabkan pemodelan variasi *set-back* 1 arah terhadap arah Y, sehingga dalam arah tersebut memiliki massa dan kekakuan yang lebih kecil dibanding arah X.
2. Semakin kecil luasan *set-back*, simpangan dalam arah Y pada tingkat teratas semakin kecil yaitu pada bangunan tanpa *set-back* sebesar 4,120 mm, model A sebesar 3,382 mm, model B sebesar 3,003 mm, model C sebesar 2,651 mm, model D sebesar 2,079 mm, namun persentase perbedaan antara simpangan antar tingkat pada tingkat teratas dan tingkat di bawahnya semakin besar yaitu pada bangunan tanpa *set-back* sebesar 49%, model A sebesar 83%, model B sebesar 97%, model C sebesar 111%, model D sebesar 149%, hal ini disebabkan karena perbedaan luasan panel yang semakin besar.
3. Efek *set-back* dapat meningkatkan *displacement* pada tingkat teratas akan tetapi semakin besar efek *set-back*, massa juga semakin berkurang sehingga diantara seluruh variasi *set-back* yang paling berpengaruh adalah model C karena pada luasan panel 40% memiliki *displacement*

- dan perpindahan *joint* yang besar yaitu untuk *displacement* sebesar 30,922 mm dan perpindahan *joint* sejauh 2,659 mm.
4. Semakin beraturan suatu struktur, maka simpangan yang dihasilkan semakin kecil dibandingkan dengan struktur bangunan yang tidak beraturan. Perilaku ini dapat dilihat pada model A dan model D yang memiliki *displacement* lebih rendah dibandingkan dengan model B dan model C. Besar *displacement* untuk model A dalam arah X yaitu 29,848 mm dan model D sebesar 29,621 mm. Hal ini disebabkan konfigurasi luasan panel dari model A dan model D yang sudah lebih mendekati pada pemodelan bangunan beraturan.
5. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh *set-back* yang divariasikan berdasarkan luasan panel pada tingkat teratas tidak menyebabkan ketidakberaturan torsi dan ketidakberaturan massa yang batasannya telah diatur dalam SNI 1727-2012.

Saran

Setelah melakukan penelitian ini, terdapat beberapa saran, yaitu:

1. Untuk penelitian selanjutnya, analisa tentang pengaruh *set-back* berdasarkan luasan panel dapat dicoba untuk divariasikan dengan tinggi *set-back* pada elevasi tertentu.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh *set-back* dalam 2 arah dan variasi penempatan posisi *set-back*.
3. Efisiensi biaya perlu diperhatikan agar penampang yang digunakan tidak boros.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726-2012)*, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 03-1727-2013)*, Jakarta.
- Fakhrurrazy., Manalip, H., Windah, R. S., 2015. *Analisis Dinamis Bangunan Bertingkat Banyak dengan Persentase Coakan pada Denah Struktur Bangunan*. Jurnal TEKNO, Vol. 13 No. 63. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Honarto, R. J., Handono, B. D., Pandaleke, R. E., 2018. *Perencanaan Bangunan Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Kota Manado*. Jurnal Sipil Statik Vol. 7 No. 2., Universitas Sam Ratulangi Manado.

- Mulyono., 2000. *Petunjuk Standarisasi Desain Gedung Bertingkat*, Ganeca Exact, Bandung.
- Pawirodikromo, W., 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. PUSTAKA PELAJAR (Anggota IKAPI), Yogyakarta.
- Rumimper, B. A. E., Wallah, S. E., Windah, R. S., Dapas, S. O., 2013. *Perhitungan Inter Story Drift pada Bangunan Tanpa Set-Back dan dengan Set-Back Akibat Gempa*. Jurnal Sipil Statik Vol. 1 No.6. Universitas Sam Ratulangi Manado
- Siajaya, K., Windah, R. S., Handono, B. D., 2018. *Respons Struktur Gedung Bertingkat dengan Variasi Kekakuan Kolom Akibat Gempa Berdasarkan SNI-03-1726-2012*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 6 No. 6. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Sudarman., Manalip, H., Windah, R.S., Dapas, S.O., 2014. *Analisis Pushover pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 2 No. 4.
- Sunarjo., Gunawan, M. T., Pribadi, S., 2010. *Gempa Bumi, Edisi Populer*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional., 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta.
- Wantalangie, R. O. F., Pangouw, J. D., Windah, R. S., 2016. *Analisa Statik dan Dinamik Gedung Bertingkat Banyak Akibat Gempa Berdasarkan SNI 1726-2012 dengan Variasi Jumlah Tingkat*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 4 No. 28. Universitas Sam Ratulangi Manado.

Halaman ini sengaja dikosongkan